

## 杂交早稻恢复系中恢复基因的遗传\*

徐建红 薛庆中

(浙江大学农学系, 浙江杭州 310029)

**提 要** 分析了 2 个早稻恢复系 (R402 和测 48-2) 对水稻矮败型细胞质雄性不育恢复性的遗传。结果表明, 恢复系 R402 中存在一对显性恢复基因  $R_1R_1$ ; 而测 48-2 中有两对显性恢复基因  $R_1R_1R_2R_2$ ,  $R_1$  和  $R_2$  间表现显性上位作用。追溯恢复基因  $R_1$  和  $R_2$  的来源, 它们分别来自我国晚籼品种仙那和印度品种 SLO<sub>17</sub>。

**关键词** 水稻; 细胞质雄性不育; 恢复基因; 花粉育性

## Genetic Studies on Restoring Genes of Early Rice Restorer Lines

XU Jian-Hong XU Qing-Zhong

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

**Abstract** Inheritance of restoring genes was analyzed for two restorer lines R402 and Ce48-2 of early rice. The results showed that the restoring ability of R402 was controlled by one pair of dominant gene  $R_1R_1$ , and that of CE48-2 by two  $R_1R_1R_2R_2$ , one is epistatic to the other. Ascending the source of restoring genes  $R_1$  and  $R_2$ , they were derived from late *indica* variety Xian-na in China and variety SLO<sub>17</sub> in India respectively.

**Key words** Rice; CMS; Restoring genes; Pollen fertility

杂交水稻的优势在很大程度上与恢复系的配合力密切相关, 水稻胞质雄性不育恢复基因多数选自国际水稻研究所 (IRRI), 以往报道主要集中在野败型细胞质<sup>[1~9]</sup>, 对矮败型细胞质雄性不育恢复性的研究较少<sup>[10]</sup>。

目前我国杂交早稻的推广面积远不如杂交晚稻, 究其原因一是缺乏生育期短、配合力好、米质优良的恢复系; 其二是对杂交早稻恢复系的遗传方式鲜有研讨。本文报道了 R402 和测 48-2 两个生产上应用较早的早稻恢复系对矮败型胞质不育基因恢复性的遗传动态, 以期为进一步发展杂交早稻育种提供理论依据。

### 1 材料与方 法

#### 1.1 材 料

不育系为协青早 A、CM 2A 和 CM 15A, 后二者由协青早 A 转育的雄性不育系; 相应的

\* 基金项目: 国家“九五”科技攻关项目 (96-002-02-02-3); 浙江省“8812”项目。

作者简介: 徐建红 (1976-), 男, 浙江常山人, 博士研究生, 从事水稻遗传育种研究; 薛庆中, 教授, 博士生导师,

E-mail: qzhxue@ dial.zju.edu.cn

来稿日期: 2001-01-10, 接受日期: 2001-04-23

Received on: 2001-01-10, Accepted on: 2001-04-23

保持系为协青早B、CM 2 和CM 15; 恢复系为R 402 和测 48-2; 由 3 个不育系和 2 个恢复系组配的杂交组合  $F_1$ 、 $F_2$  和  $BC_1F_1$ 。

## 1.2 方法

取当日或次日将开的颖花, 用卡诺试剂固定, 保存在约 5 °C 的冰箱中备用。镜检时每株随机取 3 朵颖花, 取出全部花药, 捣碎, 制成涂片, 用 1% 的碘-碘化钾溶液染色, 花粉育性按典败、圆败、染败和正常四型记录, 以正常花粉率曲线分布图的峰值与峰谷作为育性标准分类, 进行遗传分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 $F_1$ 花粉育性表现

对 3 个不育系与 2 个恢复系及其杂种一代  $F_1$  的花粉镜检, 结果表明, 协青早A、CM 2A 和CM 15A 的正常花粉率分别为 0.50%、0.03% 和 0.33%, 它们与 R 402 或测 48-2 产生的  $F_1$  代正常花粉率均高于恢复系 R 402 (85.37%) 和测 48-2 (91.54%) (表 1)。与 R 402 组配的  $F_1$  正常花粉率分别为 91.62%、91.97% 和 96.56%; 与测 48-2 组配的相应杂交  $F_1$  花粉育性为 91.27%、86.21% 和 85.87%, 说明  $F_1$  的花粉育性完全被恢复。

