

滇型杂交稻亲本籼粳分化与杂种优势关系的初步研究

龙雯虹¹, 许明辉², 张树华³

(¹ 云南农业大学园林园艺学院, 昆明 650201; ² 云南省农业科学院生物技术研究所, 昆明 650223; ³ 云南农业大学稻作所, 昆明 650201)

摘要: 以滇型杂交稻不育系 10 个、相应的保持系 10 个和恢复系 38 个, 以及由上述不育系和恢复系组配的 40 个杂交种为试材, 研究了亲本材料的 RAPD 籼粳分化程度与杂种优势的关系。结果表明, 亲本籼粳差异与产量杂种优势存在抛物线的关系。利用籼粳分化存在一定差异的亲本杂交, 易得到正向优势组合, 平均杂种优势较强, 但并非双亲籼粳分化差异越大越好, 双亲差异过大则不易获得正向优势组合, 使杂种优势减弱, 甚至为负。双亲籼稻成分差值以 12% ~ 16% 为宜。

关键词: 滇型杂交稻 籼粳分化 杂种优势 RAPD

A Preliminary Study on the Relationship Between the Indica-japonica Differentiation of Parents and Heterosis in Dian Type Hybrid Rice by RAPD Markers

LONG Wen-hong¹, XU Ming-hui², ZHANG Shu-hua³

(¹ College of Landscape and Horticulture, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201;

² Institute of Biotechnology, Yunnan Agricultural Academy of Sciences, Kunming 650223;

³ Rice Research Institute, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201)

Abstract: The relationship between the indica-japonica differentiation of parents and heterosis of hybrid rice was studied with 10 sterile lines, 10 maintainer lines, and 38 restorer lines of Dian type hybrid rice and 40 hybrids derived from the sterile lines and restorer lines. A parabolic correlation between the indica-japonica differentiation of parents and heterosis of hybrid rice was detected by RAPD markers. When certain indica-japonica differentiation between parents exists, the percentage of combinations with positive heterosis and the mean heterosis of hybrids was high. It does not mean that a great difference of parents will lead to stronger heterosis in hybrids and a much great difference in parents seldom bring positive heterotic hybrids. Suitable difference in percentage of indica alleles of parents with stronger heterotic hybrid was 12% - 16%.

Key words: Dian type hybrid rice; Indica-japonica differentiation; Heterosis; RAPD

籼粳亚种间杂种具有明显的优势, 其杂种优势可能与双亲的籼粳差异有关。孙传清等^[1]的研究表明, 超亲优势与双亲籼粳分化关系明显, DNA 上的差异与超亲优势的相关系数明显大于形态指数的差异与超亲优势的相关系数, 以双亲在基因组上的差异研究或预测杂种优势要优于表型性状。Li 等^[2]的研究表明, 用 94 个多态性位点计算的亲本间遗传距离与杂种优势不相关, 而用与籼粳分化有关的 45 个 RFLP 多态性位点计算的遗传距离与杂种

优势相关显著。Zhang 等^[3]研究了 RFLP 和 SSR 标记的杂合性与籼粳杂种优势之间的关系, 得出的结论是相关的存在与否或相关的程度与研究所用的材料有关。Yu 等^[4]和 Mackill^[5]认为籼稻和粳稻间 RAPD 多态性丰富, 根据 RAPD 多态性聚类可将籼稻和粳稻分开。笔者的研究也表明籼稻和粳稻在 RAPD 上存在差异^[6]。

李铮友于 1965 年在云南保山大田中发现了低海拔品种台北 8 号与高海拔籼稻天然杂交产生的雄

性不育株,随后转育成了滇1型红帽缨不育系。云南农业大学又用多个云南地方品种或野生材料进行相互杂交获得低育株,并转育成细胞质来源不同的滇2、滇3……滇10型等10种不育系。滇型不育系的遗传组分及选育过程与野败型、BT型等不育系不同。

