دانشگاه گیلان
دانشکده علوم کشاورزی

تحقیقات غلات
دوره پنجم/ شماره اول/ بهار ۱۳۹۴ (۳۱-۱۷)

ارزیابی عمل ژن‌های کنترل‌کننده صفات مرتبط با کیفیت پخت دانه در ارقام برنج

بابک ربیعی[۱]* و سمیه علی‌حسین طایفه[۲]

۱ و ۲- به ترتیب استاد و دانشجوی کارشناسی ارشد گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان

(تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۲۸- تاریخ پذیرش: ۹۳/۳/۲۶)

چکیده

برای تعیین عمل ژن‌ها و وراثت‌پذیری صفات مرتبط با کیفیت پخت ارقام برنج، نسل‌های F_2 حاصل از تلاقی‌های کامل دای‌آلل شش رقم برنج شامل حسنی، شاه‌پسند، کادوس، واندانا، هاشمی و IR36 به همراه والدین مربوطه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان مورد ارزیابی قرار گرفتند. تجزیه دای‌آلل به روش دوم گاردنر- ابرهارت نشان داد که آثار واریته و هتروزیس برای کلیه صفات مورد مطالعه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود که به ترتیب بیانگر وجود واریانس افزایشی و غالبیت برای این صفات بود. هتروزیس متوسط برای دمای ژلاتینی‌شدن معنی‌دار شد که بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار بین میانگین والدین و میانگین هیبریدها بود، اما این اثر برای مقدار آمیلوز و قوام ژل معنی‌دار نبود. در مقابل، هتروزیس اختصاصی برای کلیه صفات معنی‌دار شد که نشان دهنده تفاوت بین هیبریدها برای این صفات بود. نتایج تجزیه دای‌آلل به روش سوم گاردنر- ابرهارت نیز نشان داد که تفاوت بین والدین و بین تلاقی‌ها در کلیه صفات معنی‌دار بود که نشان دهنده ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی معنی‌دار ارقام بود، اما تفاوت والدین در مقابل تلاقی‌ها (اثر هتروزیس) برای صفات مقدار آمیلوز و قوام ژل معنی‌دار نشد که مطابق با نتایج روش دوم گاردنر- ابرهارت بود. برآورد نسبت بیکر، سهم بیشتر آثار غیرافزایشی ژن‌ها را برای مقدار آمیلوز، سهم تقریباً یکسان آثار افزایشی و غیرافزایشی را برای قوام ژل و سهم بیشتر آثار افزایشی را برای دمای ژلاتینی‌شدن نشان داد. نتایج تجزیه گرافیکی هیمن نشان داد که کلیه صفات تحت کنترل آثار غالبیت ناقص ژن‌ها قرار داشتند و وراثت‌پذیری خصوصی نسبتاً بالا، نشان دهنده سهم بیشتر آثار افزایشی ژن‌ها در کنترل صفات مورد مطالعه بود. در مجموع، نتایج این پژوهش نشان داد که برای بهبود کیفیت پخت دانه در جمعیت مورد مطالعه، ابتدا می‌توان از آثار افزایشی ژن‌ها استفاده و ژنوتیپ‌های برتر را انتخاب کرد و سپس با تلاقی ژنوتیپ‌های منتخب از آثار غالبیت ژن‌ها استفاده کرد. علاوه بر آن، ژنوتیپ‌های IR36، کادوس و شاه‌پسند و تلاقی‌های هاشمی×شاه‌پسند، کادوس×حسنی، کادوس×IR36 و حسنی×شاه‌پسند، مقادیر مناسبی برای صفات مرتبط با کیفیت پخت دانه داشتند و برای اصلاح این صفات پیشنهاد می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: تجزیه دای‌آلل، ترکیب‌پذیری، خصوصیات کیفی دانه، وراثت‌پذیری، هتروزیس

* نویسنده مسئول: rabiei@guilan.ac.ir

مقدمه

برنج یکی از مهم‌ترین غلات می‌باشد که غذای اصلی بیش از نیمی از مردم جهان را تشکیل می‌دهد (FAO, 2010). اهداف اصلاحی در برنج شامل افزایش عملکرد، بهبود کیفیت و مقاومت به تنش‌های محیطی است که در رابطه با افزایش عملکرد و مقاومت به تنش‌های محیطی موفقیت‌های زیادی به دست آمده است، اما در خصوص کیفیت دانه موفقیت‌ها کمتر بوده‌اند که دلیل آن می‌تواند وجود شاخص‌های متفاوت ارزیابی کیفیت، ذائقه‌های متفاوت و نیز وجود ارتباط منفی بین عملکرد و کیفیت دانه باشد (Rabiei *et al.*, 2004). مقدار آمیلوز، قوام ژل و دمای ژلاتینی‌شدن از شاخص‌های عمده ارزیابی کیفیت پخت برنج هستند که توسط پژوهشگران زیادی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند (Rahim-Sorosh *et al.*, 2004; Ghorbanipour and Rabiei, 2011; Gnanamalar and Vivekanandan, 2013).

کیفیت پخت برنج در نقاط مختلف دنیا مفهوم کاملاً متفاوتی دارد که بستگی به ذائقه مصرف‌کنندگان آن‌ها دارد. در بعضی از کشورها مانند ژاپن، بیشتر برنج‌هایی ترجیح داده می‌شوند که دانه‌ها بعد از پخت کاملاً چسبیده و نرم باشند، در حالی که در نقاط دیگر به ویژه در ایران، برنج‌هایی که پس از پخت دانه‌های بلند و جدا از هم دارند و لعاب‌دار و چسبنده نیستند، ترجیح داده می‌شوند (Rabiei *et al.*, 2004). در این رابطه، محققین برنج در ایران، به دنبال دستیابی به ارقامی با مقدار آمیلوز، قوام ژل و دمای ژلاتینی‌شدن متوسط هستند، زیرا این نوع ارقام معمولاً دارای کیفیت پخت مطلوبی از نظر مصرف‌کنندگان ایرانی بوده و معمولاً بعد از پخت دانه‌های لعاب‌دار و چسبیده تولید نمی‌کنند. برای دستیابی به این هدف، ابتدا باید ارقام و جمعیت‌های مختلف از نظر وجود تنوع ژنتیکی، وراثت‌پذیری و نیز نوع عمل ژن‌های کنترل‌کننده صفات مرتبط با کیفیت پخت مورد بررسی قرار گیرند تا روش‌های اصلاحی مناسب برای دستیابی به ارقامی با کیفیت پخت مطلوب مشخص شود. به منظور به دست آوردن این اطلاعات، روش‌های تجزیه ژنتیکی مختلفی ارایه شده است که تجزیه دای‌آلل یکی از بهترین روش‌ها است. از بین روش‌های تجزیه دای‌آلل نیز روش‌هایی مثل روش گرافیکی هیمن (Hayman, 1954) و روش‌های گاردنر-ابرهارت (Gardner and Eberhart, 1966) اطلاعات بسیار مفیدی در خصوص وراثت‌پذیری صفات، نوع عمل ژن‌ها، مقدار هتروزیس و ترکیب‌پذیری والدین ارایه می‌دهند.

