

## 两系杂交稻现代安全繁殖制种技术研究进展

唐文邦<sup>1,2</sup>, 王建龙<sup>1,2</sup>, 陈立云<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>湖南农业大学, 长沙 410128; <sup>2</sup>湖南金健种业有限责任公司, 湖南常德 15000)

**摘要:**此文论述了两系杂交稻现代安全繁殖制种的重要意义, 提出两系不育系育性转换起点温度偏高及其“遗传漂变”、制种基地选择和季节安排不合理、不育系繁殖产量不稳定等是目前两系安全繁殖制种中存在的主要问题, 指明选育实用光温敏核不育系、加强“核心种子”生产、利用“低温繁殖有效积温原理”进行安全高产繁殖、基于种子生产基地气象决策支持系统有效地选择制种基地和时段等是解决问题的主要技术措施。

**关键词:**两系杂交稻; 安全; 繁殖制种; 技术

中图分类号: S3

文献标志码: A

论文编号: 2010-2224

### Advances in Induced Technology of Modern Safe Seed Breeding and Hybrid Seed Production of Two-line Hybrid Rice

Tang Wenbang<sup>1</sup>, Wang Jianlong<sup>1,2</sup>, Chen Liyun<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Institute of Rice Science, HNAU, Changsha 410128; <sup>2</sup>Hunan Jinjian Seeds Industry Company Ltd., Changde Hunan 415000)

**Abstract:** The significance of modern safe seed breeding and hybrid seed production of two-line hybrid rice were discussed, the high fertility conversion temperature, “genetic drift”, the selection of seed production bases, the unreasonable arrangements of seed production seasons and the unstable output of TGMS line reproduction were the major problems existed in the safe seed breeding and production of two-line hybrid rice which were proposed in this paper. The selection of practical TGMS line, the strengthen of “core seed” production and using the principle of “low temperature breeding and effective temperature accumulation” were specified, which were used to security high-yield breeding of two-line hybrid rice. The weather decision support system of hybrid seed production base was based for effective chosen the hybrid seed production base and the production time which was the main technical measurements for solving the problems above.

**Key words:** two-line hybrid rice; security; seed breeding; technology

#### 0 引言

两系法杂交水稻是中国独创的以光温敏核不育性的利用为主要内容的高新技术, 是继三系法杂交水稻之后的重大技术革新。两系法配组自由, 易于选配出强优势、好品质、多抗性组合的优点。然而随着两系法杂交水稻研究的不断深入以及大面积生产应用, 出现了许多需要解决的现实问题, 如生产上迫切需要制种

安全的两用核不育系, 迫切需要防止水稻两用核不育系育性漂变的更好原种生产方法, 迫切需要安全高产、稳产、高效的不育系繁殖和杂交制种技术。当前生产上育成的两用核不育系数量较多, 但能大面积应用于杂交种生产的尚不多, 大多两用核不育系的不育起点温度偏高, 杂交制种风险大, 应用基础研究滞后等, 这些问题严重阻碍了两系法杂交水稻组合产业化开发。

**基金项目:** 农业科技成果转化资金项目(2008D0010414); 国家863计划项目:(2010AA101306)。

**第一作者简介:** 唐文邦, 男, 1949年出生, 湖南长沙人, 博士, 副研究员, 主要从事水稻杂种优势利用研究, 通信地址: 410128 湖南农业大学农学院, Tel: 0731-84618625, Email: tangwenbang@yahoo.com.cn。

**通讯作者:** 陈立云, 男, 1949年出生, 湖南华容人, 教授, 本科, 学位, 水稻遗传育种。通信地址: 410128 湖南农业大学农学院, Tel: 0731-84618625, Email: chenliyun996@163.com; 王建龙, 男, 1966年出生, 研究员, 博士, 水稻遗传育种。通信地址: 415000 湖南金健种业有限责任公司, Tel: 0736-7625777, Email: wangjianlong365@yahoo.com.cn。

