

اثر ژنتیکی برخی از صفات کیفیت تغذیه‌ای در برنج

Genetic Effects of some Nutrient Quality Traits in Rice

پیمان شریفی^۱ و علیرضا اسلامی^۲

۱- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد رشت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، رشت

۲- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد رشت، گروه باغبانی، رشت

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۴/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۱/۲۷

چکیده

شریفی، پ. و اسلامی، ع. ۱۳۹۱. اثر ژنتیکی برخی از صفات کیفیت تغذیه‌ای در برنج. مجله به‌نژادی نهال و بذر ۲۸-۱: ۴۶۱-۴۴۵.

هفت رقم برنج به نام‌های حسنی، دیلمانی، سپیدرود، شاه‌پسند، صالح، ندا، IRFAON215 و بذره‌های حاصل از تلاقی نیمه‌دای آلل آن‌ها در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۸۸ کاشته شدند. صفات میزان پروتئین و مقدار عناصر فسفر، پتاسیم، آهن، روی و منگنز در بذره‌های حاصل از آن‌ها اندازه‌گیری شد. نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده وجود تفاوت‌های معنی‌دار بین ژنوتیپ‌ها برای تمام صفات مورد مطالعه بود. ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی برای تمام صفات معنی‌دار بود. پایین بودن نسبت ژنتیکی و نسبت پایین اثر ترکیب‌پذیری عمومی به اثر ترکیب‌پذیری خصوصی نشان‌دهنده سهم بیشتر اثر غیرافزایشی ژن‌ها در مقایسه با اثر افزایشی در کنترل تمام صفات بود. وراثت‌پذیری عمومی برای صفات میزان پروتئین و مقدار عناصر پتاسیم، آهن، روی و منگنز بالا برآورد شد. ارقام بومی حسنی، دیلمانی و شاه‌پسند مقادیر بالایی از پروتئین و مقدار عناصر پتاسیم، فسفر، آهن و روی داشتند و از ترکیب‌پذیری عمومی بالایی نیز برخوردار بودند، بنابراین می‌توان از آن‌ها به عنوان مواد اصلاحی مناسب برای دستیابی به ارقامی با میزان بالای این صفات استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: برنج، تجزیه دی‌آلل، ترکیب‌پذیری عمومی، ترکیب‌پذیری خصوصی، پروتئین، عناصر ریزمغذی.

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) پس از گندم مهم‌ترین غله است و تولید آن بخش قابل توجهی از برنامه تأمین غذایی و خودکفایی را شامل می‌شود (Juliano, 1990). در برنامه به‌نژادی برنج، کیفیت دانه به عنوان یک هدف اصلاحی مهم، مانند سایر اهداف با اهمیت مثل عملکرد بالای دانه و مقاومت به آفات و بیماری‌ها مورد توجه است (Dela and Khush, 2000). کیفیت دانه در برنج ویژگی پیچیده‌ای است و شامل کیفیت تبدیل، کیفیت ظاهری دانه، کیفیت پخت، کیفیت تغذیه‌ای و کیفیت خوراک است (Traore, 2005). نشاسته تقریباً ۹۰٪ از وزن خشک برنج سفید را تشکیل می‌دهد و صفاتی مانند کیفیت پخت و خوراک برنج عمدتاً توسط اجزای نشاسته تحت تأثیر قرار می‌گیرند (Lu et al., 2008; Bao et al., 2004; Gregoria et al., 2000).

در بین گرانول‌های نشاسته که شامل آمیلوز و آمیلوپکتین هستند، مقادیر کمی اجزای متنوع مانند پروتئین‌ها، چربی‌ها و قندهای پنچ کربنی نیز وجود دارند، که صفات مرتبط با کیفیت تغذیه‌ای را فراهم می‌آورند (Lineback et al., 1986). پروتئین پس از نشاسته عمده‌ترین جزء تشکیل دهنده دانه برنج است و محتویات آن در ارقام مختلف دارای تفاوت بوده و از ۵ تا ۱۵/۴ درصد در برنج سفید متغیر گزارش شده است. علاوه بر پروتئین، مقادیر مختلفی از عناصر معدنی مانند

پتاسیم (K)، مس (Cu)، آهن (Fe)، مولیبدن (Mo)، منگنز (Mn)، سدیم (Na)، روی (Zn)، منیزیم (Mg)، کلسیم (Ca) و فسفر (P) که از عناصر ضروری بدن انسان هستند و وظایف مهمی را بر عهده دارند نیز در ارقام مختلف برنج وجود دارد (Zhang et al., 2005a). متوسط میزان پتاسیم، منگنز و مس در ارقام Indica به طور معنی‌داری نسبت به ارقام Japonica کمتر است و حال آن‌که برای سایر عناصر اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (Jiang et al., 2008). تعدادی از محققین ارتباط بین محتوی عناصر معدنی و کیفیت پخت را مورد مطالعه قرار داده‌اند و همبستگی مثبت معنی‌دار بین قوام ژل و محتوی عناصر K، Cu، Mn و هم‌چنین میزان آمیلوز و محتوی عناصر K، Na، Mg، Cu و Mn در دانه‌های برنج را گزارش کرده‌اند (Zhang et al., 2005a; Jiang et al., 2008; Zeng et al., 2005). آنان‌دان و همکاران (Anandan et al., 2011) و گراهام و همکاران (Graham et al., 1999) نیز رابطه مثبت و معنی‌دار بین محتوی عناصر Zn، Fe، Mn و Cu را با کیفیت پخت نشان دادند.

اصلاح ارقام با کیفیت مطلوب یکی از اهداف عمده در پروژه‌های به‌نژادی محسوب می‌شود که به اطلاعات جامعی از ساختار ژنتیکی والدین مورد تلاقی و هم‌چنین ترکیب‌پذیری آن‌ها نیاز دارد. دستیابی به چنین اطلاعاتی از طریق روش‌های ژنتیک کمی مانند تلاقی‌های دای‌آلل، تجزیه میانگین نسل‌ها

گزارش کردند. شی و همکاران (Shi *et al.*, 1999a) نشان دادند که در کنترل ژنتیکی میزان پروتئین اثر ژنتیکی اصلی و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط نقش دارند. ژانگ و همکاران (Zhang *et al.*, 2005a)؛ Zhang *et al.*, 2004) با استفاده از تلاقی دای آلل وجود اثر مادری و سیتوپلاسمی را در کنترل ژنتیکی عناصر معدنی Fe، Zn، Mn و P ملاحظه کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نیز نشان داد که وراثت پذیری خصوصی برای صفات Fe، Zn، Mn و P بالا بود.

