

Liangxifa Zajiao Shuidao Anquan Gaoxiao  
Zhongzi Shengchan Jishu

# 两系法杂交水稻

安全高效

种子生产技术

武小金 徐秋生 龙和平  
刘爱民 阳和华 邓小林 编著

 中国农业出版社

# 两系法杂交水稻安全高效 种子生产技术

武小金 徐秋生 龙和平 编著  
刘爱民 阳和华 邓小林

中国农业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

两系法杂交水稻安全高效种子生产技术/武小金等编著. —北京: 中国农业出版社, 2005. 1

ISBN 7-109-09593-2

I. 两... II. 武... III. 水稻—杂交育种  
IV. S511.035.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 000586 号

中国农业出版社出版  
(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)  
(邮政编码 100026)  
出版人: 傅玉祥  
责任编辑 徐建华 赵立山

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行  
2005 年 2 月第 1 版 2005 年 2 月北京第 1 次印刷

开本: 850mm×1168mm 1/32 印张: 4.25

字数: 100 千字 印数: 1~2 000 册

定价: 15.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

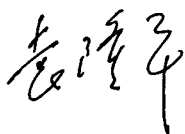
# 序

1995年,我国在两系法杂交水稻研究方面取得了成功,目前已有一批优良组合投入生产应用。据全国农业技术推广服务中心2003年统计,两系法杂交稻平均每667m<sup>2</sup>产482.63kg,与三系法杂交稻平均每667m<sup>2</sup>产437.93kg相比,增产10.2%,但推广面积只占水稻总播种面积的7.6%。因此,积极稳妥地推广两系法杂交稻,将为我国的粮食增产作出巨大贡献。

两系法杂交稻目前的发展状况是:一方面市场潜力很大,种子供不应求,仅2004年就有1000多万kg的缺口;另一方面,种子企业不敢生产足够的种子供应市场,原因是怕担风险,制种产量比三系法杂交稻要低。而且,一些种子企业没有针对两系法杂交稻的特点安排制种,而是沿用三系法杂交稻制种的老办法,致使种子纯度不高。

《两系法杂交水稻安全高效种子生产技术》一书,着重阐述了安全、高效生产两系法杂交稻种子的原理与方法,提出了一系列关于两系法杂交稻种子生产的安全措施、高产制种技术、质量监测技术等。我相信,该书的出版,将有助于规范我国两系法杂交水稻种子生产,

帮助从事两系法杂交稻种子生产的企业保障种子纯度，防患制种风险，提高制种产量，从而可以推动我国两系法杂交水稻的健康发展。

A handwritten signature in black ink, consisting of three characters: '李洪钟' (Li Hongzhong).

2004年12月3日于长沙

# 前 言

两系法杂交水稻与三系法杂交水稻比较，其主要区别在于利用了不同的水稻雄性不育的遗传工具，由于“两系法”利用的是光温敏核不育系，其优越性主要体现在：一是配组自由，不受“三系法”所需的恢复基因的制约。据不完全统计，水稻品种中有97%以上的品种对光温敏核不育系恢复，而“三系法”的恢复系仅6%左右。二是可避免“三系法”的雄性不育细胞质对杂种某些经济性状的负效应和不育细胞质单一化的潜在危险。在杂种优势利用方面，虽然“两系法”比“三系法”更具优越性，但就其杂交种子生产来说，两系法杂交水稻制种较“三系法”风险大，这是由于光温敏核不育系的育性受光温条件的控制，外界光温条件的变化可以引起不育系的育性波动，导致不育系自交结实；而“三系法”是利用细胞质雄性不育系，其育性受环境的影响极小。因此，在制种过程中，“两系法”比“三系法”要求更严格的技术操作规程。目前，两系法杂交水稻种子的安全生产已是制约着两系法杂交水稻发展的主要瓶颈。鉴于此，为了适应两系法杂交水稻发展的需要，我们承担了国家农业部跨越计划项目“中国超级稻研究与示范”中的“两系法杂交水稻安全高效种子生产技术”课题，并取得了一系列成果。

我们在总结他人和自己的研究工作的同时，并借鉴三系法杂交水稻高产制种技术经验，合作编写了《两系法杂交水稻安全高效种子生产技术》一书，该书共分6章，第1章两系法杂交水稻种子生产的基础知识和第2章两系法杂交水稻种子生产的安全措施由武小金撰写；第3章光温敏核不育系繁殖的原理与技术由徐秋生撰写；第4章两系法杂交水稻高产制种原理与技术由阳和

华、邓小林撰写；第5章两系法杂交水稻种子生产的质量监控和第6章两系法杂交水稻种子的收割、加工与贮藏由龙和平、刘爱民撰写。该书对两系法杂交水稻种子安全高效生产的原理与技术作了较系统的介绍。希望对从事两系法杂交水稻种子生产的科研教学人员、农业技术人员和行政管理人员有所帮助，以促进两系法杂交水稻的健康发展，为我国的粮食生产作出贡献。

