

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2008.01549

## 新质源 CMS-FA 杂交稻系统的亲本资源筛选

王乃元 梁康迳 李毓 王颖 王洪飞 仇秀丽 韦新宇 张瑛英  
柯蓓 赵建亚

(福建农林大学作物科学学院, 福建福州 350002)

**摘要:** 用新质源雄性不育系金农 1A(CMS-FA)作母本, 分别与来自 10 个国家和国内 13 个省份的 220 个水稻品种组配成杂交种, 考察  $F_1$  代的花粉染色率、套袋结实率和自然结实率。在  $F_1$  代中, 当这 3 项育性指标均  $\leq 10\%$  时, 显示父本品种具有雄性不育保持能力, 因而将其划分为保持系资源; 当 3 项育性指标均  $\geq 80\%$  时, 显示父本品种具有雄性不育恢复能力, 将其划分为恢复系资源; 以外的其他父本品种, 即 3 项育性指标中任何一项指标  $>10\%$  或  $<80\%$ , 既不能作为保持系, 也不能作为恢复系, 被划分为非杂交稻亲本资源。在 220 个水稻品种中, 可作为金农 1A 保持系的有 122 个, 占 55.5%; 未发现恢复系亲本; 非杂交稻亲本品种有 98 个, 占 44.5%。CMS-FA 型的杂交稻亲本资源利用率为 55.5%。对照野败型不育系珍汕 97A(CMS-WA)的保持系亲本品种有 44 个, 占 20.0%; 恢复系亲本品种 42 个, 占 19.1%; 非杂交稻亲本品种 134 个, 占 60.9%。CMS-WA 型的杂交稻亲本资源利用率为 39.1%。CMS-FA 系统比 CMS-WA 系统的亲本稻种资源利用率高 16.4 个百分点, 尤其是保持系资源利用率高 35.5 个百分点(近 1.8 倍)。国外品种的育性普遍低于国内品种。

**关键词:** CMS-FA; 保持系; 杂交稻亲本资源利用率; 花粉染色率; 套袋结实率; 自然结实率

## Screening Parent Resources of Hybrid Rice in New Cytoplasm Male Sterile System (CMS-FA)

WANG Nai-Yuan, LIANG Kang-Jing, LI Yu, WANG Ying, WANG Hong-Fei, QIU Xiu-Li, WEI Xin-Yu, ZHANG Ying-Ying, KE Bei, and ZHAO Jian-Ya

(College of Crop Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, Fujian, China)

**Abstract:** Jinnong 1A is a new type of cytoplasm male sterile (CMS) line in three-line hybrid rice (*Oryza sativa* L.). It is completely different from the sterile line of CMS-WA and CMS-HL types, and designated as CMS-FA type. In this study, Jinnong 1A, as the female parent, was crossed with 220 rice varieties originated from 10 countries and 13 provinces of China. The fertility of the  $F_1$  generation was evaluated with  $F_1$  pollen dye ability rate, bagged seed-setting rate, and natural seed-setting rate. The male parent was classified into maintainer or restorer lines when all the three fertility indices were  $\leq 10\%$  or  $\geq 80\%$  in the  $F_1$  generation. Otherwise, it was regarded as non-parental variety for CMS-FA hybrid rice. In the total 220 varieties, 122 were identified as maintainer lines of Jinnong 1A, which accounted for 55.5%, but no varieties could be used as restorer lines. The other 98 varieties (accounting for 45.5%) were non-parent for CMS-FA hybrid rice. With regard to CMS-WA sterile line, Zhenshan 97A taken as the control in the study, the maintainer and restorer lines were 44 (20.0%) and 42 (19.1%), respectively. Compared with CMS-WA hybrid system, the CMS-FA system had a higher parent utilization rate by 16.4 percentile, especially the maintainer line utilization was higher by 35.5 percentile (up to 1.8 folds). Generally, the fertility abilities of domestic varieties were higher than those of introduced varieties in the  $F_1$  generation.

**Keywords:** CMS-FA; Maintainer line; Utilization rate of parental resources of hybrid rice; Pollen dyeability percentage; Bagged seed-setting percentage; Self-setting percentage

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2007AA10Z181); 福建省农业科技重点项目(2006N0006); 福建省自然科学基金项目(2006J0060)

作者简介: 王乃元(1952-), 男, 浙江仙居人, 研究员, 研究方向: 水稻遗传育种和杂种优势利用。Tel: 0591-83792885, 13509352705;

E-mail: wangny@sina.com

Received(收稿日期): 2007-10-12; Accepted(接受日期): 2008-02-01.

水稻雄性不育系、雄性不育保持系和雄性不育恢复系合称为杂交稻亲本,杂交稻亲本品种占稻种资源的百分率称为稻种资源利用率,是育种家对水稻品种资源大量测交、选择和系统评价获得的重要资源,也是评价杂交稻技术体系的重要指标。

