

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2010.00001

四种细胞质六千辛 A 粳稻不育系育种利用特性的比较研究

朱正斌 张宏根 刘 超 李 鹏 裔传灯 汤述翥* 顾铭洪

扬州大学江苏省作物遗传生理重点实验室 / 教育部植物功能基因组学重点实验室, 江苏扬州 225009

摘 要: 对由粳稻品系六千辛转育成的 4 种细胞质的一套同核异质不育系的不育性、开花习性、异交特性及可恢复性进行了鉴定。结果表明: (1) 包台(BT)型、红莲(HL)型、茶野(CL)型六千辛 A 花粉以染败为主, WA 型六千辛 A 花粉 100% 典败; BT 型六千辛 A 平均自交结实率为 0.60%, 生产应用的安全性较差; HL 型、CL 型六千辛 A 无自交结实现象, 不育性较 BT 型六千辛 A 稳定。(2) 不育系的花粉败育程度影响倒一节间长度, 花粉败育越彻底, 倒一节间越短, 从而使穗伸出度和株高相应缩短; 因此, WA 型六千辛 A 表现包颈, 而 BT 型、HL 型、CL 型六千辛 A 均无包颈。(3) WA 型六千辛 A 开花不集中, 花时明显滞后, 花期明显拉长, 异交结实率低; HL 型、CL 型六千辛 A 的开花习性 & 异交结实率与 BT 型六千辛 A 无显著差异, 明显好于 WA 型六千辛 A。(4) BT 型六千辛 A 的可恢复性最好, HL 型、CL 型六千辛 A 次之, WA 型六千辛 A 最难恢复; 从 BT 型粳稻恢复系中可以筛选到 HL 型或 CL 型粳稻不育系的恢复系。HL 型、CL 型粳稻不育系较好地协调了育性稳定性、开花习性和可恢复性几方面的矛盾。因此, 选育 HL 型、CL 型粳稻不育系及其相应的恢复系, 可能是解决目前生产上杂交粳稻 BT 型不育系育性不够稳定及细胞质单一问题的突破口。

关键词: 粳稻; 同核异质雄性不育系; 不育性; 开花习性; 可恢复性

Comparative Study on Breeding Utilization Characteristics of the Isonuclear Alloplasmic *Japonica* CMS Lines Liuqianxin A with Four Different Cytoplasm Sources

ZHU Zheng-Bin, ZHANG Hong-Gen, LIU Chao, LI Peng, YI Chuan-Deng, TANG Shu-Zhu*, and GU Ming-Hong

Jiangsu Province Key Laboratory of Crop Genetics and Physiology / Key Laboratory of Plant Functional Genomics, Ministry of Education, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China

Abstract: A set of isonuclear alloplasmic *japonica* CMS lines Liuqianxin A, constructed with four different cytoplasm sources from Hainan Male Sterile Wild Rice (WA type), Hainan Red Awned Wild Rice (HL type), Hunan Chaling Wild Rice (CL type), and India Chinsurah Boro II (BT type), respectively, together with their maintainer line Liuqianxin B, were applied to study their male sterile stability, flowering habits, outcrossing rate, and restorable ability. The results showed: (1) Most pollen granules of BT, HL and CL Liuqianxin A were mainly stained-abortion, while those of WA Liuqianxin A were mainly typical-abortion. Selfed seed-setting rate of BT Liuqianxin A was 0.60%, which would cause application risk in agricultural production. There were no selfed seeds in HL and CL Liuqianxin A, indicating that sterility of them was better than that of BT type. (2) The length of 1st internode to the top was affected by the degree of abortive pollen, which influenced the plant height and the panicle exertion (i.e. the length of panicle-neck above the sheath of flag leaf). Namely the more serious abortive degree, the shorter panicle exertion. Therefore, panicle was enclosed within the sheath of the flag leaf in WA Liuqianxin A, not in BT, HL, and CL Liuqianxin A. (3) The flowering habits of WA Liuqianxin A presented as sporadic flowering, distinctly lagged flowering time and stretched flowering duration, and were the worst in the four type CMS lines, thus its outcrossing rate was lower. Flowering habits and outcrossing rate between HL, CL CMS lines and BT CMS lines were not significantly different. However it was better in HL, CL CMS lines than in WA CMS lines. (4) BT Liuqianxin A showed the best restorable characteristic, HL was a little worse than BT, WA was the worst. And *japonica* restorers for HL or CL CMS lines could be selected from the *japonica* restorers for BT CMS lines. HL, CL

本研究由国家自然科学基金项目(30871500)和国家科技支撑计划项目(2006BAD01A01-7)资助。

* 通讯作者(Corresponding author): 汤述翥, E-mail: sztang@yzu.edu.cn; Tel: 0514-87972148

第一作者联系方式: E-mail: jielinren@126.com

Received(收稿日期): 2009-07-02; Accepted(接受日期): 2009-10-08.

CMS lines balanced above contradictions well, so an idea of substituting HL, CL CMS lines partly for BT type was put forward, it can be used to solve the problems of single type sterile cytoplasm in current *Japonica* hybrid rice and fertility not stable in BT CMS lines.

