

籼型杂交稻稻米赖氨酸性状的基因型

×环境互作效应分析*

石春海 朱 军

(浙江农业大学农学系,杭州 310029)

杨肖娥 余允贵

(浙江农业大学土化系)

提要 采用包括胚、胚乳、细胞质和母体植株遗传效应以及环境互作效应的种子遗传模型和统计分析方法,分析了籼型杂交稻稻米赖氨酸性状的两年资料。结果表明,除了三倍体胚乳核基因、细胞质基因和二倍体母体核基因的遗传效应可影响赖氨酸含量等性状外,二倍体胚基因效应也起着重要作用。其中胚基因对赖氨酸指数的影响尤为明显,其次是赖/蛋比值性状,而胚效应对稻米赖氨酸含量的影响较小。胚基因等不同遗传体系与环境互作效应也明显影响着赖氨酸性状的表现。赖氨酸含量和赖氨酸指数是以普通遗传率为主,而赖/蛋比值性状则以互作遗传率为主。赖氨酸含量或赖氨酸指数与赖/蛋比值性状间则存在极显著的胚加性互作相关,赖/蛋比值性状上存在较明显的胚加性相关。赖氨酸含量与赖氨酸指数间的胚效应相关性不明显。

关键词 籼型杂交稻;种子胚效应;遗传率;遗传方差和协方差;赖氨酸性状

稻米蛋白质含量和氨基酸含量,对消费者的身体健康有着重要影响。到本世纪末,预测稻米要提供稻区人民所需能量的60%~65%、蛋白质的40%以上^[3]。我国水稻品种的稻米赖氨酸含量达到0.11%~0.61%,品种间存在着较大的变异^[4]。但有关稻米赖氨酸性状遗传的报道尚不多^[7,10,11]。因此,加强稻米赖氨酸含量的遗传研究,有利于明确稻米赖氨酸性状的遗传规律,指导并通过育种手段来提高稻米赖氨酸含量、达到改良稻米营养品质的目的。

水稻稻米中既有母体组织(2X)的种皮和果皮,又有子代组织的胚(2X)和胚乳(3X),二倍体胚和三倍体胚乳均是不同于母体植株的遗传世代。研究结果表明,稻米赖氨酸等营养品质的表现同时受到胚乳、细胞质和母体植株三套遗传体系基因效应的影响,与其它品质性状间也存在较强的遗传相关^[7,10,11]。但已有的研究尚未能明确种子中二倍体胚基因效应对稻米赖氨酸性状的影响,也未能把稻米赖氨酸品质性状的遗传变异进一步定量分解为胚、胚乳、细胞质和母体等遗传变异分量。

本文旨在采用包括胚、胚乳、细胞质和母体植株等4套遗传体系基因效应以及环境互作效应在内的遗传模型和统计分析方法^[9],分析控制籼型杂交稻稻米胚乳赖氨酸性状表现的不同遗传主效应和环境互作效应;同时进一步估算赖氨酸性状的普通遗传率和互作遗传率以及多种遗传相关,从而进一步明确籼型杂交稻稻米赖氨酸性状在多遗传体系影响时的遗传规律。

收稿日期 1997-11-01

* 国家教委跨世纪优秀人才专项基金和浙江省科委资助项目。

1 材料与方法

1.1 材料

本研究采用了赖氨酸性状差异较大的 9 个籼型不育系(A)和相应的保持系(B):浙协 2 号 A、协青早 A、浙南 3 号 A、冈朝 1 号 A、印朝 1 号 A、二九青 A、V 20A、作 5 A、珍汕 97A; 5 个早籼恢复系(R):T49、测早 2-2、26715、102、1391。