با توجه به این که شناخت ساختار ژنتیکی ارقام مورد تلاقی برای موفقیت یک پروژه به‌نژادی حایز اهمیت است، هدف از تحقیق حاضر، تعیین چگونگی عمل ژن‌ها در کنترل ژنتیکی صفات و برآورد ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی برای والدین و هیبریدهای حاصل از تلاقی آن‌ها بود.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی مورد استفاده در این تحقیق ۲۸ ژنوتیپ برنج شامل والدین و F_۱ حاصل از تلاقی یک‌جانبه آن‌ها به صورت دای آلل بود. ارقام والدینی شامل سه رقم بومی (حسنی، شاه‌پسند و دیلمانی)، سه رقم اصلاح شده (سپیدرود، ندا و صالح) و یک رقم خارجی (IRFAON215) بودند که در سال ۱۳۸۷ در مزرعه آزمایشی مؤسسه تحقیقات برنج کشور (رشت)، با طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و

و سایر روش‌های ژنتیک کمی امکان‌پذیر است. اطلاع از میزان اجزای ژنتیکی و ترکیب‌پذیری یکی از پیش‌نیازهای اصلی برای به‌کارگیری ارقام در پروژه‌های بهره‌گیری از هتروزیس و یا استفاده از آن‌ها در برنامه‌های گزینش به شمار می‌رود (Griffing, 1956a, b). مطالعاتی در ارتباط با درک چگونگی توارث صفات مختلف برنج با استفاده از مطالعات ژنتیک کمی انجام شده است. در این راستا در تحقیقی شریفی و همکاران (Sharifi *et al.*, 2010a) به مطالعه نحوه توارث تعدادی از صفات مورفولوژیک در برنج پرداختند و به نقش اثر افزایشی ژن‌ها در کنترل ژنتیکی شاخص برداشت و سهم اثر افزایشی و غیرافزایشی در کنترل عملکرد دانه اشاره کردند. در ارتباط با بررسی ژنتیکی صفات مرتبط با کیفیت پخت در مطالعه‌ای نشان داده شد که در کنترل ژنتیکی میزان آمیلوز و قوام ژل اثر افزایشی و غالبیت نقش دارند (Sharifi *et al.*, 2010b). کیانی و همکاران (Kiani *et al.*, 2009) در مطالعه‌ای نشان دادند که صفات میزان آمیلوز و دمای ژلاتینه شدن توسط یک ژن اصلی به همراه چندین ژن تغییردهنده کنترل می‌شوند. گزارش‌های محدودی در ارتباط با کنترل ژنتیکی صفات مرتبط با کیفیت تغذیه‌ای برنج وجود دارد. وون و همکاران (Won *et al.*, 2002) در بررسی اثر ژنتیکی میزان پروتئین، نقش مهم‌تر اثر غالبیت را در کنترل این صفت در مقایسه با اثر افزایشی

کالیبراسیون دستگاه جذب اتمی به کمک محلول‌های استاندارد، مقدار نمونه‌ها توسط دستگاه قرائت شد (Huang, 1995).

تجزیه دای آلل با روش اول گریفینگ (Griffing, 1956a) با استفاده از برنامه DIALLEL-SAS (Zhang *et al.*, 2005b) انجام شد. مجموع مربعات ژنوتیپ‌ها به اجزای ترکیب‌پذیری عمومی (GCA) و ترکیب‌پذیری خصوصی (SCA) تفکیک شدند و معنی دار بودن آن‌ها مورد آزمون قرار گرفت.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس حاکی از وجود تفاوت معنی دار بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه برای تمام صفات بود، از این رو تجزیه داده‌ها به روش گریفینگ در مورد آن‌ها انجام شد (جدول ۱). معنی دار بودن میانگین مربعات ژنوتیپ‌ها همچنین نشان‌دهنده وجود تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بود. نتایج تجزیه واریانس به روش گریفینگ حاکی از معنی دار بودن اثر ترکیب‌پذیری عمومی و ترکیب‌پذیری خصوصی برای هر شش صفت مورد مطالعه بود.

درصد پروتئین: مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها و هیبریدهای حاصل از تلاقی آن‌ها نشان داد که دو رقم شاه‌پسند و سپیدرود به ترتیب بیشترین (۸/۳ درصد) و کمترین (۵/۵۴ درصد) میزان پروتئین را بین ارقام والدینی دارا بودند. با توجه به مقدار کمترین اختلاف معنی دار

۱۶ دقیقه شمالی با ارتفاع ۷ متر پایین‌تر از سطح دریای آزاد و بافت خاک سیلتی رسی با $pH = 6/5$ کاشته و به صورت طرح نیمه دای آلل با یک‌دیگر تلاقی داده شدند. در سال ۱۳۸۸ بذر ۲۱ هیبرید حاصل از تلاقی نیمه دای آلل به همراه هفت والد آن‌ها در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در کرت‌هایی به طول ۵ و عرض ۱ متر با فواصل 25×25 سانتی‌متر بین بوته‌ها در سه تکرار کاشته شدند. هر ژنوتیپ در چهار ردیف کاشته شد و در ارزیابی‌ها از دو ردیف میانی استفاده شد. نمونه‌های بذر حاصل از ۲۸ ژنوتیپ در آزمایشگاه پس از پوست‌کنی، تبدیل به برنج سفید و سپس آرد شدند. پس از استحصال آرد برنج، میزان پروتئین و محتوی عناصر معدنی آهن، پتاسیم، منگنز، روی و فسفر در آن‌ها اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری میزان پروتئین ابتدا از روش کجلدال میزان نیتروژن برآورد شد (Anonymous, 1992) و سپس از ضرب مقدار نیتروژن در ضریب ۵/۹۵ مقدار پروتئین مشخص شد (Shi *et al.*, 1999b). برای اندازه‌گیری فسفر از دستگاه اسپکتروفتومتر و به روش کالیمتری (رنگ زرد مولیبدات و انادات در طول موج ۴۷۰ نانومتر) بعد از هضم نمونه‌ها استفاده شد (Huang, 1995). برای اندازه‌گیری محتوی عناصر پتاسیم، آهن، منگنز و روی از دستگاه جذب اتمی استفاده شد (Anonymous, 2000). عصاره‌گیری از نمونه‌ها به روش هضم تر انجام و پس از