Keywords: *Japonica*; Isonuclear alloplasmic CMS lines; Sterility; Flowering habit; Restorable ability

包台(BT)型、红莲(HL)型、野败(WA)型3种不育胞质的恢保关系不同、花粉败育时期及特征不同、育性遗传方式不同,被认为是3种代表类型^[1-2]。WA型不育系以其不育性稳定而得以在杂交籼稻生产利用中占据主导地位^[1],HL型不育系在杂交籼稻中也有少量应用^[3-5]。杂交粳稻以利用BT型不育系为主,推广面积较小,只占粳稻种植面积的3%左右^[6]。BT型不育系花粉败育较迟,部分不育系存在自交结实现象、影响制种纯度,是制约杂交粳稻发展的原因之一^[7-14]。寻找在杂交粳稻中可资利用的其他不育细胞质资源,以克服BT型不育系的生产应用缺陷一直为众多水稻育种家孜孜以求的目标。一个好的不育系不仅需要不育性稳定,而且需要有良好的开花习性、异交习性,并且容易找到强恢复系,具有较好的可恢复性。本课题组在培育BT型、HL型及WA型3种代表型细胞质六千辛A的基础上,又引进了湖南茶陵野生稻细胞质(CL型)六千辛A粳稻不育系。本研究以六千辛同核异质不育系为材料,从以上三方面比较研究了这4种细胞质不育系的育种利用特性,为HL型和CL型不育细胞质应用于粳稻杂种优势利用提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为印度春籼 Chinsurah Boro II 细胞质(包台型, BT型)、海南红芒野生稻细胞质(红莲型, HL型)、湖南茶陵普通野生稻(茶野型, CL型)和海南野生稻天然败育株细胞质(野败型, WA型)的一套同核异质粳稻不育系六千辛A及相应的保持系。除CL型六千辛A引自江苏省农业科学院粮食作物研究所外,其余不育系均为扬州大学农学院选育,各不育系已回交15代以上。

用于粳稻不育系可恢复性测定的测验种计181份,其中包括BT型粳稻恢复系108份,广亲和恢复系30份(28份为偏粳型,2份为籼型),粳稻保持系1份,广亲和品种7份(其中02428为粳型,印度秋稻Dular为籼型,其余5份美国稻品种为籼粳中间型),云南地方品种4份(偏粳型),不明确恢保关系的其他粳稻品种(系)31份。

1.2 试验方法

1.2.1 4种细胞质六千辛A不育性鉴定 抽穗扬花期上午开花前取4种细胞质的六千辛不育系及保持系的主茎穗或大分蘖穗各20个,选取每穗上部枝梗当日即将开放的2朵颖花的花药,用镊子轻轻夹出花粉粒,用1%的I₂-KI溶液染色,制成涂片镜检,每片选择2个视野,统计200个左右的花粉粒。根据染色反应将花粉粒分为典败、圆败、染败和正常4种类型,分别估算其百分率。同时,分别选取4种细胞质六千辛A的未开花穗各100个套袋自交,20d后,剔除折断或自交袋破损的穗子,调查各不育系的自交结实株率和自交小穗育性。

1.2.2 4种细胞质六千辛A株型特征调查 扬花结束后,取4种细胞质六千辛不育系及保持系各20株,调查株高、节间配置、穗伸出度(穗颈节伸出剑叶叶鞘的长度)及穗长。进行各性状不同细胞质间的差异显著性测定。

1.2.3 4种细胞质六千辛A开花习性调查 始穗期早晨标记4种细胞质的六千辛A及六千辛B刚见穗的主茎或大分蘖各10个,记录见穗日期、始花日期,统计见穗至开花天数;自始花日起,每日下午开花结束后根据颖花内花药的有无或花药色泽及排列状况(整齐或散乱),判断并统计各穗当日颖花开放数目,剪去已开放颖花。如此调查,直至单穗开花结束。根据调查结果计算单穗开花天数、描绘每日开花量分布曲线,同时统计闭花率。进入盛花后,选不育系、保持系各10穗,每日上午从开花开始间隔15 min记录1次开放的颖花数目,同时剪去已开颖花,直至当日开花结束。择晴日连续观察3d。根据调查结果统计日开花高峰、绘制花时分布曲线。

1.2.4 4种细胞质六千辛A异交特性调查 盛花期,选取4种细胞质的六千辛A各10株,去除已开花或未见穗的分蘖,每株保留2个以上正待始花的稻穗,将其同时移栽至盛花的水稻品种示范田,人工赶粉至花期结束,20d后调查异交结实率,进行不同细胞质间的差异显著性测定。于2007年正季在扬州进行试验1.2.1~1.2.4。

1.2.5 4种细胞质六千辛A可恢复性鉴定 2006年正季在扬州用4种细胞质的六千辛A及保持系六

千辛 B 分别与 181 份测验种材料测交, 收获测交种。2007 年正季在扬州种植测交 F₁, 5 月 10 日播种, 6 月 10 日移栽, 行株距 25.0 cm × 13.3 cm, 各测交组合杂种栽插 2 行, 每行栽 5 株。同一父本的杂种按 B、BT、HL、CL、WA 细胞质的顺序相邻种植, 以减小环境造成的试验误差, 增加不同细胞质间的可比性。抽穗 30 d 后, 各测交组合取 5 株主茎穗调查小穗育性, 比较不同细胞质不育系的可恢性。2007 年正季继续配制极少数 2006 年末配制成功或未配制完全的组合, 并于 2008 年正季在扬州鉴定。对 5 种细胞质配制完全的组合进行 F₁ 小穗育性的方差分析和细胞质间的差异显著性测定。