1.2 试验设计

1994 年以不育系、保持系和恢复系采用 NCII 交配设计配制杂交组合(9×5),获得正反交杂种一代(F_1 和 RF_1)。1995 和 1996 年早季分别将亲本、 F_1 和反交 RF_1 种植于浙江农业大学实验农场,两年均为 4 月 2 号播种,5 月 2 号移栽,单本插,行株距为 20 cm×20cm。各小区种 24 株,3 次重复。成熟时各小区去除边行,取中间 8 株 F_1 或 RF_1 植株上的自交种子(F_2 或 RF_2)和亲本种子,以及当代杂交 F_1 和回交 $BC_1(A \times F_1)$ 种子,采用比色法测定精米赖氨酸含量(%)^[1]、赖氨酸指数(mg,单粒精米中的赖氨酸重量)和赖氨酸含量与蛋白质含量比值(简称赖/蛋比值)等性状。

1.3 统计分析方法

朱军把二倍体胚模型^[14]和三倍体胚乳模型^[15]扩展为包括基因型与环境互作效应的遗传模型^[8],并进一步提出了包括胚、胚乳、细胞质和母体植株等 4 套遗传体系遗传主效应及其与环境互作效应的种子全遗传模型^[9]。本文采用该遗传模型^[9]分析了籼型杂交稻米赖氨酸性状的两年资料。采用 MINQUE(1)分析方法^[16]估算表现型方差(V_p)的各项分量,表现型协方差(C_p)也可作相应的分解^[9];同时根据总遗传率分解的原理^[9],估算了遗传率(h^2)的各项分量。

采用 Jackknife 数值抽样技术对各世代平均数进行抽样,计算各方差分量、协方差分量和遗传率估计值的标准误。所有数据的运算和分析采用 C 语言自编的软件在 IBM PC 微机上进行。

2 结果与分析

2.1 亲本和杂交组合的赖氨酸性状表现

供试亲本和杂交组合的不同世代稻米赖氨酸含量、赖氨酸指数和赖/蛋比值等性状的平均表现型值列于表 1。从表 1 中可以看出供试材料之间的赖氨酸性状存在着较大的差异,变异范围较大。14 个亲本间的稻米赖氨酸含量、赖氨酸指数、赖/蛋比值等性状在 1995 年和 1996 年的差异变幅分别达到 0.338%、0.040mg、0.019 和 0.295%、0.049mg、0.019。从平均数来看,1996 年各亲本的赖氨酸性状均大于 1995 年。杂交和回交世代的最大值与最小值差数表明,45 个组合不同性状在两年中也存在着较大差异。

2.2 方差分量的估算

赖氨酸性状的各项遗传主效应方差分量、遗传效应与环境的互作方差分量和剩余方差分量估计值列于表 2。

在控制赖氨酸性状表现的遗传主效应中,胚加性(V_{A_0})或胚显性方差(V_{D_0})、胚乳加性(V_{A_c})或胚乳显性方差(V_{D_c})、细胞质方差(V_c)、母体加性(V_{A_m})或母体显性方差(V_{D_m})多数达到显著水平,说明除了三倍体胚乳基因、细胞质基因和二倍体母体核基因的遗传效应可以

表 1 14 个亲本和 45 个组合各世代稻米赖氨酸性状的极差和平均值¹⁾

Table 1 Range and mean of 14 parents and 45 crosses for lysine traits of rice

| 世代 Generation | 1995 | | | 1996 | | |
|------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | 赖氨酸含量 LC(%) | 赖氨酸指数 LI(mg) | 赖/蛋比值 RLP | 赖氨酸含量 LC(%) | 赖氨酸指数 LI(mg) | 赖/蛋比值 RLP |
| 亲本 Parent | 0.244~0.582 (0.392) | 0.045~0.085 (0.064) | 0.021~0.040 (0.028) | 0.264~0.559 (0.411) | 0.056~0.105 (0.077) | 0.017~0.036 (0.029) |
| F ₁ | 0.183~0.563 (0.381) | 0.036~0.091 (0.062) | 0.014~0.038 (0.026) | 0.234~0.584 (0.393) | 0.039~0.111 (0.073) | 0.019~0.037 (0.026) |
| F ₂ | 0.239~0.450 (0.356) | 0.039~0.078 (0.061) | 0.018~0.036 (0.027) | 0.231~0.555 (0.378) | 0.038~0.113 (0.074) | 0.017~0.045 (0.029) |
| RF ₂ | 0.288~0.686 (0.400) | 0.047~0.112 (0.069) | 0.021~0.053 (0.030) | 0.237~0.570 (0.410) | 0.051~0.111 (0.083) | 0.018~0.043 (0.031) |
| BC ₁ | 0.257~0.846 (0.463) | 0.042~0.123 (0.075) | 0.020~0.045 (0.031) | 0.241~0.853 (0.430) | 0.050~0.156 (0.078) | 0.020~0.047 (0.029) |