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات مرتبط با کیفیت تغذیه‌ای برنج در تلاقی نیمه‌دای آلی ۷×۷
 Table 1. Analysis of variance for a 7× 7 partial diallel of rice nutrient quality traits

S.O.V.	منابع تغییرات	درجه آزادی df.	میانگین مربعات MS					
			پروتئین Protein	فسفر P	پتاسیم K	آهن Fe	روی Zn	منگنز Mn
Replication	تکرار	2	0.176 ^{ns}	0.0024 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.001 ^{ns}	27.19 ^{ns}	0.03 ^{ns}
Genotype	ژنوتیپ	27	2.208 ^{**}	0.0075 [*]	0.0008 ^{**}	4.551 ^{**}	33.22 ^{**}	2.15 ^{**}
GCA	ترکیب پذیری عمومی	6	2.980 ^{**}	0.0147 ^{**}	0.0009 ^{**}	2.088 ^{**}	38.04 ^{**}	3.98 ^{**}
SCA	ترکیب پذیری خصوصی	21	1.210 ^{**}	0.0083 [*]	0.0006 ^{**}	4.149 ^{**}	25.91 ^{**}	1.84 ^{**}
Error	خطا	54	0.132	0.0036	0.0001	0.241	6.86	0.17
CV (%)	ضریب تغییرات (درصد)		5.05	10.60	6.43	24.13	41.89	26.85

ns, * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪.

ns, * and **: Not significant, significant at 5% and 1% levels of probability, respectively.

را با یک‌دیگر داشتند (جدول ۲). این مقدار پروتئین مطابق با سایر تحقیقات است که در آن‌ها میزان پروتئین در برنج سفید حدود ۱۰-۱۵٪ گزارش شده است (Won et al., 2002)؛ (Okoko and Onyekwere, 2010).

(LSD)، تفاوت دو رقم والدینی فوق معنی‌دار بود (جدول ۲). در بین نتایج، تلاقی‌های ندا × IRFAON215 و شاه‌پسند × حسنی به ترتیب با ۵/۲۷ و ۹/۱۱ درصد در دو انتها از نظر این صفت قرار داشتند که اختلاف معنی‌داری

جدول ۲- میانگین تعدادی از صفات کیفیت تغذیه‌ای برنج در هفت والد و تلاقی‌های حاصل از آن‌ها
Table 2. Average performance of some nutrient quality traits in seven parents and their crosses in rice

Genotype	ژنوتیپ	پروتئین Protein (%)	فسفر P (%)	پتاسیم K (%)	آهن Fe (mg kg ⁻¹)	روی Zn (mg kg ⁻¹)	منگنز Mn (mg kg ⁻¹)
Shahpasand (SH)	شاه‌پسند (ش)	8.30	0.45	0.13	1.65	12.7	1.95
SH × H	ش × ح	9.11	0.54	0.18	1.25	10.75	1.67
Hassani (H)	حسنی (ح)	7.61	0.53	0.18	1.35	7.25	3.13
SH × SP	ش × س	8.03	0.44	0.14	1.30	4.00	1.71
H × SP	ح × س	7.80	0.42	0.15	1.20	2.55	0.30
Sepidroud (SP)	سپیدرود (س)	5.54	0.55	0.14	1.30	0.58	3.10
SH × N	ش × ن	5.79	0.52	0.14	1.40	2.62	2.15
H × N	ح × ن	7.38	0.40	0.14	1.30	3.55	2.15
SP × N	س × ن	8.27	0.35	0.18	1.35	2.45	3.40
Neda (N)	ندا (ن)	7.99	0.52	0.14	5.85	0.88	1.85
SH × D	ش × د	7.90	0.66	0.17	1.80	7.00	1.90
H × D	ح × د	8.47	0.46	0.17	1.25	9.50	1.45
SP × D	س × د	7.38	0.50	0.18	1.42	10.00	0.12
N × D	ن × د	7.38	0.48	0.13	1.58	10.50	3.03
Deilamani (d)	دیلمانی (د)	8.15	0.49	0.16	2.63	4.90	0.67
SH × SA	ش × ص	8.06	0.46	0.14	1.65	7.50	1.61
H × SA	ح × ص	8.08	0.47	0.17	1.50	17.00	0.13
SP × SA	س × ص	7.29	0.51	0.15	1.95	6.60	1.45
N × SA	ن × ص	6.43	0.44	0.14	2.40	1.13	1.34
D × SA	د × ص	7.61	0.41	0.16	3.00	7.60	0.25
Saleh (SA)	صالح (ص)	7.40	0.48	0.17	1.10	10.50	0.72
SH × IR	ش × IR	6.03	0.54	0.16	1.55	3.90	0.13
H × IR	ح × IR	6.06	0.55	0.20	1.15	7.90	0.39
SP × IR	س × IR	5.83	0.47	0.13	4.10	10.30	2.45
N × IR	ن × IR	5.27	0.47	0.18	1.75	2.35	3.05
D × IR	د × IR	6.00	0.51	0.17	3.75	5.00	0.47
SA × IR	ص × IR	6.43	0.41	0.16	1.35	2.60	2.15
IRFAON215	IR	6.02	0.47	0.20	1.35	3.50	0.80
Mean	میانگین	7.20	0.48	0.16	2.03	6.25	1.55
LSD5%		0.58	0.08	0.016	0.79	4.19	0.67
LSD1%		0.77	0.11	0.021	1.03	5.52	0.88

LSD: Least Significant Difference

LSD: کمترین اختلاف معنی‌دار

می‌دهد این والد مقدار پروتئین را، که اغلب در پروژه‌های به‌نژادی صفت مطلوبی محسوب می‌شود، به نتاج خود منتقل خواهد کرد. از طرف دیگر بیشترین GCA منفی و معنی‌دار مربوط به والد IRFAON-215 (۱/۰۳-) بود.