**收稿日期:** 2010-07-21, **修回日期:** 2010-08-15。

在两系法杂交水稻的生产实际中,有许多理论问题有待深入研究,已有的一些理论不能很好地指导两系法杂交水稻选育和种子生产。此研究针对这些热点、难点问题,在总结前人经验的基础上,笔者开展了一系列研究,取得了一些研究进展,以便为两系育种和生产应用提供参考。

## 1 两系杂交稻现代安全繁殖制种的意义

### 1.1 两系种子生产安全直接关系到国家粮食安全

历经30年的研究,中国已选育一大批通过省级审定的水稻两用核不育系,并选配出一批强优势的杂交组合。到2007年为止,已有78个两用核不育系配制的杂交组合应用于生产,通过省级或国家审定的两系杂交组合共243个<sup>[1]</sup>。2007年审定的两系组合占同期审定水稻品种的17.0%,2007年农业部认定的12个超级稻中两系占25%。近年来,两系杂交稻的推广面积呈逐年上升的趋势,2008年中国两系杂交稻种植面积在334万 $\text{hm}^2$ 以上,约占杂交稻播种面积的25%,在湖南、湖北、安徽等省的两系杂交稻种植面积已超过三系杂交稻,生产上已占主导地位<sup>[1]</sup>。两系种子安全生产直接关系到国家粮食安全。

### 1.2 两系种子生产安全直接关系到两系杂交稻持续安全高效生产

中国两系杂交稻经过多年的发展,已积累了坚实的理论基础与丰富的实践经验,但两系杂交稻的理论与技术尚在进一步发展与完善之中,有些问题尚有待进一步研究与提升。两系杂交稻安全生产,有助于阐明两用核不育系育性光温反应的机理,为实用两系核不育系选育及其应用提供指导。两系杂交稻安全制种和高产繁殖理论与技术,将为两系杂交稻大面积安全高效种子生产提供强有力的技术支撑,解决当前制约中国两系杂交稻产业化中的关键技术瓶颈问题,促进中国两系杂交稻更大规模的推广应用。

### 1.3 两系种子生产安全有利于扩大双季稻种植面积,增加粮食生产能力

2007年双季早稻种植面积继续下滑到582.4万 $\text{hm}^2$ ,同比下降幅度为2.8%<sup>[1]</sup>。2008年国家和有关双季稻种植省区相继出台了一系列优惠政策,以稳定水稻种植面积,恢复并扩大双季稻种植,但收效甚微。主要原因在于当前适合作双季稻配套种植的超高产、生育期适宜的杂交早、晚稻品种欠缺,不能满足双季稻区农民种植需求。两系不育系配组自由,已经有一大批优质、生育期适宜的早、晚稻组合,有着三系杂交稻不可比拟的优势。因此,扩大双季稻种植面积,增加粮食生产能力,可保证两系杂交稻种子生产安全。

## 2 两系杂交稻安全繁殖制种中存在的主要问题及其原因

由于两用核不育系受遗传和光温等生态条件的共同影响,而光温等生态条件又难以人为控制,严重制约了两系杂交稻的发展。两系杂交稻面临的困难中,尤为突出的是种子生产的安全性问题。

### 2.1 两系不育系育性转换起点温度偏高导致制种不安全

各地通过从‘农垦58S’、‘安农S-1’转育及其他途径,相继育成了‘培矮64S’、‘安农810S’、‘广占63S’等一批两用核不育系,这些不育系大部分育性转换起点温在23.5~24℃<sup>[2-5]</sup>,甚至也有更高的不育系在生产上应用。这种不育起点温度即便是把育性敏感期安排在一年中7月中到8月中的最高温时段,也难免不会出现低于23.5℃的天气。据不完全统计,2009年江苏、四川、安徽等地约0.667万 $\text{hm}^2$ 的两系制种,因日全食后的连续低温导致不育系恢复可育而使制种失败,直接经济损失近亿元,尤为严重的是将造成下年度强优势两系杂交稻组合种植面积减少133万 $\text{hm}^2$ 以上,给国家粮食安全带来严重隐患,这类制种失败的主要原因归纳为不育系育性转换起点温度过高。而C815S、Y58S这些育性转换起点温度在22~22.5℃的不育系在制种上就比较安全<sup>[6-7]</sup>。

