

## 新型粳稻光 (温) 敏核质互作不育系 SA 及不育系 S 和 A 所配 F<sub>1</sub> 产量优势和配合力分析

杜士云, 王守海\*, 黄忠祥, 李成荃, 王德正, 罗彦长, 吴爽

(安徽省农业科学院水稻研究所, 安徽 合肥 230031)

**摘要:** SA 是由聚合光 (温) 敏雄性核不育和核质互作不育基因选育出的具有 2 套不育机制的新型光 (温) 敏核质互作不育系, 为了解其所配组合产量的杂种优势及与亲本不育系 S 和 A 所配组合的差别, 将 2 个新型粳稻不育系 2308SA 和 2310SA 及对照亲本不育系 2308S (2308SA 亲本)、2310S (2310SA 亲本)、2277A (2310SA 和 2308SA 共同亲本) 与 6 个粳稻恢复系配制杂交组合。组合 F<sub>1</sub> 分别在海南省陵水县和安徽省合肥市种植, 对 F<sub>1</sub> 单株谷重的杂种优势、配合力及主要产量经济性状进行分析和比较。结果表明, SA 与不同的恢复系组配, F<sub>1</sub> 单株谷重不同, 不同生态地区, 同一组合单株谷重有时差别较大。SA 配制的组合 F<sub>1</sub> 单株谷重普遍有正向超高亲优势, 与亲本不育系 S 和 A 配制的组合相比, 有些组合具更强的产量超高亲优势和竞争优势。F<sub>1</sub> 单株谷重的配合力分析表明, 选育的 2310SA 在 2 个试验点的一般配合力均强于亲本不育系 2310S 和 2277A, 其配制的组合有的也表现出较好的特殊配合力。另外, SA 配制的组合在产量经济性状上, 陵水点的单株有效穗数变异较大, 合肥点的每穗总粒数变异较大, 它们各自对产量的贡献也都最大; 陵水点的结实率显著高于亲本 A 配制的组合, 合肥点的结实率显著高于亲本 S 配制的组合, 合肥点的穗总粒数显著高于 A 配制的组合而结实率显著降低, 其他性状差异不显著。

**关键词:** 粳稻; 光 (温) 敏核质互作不育系; 产量; 杂种优势; 配合力; 经济性状

中图分类号: S511.2<sup>+</sup>2 文献标识码: A 文章编号: 1000-2030 (2008) 03-0013-06

## Analysis on yield heterosis and combining ability of F<sub>1</sub> hybrids from new type of japonica photo (thermo) -sensitive cytoplasmic male sterile lines (SA) in rice and its comparison with S and A sterile lines

DU Shi-yun, WANG Shou-hai\*, HUANG Zhong-xiang, LI Cheng-quan,  
WANG De-zheng, LUO Yan-chang, WU Shuang

(Rice Research Institute, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei 230031, China)

**Abstract:** SA—a new type of japonica photo (thermo) -sensitive cytoplasmic male sterile (PCMS) line that consists of photo (thermo) -sensitive genic male sterile (P (T) GMS) and cytoplasmic male sterile (CMS) genes, was bred. Respectively analyzed were the F<sub>1</sub> yield per plant heterosis, combining ability and the major economic traits of combinations, which were from the japonica lines 2308SA, 2310SA and their parent lines (2308S, 2310S and 2277A) crossed with six japonica restorers, and planted in Lingshui of Hainan Province and Hefei of Anhui Province, in order to learn of the yield heterosis of combinations from SA and the differences between SA line and its parents S or A line. The results indicated that the yield heterosis expression of F<sub>1</sub> hybrids for SA was different with different restorers or different areas. Both in Lingshui and Hefei, there was a commonly positive super-male parent yield heterosis in the combinations for SA and some combinations showed better over-comparison and super-male parent yield heterosis compared to the combinations crossed with S or A lines. 2310SA showed better general combining ability (GCA) than its parents (2310S and 2277A) and some of its combinations displayed strong specific combining ability (SCA). In addition, the results also suggested that active panicles per plant of F<sub>1</sub> hybrids for SA lines had big variance coefficient in Lingshui while total grains per panicle had big variance coefficient in Hefei, which were of great importance to yield per plant, respectively. The seed-setting rate of combinations of SA lines increased significantly in comparison with combinations of both A line in Lingshui and S line in Hefei. And in Hefei, the total grains per panicle increased significantly while the seed-setting rate decreased significantly

收稿日期: 2007-04-21

基金项目: 国家 863 计划项目 (2004AA211091); 国家自然科学基金项目 (30771379); 农业部“全球水稻分子育种计划”项目 (2006-G1)

作者简介: 杜士云, 硕士, 助理研究员。\* 通讯作者: 王守海, 研究员, 主要从事水稻遗传育种研究, E-mail: Wshouhai@mail.hf.ah.cn。

compared to combinations of A line. There wasn't noticeable difference in other economic traits of combinations between SA lines and its parents S or A lines.

