



彭海峰, 陈雄辉, 葛艳艳, 等. 不同光温敏核不育水稻对低温耐受度的差异比较研究[J]. 华南农业大学学报, 2016, 37(1): 14-19.

不同光温敏核不育水稻对低温耐受度的差异比较研究

彭海峰¹, 陈雄辉², 葛艳艳², 万邦惠²

(1 华南农业大学 生命科学院, 广东 广州 510642; 2 华南农业大学 农学院, 广东 广州 510642)

摘要:【目的】探讨光温敏核不育水稻低温耐受度的影响因素,为选育不育性稳定的光温敏核不育水稻提供理论依据。【方法】以光温敏核不育水稻粳 S、N28S、安农 S、培矮 64S、N9S、N2S 为材料,利用人工气候箱对处于育性敏感期的各不育系分别进行持续 3、7、10 d 的 21 和 23 ℃ 低温处理,通过调查花粉育性来研究各不育系对短期低温的耐受度差异。【结果】各不育系对低温耐受程度的强弱次序为:粳 S、N28S > 安农 S > 培矮 64S > N9S、N2S。其中无花粉型不育系粳 S、N28S、安农 S 低温处理 3 d 时花粉均为不育;持续 7 d 时,除安农 S 出现可育花粉外,粳 S、N28S 花粉育性均为 0;持续 10 d 时,安农 S 的花粉可育率高于持续 7 d 的处理,并且粳 S 和 N28S 转为可育;典型型不育系培矮 64S、N9S、N2S 经过持续 3、7、10 d 的低温处理,除培矮 64S 经 23 ℃ 低温处理 3 d 的花粉不育外,其他均出现可育花粉,且花粉的可育程度随着低温处理时间的延长和低温强度的加大而增强。【结论】光温敏核不育系对短期低温的耐受度除与不育临界温度有关外,还可能与花粉败育方式有关,低不育临界温度的无花粉型不育系的不育性较稳定。在实用型光温敏核不育水稻的选育过程中,可多关注低不育临界温度的无花粉型不育系选育。

关键词:光温敏核不育系; 水稻; 无花粉型; 典型型; 不育性; 低温耐受度
中图分类号:S334.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-411X(2016)01-0014-06

A comparative study on the low temperature tolerability of different photo-thermo sensitive genic male sterile lines in rice

PENG Haifeng¹, CHEN Xionghui², GE Yanyan², WAN Banghui²

(1 College of Life Sciences, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;
2 College of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract:【Objective】To study the low temperature tolerability of different photo-thermo sensitive genic male sterile (PTGMS) lines in rice so as to provide a basis for breeding and utilizing of the PTGMS lines with stable male sterility. 【Method】At the temperature sensitive stages, the PTGMS lines of XianS, N28S, AnnongS, Peiai64S, N9S and N2S were treated at 21 and 23 ℃ for 3, 7 and 10 d in the plant growth chambers, respectively. The pollen fertilities of these PTGMS lines were investigated for 30 d after they were transferred to the outside of plant growth chamber to analyze their low temperature tolerability. 【Result】The low temperature tolerability order of these PTGMS lines was XianS, N28S > AnnongS > Peiai64S > N9S, N2S. The non-pollen type PTGMS lines of XianS, N28S and AnnongS produced no fertile pollens after treated at 21 and 23 ℃ for 3 d. XianS and N28S were still completely sterile, while AnnongS produced some fertile pollens after treated at 21 and 23 ℃ for 7 d. After treated at 21 and 23 ℃ for 10 d, XianS and N28S produced some fertile pollens, and AnnongS produced more fertile pollens compared with that for 7 d. However, the typical abortion type PTGMS lines of Peiai64S, N9S and N2S produced some fertile pollens after treated at 21 and 23 ℃ for 3, 7 and 10 d respectively, except for

Peiai64S after treated at 23 ℃ for 3 d. The percentage of fertile pollen increased with the continuous extension of time and the temperature dropping. 【Conclusion】The low temperature tolerability of the PT-GMS line relates to the type of pollen abortion besides the critical temperature inducing sterility (CTIS), and the non-pollen type PTGMS line with low CTIS shows stable male sterility. It should be paid more attentions to the non-pollen type PTGMS lines with low CTIS in the breeding process of the practical PT-GMS lines.

