

稻米碾磨品质性状遗传主效应及其 与环境互作的遗传分析

石春海 何慈信 朱军

(浙江农业大学农学系 杭州 310029)

摘要 采用包括遗传主效应和基因型与环境互作效应的种子三倍体遗传模型, 分析了不同环境条件下籼稻稻米碾磨品质的遗传特性。结果表明, 各碾磨品质性状除了受制于种子基因效应、细胞质效应和母体植株基因效应等遗传主效应外, 还会明显受到各遗传效应与环境互作效应的影响。其中精米重和精米率两个性状的表现主要是以遗传主效应为主, 而糙米重和糙米率则以基因型 $\times$ 环境互作效应为主。在各遗传体系中, 除了精米率性状的种子直接遗传效应与环境的互作效应略大于母体植株遗传效应与环境的互作效应外, 其他碾磨品质性状的母体植株基因的表达受环境条件的影响程度要大于种子基因。细胞质 $\times$ 环境互作效应对精米重和糙米率的影响也较为重要。遗传效应预测值结果表明, P7 和 P8 两个亲本的遗传主效应表现突出, 可以明显改良杂交后代多数碾磨品质性状。P1 和 P2 两个亲本的碾磨品质性状预测值在两年中的环境互作效应较为一致, 不易受到外界条件的影响。上述亲本在水稻品质育种中可加以利用。

关键词 稻米, 碾磨品质, 环境互作效应, 种子直接效应, 细胞质效应, 母体效应

分类号 Q 943

农作物的生长发育不仅受到本身遗传物质的控制, 而且会受到气候、土壤、农业栽培管理等外界环境的影响。环境条件的不同可能会导致基因表达方式或程度的差异, 因此有必要在研究基因主效应的基础上进一步明确基因型与环境的互作效应。石春海和朱军的研究已经表明, 一些稻米品质性状的遗传同时受到种子核基因效应、细胞质效应及母体植株基因效应的影响, 但尚未分析出基因型与环境的互作效应^[1~4, 15]。Turner 等^[16] (1976)、Dani^[11] (1989) 以及崔瑞敏和崔淑芳^[5] (1994) 发现棉花种子性状均存在显著的基因型与环境互作。刘录祥等 (1992) 在小麦^[6]、Matzinger 等 (1971) 在烟草^[12] 以及 Madrap 等 (1993) 在向日葵^[14] 上也发现存在着基因型与环境互作。但这些研究尚未能从种子性状的遗传变异中进一步定量分解出种子基因效应、细胞质效应和母体植株基因效应与环境的互作效应等遗传变异分量。

本文旨在应用最新提出的胚乳性状遗传模型^[9, 10], 分析籼稻稻米碾磨品质性状的种

。 本文于 1996- 04- 04 收到, 1996- 10- 15 修回
本研究由国家教委“跨世纪优秀人才专项基金”和浙江省科委资助

子、细胞质以及母体植株 3 套遗传体系的基因主效应以及各基因效应与环境的互作效应, 预测杂交亲本的遗传效应值。进一步明确灿稻稻米碾磨品质受多套遗传体系影响时的遗传规律, 为水稻品质育种提供更为可靠的理论依据, 推动“一优二高”农业的发展。

1 材料和方法

1.1 植物材料 1993 年来用浙协 2 号 A (P1)、协青早 A (P2)、浙南 3 号 A (P3)、冈朝 1 号 A (P4)、印朝 1 号八 (P5)、二九青 A (P6)、V₂₀A (P7)、作 5A (P8)、珍汕 97A (P9) 等 9 个别型不育系和 T49 (P10)、测早 2-2 (P11)、26715 (P12)、102 (P13) 和 1391 (P14) 等 5 个粳型恢复系配成不完全双列杂交 (9×5)。分别于 1994 年和 1995 年早季在浙江农业大学实验农场种植亲本和 F₁, 单本插, 各小区种 24 株, 3 次重复。开花期由亲本配制 F₁₀ 当代种子, 成熟时各小区取中间 8 株亲本或 F₁ 植株上的 F₂ 种子以及当代杂交获得的 F₁ 种子, 测定糙米重、精米重、糙米率和精米率等性状。