### 2.2 两系不育系不育起点温度“漂变”导致制种不安全

两系不育系审定时的育性转换起点温度虽然应用标准,但在使用过程中因育性“漂变”,致使起点温度逐步升高,最终导致制种失败。生产上广泛应用的两系核不育系培矮64S,1991年通过省级鉴定时育性转换的临界温度为23.3℃,而到1993年转换的临界温度已上升到24.2℃,1994年有些地方更高,达26℃左右,结果是不育起点温度“漂变”的不育系种子因自交结实,出现“假杂种”<sup>[8]</sup>。导致两用核不育系起点温度“漂变”的根本原因是不育系育性遗传的稳定性和变异性共同作用的结果。从遗传模型来分析,光温敏核不育性既受主基因调控,又受微效多基因修饰,由于数目众多,难以纯合且又对光温等生态因子敏感的微效多基因的存在具有普遍性,在自交繁殖中存在交换和重组,使后代群体产生带有不同数目显性微效基因的个体,不育起点温度较高的个体因可育的温度范围较广,自交结实率一般较高,因而它们在群体中的比例不断加大,从而出现不育起点温度的遗传“漂变”现象<sup>[9-17]</sup>。

### 2.3 两系制种基地选择和季节安排不合理导致制种不安全

由于两系法制种母本不育性受生态条件影响,当

环境温度低于育性转换下限温度时,该不育系就会部分恢复雄性可育,造成严重损失。如1999年湖南省生产香‘两优68’,因受低温影响,致使0.13万hm<sup>2</sup>制种田发生种子混杂;2002年8月中旬的盛夏低温,导致湖北、江苏等省生产的‘两优培九’种子有1/3纯度低于国家标准。抽穗扬花期的天气条件直接影响异交结实率,而灌浆结实期及成熟收获期的气候条件则直接影响种子的播种品质。2003年早夏制大部分组合种子发芽率偏低,其主要原因就是由于遭遇了五十年一遇的高温干旱天气。同样,若灌浆结实期阴雨天气过多或湿度过高,则极易导致穗上发芽<sup>[18-19]</sup>。

#### 2.4 两系不育系繁殖产量不稳定导致繁殖制种不安全

冷水串灌繁殖存在许多的制约因素,如水库底层的水温达不到繁殖要求;繁殖期需水与大面积生产用水发生冲突;能进行冷灌繁殖的资源有限等。利用自然低温繁种主要在高海拔地区和海南冬季繁种,由于温敏不育系的可育温度范围很窄,通常在19℃~22℃之间,育性敏感期全都遇上这样温度天气的概率很小,如利用历史气象资料把育性敏感期和抽穗扬花期所要求的适宜日均温都考虑,海南三亚市繁殖的安全系数30%以下,如2008年春季罕见的连续低温导致不育系生理不育;2009年春季连续高温影响,导致不育系繁殖失收,因两系不育系供应数量不足、质量较差,严重影响了制种生产和杂交种子的市场需求。

### 3 两用核不育系繁殖制种技术研究进展

深入分析两系杂交稻生产中的一系列问题,不难发现当前两系杂交稻应用困难的根本原因在于对两系法杂交水稻特别是不育系的育性机理研究认识不够深入,多数种子企业进行两系杂交稻制种生产时,制种基地和时段安排不合理。因此,加强两系杂交稻的应用基础特别是不育系繁殖制种技术的研究,已是迫在眉睫的重大课题。