我国1970年在海南岛崖县的普通野生稻群落中找到花粉败育型的野生稻,用这个野生稻作为母本,育成了二九南1号A、V20A、珍汕97A等一系列雄性不育系,称为野败型(CMS-WA)不育系<sup>[1]</sup>。与此同时,用CMS-WA不育系与大量水稻品种测交寻找保持系和恢复系。例如,湖南省水稻杂种优势利用协作组用珍汕97A与731个水稻品种测交,结果保持较好的品种占测交品种的85.3%;部分保持品种占2.5%;恢复品种占12%<sup>[1-2]</sup>。湖南省农业科学院1975年用CMS-WA不育系与375个东南亚品种和我国华南晚粳品种测交,具有恢复力的品种仅占4%左右<sup>[1-2]</sup>。江西省水稻杂种优势利用协作组用CMS-WA不育系与256个晚粳品种测交,其中恢复品种占62.11%。与3546个早、中粳品种测交,恢复品种占19.65%<sup>[2]</sup>。中国和国际水稻研究所(International Rice Research Institute, IRRI)合作研究了IRRI和其他国家培育的218个水稻优良品系对CMS-WA不育系的保持系和恢复系分布频率。结果保持系和恢复系频率在中国分别为4.1%和15.1%,在IRRI分别为10.5%和24.3%;两个地点都表现为保持力的品种为1.8%;强恢复力的品种为6.0%<sup>[3]</sup>。这些结果对探讨CMS-WA育性基因的地理、种群、生态分布和遗传演化规律,以及CMS-WA不育系的保持系和恢复系来源,评价CMS-WA杂交稻的育种潜力,指导杂交稻育种和研究发挥了重要作用。

笔者从普通野生稻中发掘的一种野生稻雄性不育细胞质源,与野败型(CMS-WA)、红莲型(CMS-HL)的恢保关系不同,是一种新的细胞质,命名为CMS-FA<sup>[4]</sup>。已经育成和鉴定了CMS-FA不育系金农1A、金农2A和金农3A,其12项稻米品质指标全部达到部颁优质米标准,花粉不育度99.99%<sup>[4]</sup>。同时,创建了CMS-FA的恢复系育种方法,育成了育性恢复良好、强优势的实用型恢复系,为新质源CMS-FA不育系的杂交稻育种奠定了基础<sup>[5]</sup>。

水稻CMS-FA型细胞质的恢保关系完全不同于CMS-WA和CMS-HL型细胞质,其育性基因也与

CMS-WA和CMS-HL型育性基因不等位,既包括细胞核育性基因不等位,也包括细胞质育性基因不等位<sup>[4-5]</sup>。控制CMS-FA型水稻育性基因的地理、生态、种群分布等许多基础问题都有待深入探讨。

本研究以水稻CMS-FA型不育系金农1A作母本,与国内外220个水稻品种杂交,考察F<sub>1</sub>的育性表现,并将其划分为杂交稻亲本和非杂交稻亲本,以CMS-WA型不育系为对照,探讨水稻CMS-FA型不育系的雄性不育保持和恢复规律,评价新质源杂交稻系统对稻种资源的利用潜力,为新质源杂交稻研究和育种提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

杂交母本CMS-FA不育系金农1A和对照CMS-WA不育系珍汕97A由本课题组保存。选用220个水稻亲本资源作父本,包括162个国内品种和58个国外引进品种(表1),这些品种分别来自中国水稻研究所的国家水稻种质资源中期库、IRRI、各省市的科研机构,以及本课题组选育或保存的育种资源。

### 1.2 杂交种子制备

2005年夏季播种父本,每个品种插秧20株;金农1A和珍汕97A每周播种一期,每期插秧200株。父本抽穗期间,母本选取盛花期植株,剪去已经开过的颖花,将已经成熟未开放的颖花逐粒剪去上部1/3的颖壳,不伤及柱头,套上纸袋。第2天上午水稻盛花时段,剪取父本盛花的稻穗,从套袋顶端开口伸到母本稻穗的上方,充分抖粉,随后将套袋上口折合,挂牌,定植。2周后收获种子。每个组合收获60粒左右种子,同时收获父本种子100粒左右,备用。

### 1.3 F<sub>1</sub>代和亲本种植

2006年秋季种植F<sub>1</sub>代和亲本,7月12日播种,8月1日插秧。F<sub>1</sub>代和亲本分别种植10株,单本插,株距20cm,顺序排列,组合和品种间留走道40cm。常规栽培管理,记载抽穗期和成熟期。

### 1.4 育性考察

1.4.1 花粉染色率 抽穗阶段,每个F<sub>1</sub>取5株,每个父本取3株,每株1穗。在穗上、中、下部各取成熟颖花1~2朵,每朵颖花剥取2~3枚花药,用镊子将花药在玻片上捣碎,用1% I<sub>2</sub>-KI溶液染色后,

表 1 220 个父本水稻品种的名称和来源  
Table 1 Names and origins of 220 male parents of rice in the study