¹⁾括号内数字为平均值。The numbers in the brackets were the mean value

LC=lysine content, LI=lysine index, RLP=ratio of lysine content to protein content. The same as below

表 2 稻米赖氨酸性状遗传效应和环境互作效应的方差分量估计值

Table 2 Estimation of variance components for genetic effects and genotype×environment interaction effects on lysine traits in indica rice

| 参数 Parameter | 赖氨酸含量 LC(×10 ⁻³) | 赖氨酸指数 LI(×10 ⁻⁴) | 赖/蛋比值 RLP(×10 ⁻⁵) | 参数 Parameter | 赖氨酸含量 LC(×10 ⁻³) | 赖氨酸指数 LI(×10 ⁻⁴) | 赖/蛋比值 RLP(×10 ⁻⁵) |
|-----------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| V _{Ao} | 0.568* | 2.838* | 0.000 | V _{AoE} | 4.504** | 0.000 | 10.605* |
| V _{Do} | 0.999* | 0.000 | 0.579* | V _{DoE} | 0.000 | 0.631* | 0.000 |
| V _{Ae} | 4.072* | 0.000 | 1.297* | V _{AeE} | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| V _{De} | 0.000 | 0.884* | 0.000 | V _{DeE} | 4.046* | 0.213* | 2.660* |
| V _C | 6.482* | 1.921* | 0.092** | V _{CE} | 0.000 | 0.685+ | 3.175* |
| V _{Am} | 0.000 | 0.371+ | 0.024* | V _{AmE} | 0.000 | 0.000 | 1.392* |
| V _{Dm} | 0.378+ | 0.111* | 0.356+ | V _{DmE} | 4.233** | 1.448** | 2.410** |
| | | | | V _e | 1.842** | 0.677** | 0.813** |

+、* 和 ** 分别为达到 0.10, 0.05 和 0.01 显著水平。下同。+、* and ** were significant at 0.10, 0.05 and 0.01 level, respectively. The same as below. V_{Ao}=embryo additive variance, V_{Do}=embryo dominance variance, V_{Ae}=endosperm additive variance, V_{De}=endosperm dominance variance, V_C=cytoplasmic variance, V_{Am}=maternal additive variance, V_{Dm}=maternal dominance variance, V_{AoE}=embryo additive interaction variance, V_{DoE}=embryo dominance interaction variance, V_{AeE}=endosperm additive interaction variance, V_{DeE}=endosperm dominance interaction variance, V_{CE}=cytoplasmic interaction variance, V_{AmE}=maternal additive interaction variance, V_{DmE}=maternal dominance interaction variance and V_e=residual variance

影响赖氨酸含量等性状外,二倍体胚基因效应也起着很重要的作用。其中胚基因对赖氨酸指数的影响尤为明显,胚效应方差(V_{Ao}+V_{Do})占遗传主效应方差总量(V_G=V_{Ao}+V_{Do}+V_{Ae}+V_{De}+V_C+V_{Am}+V_{Dm})的 46.32%;其次胚基因对赖/蛋比值的影响也较为明显,胚效应方差占 V_G 的 24.64%;但胚效应对稻米赖氨酸含量的影响较小,仅占 V_G 的 12.54%。除了胚、胚乳、细胞质和母体基因的遗传主效应可以控制赖氨酸性状表现外,不同遗传体系与环境的互作效应也明显影响着这些赖氨酸性状的表现。其中赖氨酸含量和赖/蛋比值这两个性状以胚环境互作效应为主,胚环境互作方差(V_{AoE}+V_{DoE})分别占互作方差总量(V_{GE}=V_{AoE}+V_{DoE}+V_{AeE}+V_{DeE}+V_{CE}+V_{AmE}+V_{DmE})的 35.23%和 52.39%。赖氨酸指数则以母体环境互作方差为主,占 V_{GE} 的 48.64%,但胚环境互作方差仍占 V_{GE} 的 21.20%。因此,二倍体胚核基因的遗传效应对稻米赖氨酸性状的影响是很重要的。