نتایج بررسی ترکیب‌پذیری خصوصی هیبریدها (جدول ۵) حاکی از معنی‌دار بودن SCA در تعدادی از هیبریدها بود، که بیشترین SCA مثبت و معنی‌دار (۳/۷۳) مربوط به تلاقی‌های اسپیدرود × IRFAON-215 بود. برای استفاده از والدین مورد مطالعه در تحقیق حاضر با توجه به میزان بالای پروتئین در سه رقم بومی شاه‌پسند، دیلمانی و حسنی و همچنین معنی‌دار بودن ترکیب‌پذیری عمومی در این سه رقم، امکان استفاده از سه والد فوق در برنامه‌های به‌نژادی مبتنی بر انتخاب وجود دارد. البته با وجود این که در رقم حسنی میزان پروتئین در مقایسه با دو رقم دیگر پایین‌تر است، میزان بالای ترکیب‌پذیری عمومی برای این والد سبب اهمیت بیشتر این والد در برنامه‌های به‌نژادی می‌شود. از تلاقی شاه‌پسند × حسنی می‌توان در برنامه‌های به‌نژادی برای دستیابی به ارقام هیبرید با میزان بالای پروتئین استفاده کرد.

فسفر: تجزیه دای‌آلل به روش گریفینگ برای مقدار محتوی فسفر نشان‌دهنده معنی‌دار شدن اثر GCA و SCA بود (جدول ۱). مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نشان داد که ژنوتیپ‌های اسپیدرود و IRFAON215 به ترتیب با متوسط ۰/۵۵ و ۰/۴۷ درصد بیشترین

تجزیه دای‌آلل به روش گریفینگ (جدول ۳) موید نقش اثر غیر افزایشی در کنترل ژنتیکی میزان پروتئین بود. با توجه به کوچک بودن نسبت اثر GCA به اثر SCA و همچنین نزدیکی نسبت ژنتیکی به صفر نقش بیشتر اثر غالبیت ژن‌ها در کنترل ژنتیکی این صفت آشکار شد. این نتیجه در تطابق با گزارش وون و همکاران (Won *et al.*, 2002) است که در بررسی اثر ژنتیکی میزان پروتئین نقش مهم‌تر اثر غالبیت را در کنترل این صفت در مقایسه با اثر افزایشی گزارش کردند. همچنین شی و همکاران (Shi *et al.*, 1999a) نیز اثر ژنتیکی اصلی و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط را برای میزان پروتئین مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که در کنترل ژنتیکی میزان پروتئین اثر ژنتیکی اصلی و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط نقش دارند. الکدی و الحیسوی (El-Kady and El-Hissewy, 1999) در تحقیقی اثر دو جزء واریانس ژنتیکی افزایشی و غیرافزایشی را در توارث صفت میزان پروتئین خاطر نشان کردند. در تحقیق حاضر، مقدار متوسط وراثت‌پذیری خصوصی (۰/۶۰) موید نقش بیشتر اثر غالبیت ژن‌ها در کنترل این صفت بود. وراثت‌پذیری عمومی برای این صفت بالا (۰/۸۶) برآورد شد.

نتایج برآورد ترکیب‌پذیری عمومی در جدول ۴ ارائه شده است. ترکیب‌پذیری عمومی برای تمام والدین به جزء رقم صالح معنی‌دار بود. بیشترین GCA مثبت و معنی‌دار متعلق به والد حسنی (۰/۷۰) بود که نشان

جدول ۳- برآورد پارامترهای ژنتیکی برای تعدادی از صفات کیفیت تغذیه‌ای برنج

Table 3. Estimates of genetic parameters for some of nutrient quality traits in rice

Genetic parameters	پارامترهای ژنتیکی	پروتئین Protein (%)	فسفر P (%)	پتاسیم K (%)	آهن Fe (mg kg ⁻¹)	روی Zn (mg kg ⁻¹)	منگنز Mn (mg kg ⁻¹)
GCA effect (MS _{GCA})	اثر ترکیب‌پذیری عمومی	0.1000	0.0004 ^{ns}	0.00002 ^{ns}	0.100 ^{ns}	0.674**	0.119 ^{ns}
SCA effect (MS _{SCA})	اثر ترکیب‌پذیری خصوصی	0.5400**	0.0023**	0.00020**	1.945**	9.523**	0.831**
Genetic ratio ($\frac{2MS_{GCA}}{2MS_{GCA} + MS_{SCA}}$)	نسبت ژنتیکی	0.2703	0.2581	0.19350	0.092	0.124	0.222
Broad-sense heritability (h_b^2)	وراثت‌پذیری عمومی	0.9500	0.6300	0.87000	0.940	0.810	0.940
Narrow-sense Heritability (h_n^2)	وراثت‌پذیری خصوصی	0.6000	0.1600	0.36000	0.210	0.310	0.340
MS _{GCA} / MS _{SCA}	نسبت اثر ترکیب‌پذیری عمومی به اثر ترکیب‌پذیری خصوصی	0.1852	0.1739	0.12000	0.051	0.070	0.143

ns و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪.

ns and **: Not significant and significant at 1% level of probability, respectively.

شاه‌پسند × دیلمانی با توجه به بیشترین میزان عنصر فسفر (۰/۶۶) و میزان SCA مثبت معنی‌دار (۰/۰۸۴) می‌تواند به عنوان یک هیبرید مناسب در پروژه‌های تولید هیبرید استفاده شود.

پتاسیم: نتایج تجزیه دای‌آلل برای میزان عنصر پتاسیم نشان داد که اثر SCA و GCA معنی‌دار بودند (جدول ۱). در جدول ۲ مقایسه میانگین‌های ژنوتیپ‌ها و هیبریدهای حاصله نشان داد که میزان پتاسیم در ارقام مورد مطالعه دارای دامنه‌ای از ۰/۱۳ در رقم شاه‌پسند تا ۰/۲۰ در تلاقی حسنی × IRFAON215 و رقم IRFAON215 بود. سایر هیبریدها از نظر میزان عنصر پتاسیم در بین ارقام والدینی واقع بودند.

برآورد پارامترهای ژنتیکی نشان داد که با توجه به پایین بودن نسبت اثر ترکیب‌پذیری عمومی به اثر ترکیب‌پذیری خصوصی (۰/۱۲) و نسبت ژنتیکی پایین در مقایسه با یک (۰/۱۹۳۵) نقش اثر غیر افزایشی در مقایسه با اثر افزایشی در کنترل ژنتیکی این صفت بیشتر بود (جدول ۳). میزان وراثت‌پذیری عمومی برآورد شده برای این صفت بالا (۰/۸۷) بود و حال آن‌که وراثت‌پذیری خصوصی پایین (۰/۳۶) برآورد شد.

