

水稻 CMS 和 TGMS 近等基因系的构建及其配合力评价

王际凤^{1,2}, 陆作楣^{1*}

- (1. 南京农业大学作物遗传与种质创新国家重点实验室, 江苏 南京 210095;
2. 贵州省水稻研究所, 贵州 贵阳 550006)

摘要: 以温敏核不育系培矮 64S 和 6311S 为母本和轮回亲本, 与保持系新协黄 B 杂交, 采用回交-测交的方法, 排除恢复基因和温敏核不育基因, 首次育成了温敏核雄性不育系的质核互作型雄性不育近等基因系培矮 64A 和 6311A。并配组了一套 4 个不育系 × 6 个恢复系的不完全双列杂交组合。研究了温敏核不育系和质核互作型雄性不育近等基因系培矮 64S 和培矮 64A 及 6311S 和 6311A 的育性、形态特征和一般配合力的差异。结果表明, 在遗传背景相同的前提下, 不育期的温敏核不育系与其相应的质核互作型雄性不育系除花粉特征、柱头大小和异交结实率有一定差异外, 其他农艺经济性状均表现一致。近等基因系培矮 64S 和培矮 64A 与 6311S 和 6311A 产量及其他农艺性状的一般配合力存在显著差异, 但是培矮 64S 和培矮 64A、6311S 和 6311A 的产量及其他农艺性状的一般配合力没有显著差异, 说明水稻杂种优势的高低与两系三系法没有必然的联系。

关键词: 近等基因系; 温敏核不育系; 质核互作型雄性不育系; 配合力

中图分类号: S511.032 文献标识码: A 文章编号: 1000-2030 (2008) 02-0001-05

Breeding of rice near isogenic lines of TGMS and CMS and their comparison of combining ability

WANG Ji-feng^{1,2}, LU Zuo-mei^{1*}

- (1. State Key Laboratory of Crop Genetics and Germplasm Enhancement, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. Guizhou Rice Research Institute, Guiyang 550006, China)

Abstract: By using thermo-sensitive genic male sterile (TGMS) lines Pei'ai 64S and 6311S as recurrent parent to cross a maintainer-line Xinxiehuang B, two near-isogenic cytoplasmic male sterile (CMS) lines Pei'ai 64A and 6311A were developed by backcrossing and test-crossing to kick out of Rf (restoring fertility) -genes and TGMS-genes in this study. And then, incomplete diallel crosses of 4 near-isogenic lines × 6 restorer lines were conducted to study the difference of the combining ability between TGMS-lines and near-isogenic CMS-lines. The results were as follows. In 7 agronomic characters (plant height, days to heading, length of flag-leaf, length of panicle, length of enclosed panicle, spikelets per panicle and sterility), TGMS-lines were similar to their near-isogenic CMS-lines but were distinct from their near-isogenic CMS-lines in three characters of pollen, stigma length and outcrossing rate. In yield and the other agronomic characters, the combining ability of Pei'ai 64S and its' near-isogenic CMS-line Pei'ai 64A was remarkably different from that of 6311S and its' near-isogenic CMS-line 6311A but the combining ability of the two TGMS-lines was similar to that of their near isogenic CMS-lines, suggesting that TGMS-lines and their near-isogenic CMS-lines in the same genetic background had the same combining ability.

Key words: near-isogenic lines; thermo-sensitive genic male sterile line (TGMS-line); cytoplasmic male sterile line (CMS-line); combining ability

光(温)敏核雄性不育系和质核互作型雄性不育系分别是两系和三系杂交水稻的遗传工具。对于两系和三系法杂交水稻比较研究上,不少学者认为两系法比三系法杂交稻具有更好的产量优势^[1-3]。其理论依据是:三系不育系细胞质对杂交组合产量有负向效应;两系不育系选育容易,恢复系多,配组自由,可进行品种间和亚种间组合选育,因而容易选育到强优组合^[1-3]。因此,20世纪80年代以来开展了光(温)敏核雄性不育系及其强优组合的选育和研究。虽然不少研究证明两系不育系在产量或农艺