#### 3.1 选育实用光温敏核不育系

降低两系繁殖制种风险的关键技术是选育实用光温敏核不育系。所谓“实用”是指不育系育性转换明显,制种风险率低,自身繁殖可靠等。许多学者提出解决制种风险问题的方法是选育临界温度为22℃甚至21℃的不育系<sup>[12-19]</sup>;袁隆平<sup>[20]</sup>提炼出实用光温敏不育系的四项具体指标,其中最关键的指标是不育起点温度必须低;还有学者提出选育生理下限温度低和不育起点温度低的“双低”两用不育系<sup>[24]</sup>。近年有关于重组型光温敏核不育系的选育报道,如C815S,它是‘农垦58S’的光敏不育基因与‘安农S-1’的温敏不育基因聚合重组选育而成的水稻两用核不育系,其不育临界温

度受温度和光照共同控制,在湖南长日照条件下,其不育临界温度为22.0℃以下;在海南短日照条件下,其不育临界温度为23.5℃,从而达到制种安全,繁殖可靠的目的<sup>[21]</sup>。

#### 3.2 克服不育起点温度“漂变”

3.2.1 加强“核心种子”生产 袁隆平<sup>[20]</sup>提出实施以生产“核心种子”为关键技术措施的光温敏不育系的提纯和原种生产程序可以有效地控制起点温度的“漂变”。实践证明,“核心种子”技术能在一定程度上防止不育系不育起点温度逐代提高。目前笔者为防止C815S等不育系起点温度的“漂变”的技术是“核心种子”生产与保留低世代种子相结合的办法,即利用“核心种子”技术提纯的不育系单株种子低温保存,同时不丢失该单株禾颖,每年利用同一批禾颖生产原原种。实践表明,这一方法简单易行,既能使C815S起点温度不漂高,同时又能保证不育系原种的数量和纯度。

3.2.2 选育“缓漂变”(“无漂变”)实用光温敏新不育系 “核心种子”技术虽然能有效地控制不育起点温度的“漂变”,但尚未达到治本的目的,并且该办法技术含量高,一般的种子公司不能胜任,而且每年都必须提纯,因而需要培育“无漂变”或“缓漂变”的不育系。有关这方面的研究报道不多,廖伏明等<sup>[22]</sup>认为高世代人工气候处理,控制不育起点温度在特定范围内进行有限的提纯,或高世代不育系花药培养后自然加倍,使基因纯合一致,理论上从这种群体中选出的低温敏不育株应不再存在不育起点温度的“漂变”问题;以微效基因作用小的不育系作基因供体,选遗传背景比较简单的优良常规籼稻品种作受体亲本,选育“缓漂变”实用光温敏新不育系。已出现关于“无漂变”光温敏核不育系HN5S的报道。

#### 3.3 两系不育系安全繁殖

3.3.1 两系繁殖“低温繁殖有效积温”原理 研究发现,在进行两系繁殖时,不育系在育性敏感期必须接受足够数量的低温刺激后育性才会发生波动,据此提出了“低温繁殖有效积温”的概念,即低温繁殖有效积温= $\sum$ (不育起点温度-日平均温度),每个不育系的低温繁殖有效积温值不一致,可以通过建立积温—产量回归模型,找出不同不育系的“最适低温繁殖有效积温”。