2 结果与分析

2.1 4 种细胞质六千辛 A 的花粉败育特征与套袋自交小穗育性

鉴定 4 种细胞质六千辛 A 及其保持系六千辛 B 的花粉育性与自交小穗育性, 结果列于表 1。

从表 1 看出, BT 型六千辛 A 花粉以染败为主; WA 型不育细胞质导入六千辛后, 花粉呈 100% 典败, 比 WA 型粳稻不育系败育程度更显彻底; 值得注意的是, HL 型粳稻不育系的花粉是以圆败为主^[1], 本研究中 HL 型和 CL 型六千辛 A 的花粉均以染败为主, 花粉败育特征与 BT 型不育系相近, 说明花粉败育不仅与不育细胞质有关, 很大程度上还与细胞核的育性基因有关。需要说明的是, 8 月下旬温度较高时取样镜检, BT 型、CL 型、HL 型不育系的染败花粉染色程度较深, 这对正确区分染败花粉与正常花粉造成一定困难, 但与保持系相比, 差异依旧比较明显, 表现在花粉粒略小, 花粉粒四周淀粉充实不好, 不如保持系轮廓鲜明; 半月后重新镜检 3 种类型不育系分蘖穗的花粉型态, 发现其染色较浅, 为

典型的染败花粉。

受气候影响, BT 型六千辛 A 有 37.74% 的稻穗有自交结实现象, 单穗最高自交结实率达 3.64%, 平均自交小穗育性为 0.60%。尽管 3 项结果均远远低于 2002 年的鉴定结果(64.29% 的稻穗出现自交结实, 单穗最高自交结实率达 11.91%, 平均自交小穗育性 3.72%^[15]), 但仍显示 BT 型不育系生产应用中存在着高风险。关于 BT 型不育系遇高温导致花药开裂撒粉、有部分自交结实现象, 已有大量报道^[7-14]。本研究中 HL 型、CL 型、WA 型六千辛 A 无自交结实现象。

2.2 4 种细胞质六千辛 A 的株型特征

同核异质不育系及相应的保持系核基因型一致, 故性状的表现型也基本一致, 差异主要表现在与包颈相关的株高性状上。4 种细胞质六千辛 A 及其保持系六千辛 B 的株高及相关性状调查结果列于表 2。

有研究表明, 由于不育细胞质的作用, 不育系在倒一乃至倒二节间伸长期内源 GA₁ 含量与保持系相比显著降低^[16], 从而影响株高及穗伸出度。从表 2 可以看出, 不育细胞质主要影响倒一节间的长度, 对倒二节间及以下节间没有显著影响, 这与本课题组 2002 年的鉴定结果有所差异(不育细胞质还对倒二、倒三节间的伸长有抑制作用^[15])。不同细胞质不育系的花粉败育程度越高, 则倒一节间长度越短, 从而使植株降低, 穗伸出度减小。4 种细胞质不育系中, WA 型六千辛 A 花粉败育最彻底, 倒一节间长、株高、穗伸出度与其他细胞质六千辛 A 及六千辛 B 均存在显著差异; BT 型六千辛 A 的倒一节间长度、穗伸出度与六千辛 B 存在显著差异, 但株高差异不显著; HL 型和 CL 型六千辛 A 各性状差异不明显, 两者受倒一节间长度影响, 株高比保持系和 BT 六千辛 A 稍矮, 穗伸出度稍短, 但不存在包颈现象。除 WA 型六千辛 A 穗长与六千辛 B 存在显著差异外,

表 1 同核异质六千辛 A 的花粉类型与套袋自交小穗育性
Table 1 Pollen type and bagged spikelet fertility of isonuclear alloplasmic Liujianxin A (%)

不育系/保持系 CMS line/ Maintainer line	花粉类型 Type of pollen				自交结实穗所占比例 Percentage of panicles with seed selfed	小穗育性 Spikelet fertility	
	典败 Typical abortion	圆败 Spherical abortion	染败 Stained abortion	正常 Normal		变幅 Range	平均 Average
六千辛 B Liujianxin B	0.50	1.50	0.50	97.50	—	—	—
BT 六千辛 A BT Liujianxin A	0.41	1.69	95.55	2.35	37.74	0.00–3.64	0.60
HL 六千辛 A HL Liujianxin A	0.45	1.90	96.50	1.15	0.00	0.00	0.00
CL 六千辛 A CL Liujianxin A	0.64	2.24	96.55	0.57	0.00	0.00	0.00
WA 六千辛 A WA Liujianxin A	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

表 2 同核异质六千辛 A 的株高与节间配置
Table 2 Plant height and internode disposition of isonuclear alloplasmic Liuqianxin A