برآورد ترکیب‌پذیری عمومی برای عنصر پتاسیم (جدول ۴) نشان داد که والدین حسنی و IRFAON215 با میزان بالای این عناصر (به ترتیب ۰/۱۸ و ۰/۲۰) دارای GCA معنی‌دار و مثبت بودند. نتایج برآورد ترکیب‌پذیری

و کمترین میزان عنصر فسفر را در بین ژنوتیپ‌های مطالعه شده دارا بودند (جدول ۲). بیشترین و کمترین میزان عنصر فسفر در هیبریدهای حاصل به ترتیب در تلاقی‌های شاه‌پسند × دیلمانی (۰/۶۶) و سپیدرود × ندا (۰/۳۵) مشاهده شد که از نظر آماری در سطح احتمال ۱٪، با یک‌دیگر اختلاف معنی‌دار داشتند.

از نتایج برآورد پارامترهای ژنتیکی می‌توان چنین استنباط کرد که با توجه به پایین بودن نسبت ژنتیکی و نسبت پایین اثر ترکیب‌پذیری عمومی به اثر ترکیب‌پذیری خصوصی (۰/۳۲)، سهم اثر غیرافزایشی ژن‌ها در مقایسه با اثر افزایشی در کنترل این صفت در مواد مورد مطالعه بیشتر بود (جدول ۳). میزان پایین وراثت‌پذیری خصوصی (۰/۱۶) نیز موید نقش بیشتر عمل غیرافزایشی ژن‌ها در کنترل این صفت است، بنابراین از روش‌های به‌نژادی مبتنی بر هیبرید و هتروزیس می‌توان برای بهبود صفت اخیر استفاده کرد. البته در صورت استفاده از روش‌های مبتنی بر عمل افزایشی ژن‌ها، می‌توان ارقام شاه‌پسند و دیلمانی را با میزان بالای ترکیب‌پذیری عمومی (به ترتیب برابر با ۰/۰۶۷ و ۰/۰۳۹) به کار برد تا مقدار بالای عنصر فسفر را به نتاج خود انتقال دهند (جدول ۴).

برآورد مقادیر ترکیب‌پذیری خصوصی (جدول ۵) نشان داد که بیشترین SCA مثبت و معنی‌دار متعلق به تلاقی شاه‌پسند × IRFAON215 (۰/۳۴) بود. تلاقی

جدول ۴- برآورد ترکیب پذیری عمومی صفات کیفیت تغذیه‌ای برنج برای والدین
 Table 4. Estimates of general combining ability (GCA) of nutrient quality traits for parents

Parent	والد	پروتئین Protein (%)	فسفر P (%)	پتاسیم K (%)	آهن Fe (mg kg ⁻¹)	روی Zn (mg kg ⁻¹)	منگنز Mn (mg kg ⁻¹)
Shahpasand	شاه‌پسند	0.30**	0.067**	-0.006 ^{ns}	-0.278 ^{ns}	-0.655 ^{ns}	0.124 ^{ns}
Hassani	حسنی	0.70**	0.003 ^{ns}	0.012**	-0.538**	2.441**	-0.492**
Sepidroud	سپیدرود	0.24*	-0.028 ^{ns}	-0.006 ^{ns}	0.396**	-0.628 ^{ns}	0.176 ^{ns}
Neda	ندا	-0.57**	-0.033 ^{ns}	-0.009*	-0.113 ^{ns}	-3.290**	1.315**
Deilamani	دیلمانی	0.27*	0.039*	0.005 ^{ns}	0.691**	2.112*	-0.267*
Saleh	صالح	0.10 ^{ns}	-0.026 ^{ns}	-0.009*	0.302*	0.677 ^{ns}	-0.324*
IRFAON215		-1.03**	-0.019 ^{ns}	0.015**	-0.462**	-0.656 ^{ns}	0.531**

ns, * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪.

ns, * and **: Not significant, significant at 5% and 1% levels of probability, respectively.

خصوصی برای این صفت به ترتیب ۹۴ و ۲۱ درصد برآورد شد. با توجه به وراثت پذیری خصوصی پایین و سهم کمتر واریانس افزایشی ژن‌ها در کنترل میزان عنصر آهن، بازده گزینش برای این صفت پایین خواهد بود، اما با این وجود امکان استفاده از والدین با ترکیب پذیری عمومی بالا در برنامه‌های به‌نژادی مبتنی بر انتخاب وجود دارد.

نتایج برآورد ترکیب پذیری‌های عمومی و خصوصی نشان داد که والدین و هیبریدها از نظر مقدار ترکیب پذیری عمومی و خصوصی با همدیگر تفاوت دارند و میزان GCA برای ارقام حسنی، سپیدرود، دیلمانی، صالح و IRFAON215 معنی دار بود (جدول ۴). ارقام دیلمانی و IRFAON215 به ترتیب بالاترین و پایین‌ترین میزان GCA را داشتند. اثر SCA برای تعدادی از ژنوتیپ‌ها معنی دار بود، بیشترین میزان SCA مثبت و معنی دار (۵/۸۷) مربوط به تلاقی سپیدرود × IRFAON215 بود (جدول ۵) که میزان عنصر آهن در آن برابر با ۴/۱۰ بود.

روی: نتایج تجزیه دای آلل به روش گریفینگ (جدول ۱) نشان داد که اثر GCA و SCA برای میزان عنصر روی معنی دار بودند. مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها و هیبریدهای حاصل (جدول ۲) نشان داد که ارقام ندا و سپیدرود دارای کمترین میزان عنصر روی و ارقام شاه‌پسند، حسنی و صالح دارای بیشترین میزان این عناصر بودند. بیشترین میزان عنصر روی در مواد اصلاحی مورد مطالعه مربوط به تلاقی

خصوصی بین تلاقی‌ها نشان داد که تعدادی از تلاقی‌ها دارای ترکیب پذیری خصوصی مثبت و معنی دار بودند و تعدادی از آن‌ها نیز ترکیب پذیری خصوصی منفی و معنی دار داشتند. از بین تلاقی‌ها، سه تلاقی حسنی × IRFAON215، سپیدرود × ندا و سپیدرود × دیلمانی دارای بیشترین میزان SCA مثبت و معنی دار بودند و با توجه به این که میزان این عنصر در این تلاقی‌ها بالا بود، می‌توان از آن‌ها به عنوان تلاقی‌های مناسب برای افزایش میزان عنصر پتاسیم استفاده کرد (جدول ۵).