表 1 不育系、恢复系及其  $F_1$  代的花粉育性

Table 1 pollen fertility of CMS lines, restorer lines and  $F_1$  generations

	$F_1$ 或品系 $F_1$ or L lines	典败 (%) Typical abortive	圆败 (%) Round abortive	染败 (%) Strain abortive	正常 (%) Normal
$F_1$ 代 $F_1$ generation	XQ ZA /R 402	0.18 a A	0.54 b B	2.90 b B	96.56 a A
	CM 2A /R 402	0.03 b A	2.20 a A	6.00 a A	91.62 b B
	CM 15A /R 402	0.03 b A	2.00 a A	6.00 a A	91.97 b B
	XQ ZA /CE48-2	0.61 b B	3.33 b A	10.19 a A	85.87 b B
	CM 2A /CE48-2	1.01 a A	2.09 c B	5.63 c C	91.27 a A
	CM 15A /CE48-2	1.15 a A	3.78 a A	8.86 b B	86.21 b B
恢复系 Restorer lines	R 402	0.18 a	2.11 b B	6.35 a A	91.54 a A
	CE48-2	0.20 a	8.24 a A	6.19 a A	85.37 b B
不育系 Sterile lines	XQ ZA	94.50 a	3.00 b A	2.00 b B	0.50 a A
	CM 2A	94.05 a	4.15 a A	1.77 b B	0.03 b B
	CM 15A	93.84 a	0.83 c B	5.00 a A	0.33 a A

表 2 不育系、恢复系及不育系 × 恢复系的方差分析

Table 2 Variance analysis for sterile lines, restorer lines and sterile lines × restorer lines

变异来源	Source of variance	DF	SS	MS	F
区组间	Block	2	0.04	0.020	0.10
组合间	Combination	5	241.59	48.32	244.11**
不育系 A	Sterile line A	2	20.23	10.11	51.10**
恢复系 R	Restorer line B	1	141.12	141.12	712.96**
A × R		2	80.24	40.12	202.70**
误差	Error	10	1.98	0.198	

测定了不育系、恢复系及其互作对  $F_1$  花粉育性的效应 (表 2), 方差分析表明, 除区组间外, 不育系、恢复系以及不育系 × 恢复系间都达极显著水平。进一步测定表明, 不育系协青早 A 与 CM 2A 无显著差异, 但它们都与 CM 15A 达 1% 的极显著水平; 父本中恢复系 R 402 的恢复力显著高于测 48-2;

在不育系与恢复系的互作中, 除 CM 2A 外, 协青早 A 和 CM 15A 与 R 402 和测 48-2 的差异都达 1% 的极显著水平。

### 2.2 F<sub>2</sub> 花粉育性表现

绘制协青早 A /R 402、协青早 A /测 48-2、CM 15A /R 402 和 CM 15A /测 48-2 4 个组合的 F<sub>2</sub> 代正常花粉率分布图。从图 1 可见, 以曲线分布图的峰值与峰谷来划分育性, 恢复系 R 402 与协青早 A, CM 15A 配组的 F<sub>2</sub> 代正常花粉率都呈双峰分布, 可育株与不育株两类的育性分离比例符合 3 : 1 一对显性主基因模式(图 1, 表 3)。而测 48-2 与这 2 个不育系杂交组合的 F<sub>2</sub> 育性呈三峰分布, 可育株、部分可育株与不育株, 分别为 124、27、12 和 112、27、10, 均符合 12 : 3 : 1 分离比例(图 1, 表 3)。表明测 48-2 恢复性的遗传模式不同于 R 402, 前者有两对显性恢复基因, 并且它们之间呈显性上位效应。

表 3 F<sub>2</sub>、BC<sub>1</sub>F<sub>1</sub> 代花粉育性分离的  $\chi^2$  测验

Table 3  $\chi^2$  test of pollen fertility segregation on F<sub>2</sub> and BC<sub>1</sub>F<sub>1</sub> generations