来源 Origin	数量 Number	品种名称 Variety name
<b>国内 Domestic</b>	162	
广东 Guangdong	48	粤新占, 粤新占 3, 粤新占 6, 粤野占 1, 粤香占, 珍源 3, 珍源 397, 粳粳 89, 华粳粳 52, 华粳粳 74, 澳美占 1, 澳美占 2, 澳粳占 1, 粳黄占, 新黄占, 新珍占, 新芦占 21, 青粳占 3, 青粳占 11, 青粳 21, 丰矮占, 丰六占, 丰澳占 11, 绿粳占 1, 穗丰占, 绿黄占, 芦丝占, 华丝占, 双丝占, 矮粳占, 长伦占, 七三占, 七银占, 七银占 1, 七银占 2, 七澳占 1, 朝二占, 玉梅 153, 叶珍矮, 珍桂矮, 奇妙香 2, 丝苗香 12, 茉莉香稻, 特三矮 2, 胜泰 1, 特青, 品 287, 9501 Yuexinzhan, Yuexinzhan 3, Yuexinzhan 6, Yueyezhan 1, Yuexiangzhan, Zhenyuan 3, Zhenyuan 397, Jingxian 89, Huajingxian 52, Huajingxian 74, Aomeizhan 1, Aomeizhan 2, Aojingzhan 1, Xianhuangzhan, Xinhuangzhan, Xinzhenzhan, Xinluzhan 21, Qingxianzhan 3, Qingjingzhan 11, Qingjing 21, Feng'aizhan, Fengliuzhan, Feng'aozhan 11, Lujingzhan 1, Suifengzhan, Lühuangzhan, Lusizhan, Huasizhan, Shuangsizhan, Aixianzhan, Changlunzhan, Qisanzhan, Qiyinzhan, Qiyinzhan 1, Qiyinzhan 2, Qi'aozhan 1, Chao'erzhan, Yumei 153, Yezhen'ai, Zhengui'ai, Qimiaoxiang 2, Simiaoxiang 12, Molixiangdao, Tesan'ai 2, Shengtai 1, Teqing, Pin 287, 9501
福建 Fujian	33	2101-1, 89402, 早早 63, 早 63, 5460, H74, 珍福 B, ZF54B, 1813B, 沙制 1, 186, 233, 127, 长 127, 长 II-32B, 东南 201, 明恢 63, 明恢 67, 明恢 77, 明恢 82, K104, 长谷早占, 福恢 016, 397, 制西, R175, R175-1, 尤引 8, 383, 388, 武恢 898, 龙特浦 B, 谷丰 B 2101-1, 89402, Zaozao 63, Zao 63, 5460, H74, Zhenfu B, ZF54B, 1813B, Shazhi 1, 186, 233, 127, Chang 127, Chang II-32B, Dongnan 201, Minghui 63, Minghui 67, Minghui 77, Minghui 82, Changguzaozhan, Fuhui 016, 397, Zhixi, R175, R175-1, Youyin 8, 383, 388, Wuhui 898, Longtefu B, Gufeng B
浙江 Zhejiang	16	中 4188, 浙优 15, 中育 8, 2070, 中 413, 威优 989, 中鉴 20, H96-195-69, H96-196, H195-6, S11, WT413, 珍汕 97B, 中九 B, 浙辐 8010B, 珍改 B Zhong 4188, Zheyou 15, Zhongyu 8, Zhong 413, Weiyou 989, Zhongjian 20, H96-195-69, H96-196, H195-6, S11, WT413, Zhenshan 97B, Zhongjiu B, Zhefu 8010B, Zhen'gai B
湖南 Hunan	13	湘早粳 3, 湘早粳 7, 湘中粳 3, 湘晚粳 5, 湘晚粳 10, 培 C115, R207, R402, 288, 晚 3, 优 IB, L301B, II-32B Xiangzaoxian 3, Xiangzaoxian 7, Xiangzhongxian 3, Xiangwanxian 5, Xiangwanxian 10, Pei C115, R207, R402, 288, Wan 3 You I B, L301B, II-32B
四川 Sichuan	12	成龙水晶米, 838, 多系 1 号, 蜀恢 160, 蜀恢 162, CDR22, 6078, D90B, D 汕 B, 早显 B, 冈 46B, 98-14B Chenglongshuijingmi, 838, Duoxi 1, Shuhui 160, Shuhui 162, CDR22, 6078, D90B, D Shan B, Zaoxian B, Gang 46B, 98-14B
江西 Jiangxi	10	赣优晚 9, 赣优晚 8930, 赣香糯, 奉新红米, 献国, 6225, 40064, 献党, R4014, 早回 136B Ganyouwan 9, Ganyouwan 8930, Ganxiangnuo, Fengxinhongmi, Xianguo, 6225, 40064, Xiandang, R4014, Zaohui 136B
安徽 Anhui	5	皖稻 27, 91499, 安选 4, 华安 3, 协青早 B      Wandao 27, 91499, Anxuan 4, Hua'an 3, Xieqingzao B
江苏 Jiangsu	5	联鉴 33, 武香粳, 苏御糯, 南京 11, 盐恢 559      Lianjian 33, Wuxiangxian, Suyunuo, Nanjing 11, Yanhui 559
广西 Guangxi	4	南洋占, 97032, 桂 99, 珍冈 B      Nanyangzhan, 97032, Gui 99, Zhengang B
云南 Yunnan	4	滇香优 1, 滇瑞软 1, 滇瑞软 2, 莫王谷      Dianxiangyou 1, Dianruiuan 1, Dianruiuan 2, Mowanggu
湖北 Hubei	3	云南白, TP98-1, 92-8      Yunnanbai, TP98-1, 92-8
河南 Henan	3	信粳 5, 信粳 6, 豫山黑粳糯      Xinjing 5, Xinjing 6, Yushanheixiannuo
贵州 Guizhou	2	贵育 110, 须须占      Guiyu 110, Xuxuzhan
不确定 Unknown	4	T154, 万家香 16, 399, 恢 57      T154, Wanjiaxiang 16, 399, Hui 57
<b>国外 Introduced</b>	58	
国际水稻研究所 International Rice Research Institute	28	IR20, IR24, IR28, IR29, IR35, IR44, IR50, IR58, IR60, IR65, IR62, PSBRC4, PSBRC4-1, PSBRC10, PSBRC20, PSBRC28, IR841-85-1-1-2, IR5853-162-1-2-3, IR54950-181-2-1-2-3, IR63782-3-1-3-3-1, IR65598-112-1, IR65600-42-5-2, IR66155-24-6-3-2, IR66167-27-5-1-6, IR66750-6-2-1, IR58025B, IR68888B, IRI371
韩国 Korea	7	水源 290, 水源 358, 水源 381, 水源 397, 水源 418, 密阳 46, 密阳 55 Suwen 290, Suwen 358, Suwen 381, Suwen 397, Suwen 418, Milyang 46, Milyang 55
斯里兰卡 Sri Lanka	5	BG90-2, BG301, BG1639, B6149F-MR-6, AT85-2
泰国 Thailand	3	RD1-20, RD1-37, RD1-38
美国 USA	3	Lagrué, Katy, Lemont
古巴 Cuba	3	IACUBA19, IACUBA20, IACUBA52
巴西 Brazil	1	Iapar
越南 Vietnam	1	Tetep
尼日利亚 Nigeria	1	ITA233
印度 India	1	RP2161-15-4-1
不确定 Unknown	5	DJ60, DJ192, TRAT13, RILHO, KIL249