Key words:photo-thermo sensitive genic male sterile line; rice; non-pollen type; typical abortion type; male sterility; low temperature tolerability

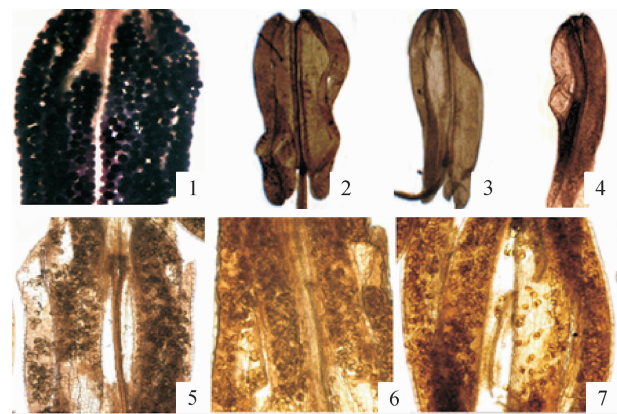
水稻 *Oryza sativa* L. 是我国主要的粮食作物,两系杂交水稻在保障我国粮食安全中发挥着重要作用^[1]。自 20 世纪 80 年代发现光温敏核不育水稻以来^[2],经过 30 多年的研究,有关两系杂交水稻的理论与技术已取得较大的进展,并已育成一批强优组合在生产上推广应用^[3]。但由于光温敏核不育系的育性会随着光温条件的改变而变化,这使杂交水稻由三系变成两系成为可能的同时,也使不育系存在育性不稳定的潜在危险。特别是制种季节不育系的不育性易受异常低温的影响而导致自交结实,使得两系杂交水稻种子不纯,给农业生产造成巨大损失^[4-6]。如 2009 年江苏、安徽、四川等地两系杂交稻制种,育性敏感期遇到 24 ℃ 左右的持续低温,近 6 700 hm² 制种田的不育系出现育性波动而导致制种失败,直接经济损失近亿元^[7]。如何有效减少异常低温对光温敏核不育系育性的影响已成为两系杂交稻研究和应用中必须解决的核心问题^[8]。前人的研究表明,不同的光温敏核不育系不仅育性转换的临界温度不同,而且其育性转换所需临界温度的持续时间也不同^[9-10],甚至育性转换临界温度相同或相近的不育系,其育性对低温持续时间的耐受度也存在差异^[11]。基于光温敏不育系育性转换与光温变化关系的基本规律,袁隆平^[12]指出选育实用光温敏核不育系最关键的技术指标是不育起点温度要低(华南地区≤24 ℃、长江流域及以北地区≤23 ℃),并且在低于临界温度时需要较长时日恢复可育的不育系才具有实用价值。因此,要降低两系杂交水稻受异常低温影响的制种风险,需注意选育不育临界温度低且耐受低温时间长的不育系^[13]。本研究以光温敏核不育系粳 S、N28S、安农 S、培矮 64S、N9S 和 N2S 为材料,在人工气候箱内通过不同程度低温处理不同时间,研究这些不育系的不育性对短期低温的耐受度差异,为不育性稳定的光温敏核不育系的选育及生产应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

水稻光温敏核不育系:粳 S、N28S、安农 S、培矮

64S、N2S 和 N9S,其中粳 S、N28S、安农 S 主要以无花粉的方式败育,培矮 64S、N2S 和 N9S 主要以典败的方式败育(图 1)。



1 为正常对照粳黄占,示成熟花药室内充满正常可育花粉;2~4 分别为粳 S、N28S、安农 S,示成熟花药室内没有花粉产生的无花粉型败育方式;5~7 分别为培矮 64S、N9S、N2S,示成熟花药室内充满不规则形状的空瘪花粉的典败型败育方式。