هنرنژاد و همکاران (Honarnezhad *et al.*, 1999) با استفاده از نسل‌های F_2 یک طرح دای‌آلل یکطرفه ۷×۷ در برنج، بیان کردند که ترکیب‌پذیری عمومی برای صفات میزان آمیلوز، دمای ژلاتینی‌شدن و قوام ژل معنی‌دار بود و این صفات تحت تأثیر عمل افزایشی و غیرافزایشی ژن‌ها با سهم بیشتر آثار افزایشی بودند. رحیم سروش و همکاران (Rahim-Sorosh *et al.*, 2004) اعلام کردند که صفات مقدار آمیلوز و قوام ژل از وراثت‌پذیری بالایی برخوردار بودند. شوشی دزفولی و هنرنژاد (Shoshi-Dezfoli and Honarnezhad, 2005) در یک طرح دای‌آلل ناقص ۵×۵ در برنج اظهار کردند که برای صفت میزان آمیلوز دانه اثر افزایشی نسبت به اثر غالبیت سهم بیشتری داشته و وراثت‌پذیری خصوصی این صفت بالا بود، اما برای قوام ژل، اثر غالبیت ژن‌ها بیشتر از اثر افزایشی آن‌ها نقش داشت. نکوری کیباندا و لوزی-کیهوپی (Nkori Kibanda and Luzi-Kihupi, 2007) وراثت‌پذیری بالایی برای قوام ژل گزارش کردند. کیانی و همکاران (Kiani *et al.*, 2009a) در بررسی‌های خود اعلام کردند که برای صفات کیفی نظیر درجه حرارت ژلاتینی‌شدن، قوام ژل و میزان آمیلوز، واریانس افزایشی معنی‌داری وجود داشت و این صفات دارای وراثت‌پذیری خصوصی بالایی بودند. کیانی و همکاران (Kiani *et al.*, 2009b) در تحقیق دیگری بر روی صفات کیفی برنج بیان کردند که دمای ژلاتینی‌شدن و میزان آمیلوز توسط یک ژن اصلی کنترل می‌شوند، به طوری که دمای ژلاتینی‌شدن متوسط بر دمای پایین و مقدار آمیلوز بالا بر مقدار آمیلوز متوسط و پایین، غالبیت دارد. شریفی و همکاران (Sharifi *et al.*, 2010) برای صفات مقدار آمیلوز و قوام ژل، واریانس افزایشی و غالبیت و برای دمای ژلاتینی‌شدن فقط واریانس افزایشی را در تبیین این صفات موثر دانستند. ماهالینگام و ناداراجان (Mahalingam and Nadarajan, 2010) نیز بیان کردند که صفات مقدار آمیلوز و قوام ژل در برنج تحت کنترل آثار افزایشی و غالبیت و نیز آثار متقابل بین مکانی (اپیستازی) هستند. یومادوی و همکاران (Umadevi *et al.*, 2010) نیز وراثت‌پذیری بالایی را برای صفات مقدار آمیلوز و قوام ژل گزارش کردند. قربانی‌پور و ربیعی

(Ghorbanipour and Rabiei, 2011) اثر غالبیت کامل ژن‌ها را برای صفت دمای ژلاتینی‌شدن و غالبیت ناقص ژن‌ها را برای صفت مقدار آمیلوز بیان نمودند. ونکاتا سوبایا و همکاران (Venkata Subbaiah *et al.*, 2011) عنوان نمودند که دمای ژلاتینی‌شدن و مقدار آمیلوز، تحت کنترل اثر افزایشی ژن‌ها بودند و وراثت‌پذیری بالایی برای آن‌ها گزارش کردند. اسفالیزا و همکاران (Asfaliza *et al.*, 2012) با انجام یک طرح دای‌آلل کامل در برنج، بیان کردند که ترکیب‌پذیری عمومی که نشان‌دهنده عمل افزایشی ژن‌ها است، برای صفات مقدار آمیلوز و قوام ژل معنی‌دار بود. در مقابل، گنانامالار و ویوکانداندان (Gnanamalar and Vivekanandan, 2013) عمل غیرافزایشی ژن‌ها را در کنترل صفات مقدار آمیلوز و قوام ژل گزارش کردند.

با توجه به مرور منابع مختلف مشخص شد که نتایج حاصل تا حدودی با توجه به نوع جمعیت‌های مورد مطالعه متفاوت و در بسیاری از موارد این نتایج خاص آن جمعیت بود. به این دلیل، پژوهش حاضر طراحی شد که هدف از انجام آن، تعیین ترکیب‌پذیری ارقام، نوع عمل ژن‌ها، وراثت‌پذیری خصوصی و میزان هتروزیس صفات مرتبط با کیفیت پخت دانه در برنج به منظور تعیین روش اصلاحی مناسب جمعیت بود.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی استفاده شده در این پژوهش شامل شش رقم حسنی، شاه‌پسند، کادوس، واندانا، هاشمی و IR36 و نسل‌های F_2 حاصل از تلاقی دای‌آلل کامل آن‌ها بود که در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان در سال ۱۳۹۱ کشت شدند و صفات دمای ژلاتینی شدن، قوام ژل و میزان آمیلوز مورد بررسی قرار گرفتند. دلیل انتخاب این ارقام، نتایج حاصل از مطالعات طبخ‌کار و همکاران (Tabkhkar *et al.*, 2012) بود که با استفاده از نشانگرهای ریزماهواره پیوسته با کیفیت پخت، تلاقی این ارقام را برای بهبود کیفیت پخت برنج پیشنهاد دادند و سپس جهت گروه‌بندی هتروتیک ارقام، ربیعی و همکاران (Rabiei *et al.*, 2014) نسل F_1 حاصل از تلاقی‌های دای‌آلل آن‌ها را مورد بررسی قرار دادند. برای تعیین دمای ژلاتینی‌شدن از آزمون امتیازدهی بر اساس هضم قلیایی لیتل و همکاران (Little *et al.*, 1958) استفاده شد. اندازه‌گیری قوام ژل به روش کاگامپنگ و همکاران (Cagampang *et al.*, 1973) انجام گرفت و برای اندازه‌گیری میزان آمیلوز از روش جولیانو (Juliano, 1971) استفاده شد. با توجه به اینکه این صفات به صورت درصد و یا رتبه امتیازبندی شدند، از این‌رو داده‌ها پس از تبدیل لگاریتمی مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند.

تجزیه واریانس صفات بر اساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی با استفاده از نرم‌افزار SAS (SAS, 2002) انجام شد و برای صفاتی که تفاوت بین ژنوتیپ‌ها معنی‌دار بود، تجزیه دای‌آلل به روش دوم و سوم گاردنر- ابرهارت (Gardner and Eberhart, 1966) و هیمن (Hayman, 1954) انجام شد. برای انجام تجزیه هیمن، ابتدا آزمون صحت مفروضات هیمن انجام گرفت. برای این‌کار، آزمون شیب خط رگرسیون کوواریانس نتاج با والد مشترک آن‌ها (W_r) روی واریانس ردیف‌ها (V_r) از شیب واحد انجام شد. در همین ارتباط، آزمون‌های اپیستازی و غالبیت با استفاده از W_r-V_r و W_r+V_r به‌صورت طرح کاملاً تصادفی نیز انجام شد و در صورت تأیید مفروضات، پارامترهای ژنتیکی شامل واریانس‌های افزایشی، غالبیت، میانگین درجه غالبیت، نسبت ژن‌های غالب و مغلوب، نسبت ژن‌های دارای آثار مثبت و منفی در والدین و وراثت‌پذیری خصوصی برآورد شدند. کلیه محاسبات آماری و رسم نمودارهای مربوط به این روش با فرمول‌نویسی در نرم‌افزار Excell انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس برای صفات قوام ژل، مقدار آمیلوز و دمای ژلاتینی‌شدن نشان داد که تفاوت بین ژنوتیپ‌ها از نظر هر سه صفت مطالعه شده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱).

