

# 水稻新资源温敏核不育系长 S 的遗传学研究

郑卓<sup>1</sup>, 张蓓玲<sup>2</sup>, 段世华<sup>1</sup>, 吴杨<sup>1</sup>, 贺丽<sup>1</sup>, 王安萍<sup>1</sup>, 许东风<sup>1</sup>, 郑自伟<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>井冈山大学生命科学学院, 吉安 343009; <sup>2</sup>吉安市农业局, 吉安 343000)

**摘要:**长 S 是来自普通野生稻与籼稻珍珠矮杂交后代的温敏核不育系。以长 S 与中浙 B、R608 等配组的 F<sub>1</sub> 和 F<sub>2</sub> 为材料, 对其育性进行观察。结果表明, 所有 F<sub>1</sub> 均为正常可育, F<sub>2</sub> 群体中可育株数和不育株数经卡平方测验符合 3:1 的理论分离比例, 说明长 S 的育性受 1 对隐性核基因控制。以长 S 与 HN5S、C815S、广占 63S、湘陵 628S 及 HD9802S 的 F<sub>1</sub> 为材料, 并进行育性观察。结果表明, 长 S 与 HN5S 的 F<sub>1</sub> 为正常可育, 而长 S 与 C815S 等其余 4 个不育系的 F<sub>1</sub> 表现为不育, 这说明长 S 与 HN5S 的不育基因位点不等位, 而与 C815S 等 4 个不育系的不育基因位点等位。

**关键词:**水稻; 温敏核不育; 等位性测验; 遗传学研究

## Genetical Study on a New Thermosensitive Genic Male Sterile (TGMS) Line Chang S in Rice

ZHENG Zhuo<sup>1</sup>, ZHANG Bei-ling<sup>2</sup>, DUAN Shi-hua<sup>1</sup>, WU Yang<sup>1</sup>, HE Li<sup>1</sup>, WANG An-ping<sup>1</sup>,  
XU Dong-feng<sup>1</sup>, ZHENG Zi-wei<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>College of Life Science, Jinggangshan University, Ji'an 343009; <sup>2</sup>Ji'an City Agricultural Bureau, Ji'an 343000)

**Abstract:** Chang S is a new rice thermo-sensitive genic male sterile (TGMS) line obtained from the offsprings of the cross between *Oryza rufipogon* L. and *indica* Zhenzhu' ai. The sterility segregation and its genetic pattern of Chang S was analyzed based on the investigation of the fertility of the individuals in F<sub>1</sub> and F<sub>2</sub> populations from the crosses of Chang S and *indica* conventional varieties such as Zhongzhe B, R608, and so on under natural long day-length and high temperature conditions in Ji'an in 2011. The results indicated that the sterility of Chang S was controlled by one pair of recessive nuclear genes. Fertilities of F<sub>1</sub> generations of the crosses between Chang S and other five photo or thermo-sensitive genic male sterile (P & TGMS) lines such as HN5S, C815S, Guangzhan 63S, Xiangling 628S and HD9802S were investigated under the same natural conditions in Ji'an in 2011. The results showed that the sterility gene in Chang S was nonallelic to that in the photo-sensitive genic male sterile (PGMS) line HN5S, and allelic to those in thermo-sensitive genic male sterile (TGMS) lines such as C815S, Guangzhan 63S, Xiangling 628S and HD9802S.

**Key words:** Rice (*Oryza sativa* L.); Thermosensitive genic male sterility (TGMS); Allelism test; Genetical study

自石明松 1981 年提出水稻两用核不育系概念以来, 利用光温敏核不育系配制的两系法杂交水稻在国内外都取得了成功, 并且在生产中发挥了重要的作用<sup>[1-3]</sup>。截至 2005 年, 通过省级鉴定(审定)的光温敏核不育系 106 个; 1994 - 2009 年通过省级和

国家审定的两系杂交水稻组合 427 个; 1993 - 2009 年两系杂交水稻累计推广面积 2097.4 万 hm<sup>2</sup>; 2009 年两系杂交水稻播种面积已达到杂交水稻总播种面积的 20.9%。但目前我国两系杂交水稻组合的亲本主要集中在广占 63S 及其衍生系、安农 S-1 衍生