1.2 统计分析方法 采用包括基因型与环境互作效应的禾本科作物三倍体种子遗传模型及其统计分析方法, 分析了粳型杂交稻稻米碾磨品质性状的两年资料。采用 M N Q U E (0/1) 法^[17, 17]估算各性状的种子直接加性方差 (V_A)、种子直接显性方差 (V_D)、细胞质方差 (V_C)、母体加性方差 (V_{Am})、母体显性方差 (V_{Dm})、直连加性与环境互作方差 (V_{AE})、直接显性与环境互作方差 (V_{DE})、细胞质效应与环境互作方差 (V_{CE})、母体加性与环境互作方差 (V_{AmE})、母体显性与环境互作方差 (V_{DmE})、机误方差 (V_e) 等项方差分量以及种子直接加性效应与母体加性效应的遗传协方差 ($C_{A \cdot Am}$)、种子直接显性效应与母体显性效应的遗传协方差 ($C_{D \cdot Dm}$)、种子加性效应 × 环境互作效应与母体加性效应 × 环境互作效应间的遗传协方差 ($C_{AE \cdot AmE}$, 简称加性 × 环境互作协方差) 和种子显性效应 × 环境互作效应与母体显性效应 × 环境互作效应间的遗传协方差 ($C_{DE \cdot DmE}$, 简称显性 × 环境互作协方差)。采用 AUP 法预测各项遗传效应及其基因型与环境的互作效应^[8]; 同时利用 Jack-knife 数值抽样技术^[13]对各组合的世代平均数进行抽样, 计算各项参数估计值或遗传效应预测值的标准误。所有数据的运算和分析采用 C 语言自编的软件在 BM PC 微机上进行。

2 结果与分析

2.1 方差和协方差分量的估算 碾磨品质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、剩余方差和协方差分量估计值列于表 1。

在所分析的遗传主效应中, 除了未测到糙米率的种子直接遗传效应外, 其他各性状的种子直接加性方差 (V_A)、细胞质遗传方差 (V_C) 以及母体植株遗传方差 (V_{Am} 和/或 V_{Dm}) 均达到显著水平 (表 1), 说明粳稻稻米碾磨品质性状的表现同时受到种子基因、细胞质基因和母体基因等各项遗传主效应的影响。但本实验未测到种子直接显性效应对稻米碾磨品质性状的影响。其中糙米重、精米重和精米率以母体遗传效应为主, 细胞质效应对糙米率性状表现的影响尤为明显。此外, 各协方差分量 ($C_{A \cdot Am}$ 和 $C_{D \cdot Dm}$) 均未达到显著水平, 种子性状加性效应与母体加性效应以及种子显性效应与母体显性效应间关系不明显。

两年数据的分析结果表明 (表 1), 碾磨品质除了受到各项遗传主效应的影响外, 还在不同程度上受控于遗传效应与环境的互作效应。这部分互作效应, 是碾磨品质性状在不同年份或环境中遗传表现有所差异的主要原因。其中除了精米率性状的种子或母体 × 环境互作方差占该性状环境互作方差总量的比例较为接近 (分别为 51.76% 和 48.24%) 之

外, 糙米重、精米重和糙米率均以母体 $\times$ 环境互作方差为主, 分别占该性状环境互作方差总量的 60.57%、65.37% 和 47.02%。由此可见, 在控制稻米碾磨品质性状表现的 3 套遗传体系中, 母体遗传效应与环境互作效应最为明显, 其次种子三倍体胚乳核基因效应受环境的影响也较大。细胞质 $\times$ 环境互作效应对精米重和糙米率的影响也较为重要, 但本实验未测到糙米重和精米率两个性状的细胞质 $\times$ 环境互作效应。此外, 遗传效应与环境协方差分量 ($C_{AE \cdot AmE}$ 和 $C_{DE \cdot DmE}$) 也均未达到显著水平, 故种子加性 $\times$ 环境互作效应与母体加性 $\times$ 环境互作效应间的关系以及种子显性 $\times$ 环境互作效应与母体显性 $\times$ 环境互作效应间的关系也均不明显。