نتایج تجزیه دای‌آلل به روش دوم گاردنر- ابرهارت برای صفت قوام ژل، مقدار آمیلوز و دمای ژلاتینی‌شدن (جدول ۱) نشان داد که اثر واریته و اثر هتروزیس در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. هتروزیس متوسط نیز برای صفات دمای ژلاتینی‌شدن معنی‌دار بود، در حالی که هتروزیس متوسط معنی‌داری برای میزان آمیلوز و قوام ژل مشاهده نشد. در مقابل، هتروزیس واریته و هتروزیس خصوصی برای هر سه صفت در سطح احتمال یک درصد

معنی‌دار شد. این نتیجه نشان داد که اگرچه میانگین همه نتاج با میانگین همه والدین برای صفات مقدار آمیلوز و قوام ژل یکسان بود، اما برای تعدادی از ارقام و نتاج حاصل از تلاقی آن‌ها، هتروزیس معنی‌داری برای این صفات وجود داشت. در مقابل، برای صفت دمای ژلاتینی‌شدن، هر سه سطح هتروزیس یعنی هتروزیس متوسط، هتروزیس واریته و هتروزیس خصوصی معنی‌دار بود. بنابراین، می‌توان انتظار داشت که احتمالاً تعدادی از این تلاقی‌ها دارای مقادیر بیشتر یا کمتری از والدین بوده و امکان انتخاب نتاج برتر وجود دارد. بدین لحاظ، تجزیه‌های بیشتری انجام شد تا ضمن ارزیابی پارامترهای ژنتیکی، تلاقی‌های مناسب از نظر کیفیت پخت نیز شناسایی شوند. پژوهشگران دیگری نیز وجود هتروزیس را در تلاقی‌های برنج گزارش کرده‌اند (Honarnezhad *et al.*, 1999; Rahim Sorosh *et al.*, 2004; Ghorbanipour and Rabiei, 2011).

برآورد ترکیب‌پذیری عمومی (g_i) والدین و خصوصی (S_{ij}) هیبریدها در روش دوم گاردنر-ابرهارت برای صفت مقدار آمیلوز، قوام ژل و دمای ژلاتینی‌شدن به ترتیب در جدول‌های ۲ و ۳ ارایه شده است. در صفت مقدار آمیلوز، ترکیب‌پذیری عمومی والدین بین ۰/۴۵- تا ۰/۸۰ بود. رقم IR36 دارای ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار بود و بنابراین، از این رقم به دلیل توانایی در انتقال آمیلوز به نتاج می‌توان در برنامه‌های اصلاحی استفاده کرد. بیشترین مقدار S_{ij} مثبت و معنی‌دار، در تلاقی‌های کادوس×حسنی، هاشمی× شاه‌پسند و هاشمی×واندانا مشاهده شد، در حالی که ترکیب‌پذیری عمومی ارقام حسنی، شاه‌پسند، هاشمی و واندانا منفی بود. S_{ij} منفی و معنی‌دار نیز در تلاقی‌های هاشمی×کادوس، هاشمی×حسنی، واندانا×کادوس، واندانا× شاه‌پسند و حسنی×شاه‌پسند به دست آمد، در حالی که ترکیب‌پذیری عمومی والدین آن‌ها معنی‌دار نبود. به این ترتیب، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در کنترل صفت مقدار آمیلوز در جمعیت مورد مطالعه، احتمالاً نقش عمل غیرافزایشی ژن‌ها بیشتر و موثرتر از عمل افزایشی ژن‌ها بوده است (جدول‌های ۲ و ۳).

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه به روش دوم گاردنر و ابرهارت

Table 1. Analysis of variance for the studied traits based on the second method of Gardner and Eberhart

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square		
		مقدار آمیلوز (٪) Amylose content (%)	قوام ژل (میلی‌متر) Gel consistency (mm)	دمای ژلاتینی‌شدن Gelatinization temperature
بلوک Block	2	11.490*	108.932**	0.059^{ns}
ژنوتیپ Genotype	20	12.095**	85.793**	3.777**
اثر واریته Variety	5	8.838**	119.140**	10.713**
اثر هتروزیس Heterosis	15	13.182**	74.677**	1.466**
هتروزیس متوسط Average heterosis	1	0.432^{ns}	14.325^{ns}	1.119**
هتروزیس واریته Variety heterosis	5	15.096**	109.750**	0.649**
هتروزیس خصوصی Specefic Heterosis	9	13.536**	61.898**	1.958**
خطای آزمایشی (دای‌آلل) Error (Diallel)	40	0.837	5.948	0.0773

^{ns}، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

^{ns}, * and ** : Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۲- اثر واریته‌ها (v_i)، هتروزیس واریته (h_i) و ترکیب‌پذیری عمومی والدین (g_i) در روش دوم گاردنر- ابرهارت

Table 2. Variety effect (v_i), heterosis of variety (h_i) and general combining ability of the parents (g_i) in second method of Gardner and Eberhart

والدین Parents	مقدار آمیلوز (٪) Amylose content (%)			قوام ژل (میلی‌متر) Gel consistency (mm)			دمای ژلاتینی‌شدن Gelatinization temperature		
	h_i	v_i	g_i	h_i	v_i	g_i	h_i	v_i	g_i
هاشمی Hashemi	0.83	-2.58	-0.45^{ns}	-2.01	4.11	0.04^{ns}	0.33	-0.70	-0.02^{ns}
واندانا Vandana	-1.83	3.81	-0.08^{ns}	-4.59	11.53	1.17^{ns}	0.23	-0.65	-0.10^{ns}
کادوس Kadous	0.10	-0.21	0.002^{ns}	0.21	2.11	1.26^{ns}	0.04	-1.65	-079^{**}
حسنی Hassani	0.91	-2.44	-0.32^{ns}	5.65	-12.31	-0.50^{ns}	-0.01	1.57	0.78^{**}
شاه‌پسند Shahpasand	-1.27	2.30	-0.12^{ns}	1.11	-0.47	0.87	-0.21	-0.70	-0.56^{**}
IR36	1.25	-0.89	0.80^{*}	-0.36	-4.97	-2.85^{**}	-0.375	2.13	0.69^{**}

^{ns}، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

^{ns}, * and ** : Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۳- ترکیب‌پذیری خصوصی (S_{ij}) هیبریدها در روش دوم گاردنر-ابرهارت

Table 3. Specific combining ability of the hybrids (S_{ij}) in second method of Gardner and Eberhat

نسل F_2 F_2 Generation	مقدار آمیلوز (٪) Amylose content (%)	قوام ژل (میلی‌متر) Gel consistency (mm)	دمای ژلاتینی‌شدن Gelatinization temperature
هاشمی×واندانا Hashemi×Vandana	1.80^{**}	2.12^{ns}	-0.01^{ns}
هاشمی×کادوس Hashemi× Kadous	-1.33^{*}	-5.64^{**}	0.18^{ns}
هاشمی×حسنی Hashemi× Hassani	-1.86^{**}	-2.05^{ns}	-0.05^{ns}
هاشمی×شاه‌پسند Hashemi×Shahpasand	2.99^{**}	4.50^{*}	-0.04^{ns}
هاشمی×IR36 Hashemi×IR36	-0.77^{ns}	-0.95^{ns}	0.26^{ns}
واندانا×کادوس Vandana×Kadous	-1.86^{**}	2.07^{ns}	0.58^{**}
واندانا×حسنی Vandana× Hassani	-0.22^{ns}	1.08^{ns}	-0.37^{*}
واندانا×شاه‌پسند Vandana×Shahpasand	-1.75^{**}	-4.46^{*}	-0.08^{ns}
واندانا×IR36 Vandana×IR36	0.19	-5.41^{**}	0.11^{ns}
کادوس×حسنی Kadous×Hassani	3.56^{**}	5.99^{**}	-1.18^{**}
کادوس×شاه‌پسند Kadous×Shahpasand	-0.89^{ns}	-0.05^{ns}	0.05^{ns}
کادوس×IR36 Kadous×IR36	0.62^{ns}	-2.16^{ns}	0.40^{*}
حسنی×شاه‌پسند Hassani× Shahpasand	-1.70^{*}	-3.21^{*}	1.30^{**}
حسنی×IR36 Hassani×IR36	1.12^{ns}	3.84^{*}	0.29^{ns}
شاه‌پسند×IR36 Shahpasand×IR36	0.09^{ns}	4.31^{*}	-1.43^{**}