2.3 胚、胚乳、细胞质和母体遗传率的估算

由于赖氨酸性状同时受到了胚、胚乳、细胞质和母体基因遗传效应以及环境互作效应的影响,故其总遗传率可以进一步区分为普通遗传率(h_G^2)和互作遗传率(h_{GE}^2)。其中 h_G^2 适用于不同环境条件下的选择,而 h_{GE}^2 则只适用于某一特定条件下的选择。在某一环境下进行选择的总效益,可以根据总的遗传率($h_G^2 + h_{GE}^2$)进行预测。因此,根据各个遗传率的大小,有利于进一步明确各个遗传率分量在总遗传率中的相对重要性,以利于提高选择育种的效率。

从表 3 遗传率分析的结果表明,赖氨酸含量、赖氨酸指数、赖/蛋比值性状中由加性主效应控制的 h_G^2 和由加性互作效应控制的 h_{GE}^2 分别达到 0.410、0.525、0.061 和 0.166、0.070、0.648。其中赖氨酸含量和赖氨酸指数是以 h_G^2 为主,在不同环境条件下的选择效果较好;而赖/蛋比值性状则以 h_{GE}^2 为主,其选择效果容易受到选择环境的影响。在普通遗传率中,赖氨酸含量、赖氨酸指数、赖/蛋比值 3 个性状分别以细胞质遗传率($h_C^2 = 0.239^{**}$)、胚遗传率($h_{Co}^2 = 0.290^{**}$)和胚乳遗传率($h_{Ce}^2 = 0.056^*$)为主。互作遗传率分析的结果表明,赖氨酸含量和赖/蛋比值两个性状的 h_{GE}^2 分别达到 0.166^{**} 和 0.453^{**},是以胚互作遗传率为主,而赖氨酸指数性状仅测出细胞质互作遗传率($h_{CE}^2 = 0.070^*$)。此结果与表 2 方差分析结果是一致的。由于赖氨酸含量、赖氨酸指数、赖/蛋比值性状的总遗传率($h_G^2 + h_{GE}^2$)均较高,分别达到 0.576、0.595 和 0.709,故对这 3 个以基因加性效应影响为主的性状进行低世代选择有效,但赖/蛋比值性状的选择较易受到环境条件的影响。

表 3 稻米赖氨酸性状的遗传率分量估计值

Table 3 Estimation of heritability components for lysine traits in *indica* rice

| 遗传率 Heritability | 普通遗传率 h_G^2 | | | 遗传率 Heritability | 互作遗传率 h_{GE}^2 | | |
|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| | 赖氨酸含量 LC | 赖氨酸指数 LI | 赖/蛋比值 RLP | | 赖氨酸含量 LC | 赖氨酸指数 LI | 赖/蛋比值 RLP |
| h_{Co}^2 | 0.021 | 0.290 ^{**} | 0.000 | h_{CoE}^2 | 0.166 ^{**} | 0.000 | 0.453 ^{**} |
| h_{Ce}^2 | 0.150 ^{**} | 0.000 | 0.056 [*] | h_{CeE}^2 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| h_C^2 | 0.239 ^{**} | 0.197 ^{**} | 0.004 [*] | h_{CE}^2 | 0.000 | 0.070 [*] | 0.136 ^{**} |
| h_{CM}^2 | 0.000 | 0.038 ^{**} | 0.001 ⁺ | h_{ME}^2 | 0.000 | 0.000 | 0.060 ^{**} |

h_G^2 = general heritability, h_{GE}^2 = interaction heritability, h_{Co}^2 = embryo heritability, h_{Ce}^2 = endosperm heritability, h_C^2 = cytoplasmic heritability, h_M^2 = maternal heritability, h_{CoE}^2 = embryo interaction heritability, h_{CeE}^2 = endosperm interaction heritability, h_{CE}^2 = cytoplasmic interaction heritability, h_{ME}^2 = maternal interaction heritability