图 1 6 个光温敏核不育系的花粉败育方式

Fig.1 Pollen abortion types of six PTGMS lines in rice

1.2 方法

将供试材料分批播种,每隔 10 d 播 1 批。当主穗进入幼穗分化期第Ⅳ期晚期(雌雄蕊原基分化期)时,将各不育系的单株分别定植于长 60 cm、宽 32 cm 的塑料盆中,每盆 6 株,每处理 2 盆。在室外放置 3、5、6 d 后移入华南农业大学测试中心的人工气候箱分别进行 3、7、10 d 的 21 和 23 ℃ 低温处理。光照时间为 13.5 h,温度设为加权平均值,具体各时段温度设置见表 1。人工气候箱内 RH≥75%、光照度为 1.0×10⁴ lx。低温处理后搬出人工气候箱,在室外自然条件下抽穗。从抽穗开始每天取样调查花粉育性,每次取样 3 株,取当天已抽出 1/3~2/3 穗子的上部穗 3~6 朵未开的颖花用 FAA 液固定。镜检时每株颖花混合压片,用 10 g·L⁻¹ 的 I₂-KI 染色,10×10 倍显微镜下观察 3 个视野,记录各视野花粉可染率,统计求其平均值。将花粉圆形、大小正常、染色深而均匀的计为正常可育、其他各类均计为败育,包括无花粉、典败、圆败、染败;一般持续 30 d。将各处

理所得的花粉可育率进行反正弦代换,然后用 SPSS10.0 软件进行统计分析。

表 1 人工气候箱各时段温度设置
Tab. 1 Temperature settings of different times in plant growth chamber

起止时间	不同加权平均温度各时段温度/℃	
	21℃	23℃
06:30—08:00	19	21
08:00—10:00	21	23
10:00—14:00	23	25
14:00—18:00	25	27
18:00—20:00	21	23
20:00—06:30	19	21

2 结果与分析

2.1 不同低温持续时间对粳 S 花粉育性的影响

由表 2 可知,在 21℃下,经过 3 d 持续低温处理的粳 S 有 4 d 从无花粉型不育转为典败型不育;经过 7 d 持续低温处理的粳 S 有一段时间的典败和圆败花粉,但花粉可育率仍为 0;经过 10 d 持续低温处理的粳 S 会有 6 d 出现可育花粉,最高花粉可育率达 89.00%。在 23℃下,经过 3、7 d 的持续低温处理,粳 S 的花粉可育率为 0,并且 3 d 低温处理的花粉镜检仍为无花粉型不育;经过 10 d 的持续低温处理粳 S 有 4 d 出现可育花粉,但最高花粉可育率仅为 2.00%。

表 2 不同低温持续时间对粳 S 花粉可育率的影响¹⁾
Tab. 2 Effects of low temperature and duration on the pollen fertility rate of XianS in plant growth chamber %

抽穗日期	21℃			23℃			自然条件下 (对照)
	3 d	7 d	10 d	3 d	7 d	10 d	
07-17	0a	0a	42.00±3.05b	0a	0a	0a	0a
07-18	0a	0a	45.67±2.33b	0a	0a	0a	0a
07-19	0a	0a	89.00±0.57b	0a	0a	1.30±0.00a	0a
07-20	0a	0a	79.00±2.08b	0a	0a	2.00±0.57a	0a
07-21	0a	0a	15.33±0.33b	0a	0a	1.00±0.33a	0a
07-22	0a	0a	5.33±0.33c	0a	0a	1.00±0.58a	0a
07-23	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a
07-24	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a
07-25	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a
07-26	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a
07-27	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a
07-28—08-14	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a

1) 同列数据后凡是有一个相同小写字母者,表示差异不显著($P>0.05$, Duncan's 法)。

2.2 不同低温持续时间对 N28S 花粉育性的影响

由表 3 可知,N28S 的花粉育性变化与粳 S 相似。在 21℃下,表现为持续低温处理 3、7 d 并不能使其花粉可育,持续低温处理 10 d 有 6 d 出现可育

花粉,最高花粉可育率为 89.33%。在 23℃下,表现为 3、7 d 的持续低温处理花粉可育率为 0;10 d 的持续低温处理有 3 d 出现可育花粉,但最高花粉可育率仅为 1.33%。