**Key words:** japonica rice; photo (thermo) -sensitive cytoplasmic male sterile line; yield; heterosis; combining ability; economic trait

在三系和两系杂交粳稻生产上, 不育系受温度影响易自交结实一直是杂交粳稻种子生产过程中的难点<sup>[1-5]</sup>。王守海等<sup>[6]</sup>通过选择 BT 型核质互作不育系 (A) 与含有 BT 型保持基因的粳型光 (温) 敏核不育系 (S) 进行杂交和回交, 聚合核质互作不育基因与雄性核不育基因选育成一种具有 2 套不育机制的新型不育系, 称光 (温) 敏核质互作不育系, 以符号 SA 表示。因为核质互作不育基因和核不育基因是相互独立的, 当它们聚合在一起时, 不育性表现得更完全, 可以避免三系 BT 型粳稻不育系在高温和两系粳稻光 (温) 敏核不育系在低温条件下出现的自交结实现象。一种实用的水稻不育系, 不仅要不育性稳定, 可恢复性好, 且杂种优势和配合力要高<sup>[7]</sup>。关于水稻三系不育系 A 和两系不育系 S 的育性和所配组合的产量杂种优势及配合力, 许多育种者已做了较多的研究报告<sup>[8-11]</sup>。鉴于 SA 是聚合 2 套不育基因选育的一种新型不育系, 国内外对其杂种优势尚无具体的报道。故笔者通过两年两地的试验结果, 分析了 SA 所配组合的产量杂种优势、配合力和产量经济性状等, 并与不育系 A 和 S 所配组合进行了比较, 为这种新型不育系在生产上的应用提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试不育系为: 选育的同质粳型光 (温) 敏核质互作不育系 2308SA 和 2310SA, 对照粳型光 (温) 敏核不育系 2308S (2308SA 的轮回亲本)、2310S (2310SA 的轮回亲本) 和 BT 型粳稻核质互作不育系 2277A (2308SA 和 2310SA 的 BT 细胞质供体亲本)。三系粳型恢复系为: 皖恢 9 号 (WH9)、HP121、轮回 422 (LH422)、4183、皖恢 3402 (WH3402) 和皖恢 3404 (WH3404)。供试材料均由安徽省农业科学院水稻研究所提供。

### 1.2 方法

2003 年正季在安徽省合肥市用上述材料采用不完全双列杂交方式配制杂交组合。2003 年冬至 2004 年春在海南省陵水县和 2004 年正季在安徽省合肥市种植所配的杂种  $F_1$ 。田间设计均采取 3 区组, 随机排列, 每小区单本栽 2 行, 每行 11 株, 陵水的株行距为 13.3 cm × 26.7 cm, 小区间距为 26.7 cm, 合肥的为 16.5 cm × 19.8 cm, 小区间距为 26.4 cm, 田间管理同大田。成熟期陵水点每小区取 2 株共 6 株, 合肥点每小区取 5 株共 15 株, 考查主要经济性状。

### 1.3 数据处理

数据采用 Excel 和 SAS 软件进行处理, 用 Duncan's 多重比较法比较各不育系所配组合经济性状和单株谷重的差异显著性, 用  $t$  测验法检验单株谷重超高亲优势及竞争优势的差异显著性, 百分数经反正弦转换后进行方差分析和多重比较, 结果以  $\bar{x} \pm SD$  表示。

超高亲优势 = (杂种  $F_1$  产量 - 高亲本产量) / 高亲本产量 × 100% (高亲本指恢复系)

竞争优势 = (杂种  $F_1$  产量 - 对照产量) / 对照产量 × 100% (对照指除 SA 以外的 3 个不育系分别与恢复系所配  $F_1$ )

## 2 结果与分析

### 2.1 方差分析

将所配组合  $F_1$  单株谷重进行方差分析, 结果表明, 陵水县和合肥市的各杂交组合间 (陵水点的  $F$  测验值为 3.03, 合肥点的为 3.65, 下同)、不育系所配组合间 (7.05, 8.27)、恢复系所配组合间 (4.64, 4.87) 及不育系和恢复系的互作间 (2.13, 2.72) 单株谷重差异效应均达极显著水平, 而区间差异不显著 (0.48, 0.72), 可作进一步分析。

### 2.2 SA 所配组合 $F_1$ 单株谷重及其产量经济性状

由表 1 可以看出, 在合肥点, 组合 2310SA/皖恢 9 号 8 月 13 日抽穗, 单株谷重为 25.47 g, 组合

2310SA/HP121 和其抽穗日期相同, 2310SA/轮回 422 比其迟抽穗约 15 d 左右, 二者单株谷重都显著高于组合 2310SA/皖恢 9 号。在陵水点, SA 所配的 6 个组合中, 最高和最低单株谷重差异也达显著水平。另外, 同一组合在不同的生态区种植, 产量表现有时差别很大, 如组合 2308SA/轮回 422, 陵水点的单株谷重为 24.60 g, 合肥点的为 35.23 g。

6 个组合的平均单株谷重由高到低的顺序, 陵水点依次为以 2310SA、2308S、2277A、2308SA 和 2310S 为母本配制的组合; 合肥点依次为以 2310SA、2308SA、2277A、2308S 和 2310S 为母本配制的组合。两点 2310SA 配制的组合平均单株谷重均显著高于 2310S 配制的组合, 与 2277A 配制的组合差异不

