

## 籼粳亚种间杂交稻米脂肪含量的遗传分析

陈建国\* 朱 军 臧荣春

(浙江农业大学农学系, 杭州 310029) (浙江农业大学中心实验室, 杭州 310029)

**摘要** 用包括基因型×环境互作效应的种子性状遗传模型, 研究了籼粳亚种间杂交稻米脂肪含量的遗传特性, 结果表明: 在籼粳杂种中, 脂肪含量的遗传表达主要受控于种子直接加性效应和母体加性效应, 以前者为主. 基因型×环境互作主要表现为显性(包括直接显性和母体显性)×环境以及细胞质×环境互作. 直接遗传率和母体遗传率都极显著. 此外, 根据遗传效应预测值对供试亲本的利用价值作了评价.

**关键词** 水稻; 籼粳杂交; 脂肪含量; 遗传分析; 基因型; 环境相互作用

**中图分类号** S5.032

## GENETIC ANALYSIS OF FAT CONTENT IN *INDICA-JAPONICA* INTERSUBSPECIFIC HYBRID RICE (*ORYZA SATIVA* L.)

Chen Jianguo\* Zhu Jun

(Department of Agronomy, Zhejiang Agricultural University, Hangzhou 310029)

Zang Rongchun

(Central Laboratory, Zhejiang Agricultural University, Hangzhou 310029)

**Abstract** Genetic analyses were conducted for fat content of *indica-japonica* hybrid rice by using genetic models with genotype × environment interactions for seed traits. The results indicated that the fat content in rice was mainly controlled simultaneously by seed direct additive and maternal additive effects, with the former predominating. Genotype × environment interactions expressed mainly as dominance × environment (including direct dominance × environment and maternal dominance × environment) and cytoplasm × environment interactions. Direct and maternal heritabilities were highly significant. The potential values of parental lines for the improvement of fat content were discussed in respect to predicted values of genetic effects.

**Key words** Rice (*Oryza sativa*); *Indica-japonica* hybridization; Fat content; Genetic analysis; Genotype; Environment interaction

脂肪含量对稻米的商品品质和食味品质都有很大影响<sup>[1,2]</sup>. 黄敏玉等<sup>[3]</sup>的研究指出, 糙米脂肪含量为 1.6%—3.6%, 大多数品种为 2%—3%. 祁祖白等<sup>[4]</sup>用二六窄早等 5 个籼稻品种与城

国家教委“跨世纪优秀人才”专项基金和湖北省教委基金(97A008)资助.

\* 现在湖北大学生命科学学院工作. Recent address: College of Life Sciences, Hubei University.

1997-08-25 收稿; 1998-03-09 修回

特 232 等 6 个粳稻品种作亲本, 研究了 7 个组合粳籼杂种一代 ( $F_2$  种子) 脂肪含量的杂种优势。用亚种内品种间组合为材料所作的研究也只有几例<sup>[1,5]</sup>, 而且都将其按二倍体植株的性状处理, 没有考虑到它作为种子性状所具有的独特性质。本文采用包括基因型  $\times$  环境互作效应的种子性状遗传模型<sup>[6,7]</sup>, 对粳籼亚种间杂交稻米脂肪含量的遗传特性进行了研究, 以期对粳籼交稻米的品质改良提供一定的理论依据。

## 1 材料和方法

**试验设计** 1994 年 8 月, 选用 4 个光温敏核不育系作母本, 4 个籼稻品种和 4 个粳稻品种作父本 (表 1), 按 NCII 设计配制籼/粳和粳/籼型杂交组合。1994 年 12 月和 1995 年 3 月, 分别在海南陵水和江苏连云港种植亲本和  $F_1$ , 随机排列, 2 次重复, 每小区 3 行, 每行 15 株。田间管理按一般的水稻生产技术进行, 至抽穗时进行杂交和自交, 以便在同一季种植的植株上得到亲本、 $F_1$  和  $F_2$  种子。采用索氏抽提法<sup>[8]</sup> 对脂肪含量进行测定。

**统计分析** 用包括基因型  $\times$  环境互作效应的种子性状遗传模型<sup>[6,7]</sup>, 对脂肪含量进行以下分析: 用 MINQUE (0/1) 法估算遗传方差和协方差分量, 进而估计遗传率; 用调整无偏预测法 (Adjusted Unbiased Prediction, 简称 AUP 法) 计算遗传效应; 用 Jackknife 重复抽样技术<sup>[9]</sup> 计算各估计值的标准误差, 并用  $t$  测验进行显著性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 亲本及杂交后代的表现