收稿日期: 2007-06-04

基金项目: 长江学者和创新团队发展计划 (IRT0432)

作者简介: 王际凤, 研究员, 博士, E-mail: jifeng64@yahoo.com.cn.* 通讯作者: 陆作楣, 教授, 博导, 研究方向为水稻遗传育种, Tel: 025-84395529。

性状方面具有很好的配合力^[4-6]，并育成了一些优良杂交组合，如两优培九等，但是无论从育成组合数量还是推广面积来看，都没有达到两系取代三系杂交水稻的预期目标。

笔者在研究温敏核不育基因在三系遗传背景下表达的过程中^[7]，采用连续回交-测交的方法，首次获得两套遗传背景相似的温敏核雄性不育 (TGMS) 和质核互作型雄性不育 (CMS) 近等基因系，并利用这两套近等基因系研究了温敏核不育系和质核互作型不育系的配合力差异，以检验两系和三系杂交水稻优势的真实差异。

1 材料与方法

1.1 试验材料

两套 TGMS 和 CMS 近等基因系为温敏核不育系培矮 64S 和 6311S 及其相应的 CMS 近等基因系培矮 64A 和 6311A，培矮 64S 由国家杂交水稻工程技术研究中心育成，其他由南京农业大学水稻研究所育成，具体选育过程参见 2.1。以 4 个近等基因系为母本，蜀恢 527、明恢 86、明恢 63、752、紫 66 和 R7693 等 6 个恢复系为父本，按 $p \times q$ 交配模式^[8] 配制 24 个 F_1 组合。

1.2 研究方法

1.2.1 田间试验 两套近等基因系和 24 个 F_1 组合于 2005 年 5 月 13 日播种于南京农业大学江浦实验站，6 月 14 日移栽，单本栽插 (16.7 cm \times 23.3 cm)。4 个近等基因系按顺序各定植 100 株。24 个 F_1 组合采用随机区组设计，2 个重复，每小区 30 穴。常规管理，及时进行病虫害防治。

1.2.2 性状调查 两套近等基因系调查的主要农艺性状为：花粉育性、自交结实率、异交结实率、柱头长度、株高、播种-抽穗历期、剑叶长、有效穗数、穗长、穗粒数、千粒重。在 8 月上中旬抽穗期，每个不育系取 5 株，按文献 [7] 的方法镜检当日开花的颖花花粉染色率，计算染色花粉平均值。农艺性状除以下特别说明外均参照文献 [9] 的方法调查：每个不育系取 5 株，开花前每株取 3 穗套袋，25 d 后调查自交结实率；在开花盛期，每个不育系取 5 株，每株选 3~4 个盛花穗，剪掉当天未开和已经开过的颖花，以相同父本进行授粉，25 d 后调查异交结实率；在显微镜下测量 10 个当日开花颖花的柱头长度，计算平均值；培矮 64S、6311S 千粒重为在海南可育期内收获种子的千粒重，培矮 64A、6311A 千粒重以同期的培矮 64B、6311B 种子千粒重代替，均重复 3 次。