表 1 SA 所配组合 F<sub>1</sub> 及各不育系所配组合 F<sub>1</sub> 的产量经济性状Table 1 Major agronomic characters of F<sub>1</sub> hybrids for SA and F<sub>1</sub> hybrids for different type male sterile lines

| 地点<br>Location | 杂交组合<br>Combination | 单株有效穗数<br>Effective panicles per plant | 穗总粒数<br>Total grains per panicle | 结实率/%<br>Seed setting rate   | 千粒重/g<br>1 000-grain weight  | 单株谷重/g<br>Yield per plant    |                             |
|----------------|---------------------|--|----------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 陵水<br>Lingshui | 2308SA/WH9          | 12.67 ± 0.58 <sup>abc</sup>            | 109.77 ± 10.00 <sup>b</sup>      | 85.63 ± 2.26 <sup>abc</sup>  | 22.43 ± 1.22 <sup>abc</sup>  | 26.40 ± 1.50 <sup>bcd</sup>  |                             |
|                | 2308SA/HP121        | 16.83 ± 3.55 <sup>a</sup>              | 124.09 ± 10.01 <sup>ab</sup>     | 73.34 ± 2.80 <sup>de</sup>   | 22.78 ± 0.29 <sup>abc</sup>  | 34.65 ± 6.54 <sup>ab</sup>   |                             |
|                | 2308SA/LH422        | 10.17 ± 3.06 <sup>c</sup>              | 128.32 ± 2.22 <sup>ab</sup>      | 81.36 ± 4.04 <sup>abcd</sup> | 23.00 ± 0.92 <sup>abc</sup>  | 24.60 ± 6.75 <sup>cd</sup>   |                             |
|                | 2308SA/4183         | 12.50 ± 1.32 <sup>abc</sup>            | 110.41 ± 8.69 <sup>b</sup>       | 89.90 ± 1.19 <sup>a</sup>    | 23.62 ± 2.81 <sup>ab</sup>   | 28.95 ± 4.09 <sup>abcd</sup> |                             |
|                | 2308SA/WH3402       | 10.00 ± 2.78 <sup>c</sup>              | 134.81 ± 9.08 <sup>a</sup>       | 75.25 ± 3.77 <sup>de</sup>   | 23.40 ± 1.18 <sup>abc</sup>  | 23.48 ± 7.06 <sup>d</sup>    |                             |
|                | 2308SA/WH3404       | 11.67 ± 2.89 <sup>bc</sup>             | 112.83 ± 9.84 <sup>b</sup>       | 88.83 ± 1.70 <sup>a</sup>    | 23.03 ± 2.03 <sup>abc</sup>  | 26.85 ± 6.50 <sup>bcd</sup>  |                             |
|                | 2310SA/WH9          | 17.00 ± 1.00 <sup>a</sup>              | 115.34 ± 15.16 <sup>b</sup>      | 86.41 ± 6.11 <sup>ab</sup>   | 22.10 ± 0.51 <sup>bc</sup>   | 37.27 ± 6.03 <sup>a</sup>    |                             |
|                | 2310SA/HP121        | 15.33 ± 2.84 <sup>ab</sup>             | 109.65 ± 8.38 <sup>b</sup>       | 68.20 ± 11.51 <sup>e</sup>   | 22.60 ± 0.46 <sup>abc</sup>  | 25.65 ± 3.82 <sup>bcd</sup>  |                             |
|                | 2310SA/LH422        | 14.83 ± 2.84 <sup>ab</sup>             | 128.26 ± 1.39 <sup>ab</sup>      | 77.65 ± 5.72 <sup>d</sup>    | 23.41 ± 0.62 <sup>abc</sup>  | 34.43 ± 4.92 <sup>ab</sup>   |                             |
|                | 2310SA/4183         | 13.50 ± 2.18 <sup>abc</sup>            | 115.62 ± 5.33 <sup>b</sup>       | 85.77 ± 2.78 <sup>abc</sup>  | 24.83 ± 0.15 <sup>a</sup>    | 33.60 ± 5.25 <sup>abc</sup>  |                             |
|                | 2310SA/WH3402       | 12.17 ± 2.25 <sup>bc</sup>             | 123.39 ± 10.98 <sup>ab</sup>     | 78.44 ± 5.95 <sup>cd</sup>   | 22.73 ± 0.69 <sup>abc</sup>  | 26.63 ± 4.71 <sup>bcd</sup>  |                             |
|                | 2310SA/WH3404       | 13.83 ± 1.89 <sup>abc</sup>            | 113.08 ± 15.85 <sup>b</sup>      | 87.67 ± 3.52 <sup>ab</sup>   | 21.13 ± 0.68 <sup>c</sup>    | 29.20 ± 5.43 <sup>abcd</sup> |                             |