表 1 籼稻稻米碾磨品质性状的遗传方差和协方差分量估值

Table 1 Estimation of genetic variances and covanances of milling quality traits in indica rice

参数 Parameter	糙米重 WBR	精米重 WMR	糙米率 BRR	精米率 MRR
遗传主效应方差 (V_G)				
直接加性方差 (V_A)	1.637 ⁺	2.542 ⁺	0.000	12.150 ⁺
直接显性方差 (V_D)	0.000	0.000	0.000	0.000
细胞质方差 (V_C)	3.851 ⁺	2.316 ⁺	4.871 ⁺	3.360 ⁺
母体加性方差 (V_{Am})	3.826 ⁺	2.919 ⁺	2.445 ⁺	24.517 ⁺
母体显性方差 (V_{Dm})	0.133 ⁺	0.186 ⁺	0.000	0.000
加性协方差 ($C_{A \cdot Am}$)	-2.360	-2.473	0.000	-18.972
显性协方差 ($C_{D \cdot Dm}$)	0.000	0.000	0.000	0.000
基因型与环境互作效应方差 (V_{GE})				
直接加性 $\times$ 环境互作方差 (V_{AE})	6.192 ⁺	1.803 ⁺	2.996 ⁺	0.000
直接显性 $\times$ 环境互作方差 (V_{DE})	0.970 ⁺⁺	0.666 ⁺⁺	1.101 ⁺⁺	15.411 ⁺
细胞质 $\times$ 环境互作方差 (V_{CE})	0.000	0.258 ⁺	3.257 ⁺	0.000
母体加性 $\times$ 环境互作方差 (V_{AmE})	10.096 ⁺	4.403 ⁺	4.243 ⁺	0.000
母体显性 $\times$ 环境互作方差 (V_{DmE})	0.907 ⁺	0.743 ⁺	2.284 ⁺	14.365 ⁺
加性 $\times$ 环境互作协方差 ($C_{AE \cdot AmE}$)	-8.577	-3.356	-5.073	0.000
显性 $\times$ 环境互作协方差 ($C_{DE \cdot DmE}$)	-0.468	-0.382	-1.148	-8.284
机误方差 (V_e)	0.351 ⁺	0.232 ⁺	0.440 ⁺⁺	3.173 ⁺

+、⁺ 和 ⁺⁺ 分别为达到 0.10、0.05 和 0.01 显著水平

+、⁺ 和 ⁺⁺ were significant at 0.10, 0.05 and 0.01 level, respectively

V_G = main genetic variance, V_A = seed additive variance, V_D = seed dominance variance, V_C = cytoplasmic variance, V_{Am} = maternal additive variance, V_{Dm} = maternal dominance variance, V_{GE} = genotype $\times$ environment interaction variance, V_{AE} = seed additive interaction variance, V_{DE} = seed dominance interaction variance, V_{CE} = cytoplasmic interaction variance, V_{AmE} = maternal additive interaction variance, V_{DmE} = maternal dominance interaction variance, $C_{A \cdot Am}$ = covariance between seed additive and maternal additive effects, $C_{D \cdot Dm}$ = covariance between seed dominance and maternal dominance effects, $C_{AE \cdot AmE}$ = genotype $\times$ environment interaction covariance between seed additive interaction effect and maternal additive interaction effect, and $C_{DE \cdot DmE}$ = genotype $\times$ environment interaction covariance between direct dominance interaction effect and maternal dominance interaction effect