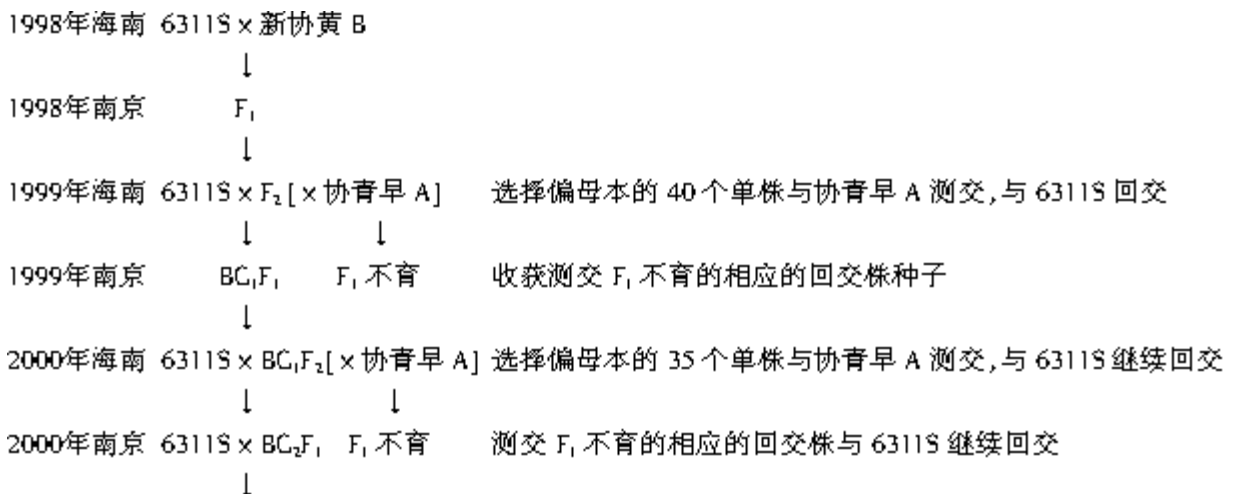
F_1 组合调查的主要农艺性状有：株高、播种-抽穗历期、剑叶长、有效穗数、穗长、穗粒数、结实率、千粒重和单株产量。成熟时收获小区 30 株，晒干，计算单株产量。

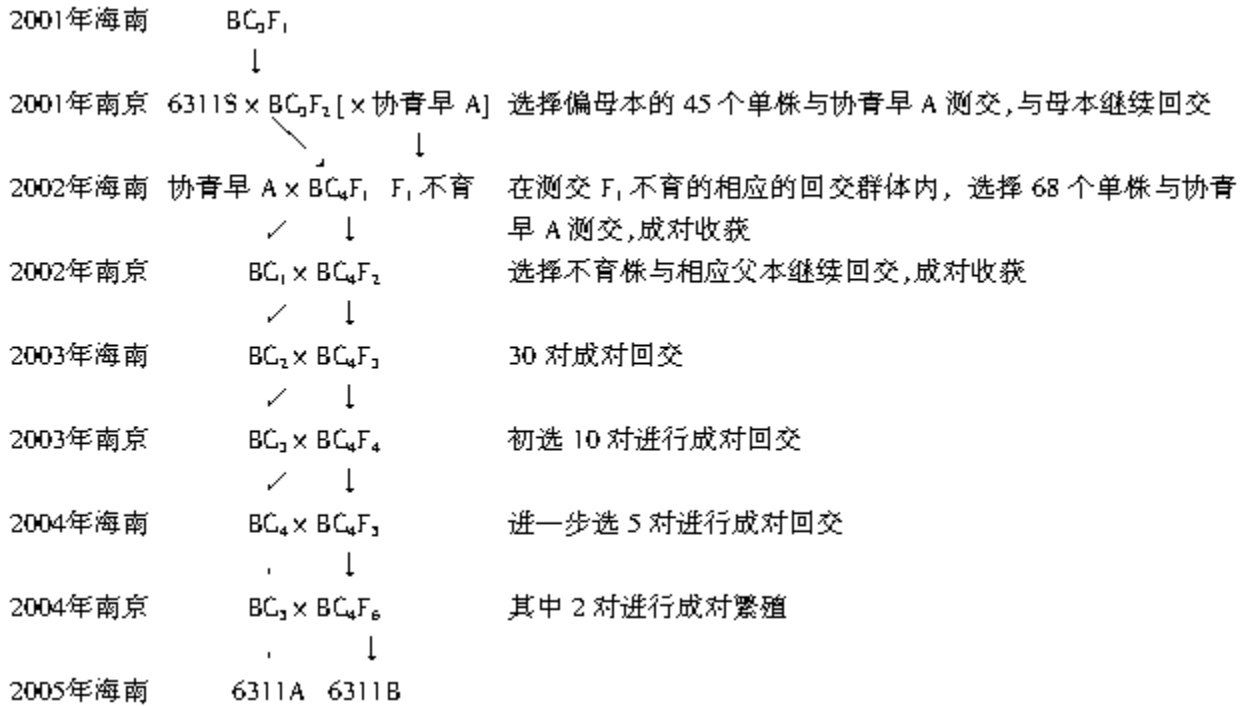
1.2.3 近等基因系育性和农艺经济性状以及配合力的比较分析 用 t 测验法判断两套近等基因系间各性状的一致性^[10]。配合力方差分析参照文献 [8, 11]，选用固定模型。近等基因系的配合力差异采用单一自由度独立比较分析^[12]。