|                | 平均<br>Mean          | 2308SA/R                               | 12.31 ± 2.49 <sup>bc</sup>       | 120.04 ± 10.52 <sup>ab</sup> | 82.39 ± 6.96 <sup>ab</sup>   | 23.04 ± 0.42 <sup>c</sup>    | 27.49 ± 3.98 <sup>bcd</sup> |
|                |                     | 2310SA/R                               | 14.44 ± 1.67 <sup>a</sup>        | 117.56 ± 6.92 <sup>bc</sup>  | 80.69 ± 7.45 <sup>b</sup>    | 22.80 ± 1.25 <sup>cde</sup>  | 31.13 ± 4.66 <sup>a</sup>   |
|                | 2308S/R             | 13.61 ± 1.35 <sup>ab</sup>             | 120.82 ± 7.49 <sup>ab</sup>      | 84.64 ± 6.27 <sup>a</sup>    | 22.10 ± 1.36 <sup>f</sup>    | 30.63 ± 3.71 <sup>ab</sup>   |                             |
|                | 2310S/R             | 12.44 ± 1.50 <sup>bc</sup>             | 114.84 ± 11.85 <sup>bcd</sup>    | 82.34 ± 6.96 <sup>ab</sup>   | 22.64 ± 1.23 <sup>cdef</sup> | 26.42 ± 4.11 <sup>cd</sup>   |                             |
|                | 2277A/R             | 13.53 ± 2.43 <sup>ab</sup>             | 121.41 ± 8.03 <sup>ab</sup>      | 77.63 ± 4.71 <sup>c</sup>    | 22.39 ± 1.65 <sup>def</sup>  | 28.49 ± 6.39 <sup>abc</sup>  |                             |
|                | R                   | 9.39 ± 1.37 <sup>d</sup>               | 125.41 ± 10.95 <sup>a</sup>      | 81.51 ± 4.88 <sup>b</sup>    | 22.23 ± 1.50 <sup>ef</sup>   | 20.99 ± 3.96 <sup>f</sup>    |                             |
|                | 2308SA、2310SA/R     | 13.38 ± 2.31 <sup>ab</sup>             | 118.80 ± 8.59 <sup>abc</sup>     | 81.54 ± 6.93 <sup>b</sup>    | 22.92 ± 0.90 <sup>cd</sup>   | 29.31 ± 4.55 <sup>abc</sup>  |                             |
|                | 2308S、2310S/R       | 13.03 ± 1.49 <sup>ab</sup>             | 117.83 ± 9.95 <sup>abc</sup>     | 83.49 ± 6.43 <sup>ab</sup>   | 22.37 ± 1.27 <sup>def</sup>  | 28.53 ± 4.33 <sup>abc</sup>  |                             |
| 合肥<br>Hefei    | 2308SA/WH9          | 10.20 ± 1.80 <sup>ab</sup>             | 148.67 ± 5.75 <sup>ef</sup>      | 76.83 ± 0.23 <sup>bcd</sup>  | 23.70 ± 0.87 <sup>abc</sup>  | 27.40 ± 4.17 <sup>cd</sup>   |                             |
|                | 2308SA/HP121        | 9.33 ± 0.12 <sup>bc</sup>              | 199.10 ± 8.06 <sup>b</sup>       | 66.33 ± 4.07 <sup>e</sup>    | 23.47 ± 0.72 <sup>abcd</sup> | 28.73 ± 2.79 <sup>bcd</sup>  |                             |
|                | 2308SA/LH422        | 9.47 ± 1.45 <sup>bc</sup>              | 213.03 ± 5.99 <sup>ab</sup>      | 76.07 ± 3.17 <sup>cd</sup>   | 22.97 ± 0.32 <sup>bcde</sup> | 35.23 ± 5.67 <sup>a</sup>    |                             |
|                | 2308SA/4183         | 11.33 ± 1.33 <sup>a</sup>              | 155.57 ± 3.39 <sup>def</sup>     | 81.43 ± 1.46 <sup>bc</sup>   | 24.47 ± 0.84 <sup>a</sup>    | 34.70 ± 4.18 <sup>ab</sup>   |                             |
|                | 2308SA/WH3402       | 8.67 ± 0.70 <sup>bc</sup>              | 216.30 ± 6.27 <sup>a</sup>       | 77.13 ± 4.02 <sup>bcd</sup>  | 22.28 ± 0.46 <sup>e</sup>    | 32.00 ± 3.94 <sup>abc</sup>  |                             |
|                | 2308SA/WH3404       | 9.60 ± 1.44 <sup>bc</sup>              | 162.80 ± 7.38 <sup>de</sup>      | 75.30 ± 4.76 <sup>d</sup>    | 22.83 ± 0.76 <sup>cde</sup>  | 26.47 ± 3.19 <sup>cd</sup>   |                             |