通过表 1 中遗传的方差分析, 还可以发现糙米重、精米重和糙米率均是以加性主效应方差 (V_A 和 V_{Am}) 或基因加性效应 $\times$ 环境的互作效应方差 (V_{AE} 和 V_{AmE}) 为主, 细胞质效应方差 (V_C 和/或 V_{CE}) 也起着重要作用。这表明对这些性状进行选择可望取得较好的效果。但精米率性状则有所不同, 其遗传主效应的方差以加性方差为主 (V_A 和 V_{AE}), 而遗传效应 $\times$ 环境的互作效应方差则以显性效应 $\times$ 环境互作效应方差 (V_{DE} 和 V_{DmE}) 为主, 故该性状可能

以高代选择为宜。

由于各性状的机误方差(V_e)均已显著, 所以稻米碾磨品质的表现还受到环境机误或抽样误差的影响。但由于其值均较小, 故上述品质性状的表现主要受制于种子、细胞质和母体植株基因的各种遗传主效应以及各种环境互作效应。

2.2 遗传效应值的预测 对表 1 中遗传方差分量达到显著水平的遗传效应作进一步分析, 可以预测和了解各杂交亲本的育种价值, 以便筛选出最优亲本, 在杂交配组中加以利用(表 2)。由于表 1 中精米率仅 V_A 、 V_C 和 V_{Am} 达到显著水平, 故在表 2 中未列出其遗传效应预测值。

就总体而言, 不育系(P1~P9)控制稻米碾磨品质的种子直接加性效应(A)和细胞质效应(C)预测值以正向的增值作用为主, 而母体加性效应预测值则以负向的减值作用为主。在恢复系(P10~P14)中, 虽然多数亲本母体加性效应表现为增值作用, 但种子直接加性效应和细胞质效应则以减值为主, 所以恢复系多数不利于改善杂交后代的碾磨品质。由于不育系稻米碾磨品质的遗传主效应预测值多数为正值, 故其改善杂交后代稻米碾磨品质的作用要好于恢复系。其中以 P7 和 P8 两个亲本的遗传主效应(A、C 和 A_m)表现较好。除了 P7 亲本母体加性效应会明显降低糙米率和精米率(表中未列出)以及 P8 亲本的母体加性效应可以明显降低精米率(表中未列出)外, 其他各项遗传主效应多数表现为明显增加稻米碾磨品质, 在以提高碾磨品质的水稻育种中可加以利用。而 P4 和 P5 两个亲本, 仅种子直接加性效应和细胞质效应能够明显提高精米率(表中未列出), 其他控制稻米碾磨品质的各项遗传主效应分量则主要表现为负向的减值作用, 故这两个亲本不利于改良杂交后代的稻米碾磨品质。恢复系 P13 亲本也有类似表现, 其负向遗传效应预测值表明该亲

表 2 籼稻稻米糙米重、精米重和糙米率的遗传主效应和基因型 × 环境互作效应预测值

Table 2 Predicated genetic effects and genotypo × environment interaction effects of WBK WMR and BRR in indica rice

