

DOI:CNKI:61-1390/S.20120109.1234.023

网络出版时间:2012-01-09 12:34

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20120109.1234.023.html>

无花粉型水稻温敏核不育系籼 S 不育特性 遗传的初步研究

邱振国^{1a,2}, 彭海峰^{1b}, 陈雄辉^{1a}, 万邦惠^{1a}

(1 华南农业大学 a 农学院, b 生命科学学院, 广东 广州 510642;

2 仲恺农业技术学院 计算机科学与工程学院, 广东 广州 510225)

[摘要] 【目的】籼 S 是由常规稻黄占自然突变株选育而成的新型无花粉温敏核不育水稻, 对籼 S 的不育特性遗传进行初步分析, 为该品种的进一步研究和生产利用奠定基础。【方法】应用经典遗传学分析方法, 将籼 S 与多个常规稻进行杂交, 调查杂交后代 F_1 、正反交 F_1 、 F_2 、 BCF_1 育性, 并分析 F_2 不育株禾茏的不育特性。【结果】籼 S 在广州(23°08'N)自然条件下, 5 月上旬至 10 月下旬为稳定不育期, 不育期较培矮 64S 长近 2 个月; 籼 S 的温敏核不育性可以被不同类型常规稻品种恢复, 且恢复度较高, 说明控制其不育性的基因为隐性遗传; 各正、反交花粉可育率及套袋自交结实率差异均不显著, 表明籼 S 的不育性遗传与细胞质无关; 绝大多数 F_2 代群体不育株数与可育株数比值符合 1:3, 育性不仅呈非连续分布, 且可育株、不育株基本表现为极端分离, 13 个 BCF_1 代群体不育株数与可育株数比值均符合 1:1, 表明籼 S 的不育性遗传受 1 对主效基因控制; F_2 不育株禾茏育性转换与籼 S 相似, 最终均表现为无花粉型败育, 且均具有温敏性。【结论】籼 S 不育性属于隐性遗传, 由核基因控制, 其不育性基本符合 1 对主效基因的遗传模式, 且其无花粉型败育方式及温敏性能在杂交后代中遗传。

[关键词] 温敏核不育系; 不育特性; 无花粉型; 水稻; 籼 S

[中图分类号] S511.035.1

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2012)02-0042-09

Inheritance of male sterility in a thermo-sensitive genic male sterile line of non-pollen type XianS in rice

QIU Zhen-guo^{1a,2}, PENG Hai-feng^{1b}, CHEN Xiong-hui^{1a}, WAN Bang-hui^{1a}

(1 a College of Agriculture, b College of Life Science, South China Agricultural University,

Guangzhou, Guangdong 510642, China; 2 School of Computer Science and Engineering, Zhongkai University of

Agriculture and Technology, Guangzhou, Guangdong 510225, China)

Abstract: 【Objective】XianS, a mutant from traditional variety Xianhuangzhan, is a thermo-sensitive genic male sterile line of non-pollen type in rice in Guangzhou. Studies were conducted on the genetic character of sterility of XianS in order to further research and use in production. 【Method】In this experiment, the classical genetic method was adopted to study the law of the genetic character of sterility of XianS by several fertility investigations on F_1 , F_1 (cross and reciprocal cross), F_2 and BCF_1 and male sterility of F_2 sterile plants, generations of the rice by the cross of XianS with several conventional rice varieties. 【Result】In Guangzhou(23°08'N), XianS had sterility from early May to late October, and its stage of sterility was longer than Pei'ai 64S for almost 2 months. The sterility of XianS, a thermo-sensitive genic male line could

* [收稿日期] 2011-08-25

[基金项目] 国家自然科学基金项目(31171612); 广东省自然科学基金项目(010280)

[作者简介] 邱振国(1979—), 男, 湖北襄阳人, 硕士, 助理研究员, 主要从事作物杂种优势理论及应用研究。

E-mail: 464236783@qq.com

be rather highly recovered by several different rice varieties, indicating that the male sterility was a recessive character. The fertility rates of F_1 (cross and reciprocal cross) were not significantly different, indicating that the male sterility was controlled by nuclear gene. The rate of sterility to fertility in every combination among 35 F_2 combinations from XianS with 39 traditional varieties followed 1 : 3. The distribution of fertile plants and sterile plants was discontinuous and extremely segregate. The rate of sterility to fertility in every combination among 13 combinations (back cross) from XianS with 13 traditional varieties followed 1 : 1, indicating that the male sterility was controlled by one pair of gene. According to the investigations on sterile plants of F_2 combinations from XianS with conventional rice varieties more than 10, their fertility conversions were similar to XianS'. The pattern of pollen abortion was non-pollen type at last. Every sterile plant had thermo-sensitivity. 【Conclusion】 The result showed that in Guangzhou the inheritance of sterility of XianS was recessive and controlled by nuclear gene and that the feature of sterility of XianS was basically in such a model: Controlled by one pair of major gene. The pattern of pollen abortion and thermo-sensitivity could be inherited.