2.4 籼型杂交稻米赖氨酸性状间的相关性分析

由于基因间的连锁关系或一因多效等原因,一些性状间存在着不同程度的相关性。当总遗传效应被分解为胚、胚乳、细胞质和母体植株等 4 套遗传体系的加性和显性效应以及环境互作效应时,遗传协方差也可进一步分解为相应的协方差分量,有利于进一步发现成对性状间相关性的本质。

实验结果发现,虽然赖氨酸含量与赖氨酸指数、赖氨酸含量与赖/蛋比值以及赖氨酸指数与赖/蛋比值性状间的基因型协方差均未达到显著水平,但可以发现其中的一些协方差分量已达显著水平,表明这些效应之间存在着明显的正向或负向相关性,在水稻品质育种中可加以利用(表 4)。特别是 3 对性状间达到显著水平的正向细胞质协方差、胚乳显性互作协方

差、母体显性互作协方差表明,其相关性可以同时明显提高籼型杂交稻稻米中的赖氨酸含量、赖氨酸指数以及赖/蛋比值,这在以利用显性效应为主的杂交稻育种中可以加以利用,能够提高选配优良杂交水稻组合的效率。显著的胚加性协方差说明胚加性效应间的相关性可以同时增加杂交后代稻米的赖氨酸指数和赖/蛋比值,而显著的胚加性互作协方差也说明在改良赖氨酸含量、赖氨酸指数性状的同时能够提高后代稻米赖/蛋比值。但达到显著水平的胚加性互作协方差则表明,胚加性互作效应间的相关性不利于同时改良上述稻米赖氨酸性状。表4中达到显著水平的母体加性互作协方差也不利于同时改良稻米赖氨酸含量和赖氨酸指数或赖氨酸指数和赖/蛋比值,但在增加赖氨酸含量时该相关性可以提高稻米中的赖/蛋比值。此外,从表4中还可以发现负向的母体加性或胚乳加性相关性不利于同时改良赖氨酸含量与赖氨酸指数或赖氨酸含量与赖/蛋比值、赖氨酸指数与赖/蛋比值等成对性状。

表4 稻米赖氨酸性状间的遗传协方差分量

Table 4 Genetic covariance components among lysine traits in *indica* rice

| 协方差 Cov | 赖氨酸含量 与 赖氨酸指数 LC & LI ($\times 10^{-2}$) | 赖氨酸含量 与 赖/蛋比值 LC & RLP ($\times 10^{-2}$) | 赖氨酸指数 与 赖/蛋比值 LI & RLP ($\times 10^{-4}$) | 协方差 Cov | 赖氨酸含量 与 赖氨酸指数 LC & LI ($\times 10^{-2}$) | 赖氨酸含量 与 赖/蛋比值 LC & RLP ($\times 10^{-2}$) | 赖氨酸指数 与 赖/蛋比值 LI & RLP ($\times 10^{-4}$) |
|------------|--|---|---|------------|--|---|---|
| C_G | 0.179 | 0.951 | 0.898 | C_e | -0.132 | -0.045 | -0.753 |
| C_{Ao} | 0.028 | 0.008 | 0.729 ⁺ | C_{AoE} | 0.037 | 0.057 ^{**} | 0.340 ^{**} |
| C_{Do} | 0.004 | 0.008 | 0.049 | C_{DoE} | -0.001 | -0.005 | -0.135 |
| C_{Ae} | 0.043 | 0.005 | -0.848 ⁺ | C_{AeE} | -0.136 [*] | -0.109 [*] | -0.988 [*] |
| C_{De} | 0.002 | -0.009 | -0.016 | C_{DeE} | 0.064 [*] | 0.028 [*] | 0.671 ⁺ |
| C_C | 0.098 ⁺ | 0.035 ⁺ | 0.448 ⁺ | C_{CE} | 0.003 | 0.002 | 0.111 |
| C_{Am} | -0.024 [*] | -0.008 ⁺ | 0.164 | C_{AmE} | -0.032 ⁺ | 0.004 [*] | -0.294 ⁺ |
| C_{Dm} | 0.004 | 0.002 | 0.048 | C_{DmE} | 0.080 ^{**} | 0.032 ^{**} | 0.620 ^{**} |