目前所用的滇型杂交稻恢复系多数是从籼粳杂交后代中选育而来的,其籼粳成分较为复杂。为了

指导滇型杂交稻育种实践,提高育种效率,本试验采用RAPD技术对其籼粳分化程度进行分析,探讨其与杂种优势的关系。

1 材料与方法

1.1 供试材料

RAPD分析:滇型杂交稻不育系10个、恢复系38个(表1),以大粒香、南京11、滇农201、IR24、桂

表1 供试F₁代组合

Table 1 F₁ hybrids

编号 No.	♀ × ♂	Pi		杂交类型 Type of cross
		♀	♂	
F ₁ -1	滇寻1号 A × 南29	8	28	I × IV
F ₁ -2	中丹二号 A × 南29-50	8	20	I × III
F ₁ -3	越富 A × 南29-31	8	28	I × IV
F ₁ -4	滇榆1号 A × 南29-4	20	36	III × V
F ₁ -5	滇寻1号 A × 滇寻1号 A/西盟谷//南29	8	20	I × III
F ₁ -6	(滇榆1号 A////滇1//城二/6科台//滇榆) A × 南29-25	12	4	II × I
F ₁ -7	滇榆1号 A × 南29(无芒)	20	32	III × IV
F ₁ -8	(滇寻 A////滇榆//C57//358-12/南8) A × 南29-49	24	16	III × II
F ₁ -9	(滇寻 A////滇榆//C57//358-12/南8) A × 南29-65	24	32	III × IV
F ₁ -10	(滇寻1号 A////IR24//科3黎明 A//C57/ C160) A × 南29-31	20	28	III × IV
F ₁ -11	(滇寻1号 A//滇榆/烂地谷) A × 南29-5	8	28	I × IV
F ₁ -12	(东农320A//南黄/175//滇榆) A × 南29-18	24	28	III × IV
F ₁ -13	中丹二号 A × 南34	8	28	I × IV
F ₁ -14	滇寻1号 A × 沙样谷/02428//南29	8	20	I × III
F ₁ -15	93.1A × 南29-18	4	28	I × IV
F ₁ -16	93.1A × 南29-21	4	24	I × III
F ₁ -17	滇榆1号 A × 晓/南29	20	28	III × IV
F ₁ -18	滇寻1号 A × 南29-6 * 3/福锦	8	12	I × II
F ₁ -19	滇寻1号 A × 南29-13 * 3/福锦	8	20	I × III
F ₁ -20	滇寻1号 A × C57/C160 * 3//福锦	8	20	I × III
F ₁ -21	滇寻1号 A × 南29-3 * 3/云系3号	8	12	I × II
F ₁ -22	滇寻1号 A × 南29-6 * 3/云系3号	8	24	I × III
F ₁ -23	滇寻1号 A × 南29-7 * 3/云系3号	8	20	I × III
F ₁ -24	滇寻1号 A × 南29-10 * 3/云系3号	8	24	I × III
F ₁ -25	滇寻1号 A × 滇寻 B * 3/云系3号	8	24	I × III
F ₁ -26	滇寻1号 A × 南29-1 * 3/合系34号	8	4	I × I
F ₁ -27	滇寻1号 A × 南29-15 * 3/合系34号	8	20	I × III
F ₁ -28	滇寻1号 A × 南29-16 * 3/合系34号	8	20	I × III
F ₁ -29	滇寻1号 A × 南29-6 * 3/砦1号	8	8	I × I
F ₁ -30	滇寻1号 A × C57/C160)//砦1号	8	28	I × IV
F ₁ -31	滇寻1号 A × H14 * 2/福锦(BC ₂ F ₁)	8	20	I × III
F ₁ -32	滇寻1号 A × H14 * 2/合系34号(BC ₂ F ₁)	8	28	I × IV
F ₁ -33	滇寻1号 A × H14 * 2/砦1号(BC ₂ F ₁)	8	16	I × II
F ₁ -34	滇寻1号 A × H14 * 2/云系2号(BC ₂ F ₁)	8	28	I × IV
F ₁ -35	滇寻1号 A × 南29-1 * 2/云系3号(BC ₂ F ₁)	8	12	I × II
F ₁ -36	滇寻1号 A × 南29-9 * 2/福锦	8	32	I × IV
F ₁ -37	滇寻1号 A × 南29-9 * 2/福锦(紫芒)	8	8	I × I
F ₁ -38	滇寻1号 A × 南29-10 * 2/福锦(BC ₂ F ₁)	8	32	I × IV
F ₁ -39	滇寻1号 A × C57/C160 * 2//云系3号	8	28	I × IV
F ₁ -40	滇寻1号 A × 南29-10 * 2/南29-2//南29-10	8	20	I × III