^{ns}، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

^{ns}, * and ** : Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

ترکیب‌پذیری عمومی والدین برای صفت قوام ژل بین ۲/۸۵- تا ۱/۲۶ متغیر بود. ارقام حسنی و IR36 دارای ترکیب‌پذیری عمومی منفی بودند و ترکیب‌پذیری عمومی رقم IR36 معنی‌دار بود و از این‌رو، این والد توانایی انتقال کاهش قوام ژل به نتاج را دارد و می‌توان در برنامه‌های اصلاحی برای کاهش قوام ژل از آن بهره برد. در حالی که تلاقی حسنی×IR36 دارای S_{ij} مثبت بود، اما ترکیب‌پذیری عمومی والدین منفی بود که می‌تواند به دلیل کنترل ژنتیکی این صفت توسط آثار غیرافزایشی ژن‌ها باشد. در تلاقی‌های واندانا×IR36، شاه‌پسند×IR36، هاشمی×کادوس، هاشمی×شاه‌پسند، واندانا×شاه‌پسند، کادوس×حسنی و حسنی×شاه‌پسند، ترکیب‌پذیری خصوصی معنی‌داری وجود داشت و رقم IR36 در تلاقی واندانا×IR36 نشان داد که توانسته کاهش قوام ژل را به نتاج خود منتقل نماید (جدول‌های ۲ و ۳).

برای صفت دمای ژلاتینی‌شدن نیز ارقام کادوس و شاه‌پسند دارای ترکیب‌پذیری عمومی منفی و معنی‌دار بودند. از اینرو، این والدین توانایی انتقال کاهش دمای ژلاتینی‌شدن به نتاج را دارند و می‌توان در برنامه‌های به‌نژادی از آن‌ها بهره برد. در مقابل، ارقام حسنی و IR36 نیز دارای g_i مثبت و معنی‌دار بودند و می‌توان در برنامه‌های اصلاحی برای انتقال افزایش دمای ژلاتینی‌شدن به نتاج از آن‌ها استفاده نمود. تلاقی‌های کادوس×حسنی و شاه‌پسند×IR36 دارای S_{ij} منفی و معنی‌دار بودند، ضمن اینکه g_i والدین آن‌ها متفاوت بود و نشان می‌دهد که والدین کادوس و شاه‌پسند در تلاقی‌های اخیر، توانسته‌اند کاهش دمای ژلاتینی‌شدن را به نتاج خود انتقال دهند. S_{ij} در تلاقی‌های واندانا×کادوس، کادوس×IR36 و حسنی× شاه‌پسند، مثبت و معنی‌دار بود، در حالی که g_i والدین آن‌ها تفاوت داشت که به دلیل اثر غیرافزایشی ژن‌ها در کنترل این صفت بود. با این وجود، این والدین به خوبی توانسته‌اند افزایش دمای ژلاتینی‌شدن را به نتاج خود منتقل نمایند (جدول‌های ۲ و ۳).

نتایج تجزیه دای‌آلل به روش سوم گاردنر-ابرهارت نیز برای صفات مقدار آمیلوز، قوام ژل و دمای ژلاتینی‌شدن (جدول ۴) نشان داد که تفاوت بین والدین و تفاوت بین تلاقی‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، در حالی که تفاوت والدین در مقابل تلاقی‌ها برای صفات مقدار آمیلوز و قوام ژل غیرمعنی‌دار بود و برای صفت دمای ژلاتینی‌شدن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. این نتیجه قبلاً در روش دوم گاردنر-ابرهارت برای هتروزیس متوسط نیز به دست آمد. ترکیب‌پذیری عمومی (GCA) و خصوصی (SCA) نیز برای صفات مقدار آمیلوز، قوام ژل و دمای ژلاتینی‌شدن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد که نشان دهنده وجود آثار افزایشی و غیرافزایشی ژن‌ها در کنترل این صفات بود. نسبت بیکر محاسبه شده نیز وجود آثار افزایشی و غیرافزایشی ژن‌ها با سهم بیشتر اثر غیرافزایشی ژن‌ها را در مقدار آمیلوز و سهم تقریباً مساوی این آثار را در صفت قوام ژل نشان داد، در حالی که برای صفت دمای ژلاتینی‌شدن نقش آثار افزایشی ژن‌ها بیشتر بود.

ترکیب‌پذیری عمومی (GCA) والدین و خصوصی (SCA) هیبریدها در روش سوم گاردنر- ابرهارت برای صفات مطالعه شده در جدول‌های ۵، ۶ و ۷ نشان داده شده است. برای صفت مقدار آمیلوز رقم IR36 دارای GCA مثبت و معنی‌دار بود و موجب افزایش این صفت در نتاج شد. تلاقی کادوس×IR36، SCA مثبت و معنی‌دار بود و نشان داد که IR36 توانسته است افزایش صفت مقدار آمیلوز را به نتاج خود انتقال دهد. در تلاقی‌های هاشمی×واندانا، هاشمی×شاه‌پسند و کادوس×حسنی، مقدار SCA مثبت و معنی‌دار بود. در مقابل، در تلاقی‌های هاشمی×کادوس، هاشمی×حسنی، هاشمی×IR36، واندانا× کادوس و حسنی×شاه‌پسند، مقادیر منفی و معنی‌داری برای SCA به دست آمد و این در صورتی بود که رقم IR36 در تلاقی هاشمی×IR36، GCA مثبت و معنی‌دار داشت که می‌تواند به دلیل کنترل این صفت توسط آثار غیرافزایشی ژن‌ها باشد (جدول ۵).

در صفت قوام ژل اثرات GCA در رقم IR36 منفی و معنی‌دار بود و بنابراین از این والد می‌توان در برنامه‌های اصلاحی برای کاهش قوام ژل استفاده نمود. تلاقی‌های هاشمی×کادوس، هاشمی×حسنی، واندانا×IR36 و حسنی×شاه‌پسند دارای SCA منفی و معنی‌دار بودند، در حالی‌که والدین آن‌ها به‌غیر از هاشمی و IR36 دارای GCA مثبت بودند. هم‌چنین تلاقی‌های هاشمی×واندانا، هاشمی×شاه‌پسند، شاه‌پسند×IR36 و کادوس×حسنی دارای مقدار مثبت و معنی‌دار SCA بودند و تلاقی‌های حسنی×IR36، واندانا×حسنی و واندانا×کادوس دارای SCA مثبت و غیرمعنی‌دار بودند که می‌تواند به دلیل کنترل ژنتیکی این صفت توسط آثار غیرافزایشی ژن‌ها باشد (جدول ۶).

برای صفت دمای ژلاتینی‌شدن نیز ارقام حسنی و IR36 دارای GCA مثبت و معنی‌دار بودند و از این‌رو، از این والدین می‌توان برای انتقال دمای ژلاتینی‌شدن به نتاج در برنامه‌های اصلاحی در مواردی که افزایش این صفت مورد نظر است، استفاده کرد. در مقابل، ارقام کادوس و شاه‌پسند دارای GCA منفی و معنی‌دار بودند و بنابراین از این والدین می‌توان برای کاهش دمای ژلاتینی‌شدن نتاج در برنامه‌های به‌نژادی بهره‌مند شد. تلاقی‌های واندانا×حسنی، کادوس×حسنی و شاه‌پسند×IR36 دارای SCA منفی و معنی‌دار بودند. هم‌چنین تلاقی‌های واندانا×کادوس، کادوس×IR36 و حسنی×شاه‌پسند دارای SCA مثبت و معنی‌دار بودند، در حالی‌که GCA در والدین این تلاقی‌ها متفاوت بود که می‌تواند به دلیل کنترل ژنتیکی این صفت توسط آثار غیرافزایشی ژن‌ها باشد. تلاقی حسنی×IR36 دارای SCA مثبت و معنی‌دار بود و نشان داد که والدین آن یعنی حسنی و IR36 توانایی افزایش دمای ژلاتینی‌شدن در نتاج خود را داشتند (جدول ۷). هنرنژاد و همکاران (Honarnezhad *et al.*, 1999)، کیانی و همکاران (Kiani *et al.*, 2009a) و شریفی و همکاران (Sharifi *et al.*, 2010) نیز گزارش کردند که آثار افزایشی و غیرافزایشی ژن‌ها در تبیین صفات قوام ژل، مقدار آمیلوز و دمای ژلاتینی‌شدن نقش داشتند.