收稿日期: 2011-12-12 修回日期: 2012-01-09

基金项目: 江西省教育厅科技项目 (GJJ09658, GJJ11528); 江西省科技厅科技支撑计划 (20112BBF60008)

作者简介: 郑卓, 博士, 副教授。研究方向: 水稻遗传育种。E-mail: zhengzhuodai@126.com

系以及株 1S、陆 18S 和 HD9802S 上,其中广占 63S 是目前生产上应用最广泛的粳型温敏核不育系<sup>[4]</sup>。不育系来源单一,遗传基础狭窄,将严重制约我国两系杂交水稻的进一步发展。因此,积极发掘光温敏核不育新资源,丰富两系不育系的来源,扩大遗传基础,这对保证我国两系杂交水稻的可持续发展具有十分重要的意义。

长 S 是在广西普通野生稻 (*Oryza rufipogon*) 与珍珠矮 (*indica* Kato) 杂交后代中发现的新资源温敏核不育材料,具有穗大粒多等特点<sup>[5]</sup>。长 S 的获得丰富了我国两系不育系的来源,扩大了遗传基础,但长 S 的育性受几对基因控制? 长 S 的不育基因与现有光温敏核不育系的不育基因是否等位? 这些问题尚不明确。本研究对这些问题进行了研究,旨在为长 S 的利用提供理论指导。

表 1 6 个光(温)敏核不育系的系谱来源、不育基因对数及性质

Table 1 The source, number and character of male sterile gene in the 6 PTGMS(TGMS) lines

| 不育系名称<br>Name of male sterile line | 不育系来源<br>Source of male sterile line        | 雄性不育基因对数<br>No. of male sterile gene | 雄性不育基因性质<br>Character of male sterile gene |
|------------------------------------|---|--------------------------------------|--|
| 长 S                                | 普通野生稻/珍珠矮 F <sub>2</sub> 群体中不育突变株           | 1                                    | TGMS                                       |
| HN5S                               | 粳 I 系(农垦 58S/激光 4 号,温敏核不育系)/献党              | 2                                    | PTGMS                                      |
| C815S                              | 5SH038[安湘 S(安农 S-1/湘香 2B)/献党//02428]/培矮 64S | 2+1                                  | PTGMS+TGMS                                 |
| 广占 63S                             | N422S[7001S(农垦 58S/中梗 917)/轮回 N422]/广占 63   | 1                                    | TGMS                                       |
| 湘陵 628S                            | 株 1S(抗罗早//科辐红 2 号/湘早粳 3 号//02428)体细胞无性系变异   | 1                                    | TGMS                                       |
| HD9802S                            | 湖大 51(92010/早优 4 号)/红辐早                     | 1                                    | TGMS                                       |

## 1.2 试验方法

试验于 2010-2011 年在井冈山大学生命科学学院试验基地(江西·吉安, 27°07'N)进行。

**1.2.1 不育基因的遗传分析** 2010 年 7-8 月在江西吉安长日高温条件下,长 S 不育期内,以长 S 为母本,分别与中浙 B 等 11 个水稻品种杂交,获得 F<sub>1</sub> 种子;2010 年 11 月至 2011 年 3 月在海南三亚种植部分 F<sub>1</sub> 种子,获得 F<sub>2</sub> 种子;2011 年将所有 F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub> 种子作中稻正季种植,以保证其小孢子分化均处于长日照和高温条件下。5 月 1 日播种, F<sub>1</sub> 每组合种植 40 株, F<sub>2</sub> 依据种子情况每组合至少种植 100 株以上,栽插密度 20.0cm × 20.0cm,栽培管理同大田。

**1.2.2 不育基因等位性测验** 2011 年 2 月下旬在海南三亚低温条件下, HN5S、C815S、广占 63S、湘陵 628S 和 HD9802S 可育期内,以长 S 为母本(此时长 S 的育性极低,只有少量可育花粉,反交失败),分别

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

普通品种中浙 B、福伊 B、粤丰 B、粤泰 B、博 3B、K17B、R608、Lemont、R527、明恢 86、9311,均由国家杂交水稻工程技术研究中心何强提供。