表 3 不同低温持续时间对 N28S 花粉可育率的影响¹⁾
Tab. 3 Effects of low temperature and duration on the pollen fertility rate of N28S in plant growth chamber %

抽穗日期	21℃			23℃			自然条件下 (对照)
	3 d	7 d	10 d	3 d	7 d	10 d	
07-17	0a	0a	—	0a	0a	0a	0a
07-18	0a	0a	51.67±1.67b	0a	0a	0a	0a
07-19	0a	0a	82.00±1.52b	0a	0a	0a	0a
07-20	0a	0a	89.33±0.67b	0a	0a	1.33±0.33a	0a
07-21	0a	0a	55.67±2.96b	0a	0a	1.00a	0a
07-22	0a	0a	35.00±2.89b	0a	0a	1.33+0.58a	0a
07-23	0a	0a	13.33±1.67b	0a	0a	0a	0a
07-24	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a
07-25	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a
07-26	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a
07-27	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a
07-28—08-14	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a

1) 同列数据后凡是有一个相同小写字母者,表示差异不显著($P>0.05$, Duncan's 法);“—”表示样本缺失。

2.3 不同低温持续时间对安农 S 花粉育性的影响

由表 4 可知,安农 S 的花粉育性变化与籼 S、N28S 有所不同。21 ℃持续低温处理 3 d 的花粉可育率为 0,镜检发现,有一段时间的典败和圆败花粉;持续低温处理 7 d 出现连续 4 d 的可育花粉,可育率最高达到 46.33%;持续低温处理 10 d 的花粉可育天数和最高花粉可育率分别增至 7 d 和 93.33%。

在 23 ℃下,安农 S 经过 3、7、10 d 低温处理后的花粉育性变化趋势与 21 ℃相同,也是低温处理 3 d 的花粉可育率为 0,低温处理 7 d 的有连续 4 d 的可育花粉,但最高花粉可育率仅为 17.00%;持续 10 d 的低温处理与 7 d 相比,花粉可育天数增加 1 d,花粉可育率增加至 80.67%。

表 4 不同低温持续时间对安农 S 花粉可育率的影响¹⁾
Tab.4 Effects of low temperature and duration on the pollen fertility rate of AnnongS in plant growth chamber %

抽穗日期	21 ℃			23 ℃			自然条件下 (对照)
	3 d	7 d	10 d	3 d	7 d	10 d	
07-17	0a	0a	6.00 ± 0.58b	0a	0a	0a	0a
07-18	0a	2.33 ± 0.33b	89.33 ± 0.67c	0a	0a	0a	0a
07-19	0a	46.33 ± 1.86b	93.33 ± 1.67c	0a	0a	0a	0a
07-20	0a	22.33 ± 1.45b	90.33 ± 0.33c	0a	1.00a	51.00 ± 3.79c	0a
07-21	0a	11.67 ± 0.88b	75.00 ± 2.87c	0a	17.00 ± 1.53b	73.33 ± 3.33c	0a
07-22	0a	0a	21.00 ± 2.08b	0a	3.33 ± 0.67a	80.67 ± 2.91c	0a
07-23	0a	0a	4.00 ± 0.57b	0a	1.67 ± 0.33a	70.67 ± 2.19c	0a
07-24	0a	0a	0a	0a	0a	1.67 ± 0.33b	0a
07-25	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a
07-26	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a
07-27	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a
07-28—08-14	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a

1) 同列数据后凡是有一个相同小写字母者,表示差异不显著($P>0.05$,Duncan's 法)。

2.4 不同低温持续时间对培矮 64S 花粉育性的影响

由表 5 可知,在 21 ℃下,持续低温处理 3 d 的培矮 64S 有连续 6 d 出现可育花粉,最高花粉可育率为 18.33%;经过 7、10 d 的持续低温处理,培矮 64S 的花粉可育天数分别增加到 7 和 8 d,花粉可育率分别