Key words: thermo-sensitive genic male sterile rice; male sterility; non-pollen type; rice; XianS

自石明松发现水稻自然突变株农垦 58S 以来,我国在水稻光温敏核不育系的选育方面取得了较大的成果。目前已育成了一批可在生产中利用的水稻光温敏核不育系,如培矮 64S、7001S、N5088S、蜀光 612S、香 125S、GD-1S、GD-2S、HS 等^[1]。按来源,现有的光温敏核不育系主要可以分为 4 种类型,即农垦 58S 及其衍生系统、安农 S-1 及其衍生系统、衡农 S-1 及其衍生系统、5460S 及其衍生系统^[2]。而按获得水稻光温敏核不育材料的途径(自然突变、远缘杂交和人工诱变等)来看,农垦 58S、安农 S-1 和 5460S 都属于自然突变的材料。可见,自然突变材料在水稻生产上具有较高的应用价值,目前也已配制出一大批水稻强优势杂交组合,在国内年推广面积在 200 万 hm^2 以上^[3]。但水稻生产上利用的多数不育基因主要来自农垦 58S 和安农 S-1,育成不育系的基因源还相对较窄,这样不但存在遗传脆弱性带来的潜在危险,而且在一定程度上制约了水稻产量水平的进一步提高^[3]。因此,发现并利用新型水稻光温敏核不育系对水稻两系杂交种的选育和利用具有重要的意义。

1999 年华南农业大学农学院在广州种植的常规水稻品种汕黄占中发现了突变株,并选育得到新型水稻温敏核不育系汕 S。研究表明,汕 S 在广州($23^{\circ}08'N$)自然条件下,雄性育性一年中具有明显的“可育-不育-可育”的育性转换;在人为控光控温条件下,低温诱导其由不育转为可育需要较长的持续时间,日均温 21°C 需 7 d 以上,其花粉败育特点不同于以往研究的光温敏核不育水稻,具有花粉败育时期早而败育彻底的特点,是一种具有较高应用价

值的新型光温敏核不育水稻^[4]。由于光温敏核不育是一种十分复杂的光温生态现象,不育基因表达有严格的光温条件,而自然条件下的气候又是复杂多变的,这使得光温敏核不育水稻在遗传学上的表现非常复杂,而有关汕 S 的遗传规律尚不清楚。为此,本研究采用经典遗传学分析方法,将汕 S 与常规水稻杂交,调查杂交后代的育性及 F_2 不育株禾颖的不育特性,以期对汕 S 不育基因的转育利用提供依据,同时也为进一步丰富光温敏核不育水稻的遗传学研究和全面认识光温敏核不育机理奠定基础。

1 材料与方法

1.1 供试材料

以汕 S 为供试不育材料;用于杂交的 44 份父本材料分别为 B40、B4、RF11、RF1、B17、B6、凤联 4 号、茉莉新占、常优、细米、丰穗占 5 号、三三占、粤香占、青珍、新小占、双朝 25、塘青 10 号、野绿占、H3、华航 1 号、粳汕 89、国丝早占、金华占、金香丝苗、矮新占 1 号、早特青、密粒早占 1 号、EP431、丰矮占、高科 13、汕黄占、培辐、台南粳、盐粳 2 号、早沙粳、G0582、JELOMT、JAWZ、丰穗占 8 号、密粒早占 2 号、特青、8258、BR8、新台 1 号。所有材料均来自华南农业大学农学院。

1.2 汕 S 及其杂交后代的育性表现

1.2.1 汕 S 不育特性观察 将汕 S 分期播种,共 12 批:第 1、2 批分别于 2005-11-15、11-30 播种,采用越冬繁殖,越冬方法参考邱振国等^[5]的方法进行;2006-02-01 至 08-26 播种第 3~12 批,每批间隔 23

d. 于 2006 年 4 月初开始育性调查,每 2~3 d 取样 1 次,持续到 11 月下旬水稻不能抽穗。以温敏核不育系,培矮 64S 为对照,同期进行观察。

1.2.2 不育的恢复性调查 以 24 份常规稻品种为父本,分别与粳 S 进行杂交获得 F_1 。于 2006-02-15、02-25 和 03-05 分 3 期播种,以确保在不同光温条件下均有穗抽出,选择发育进度一致的组合考察不育性的恢复性。

1.2.3 正反交对育性的影响 选用 4 个常规品种三三占、粤香占、特青和 G0582,分别在粳 S 的可育(通过人工低温处理获得)和不育期间进行杂交,配置正反交组合,并于 2006-02-25 种植于大田,在抽穗期间同步调查正反交组合育性变化,分析正反交对育性的影响。

1.2.4 F_2 育性分离调查 分别于 2006-02-25 在大田种植 39 个 F_2 群体,于 6—7 月份(粳 S 不育期内)调查育性分离情况。2007-02-25 种植 11 个 F_2 群体(其中 3 个组合为 2006 年育性分离出现偏离的组合,另外 8 个组合为随机选取的育性分离符合 1:3 的组合),研究年际间环境条件的差异对 F_2 育性分离的影响。

1.2.5 BCF_2 育性分离调查 选取培辐、H3、台南梗、早沙梗、国丝早占、EP431、JELOMT、金华占、JAWZ、矮新占 1 号、梗粳 89、新小占、华航 1 号等 13 个常规稻品种为父本的杂交 F_1 与粳 S 进行 1 次回交获得 BCF_1 ,于 2007-02-25 种植,于 6—7 月份(粳 S 不育期内)调查育性分离情况。

1.2.6 F_2 不育株禾薹的不育特性 从 2005-02-30 种植的粳 S 与粳黄占、H3、新小占、野绿占、丰矮占、矮新占 1 号、密粒早占 2 号、国丝早占、BR8、丰穗占 8 号、金华占、JAWZ、JELOMT 等 13 个常规水稻杂交 F_2 组合中,每组合任选 10 株不育株进行割薹,2005-07—11 每月分薹插成株行,按常规方法进行的管理,调查各株行育性转换情况,选取转育最早和最晚的 2 个株行留禾薹越冬。2006 年早、晚季继续按 2005 年晚季的方法观察 F_2 禾薹育性转换情况。