被测系长 S 由井冈山大学水稻繁育研究中心提供,粳型光温敏核不育系 HN5S 由长江大学农学院戴绍钧教授提供, C815S 由湖南农业大学水稻研究所陈立云研究员提供,广占 63S 由国家杂交水稻工程技术研究中心何强提供,粳型温敏核不育系湘陵 628S 由湖南亚华种业杨元柱研究员提供, HD9802S 由湖北省农科院水稻研究所武晓智提供。各不育系的系谱来源、不育基因对数及性质<sup>[6-20]</sup>见表 1。

与这 5 个光(温)敏核不育系杂交,获得杂种 F<sub>1</sub> 种子。2011 年将这 5 个杂种 F<sub>1</sub> 和 6 个光温敏核不育系作中稻正季种植,以保证其小孢子分化均处于高温和长日照条件下。5 月 1 日播种,小区 5 行 × 10 列,栽插密度 20.0cm × 20.0cm,栽培管理同大田。杂种 F<sub>1</sub> 及各不育系在始穗期随机选取 3 个单株,每个单株选取 3 个单穗套袋自交,并镜检单株花粉育性,成熟后考查套袋自交结实率。

**1.2.3 育性调查方法** 杂种 F<sub>1</sub> 及不育系育性观察: F<sub>1</sub> 及不育系始穗时,每组合(不育系)随机选取 3 个单株,每个单株选取 3 个单穗套袋自交,并镜检单株花粉育性,成熟后考查套袋自交结实率。具体方法是:每株取 1 穗带回室内镜检,每穗取上、中、下部颖花各 2 朵,每朵颖花取 2 枚以上花药混合制片,用 1% I-KI 染液均匀染色数分钟,置于显微镜观察,每片观察 3 个视野,要求花粉较分散易计数,且每个

视野花粉数在 150 粒以上,计数可染花粉的百分率。

花粉染色率(%) = (可染花粉数/总花粉数) × 100%

套袋结实率(%) = (小穗实粒数/小穗总粒数) × 100%

F<sub>2</sub> 育性调查:以花粉育性为主要指标。调查时间为 2011 年 7 月 6 日至 8 月 15 日。具体方法是:F<sub>2</sub> 群体开花时逐株目测,以同时开花的不育系亲本为对照,将 F<sub>2</sub> 分离群体中的单株分为可育和不育 2 组。凡包颈,花药白色或淡黄色、瘦小不散粉的记为不育株,反之,凡穗颈伸出正常,花药肥大、黄色、散粉正常的记为可育株。花粉育性镜检方法同上。

**1.2.4 统计方法** 长 S 不育基因的对数采用下列公式推算<sup>[21]</sup>:

$$k = (\lg n - \lg m) / \lg(1/4)$$

其中 m 为 F<sub>2</sub> 每一组合群体总株数, n 为不育株数。育性基因的遗传分析结果采用  $\chi^2$  值进行适合性测验。

## 2 结果与分析

### 2.1 长 S 与普通品种杂种 F<sub>1</sub> 的育性表现

长 S 与普通品种所有杂种 F<sub>1</sub> 均在 2011 年 7 月 6 日至 8 月 10 日始穗,始穗期均在不育系稳定不育期内,考查 F<sub>1</sub> 的花粉育性和套袋结实率,结果列于表 2。由表 2 可知,在 11 个被测试的父本中,所有品种均能使长 S 的育性得以恢复,而没有一个品种能保持其不育特性。表明长 S 如其他温敏核不育系一样,具有广泛的恢复系谱,且不育性状受隐性核基因控制,与前人<sup>[5]</sup>的研究结果一致。

表 3 F<sub>2</sub> (长 S × 普通品种) 育性分离的遗传统计分析

Table 3 Genetic analysis of fertility segregation in F<sub>2</sub> (Chang S cross cultivars)

| 组合<br>Cross  | 可育株数<br>No. of fertile plants | 不育株数<br>No. of sterile plants | 总株数<br>Total No. of plants | K 值<br>K value | $\chi^2$ (3:1)<br>$\chi^2$ value |
|--------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------|----------------|----------------------------------|
| 长 S × 中浙 B   | 127                           | 50                            | 177                        | 0.91           | 0.83                             |
| 长 S × 福伊 B   | 128                           | 58                            | 186                        | 0.84           | 3.47                             |
| 长 S × 粤丰 B   | 95                            | 42                            | 137                        | 0.85           | 2.05                             |
| 长 S × 博 3B   | 238                           | 85                            | 323                        | 0.96           | 0.23                             |
| 长 S × K17B   | 196                           | 75                            | 271                        | 0.93           | 0.90                             |
| 长 S × 粤泰 B   | 84                            | 29                            | 113                        | 0.98           | 0.00                             |
| 长 S × R608   | 76                            | 26                            | 102                        | 0.99           | 0.00                             |
| 长 S × Lemont | 147                           | 55                            | 202                        | 0.94           | 0.42                             |
| 长 S × R527   | 100                           | 32                            | 132                        | 1.02           | 0.01                             |
| 长 S × 明恢 86  | 89                            | 33                            | 122                        | 0.94           | 0.17                             |
| 长 S × 9311   | 112                           | 35                            | 147                        | 1.04           | 0.06                             |