آهن: اثر ترکیب پذیری عمومی و خصوصی برای میزان عنصر آهن معنی دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها و هیبریدهای حاصل (جدول ۲) نشان داد که میزان عنصر آهن در والدین و هیبریدهای حاصل از آن‌ها در دامنه‌ای از ۱/۱۰ میلی گرم در کیلوگرم در رقم صالح تا ۵/۸۵ میلی گرم در کیلوگرم در رقم ندا متغیر بود و از نظر آماری در سطح احتمال ۰.۱٪، با یکدیگر اختلاف معنی دار داشتند. متوسط میزان آهن در تمام تلاقی‌ها مابین دو حد فوق بود.

برآورد پارامترهای ژنتیکی در جدول ۳ ارائه شده است که حاکی از معنی دار بودن اثر SCA بود. مقدار پایین نسبت اثر GCA به SCA و نسبت ژنتیکی نشان می‌دهد که در کنترل ژنتیکی میزان عنصر آهن نیز اثر غیرافزایشی در مقایسه با اثر افزایشی نقش بیشتری دارند. وراثت پذیری عمومی و

جدول ۵- برآورد ترکیب پذیری خصوصی صفات کیفیت تغذیه‌ای برنج برای تلاقی‌ها

Table 5. Estimates of specific combining ability (SCA) of rice nutrient quality traits for crosses

Genotype	ژنوتیپ	پروتئین Protein (%)	فسفر P (%)	پتاسیم K (%)	آهن Fe (mg kg ⁻¹)	روی Zn (mg kg ⁻¹)	منگنز Mn (mg kg ⁻¹)
SH × H	ش × ح	0.87**	0.001 ^{ns}	0.013 ^{ns}	0.342 ^{ns}	2.64 ^{ns}	0.614*
SH × SP	ش × س	0.26 ^{ns}	-0.074*	-0.009 ^{ns}	-0.542 ^{ns}	-1.22 ^{ns}	-0.014 ^{ns}
SH × N	ش × ن	-1.17**	0.016 ^{ns}	-0.001 ^{ns}	0.067 ^{ns}	0.05 ^{ns}	-0.713**
SH × D	ش × د	0.10 ^{ns}	0.084*	0.010 ^{ns}	-0.337 ^{ns}	-0.96 ^{ns}	0.619**
SH × SA	ش × ص	0.43 ^{ns}	-0.051 ^{ns}	-0.006 ^{ns}	-0.098 ^{ns}	0.97 ^{ns}	0.381 ^{ns}
SH × IR	ش × IR	-1.40**	0.340**	0.018 ^{ns}	-0.398 ^{ns}	-16.30**	-1.442**
H × SP	ح × س	-0.37 ^{ns}	-0.030 ^{ns}	-0.012 ^{ns}	0.382 ^{ns}	5.77**	-0.808**
H × N	ح × ن	0.03 ^{ns}	-0.040 ^{ns}	-0.024**	0.227 ^{ns}	-2.11 ^{ns}	-0.097 ^{ns}
H × D	ح × د	0.27 ^{ns}	-0.052 ^{ns}	-0.003 ^{ns}	0.628*	-1.56 ^{ns}	0.785**
N × SA	ح × ص	0.05 ^{ns}	0.023 ^{ns}	0.006 ^{ns}	0.012 ^{ns}	7.37**	-0.478 ^{ns}
H × IR	ح × IR	1.19**	-0.012 ^{ns}	0.027**	-0.478 ^{ns}	7.87**	-5.395**
SP × N	س × ن	1.37**	-0.059 ^{ns}	0.034**	0.657*	-0.14 ^{ns}	0.485 ^{ns}
SP × D	س × د	-0.36 ^{ns}	0.019 ^{ns}	0.020**	-1.391**	2.01 ^{ns}	-1.218**
SP × SA	س × ص	-0.29 ^{ns}	0.094*	0.004 ^{ns}	0.472 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.174 ^{ns}
SP × IR	س × IR	3.73**	-0.225**	-0.032**	5.874**	14.43**	-1.266**
N × D	ن × د	0.45 ^{ns}	0.004 ^{ns}	-0.022**	0.726*	5.17**	0.558*
N × SA	ن × ص	-0.33 ^{ns}	0.024 ^{ns}	-0.003 ^{ns}	0.487 ^{ns}	-2.77 ^{ns}	-1.075*
N × IR	ن × IR	-4.17**	-0.180**	0.019 ^{ns}	-12.103**	-2.11 ^{ns}	5.251**
D × SA	د × ص	0.01 ^{ns}	-0.078*	0.003 ^{ns}	0.283 ^{ns}	-1.70 ^{ns}	-0.583*
D × IR	د × IR	-1.22**	0.136**	0.011 ^{ns}	3.759**	8.70**	0.280 ^{ns}
SA × IR	ص × IR	0.19 ^{ns}	-0.139**	-0.061**	2.242*	-9.21**	1.694**

ns, * and **: Not significant, significant at 5% and 1% levels of probability, respectively.

ش: شاه‌پسند؛ ح: حسنی؛ س: سپیدرود؛ ن: ندا؛ د: دیلمانی؛ ص: صالح.

IR: IRFAON215; SH: Shahpasand; H: Hassani; SP: Sepidroud; N: Neda; D: Deilamani; SA: Saleh.

ژنتیکی میزان عنصر روی بود، اما اثر غیرافزایشی با توجه به پایین بودن نسبت اثر GCA به اثر SCA و همچنین نزدیک بودن نسبت ژنتیکی به صفر نقش بیشتری را در کنترل ژنتیکی این صفت در مقایسه با اثر افزایشی داشت. میزان وراثت پذیری عمومی و

حسنی × صالح با میزان ۱۷ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. نتایج تجزیه دای‌آلل به روش گریفینگ (جدول ۳) نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اثر ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی بود که موید نقش اثر افزایشی و غیرافزایشی در کنترل

برابر با ۰/۹۴ و ۰/۳۴ بود. نتایج برآورد ترکیب پذیری عمومی به روش گریفینگ برای میزان عنصر منگنز نشان داد که اثر GCA برای تمام والدین به جزء شاه پسند و سپیدرود معنی دار بود. GCA مثبت و معنی دار فقط از آن رقم ندا بود (جدول ۴). ترکیب پذیری خصوصی در تعدادی از تلاقی‌ها معنی دار بود که بیشترین میزان آن مربوط به تلاقی ندا × IRFAON215 (۵/۲۵) بود (جدول ۵).