不育系/保持系 CMS line/ Maintainer line	株高 Plant height (cm)	节间长度 Internode length (cm)				穗伸出度 Panicle exertion (cm)	穗长 Panicle length (cm)
		倒一节间 The first internode to the top	倒二节间 The second internode to the top	倒三节间 The third internode to the top	倒四节间 The fourth internode to the top		
六千辛 B Liuqianxin B	100.96 a	39.41 a	17.57 a	11.87 a	7.68 a	8.33 a	24.98 a
BT 六千辛 A BT Liuqianxin A	99.65 a	36.09 b	18.33 a	12.46 a	8.28 a	5.28 b	24.80 ab
HL 六千辛 A HL Liuqianxin A	96.00 b	34.79 c	18.00 a	12.31 a	7.97 a	3.76 c	24.62 ab
CL 六千辛 A CL Liuqianxin A	97.09 b	35.25 bc	18.23 a	12.48 a	8.12 a	4.20 c	24.57 ab
WA 六千辛 A WA Liuqianxin A	90.75 c	31.16 d	17.69 a	12.03 a	7.84 a	-0.28 d	24.00 b

同一列中字母不同表示不同细胞质间在 0.05 水平上显著差异。

Values within a column followed by different letter are significantly different among different cytoplasms at the 0.05 level, respectively.

其余细胞质六千辛 A 穗长与六千辛 B 无显著差异, 表明不育细胞质一般不影响穗部的经济性状。

2.3 4 种细胞质六千辛 A 的开花习性

2.3.1 同核异质六千辛 A 单穗开花动态 由表 3 可见, 六千辛 B 一般抽穗当天开花, 4 种细胞质六千辛 A 多在见穗当日始花, BT 型、HL 型、CL 型六千辛 A 少数穗在次日始花, WA 型六千辛 A 部分穗延至第 3 天始花。从图 1 可见, 六千辛 B 抽穗当天开花量就明显多于其他不育系, 第 2 天或第 3 天进入盛花期, 5~7 d 全穗开花结束, 花期集中; BT 型和 CL 型六千辛 A 始花后 3~6 d 为盛花期, 与保持系差异较小, BT 型六千辛 A 全穗花期 6~8 d, CL 型六千辛 A 平均全穗花期 7~8 d; HL 型六千辛 A 进入盛花期的时间滞后于保持系 1~2 d, 但花期集中, 与六千辛 B 的花期仍有较多重叠, 全穗花期为 7~9 d; WA 型六千辛 A 平均始花 4~5 d 后才缓慢进入盛花期, 花期较长, 全穗花期接近 12 d。

2.3.2 同核异质六千辛 A 日开花动态 从图 2 可以看出, BT、HL 型和 CL 型六千辛 A 的日开花动态

与保持系接近, WA 型六千辛 A 花时长, 开花不集中。保持系六千辛 B 上午 10:00 左右有颖花开放, 15 min 后进入连续开放, 并迅速盛花, 11:00~12:00 为开花高峰; BT 型比 HL 型、CL 型六千辛 A 的始花时间略早 30 min, 但都在 11:30~12:30 进入开花高峰, 比保持系滞后约 30 min; WA 型六千辛 A 于 11:00 左右始有颖花开放, 开花不集中, 下午 14:30 前后开花量稍有增大, 直至 18:00 结束开花, 平均日开花近 7 h。同时, WA 型六千辛 A 闭花率达 8.70%, 远高于其他细胞质不育系。

从开花习性看, HL 型以及 CL 型六千辛 A 的花时、花期分布与 BT 型六千辛 A 相仿, 远远好于 WA 型六千辛 A。

2.4 同核异质六千辛 A 的异交结实特性

从表 4 看出, BT 型六千辛 A 的异交结实性最好, 平均约为 34%, 单穗最高异交结实率可达 50%以上; CL 型、HL 型六千辛 A 的异交结实率虽低于 BT 型, 但无显著差异, 而在 2002 年的异交试验中, HL 型六千辛 A 的异交结实为 31.9%, 与 BT 型六千辛 A 相

表 3 同核异质六千辛 A 的花期与日开花时间
Table 3 Flowering duration and flowering time of isonuclear alloplasmic Liuqianxin A

不育系/保持系 CMS line/ Maintainer line	见穗至开花天数		单穗开花天数		日开花起止	闭花率
	Days from heading to flowering (d)		Flowering days of every panicle (d)		时间 ^a	Rate of closed spikelets (%)
	变幅	平均	变幅	平均	Flowering time ^a	
	Range	Average	Range	Average		
六千辛 B Liuqianxin B	0	0.00	5–7	6.37	10:00–14:00	0.00
BT 六千辛 A BT Liuqianxin A	0–1	0.10	6–8	6.94	10:00–14:00	0.75
HL 六千辛 A HL Liuqianxin A	0–1	0.30	7–9	7.65	10:30–14:30	1.53
CL 六千辛 A CL Liuqianxin A	0–1	0.20	7–8	7.51	10:30–14:00	1.60
WA 六千辛 A WA Liuqianxin A	0–2	0.40	10–12	11.79	11:00–18:00	8.76

^a 颖花连续开放的起止时间, 该时间前与后的极个别开花不计。

^a the beginning and ending time of continuous flowering spikelets, not considering a very few flowering spikelets before or after the beginning and ending time.