|                | 2310SA/WH9          | 9.50 ± 1.25 <sup>bc</sup>              | 142.97 ± 14.60 <sup>f</sup>      | 79.00 ± 2.62 <sup>bcd</sup>  | 23.90 ± 1.06 <sup>abc</sup>  | 25.47 ± 4.21 <sup>d</sup>    |                             |
|                | 2310SA/HP121        | 10.27 ± 1.75 <sup>ab</sup>             | 180.40 ± 7.65 <sup>c</sup>       | 74.57 ± 3.85 <sup>d</sup>    | 24.03 ± 0.86 <sup>ab</sup>   | 32.73 ± 3.31 <sup>abc</sup>  |                             |
|                | 2310SA/LH422        | 8.33 ± 0.23 <sup>c</sup>               | 206.97 ± 8.76 <sup>ab</sup>      | 87.53 ± 1.54 <sup>a</sup>    | 23.47 ± 0.21 <sup>abcd</sup> | 35.60 ± 0.87 <sup>a</sup>    |                             |
|                | 2310SA/4183         | 9.47 ± 0.50 <sup>bc</sup>              | 165.70 ± 11.82 <sup>cd</sup>     | 81.73 ± 3.23 <sup>b</sup>    | 23.77 ± 0.81 <sup>abc</sup>  | 30.13 ± 3.64 <sup>abcd</sup> |                             |
|                | 2310SA/WH3402       | 9.10 ± 0.56 <sup>bc</sup>              | 205.63 ± 13.93 <sup>ab</sup>     | 81.57 ± 2.11 <sup>b</sup>    | 22.43 ± 0.40 <sup>de</sup>   | 34.37 ± 5.25 <sup>ab</sup>   |                             |
|                | 2310SA/WH3404       | 9.47 ± 0.42 <sup>bc</sup>              | 157.53 ± 5.26 <sup>def</sup>     | 78.53 ± 1.71 <sup>bcd</sup>  | 22.93 ± 0.95 <sup>cde</sup>  | 26.87 ± 1.97 <sup>cd</sup>   |                             |
|                | 平均<br>Mean          | 2308SA/R                               | 9.77 ± 0.91 <sup>a</sup>         | 182.58 ± 30.36 <sup>b</sup>  | 75.52 ± 4.98 <sup>e</sup>    | 23.29 ± 0.76 <sup>b</sup>    | 30.76 ± 3.77 <sup>b</sup>   |
|                |                     | 2310SA/R                               | 9.36 ± 0.63 <sup>abc</sup>       | 176.53 ± 26.05 <sup>bc</sup> | 80.49 ± 4.32 <sup>c</sup>    | 23.42 ± 0.62 <sup>b</sup>    | 30.86 ± 4.09 <sup>b</sup>   |
|                | 2308S/R             | 9.51 ± 0.66 <sup>ab</sup>              | 183.44 ± 27.77 <sup>b</sup>      | 72.72 ± 6.21 <sup>f</sup>    | 22.83 ± 0.66 <sup>c</sup>    | 28.58 ± 4.19 <sup>bc</sup>   |                             |
|                | 2310S/R             | 8.95 ± 0.98 <sup>bc</sup>              | 175.77 ± 21.69 <sup>bc</sup>     | 71.84 ± 8.33 <sup>f</sup>    | 23.71 ± 0.81 <sup>b</sup>    | 26.41 ± 5.16 <sup>c</sup>    |                             |
|                | 2277A/R             | 9.85 ± 0.75 <sup>a</sup>               | 156.51 ± 20.14 <sup>d</sup>      | 84.84 ± 4.11 <sup>a</sup>    | 23.72 ± 0.50 <sup>b</sup>    | 30.63 ± 1.41 <sup>b</sup>    |                             |
|                | R                   | 8.75 ± 0.86 <sup>c</sup>               | 195.93 ± 44.10 <sup>a</sup>      | 75.90 ± 7.81 <sup>de</sup>   | 22.70 ± 0.66 <sup>c</sup>    | 28.20 ± 4.73 <sup>c</sup>    |                             |
|                | 2308SA、2310SA/R     | 9.56 ± 0.78 <sup>ab</sup>              | 179.56 ± 27.15 <sup>bc</sup>     | 78.00 ± 5.15 <sup>d</sup>    | 23.35 ± 0.67 <sup>b</sup>    | 30.81 ± 3.75 <sup>b</sup>    |                             |
|                | 2308S、2310S/R       | 9.23 ± 0.84 <sup>abc</sup>             | 179.61 ± 24.09 <sup>bc</sup>     | 72.28 ± 7.02 <sup>f</sup>    | 23.27 ± 0.84 <sup>b</sup>    | 27.49 ± 4.62 <sup>c</sup>    |                             |