提高到 45.00% 和 85.67%。在 23 ℃下,培矮 64S 经过 3 d 持续低温处理后的花粉育性为 0;经过 7、10 d 持续低温处理后,均出现连续 4 d 的可育花粉,但 10 d 的最高花粉可育率为 37.67%,比 7 d 的花粉可育率 11.33% 要高。

表 5 不同低温持续时间对培矮 64S 花粉育性的影响¹⁾
Tab.5 Effects of low temperature and duration on the pollen fertility rate of Peiai64S in plant growth chamber %

抽穗日期	21 ℃			23 ℃			自然条件下 (对照)
	3 d	7d	10 d	3 d	7 d	10 d	
07-17	0a	0a	—	0a	0a	0a	0a
07-18	4.33 ± 0.33b	12.33 ± 1.45c	—	0a	0a	0a	0a
07-19	11.33 ± 1.86c	14.00 ± 2.00c	56.67 ± 4.41d	0a	0.67 ± 0.33a	3.00 ± 0.58b	0a
07-20	—	35.67 ± 2.33d	72.67 ± 1.45e	0a	7.33 ± 0.33b	17.33 ± 0.67c	0a
07-21	18.33 ± 1.20b	—	—	0a	11.33 ± 0.67b	37.67 ± 1.45c	0a
07-22	9.00 ± 1.58b	45.00 ± 2.87d	85.67 ± 1.76e	0a	6.33 ± 0.67b	25.00 ± 2.51c	0a
07-23	5.67 ± 0.67ab	10.33 ± 0.88b	56.67 ± 4.41d	0a	0a	0a	0a
07-24	1.33 ± 0.33a	8.00 ± 1.00b	44.67 ± 2.91c	0a	0a	0a	0a
07-25	0a	3.67 ± 0.67b	30.00 ± 2.87c	0a	0a	0a	0a
07-26	0a	0a	8.33 ± 0.88b	0a	0a	0a	0a
07-27	0a	0a	2.67 ± 0.33b	0a	0a	0a	0a
07-28—08-14	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a

1) 同列数据后凡是有一个相同小写字母者,表示差异不显著($P>0.05$,Duncan's 法);“—”表示样本缺失。

2.5 不同低温持续时间对 N9S 花粉育性的影响

由表 6 可知,在 21 ℃ 下,N9S 的花粉育性变化与培矮 64S 相似,持续 3 d 的低温处理就会使 N9S 的花粉转为可育,最高花粉可育率为 16.33%;持续 7、10 d 低温处理的 N9S 出现可育花粉的天数分别为 5、6 d,最高花粉可育率分别为 35.00%、80.00%。

在 23 ℃ 下,N9S 的花粉育性变化与培矮 64S 有所不同,低温处理 3 d 就出现可育花粉,最高花粉可育率为 4.00%;经过持续 7、10 d 低温处理的 N9S 与培矮 64S 一样,也是都出现连续 4 d 的可育花粉,最高花粉可育率分别为 14.00%、51.67%。

表 6 不同低温持续时间对 N9S 花粉可育率的影响¹⁾

Tab. 6 Effects of low temperature and duration on the pollen fertility rate of N9S in plant growth chamber							%
抽穗日期	21 ℃			23 ℃			自然条件下 (对照)
	3 d	7 d	10 d	3 d	7 d	10 d	
07-17	—	—	—	—	—	—	0a
07-18	0a	—	—	0a	0a	0a	0a
07-19	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a
07-20	0a	4.67 ± 0.88b	44.33 ± 3.28c	0a	0a	0a	0a
07-21	5.33 ± 0.33ab	12.33 ± 1.45b	43.33 ± 3.48c	3.00 ± 1.15a	0a	0a	0a
07-22	16.33 ± 1.88b	35.00 ± 5.44c	80.00 ± 2.87d	4.00 ± 0.57a	14.00 ± 2.08b	7.33 ± 1.76ab	0a
07-23	8.33 ± 0.67ab	15.00 ± 1.73b	36.00 ± 3.06c	1.67 ± 0.33a	13.67 ± 2.33b	30.00 ± 5.77c	0a
07-24	—	5.00 ± 0.57ab	11.33 ± 1.86b	1.00a	5.00 ± 1.15ab	51.67 ± 4.40c	0a
07-25	0a	0a	4.33 ± 0.67b	0a	6.67 ± 0.88b	17.66 ± 1.45c	0a
07-26	0a	0a	0a	0a	—	0a	0a
07-27	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a
07-28—08-14	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a