所有试验均在华南农业大学教学试验场农学分场(23°08'N)进行。

1.3 调查方法

1.3.1 育性调查 亲本、 F_1 、 F_2 及 F_2 不育株禾薹的育性调查,每次取样 3 株(单株调查除外),将每株主穗套袋自交,取已抽出 1/3~2/3 穗子上部的 3~6 朵未开颖花,用 FAA 固定液保存,镜检时每株颖

花混合压片,用 1%I-KI 染色,观察 3 个视野,记录各视野花粉可染率,求平均值即为花粉可育率。将花粉圆形、大小正常、染色深而均匀的计为正常可育,其它各类均计为败育,包括典败、圆败、染败和无花粉。套袋后 20~25 d 分实、空粒计算自交结实率,凡有淀粉积累的稻粒均计为实粒。以套袋自交结实率作为育性指标,以花粉可育率作为参考。

1.3.2 单株育性类型的划分 将单株可育率(%)按 0~5,5~10,10~20,20~30,30~40,40~50,50~60,60~70,70~80, ≥ 80 等区分为 10 个组(各组仅含最小值,不含最大值),依据波谷法^[6]区分单株育性类型。

1.3.3 F_2 不育株禾薹育性与温度的相关分析 将 F_2 不育株禾薹在 10—11 月份首次出现自交结实率 >0 的时间作为晚季育性转换日期。将 2006 年晚季各单株育性转换内的 10 次育性调查数据,与抽穗前第 7~13 天的日均温平均值进行相关分析。

1.4 数据处理

通过 χ^2 适应性测验,分析群体单株育性分离情况。数据处理和方差分析采用 Microsoft Excel 和 SPSS 15.0 软件完成,图表中数据均为各处理的“平均值 $\pm$ 标准差”。差异显著性检验和相关分析分别采用单向方差分析和 PERSON 相关分析。

2 结果与分析

2.1 粳 S 的不育特性

粳 S 在广州分期播种试验的育性调查结果如图 1 所示。由图 1 可见,粳 S 在广州自然条件下的育性具有明显的“可育-不育-可育”的转换特性,在 5 月中旬到 10 月下旬为不育期,不育期较培矮 64S 长近 2 个月,其中 5 月底到 10 月中旬均呈无花粉型败育,在 4 月和 11 月出现明显的可育期,可育期内育性接近 70%,表现出不育期长、败育彻底、可育期育性高的特点。

2.2 粳 S 不育的恢复性表现

粳 S 与 24 份常规水稻品种杂交,其 F_1 2006 年早季的育性结果见表 1。由表 1 可见,粳 S 与不同品种常规稻杂交 F_1 代的花粉可育率绝大多数都在 80%以上,套袋自交结实率为 77%~94%,且 F_1 与父本的花粉可育率、套袋自交结实率差异均未达到显著水平,这表明粳 S 的温敏核不育性可以被不同类型品种恢复,而且恢复度较高。由此初步认为,控制粳 S 不育性的基因为隐性遗传。