نتایج تجزیه واریانس برای صفات قوام ژل، مقدار آمیلوز و دمای ژلاتینی‌شدن بر اساس دای‌آلل کامل (جدول ۸) نشان داد که تفاوت بین ژنوتیپ‌ها برای هر سه صفت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. آزمون آثار اپیستازی ژن‌ها از طریق آزمون $W_r–V_r$ نشان دهنده معنی‌دار نبودن تفاوت بین والدین و در نتیجه آثار اپیستازی ژن‌ها در توجیه تغییرات این صفات بود (جدول ۹). آزمون آثار اپیستازی از طریق شیب خط رگرسیون W_r روی V_r نیز حاکی از عدم وجود اختلاف معنی‌دار آن از یک برای همه صفات بود، اما اختلاف معنی‌دار از صفر برای صفات مقدار آمیلوز و دمای ژلاتینی‌شدن مشاهده شد (جدول ۹). در نتیجه وجود آثار اپیستازی در کنترل این صفات به وسیله هر دو آزمون رد شد و بنابراین، امکان تجزیه گرافیکی به روش هیمن وجود داشت. در مقابل، آزمون غالبیت از طریق W_r+V_r وجود اختلاف معنی‌دار بین والدین را برای هر سه صفت نشان داد (جدول ۹)، که بیانگر نقش آثار غالبیت در کنترل این صفات بود.

جدول ۴- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه بر اساس روش سوم گاردنر و ابرهارت

Table 4. Analysis of variance for the studied traits based on third method of Gardner and Eberhart

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square		
		مقدار آمیلوز (٪) Amylose content (%)	قوام ژل Gel consistency (mm)	دمای ژلاتینی‌شدن Gelatinization temperature
بلوک Block	2	11.490*	108.932**	0.059^{ns}
ژنوتیپ Genotype	20	12.095**	85.793**	3.777**
والدین Parent	5	19.972**	198.370**	6.694**
والدین در مقابل تلاقی‌ها Parent V_s Crosses	1	0.432^{ns}	14.325^{ns}	1.119**
تلاقی‌ها Crosses	14	10.117**	50.690**	2.926**
ترکیب‌پذیری عمومی GCA	5	3.963**	30.517**	4.669**
ترکیب‌پذیری خصوصی SCA	9	13.536**	61.898**	1.958**
اشتباه آزمایشی (دای‌آلل) Error (diallel)	40	0.837	5.948	0.077
نسبت بیکر Baker ratio		0.37	0.50	0.83

^{ns}، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

^{ns}, * and ** : Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۵- ترکیب‌پذیری عمومی والدین (روی قطر) و خصوصی هیبریدها (بالای قطر) برای صفت مقدار آمیلوز در روش سوم گاردنر-ابرهارت

Table 5. General combining ability of the parents (on the diagonal) and specific combining ability of the hybrids (above the diagonal) for amylose content based on third method of Gardner and Eberhart

والدین Parents	هاشمی Hashemi	واندانا Vandana	کادوس Kadous	حسنی Hassani	شاه‌پسند Shahpasand	IR36
هاشمی Hashemi	-0.246^{ns}	2.054**	-1.560*	-2.296**	3.097**	-1.294*
واندانا Vandana		-0.380^{ns}	-1.426*	0.012^{ns}	-0.976^{ns}	0.336^{ns}
کادوس Kadous			0.023^{ns}	3.307**	-0.604^{ns}	0.283^{ns}
حسنی Hassani				-0.083^{ns}	-1.607*	0.584^{ns}
شاه‌پسند Shahpasand					-0.433^{ns}	0.090^{ns}
IR36						1.119**

^{ns}، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

^{ns}, * and ** : Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۶- ترکیب‌پذیری عمومی والدین (روی قطر) و خصوصی هیبریدها (بالای قطر) برای صفت قوام ژل در روش سوم گاردنر-ابرهارت

Table 6. General combining ability of the parents (on the diagonal) and specific combining ability of the hybrids (above the diagonal) for gel consistency based on third method of Gardner and Eberhart

والدین Parents	هاشمی Hashemi	واندانا Vandana	کادوس Kadous	حسنی Hassani	شاه‌پسند Shahpasand	IR36
هاشمی Hashemi	-0.458^{ns}	3.771*	-5.188**	-2.958^{ns}	4.729**	-0.354^{ns}
واندانا Vandana		0.021^{ns}	3.167^{ns}	0.812^{ns}	-3.583*	-4.167*
کادوس Kadous			1.312^{ns}	4.521*	-0.375^{ns}	-2.125^{ns}
حسنی Hassani				0.917^{ns}	-4.896**	2.521^{ns}
شاه‌پسند Shahpasand					1.146^{ns}	4.125*
IR36						-2.938**

^{ns}، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

^{ns}, * and ** : Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

برای همه صفات مورد مطالعه، خط رگرسیون W_r روی V_r، محور W_r را در قسمت مثبت قطع نمود (شکل‌های ۱، ۲ و ۳)، به این مفهوم که این صفات تحت تأثیر اثر غالبیت ناقص ژن‌ها هستند. معنی‌دار بودن میانگین مربعات W_r+V_r نیز نشان داد که هر سه صفت مورد مطالعه توسط آثار غالبیت ژن‌ها کنترل می‌شوند (جدول ۹). پراکنش والدین در امتداد خط رگرسیون در صفت مقدار آمیلوز (شکل ۱) نشان داد که نزدیکترین والدین به محل برخورد خط رگرسیون با محور W_r، ارقام کادوس و IR36 هستند و بنابراین این ارقام دارای حداکثر تعداد ژن‌های غالب برای کنترل مقدار آمیلوز می‌باشند. در مقابل، بیشترین فاصله از محل برخورد خط را رقم هاشمی داشت و از این‌رو دارای حداکثر تعداد ژن‌های مغلوب بود. نزدیک بودن مختصات ارقام کادوس و IR36 نشان‌دهنده شباهت آن‌ها به یکدیگر از نظر مقدار آمیلوز بود. علامت منفی r یا ضریب همبستگی بین P_r و W_r+V_r (جدول ۱۰) نیز نشان داد که آلل‌های افزاینده صفت مقدار آمیلوز غالب بودند.

برای صفت قوام ژل، نزدیکترین والد به محل برخورد خط رگرسیون با محور W_r، رقم شاه‌پسند و دورترین والد، رقم واندانا بود (شکل ۲). از این‌رو، رقم شاه‌پسند حداکثر تعداد ژن‌های غالب و رقم واندانا حداکثر تعداد ژن‌های مغلوب را برای کنترل قوام ژل داشتند. مختصات مشابه ارقام کادوس و شاه‌پسند، بیانگر شباهت آنها از نظر قوام ژل بود. ارقام هاشمی و حسنی نیز شباهت زیادی از نظر این صفت داشتند. علامت مثبت ضریب همبستگی (r) برای این صفت نشان دهنده مغلوب بودن آلل‌های افزاینده در صفت قوام ژل بود (جدول ۱۰).