2 结果与分析

2.1 近等基因系的选育过程

6311A 和 6311B 的选育过程如下：





培矮 64A 和培矮 64B 的选育过程同 6311A 和 6311B。

2.2 近等基因系培矮 64S 和培矮 64A、6311S 和 6311A 的育性表现

在不育期, 这两套近等基因系自交结实率均为 0, 花粉染色率培矮 64A 为 0.3%, 其他均为 0。培矮 64S 和培矮 64A 异交结实率分别为 16.4% 和 28.5%, 差异显著 ($P < 0.05$); 6311S 和 6311A 异交结实率分别为 10.5% 和 22.3%, 差异显著 ($P < 0.05$)。结果表明: 在遗传背景相同的条件下, 不育期内的温敏核不育系和质核互作型不育系的花粉组成有一定差异, 但自交都不结实, 而异交结实率存在一定差异。

2.3 培矮 64S 和培矮 64A、6311S 和 6311A 的农艺性状比较

从表 1 可见, 不育期间的培矮 64S 和培矮 64A、6311S 和 6311A 除柱头长度有差异外, 株高、播种-抽穗历期、剑叶长、穗长、包穗长、穗粒数和结实率等农艺性状基本相似, 说明经过多次回交和定向选择之后, 两套近等基因系培矮 64S 和培矮 64A、6311S 和 6311A 的农艺性状基本上是一致的。

2.4 近等基因系培矮 64S 和培矮 64A、6311S 和 6311A 的配合力比较

两套近等基因系的每个不育系与 6 个恢复系所配 6 个 F₁ 组合的各性状平均值见表 2。方差分析表明: 除穗数外, 产量和产量结构及农艺性状的测定值在不同组合间存在显著或者极显著差异 (表 3), 表明各组合间存在真实的遗传差异。进一步的分析可以看出, 恢复系间单株产量、株高、播种-抽穗历期、结实率和千粒重等性状一般配合力方差均达极显著水平, 说明本试验所选用的 6 个恢复系具有一定的代表性。不育系间除有效穗数外其他 7 个性状一般配合力方差均达极显著水平, 表明 4 个不育系之间存在整体的差异。此外, 除播种-抽穗历期、穗长、千粒重外, 其余 5 个性状父母本特殊配合力方差均不显著, 说明组合的特殊配合力的作用是有限的。

表 1 培矮 64S 和培矮 64A、6311S 和 6311A 的主要农艺性状比较
Table 1 Comparison of main characters of Pei'ai 64S and Pei'ai 64A, 6311S and 6311A