注: 1) WH9: 皖恢 9 号 Wanhui 9; LH422: 轮回 422 Lunhui 422; WH3402: 皖恢 3402 Wanhui 3402; WH3404: 皖恢 3404 Wanhui 3404; R: 6 个恢复系 Six restorers

2) 不育系 2277A、2308S 和 2310S 与 6 个恢复系配制的 F<sub>1</sub> 产量性状数据未列。The data of agronomic characters of F<sub>1</sub> hybrids for 2277A, 2308S and 2310S with six restores are not listed.

3) 同列同组数据后不同上标小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。Data with the different superscripts within a column and in the same group are of significant difference at 0.05 level. The same as follows.

显著, 2308SA 配制的组合与亲本 2308S 和 2277A 配制的组合差异不显著。

SA 所配组合单株有效穗数、穗总粒数、结实率和千粒重变幅(变异系数), 陵水点分别为 10.00 ~ 17.00 (17.26%)、109.65 ~ 134.81 (7.23%)、68.20% ~ 89.90% (8.50%) 和 21.13 ~ 24.83 g (3.93%), 合肥点分别为 8.33 ~ 11.33 (8.16%)、142.97 ~ 216.30 (15.12%)、66.33% ~ 87.53% (6.60%) 和 22.28 ~ 24.47 g (2.87%)。陵水点, SA 所配组合与亲本 S 所配组合的 4 个主要产量经济性状差异不显著, 与亲本 2277A 所配组合相比, 结实率增加 5.04% ( $P < 0.05$ ), 其他性状差异不显著; 合肥点, 与亲本 S 所配组合相比, 结实率显著增加 7.91%, 与亲本 2277A 所配组合相比, 穗总粒数显著增加 14.73%, 但结实率显著降低, 其他性状差异不显著。

由上可见, SA 所配组合的产量杂种优势因恢复系不同而不同, 且受生态环境影响, 与亲本相比, 其所配组合平均单株谷重具有一定的优势。产量经济性状上, SA 所配组合, 陵水点单株有效穗数变异大, 合肥点穗总粒数变异大。

### 2.3 SA 所配组合 $F_1$ 单株谷重的超高亲优势

由表 2 可知, 各不育系配制的组合  $F_1$  单株谷重的平均超高亲优势, 除了 2310S 所配组合合肥点为负值, 其他均为正值, 其中, 陵水点都达显著或极显著水平。2 个新型不育系 2310SA 和 2308SA 与 6 个恢复系所配杂交组合的单株谷重, 陵水点, 全部表现出正向超高亲优势, 合肥点, 3 个组合超高亲优势为负值, 1 个组合显著正向超高亲。2310SA 所配组合  $F_1$  单株谷重的平均超高亲优势在两点均强于其亲本 2310S 和 2277A 所配组合。

表 2  $F_1$  单株谷重的超高亲优势

Table 2  $F_1$  heterosis over-male parent on the yield per plant

| 不育系<br>Sterile line | 地点<br>Location | 恢复系 Restorer line |          |        |         |         |         | 平均 Mean |
|---------------------|----------------|-------------------|----------|--------|---------|---------|---------|---------|
|                     |                | WH9               | HP121    | LH422  | 4183    | WH3402  | WH3404  |         |
| 2308SA              | 陵水 Lingshui    | 4.14              | 128.28** | 1.23   | 48.72** | 28.42   | 15.45   | 37.71** |
|                     | 合肥 Hefei       | 9.60              | -6.21    | 27.08  | 62.15*  | 8.84    | -24.50  | 12.83   |
| 2310SA              | 陵水 Lingshui    | 46.85             | 69.08**  | 41.56* | 72.31*  | 45.36*  | 25.32   | 50.08** |
|                     | 合肥 Hefei       | 2.00              | 6.86     | 28.52  | 40.65   | 17.01   | -23.36  | 11.95   |
| 2308S               | 陵水 Lingshui    | 10.24             | 90.79*   | 34.98  | 88.21** | 43.17   | 31.33*  | 49.79** |
|                     | 合肥 Hefei       | -0.80             | -6.21    | 15.88  | 45.33*  | 9.86    | -36.47* | 4.60    |
| 2310S               | 陵水 Lingshui    | -9.45             | 45.39    | 10.70  | 67.69** | 36.61*  | 25.75   | 29.45*  |
|                     | 合肥 Hefei       | 45.20*            | -15.36   | -5.05  | 17.29   | -21.77  | -37.89* | -2.93   |
| 2277A               | 陵水 Lingshui    | 53.94             | 44.74*   | -8.64  | 41.03** | 72.68** | 22.75   | 37.75** |
|                     | 合肥 Hefei       | 15.20             | -0.65    | 16.97  | 36.45   | 7.82    | -11.11  | 10.78   |

Note: \*  $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$ . The same as in Table 3.

### 2.4 SA 所配组合 $F_1$ 单株谷重的竞争优势

为进一步明确 SA 与其亲本材料所配组合在产量上的差异, 把不育系按同父(6 个恢复系)异母, 即不育系 SA (2308SA 和 2310SA)、S (SA 的亲本 2308S 和 2310S)、A (SA 的亲本 2277A) 归为 3 类, 计算了 SA 的  $F_1$  对其他 2 类不育系的  $F_1$  平均单株谷重的竞争优势。由表 3 可见, 恢复系相同, 在 2 个试验点, SA 的  $F_1$  对 S 和 A 的  $F_1$  平均单株谷重组间有 7/12 的机率表现为正向竞争优势, 5/12 的机率表现为负向竞争优势, 4 个组合正向竞争优势达显著水平。总体竞争优势为正值, 差异不显著。

表 3 SA 所配组合  $F_1$  单株谷重的竞争优势

Table 3 Over-comparison heterosis in grain weight per plant of  $F_1$  hybrids for SA

| 恢复系<br>Restorer line | 陵水点竞争优势 Over-comparison heterosis in Lingshui |                                 | 合肥点竞争优势 Over-comparison heterosis in Hefei |                                 |
|----------------------|---|---------------------------------|--|---------------------------------|
|                      | 相比 S 所配组合<br>Over hybrids for S               | 相比 A 所配组合<br>Over hybrids for A | 相比 S 所配组合<br>Over hybrids for S            | 相比 A 所配组合<br>Over hybrids for A |
|                      | WH9   | 24.90*                          | -18.54                                     | -13.42                          |
| HP121                | 18.20   | 37.27                           | 12.45*                                     | 0.99                            |
| LH422                | -1.17   | 32.88*                          | 21.23                                      | 9.26                            |
| 4183                 | -9.80   | 13.81                           | 15.30*                                     | 10.96                           |
| WH3402               | -2.15   | -20.73                          | 20.07                                      | 4.73                            |
| WH3404               | -6.34   | -1.92                           | 21.09                                      | -14.42                          |
| 平均 Mean              | 2.63  | 2.81                            | 12.18                                      | 0.82                            |

注: S 为 2310S 和 2308S; A 为 2277A。S represents 2310S and 2308S; A represents 2277A.