پراکنش والدین در امتداد خط رگرسیون برای صفت دمای ژلاتینی‌شدن نیز نشان داد که رقم واندانا نزدیکترین والد و ارقام حسنی و IR36 دورترین والدین به محل برخورد خط رگرسیون با محور W_r بودند و بنابراین، رقم واندانا حداکثر تعداد ژن‌های غالب و ارقام حسنی و IR36 حداکثر تعداد ژن‌های مغلوب را برای کنترل دمای ژلاتینی‌شدن داشتند (شکل ۳). ضریب همبستگی برای این صفت نیز مثبت بود (جدول ۱۰) و نشان داد که آلل‌های افزاینده دمای ژلاتینی‌شدن مغلوب بودند.

جدول ۷- ترکیب‌پذیری عمومی والدین (روی قطر) و خصوصی هیبریدها (بالای قطر) برای صفت دمای ژلاتینی شدن در روش سوم گاردنر-ابرهارت

Table 7. General combining ability of the parents (on the diagonal) and specific combining ability of the hybrids (above the diagonal) for gelatinization temperature based on the third method of Gardner and Eberhart

والدین Parents	هاشمی Hashemi	واندانا Vandana	کادوس Kadous	حسنی Hassani	شاه‌پسند Shahpasand	IR36
هاشمی Hashemi	0.058^{ns}	-0.150^{ns}	0.089^{ns}	-0.133^{ns}	-0.073^{ns}	0.267^{ns}
واندانا Vandana		-0.038^{ns}	0.519^{*}	-0.423^{*}	-0.09^{ns}	0.144^{ns}
کادوس Kadous			-0.778^{**}	-1.184^{**}	0.092^{ns}	0.483^{*}
حسنی Hassani				0.775^{**}	1.353^{**}	0.387^{*}
شاه‌پسند Shahpasand					-0.615^{**}	-1.283^{**}
IR36						0.597^{**}

^{ns}، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

^{ns}, * and ** : Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

پارامترهای ژنتیکی و شاخص‌های آماری برآورد شده برای صفات مقدار آمیلوز، قوام ژل و دمای ژلاتینی‌شدن در جدول ۱۰ ارایه شده است. نسبت ژن‌های دارای آثار مثبت و منفی در والدین ($\frac{H_2}{4H_1}$) برای صفات مقدار آمیلوز و قوام ژل نشان داد که فراوانی آلل‌های غالب و مغلوب در مکان‌های ژنی مختلف مساوی نیست. هم‌چنین این نسبت برای دمای ژلاتینی‌شدن بیشتر از ۰/۲۵ بود که می‌تواند به دلیل مقدار کم واریانس غالبیت (H_1) باشد. برآورد میانگین درجه غالبیت ($\frac{1}{4}\sqrt{\frac{H_1}{D}}$) نیز مانند نتایج تجزیه گرافیکی (شکل‌های ۱، ۲ و۳) نشان داد که مقدار آمیلوز، قوام ژل و دمای ژلاتینی شدن توسط اثر غالبیت ناقص ژن‌ها کنترل می‌شوند. نسبت $\frac{h^2}{H_2}$ نشان داد که تقریباً یک گروه ژنی دارای اثر غالبیت، کنترل صفات مقدار آمیلوز و دمای ژلاتینی‌شدن را بر عهده دارد، در حالی که برای صفت قوام ژل، گروه ژنی دارای آثار غالبیت برآورد نشد. برآورد نسبت ژن‌های غالب و مغلوب در والدین ($\frac{0.25\sqrt{4DH_1}+0.5F}{0.25\sqrt{4DH_1}-0.5F}$) نیز نشان داد که برای صفت مقدار آمیلوز، فراوانی ژن‌های مغلوب بیشتر از ژن‌های غالب بود، در حالی که برای صفات قوام ژل و دمای ژلاتینی‌شدن، فراوانی ژن‌های غالب بیشتر از ژن‌های مغلوب بود.

برآورد وراثت‌پذیری خصوصی صفات مورد نظر (جدول ۱۰) نشان داد که وراثت‌پذیری خصوصی صفات مقدار آمیلوز، قوام ژل و دمای ژلاتینی‌شدن نسبتاً بالا بود و نشان داد که اگرچه آثار غیر افزایشی ژن‌ها در کنترل این صفات موثر است، اما نقش اثر افزایشی ژن‌ها بیشتر از آثار غیرافزایشی ژن‌ها است و بنابراین، پتانسیل انتخاب برای این صفات در جمعیت مورد مطالعه بالا وجود دارد، به طوری که با انتخاب ژنوتیپ‌های برتر از نظر این صفات می‌توان به اصلاح جمعیت مورد نظر پرداخت و میانگین جمعیت را از نظر کیفیت پخت بهبود بخشید. برآورد وراثت‌پذیری خصوصی برای مقدار آمیلوز با روش هیمن نشان داد که این صفت به وسیله آثار افزایشی ژن‌ها کنترل می‌شود، در حالی که برآورد نسبت بیکر حاکی از نقش آثار غیرافزایشی در کنترل مقدار آمیلوز داشت. تفاوت این دو روش احتمالاً به دلیل انجام تجزیه دای‌آلل کامل در روش هیمن و تجزیه دای‌آلل ناقص در روش گاردنر- ابرهارت باشد.

جدول ۸- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در ارقام برنج بر اساس تلاقی‌های دای‌آلل کامل

Table 8. Analysis of variance for the studied traits in rice varieties based on complete diallel crosses

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square		
		مقدار آمیلوز (٪) Amylose content (%)	قوام ژل (میلی‌متر) Gel consistency (mm)	دمای ژلاتینی‌شدن Gelatinization temperature
بلوک Block	2	21.7851**	115.2471*	0.1982^{ns}
ژنوتیپ Genotype	35	10.1666**	108.2596**	3.7704**
اشتباه آزمایشی Error	70	2.4929	24.4566	0.2383
ضریب تغییرات (٪) CV (%)	-	6.0236	8.9810	16.0361

^{ns}، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

^{ns}, * and ** : Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۹- نتایج آزمون مقدماتی هیمن، آزمون t (H_0:β=1) و (H_0:β=0) برای ضریب رگرسیون W_r روی V_r و آزمون آثار اپیستازی (W_r-V_r) و غالبیت ژن‌ها (W_r+V_r) در صفات مورد مطالعه

Table 9. Results of preliminary test of Hayman, t test (H_0:β=1) and (H_0:β=0) for regression coefficients of W_r /V_r and the test of epistatic (W_r-V_r) and dominance gene effects (W_r+V_r) for the studied traits

صفات مطالعه شده The studied traits	ضریب رگرسیون (b)	t-test (H_0:β=1)	t-test (H_0:β=0)	MS (W_r-V_r)	MS (W_r+V_r)
مقدار آمیلوز (٪) Amylose content (%)	1.068	-0.181^{ns}	2.841*	1.599^{ns}	13.526*
قوام ژل (میلی‌متر) Gel consistency (mm)	0.703	0.492^{ns}	1.163^{ns}	663.8^{ns}	2180.4*
دمای ژلاتینی‌شدن Gelatinization temperature	1.031	-0.396^{ns}	13.249**	0.008^{ns}	0.750*

^{ns}، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

^{ns}, * and ** : Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

یومادوی و همکاران (Umadevi *et al.*, 2010) نیز نقش اثر افزایشی ژن‌ها را برای قوام ژل و مقدار آمیلوز بیان کردند. هم‌چنین نتایج تحقیق کیانی و همکاران (Kiani *et al.*, 2009a) و ونکاتا سوبایا و همکاران (Venkata Subbaiah *et al.*, 2011) نشان داد که دمای ژلاتینی‌شدن و مقدار آمیلوز تحت کنترل اثر افزایشی ژن‌ها می‌باشند که مطابق با نتایج این پژوهش می‌باشد. در مقابل، شوشی دزفولی و هنرنژاد (Shoshi-Dezfoli and Honarnezhad, 2005)، اسفالیزا و همکاران (Asfaliza *et al.*, 2012) و جنانامالار و ویوکاناندان (Gnanamalar