性状 Character	培矮 64S Pei'ai 64S	培矮 64A Pei'ai 64A	6311S	6311A
株高/cm Plant height	76.9	78.2	79.2	78.8
播种-抽穗历期/d Days to heading	86.6	85.5	80.4	80.0
剑叶长/cm Length of flag leaf	26.5	27.8	25.1	27.3
柱头长度/mm Stigma length	1.9 ^a	2.4 ^b	1.5 ^a	2.2 ^b
有效穗数 Panicles	11.6	12.5	8.6	8.0
穗长/cm Panicle length	18.5	17.8	16.7	16.1
包穗长/cm Length of enclosed panicle	6.2	6.8	6.8	7.8
穗粒数 Spikelets	169.3	155.7	142.4	155.2
结实率/% Seed setting rate	0.0	0.0	0.0	0.0
千粒重/g 1 000-grain weight	20.8	21.4	27.4	27.3

注: 不同上标字母表示近等基因系在 0.05 水平差异显著。

Note: The different superscript letters indicate significant difference of near-isogenic line at 0.05 level.

表 2 4 个不育系和 6 个恢复系所配 F₁ 组合的产量和主要农艺性状 ($\bar{x} \pm SD$)Table 2 Yield and main agronomic characters of F₁ between 4 sterile lines and 6 restorer lines

性状 Character	培矮 64S/R ₁₋₆ Pei'ai 64S/R ₁₋₆	培矮 64A/R ₁₋₆ Pei'ai 64A/R ₁₋₆	6311S/R ₁₋₆	6311A/R ₁₋₆
单株产量/g Yield per plant	30.41 ± 3.91	30.93 ± 3.90	35.03 ± 2.70	35.76 ± 2.86
有效穗数 Panicles	9.30 ± 0.91	9.60 ± 0.67	9.10 ± 0.59	9.40 ± 0.76
穗粒数 Spikelets	190.10 ± 15.79	187.70 ± 16.84	180.60 ± 14.17	182.00 ± 14.39
结实率/% Seed setting rate	70.80 ± 2.24	71.90 ± 1.99	75.90 ± 2.44	75.20 ± 3.21
千粒重/g 1 000-grain weight	25.90 ± 1.52	26.30 ± 1.23	29.40 ± 1.00	29.50 ± 0.98
株高/cm Plant height	111.00 ± 4.85	110.20 ± 5.01	124.30 ± 7.27	115.40 ± 7.91
播种-抽穗历期/d Days to heading	96.30 ± 4.68	96.00 ± 4.71	94.30 ± 6.53	94.30 ± 5.87
穗长/cm Panicle length	25.80 ± 1.45	26.20 ± 0.83	26.50 ± 1.53	27.00 ± 1.44

注: R₁₋₆ 为恢复系蜀恢 527、明恢 86、明恢 63、R752、紫 66 和 R7693。R₁₋₆ are Shuhui 527, Minghui 86, Minghui 63, R752, Zi 66 and R7693.

表 3 24 个 F₁ 组合的方差分析及配合力方差分析得到的均方值Table 3 MS value of combining ability and 24 F₁ genotypes

变异来源 Variance source	区组间 Replication	F ₁ 基因型间 F ₁ genotype	不育系间 Sterile line	恢复系间 Restorer	不育系 × 恢复系 Sterile line × Restorer	误差 Error
DF	1	23	3	5	15	23
单株产量 Yield per plant	0.619	31.822 **	111.233 **	54.491 **	8.384	4.604
有效穗数 Panicles	0.653	1.018	5.033	0.251	0.470	0.532
穗粒数 Spikelets	163.578	498.058 **	2 032.275 **	273.040	266.220	140.071
结实率 Seed setting rate	14.051	20.645 *	52.498 **	44.540 **	6.309	9.081
千粒重 1 000-grain weight	2.159	8.357 **	7.575 **	26.907 **	2.330 **	0.776
株高 Plant height	0.141	82.074 **	438.449 **	49.484 **	21.663	5.532
播种-抽穗历期 Days to heading	0.186	54.564 **	376.701 **	8.479 **	5.499 **	0.753
穗长 Panicle length	0.002	3.531 **	13.660 **	1.650	2.133 *	0.919