朝 13、秋光、滇榆 1 号、合系 30、丰锦和巴理拉等 10 个粳、粳稻品种为标准,鉴别籼、粳分化的 RAPD 特征带。大田试验:10 个不育系(用相应的保持系代替以便计产),38 个恢复系及其组配的 40 个杂交种(表 1),以合系 42 和合系 35 两个品种为竞争对照。

1.2 方法

1.2.1 亲本 RAPD 分析

基因组 DNA 的提取方法、RAPD 分析所用的反应体系、扩增所用的 19 个籼粳分化特异性随机引物(孙传清博士提供)、试剂及电泳方法参见文献 [6]。

1.2.2 大田试验

1999 年进行预备试验,种植 40 个 F_1 组合及其父本,以合系 42 号为对照,试验在昆明市官渡区织布营进行。采用间比法设计,2 次重复,每小区种植 3 行,每行 10 株,株行距 12 cm × 15 cm,单株植,管理同一般大田。

2000 年试验在昆明市云南农业大学试验农场进行。播种 40 个组合中的 34 个,及其相应的父本、母本(为考察结实率、千粒重、粒重等性状,母本以不育系的同型保持系代替)。采用随机区组设计,3 次重复,以合系 35 为对照,每小区 3 行,每行 10 株,株行距 13 cm × 20 cm,单株植,管理同一般大田。每小区于田间随机抽取中间 10 株记载分蘖数、有效穗数、穗长、实粒数/穗、颖花数/穗、结实率、千粒重等性状,根据成熟期分批收割,考察小区产量。

1.3 统计分析

1.3.1 RAPD 遗传距离

RAPD 扩增产物以 0 或 1 统计,建立数据库(统计所有位点,包括籼粳位点和非籼粳位点),扩增带存在时赋值 1,否则赋值 0。用 Statistics 统计软件计算欧氏距离。

1.3.2 亲本籼粳分化程度及双亲籼粳分化差异

观察每个试材的谱带,检查籼性位点和粳性位点上扩增带存在与否,统计籼特征带数和粳特征带数,计算每个材料所含的籼成分 P_i 值,亲本籼成分 P_i 的计算公式为: $P_i(\%) = N_i / (N_i + N_j) \times 100\%$, 其中 N_i 为籼性位点数, N_j 为粳性位点数。

双亲籼粳分化程度的差异以籼成分的差值 ($P_{i1} - P_{i2}$) 表示。

1.3.3 杂种优势 杂种优势的计算:

$$\text{竞争优势}(\%) = (F_1 - CK) / CK \times 100\%$$

$$\text{超父本优势}(\%) = (F_1 - \text{父本}) / \text{父本} \times 100\%$$

$$\text{超中亲优势}(\%) = (F_1 - \text{中亲值}) / \text{中亲值} \times 100\%$$

2 结果与分析

2.1 亲本籼粳分化程度与杂种优势

19 个籼粳分化特异性随机引物对所有参试亲本可扩增出 73 条多态性 RAPD 带,其中 34 条为籼稻或粳稻所特有^[6]。据所有多态性带,计算了双亲间的遗传距离,通过相关分析可知双亲间 RAPD 遗传距离与每穗粒数竞争优势和结实率竞争优势呈极显著负相关(-0.5266 和 -0.5414) 与每穗颖花数超中亲优势呈显著负相关(-0.4167) 而与分蘖数超父本优势呈显著正相关(0.3968)。其遗传距离虽然与一些产量构成因子存在或正、或负的相关关系,但这些构成因子间相互制约的结果是遗传距离与产量优势无相关关系(0.0145)。根据供试材料间 RAPD 遗传距离进行了聚类分析,其聚类结果可以把籼稻和粳稻分开,供试亲本全部归于粳稻类,说明所有亲本都偏粳。

从各亲本籼成分 P_i 值(表 1)可以看出,参试亲本总体偏粳,但含有不同的籼稻成分(4% ~ 36%)。为了研究不同 P_i 值亲本间杂交组合优势大小,根据籼成分 P_i 值可将供试亲本分为 5 类:Ⅰ类 P_i 值为 4% ~ 8%,Ⅱ类为 12% ~ 16%,Ⅲ类为 20% ~ 24%,Ⅳ类为 28% ~ 32%,Ⅴ类为 36%。

不同类亲本相互组配情况见表 1 和表 2。在 2000 年研究的 34 个组合中,32 个组合的不育系 P_i 值低于恢复系,本文主要就不育系 P_i 值低于恢复系这一组配方式下不同类型亲本间组配与杂种优势的关系进行分析。由表 2 可知,在母本来源于同一类而父本来源于不同类的 4 类杂交组合中,即Ⅰ/Ⅰ、Ⅰ/Ⅱ、Ⅰ/Ⅲ、Ⅰ/Ⅳ,正向优势组合比例、3 种优势都随父本籼稻成分增加而上升,即籼稻成分 P_i 值低的不育系与 P_i 值较高的恢复系杂交,正向优势组合比率较高,优势也较大,但并非父本籼稻成分越高越好。父本籼稻成分过高,其正向优势的比率降低,优势也减弱。在不育系 P_i 值属于第Ⅰ类(为 4% ~ 8%)的 27 个组合中,以恢复系 P_i 值属于第Ⅲ类(20% ~ 24%)的组合出现正向竞争优势和超父本优势组合的机率最大,出现正向超中亲优势的机率较大,3 种优势都达最大,3 种优势最大的组合也属于此类型杂交。在Ⅲ/Ⅱ、Ⅲ/Ⅳ、Ⅲ/Ⅴ这 3 种组配方式中的 6 个组合也有上述的相似关系,只因父、母本籼稻成分差异未达到Ⅰ/Ⅳ组配方式的差异,所以没有杂优下降的现象。

分析不同类亲本组配与有效穗数、每穗实粒数、每穗颖花数、结实率、穗长和分蘖数等性状杂种优势的关系可知,偏粳的不育系与籼稻成分较高的恢复系杂交,产量构成性状的优势都较强。在母本 P_i 值

表2 杂交类型与产量优势(2000年)

Table 2 Modes of cross and yield heterosis(in 2000)

		优势类型 Type of heterosis	I/I	I/II	I/III	I/IV	II/I	III/II	III/IV	III/V
组合数	No. of combinations		3	3	11	10	1	1	4	1
正优组合数	No. of combinations with positive heterosis	竞争	0	0	5	2	0	0	2	1
		超父本	2	1	9	4	0	0	3	1
		超中亲	2	3	8	6	0	1	3	1
正优比率	Ratio of combinations with positive heterosis(%)	竞争	0	0	45.5	20	0	0	50	100
		超父本	66.7	33.3	81.8	40	0	0	75	100
		超中亲	66.7	100	72.7	60	0	0	75	100
优势平均值	Mean value of heterosis(%)	竞争	-30.83	-4.67	-2.84	-17.34	-15.90	-9.60	-5.65	3.90
		超父本	6.13	3.50	19.5	4.61	-14.90	-7.90	19.6	26.9
		超中亲	3.57	7.6	19.45	2.22	-4.1	7.8	28.15	32.0