置 100×显微镜下观察花粉形态和染色程度。将花粉区分为可育(染色)和败育(典败和圆败)两类。以可育花粉数/总花粉数×100%表示花粉染色率。

1.4.2 套袋结实率 始穗阶段, 每个  $F_1$  取 5 株, 每个父本取 3 株, 每株 2 穗。在开花前用硫酸纸袋套住稻穗, 回形针固定纸袋下口。抽穗 25 d 后, 稻穗连纸袋一同采下, 考察稻穗的结实情况。以结实粒数/穗总粒数×100%表示套袋结实率。

1.4.3 自然结实率 抽穗 20 d 后, 每个  $F_1$  取 5 株, 每个父本取 3 株, 每株 1 穗, 考察稻穗的自然结实情况。以结实粒数/穗总粒数×100%表示自然结实率。

1.4.4 杂交稻亲本资源利用率 将  $F_1$  代花粉染色率、套袋结实率、自然结实率 3 项育性指标均 10% 的相应父本列为雄性不育保持系资源; 将  $F_1$  代上述 3 项育性指标均 80% 的相应父本列为雄性不育恢复系资源。保持系资源和恢复系资源合称为杂交稻亲本资源。 $F_1$  代 3 项育性指标中任何一项 >10% 或 <80% 的相应父本, 既不能作为保持系, 也不能作为恢复系的亲本, 将其列为非杂交稻亲本资源。

试验数据在 2006 年秋季正常气候条件下采集和考察完毕, 所有试验数据用 Microsoft Excel 进行统计。

## 2 结果与分析

### 2.1 新质源(CMS-FA)不育系与水稻亲本杂交 $F_1$ 育性的分布频率

新质源不育系与 220 个国内外水稻亲本杂交  $F_1$  和相应父本的花粉染色率、套袋结实率、自然结实率, 进行 10% 的区间分组, 划分成 10 个育性等级(表 2)。供试父本材料的育性主要分布在高度可育的育性区域; 其与 CMS-FA 不育系组配  $F_1$  的育性主要分布在高度不育的区域, 而对照 CMS-WA 不育系组配  $F_1$  的育性主要分布在高度不育、高度可育和中度可育 3 个区域。国内品种和国外品种表现出相同或相似的趋势(表 2)。

亲本套袋结实率最低的 3 个品种分别是来自古巴的 IACUBA52(结实率 28.4%)、IRRI 的 IR66167-27-5-1-6(结实率 17.3%)和福建的长 II-32B(结实率 38.1%), 但是它们的自然结实率分别为 81.8%、43.8%和 79.7%。在 CMS-FA 不育系杂交后代中花粉染色率最高的组合是金农 1A/RD1-37, 花粉染色率 81.9%, 但是它的套袋结实率 52.4%和自然结实率 40.7%, 均未达到 80% 的育性标准, 因此 RD1-37 仍列为非恢复系亲本。

### 2.2 亲本和 $F_1$ 育性比较

母本金农 1A 花粉染色率和套袋结实率都是 0, 表现稳定的高度不育特性, 自然结实率 2.2%, 可以解释为自然串粉的结果。220 个父本平均自然结实率 89.2% > 花粉染色率 85.0% > 套袋结实率 79.0%, 自然结实率分别比花粉染色率和套袋结实率高 4.2 个百分点和 10.2 个百分点, 花粉染色率比套袋结实率高 6.0 个百分点。金农 1A 与 220 个品种  $F_1$  的花粉染色率、套袋结实率和自然结实率分别为 14.3%、1.8%和 4.8%, 分别比父本低 70.7 个百分点、77.2 个百分点和 84.4 个百分点, 表明在 CMS-FA 背景下, 花粉染色率、套袋结实率和自然结实率呈现大幅度下降趋势。对照珍汕 97A 与 220 个父本  $F_1$  的花粉染色率、套袋结实率和自然结实率比父本分别低 28.7 个百分点、34.6 个百分点和 29.2 个百分点, 表明在 CMS-WA 胞质背景下, 花粉染色率、套袋结实率和自然结实率下降趋势与 CMS-FA 型胞质背景基本相同, 但是幅度明显小。新质源不育系与对照之间的差异, 实质上反应了 CMS-FA 与 CMS-WA 不育系的本质区别, 进一步验证了它们是完全不同的不育胞质类型(表 3)。

### 2.3 新质源不育系与国内外水稻品种杂交 $F_1$ 的育性比较

在 220 个父本品种中, 国外品种的育性普遍低于国内品种, 其中套袋结实率、自然结实率和平均育性的差异达到极显著水平。在 CMS-FA 背景下, 国内、外品种  $F_1$  代 3 个育性指标差异均不显著; 在对照 CMS-WA 背景下, 国内、外品种仅  $F_1$  代花粉染色率差异不显著, 但套袋结实率、自然结实率和平均育性较父本材料明显降低, 尤其是套袋结实率的降幅最为明显(表 4)。