1) 同列数据后凡是有一个相同小写字母者,表示不显著($P>0.05$,Duncan's 法);“—”表示样本缺失。

2.6 不同低温持续时间对 N2S 花粉育性的影响

由表 7 可知,在 21 ℃ 下,N2S 的花粉育性变化与 N9S 一样,3 d 的持续低温处理就使其花粉转为可

育,最高花粉可育率为 12.33%;持续 7、10 d 低温处理的 N2S 出现可育花粉的天数都为 7 d,最高花粉可育率分别为 37.00%、86.33%。

表 7 不同低温持续时间对 N2S 花粉可育率的影响¹⁾

Tab. 7 Effects of low temperature and duration on the pollen fertility rate of N2S in plant growth chamber				%
抽穗日期	21 ℃			自然条件下对照
	3 d	7 d	10 d	
07-17	—	—	—	0a
07-18	0a	0a	—	0a
07-19	2.67 ± 0.33a	6.00 ± 0.58b	—	0a
07-20	10.00 ± 1.15b	8.00 ± 1.16b	23.67 ± 1.86c	0a
07-21	12.33 ± 1.45b	37.00 ± 2.64c	86.33 ± 5.50d	0a
07-22	8.33 ± 0.88b	27.33 ± 2.33c	75.67 ± 2.96d	0a
07-23	5.00 ± 0.57a	14.33 ± 1.20bc	65.33 ± 2.90d	0a
07-24	1.33 ± 0.58a	10.33 ± 0.33a	50.00 ± 1.15b	0a
07-25	0a	9.00 ± 1.00a	27.00 ± 1.52b	0a
07-26	0a	0a	6.33 ± 0.88b	0a
07-27	0a	0a	0a	0a
07-28—08-15	0a	0a	0a	0a

1) 同列数据后凡是有一个相同小写字母者,表示差异不显著($P>0.05$,Duncan's 法);“—”表示样本缺失。

综合不同光温敏核不育系经过 21 和 23 ℃ 低温处理不同时间后的花粉育性变化可以看出:各不育系对低温耐受程度的强弱次序是粳 S、N28S>安农 S>培矮 64S>N9S、N2S。在这些不育系中,粳 S、

N28S 和安农 S 是无花粉型不育系,培矮 64S、N9S 和 N2S 是典败型不育系,并且除安农 S 的不育起点温度为 25 ℃ 以上外,其他不育系的不育起点温度均为 23.0~23.5 ℃。供试的光温敏核不育系表现出无花

粉型不育系比典败型不育系、低不育临界温度不育系比高不育临界温度不育系对短期低温的耐受度强的趋势,并且所有不育系的花粉育性受低温的影响程度都是随着低温持续时间的延长和低温强度的加大而加强的,表现为花粉可育天数和花粉可育率的增加。