### 2.5 单株谷重的一般配合力（GCA）和特殊配合力（SCA）效应

由表4可见，单株谷重的一般配合力，2个试验点参试不育系间都以2310SA效应最高，各不育系一般配合力由强到弱的顺序，陵水点依次为2310SA、2308S、2277A、2308SA、2310S，合肥点依次为2310SA、2308SA、2277A、2310S、2308S。单株谷重的特殊配合力，陵水点的2308SA/HP121、2277A/皖恢9号和2277A/皖恢3402，合肥点的2310S/皖恢9号、2277A/皖恢3404、2308S/皖恢3402、2310SA/皖恢3402和2308SA/4183等效应较高。可见，与对照不育系S和A相比，SA单株谷重的一般配合力较好，有些组合也有较强的特殊配合力。

表4 单株谷重一般配合力（GCA）和特殊配合力（SCA）效应值

Table 4 Effects of general combining ability (GCA) and specific combining ability (SCA) of the yield per plant

| 地点<br>Location | 不育系<br>Sterile line | SCA ( $\hat{s}_{ij}$ ) |        |        |        |        |        | GCA ( $\hat{g}_i$ ) |
|----------------|---------------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------------|
|                |                     | WH9                    | HP121  | LH422  | 4183   | WH3402 | WH3404 |                     |
| 陵水 Lingshui    | 2308SA              | -4.477                 | 9.538  | -2.291 | -0.362 | -1.362 | -1.048 | -0.024              |
|                | 2308S               | -5.960                 | 1.255  | 2.826  | 4.255  | -1.745 | -0.431 | 3.093               |
|                | 2310SA              | 2.811                  | -3.075 | 3.896  | 0.625  | -1.875 | -2.361 | 3.593               |
|                | 2310S               | -6.860                 | -2.045 | 1.026  | 4.355  | 1.155  | 2.369  | -1.041              |
|                | 2277A               | 7.241                  | -4.145 | -5.674 | -2.845 | 5.755  | -0.331 | 0.960               |
| 合肥 Hefei       | 2308SA              | -3.169                 | -1.983 | 2.502  | 2.802  | 0.988  | -1.140 | 0.240               |
|                | 2308S               | -3.569                 | 0.217  | 1.602  | 1.402  | 3.488  | -3.140 | -1.960              |
|                | 2310SA              | -5.186                 | 1.900  | 2.786  | -1.914 | 3.271  | -0.857 | 0.357               |
|                | 2310S               | 10.081                 | -0.433 | -2.048 | -2.448 | -3.662 | -1.490 | -4.110              |
|                | 2277A               | -1.636                 | -0.150 | -0.164 | -2.564 | 0.821  | 3.693  | 0.107               |

## 3 讨论

利用粳稻 BT 型核质互作雄性不育系与粳稻恢复系异交选育三系杂交粳稻是粳稻杂交育种的主要方法之一，生产上仍在大面积推广。然而一些 BT 型核质互作雄性不育系核基因组存在可育基因，在正常温度下，可育基因受细胞质雄性不育基因的抑制而不能表达，但在一定环境下，抑制效应可能被解除使可育基因得到表达，如穗期遇到日最高气温 35℃ 以上易导致自交结实，影响杂交种子的纯度，给生产造成损失<sup>[1-2,6]</sup>。

两系法育种是粳稻杂种优势利用的另一条主要途径，两系法育种中的光（温）敏核不育系具有育性转换的特性，在一定的光温条件下从不育转为可育或从可育转为不育，而且其育性易受不育敏感期间低于 23~24℃ 低温的影响而自交结实，种子生产风险增大<sup>[3-5]</sup>。此外，光（温）敏核不育系繁殖若干代后不育临界温度会“漂变”而显著升高，故在生产上能广泛应用的实用型粳稻核不育系还不是很多<sup>[12]</sup>。

遗传育种材料和稻种类型的创新，遗传育种理论及技术的发展，必将带动水稻生产局面的变革<sup>[13]</sup>。由聚合粳稻 BT 型核质互作不育系和光（温）敏核不育系的不育基因选育出的由 2 套不育机制共同调控的光（温）敏核质互作不育系（SA）是一种新的不育资源，其育性表现得更加完全，在长日高温下，纯合光（温）敏核不育基因（S）控制雄性不育，在低温下，核质互作雄性不育基因（A）控制雄性不育，长日适温下，A 和 S 共同控制雄性不育<sup>[6,12]</sup>。通过三年两地试验，SA 无论在海南陵水冬春短日低温下，还是在安徽合肥正季长日高温或偶遇低温环境下，均表现稳定的雄性不育，可以避免三系 BT 型粳稻核质互作不育系高温和两系光（温）敏核不育系在低温条件下育性不稳定易出现的自交结实现象<sup>[14]</sup>。另外 SA 可恢复性较好，凡能恢复 BT 型核质互作不育系的恢复系均能恢复 SA，SA 的可恢复性强度大多介于亲本 S 和 A 的可恢复性之间<sup>[14]</sup>。