### 2.4 新质源不育系组配 $F_1$ 表现的亲本资源利用率

2.4.1 新质源不育系组配  $F_1$  的花粉染色率 金农 1A 与 220 个水稻品种组配, 其  $F_1$  代花粉染色率 10% 的育性保持组合 122 个, 占 55.5%; 花粉染色率 80% 的育性恢复组合 1 个, 占 0.5%; 花粉染色率 >10% 和 <80% 的组合 97 个, 占 44.0%。对照珍汕 97A 与 220 个水稻品种组配, 其  $F_1$  花粉染色率 10% 的育性保持组合 44 个, 占 20%; 花粉染色率 80% 的育性恢复组合 60 个, 占 27.3%。花粉染色率 >10% 和 <80% 组合 116 个, 占 52.7%。比较花粉染色率, CMS-FA 系统 10% 和 80% 的组合数比 CMS-WA 系统高 8.2 个百分点(表 5)。

表 2 CMS-FA 不育系组配 F<sub>1</sub> 的育性频率及其分布

Table 2 Fertility frequency and its distribution in F<sub>1</sub> generation derived from the cross between CMS-FA line and male parent (%)

父本来源 Source of male parent	育性等级 Fertility degree (%)	CMS-FA			CMS-WA			父本 Male parent		
		花粉染色率 Pollen dye ability rate	套袋结实率 Bagged seed-setting rate	自然结实率 Self seed-setting rate	花粉染色率 Pollen dye ability rate	套袋结实率 Bagged seed-setting rate	自然结实率 Self seed-setting rate	花粉染色率 Pollen dye ability rate	套袋结实率 Bagged seed-setting rate	自然结实率 Self seed-setting rate
全部 Total	0-10	55.5	96.4	91.4	20.0	30.5	20.0	0.0	0.0	0.0
	11-20	19.1	0.5	5.0	2.3	5.5	6.8	0.0	0.5	0.0
	21-30	10.9	0.5	0.0	3.6	4.5	3.2	0.0	0.5	0.0
	31-40	5.9	0.0	0.5	2.7	1.8	4.5	0.5	0.5	0.0
	41-50	4.5	0.9	0.9	4.1	7.7	4.1	0.0	3.2	0.5
	51-60	1.8	0.9	0.5	5.5	6.4	1.4	0.9	5.9	2.3
	61-70	1.4	0.9	1.8	15.0	10.9	3.6	4.5	11.8	2.7
	71-80	0.5	0.0	0.0	19.5	13.6	5.5	15.0	22.7	6.4
	81-90	0.5	0.0	0.0	20.0	14.5	15.9	60.5	36.8	32.7
	91-100	0.0	0.0	0.0	7.3	4.5	35.0	18.6	18.2	55.5
国内 Domestic	0-10	54.9	97.0	92.6	16.7	27.8	19.1	0.0	0.0	0.0
	11-20	21.6	0.6	4.3	2.5	4.9	4.9	0.0	0.0	0.0
	21-30	10.5	0.6	0.0	3.7	2.5	3.7	0.0	0.0	0.0
	31-40	6.8	0.0	0.6	3.1	1.2	3.1	0.6	0.6	0.0
	41-50	2.5	0.6	0.6	2.5	5.6	3.7	0.0	1.2	0.0
	51-60	1.9	0.6	0.6	7.4	8.6	0.6	0.6	4.3	1.2
	61-70	1.2	0.6	1.2	16.0	13.0	2.5	3.7	10.5	1.2
	71-80	0.6	0.0	0.0	19.8	14.2	4.9	13.0	23.5	5.6
	81-90	0.0	0.0	0.0	19.8	16.0	16.7	59.3	38.3	32.1
	91-100	0.0	0.0	0.0	8.6	6.2	40.7	22.8	21.6	59.9
国外 Introduced	0-10	56.9	94.9	87.9	29.3	37.9	22.4	0.0	0.0	0.0
	11-20	12.1	0.0	6.9	1.7	6.9	12.1	0.0	1.7	0.0
	21-30	12.1	0.0	0.0	3.4	10.3	1.7	0.0	1.7	0.0
	31-40	3.4	0.0	0.0	1.7	3.4	8.6	0.0	0.0	0.0
	41-50	10.3	1.7	1.7	8.6	13.8	5.2	0.0	8.6	1.7
	51-60	1.7	1.7	0.0	0.0	0.0	3.4	1.7	10.3	5.2
	61-70	1.7	1.7	3.4	12.1	5.2	6.9	6.9	15.5	6.9
	71-80	0.0	0.0	0.0	19.0	12.1	6.9	20.7	20.7	8.6
	81-90	1.7	0.0	0.0	20.7	10.3	13.8	63.8	34.5	34.5
	91-100	0.0	0.0	0.0	3.4	0.0	19.0	6.9	6.9	43.1

表 3 金农 1A(CMS-FA)和珍汕 97A(CMS-WA)胞质类型杂交组合及其亲本的育性

Table 3 Fertilities of combination and parent between Jinnong 1A (CMS-FA) and Zhenshan 97A (CMS-WA)