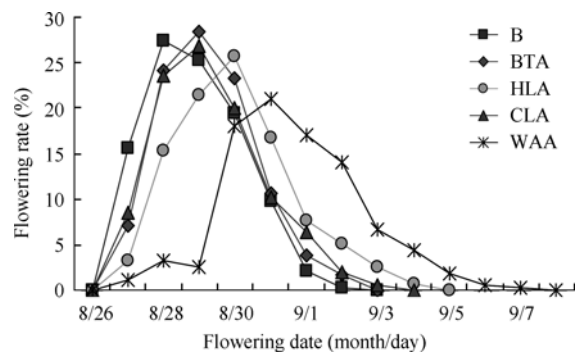


图 1 同核异质六千辛 A 单穗开花动态

Fig. 1 Flowering dynamics of single panicle of isonuclear alloplasmic Liuqianxin A

B、BTA、HLA、CLA 和 WAA 分别代表六千辛 B、BT 六千辛 A、HL 六千辛 A、CL 六千辛 A 和 WA 六千辛 A。
B, BTA, HLA, CLA, and WAA represent Liuqianxin B, BT Liuqianxin A, HL Liuqianxin A, CL Liuqianxin A, and WA Liuqianxin A, respectively.

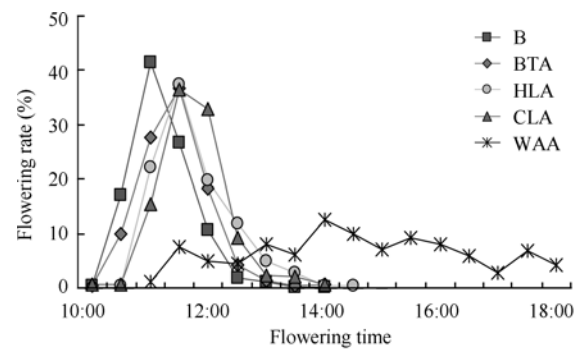


图 2 同核异质六千辛 A 日开花动态

Fig. 2 Diurnal flowering dynamics of spike of isonuclear alloplasmic Liuqianxin A

表 4 同核异质六千辛 A 的异交结实率

Table 4 Outcrossing rate of isonuclear alloplasmic Liuqianxin A

不育系 CMS line	平均值 Average (%)	变幅 Range (%)
BT 六千辛 A BT Liuqianxin A	33.95 a	11.63–53.57
HL 六千辛 A HL Liuqianxin A	25.55 a	14.81–38.89
CL 六千辛 A CL Liuqianxin A	25.35 a	10.42–37.93
WA 六千辛 A WA Liuqianxin A	9.49 b	3.30–27.08

同一列中字母不同表示不同细胞质间在 0.05 水平上显著差异。

Values within a column followed by different letter are significantly different among different cytoplasm at the 0.05 level, respectively.

同^[15], WA 型六千辛 A 的异交结实率显著低于 HL 型和 CL 型六千辛 A, 开花习性差是导致其异交结实率低的主要原因。

2.5 同核异质六千辛 A 的可恢复性

4 种细胞质粳稻不育系六千辛 A 及其保持系六千辛 B 与 181 个粳稻亲本(包括 2 个广亲和籼稻恢复系和 1 个广亲和籼稻品种)测交 F₁ 小穗育性分布情况

统计于表 5。

由表 5 测交 F₁ 小穗育性分布来看, 几乎所有不育系杂种的育性均低于保持系杂种, 不育细胞质对杂种育性的影响十分明显。由于测交亲本中 77% 都是 BT 型粳稻恢复系(108 个)或广亲和恢复系(30 个), 因此 BT 型六千辛 A 测交 F₁ 的育性最高, 小穗育性达到 80% 以上的组合数占 70% 以上; HL 型和 CL 型六千辛 A 测交 F₁ 小穗育性的分布情况类似, 小穗育性达到 80% 以上的组合数分别占 18.6% 和 18.0%; WA 型六千辛 A 测交 F₁ 小穗育性达到 80% 以上的组合数仅占 3.5%, 有 51.2% 的组合小穗育性在 10.0% 以下。测交 F₁ 小穗育性分布情况表明, HL 型、CL 型粳稻不育系的可恢复性虽然不如 BT 型不育系, 但明显好于 WA 型不育系, 从 BT 型粳稻恢复系中可以筛选到 HL 型粳稻不育系的恢复系。

进一步对与 4 种细胞质不育系及保持系配制完整的 141 组杂种的小穗育性进行方差分析, 结果见表 6。

表 5 同核异质六千辛 A 与粳稻亲本测交 F₁ 的小穗育性分布情况

Table 5 Distribution of the spikelet fertility of F₁ hybrids between isonuclear alloplasmic Liuqianxin A and japonica parents

不育系/保持系 CMS line/ maintainer line	组合总数 Total No. of combina- tions	数据类型 Data type	小穗育性 Spikelet fertility (%)									
			0–10	–20	–30	–40	–50	–60	–70	–80	–90	–100
六千辛 B Liuqianxin B	158	No.	1	0	0	1	2	0	4	8	30	112
		%	0.6	0.0	0.0	0.6	1.3	0.0	2.5	5.1	19.0	70.9
BT 六千辛 A BT Liuqianxin A	174	No.	6	6	2	2	4	5	6	19	43	81
		%	3.4	3.4	1.1	1.1	2.3	2.9	3.4	10.9	24.7	46.6
HL 六千辛 A HL Liuqianxin A	177	No.	24	12	12	18	11	18	23	26	23	10
		%	13.6	6.8	6.8	10.2	6.2	10.2	13.0	14.7	13.0	5.6
CL 六千辛 A CL Liuqianxin A	172	No.	24	14	11	8	20	18	18	28	22	9
		%	14.0	8.1	6.4	4.7	11.6	10.5	10.5	16.3	12.8	5.2
WA 六千辛 A WA Liuqianxin A	172	No.	88	24	14	10	12	5	8	5	5	1
		%	51.2	14.0	8.1	5.8	7.0	2.9	4.7	2.9	2.9	0.6

No.: number of combinations.