$$\chi^2_{1,0.05} = 3.84$$

表 2 长 S 与普通品种杂交 F<sub>1</sub> 的育性表现

Table 2 Fertility performance of F<sub>1</sub> generations from crosses between Chang S and cultivars

| 组合名称<br>Cross | 花粉染色率(%)<br>Percentage of<br>Stained pollens | 套袋结实率(%)<br>Bagged seed<br>setting rate |
|---------------|--|---|
| 长 S × 中浙 B    | 88.75 ± 1.35                                 | 84.45 ± 2.05                            |
| 长 S × 福伊 B    | 86.55 ± 0.44                                 | 82.64 ± 3.58                            |
| 长 S × 粤丰 B    | 85.47 ± 2.45                                 | 82.35 ± 4.64                            |
| 长 S × 博 3B    | 82.65 ± 2.05                                 | 78.45 ± 3.45                            |
| 长 S × K17B    | 78.55 ± 2.08                                 | 77.65 ± 4.79                            |
| 长 S × 粤泰 B    | 85.77 ± 1.83                                 | 81.53 ± 3.87                            |
| 长 S × R608    | 92.63 ± 0.35                                 | 89.84 ± 1.35                            |
| 长 S × Lemont  | 94.78 ± 0.43                                 | 91.45 ± 1.85                            |
| 长 S × R527    | 93.95 ± 0.25                                 | 92.35 ± 1.67                            |
| 长 S × 明恢 86   | 90.68 ± 1.35                                 | 88.45 ± 2.15                            |
| 长 S × 9311    | 95.58 ± 0.75                                 | 88.57 ± 1.65                            |

### 2.2 长 S 不育性状的遗传分析

长 S 与 11 个普通品种杂交的 F<sub>2</sub> 群体都发生了育性分离(表 3),可育株和不育株区分明显,长日高温条件下,不育株包颈较明显,花药呈乳白色,无花粉或少量败花粉,可育株无包颈,花药呈黄色,散粉正常,少见中间类型。说明长 S 的不育基因在不同遗传背景下均能正常表达,可获得不育性彻底的单株,这有利于长 S 不育基因的转育和利用。在这 11 个组合中 K 值都接近 1,表明长 S 的不育基因受 1 对隐性核基因所控制, $\chi^2$  检验的结果表明可育与不育株数符合 3:1 的理论分离比(置信度大于 95%)。

### 2.3 长 S 育性基因的等位性

长 S 与 HN5S、广占 63S 等亲本及杂种  $F_1$  均在 2011 年 7 月 10 日至 8 月 1 日始穗,始穗期均在不育系稳定不育期内,考查亲本及杂种  $F_1$  的育性表现,结果列于表 4。由表 4 可知,长 S 与 HN5S 杂种  $F_1$  花粉育性和套袋结实率表现为正常可育,表明长 S

与 HN5S 的不育基因是非等位的;而长 S 与广占 63S、C815S、湘陵 628S、HD9802S 杂种  $F_1$  花粉育性和套袋结实率均为 0,表现为不育,表明长 S 与广占 63S、C815S、湘陵 628S、HD9802S 的不育基因是等位的,这个结果也间接表明广占 63S、C815S、湘陵 628S、HD9802S 的不育基因是等位的。

表 4 长 S 与 5 个光(温)敏核不育系杂交  $F_1$  的育性表现(江西·吉安)