در مجموع، با توجه به مقدار پایین نسبت ژنتیکی و نزدیکی آن به صفر و همچنین نسبت پایین اثر ترکیب پذیری عمومی به اثر ترکیب پذیری خصوصی استنباط می‌شود که در تمام صفات مورد مطالعه نقش عمل غیرافزایشی ژن‌ها در مقایسه با عمل افزایشی ارجحیت دارد. در همین راستا در مطالعات انجام شده توسط سایر محققین، به نقش اثر افزایشی و غیرافزایشی در کنترل مقدار عناصر معدنی در برنج و اهمیت بیشتر اثر غیرافزایشی اشاره شده است (Shi *et al.*, 1999a,b; Zhang *et al.*, 2004; Zhang *et al.*, 2005a; Gregorio and Htut, 2002).

با توجه به ترکیب پذیری عمومی والدین می‌توان بهترین والد را برای اصلاح و پیشرفت ژنتیکی صفات مورد نظر انتخاب کرد (Roy, 2000). در مورد مقدار عنصر فسفر با توجه به مقدار بالای ترکیب پذیری عمومی در ارقام شاه پسند و دیلمانی می‌توان از این ارقام در پروژه‌های به‌نژادی برای بهبود میزان فسفر

خصوصی برای این صفت به ترتیب برابر با ۰/۸۱ و ۰/۳۱ برآورد شد.

برآورد ترکیب پذیری عمومی در جدول ۴ ارائه شده است. این نتایج حاکی از معنی دار بودن GCA برای ارقام حسنی و دیلمانی به صورت مثبت و ندا به صورت منفی بود. بیشترین ترکیب پذیری عمومی مثبت مربوط به رقم حسنی با میزان بالای عنصر روی (۷/۲۵) بود. ترکیب پذیری خصوصی در تعدادی از تلاقی‌ها معنی دار بود (جدول ۵).

منگنز: تجزیه دای آلل به روش گریفینگ نشان داد که اثر GCA و SCA معنی دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها و هیبریدهای حاصله نشان داد که والدین از نظر محتوی این عنصر دارای دامنه‌ای از ۰/۶۷ میلی گرم در کیلوگرم (دیلمانی) تا ۳/۱۳ میلی گرم در کیلوگرم (حسنی) متغیر بودند. در بین تلاقی‌ها نیز میزان این عنصر در هیبرید سپیدرود × دیلمانی ۰/۱۲ میلی گرم در کیلوگرم و در هیبرید سپیدرود × ندا ۳/۴۰ میلی گرم در کیلوگرم بود که از نظر آماری در سطح احتمال ۱٪ با یکدیگر اختلاف معنی دار داشتند (جدول ۲).

با توجه به این که نسبت اثر ترکیب پذیری عمومی به اثر ترکیب پذیری خصوصی پایین و نسبت ژنتیکی نیز برابر با ۰/۲۲۲۶ بود، در کنترل ژنتیکی میزان عنصر منگنز نقش عمل غیرافزایشی ژن‌ها نسبت به عمل افزایشی ژن‌ها بیشتر بود (جدول ۳). برآورد وراثت پذیری عمومی و خصوصی برای این عنصر به ترتیب

صفات مورد مطالعه نشان ندادند، بنابراین نمی‌توان یک تلاقی خاص را به عنوان یک تلاقی ایده‌آل در پروژه هیبرید برای تمام صفات در نظر گرفت.

نتیجه نهایی حاصل از تحقیق حاضر را می‌توان به این صورت بیان کرد که ارقام بومی حسنی، دیلمانی و تا حدودی شاه‌پسند دارای مقادیر بالایی پروتئین و محتوی عناصر پتاسیم، فسفر، آهن و روی هستند و ترکیب پذیری عمومی بالایی نیز دارند بنابراین می‌توان از آن‌ها به عنوان مواد به‌نژادی مناسب برای دستیابی به ارقامی با میزان بالای از این صفات در کنار برنامه‌های اصلاحی برای بهبود سایر صفات استفاده کرد.

سپاسگزاری

مقاله حاضر بخشی از نتایج به دست آمده از اجرای طرح پژوهشی به شماره ۸۹۵۰۹ است که با مساعدت باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت اجرا شد، بدینوسیله از تمام عزیزان مسئول تشکر و قدردانی می‌شود.

References

- Anandan, A., Rajiv, G., Eswaran, R., and Prakash, M. 2011. Genotypic variation and relationships between quality traits and trace elements in traditional and improved rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. *Journal of Food Science* 76 (4): 122–130.
- Anonymous, 1992. *Methods for Agricultural Chemistry Research*. Southwest Agricultural University and China South Agricultural University, Press, Beijing, China.

استفاده کرد. برآورد ترکیب‌پذیری عمومی برای عنصر پتاسیم نشان داد که ارقام حسنی و IRFAON215 با میزان بالای این عنصر دارای GCA معنی‌دار و مثبت بودند و لذا امکان استفاده از این ارقام در پروژه‌های به‌نژادی مبتنی بر انتخاب وجود دارد. نتایج برآورد ترکیب‌پذیری‌های عمومی نشان داد که رقم دیلمانی دارای بیشترین میزان GCA معنی‌دار برای عنصر آهن است. در مورد میزان عنصر روی برآورد ترکیب‌پذیری عمومی نشان داد که GCA در ارقام حسنی و دیلمانی به صورت مثبت و معنی‌دار بود و بیشترین ترکیب‌پذیری عمومی مثبت مربوط به رقم حسنی با میزان بالای عنصر روی بود، لذا امکان استفاده از این ارقام برای دستیابی به ارقامی با مقادیر بالایی از عنصر روی وجود دارد.