材料 Material	胞质类型 Cytoplasm type	样本数 No. of sample	平均花粉染色率 Average rate of pollen dye ability (%)	平均套袋结实率 Average rate of bagged seed-setting (%)	自然结实率 Average rate of natural seed-setting (%)
父本 Male parent	—	220	85.0	79.0	89.2
母本 Female parent	CMS-FA	1	0	0	2.2
	CMS-WA	1	0	0	4.2
F <sub>1</sub>	CMS-FA	220	14.3	1.8	4.8
	CMS-WA	220	56.3	44.4	60.0
父本-F <sub>1</sub> Male-F <sub>1</sub>	CMS-FA	220	70.7	77.2	84.4
	CMS-WA	220	28.7	34.6	29.2

表 4 CMS-FA 和 CMS-WA 类型不育系与国内外水稻品种杂交组合的育性比较  
Table 4 Fertilities of combination derived from cross between domestic or introduced variety and CMS-FA

指标 Indicator	父本 Male parent			CMS-FA			CMS-WA		
	国内 Domestic	国外 Introduced	<i>t</i> -value	国内 Domestic	国外 Introduced	<i>t</i> -value	国内 Domestic	国外 Introduced	<i>t</i> -value
花粉染色率 Pollen dye ability rate(%)	85.3±7.6	82.9±8.4	2.01	13.6±14.8	16.2±19.2	0.94	58.7±30.9	49.7±35.4	1.83
套袋结实率 Bagged seed-setting rate (%)	81.1±11.4	73.0±16.3	3.49	1.4±7.5	3.1±11.8	1.03	48.5±34.6	33.1±31.9	2.97
自然结实率 Natural seed-setting rate (%)	90.5±7.1	85.3±11.8	3.16	4.6±9.7	5.4±12.3	0.49	63.8±37.6	49.2±36.2	2.56
平均 Mean (%)	85.6±9.7	80.4±13.6	2.68	6.5±12.2	8.2±15.8	0.74	57.0±35.0	44.0±35.2	2.42

Data in the table are means±SD. Sample numbers of domestic and introduced varieties are 162 and 58, respectively.  $t_{0.05} = 1.96$ ,  $t_{0.01} = 2.58$ .

表 5 CMS-FA 系统 F<sub>1</sub> 表现的亲本资源利用率  
Table 5 Parent utilization rate in CMS-FA system revealed by F<sub>1</sub> performance (%)

F <sub>1</sub> /亲本 F <sub>1</sub> / parent	CMS-FA			CMS-WA		
	花粉染色率 Pollen dye ability rate	套袋结实率 Bagged seed-setting rate	自然结实率 Self seed-setting rate	花粉染色率 Pollen dye ability rate	套袋结实率 Bagged seed-setting rate	自然结实率 Self seed-setting rate
F <sub>1</sub> 10% <sup>a</sup>	55.5	91.4	96.4	20.0	30.5	20.0
>10% or <80% <sup>b</sup>	44.0	8.6	3.6	52.7	50.5	29.1
80% <sup>c</sup>	0.5	0.0	0.0	27.3	19.1	50.9
杂交亲本 Parent for hybrid	55.5	91.4	96.4	47.3	49.6	70.9
非杂交亲本 Non-parent for hybrid	44.5	8.6	3.6	52.7	50.5	29.1

<sup>a</sup> Values of P, B, and S are all no larger than 10% ( $\leq 10\%$ ); <sup>b</sup> Any of P, B, and S is larger than 10% ( $>10\%$ ) or less than 80% ( $<80\%$ ); <sup>c</sup> Values of P, B, and S are all no less than 80% ( $\geq 80\%$ ).

2.4.2 新质源不育系组配 F<sub>1</sub> 套袋结实率 金农 1A 与 220 个水稻品种组配 F<sub>1</sub> 代套袋结实率 10% 的组合有 201 个, 占 91.4%; 套袋结实率 80% 的组合 0 个; 套袋结实率 >10% 或 <80% 的组合 19 个, 占 8.6%。而对照珍汕 97A3 种类型的组合数分别为 67(30.5%)、42(19.1%)和 111(50.5%)。可见, CMS-FA 系统的套袋结实率 10% 和 80% 的组合数比对照高 41.8 个百分点(表 5)。

2.4.3 新质源不育系组配 F<sub>1</sub> 自然结实率 金农 1A F<sub>1</sub> 代自然结实率 10% 的组合共 212 个, 占 96.4%; 自然结实率 80% 的组合 0 个; 自然结实率 >10% 和 <80% 的组合 8 个, 占 3.6%。对照珍汕 97A 的 3 种类型组合数依次为 44 个(20%)、112 个(50.9%)和 64 个(29.1%)。CMS-FA 系统自然结实率 10% 和 80% 的组合数比 CMS-WA 系统高 25.5 个百分点(表 5)。

## 2.5 水稻新质源不育系对稻种资源利用率

综合考虑 F<sub>1</sub> 代的花粉染色率、套袋结实率和自然结实率, 可列为保持系亲本资源的亲本数, CMS-

FA 系统为 122 个(55.5%), CMS-WA 系统为 44 个(20.0%), 相差 35.5 个百分点, 约 1.8 倍; 可列为恢复系亲本资源的, CMS-FA 系统 0 个, CMS-WA 系统为 42 个, 占 19.1%; 非杂交稻亲本资源, CMS-FA 和 CMS-WA 系统分别为 98 个和 134 个, 占 44.5% 和 60.9%。对照 CMS-WA 系统杂交稻的亲本资源利用率为 39.1%, 而新质源 CMS-FA 系统为 55.5%, 比对照高 16.4 个百分点(表 5)。