本研究结果表明，SA 组配的杂种一代在产量上普遍表现出正向超高亲优势，与对照亲本不育系 S 和 A 相比，同一恢复系组配的一些组合在单株谷重上表现出显著的正向竞争优势。SA 是将 S 的不育基因导入 A 中选育而成的新型不育系，理论上通过基因的交流、重组，可以实现 S 和 A 不育系的一般配合力的累加和固定，选育到一般配合力高于其亲本的不育系 SA。本试验也初步表明，所选的 2310SA 在陵水和合肥两地，在 F<sub>1</sub> 的单株谷重上，其一般配合力表现均强于亲本 2310S 和 2277A。

此外，在单株有效穗数、穗总粒数、结实率和千粒重等主要产量经济性状上，SA 所配组合，陵水点单株有效穗数变异较大，合肥点穗总粒数变异较大。偏相关和通径分析表明，这 4 个经济性状和产量

都呈极显著正相关,而在不同的生态环境下,对增产的相对重要性不同。陵水点单株谷重主要来源于单株有效穗数(通径系数为 0.93,下同),其余依次为穗总粒数(0.47)、结实率(0.46)、千粒重(0.33);合肥点,主要来源于穗总粒数(1.06),其余依次为单株有效穗数(0.72)、结实率(0.69)、千粒重(0.31)。这种差异的原因主要为气候因素,因为所配组合在海南省陵水县种植,温度低,利于分蘖的发生,同时海南地区为短日照环境,粳稻因感光性强而生育期缩短,因而穗多而小,穗总粒数减少;在安徽省合肥市种植,温度高,相对抑制了分蘖的发生,而且光照长,生育期相对变长,穗少而大,穗总粒数增多。2310SA 于 2005 年通过安徽省技术鉴定,农艺性状整齐一致,不育株率 100%,花粉不育度 99.99%,套袋自交结实率 0,目前已利用 2310SA 选育出一批综合性状较好的组合。

#### 参考文献:

- [1] 杜士云,王守海,李成荃,等. 温度对三系 BT 型粳稻不育系育性的影响 [C] //邓华凤. 杂交粳稻理论与实践. 北京: 中国农业出版社, 2006: 123-126
- [2] 张爱国. 粳型不育系育性变化原因的分析 [J]. 安徽农业科学, 1988(2): 7-10
- [3] 毕春群,李泽炳,万经猛. 盛夏低温对光敏核不育水稻育性稳定性的影响 [J]. 中国水稻科学, 1990, 4(4): 181-184
- [4] Zhang Ziguo, Zeng Hanlai, Yang Jing, et al. Fertility altering conditions and ecological adaptability of photo-sensitive genic male-sterile rice [J]. 中国水稻科学, 1993, 7(2): 123-128
- [5] Deng Qiyun, Yuan Longping. Fertility stability of P (T) GMS lines in rice and its identification techniques [J]. 中国水稻科学, 1998, 12(4): 200-206
- [6] 王守海,杜士云,王德正,等. 核质互作不育和光敏核不育聚合的粳稻不育系选育 [J]. 中国农业科学, 2005, 38(7): 1289-1294
- [7] Yuan Longping, Wu Xiaojin, Liao Fuming, et al. Hybrid Rice Technology [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003: 46-50
- [8] 唐文邦,陈势,雷东阳,等. 籼型三系杂交水稻产量及生育期的配合力分析 [J]. 湖南农业科学, 2007(1): 28-31
- [9] 卢义宣,杨久,刘晓利,等. 粳型光敏核不育系配制组合杂种优势分析 [J]. 杂交水稻, 1999, 14(4): 32-33
- [10] 李建红,洪德林. 新选粳稻 BT 型不育系主要农艺及品质性状的配合力分析 [J]. 南京农业大学学报, 2004, 27(4): 11-16
- [11] Du Shiyun, Luo Yanchang, Li Chengquan, et al. Analysis of yield heterosis of medium-maturing indica hybrid rice combinations by three or two-line method [C] //21 世纪水稻遗传育种展望: 水稻遗传育种国际学术讨论会文集. 北京: 中国农业科技出版社, 1999: 148-154
- [12] Wang Shouhai, Du Shiyun, Wang Dezheng, et al. Development of japonica male sterile lines integrating cytoplasmic male sterility and photosensitive genic male sterility [J]. Agricultural Sciences in China, 2005, 4(12): 883-889
- [13] 朱立宏. 关于我国水稻高产育种的我见 [J]. 南京农业大学学报, 2007, 30(1): 129-135
- [14] 杜士云,王守海,李成荃,等. 粳稻光(温)敏核质互作不育系(SA)的育性和可恢复性研究 [J]. 杂交水稻, 2006, 21(4): 69-73

责任编辑: 沈 波