属于第 I 类(4%~8%)的组合中,父本 P_i 值属于第 III 类(20%~24%)的组合出现正向优势的机率达最大或较大,杂种优势平均值为最大或较大,这些组合中包括有效穗数、每穗实粒数和分蘖数优势最大的组合。

综上所述,亲本籼粳差异与产量杂种优势存在一定的关系,欲获得杂种优势强的组合,应选择籼粳分化程度上存在差异的双亲组配,但这种差异并非越大越好。

2.2 双亲籼粳分化差异与杂种优势

双亲 P_i 差值与产量优势的分析见表 3。由表 3

知,当双亲 P_i 差值较小和较大时,3 种优势为正向优势的组比率小,甚至为 0,优势的变幅和平均值也较小;当双亲 P_i 差值为 12%~16%(适中)时,正向优势组合所占比率最大,竞争优势、超父本优势和超中亲优势的平均值最大,强优组合也出现于这一区段的杂交。

下图是双亲 P_i 差值与小区产量关系折线图。由该图可看出两年两个试验点竞争优势及同一年 3 种优势的结果较为一致,即一定范围内双亲 P_i 差值增大,小区产量优势增大,双亲 P_i 差值超过一定值时产量优势则急剧下降。

表3 双亲 P_i 差值与小区产量杂种优势(2000年)Table 3 P_i difference of parents and yield heterosis(in 2000)

		双亲 P_i 差值 P_i difference of parents(%)							
		0	4	8	12	16	20	24	
组合数		2	3	6	7	6	7	3	
Number of combinations									
正优组合数	No. of combinations with positive heterosis	竞争	0	0	1	3	4	2	0
		超父本	1	2	3	6	5	3	1
		超中亲	1	3	4	6	5	4	1
正优组合比例	Ratio of combinations with positive heterosis(%)	竞争	0	0	16.7	42.9	66.7	28.6	0
		超父本	50	66.7	50	85.7	83.3	42.9	33.3
		超中亲	50	100	66.7	85.7	83.3	57.1	33.3
变幅	Amplitude of heterosis	竞争	6.9~22.3	-5.9~3.2	-40.3~18.5	-33.1~37.5	-94.3~39.5	-46.3~16.9	-23.3~10.8
		超父本	-27.2~8.2	-10.9~37.4	-14.9~32.9	-10.3~80.3	-91.8~59.7	-65.2~72.8	-12.8~26.6
		超中亲	-23.4~3.8	4.4~30.4	-10.3~66.5	-12.3~80.5	-92.3~69.1	-66.7~44.3	-2.2~10.7
优势平均值	Mean value of heterosis(%)	竞争	-29.6	-4.2	-9.2	-2.0	-1.8	-18.0	-18.5
		超父本	-9.55	8.30	1.83	29.54	13.42	6.41	0.40
		超中亲	-9.80	14.17	14.12	25.69	17.82	2.14	2.37