亲本 Parent	种子直接加性效应			细胞质效应			母体加性效应		
	Seed direct additive effect			Cytoplasmic effect			Maternal additive effect		
	A	AE I	AE II	C	CE I	CE II	Am	AmE I	AmE II
糙米重(WBR,mg)									
P1	0.753 ⁺	1.153 ⁺	0.621	2.560 ⁺			-1.886 ⁺	-4.422 ⁺	1.611 ⁺
P2	0.757 ⁺	1.124 ⁺	0.629 ⁺	2.870 ⁺			-1.498 ⁺	-3.861 ⁺	1.653 ⁺
P3	0.244 ⁺	0.711 ⁺	-0.157	0.063			-0.089	0.519 ⁺	-0.640 ⁺
P4	-0.420 [*]	0.632 ⁺	-1.611 ⁺	-1.067			-1.710 ⁺	-1.140	-1.392 ⁺
P5	-0.575 [*]	0.460	-1.783 ⁺	-2.546 ⁺			-2.028 ⁺	-2.297 ⁺	-0.724
P6	-0.011	0.604 ⁺	-0.645 ⁺	0.904			-1.867 ⁺	-1.011 ⁺	-1.753 ⁺
P7	0.836 ⁺	2.118 ⁺	-0.164	3.711 ⁺			0.390 ⁺	-3.245 ⁺	3.812 ⁺
P8	1.150 ⁺	2.436 ⁺	0.237	3.026 ⁺			1.928 ⁺	-3.432 ⁺	6.300 ⁺
P9	0.370 ⁺	1.226 ⁺	-0.369 ⁺	2.714 ⁺			-0.996 ⁺	-0.536	-0.937 ⁺
P10	-0.655 ⁺	-2.277 ⁺	0.756 ⁺	-4.285 ⁺			3.196 ⁺	5.746 ⁺	-1.016
P11	-0.507 ⁺	-1.502 ⁺	0.304	-1.157 ⁺			2.691 ⁺	4.580 ⁺	-0.569
P12	-0.935 ⁺	-4.334 ⁺	2.144 ⁺	-3.932 ⁺			2.233 ⁺	6.626 ⁺	-3.310 ⁺
P13	-0.391 ⁺	-0.792 ⁺	-0.100	-1.503 ⁺			-0.565 ⁺	1.819 ⁺	-2.664 ⁺
P14	-0.616 ⁺	-1.558 ⁺	0.139	-1.355			0.202	0.656	-0.373