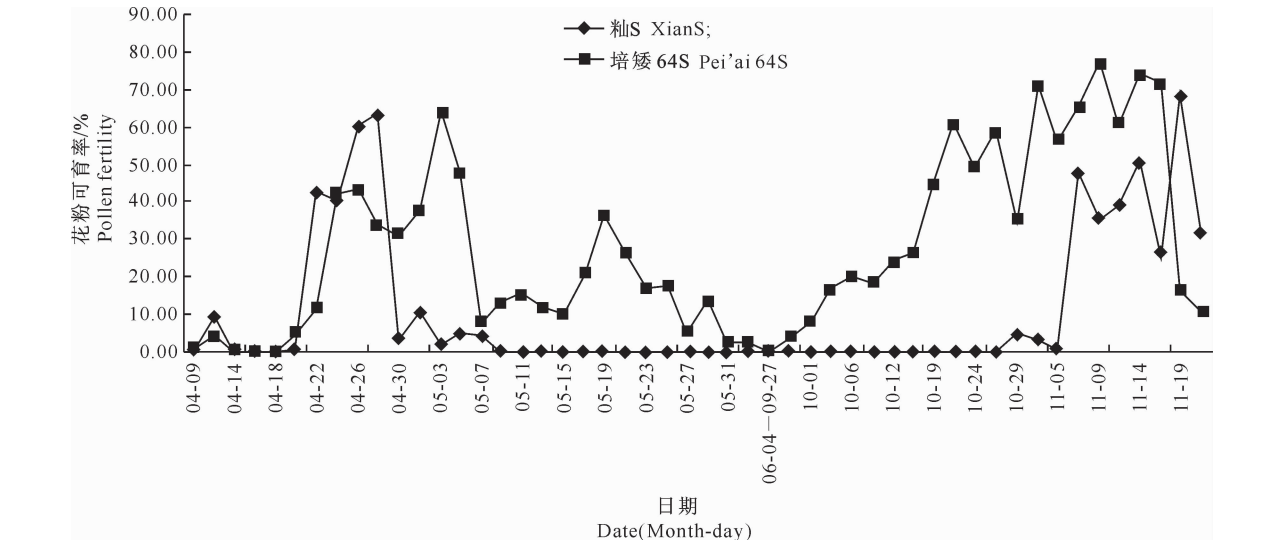


图 1 2006 年汕 S 与培矮 64S 在广州的周年育性结果

Fig. 1 Fertility of XianS and Pei'ai 64S in Guangzhou in 2006

表 1 汕 S 与常规稻杂交 F₁ 及对应父本的育性

Table 1 Rate of fertility in F ₁ generation from XianS crossed with several conventional rice varieties and restorer line					%
父本 Pollen parents	F ₁ 可育率 Rate of fertility in F ₁ generation		对应父本可育率 Rate of fertility in restorer line		
	花粉可育率 Pollen fertility	套袋自交结实率 Bagged seed setting rat	花粉可育率 Pollen fertility	套袋自交结实率 Bagged seed setting rat	
金华占 Jinhuaazhan	85.88±2.46	88.75±4.12	87.57±2.15	94.25±5.14	
茉莉新占 Molixinzhan	84.22±4.36	82.5±3.61	88.46±3.51	86.33±4.02	
JAWZ	85.88±3.64	85.92±2.51	85.74±4.15	88.09±3.92	
丰穗占 8 号 Fengsuizhan 8	86.88±3.15	85.05±1.52	87.40±4.89	88.72±3.50	
B6	85.88±8.13	92.75±6.52	80.40±6.07	90.42±2.94	
丰穗占 5 号 Fengsuizhan 5	86.88±3.94	88.44±4.41	82.74±2.19	88.78±2.87	
早沙梗 Zaoshajing	83.88±2.89	85.25±3.46	80.40±3.45	84.33±4.03	
EP431	82.05±7.52	84.83±5.11	77.40±6.35	87.11±2.89	
H3	87.22±9.21	83.75±3.51	82.40±2.98	84.50±4.13	
新台 1 号 Xintai 1	89.88±3.17	82.44±6.11	85.42±3.05	81.83±2.72	
双朝 25 Shuangchao 25	81.88±1.06	81.89±5.78	78.74±4.08	81.11±3.09	
汕黄占 Xianhuangzhan	89.22±3.64	88.06±4.32	87.57±3.65	89.61±4.11	
凤联 4 号 Fenglian 4	90.22±3.52	93.83±6.14	85.44±3.42	89.72±2.93	
矮新占 1 号 Aixinzhan 1	88.88±2.76	89.33±3.51	88.40±5.07	88.17±4.51	
密粒早占 2 号 Milizaozhan 2	84.88±4.01	88.61±3.24	86.40±4.68	87.61±3.64	
细米 Ximi	86.88±6.52	93.67±3.78	82.07±8.54	91.00±3.52	
塘青 10 号 Tangqing 10	74.55±6.89	77.78±9.10	75.74±8.11	80.02±2.79	
B4	86.22±4.25	89.84±3.60	88.46±3.69	91.67±2.74	
特青 Teqing	81.88±3.65	85.61±6.78	78.74±6.78	80.89±3.69	
青珍 Qinzhen	81.05±2.56	88.33±4.62	85.74±3.65	85.00±6.45	
梗粳 89 Jingxian 89	93.88±6.05	86.05±5.11	89.45±4.06	85.78±3.56	
华航 1 号 Huahang 1	82.88±2.64	85.16±6.25	79.57±5.19	83.89±2.78	
G0582	84.22±2.56	87.00±4.52	83.07±3.64	87.33±3.09	
台南梗 Tainanjing	92.88±3.15	89.12±2.85	89.07±4.51	94.78±6.44	

2.3 汕 S 正反交组合 F₁ 的育性表现

通过对 2006 年早季种植的 4 对汕 S 与常规稻正、反交组合及其对应常规稻的同期可育率进行分

析发现(表 2),各正、反交花粉可育率、套袋自交结实率的差异均未达到显著水平,表明汕 S 的不育性遗传与细胞质无关。

表 2 籼 S 与常规稻正反交组合的育性表现

Table 2 Fertility of F₁ generation from XianS reciprocally crossed with several conventional rice varieties and restorer line

组合 Cross	花粉可育率 Pollen fertility	套袋自交结实率 Bagged seed setting rat
籼 S/三三占 XianS/Sansanzhan	93.89±6.58	83.56±3.11
三三占/籼 S Sansanzhan/XianS	89.94±3.51	80.06±5.36
籼 S/粤香占 XianS/Yuexiangzhan	82.96±5.69	76.45±3.87
粤香占/籼 S Yuexiangzhan/XianS	81.37±2.19	78.92±6.42
籼 S/特青 XianS/Teqing	93.02±2.63	91.43±8.31
特青/籼 S Teqing/XianS	90.64±4.61	87.76±5.08
XianS/G0582	83.50±6.31	81.67±2.69
G0582/XianS	82.56±3.78	80.95±4.82

2.4 籼 S 不同组合 F₂ 及 BCF₂ 的育性分离

由表 3 可以看出,籼 S 与 39 个常规稻品种的 F₂ 组合中有 35 个组合 F₂ 群体不育株数与可育株数比值符合 1∶3, χ^2 测验结果仅籼 S/金香丝苗、籼 S/JELOMT、籼 S/JAWZ 3 个组合达到了显著水平,其它组合均差异不显著,而籼 S/JELOMT 出现了 5 株尚未分蘖的不正常单株,因无法鉴别其育性故不列入统计。2007 年早季结果显示,在加大了籼 S/金香丝苗、籼 S/JELOMT、籼 S/JAWZ 的群体数量后,籼 S/金香丝苗、籼 S/JAWZ 2 个组合不育株数与可育株数比值已符合 1∶3,而籼 S/JELOMT 组合不育株仍明显偏少,但在调查时发现群体中出现了 22 株不能正常分蘖单株和死亡单株,不育株偏

少的具体原因有待进一步分析,故仍不列入统计;籼 S/籼黄占、籼 S/G0582、籼 S/培辐、籼 S/H3、籼 S/华航 1 号、籼 S/金华占、籼 S/台南粳、籼 S/RF11 等 8 个组合不育株数与可育株数比值仍符合 1∶3,这表明年际间的环境差异对 F₂ 育性分离影响不明显。