3 讨论

长期的研究和生产实践表明,不育系育性转换的光温反应特性是光温敏核不育系生产利用的关键。选育不育期败育彻底、不育性稳定的光温敏核不育系是目前两系法杂交稻制种安全的重要保证^[14]。降低两系法杂交稻制种风险的关键技术是使用不育起点温度低、耐受低温时间长的实用型光温敏核不育系^[13]。李必湖等^[11]通过对不同温敏核不育系的低温持续时间敏感性差异研究,认为不育系的遗传背景、育性转换的不育临界温度与其不育性对低温的敏感性存在一定的相关性。本研究通过对光温敏核不育系粳 S、N28S、安农 S、培矮 64S、N9S、N2S 的低温耐受度分析发现,不育起点温度为 23.0~23.5℃ 的无花粉型不育系粳 S 和 N28S 分别能够耐受 21℃ 低温 7 d 和 23℃ 低温 10 d,不育起点温度超过 25℃ 的无花粉型不育系安农 S 只能耐受 21 和 23℃ 低温 3 d,而不育起点温度为 23.0~23.5℃ 的典败型不育系培矮 64S、N9S 和 N2S,除培矮 64S 经 23℃ 低温处理 3 d 的花粉不育外,其他处理均出现可育花粉,并且低温强度越大,花粉可育度越高。由此认为,光温敏核不育系的低温耐受度除与不育起点温度有关外,还可能与不育系的花粉败育方式有关。但是对于如安农 S 这类不育起点温度高的无花粉型不育系,即使对短期低温反应钝感,在生产应用中也不能解决制种的安全问题。而如粳 S 和 N28S 这类不育起点温度低且不育性对短期低温反应钝感的不育系,在制种季节即使遇到连续 7 d 日均温 21℃ 或连续 10 d 日均温 23℃ 的异常低温天气,花粉育性也不会波动,不育性仍然稳定,制种风险小,在生产上更有实用价值。因此,在实用型光温敏核不育水稻的选育过程中,可多注意对低不育临界温度无花粉型不育系的选育。另外,值得注意的是本研究中无花粉型不育系粳 S、N28S 和安农 S 的不育基因是等位的^[15],目前该基因已被证实为 *RNaseZ^{SI}*,并且广泛存在于温敏核不育系中^[16-17],该基因在两系杂交水稻生产中发挥了重要作用,并且可在多种遗传背景中表达,说明利用分子标记辅助选择育种是可行的。

参考文献:

[1] 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.

[2] 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.

[3] 卢兴桂,顾铭洪,李成荃,等. 两系杂交水稻理论与技术[M]. 北京:科学出版社, 2001.

[4] 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.

[5] 何楚南,采振刚,乔遗湘. 温敏不育系制种几个技术问题浅析[J]. 杂交水稻, 1997, 12(3): 45.

[6] 肖层林,周承恕. 两系杂交稻种子纯度的影响因素与保纯技术[J]. 杂交水稻, 2000, 15(2): 12-14.

[7] CHEN L Y, LEI D Y, TANG W B, et al. Thoughts and practice on some problems about research and application of two-line hybrid rice[J]. Rice Sci, 2011, 18(2): 79-85.

[8] 何强,蔡义东,徐耀武,等. 水稻光温敏核不育系利用中存在的问题与对策[J]. 杂交水稻, 2004, 19(1): 1-5.

[9] 孙宗修,程式华,闵绍楷,等. 光敏核不育水稻的光温反应研究: III. 减数分裂期温度对两个籼稻光敏核不育系育性转换的影响[J]. 作物学报, 1993, 19(1): 83-87.

[10] 姚克敏,储长树,杨亚新,等. 水稻光(温)敏雄性不育系的育性转换机理研究[J]. 作物学报, 1995, 21(2): 187-197.

[11] 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.

[12] 袁隆平. 选育水稻光温敏不育系的技术策略[J]. 杂交水稻, 1992, 7(1): 1-4.

[13] 雷东阳,唐文帮,解志坚,等. 两系法杂交水稻制种不安全问题解决途径[J]. 作物学报, 2013, 39(9): 1569-1575.

[14] 李新奇,袁隆平,邓华凤,等. 水稻光敏与温敏核不育基因之间互作效应与利用研究[J]. 科技导报, 2009, 27(3): 75-79.

[15] PENG H F, CHEN X H, LU Y P, et al. Fine mapping of a gene for non-pollen type thermo sensitive genic male sterility in rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Theor Appl Genet, 2010, 120(5): 1013-1020.

[16] ZHANG H L, HUANG J Z, LIU Q L, et al. Characterization of an RNase Z nonsense mutation identified exclusively in environment-conditioned genic male sterile rice[J]. Mol Breeding, 2014, 34(2): 481-489.

[17] ZHOU H, ZHOU M, YANG Y Z, et al. RNase Z^{SI} processes *Ub₁₄₀* mRNAs and controls thermosensitive genic male sterility in rice[J]. Nat Commun, 2014(5): 4884 - 4892. DOI:10. 1038/ncomms5884.

【责任编辑 庄 延,周志红】