Note: 1) $F_{0.05}(23, 23) = 2.02$, $F_{0.01}(23, 23) = 2.72$; $F_{0.05}(3, 23) = 3.03$, $F_{0.01}(3, 23) = 4.76$; $F_{0.05}(5, 23) = 2.64$, $F_{0.01}(5, 23) = 3.94$; $F_{0.05}(15, 23) = 2.13$, $F_{0.01}(15, 23) = 2.93$

2) * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

进一步对培矮 64S 和培矮 64A 及 6311S 和 6311A 配合力进行分群比较 (表 4), 结果表明: 除有效穗数外, 单株产量、穗长、穗粒数、结实率、千粒重、株高、播种-抽穗历期等农艺经济性性状这两套近等基因系之间存在极显著差异, 进一步验证了两套近等基因系间一般配合力存在显著差异。而培矮 64S 与培矮 64A、6311S 与 6311A 所配组合所有农艺经济性性状没有差异, 说明 TGMS 和 CMS 近等基因系具有相同的配合力。

表 4 4 个近等基因系产量和主要农艺性状配合力的单一自由度方差分析均方值

Table 4 MS value of independent comparison of single degree for combining ability of yield and main agronomic characters of 4 near-isogenic lines

变异来源 Variance source	6311S + 6311A 比培矮 64S + 培矮 64A 6311S + 6311A vs Pei'ai 64S + Pei'ai 64A	6311S 比 6311A 6311S vs 6311A	培矮 64S 比培矮 64A Pei'ai 64S vs Pei'ai 64A	误差 Error
DF	1	1	1	23
单株产量 Yield per plant	267.673 **	3.172	1.611	4.604
有效穗数 Panicles	0.403	0.427	0.427	0.532
穗粒数 Spikelets	690.918 **	11.468	34.560	140.071
结实率 Seed setting rate	211.302 **	2.912	8.485	9.081
千粒重 1 000-grain weight	133.667 **	0.132	0.735	0.776
株高 Plant height	239.413 **	4.167	3.840	5.532
播种-抽穗历期 Days to heading	42.188 **	0.042	0.167	0.753
穗长 Panicle length	6.149 **	1.021	1.080	0.919

Note: $F_{0.05}(1, 23) = 4.28$, $F_{0.01}(1, 23) = 7.88$

3 讨论

在水稻不育系细胞质对杂种优势效应的问题上, 有学者认为, 三系不育系存在不育细胞质负效应, 两系不育系可避免不育细胞质负效应。事实上, 不育细胞质对水稻产量、穗数和穗粒数等性状的杂种优

势效应, 迄今为止尚未取得一致的结果^[13-15], 这可能是由于产量、穗数和穗粒数等性状遗传力低^[16-17], 受环境影响较大造成的。育种实践也证明: 双亲遗传差异适当、配合力强、恢复度好的组合, 不育细胞质不足以改变杂种优势的方向和程度^[3]。此外, 无论是两系还是三系, 都需要解决杂交水稻育种的配合力选择问题以选育优良组合^[18]。因此过分强调三系不育细胞质对水稻杂种优势存在负效应是值得商榷的。本研究利用两套 TGMS 和 CMS 近等基因系与籼稻恢复系配组, 研究了温敏核不育系和质核互作型不育系的配合力差异, 结果表明遗传背景相同的温敏核不育系和质核互作型不育系具有相同的配合力。两系、三系组合间差异主要是来自不育系和恢复系品种间的差异, 而不是不育系细胞质间的差异, 因而从理论上证明了两系、三系杂交稻的优势表现并不存在优劣之分, 无论是采用两系法还是三系法都可以选育出优良组合。