由表 3 可以看出,籼 S 与 13 个常规稻品种回交 BCF₁ 代群体可育株数与不育株数比值均符合 1∶1, χ^2 测验结果均为差异不显著,这与籼 S/JELOMT F₂ 分离不符合 1∶3 不同(仍有 2 株尚未分蘖的不正常单株),对光温敏不育遗传的研究在不同世代间存在一定的差异,与邓启云等^[7]的研究结论相似。综上所述认为,籼 S 不育性受 1 对主效基因控制。

表 3 籼 S 与常规稻杂交 F₂ 及 BCF₂ 的育性分离

Table 3 Segregation of pollen fertility in F₂ and BCF₂ generation from XianS crossed with several conventional rice varieties and restorer line in 2006 and 2007

父本 Pollen parents	世代 Generation	年份 Year	不育株数 Sterile plants	可育株数 Fertile plants	理论比值 Segregation ratio	χ^2
细米 Ximi	F ₂	2006	32	98	1∶3	0.000
籼黄占 Xianhuangzhan	F ₂	2006	70	217	1∶3	0.000
	F ₂	2007	73	217	1∶3	0.000
G0582	F ₂	2006	48	145	1∶3	0.002
	F ₂	2007	41	106	1∶3	0.510
培辐 Peifu	F ₂	2006	21	64	1∶3	0.004
	BCF ₂	2007	8	7	1∶1	0.000
矮新占 1 号 Aixinzhan 1	F ₂	2006	33	94	1∶3	0.024
	F ₂	2006	55	162	1∶3	0.025
H3	F ₂	2007	53	165	1∶3	0.025
	BCF ₂	2007	30	33	1∶1	0.064
	F ₂	2006	54	155	1∶3	0.040
	F ₂	2007	22	104	1∶3	3.429
华航 1 号 Huahang 1	BCF ₂	2007	24	14	1∶1	2.132
B40	F ₂	2006	44	125	1∶3	0.049
	F ₂	2006	29	94	1∶3	0.068
金华占 Jinhuaazhan	F ₂	2007	23	75	1∶3	0.054
	BCF ₂	2007	43	35	1∶1	0.628
B4	F ₂	2006	45	145	1∶3	0.112
野绿占 Yeluzhan	F ₂	2006	35	94	1∶3	0.209

续表 3 Continued table 3

父本 Pollen parents	世代 Generation	年份 Year	不育株数 Sterile plants	可育株数 Fertile plants	理论比值 Segregation ratio	χ^2
细米 Ximi	F ₂	2006	32	98	1∶3	0.000
双朝 25 Shuangchao 25	F ₂	2006	35	93	1∶3	0.260
凤联 4 号 Fenglian 4	F ₂	2006	32	109	1∶3	0.286
早特青 Zaoteqing	F ₂	2006	36	93	1∶3	0.437
国丝早占 Guosizaozhan	F ₂	2006	28	100	1∶3	0.510
	BCF ₂	2007	47	54	1∶1	0.356
茉莉新占 Molixinzhan	F ₂	2006	27	97	1∶3	0.527
塘青 10 号 Tangqing 10	F ₂	2006	26	97	1∶3	0.783
盐梗 2 号 Yanjing 2	F ₂	2006	42	152	1∶3	0.990
8258	F ₂	2006	38	92	1∶3	1.026
	F ₂	2006	26	103	1∶3	1.367
梗籼 89 Jingxian 89	BCF ₂	2007	23	33	1∶1	1.446
	F ₂	2006	25	100	1∶3	1.411
青珍 Qinzhen	F ₂	2006	34	129	1∶3	1.473
	F ₂	2006	34	131	1∶3	1.473
台南梗 Tainanjing	BCF ₂	2007	24	27	1∶1	0.078
	F ₂	2007	42	47	1∶1	0.180
早沙梗 Zaoshajing	BCF ₂	2007	42	47	1∶1	0.180
B6	F ₂	2006	26	104	1∶3	1.477
新小占 Xinxiaozhan	F ₂	2006	38	87	1∶3	1.667
	BCF ₂	2007	24	14	1∶1	2.132
B17	F ₂	2006	22	92	1∶3	1.684
RF1	F ₂	2006	25	103	1∶3	1.760
	F ₂	2007	24	75	1∶3	0.003
粤香占 Yuexiangzhan	F ₂	2006	25	103	1∶3	1.760
矮新占 1 号 Aixinzhan 1	BCF ₂	2007	21	29	1∶1	0.980
新台 1 号 Xintai 1	F ₂	2006	25	104	1∶3	1.884
	F ₂	2006	24	101	1∶3	1.944
EP431	BCF ₂	2007	24	19	1∶1	0.372
	F ₂	2006	25	105	1∶3	2.010
三三占 Sansanzhan	F ₂	2006	25	105	1∶3	2.010
常优 Changyou	F ₂	2006	24	106	1∶3	2.626
高科 13 Gaoke 13	F ₂	2006	24	106	1∶3	2.626
	F ₂	2006	23	107	1∶3	3.323
RF11	F ₂	2007	24	75	1∶3	0.003
	F ₂	2006	46	88	1∶3	5.731*
金香丝苗 Jinxiangsimiao	F ₂	2007	129	318	1∶3	1.160
	F ₂	2006	18	102	1∶3	5.878*
JAWZ	F ₂	2007	86	315	1∶3	2.711
	BCF ₂	2007	16	22	1∶1	0.658
JELOMT	F ₂	2006	28	12	91∶3	3.926*
	BCF ₂	2007	16	21	1∶1	0.432

注: * 表示在 α=0.05 时达显著水平。

Note: * denote significant difference at 5%.