供试亲本之间在脂肪含量上存在着较大差异。6 个籼稻品种 (系) 和 6 个粳稻品种 (系) 的平均脂肪含量分别为 1.20% (0.82%–1.47%) 和 1.27% (0.83%–1.61%) (表 1)。 $F_1$  和  $F_2$  代的表现因配组方式和环境而有所不同。籼/粳型组合的脂肪含量受环境影响较大, 以陵水条件下的平均值较高, 但杂交后代的平均值基本上居于亲本之间或者趋向于某一亲本, 没有出现超亲现象 (表 2)。

### 2.2 遗传方差、协方差分量估计

在籼/粳型组合中, 脂肪含量同时受制于种子直接遗传效应和母体遗传效应, 但以种子遗传效

表 1 供试亲本及其脂肪含量

Table 1 Parental varieties and their fat contents

籼型品种 <i>Indica</i> cultivars	脂肪含量 Fat content (%)	粳型品种 <i>Japonica</i> cultivars	脂肪含量 Fat content (%)
培矮 64s (Peiai 64s)	1.32	A1073s	1.61
3168s	1.02	N422s	1.45
密阳 59 (Miyang 59)	0.82	T1950	1.56
E349	1.22	V1-70	1.05
Tx-1	1.33	苏选Suxuan	0.83
密阳 56 (Miyang 56)	1.47	H9304-1	1.11
平均 Average	1.20	平均 Average	1.27

表 2 不同世代脂肪含量的平均表现

Table 2 Mean values of fat content in different generations

世代 Generation	脂肪含量 Fat content (%)			
	籼/粳 <i>Indica/Japonica</i>		粳/籼 <i>Japonica/Indica</i>	
	$E_1$	$E_2$	$E_1$	$E_2$
$P_1$	1.28	1.07	1.42	1.64
$P_2$	1.43	0.84	1.31	1.10
$F_1$	—	0.84	—	1.48
$F_2$	1.29	0.91	1.32	1.31

$E_1$  = 海南陵水 Linshui county, Hainan Province;

$E_2$  = 江苏连云港 Lianyungang city, Jiangsu Province

应为主。其种子直接加性方差占总遗传方差估计值的60%(表3)。这表明通过选择可以提高脂肪含量。直接加性与环境无明显的互作,说明对脂肪含量的选择对于多种环境都是普遍有效的。基因型×环境互作有三项分量(直接显性×环境、母体显性×环境、细胞质×环境)的估计值达到极显著水平,说明脂肪含量除了主要受种子直接加性效应控制以外,在特定的环境下,还会受到直接显性、母体显性以及细胞质效应的影响。

在粳/籼型组合中,脂肪含量的遗传变异除了主要归因于直接加性以外,母体加性效应的作用也很大。两者之间还有极显著的负向协方差,说明脂肪含量的种子直接加性效应与母体加性效应有着较强的遗传负相关。此外,直接显性和母体显性效应方差分量的估计值也都达到极显著水平,说明在特定的杂交组合中,脂肪含量可能表现一定程度的直接杂种优势和母体杂种优势。在粳/籼型组合中,脂肪含量没有显著的基因型×环境互作效应。

### 2.3 遗传率分析

表4列出了脂肪含量的遗传率估计值。总遗传率可分解为普通遗传率和互作遗传率。普通遗传率包括普通直接遗传率( $h^2_O$ )和普通母体遗传率( $h^2_M$ );互作遗传率包括互作直接遗传率( $h^2_{OE}$ )和互作母体遗传率( $h^2_{ME}$ )。

由表4可见,脂肪含量的遗传率以普通遗传率为主,说明对该性状的选择在多种环境下普遍有效。在籼/粳型组合中,脂肪含量的遗传率主要是普通直接遗传率,因此宜以种子为单位对其进行改良。此外,细胞质×环境互作遗传率也达到 $\alpha=0.05$ 的显著水平,说明对脂肪含量的遗传改良还要注意细胞质效应的影响。在粳/籼型组合中,脂肪含量的普通直接遗传率和普通母体遗传率都极显著,两者的大小比较接近,说明单株选择和单粒选择对这个性状的改良都有一定效果。