组合 Combination	世代 Generation	总株数 Total	可育株 Fertility	部分可育株 Partial fertility	不育株 Sterile	理论比值 Theory ratio	$\chi^2$	P
XQ ZA /R 402	F <sub>2</sub>	127	97	0	30	3 : 1	0.066	P > 0.750
CM 15A /R 402	F <sub>2</sub>	168	128	0	40	3 : 1	0.071	P > 0.750
XQ ZA //XQ ZA /R 402	BC <sub>1</sub> F <sub>1</sub>	71	39	0	32	1 : 1	0.014	P > 0.900
CM 15A //CM 15A /R 402	BC <sub>1</sub> F <sub>1</sub>	57	31	0	26	1 : 1	0.281	P > 0.500
XQ ZA /CE48-2	F <sub>2</sub>	163	124	27	12	12 : 3 : 1	0.027	P > 0.975
CM 15A /CE48-2	F <sub>2</sub>	149	112	27	10	12 : 3 : 1	0.112	P > 0.900
XQ ZA //XQ ZA /CE48-2	BC <sub>1</sub> F <sub>1</sub>	79	40	20	19	2 : 1 : 1	0.0003	P > 0.995
CM 15A //CM 15A /CE48-2	BC <sub>1</sub> F <sub>1</sub>	62	30	15	17	2 : 1 : 1	0.194	P > 0.900

### 2.3 回交 F<sub>1</sub>(BC<sub>1</sub>F<sub>1</sub>) 花粉育性表现

为了验证 F<sub>2</sub> 的育性分离模式, 进一步对相应的回交 F<sub>1</sub>(BC<sub>1</sub>F<sub>1</sub>) 花粉育性分离作了观察, 结果如图 1 和表 3 所示。R 402 的 BC<sub>1</sub>F<sub>1</sub> 后代中正常花粉率出现了双峰分布, 可育与不育株数分别为 39、32 和 31、26, 卡方测验均符合 1 : 1 分离比例, 从而确认 R 402 中存在一对恢复基因。而测 48-2 的 BC<sub>1</sub>F<sub>1</sub> 后代中正常花粉率分布呈三个峰, 可育株、部分可育株和不育株的分离符合比例为 2 : 1 : 1, 由此证实, 恢复系测 48-2 的恢复基因比 R 402 多 1 对, 即含两对恢复基因。

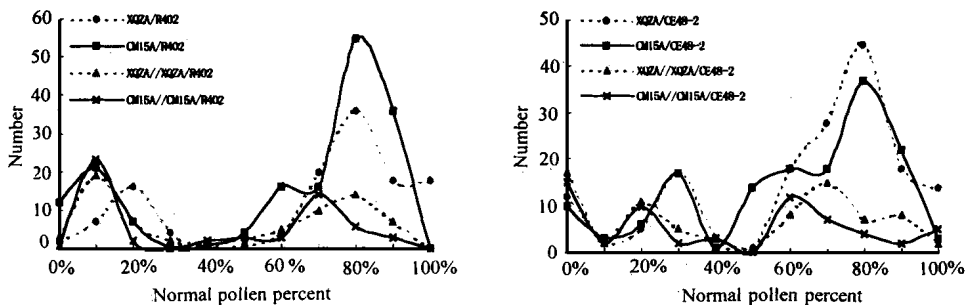


图 1 杂交组合 F<sub>2</sub> 和 BC<sub>1</sub>F<sub>1</sub> 正常花粉率分布图

Fig 1 Distribution of normal pollen percent in F<sub>2</sub> and BC<sub>1</sub>F<sub>1</sub> of hybrid combinations

### 3 讨论

基于上述 4 个组合(协青早 A /R 402、协青早 A /测 48-2、CM 15A /R 402 和 CM 15A /测

48-2)F<sub>2</sub> 和BC<sub>1</sub>F<sub>1</sub> 代花粉育性的分离情况, 可作如下遗传分析(图 2), 假设协青早 A 及其衍生不育系细胞核的基因型是两对不育基因即 r<sub>1</sub>r<sub>1</sub>r<sub>2</sub>r<sub>2</sub>, 恢复系 R402 细胞核的基因型为 R<sub>1</sub>R<sub>1</sub>R<sub>2</sub>R<sub>2</sub>, 而测 48-2 应是 R<sub>1</sub>R<sub>1</sub>R<sub>2</sub>R<sub>2</sub>, 这里 R<sub>1</sub>R<sub>1</sub> 对 r<sub>1</sub>r<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>R<sub>2</sub> 对 r<sub>2</sub>r<sub>2</sub> 分别表现显性, R<sub>1</sub> 代表育性恢复基因, 能正常结实; R<sub>2</sub> 也时恢复基因, 但其恢复力较 R<sub>1</sub> 弱, 并且当 R<sub>2</sub> 和 R<sub>1</sub> 基因同时存在时, R<sub>2</sub> 对 R<sub>1</sub> 还有显性上位效应。显性上位指的是一对基因对另一对基因有遮盖作用, 如果起遮盖作用的基因是显性基因称位上位显性基因<sup>[11]</sup>, 本试验中 R<sub>2</sub> 对 R<sub>1</sub> 起了部分遮盖作用(或称负修饰), 因此含 R<sub>1</sub> 基因的 R402 恢复力比同时含 R<sub>2</sub> 和 R<sub>1</sub> 基因的测 48-2 强, 当 R<sub>2</sub> 和 R<sub>1</sub> 均不存在时, r<sub>1</sub>r<sub>1</sub>r<sub>2</sub>r<sub>2</sub> 则表现为完全不育。这一假设在不育系 × F<sub>1</sub> 产生的 BC<sub>1</sub>F<sub>1</sub> 中得以进一步证实。因此, 在杂交早稻中, 矮败型不育系的不育性可以被早稻恢复系中的一对显性恢复基因完全恢复, 而另一对显性恢复基因并没有如杂交晚稻恢复系那样显示重叠效应, 这也许正是杂交早稻杂种优势不及杂交晚稻的原因之一。