表 6 同核异质六千辛 A 与粳稻亲本测交 F₁ 小穗育性的方差分析Table 6 Variance analysis of the spikelet fertility of F₁ hybrids between isonuclear alloplasmic Liuqianxin A and japonica parents

变异来源 Source of variation	SS	df	MS	F
细胞质 Cytoplasm ①	1075848.683	4	268962.171	10661.808**
测交父本 Male parent ②	601492.715	140	4296.377	170.311**
细胞质×测交父本 ①×②	416603.590	560	743.935	29.490**
误差 Error	71139.280	2820	25.227	
总变异 Total variation	2165084.269	3524		

** 表示达 0.01 显著水平。 ** Significant at the 0.01 level.

由表 6 可见, 细胞质间、测交亲本间以及两者间的互作均达到极显著, 其中细胞质的效应特别明显。表 7 表明, 除 HL 型和 CL 型六千辛 A 测交 F₁ 平均小穗育性无显著差异外, 其他细胞质间的差异均极显著, 以 BT 型六千辛 A 的可恢复性最好, 所配杂种的平均小穗育性可达 80% 以上, 其次为 HL 型和 CL 型六千辛 A, 杂种的平均小穗育性可达 50% 以上, WA 型六千辛 A 可恢复性最差, 平均小穗育性仅为 21.92%。

3 讨论

BT 型不育系不育性欠稳定, 常有自交结实发生, 影响杂种纯度, 是致使杂交粳稻发展缓慢的原因之一。鉴于 WA 型不育性稳定, 在三系杂交粳稻中取得了举世瞩目的成就, 育种家们从 20 世纪 70 年代便开始考虑开展 WA 型粳三系育种工作, 终因转育成的 WA 型粳稻不育系开花习性差、难以筛选到强恢复源等原因, 一直未见有关 WA 型粳稻不育系应用于生产的报道。本研究中 WA 型粳稻不育系花期漫长、日始花时间比保持系明显滞后、无明显开花高峰, 138 份 BT 型粳稻恢复系和广亲和粳稻恢复系中仅筛选到 4 份对 WA 型粳稻不育系恢复力较好, 即便是 WA 型粳稻恢复系也难以使 WA 型粳稻不育系正常恢复^[15], 因此目前 WA 型不育细胞质还难以应用于粳稻杂种优势利用, 寻找在杂交粳稻中可资

利用的其他不育细胞质源, 成为育种家研究的重要课题之一。

同核异质雄性不育系核背景相同, 不育系之间的差异源于细胞质基因作用。因此, 同核异质雄性不育系是比较研究不同细胞质不育系应用特性的最好材料。关于籼稻同核异质不育系应用特性的比较研究已有许多报道^[17-20], 而粳稻中这方面的探讨还不多。梅启明^[21]、戴捷等^[22]先后对 12 种不同细胞质来源的粳选 2 号、粳选 6 号、农垦 58 等 3 套同核异质粳稻不育系的不育特性进行了比较, WA、ID、G、D 型等 9 类不育系花粉败育类型以典败为主, HL 型以圆败为主, BT 型和滇型(DT 型)以染败为主^[21-22], 但未对这些不育系的自交结实性、可恢复性及异交习性作比较, 亦未评价各不育细胞质在粳稻中的应用前景。汤述翥^[15]研究比较了 BT、HL、WA 型 3 种代表类型同核异质粳稻不育系的应用特性, 提出在粳稻杂种优势利用中可以用 HL 型不育系部分替代 BT 型不育系的观点。

湖南茶陵普通野生稻(*O. rufipogon*)分布于 N 26°80' 左右地域, 是我国现今分布仅次于江西东乡野生稻最北沿的普通野生稻之一^[23]。关于茶陵野生稻的分布、特征以及与稻作起源发展关系的探讨有过一些报道^[23-25], 但未见育种应用的报道, 原因是育种家将茶陵野生稻的细胞质导入籼稻后育成的不育系育性很不稳定, 存在部分恢复现象, 无法在杂交

表 7 同核异质六千辛 A 与粳稻亲本测交 F₁ 小穗育性的差异显著性Table 7 Significant difference of the spikelet fertility of F₁ hybrids between isonuclear alloplasmic Liuqianxin A and japonica parents

不育系/保持系 CMS lines/maintainer lines	测交 F ₁ 平均小穗育性 Average spikelet fertility of F ₁ (%)	差异显著性 Different significance	
		5%	1%
六千辛 B Liuqianxin B	90.45	a	A
BT 六千辛 A BT Liuqianxin A	80.06	b	B
HL 六千辛 A HL Liuqianxin A	52.44	c	C
CL 六千辛 A CL Liuqianxin A	51.57	c	C
WA 六千辛 A WA Liuqianxin A	21.92	d	D

同一列中小写字母或大写字母不同表示不同细胞质间在 0.05 或 0.01 水平上显著差异。

Different lowercase or majuscule within a column indicate significantly different among different cytoplasm at the 0.05 or 0.01 levels.