C_{ov} = covariances, C_G = genotypic covariance, C_{Ao} = embryo additive covariance, C_{Do} = embryo dominance covariance, C_{Ae} = endosperm additive covariance, C_{De} = endosperm dominance covariance, C_C = cytoplasmic covariance, C_{Am} = maternal additive covariance, C_{Dm} = maternal dominance covariance, C_{AoE} = embryo additive interaction covariance, C_{DoE} = embryo dominance interaction covariance, C_{AeE} = endosperm additive interaction covariance, C_{DeE} = endosperm dominance interaction covariance, C_{CE} = cytoplasmic interaction covariance, C_{AmE} = maternal additive interaction covariance, C_{DmE} = maternal dominance interaction covariance, C_e = residual covariance

3 讨论

胚乳是禾谷类作物种子的主要部分,胚乳性状遗传规律的研究有助于作物育种家进一步提高产量水平和改良种子品质。当雌雄配子受精后,由合子分化发育而成的胚胎是作物发育成正常植株的雏形个体,含有全部遗传信息。在双子叶作物中不存在胚乳,其主要组成部分是种子胚(子叶),一些研究已经发现胚基因的遗传效应会影响这些作物种子品质性状的表现(Yermanos等,1962;Thomas等,1973;Zhu等,1994)^[12~14]。而在禾谷类作物胚和胚乳的发育过程中,杨太兴和曾孟潜发现玉米种子中胚的发育要快于胚乳,8~15d即可形成原胚^[2]。王忠等在研究水稻和大麦胚乳的发育及养分输入途径时也发现近胚端的游离核分裂最快,最先形成细胞^[5,6],表明二倍体胚和三倍体胚乳的发育之间有着某种联系,胚所产生的某些生理物质或遗传信息可能传递到胚乳组织中,通过影响胚乳的发育而直接或间接地影

响一些胚乳品质性状的表现。本研究结果除了发现三倍体胚乳核基因、细胞质基因和二倍体母体核基因的遗传效应可以影响稻米赖氨酸含量等性状的表现外,二倍体胚核基因的遗传主效应和环境互作效应均可明显影响胚乳中赖氨酸含量、赖氨酸指数和赖/蛋比值等性状的表现。由此说明,对于一些同时受到4套遗传体系基因主效应以及基因互作效应影响的胚乳品质数量性状,只有采用具有生物学意义和包括了胚效应的全遗传模型才能明确不同遗传效应在胚乳品质数量性状表现中的相对重要性,其遗传规律才更具有指导意义。

在育种工作中,为了对水稻杂交后代进行更为有效的选择,进行稻米品质性状的多种遗传效应分析是很有必要的。当一个品质性状是以母体加性效应和细胞质效应为主或其母体遗传率和细胞质遗传率较高时,该性状在杂种后代种子间将不会有大的分离,根据其母体植株上稻米品质性状的总体表现进行选择可以取得明显的效果。此方法对于一些需要破碎种子才能分析的品质性状尤为合适,育种中可以利用同一单株上未进行品质分析的那部分保留种子继续种植。而对于以胚加性效应和胚乳加性效应为主或其胚遗传率和胚乳遗传率较高的品质性状,由于杂种植株上的种子会出现明显分离,则只能以单粒选择(如半粒法)为主。除了稻米品质的直接选择之外,利用不同性状间的相关性、特别是各种加性相关进行间接选择可以取得较好的改良效果。由于与各种加性相关有关的加性效应部分在选择过程中可以累加,细胞质效应也可通过母本得以传递,因此当育种的目标性状不易测定时,利用与其有着较高加性相关和细胞质相关的其它性状进行间接选择,则更易取得同步改良效果。因此,进行不同遗传体系基因效应的分析更能明确稻米品质性状的遗传规律,排除环境因素和显性效应对直接或间接选择的干扰,取得更好的育种效果。