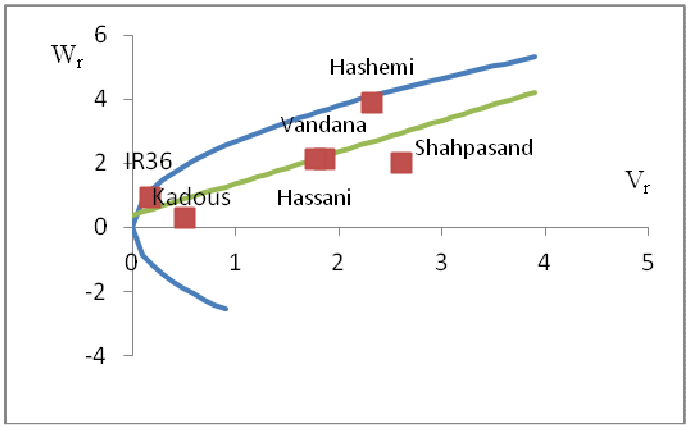
and Vivekanandan, 2013) اثر غیرافزایشی ژن‌ها را در کنترل صفت قوام ژل و قربانی‌پور و ربیعی (Ghorbanipour and Rabiei, 2011) اثر غالبیت کامل ژن‌ها را در کنترل صفت دمای ژلاتینی‌شدن مؤثر دانستند که با نتایج این تحقیق مغایرت داشت. دلیل این مغایرت، می‌تواند به خاطر تفاوت در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه و شرایط محیطی محل اجرای آزمایش باشد.

در مجموع، نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که صفات مرتبط با کیفیت پخت دانه در جمعیت مورد مطالعه، تحت کنترل آثار غالبیت ناقص ژن‌ها بودند و هر دو اثر افزایشی و غیرافزایشی ژن‌ها در کنترل این صفات نقش داشتند، اما سهم آثار افزایشی ژن‌ها نسبتاً بیشتر بود. بنابراین، برای اصلاح جمعیت مورد مطالعه از نظر خصوصیات کیفیت پخت دانه، ابتدا بهتر است با انتخاب نتاج برتر از آثار افزایشی ژن‌ها استفاده کرد و سپس با تلاقی نتاج برتر در نسل‌های بالاتر از آثار غالبیت ژن‌ها نیز استفاده نمود. علاوه بر آن، ارقام IR36، کادوس و شاه‌پسند و تلاقی‌های هاشمی×شاه‌پسند، کادوس×حسنی، کادوس×IR36 و حسنی×شاه‌پسند دارای مقادیر مناسبی برای صفات مورد مطالعه بودند و برای اصلاح این صفات پیشنهاد می‌شوند.

جدول ۱۰- پارامترهای ژنتیکی کنترل کننده صفات مورد مطالعه در روش هیمن

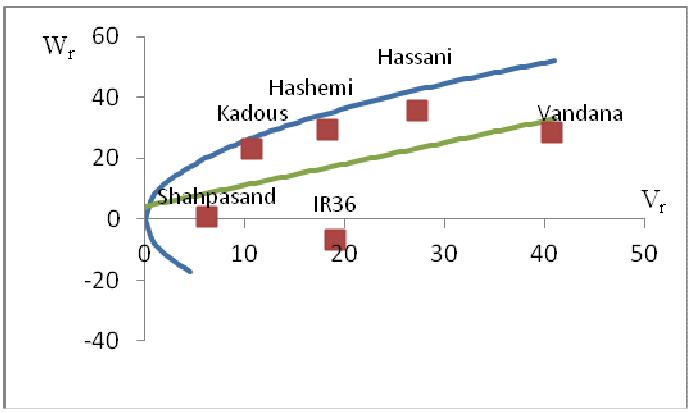
Table 10. Genetic parameters controlling the studied traits in Hayman method

فراسنجه‌های ژنتیکی The genetic parameters	مقدار آمیلوز (٪) Amylose content (%)	قوام ژل (میلی‌متر) Gel consistency (mm)	دمای ژلاتینی‌شدن Gelatinization temperature
واریانس افزایشی D	5.6477	57.1310	2.1522
واریانس غالبیت H_1	10.2805	199.2085	0.3737
نسبتی از واریانس غالبیت H_2	6.8981	158.3606	0.5185
کوواریانس آثار افزایشی با غالبیت F	9.5458	93.0369	0.3961
غالبیت ژن‌های با حرف بزرگ یا کوچک h^2	-1.8033	4.6469	0.0601
تفاضل واریانس‌های غالبیت H_1-H_2	3.3824	40.8480	-0.1448
نسبت ژن‌های دارای اثر مثبت و منفی $\frac{H_2}{4H_1}$	0.1677	0.1987	0.3469
میانگین درجه غالبیت $\frac{1}{4}\sqrt{\frac{H_1}{D}}$	0.3373	0.4668	0.1042
تعداد گروه‌های ژنی دارای اثر غالبیت $\frac{h^2}{H_2}$	-0.2614	0.0293	0.1159
همبستگی بین آرایش غالبیت و میانگین والد مشترک $r_{(Pr,Wr+Vr)}$	-0.1010	0.2170	0.5608
ضریب تشخیص r^2	0.0102	0.0471	0.3145
نسبت ژن‌های غالب به مغلوب در والدین $\frac{0.25\sqrt{4DH_1}+0.5F}{0.25\sqrt{4DH_1}-0.5F}$	-8.9123	14.637	2.5824
وراثت‌پذیری خصوصی h_n^2	0.7547	0.5927	0.9105



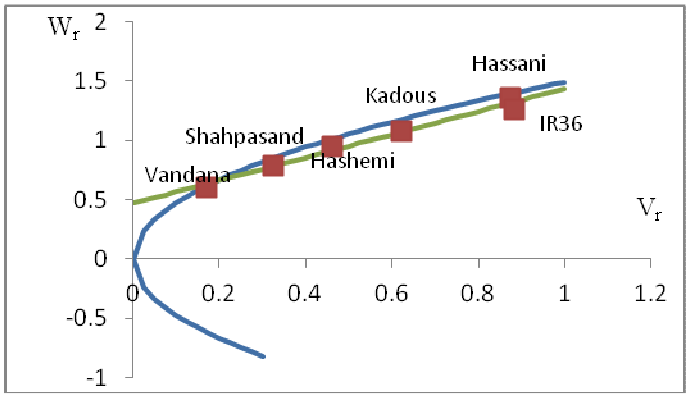
شکل ۱- خط رگرسیون W_r روی V_r و سهمی محدود کننده W_r^2 به همراه پراکنش والدین برای صفت مقدار آمیلوز

Figure 1. Regression of W_r/V_r, limiting parabola of W_r^2 and distribution of the parents for amylose content



شکل ۲- خط رگرسیون W_r روی V_r و سهمی محدود کننده به همراه پراکنش والدین برای صفت قوام ژل

Figure 2. Regression of W_r/V_r, limiting parabola of W_r^2 and distribution of the parents for gel consistency



شکل ۳- خط رگرسیون W_r روی V_r و سهمی محدود کننده W_r^2 به همراه پراکنش والدین برای صفت دمای ژلاتینی‌شدن

Figure 3. Regression of W_r/V_r, limiting parabola of W_r^2 and distribution of the parents for gelatinization temperature

سپاسگزاری

پژوهش حاضر با حمایت مالی معاونت آموزشی و تحصیلات تکمیلی و معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه گیلان انجام شده است که بدین وسیله از آنها قدردانی می‌شود. از مدیریت دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان که تجهیزات آزمایشگاهی و فنی مورد نیاز این پژوهش را فراهم کردند، سپاسگزاری می‌شود. نویسندگان مقاله از آقای مهندس حسام‌الدین حسینی مسئول آزمایشگاه ژنومیکس دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان و سرکار خانم مهندس سیده سهیلا زربافی دانشجوی دکترای اصلاح نباتات دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان که همکاری صمیمانه‌ای در اجرای این پژوهش داشتند، تشکر و قدردانی می‌کنند.