ترکیب‌پذیری خصوصی بالا که نتیجه غالبیت و یا اثر اپی‌ستاتیک بین والدین تلاقی است، می‌تواند به عنوان شاخصی برای تعیین کارایی یک تلاقی ویژه در کاربرد هتروزیس مورد استفاده قرار گیرد (Roy, 2000). در مطالعه حاضر هیچ‌کدام از تلاق‌ها ترکیب‌پذیری خصوصی معنی‌دار برای تمام

- Anonymous, 2000.** Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 17th ed. Association of Analytical Communities (AOAC), Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC. 858pp.
- Bao, J. S., Sun, M., Zhu, L. H., and Corke, H. 2004.** Analysis of quantitative trait loci for some starch properties of rice (*Oryza sativa* L.): thermal properties, gel texture and swelling volume. *Journal of Cereal Science* 39: 379–385.
- Dela, C. N., and Khush, G. S. 2000.** Grain quality evaluation procedures. pp. 15-28. In: Singh, R. K., Singh, U. S., and Khush, G. S. (eds.) *Aromatic Rices*. Science Publishers, Inc., Enfield, USA, and Oxford & IBH Publishing Co., New Delhi, India.
- El-Kady, A., and El-Hissewy, A. 1999.** Heterosis and combining ability for protein content in rice. *Egyptian Journal of Applied Science* 14: 64-71.
- Graham, R. D., Senadhira, D., Beebe, S., Iglesias, C., and Monasterio, I. 1999.** Breeding for micronutrient density in edible portions of staple food crops: conventional approaches. *Field Crops Research* 60: 57–80.
- Gregorio, G. B., and Htut, T. 2002.** Micronutrient-dense rice: developing breeding tools at IRRI. *Rice Science: Innovations and Impact for Livelihood. Proceedings of the International Rice Research Conference, Beijing, China.* pp. 371-378.
- Gregorio, G. B., Senadhira, D., Htut, T., and Graham, R. D. 2000.** Breeding for trace mineral density in rice. *Food Nutrient Bulletin* 21: 382–386.
- Griffing, B. 1956a.** A generalized treatment of the use of diallel crosses in quantitative inheritance. *Heredity* 10: 31- 50.
- Griffing, B. 1956b.** Concepts of general and specific combining ability in relation to diallel crossing system. *Australian Journal of Biological Science* 9: 436-493.
- Huang, W. K. 1995.** *Food Analysis Methods*. China Light Industry Press, Beijing, China.
- Jiang, S. L., Wu, J. G., Thang, N. B., Feng, Y., Yang, X. E., and Shi, C. H. 2008.** Genotypic variation of mineral elements contents in rice (*Oryza sativa* L.). *European Food Research and Technology* 228: 115–122.
- Juliano, B. O. 1990.** Rice grain quality: Problems and challenges. *Cereal Foods World* 35: 245-253.
- Kiani, S., Kazemi Tabar, S.K., Ranjbar, G., Babaeian Jelodar, N., and Norouzi, M. 2009.** Genetic analysis of gelatinization temperature and amylose contents in

rice (*Oryza sativa* L.). Seed and Plant Improvement Journal 25-1: 231-243 (in Persian).

- Lineback, D. R. 1986.** Current concept of starch structure and its impact on properties. Journal of Japanese Society of Starch Science 33: 80-88.
- Lu, K., Li, L., Zheng, X., Zhang, Z., Mou, T., and Hu, Z. 2008.** Quantitative trait loci controlling Cu, Ca, Zn, Mn and Fe content in rice grains. Journal of Genetics 87: 305-310.
- Oko, A. O., and Onyekwere, S. C. 2010.** Studies on the proximate chemical composition, and mineral element contents of five new lowland rice varieties planted in Ebonyi State. International Journal of Biotechnology and Biochemistry 6: 949-955.
- Roy, D. 2000.** Plant Breeding Analysis and Exploitation of Variation. Alpha Science International LTD, USA. 701pp.
- Sharifi, P., Dehghani, H., Mumeni, A., and Moghaddam, M. 2010a.** Diallel analysis for heterosis study and estimation of genetic parameters for some morphological traits in rice. Seed and Plant Improvement Journal 26-1: 77-104 (in Persian).
- Sharifi, P., Dehghani, H., Mumeni, A., and Moghaddam, M. 2010b.** Estimation of genetic parameters for some cooking quality related traits in rice using diallel analysis. Iranian Journal of Crop Science 12: 152-169 (in Persian).
- Shi G., Zhu, J., Yang, X., Yu, Y., and Wu, J. 1999a.** Genetic analysis for protein content in Indica rice. Euphytica 107: 135-140.
- Shi, C. H., Zhu, J., and Wu, J. G. 1999b.** Analysis of embryo, endosperm, cytoplasmic and maternal effects for heterosis of protein and lysine content in indica hybrid rice. Plant Breeding, 118: 574-576.
- Traore, K. 2005.** Characterization of novel rice germplasm from West Africa and genetic marker association with rice cooking quality. Ph.D. Thesis, Texas A&M University, USA. 210pp.
- Won J. G., Yoshida T., and Uchimura, Y. 2002.** Genetic effects on amylose and protein contents in the crossed rice seeds. Plant Production Science 5(1): 17-21.
- Zeng, Y. W., Liu, J. F., Wang, L. X., Shen, S. Q., Li, Z. C., Wang, X. K., Wen, G. S., and Yang, Z. Y. 2003.** Varietal type and mineral elements content of core collection in Yunnan rice. Chinese Journal of Rice Science 17: 25-30.

- Zeng, Y. W., Shen, S. Q., Wang, L. X., Liu, J. F., Pu, X. Y., and Du, J. 2005.** Relationship between morphological and quality traits and mineral element content. *Rice Science* 12(2): 101-106.
- Zhang, M. W, Guo, B. J., and Peng, Z. M. 2004.** Genetic effects on Fe, Zn, Mn and P contents in Indica black pericarp rice and their genetic correlations with grain characteristics. *Euphytica* 135: 315–323.
- Zhang, M. W, Guo, B. J., and Peng, Z. M. 2005a.** Genetic effects on grain characteristics of Indica black rice and their uses on indirect selections for some mineral element contents in grains. *Genetic Resources and Crop Evolution* 52: 1121–1128.
- Zhang, Y., Kang, M. S., and Lamkey, K. R. 2005b.** DIALLEL-SAS05: A comprehensive program for Griffing's and Gardner–Eberhart analyses. *Agronomy Journal* 97: 1097-1106.