Table 4 Fertility performance of  $F_1$  generations from crosses between Chang S and the other 5 PTGMS(TGMS) lines( Jiangxi · Ji'an)

| 组合(不育系)名称<br>Cross(Male sterile line) | 始穗期(月/日)<br>Early heading date(M-D) | 花粉可染率(%)<br>Percentage of stained pollens | 套袋结实率(%)<br>Bagged seed setting rate |
|---------------------------------------|-------------------------------------|---|--------------------------------------|
| 长 S                                   | 7/10                                | 0.00 ± 0.00                               | 0.00 ± 0.00                          |
| HN5S                                  | 8/1                                 | 0.00 ± 0.00                               | 0.00 ± 0.00                          |
| 广占 63S                                | 7/25                                | 0.00 ± 0.00                               | 0.00 ± 0.00                          |
| C815S                                 | 7/29                                | 0.00 ± 0.00                               | 0.00 ± 0.00                          |
| 湘陵 628S                               | 7/13                                | 0.00 ± 0.00                               | 0.00 ± 0.00                          |
| HD9802S                               | 7/10                                | 0.00 ± 0.00                               | 0.00 ± 0.00                          |
| 长 S × HN5S                            | 7/27                                | 88.55 ± 2.35                              | 83.45 ± 3.88                         |
| 长 S × 广占 63S                          | 7/20                                | 0.00 ± 0.00                               | 0.00 ± 0.00                          |
| 长 S × C815S                           | 7/25                                | 0.00 ± 0.00                               | 0.00 ± 0.00                          |
| 长 S × 湘陵 628S                         | 7/10                                | 0.00 ± 0.00                               | 0.00 ± 0.00                          |
| 长 S × HD9802S                         | 7/10                                | 0.00 ± 0.00                               | 0.00 ± 0.00                          |

### 3 讨论

目前我国生产上大面积利用的两系不育系主要是来自农垦 58S 衍生的培矮 64S 和广占 63S 及其衍生系、安农 S-1 衍生系、株 1S 和 HD9802S<sup>[3]</sup>。长 S 来自普通野生稻与栽培稻的杂交后代,与现有两系不育系的来源有所不同<sup>[5]</sup>。由本研究结果可知,长 S 的育性受 1 对隐性核基因控制,其不育基因位点与 C815S、广占 63S、湘陵 628S、HD9802S 等位,而与 HN5S 不等位。C815S 来自 5SH038 和培矮 64S 的杂交后代<sup>[9]</sup>,而 5SH038 来自安农 S-1 的衍生后代<sup>[10-11]</sup>,培矮 64S 来自农垦 58S 的衍生后代<sup>[12]</sup>,据此可推测 C815S 可能具有农垦 58S 和安农 S-1 两套不育基因中的一套或两套。安农 S-1 的不育基因位点与农垦 58S 不等位<sup>[13]</sup>,而培矮 64S 的不育基因位点与农垦 58S 等位<sup>[14]</sup>。依据本研究结果结合上述分析,可以推测 C815S 中与长 S 等位的不育基因应为来自安农 S-1 的不育基因,即长 S 与安农 S-1 的不育基因位点可能等位,这个结果也说明 C815S 至少具有来自安农 S-1 的 1 对纯和不育基因。

周勇等<sup>[16]</sup>研究表明 HD9802S 属温敏核不育,不育性状受 1 对隐性核基因控制,其不育基因位点与温敏核不育系香 125S(衍生自安农 S-1)、株 1S 等位,而与光温敏核不育系培矮 64S 和 1103S(均衍生自农垦 58S)非等位。而本研究结果表明长 S 与 HD9802S 的不育基因位点等位,这进一步佐证了上述的推测是正确的,即长 S 与安农 S-1 的不育基因位点等位。

由本研究结果还可知,长 S 与湘陵 628S 的不育基因位点等位,而湘陵 628S 来自株 1S<sup>[17-18]</sup>,结合 HD9802S 的不育基因位点与株 1S 等位,而长 S 的不育基因位点又与 HD9802S 等位的研究结果,充分说明长 S 与株 1S 的不育基因位点是等位的。广占 63S 来自农垦 58S 的衍生后代<sup>[19]</sup>,但王宝和等<sup>[20]</sup>的研究结果表明广占 63S 的育性转换敏感性与农垦 58S(光敏型)<sup>[22-23]</sup>不同,而与安农 S-1 相似,主要表现为温敏型;广占 63S 的育性遗传与农垦 58S 也不相同,农垦 58S 的育性受 2 对隐性核基因控制<sup>[24-25]</sup>,而广占 63S 的育性与安农 S-1 相似,只受 1 对隐性核基因控制;广占 63S 的不育基因位点所在位置与农垦 58S 也存在差异,农垦 58S 的原始突变