随机选取 7 个籼 S 与常规稻杂交组合,以花粉育性研究群体的育性频率分布情况,并与以套袋自交结实率为指标的结果进行比较,结果见表 4 和表 5。由表 4 和表 5 可见,大多数组合可育单株主要集中在较高的育性区段内,群体育性不仅呈非连续分布,且可育株、不育株基本表现为极端分离,按波谷法划分,均符合 1 对基因的作用模式。

2.5 籼 S 不同组合 F₂ 不育株禾菟的不育特性

通过连续 2 年对 13 个籼 S 与常规稻组合的 F₂ 不育株育性调查发现,这些不育株与籼 S 不育性表现相似。26 个株行 2006 年在广州自然条件下都具有明显的“可育-不育-可育”的育性转换特性,即在 4—5 月份有一段明显的可育期,6—10 月份可表现为稳定不育,10—11 月份转为可育,且在不育期内

最终会表现为无花粉型。通过不育株育性与幼穗分化期内温度的相关性分析(表 6)发现,26 个株行的相关性均达到显著水平,其中有 15 个株行的相关性达到极显著水平。这表明各不育株均有较强的温敏性。此外,各组合不育株 2005 年和 2006 年育性转

换的时间均存在一定差异,且总体趋势表现为 2006 年转育时间相对 2005 年越早的株行,其育性与幼穗分化期内的温度相关系数也越高。这说明各单株的温敏性可能存在一定差异。因此,籼 S 的温敏特性及无花粉型败育方式均能在杂交后代中遗传。

表 4 籼 S 与常规稻杂交 F₂ 群体花粉育性的分布

Table 4 Distribution of pollen fertility in F₂ generation from XianS crossed with several conventional rice varieties and restorer line

父本 Pollen parents	各级花粉可育株数 No. of plants with various pollen fertility										理论比值 Segregation ratio	χ^2
	0~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80	≥80		
盐梗 2 号 Yanjing 2	42	0	0	1	3	2	5	17	29	95	1 : 3	0.990
华航 1 号 Huahang 1	54	0	0	1	4	5	5	18	34	89	1 : 3	0.940
籼黄占 Xianhuangzhan	70	0	0	0	4	3	9	15	55	131	1 : 3	0.000
梗籼 89 Jingxian 89	26	0	2	3	4	6	10	21	27	31	1 : 3	1.367
台南梗 Tainanjing	32	2	0	4	6	6	5	22	30	56	1 : 3	1.473
H3	55	0	0	3	6	6	7	11	32	97	1 : 3	0.025
G0582	48	0	0	0	4	7	8	25	34	67	1 : 3	0.002

注:0~5,5~10,⋯,70~80,≥80 为按单株可育率(%)区分的 10 个组,各组仅含最小值,不含最大值。表 5 同。
Note:In accordance with the individual plant fertility rate,0-5,5-10,⋯,70-80,≥80,respectively belonged to 10 subindivisiions. Every subindivision only covered minimum value,not maximum value. Table 5 was similar.

表 5 籼 S 与常规稻杂交 F₂ 群体套袋自交结实率的分布

Table 5 Distribution of the bagged seed setting rat in F₂ generation from XianS crossed with several conventional rice varieties and restorer line

父本 Pollen parents	各级可育株数 No. of plants with various bagged seed setting rat										理论比值 Segregation ratio	χ^2
	0~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80	≥80		
盐梗 2 号 Yanjing 2	42	0	0	0	2	3	4	15	30	98	1 : 3	0.990
华航 1 号 Huahang 1	54	0	0	0	2	4	5	19	35	91	1 : 3	0.940
籼黄占 Xianhuangzhan	70	0	0	0	0	0	11	16	56	134	1 : 3	0.000
梗籼 89 Jingxian 89	36	0	0	4	8	7	18	31	28	57	1 : 3	1.367
台南梗 Tainanjing	33	1	0	2	5	5	6	232	30	58	1 : 3	1.473
H3	55	0	0	0	5	7	7	12	32	99	1 : 3	0.025
G0582	48	0	0	0	2	7	9	25	34	68	1 : 3	0.002

表 6 籼 S 与常规稻杂交 F₂ 不育株育性转换日期及其与温度的相关性

Table 6 Fertility conversion date and correlation between fertility and temperature of sterile plants in F₂ generation from XianS crossed with several conventional rice varieties and restorer line

父本 Pollen parents	育性转换日期 Fertility conversion date				不育性转换日期 Fertility conversion date			
	2005 年 2005 year	2006 年 2006 year	提前时间/d Ahead of 2005	相关系数 Correlation coefficient	2005 年 2005 year	2006 年 2006 year	提前时间/d Ahead of 2005	相关系数 Correlation coefficient
籼黄占 Xianhuangzhan	11-16	11-07	9	-0.738**	11-07	11-03	4	-0.715**
H3	11-13	11-07	6	-0.588**	10-20	10-19	1	-0.538*
新小占 Xinxiaozhan	11-10	10-19	22	-0.741**	10-08	10-19	-11	-0.505*
野绿占 Yeluzhan	11-19	10-24	26	-0.787**	10-12	10-08	4	-0.594**
丰矮占 Fengaizhan	11-19	11-23	4	-0.542*	10-17	10-22	-5	-0.511*