续表 2

亲本 Parent	种子直接加性效应			细胞质效应			母体加性效应		
	Seed direct additive effect			Cytoplasmic effect			Maternal additive effect		
	A	AE I	AE II	C	CE I	CE II	Am	AmE I	AmE II
精米重 (WMR,mg)									
P1	0.764 ⁺	0.129 ⁺	0.697 ⁺	1.563 ⁺	0.296 ⁺	0.361 ⁺	-1.511 ⁺	-2.084 ⁺	0.330
P2	0.936 ⁺	0.580 ⁺	0.429 ⁺	2.675 ⁺	0.598	0.511 ⁺	-1.953 ⁺	-2.673 ⁺	0.402
P3	0.172 ⁺	0.005	0.178	1.137 ⁺	0.241 ⁺	0.220	-0.519	0.682 ⁺	-1.286 ⁺
P4	-0.726 ⁺	-0.102	-0.677 ⁺	-0.982 ⁺	-0.446 ⁺	0.047	-1.285	0.172	-1.666 ⁺
P5	-0.839 ⁺	-0.258 ⁺	-0.647 ⁺	-1.469 ⁺	-0.560 ⁺	-0.064	-1.417 ⁺	-1.115 ⁺	-0.531
P6	-0.107 ⁺	0.400 ⁺	-0.515 ⁺	0.237 ⁺	0.225 ⁺	-0.131 ⁺	-1.562 ⁺	-0.436 ⁺	-1.375 ⁺
P7	0.917 ⁺	1.270 ⁺	-0.278 ⁺	2.490 ⁺	1.089 ⁺	-0.066	0.384	-2.167 ⁺	2.623 ⁺
P8	1.938 ⁺	1.460 ⁺	0.621 ⁺	2.874 ⁺	1.647 ⁺	-0.451 ⁺	0.929 ⁺	-3.026 ⁺	4.104 ⁺
P9	0.586 ⁺	0.247 ⁺	0.387 ⁺	2.000 ⁺	0.295 ⁺	0.530 ⁺	-1.192 ⁺	0.503 ⁺	-1.884 ⁺
P10	-0.031	-0.224 ⁺	0.200	-2.233 ⁺	-0.584 ⁺	-0.233 ⁺	2.411 ⁺	2.219 ⁺	0.574
P11	-0.719 ⁺	0.099	-0.871 ⁺	-1.747 ⁺	-0.639 ⁺	-0.074	3.166 ⁺	1.948	1.715 ⁺
P12	-1.447 ⁺	-2.451 ⁺	0.884 ⁺	-2.599 ⁺	-1.579 ⁺	0.484 ⁺	1.650 ⁺	5.101 ⁺	-3.181 ⁺
P13	-0.309	-0.088	-0.255	-2.512 ⁺	-0.486 ⁺	-0.558 ⁺	0.448	0.633	-0.108
P14	-1.136 ⁺	-1.075 ⁺	-0.151	-1.434 ⁺	-0.009	-0.575 ⁺	0.452 ⁺	0.245 ⁺	0.283
糙米率 (EFR,%)									
P1		0.376 ⁺	0.002	2.676 ⁺	-0.847 ⁺	2.722 ⁺	-0.891 ⁺	-0.251	-0.612
P2		-0.127	0.480 ⁺	2.825 ⁺	0.936 ⁺	1.049 ⁺	-1.040 ⁺	0.247	-1.398 ⁺
P3		0.284 ⁺	0.502 ⁺	1.389	0.886	0.115	0.418 ⁺	-0.736 ⁺	1.135 ⁺
P4		0.085	-0.223 ⁺	-1.345 ⁺	0.959 ⁺	-1.904 ⁺	-1.967 ⁺	-4.081 ⁺	2.015 ⁺
P5		-0.373 ⁺	0.480 ⁺	0.056	-1.182 ⁺	1.209 ⁺	0.125	0.863 ⁺	-0.711 ⁺
P6		-0.165 ⁺	0.760 ⁺	1.563 ⁺	-0.722 ⁺	1.813 ⁺	-0.642 ⁺	1.480 ⁺	-2.197 ⁺
P7		-0.227 ⁺	0.756 ⁺	2.935 ⁺	-0.103	2.167 ⁺	-0.837 ⁺	0.030	-0.883 ⁺
P8		-0.064	0.491 ⁺	1.663 ⁺	-0.095	1.258 ⁺	-0.669	1.429	-2.288 ⁺
P9		0.097 ⁺	0.116	1.108 ⁺	0.994 ⁺	-0.223	0.400 ⁺	1.189 ⁺	-0.708 ⁺
P10		0.731 ⁺	-1.024 ⁺	-1.244	0.114	-0.995	1.676 ⁺	-0.116	1.848
P11		1.589 ⁺	-1.471 ⁺	-2.342 ⁺	0.927 ⁺	-2.548 ⁺	1.277 ⁺	-1.851 ⁺	3.242 ⁺
P12		-0.057	-1.229 ⁺	-8.372 ⁺	1.797 ⁺	-7.663 ⁺	3.294 ⁺	-0.455	4.117 ⁺
P13		0.619 ⁺	-0.837 ⁺	1.253 ⁺	0.235	0.642	-2.162 ⁺	-1.694 ⁺	-0.729
P14		-2.764 ⁺	1.194 ⁺	-2.164 ⁺	-3.897 ⁺	2.360 ⁺	1.020 ⁺	3.950 ⁺	-2.830 ⁺

+、* 和 ** 分别为达到 0.10、0.05 和 0.01 显著水平。+、* and ** were significant at 0.01, 0.05 and 0.01 level, respectively. A = 种子加性效应(seed additive effects), C = 细胞质效应(cytoplasmic effects), Am = 母体加性效应(maternal additive effects), AE = 种子加性效应×环境互作效应(seed direct additive effect×environment interaction effects), CE = 细胞质效应×环境互作效应(cytoplasm×environment interaction effects), AmE = 母体加性效应×环境互作效应(maternal additive effect×environment interaction effects). I 和 II 分别表示 1994 和 1995 年(I and II refer to 1994 and 1995, respectively)

本将会明显降低杂交后代的碾磨品质。

从表 2 中可以发现,所有亲本在 1994 年(AE I)和 1995 年(AE II)的环境互作效应预测值有所不同,说明基因的这部分遗传效应会因不同年份的环境差异而发生变化。在 P1 和 P2 两个亲本中,除了 P1 亲本在 1994 年的细胞质效应×环境互作效应(CE I)要减少糙米率,P1 和 P2 亲本在 1994 年的母体加性效应×环境互作效应(AmE I)会明显降低后代糙米重和精米重以及 P2 亲本在 1995 年的母体加性效应×环境互作效应(AmE II)会降低糙