用20.5℃的冷水恒温处理C815S 7~21天,其植株性状和产量都有明显的变化(表1),通过温度—产量回归模型,该不育系的最适低温繁殖有效积温37.5℃左右。

3.3.2 不育系一季加再生冷水串灌繁殖 选用冷水源充足的水库底层水或山泉水串灌繁殖两用核不育系,可

表1 C815S 19.5℃处理不同天数的性状表现

处理天数/天	株高/cm	穗长/cm	未包颈粒数/粒	包颈粒数/粒	结实粒数/粒	总粒数/粒	结实率/%	千粒重/ g	穗数/ 个	单株重/ g	产量 (kg/hm <sup>2</sup> )
0	74	20.8	165.7	21	0	208.7	0	24	33	0	0
7	77.7	19.2	176.1	10.5	44.8	186.5	24.1	24	22	23.6	4426.5
9	77.2	19.7	183	15.2	57.6	198.2	29.2	24	21	29.3	5434.5
11	77.8	19.1	190.87	11.9	71.5	202.7	35.0	24	19.6	33.6	6313.5
13	80.9	16.3	167.7	11.5	83.7	179.2	46.5	24	18	36.1	6766.5
15	81.7	18.4	157.1	8.2	101.0	166.3	60.8	24	17	41.5	7729.5
17	81.5	18.3	155.4	8.6	97.3	163.3	59.4	24	17	39.7	7743.0
19	81.1	18.0	146.5	9.2	83.4	158.4	52.7	23.8	16.5	32.7	6139.5
21	79.3	17.2	131.4	11.4	75.6	155.2	48.7	23.5	16.3	28.9	5428.5

以采用一季加再生繁殖的繁殖方式。在头季收割前7天施150 kg/hm<sup>2</sup>尿素促再生芽,留桩高度为20~25 cm,头季收割后及时追肥,提早灌水。一季加再生繁殖方式提高了两系繁殖成功率,并且再生季敏感期在8月底,遇到自然低温的概率很高。C815S连续3年在长沙进行一季加再生原种生产,繁殖产量三年平均超过7500 kg/hm<sup>2</sup>;连续2年在郴州万化岩进行一季加再生繁殖,两年产量都超过5550 kg/hm<sup>2</sup>。据此,笔者申请专利“水稻两用核不育系一季加再生冷水串灌繁殖技术”申请号200710301003.9。

**3.3.3 不育系高海拔辅以冷水串灌繁殖** 在高海拔(900~1200 m)低纬度的山区,选择水源充足的地方进行两系不育系繁殖,正常条件下当地的低温条件能满足繁殖要求,如繁殖遇到异常高温天气,白天可以用山泉水予以串灌,夜间停止灌溉并排干集水。早稻类型的不育系在高海拔低纬度的山区繁殖,利用设施3月25日左右播种,敏感期安排在5月下旬,这样自然低温、高海拔低温、山泉水低温三重保险确保繁殖成功,2003—2009年9771S、株1S等早稻类型的不育系在湖南邵阳雪峰山繁殖都获得了成功,2009年中稻不育系C815S在湖南新化紫雀界繁殖,敏感期遇山下遇35℃高温,山上白天最高温度在29℃左右,夜间可降至18℃,所以白天通过灌冷水降温,最终繁殖还获得了2595 kg/hm<sup>2</sup>的产量。

**3.4 基于种子生产基地气象决策支持系统,选择两系繁殖制种最佳基地和时段**

根据50年历史气象资料和制种不同时段对气象条件的要求,设计开发了两系制种基地气象决策支持系统<sup>[23]</sup>,并申请专利“一种两系法杂交水稻制种基地和时段选择的方法”,申请号:200710301004.3。该系统能够根据历史气象资料分析两系繁殖制种“三个

安全期”的风险概率及适宜制种区域和时段。基于该系统对有代表性的制种基地分析,如江苏盐城,起点温度为23℃的不育系制种安全范围只在7月下旬和8月上旬较窄的范围内,而起点温度为24℃的不育系制种是不安全的。广西白色地区将起点温度为24℃的两用核不育系的育性敏感期安排在7月初到8月底都是安全的。因此,科学地选择两系杂交制种基地,合理地进行生产布局和时间安排,能够降低制种风险。

由于全球气候的变化,异常低温天气发生的频率加大,因此在选择制种基地和时段的时最好将不育系不育起点温度提高0.5℃进行分析,留0.5℃的安全温度,以确保两系杂交稻种子生产的安全。