续表 6 Continued table 6

父本 Pollen parents	育性转换日期 Fertility conversion date				不育性转换日期 Fertility conversion date			
	2005 年 2005 year	2006 年 2006 year	提前时间/d Ahead of 2005	相关系数 Correlation coefficient	2005 年 2005 year	2006 年 2006 year	提前时间/d Ahead of 2005	相关系数 Correlation coefficient
矮新占 1 号 Aixinzhan 1	11-19	11-12	7	-0.662**	10-17	10-24	-7	-0.517*
密粒早占 2 号 Milizaozhan 2	11-16	11-05	11	-0.658**	10-12	10-08	4	-0.603**
国丝早占 Guosizaozhan	10-12	10-16	-4	-0.528*	10-08	10-16	-8	-0.528*
BR8	10-14	10-22	-8	-0.563*	10-12	10-08	4	-0.605**
丰穗占 8 号 Fengsuizhan 8	11-19	11-03	16	-0.689**	11-13	10-08	36	-0.854**
金华占 Jinhuaazhan	11-16	11-05	11	-0.671**	10-12	10-16	-4	-0.544*
JAWZ	10-12	10-08	6	-0.593**	10-12	10-08	4	-0.557*
JELOMT	10-14	10-12	2	-0.474*	10-12	10-16	4	-0.584**

注:*,** 分别表示 5%和 1%相关水平。
Note:*,** significant 5% and 1% levels,respectively.

3 讨 论

由于 汕 S 在广州的稳定不育期较培矮 64S 长近 2 个月,因此 汕 S 在广州可以制种的时期将更长,较培矮 64S 更适用于华南地区双季稻早季制种晚季使用的模式。培矮 64S 的可育临界上限温度为 23.3℃^[8],略低于 汕 S 的可育临界上限温度 23.5℃(另文发表),说明导致 汕 S 不育期相对培矮 64S 更长的原因不可能是二者可育临界上限温度的差异。有研究显示,汕 S 由不育转为可育在日均温 21℃条件下需持续 7 d 以上^[4],而培矮 64S 仅需 2 d 就会发生育性转换^[8],因此导致 汕 S 不育期较长的原因可能是,二者发生育性转换所需持续低温时间的差异。在广州自然条件下,5~9 月出现持续 3 d 日均温在 23.5℃以下异常低温天气较持续 7 d 异常低温的概率要高。此外,汕 S 在广州 5 月底到 10 月中旬均呈无花粉型败育,其败育主要是减数分裂时期的异常引起的,与生产上常用的典败型败育相比,具有败育时期早而败育彻底的特点^[4]。因此,与迄今生产上大面积推广应用的实用水稻温敏核不育系培矮 64S 相比,汕 S 在华南双季稻区用于制种将更加安全。

不同学者^[9-13]对农垦 58S、安农 S-1、B06S 及 0A15-1 等光温敏核不育水稻遗传规律的研究认为,光温敏核不育性受核内隐性基因控制,但对控制不育特性的基因对数的研究结果却不尽相同。还有学者认为,主效基因遗传率与亲本材料和外界环境有较大的关系,不同组合基因的遗传效应不同,即使同一组合在不同环境中遗传效应也表现出特异性^[14-15]。这充分说明光温敏核不育水稻遗传的复杂性。本研究用 汕 S 与 39 个不同常规稻杂交,这 39 个常规稻中包含有 汕稻、粳稻,还有 汕粳交品种及少量引种爪哇稻,遗传背景较广,结果显示有 35 个 F₂

群体可育株数与不育株数比值符合 3 : 1,13 个回交 BCF₁ 代群体可育株数与不育株数比值均为 1 : 1,这说明 汕 S 的不育性受 1 对主效基因控制,其遗传模式相对比较简单,不育基因的表达受遗传背景的影响较小。

光温敏核不育基因的克隆一直未见报道,这可能与现有光温敏核不育系的不育性遗传较复杂,表形鉴定较难从而导致基因定位不准确有关。汕 S 是一个自然突变的光温敏核不育材料,与绝大多数常规稻杂交后表现为 1 对基因的作用模式,绝大多数组合在不同年际间分离比稳定,这说明 汕 S 不育性受环境条件的影响也较小。以往许多研究者将可染率小于 5%作为不育株的划分标准^[9],由于不育基因表达受环境等因素的影响,因不育基因表达不彻底出现的可染率大于 5%的不育株往往会被作为可育株处理,导致不育株偏少,从而影响了不育基因遗传规律的分析。本研究若使用花粉可染率小于 5%作为不育株的划分标准,除台南粳外其他群体的不育株数量都不会发生变化,不会影响遗传分析的结果。另外,通过花粉可育率和套袋自交结实率,研究 7 个 汕 S 与常规稻杂交组合的群体育性频率分布情况基本一致,F₂ 单株育性表现为非连续性分布,且可育株、不育株基本表现为极端分离,育性表形鉴定较容易。有学者认为,在进行光温敏核不育基因遗传分析时,理想育性曲线应当是不育峰、可育峰明显,过渡区分布值越低越好^[9],而 汕 S 正好符合这一要求。再者,汕 S 与绝大多数粳稻品种杂交 F₂ 群体的育性分离仍表现为 1 对基因分离模式,在定位 汕 S 不育基因时可以考虑选用 汕粳交群体,以更为快捷筛选多态性标记。因此,准确定位 汕 S 的不育基因可能相对较容易。

由于 汕 S 不育性遗传模式相对比较简单,故也

较容易转育其它不育材料。通过对籼 S 不育基因在不同遗传背景下的表达研究发现,26 个株行 2006 年在广州自然条件下都具有明显的“可育-不育-可育”的育性转换特性,其无花粉型败育方式及温敏特性均可在杂交后代中遗传。籼 S 在 2006 年晚季转可育时间为 10-29,而在 13 个组合中有 7 个组合转育最晚的株行晚于籼 S,这说明可以通过杂交得到稳定不育期更长的温敏核不育水稻,便于提高华南地区双季稻制种的安全性。但对转育的不育株是否具有籼 S 耐受较长时间低温、败育时期早且败育彻底这些特性,仍需进一步研究验证。