## 3 讨论

提高不育系的育种潜力是提高杂交稻育种潜力最有效的途径之一, 也是育种家长期主攻的重要育种目标之一。但是, 野败型细胞质的遗传学规律和生物学特性局限, 决定了其不育保持系局限于长江流域的早籼稻系统, 因而大多数野败型不育系采用长江流域早籼稻为主体或骨干亲本育成<sup>[1-3,6-24]</sup>。长期以来, 育种技术没有突破野败型细胞质的遗传局限, 许多优良的稻种资源无法作为野败型保持系亲

本利用,是较长时间限制提高不育系和杂交稻育种潜力的主要原因之一。

本研究表明,新质源 CMS-FA 系统的稻种资源利用率 55.5%, 比对照 CMS-WA 系统高 16.4 个百分点, 其中保持系资源利用率高 35.5 个百分点, 这意味着 CMS-FA 杂交稻系统能够将保持系品种的范围扩大到长江流域早籼稻以外的中稻、晚稻等各个领域, 可以直接利用综合性状优良的水稻品种育成不育系, 因而能够有效提高不育系的育种潜力。

本文中杂交稻亲本资源利用率概念的提出, 目的是比较不同杂交稻系统的育种潜力。但目前这是一个初步概念, 还有待在实践中不断发展和完善。本研究采用的育性划分标准, 仅仅是方便于不同细胞质不育系之间的相互比较, 并不能由此定性每个品种的遗传育种学属性。一个水稻品种能否成为保持系, 一次杂交不能得出结论, 需要高世代回交以后的育性表现和综合评价才能确定。同理, 一个水稻品种能否成为恢复系, 也需要在杂交后代育性高度恢复的基础上综合考察和评价才能够确定。尽管如此, 用相同标准衡量不同细胞质不育系的遗传效应仍然具有重要的参考价值。

## 4 结论

新质源 CMS-FA 杂交稻系统的稻种资源利用率大幅度高于 CMS-WA 系统, 显示 CMS-FA 不育系可能具有来源更广泛的保持系资源, 从而可以在杂交稻的品质改良、提高抗性和增加产量等育种上有较好的应用潜力。

致谢: 衷心感谢中国水稻研究所国家水稻种质资源中期库、国际水稻研究所(IRRI)、有关省市高等院校和科研院所的有关人士为本研究提供水稻亲本种子!

## References

- [1] Yuan L-P(袁隆平). Breeding of Hybrid Rice (杂交水稻学). Beijing: China Agriculture Press, 2002. pp 38–154 (in Chinese)
- [2] Li Z-B(李泽炳), Xiao Y-H(肖翊华), Zhu Y-G(朱英国), Li R-Q(利容干), Liu C-L(刘承柳), Wan J-M(万经猛). Study and Practice of Hybrid Rice (杂交水稻的研究与实践). Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 1982. pp 131–185 (in Chinese)
- [3] Virmani S S ed. Yang R-C(杨仁崔), Chen S-H(陈顺辉) trans. Heterosis and Hybrid Rice Breeding (杂种优势和杂交水稻育种). Fuzhou: Fujian Science and Technology Press, 1996. pp 1–104 (in Chinese)
- [4] Wang N-Y(王乃元). Studies on improvement of rice sterile line quality by new cytoplasm from *Oryza rufipogon*. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2006, 32(2): 253–259 (in Chinese with English abstract)
- [5] Wang N-Y(王乃元). Breeding of male sterile restorer lines matching with CMS-FA lines of new male sterile cytoplasm genes from *Oryza rufipogon*. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2006, 32(12): 1884–1891 (in Chinese with English abstract)
- [6] Zhu Y-G(朱英国). Biology of Male Sterility in Rice (水稻雄性不育生物学). Wuhan: Wuhan University Press, 2000. pp 398–455 (in Chinese)
- [7] Min S-K(闵绍楷), Shen Z-T(申宗坦), Xiong Z-M(熊振民), Tang S-X(汤圣祥). Breeding of Rice (水稻育种学). Beijing: China Agriculture Press, 1996. pp 210–245 (in Chinese)
- [8] Lin S-C(林世成), Min S-K(闵绍楷). Rice Varieties and Their Genealogy in China (中国水稻品种及其系谱). Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 1991. pp 180–214 (in Chinese)
- [9] Cheng S-H(程式华). Current status and prospect in the development of breeding materials and breeding methodology of hybrid rice. *Chin J Rice Sci* (中国水稻科学), 2000, 14(3): 165–169 (in Chinese with English abstract)
- [10] Deng H-F(邓华凤), Shu F(舒服), Pu H-T(蒲宏铁). Views on several problems in the grain quality improvement of early *indica* rice of the Yangtze River Valley. *Hybrid Rice* (杂交水稻), 2001, 16(4): 4–6 (in Chinese with English abstract)
- [11] Zhou S-C(周少川), Wang J-S(王家生), Li H(李宏), Xie Z-W(谢振文), Huang D-Q(黄道强). The quality breeding strategy for south China early-cropping *indica* rice. *Hybrid Rice* (杂交水稻), 2001, 16(3): 4–8 (in Chinese with English abstract)
- [12] Xie C-H(谢崇华), Chen Y-J(陈永军), Li B-F(李兵伏). Breeding and utilization of fine quality *indica* CMS line 803A in rice. *Hybrid Rice* (杂交水稻), 2002, 17(2): 4–5 (in Chinese with English abstract)
- [13] Wang J-J(王建军), Shi S-Y(石守鏊), Dong W-Q(董文其). Breeding and application of good grain quality CMS line. *Hybrid Rice* (杂交水稻), 1999, 14(5): 7–9 (in Chinese)
- [14] Zhao B-W(赵博伟), Wei Z(韦政), Huang L(黄琳), Li Z-F(黎志方), Mo Y-S(莫永生), Wu D-M(吴大明), Jiang D-S(蒋德书). Breeding of early *indica* rice CMS line 8 Hong A. *Guangxi Agric Sci* (广西农业科学), 2002, (4): 198 (in Chinese)
- [15] Ma Y-Q(马玉清), Li S-G(李仕贵), Li H-Y(黎汉云), Wang Y-P(王玉平), Gao K-M(高克铭). Breeding of fine quality *indica* CMS line D702A and its application. *Hybrid Rice* (杂交水稻), 2002, 17(2): 1–2 (in Chinese with English abstract)
- [16] Mo Y-S(莫永生), Li Y-Q(李永青), Li Z-F(黎志方), Wei Z(韦政), Zhao B-W(赵博伟). Selection and application of early season *indica* rice MS line 95A. *J Guangxi Agric Univ* (广西农业大学学报), 1997, 16(2): 87–92 (in Chinese with English abstract)
- [17] Zhang L-H(张利华), Wang J-J(王建军), Wang L-Y(王林友). Breeding of the large panicle and good quality *indica* CMS line Zhe 91A. *Hybrid Rice* (杂交水稻), 2004, 19(4): 7–9 (in Chinese)