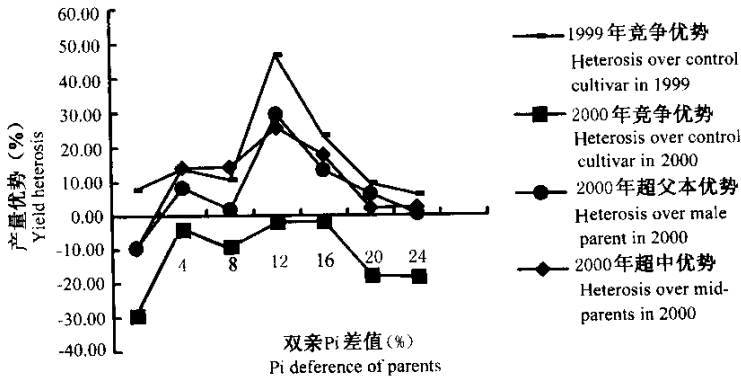


图 双亲 Pi 差值与产量优势的关系

Fig. Relationship between Pi difference of parents and yield heterosis

分析双亲 Pi 差值与千粒重、有效穗数和每穗实粒数等性状优势的关系知,双亲 Pi 差值为 12% ~ 16% 时,有效穗数超父本优势为正的组所占比率最大,结实率竞争优势为正的组所占比率较大,每穗实粒数竞争优势的平均值最大,千粒重超父本优势、有效穗数竞争优势、有效穗数超父本优势、有效穗数超中亲优势的平均值较大,此时还出现有效穗数超中亲优势、每穗实粒数竞争优势最大的组合。可见,双亲 Pi 差值适中(12% ~ 16%) 时,杂种穗多、粒多、粒大,因而出现正向优势组合的机率也大,产量优势强。

3 讨论

前人根据形态特征、用同工酶及 RFLP 分子标记技术研究了水稻籼粳分化及其与杂种优势的关系,但各种研究方法都存在一定的局限性。本研究采用 RAPD 分子标记技术分析了溧型杂交稻亲本差异,表明亲本间在 RAPD 分子标记上存在籼粳分化差异,溧型杂交稻不育系和恢复系多数偏粳;另外, RAPD 分析程序简单、便于操作,可标记出籼粳分化位点,从而可以对一些形态分化差异甚微的材料作出区别判断,进行定量分析,是研究水稻品种籼粳分化的有力手段。

亲本间的遗传差异是多方面的,涉及很多性状、很多位点,而与产量杂种优势相连锁的性状或位点却是特定的,即并非个别性状存在差异就产生杂种优势,或并非所有的多态性位点都与杂种优势相关。这也是为什么有的研究认为遗传距离与杂种优势相关^[7,8],有的研究认为遗传距离与杂种优势无关^[9]的一个原因。本研究根据 73 个多态性位点计算的

遗传距离与产量杂种优势无相关关系($r = 0.0145$)。然而,分析亲本的籼粳分化程度可知,当用籼稻成分为 4% ~ 8% 的不育系与籼稻成分为 20% ~ 24% 的恢复系组配时,组合的杂种优势强,以双亲籼稻成分差值为 12% ~ 16% 为宜。Zhang^[10,11] 的研究也表明杂种优势与一般杂合度(利用全部标记位点计算的杂合度)相关不显著,而与特殊杂合度(对某一性状有极显著效应的分子标记位点的杂合度)相关显著。Li^[2] 的研究也表明,用 94 个位点的多态性计算出的亲本间的遗传距离与杂种优势不相关,而用与籼粳分化有关的 45 个位点的多态性计算的遗传距离与杂种优势相关显著。可见,在研究某种作物、某种性状的杂种优势与亲本遗传差异的关系时,应着力于找到与该作物该性状杂种优势的产生相连锁的位点。从笔者及前人的研究看,水稻籼粳分化位点可能与产量杂种优势密切相关。

本研究所用试材均偏粳,欲获得强优势组合,在母本偏粳的条件下,要求父本的籼成分高一些,即父本籼稻成分比母本高,12% ~ 16% 为宜。Lu^[12] 的研究结论是父本粳性成分为 25%,母本粳性成分为 80% 时,杂种优势强,即父本籼稻成分要比母本高,这与笔者的结论基本一致。要证实双亲籼粳成分与杂种优势的关系,仍需扩大材料范围作深入的研究。

致谢 承蒙中国农业大学王象坤教授和孙传清博士审阅,并提出宝贵意见,在此特致谢意!