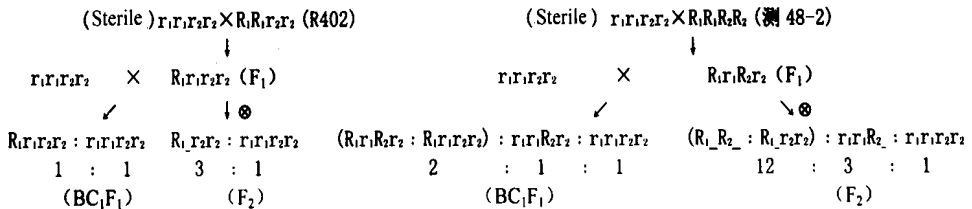


图 2 R402 与测 48-2 恢复基因的遗传

Fig 2 Genetics of restoring genes of R402 and CE48-2

参照黎垣庆<sup>[3]</sup>、Govinda Raj 等<sup>[12]</sup>和梁康迳等<sup>[13]</sup>的系谱分析, 作者试对早稻恢复系 R402 和测 48-2 恢复基因的来源作出如下推测: R402 属制 3-1-6 × IR2035 组合的后代<sup>[14]</sup>, 制 3-1-6 中含有恢复基因 R<sub>2</sub>R<sub>2</sub>, 它来源于印度栽培品种的一个品系 SLO<sub>17</sub>, 而 IR2035 中含有恢复基因 R<sub>1</sub>R<sub>1</sub>。R<sub>1</sub>R<sub>1</sub> 是从我国晚籼品种仙那传递的。制 3-1-6 与 IR2035 杂交的后代 R<sub>2</sub>R<sub>2</sub> 丢失, 仅 R<sub>1</sub>R<sub>1</sub> 由 IR2035 传给 R402。测 48-2 是从晚稻恢复系测 64(IR9761-19-6-64)中系统选育产生, 所以说测 48-2 中的两对恢复基因来源于 IR30。综上所述, 这两个恢复基因分别来自我国晚籼品种仙那和印度品种 SLO<sub>17</sub>。

参 考 文 献

- 1 王三良 湖南农业科技, 1980(4): 1~ 4
- 2 高明尉 遗传学报, 1981, 8(1): 66~ 74
- 3 黎垣庆 中国农业科学, 1985(1): 24~ 31
- 4 V imani SS, KG Rag, C Casal et al In: *Rice Genetics*, IR IM anila, Philippines 1986, 633~ 647
- 5 张桂权, 卢永根 作物学报, 1987, 13(1): 23~ 28
- 6 严菊强, 薛庆中 遗传学报, 1995, 22(5): 361~ 371
- 7 滕利生, 申宗坦 作物学报, 1996, 22(2): 142~ 146
- 8 张晓国, 梅启明, 朱英国 作物学报, 1997, 23(2): 242~ 246
- 9 黄青阳, 何予卿, 凌杏元等 中国农业科学, 2000, 33(3): 8~ 13
- 10 程朝阳, 薛庆中 作物学报, 1998, 24(3): 361~ 367
- 11 浙江农业大学主编, 遗传学 北京: 农业出版社, 1979, 45
- 12 Govinda Raj K, SS V imani *Crop Science*, 1988, 28: 787~ 792
- 13 梁康迳, 王乃元, 杨仁崔 福建农学院学报, 1990, 19(4): 397~ 402
- 14 唐显岩 杂交水稻, 1992, 7(5): 32~ 33, 13