- with English abstract)
- [18] Zhang R-X(张瑞祥), Liu H-P(刘海平), Zhang H-L(张红林), Liu Y-Q(刘跃青), Li T-M(李土明), Zhong X-Y(钟晓英), Zeng X-M(曾祥梅). Breeding of *eui*-CMS line K17eA in *indica* rice. *Acta Agric Univ Jiangxiensis* (Nat Sci Edn) (江西农业大学学报·自然科学版), 2002, 43(3): 307-311 (in Chinese with English abstract)
- [19] Liu K-P(刘康平), Zhang J-Z(张建中), Jiang S-H(蒋世河), Yuan Y-W(袁亚稳). Breeding of quality Honglian-type CMS line Zhuxian A in rice. *Hybrid Rice* (杂交水稻), 1995, 10(1): 5-9 (in Chinese)
- [20] Chen F-Y(陈芳远), Liu J-M(刘京美), Lu S-A(卢升安), Peng Y-H(彭月华), Ye C-S(叶创生). The breeding of male sterile line "Nong A" which apply to hybrid rice. *J Guangxi Agric Univ* (广西农业大学学报), 1994, 13(4): 325-328 (in Chinese with English abstract)
- [21] Chen Z-W(陈志伟), Pan R-S(潘润森), Lin L-H(林荔辉), Qi J-M(祁建民), Mao D-M(毛大梅), Guan H-Z(官华忠), Chen Q-F(陈启锋), Li W-M(李维明). Breeding and utilization of *indica* rice CMS line T78A with high grain quality. *J Fujian Agric For Univ* (福建农林大学学报), 2001, 30(3): 324-328 (in Chinese with English abstract)
- [22] Yang Z-W(杨振威), Chen D-Z(陈大洲), Zhang C(张春). Breeding of sterile line "Bo 9A" and its combinations. *Acta Agric Jiangxi* (江西农业学报), 2001, 13(2): 12-17 (in Chinese with English abstract)
- [23] Chen P(陈平), Huang Z-H(黄宗宏), Liu W(刘伟), Huang Q-L(黄秋莉). Breeding of the new *indica* CMS line Bo II A in rice. *Hybrid Rice* (杂交水稻), 2002, 17(3): 9-10 (in Chinese with English abstract)
- [24] Wang F(王丰), Liu Z-R(刘振荣), Li S-G(李曙光), Liu W-G(柳武革), Liao Y-L(廖亦龙), Huang D-J(黄德娟), Peng H-P(彭惠普). Breeding of *indica* CMS line Zhengfeng A with the characteristic of weak sensitivity to photoperiod induced by gene interaction. *Hybrid Rice* (杂交水稻), 2004, 19(4): 10-11 (in Chinese with English abstract)

## 《植物遗传资源学报》2009 年征订启事

《植物遗传资源学报》是中国农业科学院作物科学研究所和中国农学会主办的学术期刊, 为中国科技核心期刊、全国优秀农业期刊。被中国科技论文统计源期刊、中国科学引文数据库来源期刊(核心期刊)、中国核心期刊(遴选)数据库收录期刊、中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊, 又被《中国生物学文摘》和中国生物学文献数据库、中文科技期刊数据库收录。据 2007 年版《中国学术期刊综合引证研究报告》统计, 2006 年《植物遗传资源学报》影响因子为 0.914。

报道内容为大田、园艺作物, 观赏、药用植物, 林用植物、草类植物及其一切经济植物的有关植物遗传资源基础理论研究、应用研究方面的研究成果、创新性学术论文和高水平综述或评论。诸如, 种质资源的考察、收集、保存、评价、利用、创新, 信息学、管理学等; 起源、演化、分类等系统学; 基因发掘、鉴定、克隆、基因文库建立、遗传多样性研究。

季刊, 大 16 开本, 128 页。定价 20 元, 全年 80 元。各地邮局发行, 邮发代号: 82-643。国内刊号: CN 11-4996/S, 国际统一刊号: ISSN 1672-1810。本刊编辑部常年办理订阅手续, 如需邮挂每期另加 3 元。

地址: 北京市中关村南大街 12 号 中国农业科学院《植物遗传资源学报》编辑部(邮编: 100081)

电话: 010-62180257; 010-62180279(传真)

E-mail: zwyczyxb2003@163.com; zwyczyxb2003@sina.com