#### 4 结语

两系杂交水稻是中国发明的一项具有国际领先水平的重大科技成果,是保障粮食丰产最有效的技术途径之一,但是面对国家粮食安全严峻的形式,还需要不断做好以下几个方面的工作。第一,必须加大科研协作攻关和设施建设力度,协作攻关两系杂交水稻的应用基础研究、制种安全的两用核不育系选育、安全高产高质高效杂交制种技术研究、两用核不育系高产稳产繁殖和原种生产技术研究;设施建设包括两系制种基地和繁殖基地。第二,严格水稻两用核不育系的审定程序和标准,目前只有少数省份需进行两用核不育系的审定,大部分的省份只需对不育系进行鉴定,国家审定的两系杂交稻组合也没有要求不育系通过国家审定。第三,对生产上应用的两用核不育系进行一次全面的育性光温特性鉴定,建立两用核不育系育性变化和种子质量监控的长效机制,防止生产上大面积应用的两用核不育系不育起点温度漂高等问题的发生。

## 参考文献

- [1] 杨仕华,程本义,沈伟峰,等.中国两系杂交水稻选育与应用进展[J].杂交水稻,2009,24(1):5-9.
- [2] 雷东阳,周晓娇,肖层林,等.两系杂交稻制种基地气象决策支持系统[J].中国农业气象,2009,30(1):96-101.
- [3] 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.
- [4] 肖国樱,邓晓湘,唐俐,等.水稻光温敏核不育系育性波动的解决途径和方法[J].杂交水稻,2000,15(4):4-5.
- [5] 肖层林,周承恕.两系杂交种子纯度的影响因素与保纯技术[J].杂交水稻,2000,15(2):12-14.
- [6] 何强,陈立云,邓华凤,等.水稻C815S及其同源株系的育性光温特性[J].作物学报,2007,33(2):262-268.
- [7] 陈立云,肖应辉,唐文帮,等.超级杂交稻育种三步法设想与实践[J].中国水稻科学,2007,21(1):90-94.
- [8] 邹江石,姚克敏,邓芳萍.培矮64S的育性特征及其安全使用技术[J].作物学报,2003,29(1):87-92.
- [9] 邓华凤,舒福,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.
- [10] 牟同敏,卢兴桂.光敏感核不育水稻研究现状及展望[J].农牧情报研究,1989,1:1-7.
- [11] 李丁民,梁世荣,蹇绮林.湖北光敏核不育水稻在华南的利用研究[J].杂交水稻,1989,(1):27-31.
- [12] 杨振玉,顾义明,华泽田,等.光敏核不育系在沈阳的育性观察[J].杂交水稻,1989,(4):11-13.
- [13] 孙宗修,熊振民,闵绍楷,等.温度敏感型雄性不育水稻的鉴定[J].中国水稻科学,1989,3(2):49-55.
- [14] 肖国樱,邓晓湘,唐俐,等.水稻光温敏核不育系育性波动的解决途径和方法[J].杂交水稻,2000,15(4):4-5,9.
- [15] 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):181-186.
- [16] 李泽炳.光敏核不育水稻的研究进展[J].中国水稻科学,1992,8(3):12-16.
- [17] 卢兴桂.对水稻光温敏雄性不育系选育中一些问题的思考[J].高技术通讯,1992,2(5):1-4.
- [18] 肖层林,周承恕.两系杂交种子纯度的影响因素与保纯技术[J].杂交水稻,2000,15(2):12-14.
- [19] 颜龙安,尹建华.对水稻光温敏核不育系核心种子生产的几点认识[J].种子,1997(2):57-58.
- [20] 袁隆平.选育水稻光温敏不育系的技术策略[J].杂交水稻,1992(1):1-4.
- [21] 陈立云,肖应辉.水稻光温敏核不育机理设想及光温敏核不育系选育策略[J].中国水稻科学,2010,24(2):103-107.
- [22] 廖伏明,袁隆平.水稻光温敏核不育系起点温度遗传纯化的策略探讨[J].杂交水稻,1996,(6):1-4.
- [23] 雷东阳,周晓娇,肖层林,等.两系杂交稻制种基地气象决策支持系统[J].中国农业气象,2009,30(1):96-101.
- [24] 徐孟亮,陈良碧,周广洽.培矮64S中不育临界温度低的新株系筛选[J].生命科学研究,1999,3(2):170-174.