表3 籼粳杂交稻米脂肪含量的遗传方差和协方差分量估计值

Table 3 Estimates of genetic variances and covariances of fat content in *indica-japonica* hybrid rices

参数 Parameters	籼/粳 <i>Indica/Japonica</i>	粳/籼 <i>Japonica/Indica</i>
直接加性方差( $V_A$ ) Direct additive variance	0.21**	6.32**
直接显性方差( $V_D$ ) Direct dominance variance	0.00	0.15**
细胞质效应方差( $V_C$ ) Cytoplasmic effect variance	0.00	0.02
母体加性方差( $V_{Am}$ ) Maternal additive variance	0.00	6.21**
母体显性方差( $V_{Dm}$ ) Maternal dominance variance	0.00	0.07**
加性协方差( $C_{A,Am}$ ) Additive covariance	0.00	-6.63**
显性协方差( $C_{D,Dm}$ ) Dominance covariance	0.00	-0.04
直接加性×环境方差( $V_{AE}$ ) Direct additive×environment variance	0.00	0.00
直接显性×环境方差( $V_{DE}$ ) Direct dominance×environment variance	0.08**	0.00
细胞质×环境方差( $V_{CE}$ ) Cytoplasm×environment variance	0.04**	0.00
母体加性×环境方差( $V_{AmE}$ ) Maternal additive×environment variance	0.00	0.00
母体显性×环境方差( $V_{DmE}$ ) Maternal dominance×environment variance	0.04**	0.00
加性×环境协方差( $C_{AE,AmE}$ ) Additive×environment covariance	0.00	0.00
显性×环境协方差( $C_{DE,DmE}$ ) Dominance×environment covariance	-0.02	0.00
剩余方差( $V_e$ ) Error variance	0.00	0.00

\*\*、\* 分别表示在 0.01 和 0.05 水平上显著, 以下同。Significant at the 0.01(\*\*) and 0.05(\*) levels, respectively. The same for Tables 4 and 5.

## 2.4 遗传效应值评价

表5列出了两类组合各亲本的加性效应和细胞质效应预测值。在粳/籼型组合中,各亲本对脂肪含量遗传改良的潜在价值主要通过直接加性效应来评价。以提高脂肪含量的目的而言,用培矮64s作母本比用3168s要好,因为其直接加性效应可以使后代脂肪含量提高。四个粳稻品种中,以T1950的直接加性效应最大,其余品种由于直接加性效应为负,不利于脂肪含量的提高。在粳/籼型组合中,两个粳稻不育系用

作亲本有利于脂肪含量的改良,其中N422s具有最大的母体加性效应值,而且其直接加性效应值也为正,因此N422s的遗传潜力更大。四个籼稻品种对于脂肪含量的改良都没有很大作用,有的是由于直接加性和母体加性效应都使脂肪含量降低,而有的则由于两种加性效应相互抵消,最终的影响很小。

表4 籼粳杂交稻米脂肪含量的遗传率

Table 4 Heritability of fat content in *indica-japonica* hybrid rices

参数 Parameters	遗传率估计值 Estimates of heritability	
	籼/粳 <i>Indica/Japonica</i>	粳/籼 <i>Japonica/Indica</i>
直接遗传率 ( $h^2_D$ ) Direct heritability	0.63**	0.50*
母体遗传率 ( $h^2_M$ ) Maternal heritability	0.00	0.45*
细胞质遗传率 ( $h^2_C$ ) Cytoplasmic heritability	0.00	0.00
直接 × 环境互作遗传率 ( $h^2_{DE}$ ) Direct × environment heritability	0.00	0.00
母体 × 环境互作遗传率 ( $h^2_{ME}$ ) Maternal × environment heritability	0.00	0.00
细胞质 × 环境互作遗传率 ( $h^2_{CE}$ ) Cytoplasm × environment heritability	0.11*	0.00