[参考文献]

- [1] 卢兴桂,顾洪铭,李成荃.两系杂交理论与技术[M].北京:科学出版社,2001:29-30,131-230.
Lu X G,Gu H M,Li C Q. Theory and technology of two line hybrid rice [M]. Beijing: Science Press, 2001: 29-30, 131-230. (in Chinese)
- [2] 伍箴勇,李春海,牟同敏.5 个新育成籼型光温敏核不育系开花习性观察[J].华中农业大学学报,2008,27(2):186-190.
Wu J Y,Li C H,Mu T M. Observations on flowering habits of five newly developed indica photo-and thermo-sensitive genic male sterile lines [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2008, 27(2): 186-190. (in Chinese)
- [3] 陈立云.两系法杂交水稻的理论与技术[M].上海:上海科学技术出版社,2001:14-69.
Chen L Y. Theory and technology of two line hybrid rice [M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 2001: 14-69. (in Chinese)
- [4] 彭海峰,邱振国,陈雄辉,等.无花粉型水稻温敏核不育系籼 S 的育性表现与细胞学观察[J].生态学报,2006,26(7):2322-2327.
Peng H F,Qiu Z G,Chen X H,et al. Pollen fertility and cytological observation of a thermo-sensitive genic male sterile line of non-pollen type XianS in rice (*Oryzasativa* L.) [J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(7): 2322-2327. (in Chinese)
- [5] 邱振国,陈雄辉,彭海峰,等.光温敏核不育水稻在广州越冬繁殖的可行性研究[J].杂交水稻,2004,19(5):25-29.
Qiu Z G,Chen X H,Peng H F,et al. A feasibility study on the overwintering multiplication of PTGMS lines of rice in Guangzhou [J]. Hybrid Rice, 2004, 19(5): 25-29. (in Chinese)
- [6] 雷建勋,李泽炳.湖北光敏核不育水稻雄性不育性的遗传学研究[J].华中农业大学学报,1990,9(4):420-428.
Lei J X,Li Z B. The study on inheritance of HPGMR [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 1990, 9(4): 420-428. (in Chinese)
- [7] 邓启云,盛孝邦,段美娟,等.籼型光温敏核不育水稻雄性不育性遗传研究[J].杂交水稻,2001,16(3):47-51.
Deng Q Y,Sheng X B,Duan M J,et al. Genetic studies on photo and thermo sensitive genic male sterility of indica rice [J]. Hybrid Rice, 2001, 16(3): 47-51. (in Chinese)
- [8] 李必湖,吴厚雄,徐孟亮,等.温敏核不育水稻育性对低温持续时间的敏感性差异比较研究[J].作物学报,2003,29(6):930-936.
Li B H,Wu H X,Xu M L,et al. Comparative studies on the sensitivity of fertility of TGMS rice lines to low temperature of consecutive time [J]. Acta Agronomica Sinica, 2003, 29(6): 930-936. (in Chinese)
- [9] 向阳,李必湖.不同基因源光温敏核不育水稻在不同遗传背景下 F₂ 育性变化规律的比较研究[J].作物研究,2004,21(2):63-67.
Xiang Y,Li B H. Studies on the fertility ability of F₂s with different genetic sources of photo-thermo sensitive genic male-sterile rices in different genetic backgrounds [J]. Crop Research, 2004, 21(2): 63-67. (in Chinese)
- [10] 雷建勋,李泽炳.湖北光敏核不育水稻遗传规律研究[J].杂交水稻,1989,4(2):39-43.
Lei J X,Li Z B. A study on hereditary regularity of Hubei photo-sensitive genetic sterile rice [J]. Hybrid Rice, 1989, 4(2): 39-43. (in Chinese)
- [11] 朱英国.光周期敏感核不育水稻研究与利用[M].武汉:武汉大学出版社,1992:74-80.
Zhu Y G. Research and application on photoperiod sensitive genic male sterile rice [M]. Wuhan: Wuhan University Press, 1992: 74-80. (in Chinese)
- [12] 武小金,尹华奇.温敏核不育水稻的遗传与稳定性[J].中国水稻科学,1992,6(2):63-69.
Wu X J,Yin H Q. Genetics and stability of thermo-sensitive genic male sterile rice [J]. Chinese J Rice Sci, 1992, 6(2): 63-69. (in Chinese)
- [13] 贺浩华,黄文新,彭小松,等.水稻光温敏核不育系 B06S 不育基因的遗传研究[J].中国水稻科学,2004,18(4):297-302.
He H H,Huang W X,Peng X S,et al. Inheritance of a new cytoplasm photo-therm sensitive genic male sterile line B06S in rice [J]. Chinese J Rice Sci, 2004, 18(4): 297-302. (in Chinese)
- [14] 王昌虎,马镇荣,张明永,等.水稻温敏核不育突变体的育性表现及遗传学研究[J].热带亚热带植物学报,2004,12(4):331-336.
Wang C H,Ma Z R,Zhang M Y,et al. Sterility investigation and genetical analysis of a thermosensitive genic male sterile mutant 0A15-1 in rice [J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2004, 12(4): 331-336. (in Chinese)
- [15] 曾红权,刘宜柏,尹建华,等.三个光温敏核不育系的不育性遗传分析[J].中国水稻科学,2006,20(4):372-376.
Zeng H Q,Liu Y B,Yin J H,et al. Genetic analysis of male sterility in three photo-thermo sensitive genic male sterile line in rice [J]. Chinese J Rice Sci, 2006, 20(4): 372-376. (in Chinese)