参 考 文 献

- 1 山东农业大学和西北农业大学主编. 植物生理研究实验手册. 济南: 山东科学技术出版社, 1980: 32~36
- 2 杨太兴, 曾孟潜. 玉米胚乳和胚发育过程中干物质积累和同工酶、蛋白质的变化. 植物生理学报. 1984, 10(1): 77~86
- 3 卢良恕. 2000年中国食物的需求与对策. 中国农学通报. 1990, 6(1): 1~5
- 4 应存山主编. 中国稻种资源. 北京: 中国农业出版社, 1993
- 5 王 忠, 李卫芳, 顾蕴洁, 陈 刚, 石火英, 高煜珠. 水稻胚乳的发育及其养分输入的途径. 作物学报. 1995, 21(5): 520~527
- 6 王 忠, 顾蕴洁, 李卫芳, 练兴明, 陈 钢. 关于大麦胚乳发育的研究. 中国农业科学. 1996, 19(6): 38~45
- 7 石春海, 朱 军. 稻米营养品质性状的间接选择和遗传改良. 生物数学学报. 1996, 11(2): 89~96
- 8 朱 军. 包括基因型×环境互作效应的种子遗传模型及其分析方法. 遗传学报. 1996, 23(1): 56~68
- 9 朱 军. 遗传模型分析方法. 北京: 中国农业出版社, 1997: 151~162
- 10 Shi C H, J M Xue, Y G Yu, X E Yang, J Zhu. Analysis of genetic effects for nutrient quality traits in *indica* rice. Theor. Appl. Genet. 1996, 92(8): 1099~1102
- 11 Shi C H, Y G Yu, J M Xue, X E Yang, J Zhu. Genetic correlations analysis of seed, cytoplasm and maternal plant for nutrient quality of *indica* rice. 中国水稻科学. 1996, 10(3): 143~146
- 12 Thomas P M, Z P Kondra. Maternal effects on the oleic, linoleic, and linolenic acid content of rape seed oil. Can. J. Plant Sci. 1973, 53(1): 221~225
- 13 Yermanos D M, P E Knowles. Fatty acid composition of the oil in crossed seed of flax. Crop Sci. 1962, 2(2): 109~111
- 14 Zhu J, B S Weir. Analysis of cytoplasmic and maternal effects: I. A genetic model for diploid plant seeds and ani-

- mals. Theor. Appl. Genet. 1994a,89:153~159
- 15 Zhu J, B S Weir. Analysis of cytoplasmic and maternal effects: II. Genetic models for triploid endosperms. Theor. Appl. Genet. 1994b,89: 160~166
- 16 Zhu J, B S Weir. Diallel analysis for sex-linked and maternal effects. Theor. Appl. Genet. 1996,92(1):1~9

Analysis of Genotype \times Environment Interaction Effects on Lysine Traits of *Indica* Rice

Shi Chunhai Zhu Jun

(Dept. of Agronomy, Zhejiang Agricultural University, Hangzhou 310029)

Yang Xiaoe Yu Yungui

(Dept. of Soil Science and Agricultural Chemistry, Zhejiang Agricultural University)

Abstract Analysis of genetic effects on lysine traits in *indica* hybrid rice (*Oryza sativa* L.) was conducted on two year experiment data by using the full genetic model including embryo, endosperm, cytoplasmic and maternal effects and environment interaction effects on quantitative traits of seeds in cereal crops. The results indicated that the diploid embryo genetic effects were important for all lysine traits as well as triploid endosperm, cytoplasmic and diploid maternal plant genetic effects. The embryo effect on lysine index (LI) was higher than that on the ratio of lysine content to protein content (RLP) or lysine content (LC). The environment interaction effect of different genetic systems could significantly affect the performance of lysine traits in *indica* hybrid rice too. The common narrow heritabilities were more important for LC and LI, while interaction narrow heritability was important for RLP. There was significant embryo additive relationship between LI and RLP, significant embryo additive interaction relationships for LC and RLP or LI and RLP, no significant relationship between LC and LI.

Key words *Indica* hybrid rice; Seed embryo effect; Heritability; Genetic variances and covariances; Lysine trait