表5 亲本脂肪含量遗传效应的预测值

Table 5 Predicted values of genetic effects of fat content in parents

组合类型 Cross types	参数 Parameters	预测值 Predicted values					
		P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>
粳/籼 <i>Indica/Japonica</i>	A	0.19*	-0.15*	0.62*	-0.10	-0.48	-0.09
	CE1	-0.27*	0.16	0.00	0.13*	-0.18**	0.16
	CE2	0.16	-0.20	0.07	-0.30*	0.36*	-0.08
粳/籼 <i>Japonica/Indica</i>	A	1.54**	0.12**	-2.20**	-0.98**	0.15**	1.36**
	C	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.03
	Am	-0.87**	3.85**	-2.28**	0.91**	0.14**	-1.75**

A, Am 和 C 分别表示直接加性效应、母体加性效应和细胞质效应; CE1 和 CE2 分别表示在环境 1 (海南陵水) 和环境 2 (江苏连云港) 的细胞质 × 环境效应。P<sub>1</sub>—P<sub>6</sub> 在粳/籼型组合中分别为培矮 64s, 3168s, T1950, VI-70, 苏选和 H9304-1; 在粳/籼型组合中分别为 A1073s, N422s, 密阳 59, E349, Tx-1 和密阳 56。A, Am and C indicate direct additive effect, maternal additive effect and cytoplasmic effect, respectively; CE1 and CE2 indicate cytoplasm × environment effect in environment 1 (Linshui county, Hainan Province) and environment 2 (Lianyungang city, Jiangsu Province), respectively. P<sub>1</sub>—P<sub>6</sub> represent Peiai 64s, 3168s, T1950, VI-70, Suxuan and H9304-1 in *indica/japonica* crosses, and those represent A1073s, N422s, Miyang 59, E349, Tx-1 and Miyang 56 in *japonica/indica* crosses, respectively.

## 3 讨论

据祁祖白等<sup>[1]</sup>报道, F<sub>1</sub> 的稻米脂肪含量接近中亲值, F<sub>2</sub> 的变异为连续分布, 基本上呈单峰曲线, 说明该性状是受多基因控制的数量性状。他们以植株为单位对脂肪含量的分离特性进行

评价, 虽然揭示了总的遗传变异规律, 但没有反映出各种不同遗传效应的相对作用。稻米的脂肪含量属于种子性状, 其遗传表达可能受多种遗传系统(胚乳核基因、母体植株核基因及细胞质基因)的共同控制, 同时也受环境条件的影响。明确各种遗传控制系统的作用, 是进行遗传改良的基础。本研究的结果表明, 在籼粳亚种间杂交组合中, 稻米脂肪含量的表达, 既受控于种子直接遗传效应, 也受控于母体植株遗传效应, 以直接效应的作用为主。直接效应和母体效应都主要是加性效应, 而且加性效应与环境没有明显的相互作用, 因此可以通过选择来提高籼粳杂种的脂肪含量。易小平等<sup>[9]</sup>指出, 脂肪含量的遗传主要受核基因控制, 同时也存在细胞质效应。本研究只在籼/粳型组合中发现显著的细胞质效应, 而且表现为基因型 $\times$ 环境互作, 这说明细胞质效应只在特定的组合及特殊的环境下才有作用, 它对脂肪含量的选择效果和杂种优势利用都不会有很大的影响。

### 参考文献

- 1 祁祖白, 李宝健, 杨文广等. 水稻籽粒外观品质及脂肪的遗传研究. 遗传学报, 1983, 10(6):452-458
- 2 刘宜柏, 黄金英. 稻米食味品质的相关性研究. 江西农业大学学报, 水稻品质育种研究专集, 1990, 55-60
- 3 黄敏玉, 李炜, 张丽. 江苏省稻米品质的初步研究. 江苏农业科学, 1985, 10:1-3
- 4 祁祖白, 李宝健, 吴启元等. 籼粳杂种一代的生理学性状和米质性状的杂种优势. 遗传, 1990, 12(3):7-10
- 5 易小平, 陈芳远. 籼型杂交水稻稻米蒸煮品质、碾米品质及营养品质的细胞质遗传效应. 中国水稻科学, 1992, 6(4):187-189
- 6 朱军. 广义遗传模型与数量遗传分析新方法. 浙江农业大学学报, 1994, 20(6):551-559
- 7 朱军. 包括基因型 $\times$ 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
- 8 何照范. 粮油品质分析方法. 北京: 农业出版社, 1985
- 9 Zhu J, Weir B S. Analysis of cytoplasmic and maternal effects. I. A genetic model for diploid plant and animals. Theor Appl Genet, 1994, 89:153-159