References

- [1] 孙传清,姜廷波,陈亮,吴长明,李自超,王象坤.水稻杂种优势与遗传关系的研究.作物学报,2000,26(6):641-649.
Sun C Q, Jiang T B, Chen L, Wu C M, Li Z C, Wang X K.

- Studies on the relationship between heterosis and genetic differentiation in hybrid rice (*Oryza sativa* L.). *Acta Agronomica Sinica*, 2000, 26(6): 641-649. (in Chinese)
- [2] Li R H, Xu C G, Yang Z Y, Wang X K. The extent of genotypic divergence determines maximal heterosis by increasing fertility in inter-subspecific hybrids of rice (*Oryza sativa* L.). *Molecular Breeding*, 1998, 4: 205-214.
- [3] Zhang Q F, Zhou Z Q, Yang G P, Xu C G, Liu K D, Saghai Maroof M A. Molecular marker heterozygosity and hybrid performance in indica and japonica rice. *Theor. Appl. Genet.* 1996, 93: 1 218-1 224.
- [4] Yu L X, Nguyen H T. Genetic variation detected with RAPD markers among upland and lowland rice cultivars (*Oryza sativa* L.). *Theor. Appl. Genet.* 1994, 87: 668-672.
- [5] Mackill D J. Classifying japonica rice cultivars with RAPD markers. *Crop Science*, 1995, 35: 889-894.
- [6] 龙雯虹, 许明辉. 籼稻和粳稻品种在 RAPD 上的遗传差异. 云南农业大学学报, 2002, 17(3): 245-247.
Long W H, Xu M H. RAPD-based genetic difference between indica rice and japonica rice. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 2002, 17(3): 245-247. (in Chinese)
- [7] 张培江, 才宏伟, 袁平荣, 杨联松, 白一松, 胡兴明, 许传万, 孙明. 利用 RAPD 标记水稻亲本遗传差异及其在杂种优势中的利用. 安徽农业科学, 1999, 27(5): 421-424, 428.
Zhang P J, Cai H W, Yuan P R, Yang L S, Bai Y S, Hu X M, Xu C W, Sun M. Genetic diversity detected with RAPD markers among rice (*Oryza sativa* L.) and its utilization in hybrid rice breeding. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 1999, 27(5): 421-424, 428. (in Chinese)
- [8] 李云海, 钱前, 曾大力, 孙宗修. 我国主要杂交水稻亲本的 RAPD 鉴定及遗传关系研究. 作物学报, 2000, 26(2): 171-176.
Li Y H, Qian Q, Zeng D L, Sun Z X. Identification by RAPD analysis and studies on genetic relationship of main parents of hybrid in China. *Acta Agronomic Sinica*, 2000, 26(2): 171-176. (in Chinese)
- [9] 廖伏明, 周坤炉, 阳和华, 徐秋生. 杂交水稻种优势亲本遗传差异及其与杂种优势关系. 中国水稻科学, 1998, 12(4): 193-199.
Liao F M, Zhou K L, Yang H H, Xu Q S. Genetic difference of parents and its relation to heterosis in hybrid rice. *Chinese J. Rice Sci.* 1998, 12(4): 193-199. (in Chinese)
- [10] Zhang Q F, Gao Y J, Yang S H, Ragab R A, Saghai Maroof M A, Li Z B. A diallel analysis of heterosis in elite hybrid rice based on RFLPs and microsatellites. *Theor. Appl. Genet.* 1994, 89: 185-192.
- [11] Zhang Q F, Gao Y J, Yang S H, Saghai Maroof M A. Molecular divergence and hybrid performance in rice. *Molecular Breeding*, 1995, 1: 133-142.
- [12] Luo L J, Mei H W, Yu X Q, Wang Y P, Zhong D B, Ying C S, Li Z K, Paterson A H. Yield heterosis performance and their parental genetic diversity in rice. *Chinese J. Rice Sci.* 1999, 13(1): 6-10.

(责任编辑 孙雷心)