粳稻育种中利用。江苏省农业科学院将茶陵野生稻不育细胞质导入粳稻品种六千辛中, 育成 CL 型六千辛 A, 苦于找不到适合的恢复系, 也未能应用于杂交配组^[26]。本研究表明, CL 型六千辛 A 各特性均与 HL 型六千辛 A 相近, 两者不育性较 BT 型六千辛 A 稳定, 开花习性、异交习性均与 BT 型六千辛 A 无显著差异。HL 型和 CL 型不育系恢保关系十分一致, 可恢复性明显优于 WA 型六千辛 A, 其不育细胞质有望在粳稻杂种优势利用中应用。育种实践也证明 HL 型不育系已成功应用于杂交粳稻育种和生产, 如粤优 938 和红莲优 6 号^[3-5]。因此, 实现 HL 型、CL 型粳稻三系配套和应用, 理论上是可行的。

HL 型或 CL 型粳稻不育系一旦在生产上成功应用, 将大大提高粳稻不育系的稳定性, 优化杂交粳稻种子生产体系, 减少投资风险, 同时还可以解决目前生产上杂交粳稻 BT 型细胞质单一的问题, 对保持农业生产的稳定具有重要的意义。

4 结论

BT 型粳稻不育系开花习性好、异交结实率高, 可恢复性好, 但育性稳定性相对较差, 在特殊条件下有自交结实现象, 生产应用的安全性较差; WA 型粳稻不育系育性最稳定, 但开花习性、异交结实性差, 育性最难恢复, 生产应用较困难; HL 型、CL 型粳稻不育系开花习性及其异交结实率与 BT 型粳稻不育系无显著差异, 育性稳定性明显好于 BT 型粳稻不育系, 可恢复性明显好于 WA 型粳稻不育系, 较好地协调了育性稳定性、开花习性和可恢复性几方面的矛盾。因此, 选育 HL 型、CL 型粳稻不育系及其相应的恢复系, 可能是解决目前生产上杂交粳稻中 BT 型不育系育性欠稳定和细胞质单一等问题的一个突破口。

References

- [1] Yuan L-P(袁隆平), Chen H-X(陈洪新). Hybrid Rice Breeding and Cultivation (杂交水稻育种栽培学). Changsha: Hunan Science and Technology Press, 1988. pp 12, 83–84 (in Chinese)
- [2] Li Z-B(李泽炳). A preliminary discussion about the classification of male sterile lines of rice in China. *Acta Agron Sin* (作物学报), 1980, 6(1): 17–24 (in Chinese with English abstract)
- [3] Li C-G(李传国), Wu Y-Y(伍应运), Liang S-H(梁世湖), Fu F-H(符福鸿), Huang D-J(黄德娟). Characteristics of Honglian-type CMS line Yuetai A in hybrid rice breeding. *Hybrid Rice* (杂交水稻), 1998, 13(4): 6–8 (in Chinese with English abstract)
- [4] Miao B-L(缪炳良), Huang B-C(黄宝才), Zhang Z-M(张支明), Li C-G(李传国). Evaluation and application of a new combination of *indica* hybrid rice Yueyou 938 with high quality and yield. *Jiangsu Agric Sci* (江苏农业科学), 1999, (4): 16–17 (in Chinese)
- [5] Zhang Y-Z(张银祖), Long X-M(龙新明), Gao D-D(高登东), Li J-H(李建红). A new combination of hybrid mid-rice Honglian-you 6. *China Seed Industry* (中国种业), 2002, (9): 39 (in Chinese)
- [6] Deng H-F(邓华凤), He Q(何强), Shu F(舒服), Zhang W-H(张武汉), Yang F(杨飞), Jing Y-H(荆彦辉), Dong L(东丽), Xie H(谢辉). Status and technical strategy on development of *japonica* hybrid rice in China. *Hybrid Rice* (杂交水稻), 2006, 21(1): 1–6 (in Chinese with English abstract)
- [7] Wang C-L(王才林), Tang Y-G(汤玉庚), Tang S-Z(汤述翥), Liu Y-S(刘云松), Zhang Z-L(张兆兰), Shi J-D(施建达). Causes and prevent measures of countermeasures to admixture of *japonica* hybrid rice Liuyou. *Jiangsu Agric Sci* (江苏农业科学), 1988, (4): 10–12, 34 (in Chinese)
- [8] Li C-Q(李成荃), Wang S-H(王守海), Wang D-Z(王德正), Luo Y-C(罗彦长), Zhang P-J(张培江), Wu S(吴爽), Du S-Y(杜士云), Xu C-W(许传万). Review and prospect of the studies on *japonica* hybrid rice in Anhui. *J Anhui Agric Sci* (安徽农业科学), 2005, 33(1): 1–4 (in Chinese with English abstract)
- [9] Quan L-Y(全立勇), Hu H-G(胡惠根), Li F-X(李福兴), Cai B-X(蔡炳祥). The causes and decreasing countermeasures of male sterile plants existing in *japonica* hybrid rice. *Hybrid Rice* (杂交水稻), 2001, 16(4): 32–33 (in Chinese)
- [10] Lin S(林生), Yang Z-Y(杨振玉), Qi D-Q(齐德权). Analytical study on the fertile stability of BT-type CMS line Xiuling A. *Hybrid Rice* (杂交水稻), 1987, 2(3): 9–12 (in Chinese)
- [11] Chi K-S(迟克生), Hua Z-T(华泽田), Su Y-A(苏玉安), Yang Z-Y(杨振玉). Breeding and purification of *japonica* CMS lines. *Hybrid Rice* (杂交水稻), 1995, 10(5): 12–14 (in Chinese with English abstract)
- [12] Wang J-L(王建林), Xu Z-J(徐正进), Zhuo S-Q(周淑清), Liu L-X(刘丽贤), Lü Y-N(吕英娜). Developing status and prospect of hybrid *japonica* rice in northern China. *J Shenyang Agric Univ* (沈阳农业大学学报), 2002, 33(2): 146–150 (in Chinese with English abstract)
- [13] Hua Z-T(华泽田), Wang Y-R(王彦荣), Wang Y(王岩), Cai W(蔡伟), Dai G-J(代贵金), Hao X-B(郝宪彬). On the problems in *japonica* hybrid rice breeding in Liaoning. *Hybrid Rice* (杂交水稻), 2001, 16(2): 1–4 (in Chinese with English abstract)
- [14] Ma H-W(马洪文), Wang X-S(王兴盛). Status and prospect of *japonica* hybrid rice breeding in Ningxia. *Ningxia J Agric For Sci Technol* (宁夏农林科技), 2000, (6): 47–48 (in Chinese)
- [15] Tang S-Z(汤述翥), Sun Y(孙叶), Zhang H-G(张宏根), Gu Y-J(顾燕娟), Lu J-F(陆驹飞), Tian S(田舜), Yu B(余波), Gu M-H(顾铭洪). Comparison of the applied characteristics of the isonuclear alloplasmic CMS lines in *japonica* rice. *Chin J Rice Sci* (中国水稻科学), 2005, 19(6): 521–526 (in Chinese with English abstract)
- [16] Li Y-C(李友春), Liu Z-Q(刘仲齐). Effect of T-type cytoplasm on the neck length of spike and plant height and their components in