位点 *pms3* 被定位于第 12 染色体上<sup>[26-27]</sup>, 而广占 63S 的不育基因位点被定位于第 2 染色体的短臂上, 与安农 S-1 的不育基因位点位于同一定位区间内<sup>[28]</sup>。综合上述及本研究结果, 可以推断广占 63S 的不育基因位点与安农 S-1 等位, 而与农垦 58S 不等位。

总之, 长 S、广占 63S、安农 S-1、株 1S、HD9802S 虽来源不同, 但它们的不育基因位点均等位, 均由同 1 对隐性核基因控制, 均属温敏核不育。

## 参考文献

[1] 石明松. 晚粳自然两用系选育及应用初报[J]. 湖北农业科学, 1981(7):1-3

[2] 廖伏明, 罗闰良, 万宜珍. 杂交水稻国际推广的现状与策略[J]. 植物遗传资源学报, 2011, 12(2):178-183

[3] 斯华敏, 刘文真, 付亚萍, 等. 我国两系杂交水稻发展的现状和建议[J]. 中国水稻科学, 2011, 25(5):544-552

[4] 曹新国, 胡锋, 王美琴, 等. 优质香型超高产两系中籼组合两优 6326 特征特性及应用[J]. 农艺科学, 2008, 24(9):222-225

[5] 郑卓, 段世华, 贺根和, 等. 水稻新资源光(温)敏核不育系长 S 的初步研究[J]. 贵州农业科学, 2010, 38(12):1-3

[6] 马来运, 戴绍钧. 湖农 5S 的选育及育性转换特性的研究[J]. 杂交水稻, 1996(1):3-5

[7] 景润春. 籼型光敏核不育水稻 HN5S 育性遗传研究[D]. 武汉:华中农业大学, 1997

[8] 张再君, 梁承邨, 戴绍钧. 水稻光敏核不育系 HN5S 不育性的遗传分析[J]. 作物学报, 2002, 28(1):131-135

[9] 唐文邦, 陈立云, 肖应辉, 等. 水稻两用核不育系 C815S 的选育与利用[J]. 湖南农业大学学报:自然科学版, 2007, 33(8):26-31

[10] 郭武强, 谭军, 郭国强, 等. 籼型水稻温敏核不育系安湘 S 研究与应用概况[J]. 农业生物技术科学, 2008, 24(10):106-109

[11] 郭名奇. 水稻两用不育系安湘 S 的选育及其应用初报[J]. 湖南农业科学, 1995(3):11-12

[12] 罗孝和, 邱趾忠, 李任华. 导致不育临界温度低的两用不育系培矮 64S[J]. 杂交水稻, 1992, 7(1):27-29

[13] 邓晓建, 李仁端, 周开达, 等. 农垦 58S 及其籼型衍生系光温敏不育基因的等位性研究[J]. 种子, 1998, 98(5):17-18

[14] 陈顺辉, 卢浩然, 杨聚宝. 籼型温敏核雄性不育基因的等位性研究[J]. 中国农业科学, 1996, 29(1):27-33

[15] 邓华凤, 舒福北, 袁定阳. 安农 S-1 的研究及其利用概况[J]. 杂交水稻, 1999, 14(3):1-3

[16] 周勇, 居超明, 徐国成, 等. 优质早籼型水稻温敏核不育系 HD9802S 的选育与应用[J]. 杂交水稻, 2008, 23(2):7-10

[17] 杨远柱, 符辰建, 胡小淳, 等. 株 1S 温敏核不育基因的发现及超级杂交早稻育种研究[J]. 中国稻米, 2007(6):17-22

[18] 符辰建, 秦鹏, 胡小淳, 等. 水稻温敏核不育系湘陵 628S 的选育[J]. 中国农业科技导报, 2010, 12(6):90-97

[19] 杨振玉, 张国良, 张从合, 等. 中籼型优质光温敏核不育系广占 63S 的选育[J]. 杂交水稻, 2002, 17(4):4-6

[20] 王宝和, 徐建军, 吴银慧, 等. 水稻光温敏雄性核不育系广占 63S 不育基因 *PTGMS2-1* 的遗传分析与分子定位[J]. 中国水稻科学, 2010, 24(4):429-432