从两系、三系杂交稻的育种实践来看, 根据中国水稻所报道的资料^[19], 1998 至 2003 年共有 347 个杂交稻组合参加国家水稻区域试验, 其中 39 个为两系组合, 有 11 个与对照相比增产显著, 增产幅度高的组合如准两优 527 和扬两优 6 号产量分别为 $8.03 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $8.37 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 比对照汕优 63 增产 7.22% 和 6.35%; 308 个为三系组合, 有 128 个与对照相比增产显著, 增产幅度高的组合如金优 527、红优 527 和宜香优 3003 产量分别为 $9.12 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $8.91 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $8.88 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 比对照汕优 63 增产 8.88%、6.06% 和 5.97%。两系组合中以两优培九最为突出, 其推广面积达到 78.3 万 hm^2 , 仅次于三系组合汕优 63、II 优 838、岗优 725 (农作物主要品种推广情况智能查询系统: <http://www.seedchina.com/manage/lzty.htm>)。说明两系三系优良组合的优势相当, 都有很好的推广潜力。

参考文献:

- [1] 卢兴桂. 我国两系法杂交水稻研究与发展现状 [J]. 湖北农业科学, 1996(增刊): 5-7
- [2] 黄群策, 孙敬三. 我国农作物两系法杂种优势育种和应用的进展 [J]. 科技导报, 1997(12): 11-14
- [3] 袁隆平. 杂交水稻学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2002: 128-136
- [4] 陈顺辉, 卢浩然, 杨聚宝, 等. 两系法亚种间杂交稻主要性状的优势和配合力表现及其相关分析 [J]. 福建农业大学学报, 1997, 26(1): 1-7
- [5] 龚光明, 周国锋, 尹楚球, 等. 籼型两用核不育系主要农艺性状的配合力分析 [J]. 中国水稻科学, 1993, 7(3): 137-142
- [6] 朱镇, 赵凌, 宗寿余, 等. 两系杂交粳稻主要性状的配合力分析 [J]. 江西农业学报, 2006, 18(1): 11-14
- [7] 王际凤, 陆作楣. 温敏核不育基因在籼型三系遗传背景下的育性表达 [J]. 中国水稻科学, 2006, 20(5): 487-492
- [8] 莫惠栋. $p \times q$ 交配模式的配合力分析 [J]. 江苏农学院学报, 1982, 3(3): 51-57
- [9] 盖钧镒. 作物育种学各论 [M]. 2 版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 47-48
- [10] 盖钧镒. 试验统计方法 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 81-88
- [11] 莫惠栋. $p \times q$ 交配模式的配合力分析(续) [J]. 江苏农学院学报, 1982, 3(4): 53-57
- [12] 陆作楣, 陶瑾, 赵霭林, 等. 方差分析的分群比较法 [J]. 江苏农业科学, 1983(4): 18-20
- [13] 汤述翥, 张亚东, 孙红芹, 等. 水稻同核异质广亲和不育系细胞质效应的研究 [J]. 作物学报, 2003, 29(2): 202-207
- [14] 王才林, 汤述翥, 汤玉庚. 杂交粳稻同核异质不育系细胞质效应的研究 [J]. 中国水稻科学, 1998, 12(2): 65-71
- [15] 潘熙淦, 陈承尧, 陈大洲, 等. 水稻杂种优势利用基础研究报告. IV. 细胞质对杂种优势效应的分析 [J]. 江西农业科技, 1982(2): 9-12
- [16] 彭俊华, 曾德初, 龙太康, 等. 应用不完全双列杂交法协作选配杂交水稻新组合的研究. II. 数量性状配合力和遗传力的分析 [J]. 西南农业学报, 1996, 9(3): 12-21
- [17] 沙录. 粳稻品种间杂交产量性状优势效应的遗传分析 [D]. 长春: 吉林农业大学, 2006
- [18] 陆作楣. 论杂交稻两系法育种 [J]. 南京农业大学学报, 1996, 19(4): 1-4
- [19] 杨仕华, 程本义, 沈伟峰. 我国南方稻区杂交水稻育种进展 [J]. 杂交水稻, 2004, 19(5): 1-5

责任编辑: 沈 波