- wheat. *Southwest China J Agric Sci* (西南农业学报), 1994, 7(2): 22–26 (in Chinese with English abstract)
- [17] Yan W-G(严文贵). Studies on outcrossing habits of several isonuclear alloplasmic CMS lines. *Hybrid Rice* (杂交水稻), 1987, 2(4): 8–11 (in Chinese)
- [18] Wang W-M(王文明), Zhou K-D(周开达), Wen H-C(文宏灿), Yuan G-L(袁国良). Cytoplasm-nucleus-interaction of flowering variation in *indica* rice (*O. sativa* L. ssp. *indica*). *J Sichuan Agric Univ* (四川农业大学学报), 1995, 13(4): 461–464 (in Chinese with English abstract)
- [19] Huang R-H(黄荣华), Yang R-C(杨仁崔), Liang K-J(梁康逵). Comparison of the male sterility of Longtepu isonucleus- allocytoplasmic CMS lines. *J Fujian Agric Univ* (福建农业大学学报), 2000, 29(3): 277–280 (in Chinese with English abstract)
- [20] Zhan X-D(占小登), Cao L-Y(曹立勇), Zhai H-Q(翟虎渠), Cheng S-H(程式华). Development of isonucleus-allocytoplasmic CMS lines with wide compatibility in rice and their performance in main agronomic characters. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2003, 29(2): 241–244 (in Chinese with English abstract)
- [21] Mei Q-M(梅启明). Study on breeding of homokaryotic-heteroplasmic male-sterile lines in rice. *Hubei Agric Sci* (湖北农业科学), 1998, (1): 7–10 (in Chinese with English abstract)
- [22] Dai J(戴捷), Mei Q-M(梅启明), Liu X-C(刘小川), Liu Y(刘义). Breeding and sterile characteristic study of Nongken 58 isonuclear alloplasmic CMS lines in rice (*Oryza sativa* L.). *Hubei Agric Sci* (湖北农业科学), 2003, (3): 14–16 (in Chinese with English abstract)
- [23] Liu G-H(刘贵华), Wang H-Y(王海洋), Zhou J(周进), Guo Y-H(郭友好). Spatial distribution and niche analysis of dominant species at the *Oryza rufipogon* reserve in Chaling, Hunan. *Acta Phytoecol Sin* (植物生态学报), 2001, 25(1): 65–70 (in Chinese with English abstract)
- [24] Zhang W-X(张文绪). Feature observation of Chaling ordinary wild rice. *J Zhuzhou Inst Technol* (株洲工学院学报), 1999, 13(5): 46–48 (in Chinese with English abstract)
- [25] Zhang G-W(张公武), Zou P-Y(邹培云). The relationship between Chaling wild rice and the origin of rice-farming. *J Zhuzhou Inst Technol* (株洲工学院学报), 1999, 13(6): 38–41 (in Chinese with English abstract)
- [26] Su Z-Q(苏自强), Gu F-L(谷福林), Zhang M-J(张美娟), Liu L-J(刘良军). Breeding and utilization of Chaling wild *japonica* CMS lines. *China Rice* (中国稻米), 2004, (1): 19 (in Chinese)