米率外, 其他达到显著水平的环境互作效应在两年中均是起同方向的增值作用。P1 和 P2 在两年中的环境互作效应较为稳定的结果说明, 这两个亲本的碾磨品质性状在不同环境条件下的表现较为稳定, 基因表达不易受到外界条件的影响。不育系 P3 也有类似结果。而稻米碾磨品质的遗传主效应预测值较好的 P7 和 P8, 从表 2 中可以发现其稻米碾磨品质性状的环境互作效应预测值在不同年份差异较大, 说明这两个亲本虽然具有较理想的遗传主效应, 但环境互作效应的差异可能会使得其杂交后代在不同环境的表现不稳定。对于 P5 亲本, 除了达到显著水平的 1994 年的母体效应 $\times$ 环境互作效应($A_m E$ I)或 1995 年的种子加性效应 $\times$ 环境互作效应($A E$ II)和细胞质效应 $\times$ 环境互作效应(CE II)可以分别增加杂交后代的糙米率外, 其他达到显著水平的 $A E$, CE 以及 $A_m E$ 均表现为负向的减值作用。由于 P5 亲本的稻米碾磨品质遗传主效应预测值也主要为减值作用, 可以认为该品种不适合于作改良稻米碾磨品质的亲本。恢复系 P13 也存在类似结果。至于其他亲本, 由于环境互作效应在两年中的表现不稳定, 虽然在某一环境下可能会增加(或降低)一些碾磨品质性状, 但在另一环境下则可能会降低(或增加)这些性状的表现, 这将要增加改良稻米碾磨品质性状的难度, 故这些材料不是理想的亲本。

3 讨论

基因型效应在不同环境条件下偏离其遗传主效应的表现称为基因型 $\times$ 环境互作效应。它是基因型在各种环境条件下表现出的不同反应和对遗传主效应的离差, 是除了遗传主效应之外的一部分可以遗传的基因效应。纯粹由环境引起的环境效应是不能遗传的, 因此基因型 $\times$ 环境互作效应不同于环境效应。许多数量性状除了受遗传主效应和环境效应的影响外, 还受到基因型与环境互作的影响。当种子性状存在基因型与环境的互作效应时, 需要在不同的年份或不同的环境条件下进行遗传实验并采用包括遗传主效应和基因型与环境互作效应的遗传模型, 才能无偏地分析控制种子性状表现的各种基因效应及其基因型与环境的互作效应。新近提出的遗传模型已经可以将控制种子性状的总遗传效应分解为基因的遗传主效应和基因型与环境的互作效应两个部分, 并为进一步研究各种基因型在不同年份或不同地点的特殊表现提出了有效的统计分析方法^[9, 10]。一般而言, 某一种子性状的基因型 $\times$ 环境互作效应越强, 该性状的遗传表现就越易因环境而异, 通过选择较易获得适应某一年份或某一特殊环境的育种材料; 而基因型 $\times$ 环境互作效应小的性状则容易通过选择, 获得适应不同年份或不同环境的育种材料。虽然一地多年的实验结果反映了同一材料在不同年份的特殊表现, 但实验的结果可以说明基因型与自然环境条件互作效应的大小。由此可以推断, 如果采用不同地点的实验, 其结果就可以反映出各种育种材料在不同地点生态环境下的遗传表现, 其分析结果可用于指导筛选基因型 $\times$ 环境互作效应小以及适应性广的品种或组合。对于基因型 $\times$ 环境互作效应大的育种材料, 亦可选出适应当地特殊环境(如某一生态区域)的品种或组合。因此, 不同环境下基因型的稳定性对水稻等作物种子品质育种目标的制定是非常重要的。