References

Asfaliza, R., Rafii, M. Y., Saleh, G., Omar, O. and Puteh, A. 2012. Combining ability and heritability of selected rice varieties for grain quality traits. **Australian Journal of Crop Science** 6 (12): 1718-1723.

Cagampang, G. B., Perez, C. M. and Juliano, B. O. 1973. A gel consistency test for eating quality of rice. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 24: 1589-1594.

FAO. 2010. FAO Stat, Agriculture and Food Trade. Retrieved June 10, 2012, from www.faostat.fao.org.

Gardner, C. O. and Eberhart, S. A. 1966. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. **Biometrics** 22: 439-452.

Ghorbanipour, A. and Rabiei, B. 2011. Genetic analysis of physical and chemical properties of grain quality in rice varieties. **Iranian Journal of Crop Sciences** 42 (2): 339-347. (In Persian).

Gnanamalar, R. P. and Vivekanandan, P. 2013. Genetic architecture of grain quality characters in rice (*Oryza sativa* L.). **European Journal of Experimental Biology** 3 (2): 275-279.

Hayman, B. I. 1954. The theory and analysis of diallel crosses. **Genetics** 39: 789-809.

Honarnezhad, R., Tarang, A. and Sheikh Hossienian, A. 1999. Genetic analysis of quantitative and determining quality traits in F_2 populations of rice (*Oryza sativa* L.). **Journal of Agricultural Science and Natural Resources** 2 (2): 17-28. (In Persian).

Juliano, B. O. 1971. A simplified assay of milled rice amylose. **Cereal Science Today** 16: 334-339.

Kiani, Sh., Babaeian Jelodar, N., Ranjbar, Gh., Kazemitabar, S. K. and Nowroozi, M. 2009a. Study of genetic parameters related to endosperm in rice crosses. **Journal of Agricultural Science and Natural Resources** 13 (47): 505-517. (In Persian).

Kiani, Sh., Kazemitabar, S. K., Ranjbar, Gh., Babaeian Jelodar, N. and Nowroozi, M. 2009b. Genetic analysis of gelatinization temperature and amylose content in rice (*Oryza sativa* L.). **Seed and Plant Improvement Journal** 25 (2): 231-243. (In Persian).

Little, R. R., Hilder, G. B. and Dawson, E. H. 1958. Differential effect of dilute alkali on 25 varieties of milled white rice. **Cereal Chemistry** 35: 111-126.

Mahalingam, L. and Nadarajan, N. 2010. Genetic analysis of grain quality characteristics of two line rice hybrids. **Electronic Journal of Plant Breeding** 1 (4): 983-988.

Nkori Kibanda, J. M. and Luzi-Kihupi, A. 2007. Influence of genetic and genotype×environment interaction on quality of rice grain. **African Crop Science Journal** 15 (4): 173-182.

Rabiei, B., Valizadeh, M., Ghareyazie, B., Moghaddam, M. and Ali, A. J. 2004. Identification of QTLs for rice grain size and shape of Iranian cultivars using SSR markers. **Euphytica** 137 (3): 325-332.

Rabiei, B., Zarbafi, S. S. and Allahgholipour, M. 2014. Genetic analysis of appearance and cooking quality traits in different rice cultivars. **Iranian Journal of Field Crop Science** 44 (4): 597-612. (In Persian).

Rahim Sorosh, H., Mesbah, M., Hosseinzade, A. and Bozorgipour, R. 2004. Genetic and phenotypic variability and cluster analysis for quantitative and qualitative traits of rice. **Seed and Plant** 20 (2): 167-182. (In Persian).

SAS. 2002. SAS/STAT user's guide. Version 9. SAS Institute.

Sharifi, P., Dehghani, H., Momeni, A. and Moghaddam, M. 2010. Determination of gene action and genetic parameters estimation of some traits related to the quality of rice cooking using by diallel method. **Iranian Journal of Crop Sciences** 12 (2): 152-169. (In Persian).

Shoshi Dezfoli, A. A. and Honarnezhad, R. 2005. Determination of gene action and heritability of some traits related to rice quality using by diallel graphical analysis. **Iranian Journal of Agriculture Science** 36 (4): 813-818. (In Persian).

Tabkhkar, N., Rabiei, B. and Sabouri, A. 2012. Genetic diversity of rice cultivars by microsatellite markers tightly linked to cooking and eating quality. **Australian Journal of Crop Science** 6 (6): 980-988.

Umadevi, M., Veerabadhiran, P., Manonmani, S. and Shanmugasundaram, P. 2010. Physico-chemical and cooking characteristics of rice genotypes. **Electronic Journal of Plant Breeding** 1 (2): 114-123.

Venkata Subbaiah, P., Reddi Sekhar, M., Reddy, K. H. P. and Eswara Reddy, N. P. 2011. Variability and genetic parameters for grain yield and its components and kernel quality attributes in CMS based rice hybrids (*Oryza sativa* L.). **International Journal of Applied Biology and Pharmaceutical Technology** 2 (3): 603-609.

Evaluating of gene actions controlling grain cooking quality related traits in rice varieties

Babak Rabiei[1*] and Somayyeh Ali-Hossein Tayefeh[2]

1 and 2. Prof. and M. Sc. Student, respectively, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran

(Received: January 18, 2014- Accepted: June 16, 2014)

Abstract

To estimate the gene action and heritability of traits related to cooking quality in rice varieties, F_2 generations derived from diallel crosses of six rice varieties including Hassani, Shahpasand, Kadous, Vandana, Hashemi and IR36, together with their parents were assessed in a randomized complete block design with three replications in research field of Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, in 2012. Result of diallel analysis based on the second method of Gardner and Eberhart showed that variety and heterosis effects were significant at 1% probability level for all studied traits indicating additive and dominance variances, respectively. Average heterosis was significant for gelatinization temperature showing significant differences between average parents and hybrids, but was not significant for amylase content and gel consistency. In contrast, specific heterosis was significant for all studied traits. Result of diallel analysis on the basis of third method of Gardner and Eberhart demonstrated that differences among parents and among crosses were significant for all measured traits indicating general and specific combining ability for varieties, while the effect of parents versus crosses (heterosis effect) was not significant for amylase content and gel consistency that confirmed the results of the second method of Gardner and Eberhart. Estimation of Baker ratio showed the higher non-additive than additive effects for amylase content, approximately equal proportion of the additive and non-additive effects for gel consistency and the higher additive than non-additive effects for gelatinization temperature. The graphical analysis of Hayman method showed that all measured traits were affected by partial dominance effects and relatively high narrow-sense heritability indicated higher proportion of additive gene effects for controlling the studied traits. Totally, the results of this research showed that to improve grain cooking quality in the studied population, can firstly be used the additive gene effects via selecting the higher quality genotypes and then the dominance gene effects is utilized by hybridization of the superior genotypes. Furthermore, IR36, Kadous and Shahpasand varieties and Hashemi×Shahpasand, Kadous×Hassani, Hassani×Shahpasand and Kadous×IR36 Crosses had the suitable values for grain cooking quality related traits and are recommended to improve these traits.

Keywords: Combining ability, Diallel analysis, Grain quality characteristics, Heritability, Heterosis

*Corresponding author: rabiei@guilan.ac.ir