[21] 秦泰辰. 作物雄性不育化育种[M]. 北京:农业出版社, 1993:176

[22] 石明松. 对光照长度敏感的隐性雄性不育水稻的发现及技术研究[J]. 中国农业科学, 1985, 18(2):44-48

[23] 石明松, 邓景扬. 湖北光周期敏感核不育的发现、鉴定及其利用途径[J]. 遗传学报, 1986, 13(2):107-112

[24] Yang Z P, Inheritance of photoperiod sensitive genic male sterility and breeding of photoperiod sensitive genic male sterile lines in rice (*Oryza sativa* L.) through anther culture[J]. Euphytica, 1997, 94:93-99

[25] 谢国生, 张端品, 谢岳峰. 光敏核不育水稻恢复基因对数和等位性研究[J]. 武汉植物学研究, 2000, 18(6):449-453

[26] Mei M H, Chen L, Zhang Z H. *pms3* is the locus causing the original photoperiod sensitive male sterility mutation of "Nongken 58S" [J]. Sci China: Ser C, 1999, 42(3):316-322

[27] Lu Q, Li X H, Guo D, et al. Localization of *pms3*, a gene for photoperiod-sensitive genic male sterility, to a 28.4-kb DNA fragment [J]. Mol Genet Gen, 2005, 273:507-511

[28] Wang B, Xu W W, Wang J Z, et al. Tagging and mapping the thermosensitive genic male sterile gene in rice (*Oryza sativa*) with molecular markers[J]. Theor Appl Genet, 1995, 91:1111-1114

(上接第 978 页)

[9] 李莉蓉, 张名位, 刘邻涓, 等. 三种黑色粮油作物种皮提取物体外抗氧化活性研究[J]. 中国农业科学, 2006, 27(7):99-100

[10] Tsuda T, Horio F, Osawa T. Cyanidin 3-O- $\beta$ -glucoside suppresses nitric oxide production during a zymosan treatment in rats [J]. J Nutr Sci Vitaminol, 2002, 48(4):305-310

[11] Zhao C, Giusti M M, Malik M, et al. Effects of commercial anthocyanin-rich extracts on colonic cancer and nontumorigenic colonic cell growth[J]. J Agr Food Chem, 2004, 52(20):6122-6128

[12] Chen P N, Chu S C, Chiou H L, et al. Cyanidin 3-glucoside and peonidin 3-glucoside inhibit tumor cell growth and induce apoptosis *in vitro* and suppress tumor growth *in vivo* [J]. Nutr Cancer, 2005, 53:232-243

[13] 郭红辉, 胡艳, 刘驰, 等. 黑米花色苷对果糖喂养大鼠胰岛素敏感性影响[J]. 中国公共卫生, 2008, 24(10):1200-1202

[14] 郭红辉, 王庆, 刘驰, 等. 黑米花色苷提取物对果糖喂养大鼠胰

岛素抵抗及血脂的影响[J]. 食品科学, 2007, 28(11):518-221

[15] 夏效东, 凌文华, 夏敏, 等. 黑米花色苷提取物对 ApoE 基因缺陷小鼠动脉粥样硬化晚期斑块的影响[J]. 食品科学, 2006, 27(3):213-215

[16] 张名位. 特种稻米及其加工技术[M]. 北京:中国轻工业出版社, 2000:125-129

[17] 何成芳, 吴跃进, 张瑛, 等. 水稻品种脂肪酶活性差异对米糠稳定化的影响[J]. 现代农业科技, 2006(17):106-108

[18] 孙明茂, 韩龙植, 李圭星, 等. 水稻花色苷含量的遗传研究进展[J]. 植物遗传资源学报, 2006, 7(2):239-245

[19] 石帮志, 阮仁超, 孙灿慧, 等. 水稻红米性状的遗传及利用研究[J]. 贵州农业科学, 2000, 28(6):3-5

[20] 蔡光泽. 环境因素对有色米糙米着色程度的影响[J]. 中国农学通报, 2003, 19(4):71-74

[21] 陈晓琼, 张红宇, 徐培洲, 等. 有色稻中花色苷、原花色苷以及黄酮含量的分析[J]. 分子植物育种, 2008, 6(2):245-250