利用籼稻部分双列杂交的 3 个世代(亲本、 F_1 和 F_2) 在不同年份的实验资料, 可以分析出控制稻米碾磨品质性状表现的遗传主效应以及基因型与环境的互作效应值, 并将基因型与环境互作效应值进一步分解为种子直接效应、细胞质效应和母体植株效应与环境的互作效应等分量。根据稻米品质数量性状中的种子、细胞质和母体遗传主效应以及各环

境互作效应分量的大小,能够阐明早籼稻稻米品质性状的遗传机制。分析结果表明,各碾磨品质性状会同受到种子和母体植株基因等多种遗传主效应的控制,这与以前的分析结果是一致的^[1]。但本研究还发现早籼稻稻米碾磨品质明显受到各遗传效应与环境下的互作效应的影响,因此在遗传育种中需要注意各种基因效应在不同环境下的差异,进而育成可以适应不同地区或某一特定地区种植地区的新品种。民时根据各亲本的遗传效应预测值,选用遗传主效应表现良好以及在不同环境条件下互作效应表现较为稳定的优良亲本亦能提主配组水平,获得良好的选择效果。

参 考 文 献

- 1 石春海,朱 军 生物数学学报,1992,7(4): 37~ 35
- 2 石春海,朱 军 北京农业大学学报,1993,19(增刊): 69~ 74
- 3 石春海,朱 军 中国水稻科学,1994,8(3): 129~ 134
- 4 石春海,朱 军 遗传学报,1995,22(5): 372~ 379
- 5 崔瑞敏,崔淑芳 作物杂志,1994,(5): 14~ 15
- 6 刘录样,黄铁城,刘广田等 作物学报 1992 18(1): 38~ 49
- 7 朱 军 生物数学学报,1992,7(1): 1~ 11
- 8 朱 军 生物数学学报,1993,8(1): 32 ~ 44
- 9 朱 军 浙江农业大学学报,1994,20(6): 551~ 559
- 10 朱 军 遗传学报,1995,22(1): 56~ 68
- 11 Dani R G Indian J. Genet ,1989,49(2): 237~ 240
- 12 Matzinger D F *et al* Crop Sci ,1971,11: 275~ 279
- 13 Miller R G. Biometrika, 1974,61: 1~ 15
- 14 Madrap IA,Makne V G. The Indian J. Agric Sci ,1993,63(8): 484~ 488
- 15 Shi C h *et al* Theor. Appl Genet , 1996,92: 1099~ 1102
- 16 Tumer J H *et al* Crop Sci , 1976,16(3): 407~ 409
- 17 Zhu J. Weir B S Theor. Appl Genet,1994,89(2~ 3): 160~ 166

Analysis of Genetic Effects and Genotype $\times$ Environment Interactions for Milling Quality Traits of Rice

SHI Chun-hai HE Ci-xin ZHU Jun

(Agricultural Department Zhejiang Agricultural University Hangzhou 310029)

Abstract

Genetic models including genetic effects and genotype $\times$ environment interaction effects for quantitative traits of triploid endosperms in cereal crops were used to analyze milling quality traits of *indica* rice in different environments. It was found by the results that milling quality traits were all significantly affected by genotype $\times$ environment interaction (GE) effects as well as by the main genetic effects of seed, cytoplasm and maternal genes. Weight of milled rice (WMR) and milled rice recovery (MRR) were mainly controlled by the genetic effects, but weight of brown rice (WBR) and brown rice recovery (BRR) were mainly affected by GE effects. Only for MRR the interaction effect of seed additive effect $\times$ environment (G_oE) was slightly larger than that of maternal genetic effect $\times$ environment (G_mE), while for all other milling quality traits, G_mE effects were larger than G_oE effects. Cytoplasmic $\times$ environment interaction (CE) effects were also important for WMR and BRR. According to the predicated genetic effects P7 and P8 are better than other parents for making a cross with good milling quality of rice. The predicated GE effects in different environments for P1 or P2 were similar. These parents can be used in rice breeding for grain quality.

Key words Rice, Milling quality traits, Genotype $\times$ environment interaction effects, Seed direct effects, Cytoplasmic effect, Maternal plant effects