在本书出版之际，我们要感谢农业部科教司、国家杂交水稻工程技术研究中心、深圳市农林渔业局、深圳市科技局、深圳市龙岗区农林渔业局、深圳市龙岗区科技局和深圳市龙岗区农技中心以及隆平高科农平种业有限公司的有关领导对我们科研的关心、支持与帮助。特别感谢袁隆平院士为本书作序，并在科研工作中给予的具体指导。同时非常感谢中国农业出版社为本书的出版所提供的帮助与支持。

由于编者水平有限，书中错误在所难免，望读者不吝指教。

编著者

2004年12月

# 目 录

<b>第 1 章 两系法杂交水稻种子生产的基础知识</b> .....	1
1 水稻光温敏雄性核不育现象与两系法杂交水稻 .....	1
1.1 水稻光温敏雄性核不育现象 .....	1
1.2 两系法杂交水稻的概念 .....	2
2 水稻光温敏核不育系育性转换与温光的关系 .....	3
2.1 光敏型核不育系育性转换与温光的关系 .....	3
2.2 温敏型核不育系育性转换与温光的关系 .....	6
2.3 光温敏核不育系育性转换的光温作用模式 .....	9
<b>第 2 章 两系法杂交水稻制种的安全措施</b> .....	14
1 培育育性转换临界温度低的光温敏核不育系 .....	14
1.1 实用型光温敏核不育系的选育指标 .....	14
1.2 选育实用型光温敏核不育系的遗传基础 .....	15
1.3 实用型光温敏核不育系的选育技术 .....	21
2 两系法杂交水稻制种的安全时空布局 .....	24
2.1 两系法杂交水稻制种的理想气象条件 .....	24
2.2 两系法杂交水稻制种的理想基地选择 (空间布局) .....	25
2.3 两系法杂交水稻制种的理想花期安排 (时间布局) .....	26
3 两系法杂交水稻制种在栽培管理上的安全措施 .....	27
3.1 准确安排播差期, 确保花期相遇 .....	27
3.2 培壮父本, 确保花粉供应充足 .....	28
3.3 合理密植, 用父本围住母本, 创建保温群体 .....	28
3.4 及时收获, 谨防再生穗自交结实 .....	29



3.5	育性转换敏感期出现低温时的应急措施 .....	30
<b>第3章</b>	<b>光温敏核不育系繁殖的原理与技术 .....</b>	<b>32</b>
1	光温敏核不育系繁殖的原理 .....	32
1.1	光温敏核不育系的育性转换敏感期 .....	32
1.2	光温敏核不育系繁殖的光温条件 .....	33
1.3	光温敏核不育系育性转换敏感期对光温反应的 敏感部位 .....	34
2	光温敏核不育系的繁殖途径与技术 .....	34
2.1	冷水串灌繁殖技术 .....	34
2.2	海南冬季繁殖技术 .....	38
2.3	再生繁殖技术 .....	40
2.4	高海拔繁殖技术 .....	43
2.5	主要粳型光温敏核不育系的繁殖技术 .....	45
2.6	光温敏核不育系繁殖的防杂保纯 .....	47
3	光温敏核不育系的原种生产与技术 .....	48
3.1	光温敏核不育系性状变异的表现 .....	48
3.2	光温敏核不育系性状变化的原因 .....	49
3.3	光温敏核不育系原种生产程序与技术 .....	49
<b>第4章</b>	<b>两系法杂交水稻高产制种原理与技术 .....</b>	<b>52</b>
1	两系法杂交水稻制种的亲本异交特性 .....	52
1.1	两用核不育系的异交特性 .....	52
1.2	两系法杂交水稻制种的恢复系开花散粉习性与供粉能力 .....	60
2	两系法杂交水稻制种的父母本花期相遇技术 .....	63
2.1	父母本花期相遇的概念 .....	63
2.2	保证父母本花期相遇的措施 .....	64
2.3	花期预测的方法 .....	70
2.4	花期调节技术 .....	76

3	两系法杂交水稻制种的高产群体结构 .....	79
3.1	高产制种群体结构目标 .....	79
3.2	高产制种群体结构建立的措施 .....	81
4	两系法杂交水稻制种的亲本异交态势改良 .....	87
4.1	赤霉素对亲本异交态势的改良 .....	87
4.2	割叶技术对亲本异交态势的改良 .....	91
4.3	提高不育系柱头外露率及生活力的技术 .....	92
5	两系法杂交水稻制种的人工辅助授粉 .....	93
5.1	人工辅助授粉的方法 .....	93
5.2	授粉的次数与时间 .....	95
6	两系法杂交水稻制种的黑粉病与稻曲病防治 .....	95
6.1	稻粒黑粉病及稻曲病的发生与危害性 .....	95
6.2	稻粒黑粉病和稻曲病的防治措施 .....	96
<b>第5章 两系法杂交水稻种子生产的质量监控 .....</b>		<b>98</b>
1	种子质量的涵义 .....	98
1.1	种子纯度 .....	98
1.2	种子含水量 .....	98
1.3	种子净度 .....	99
1.4	种子发芽率 .....	99
1.5	芽谷率、裂颖率和黑粉病粒率 .....	100
2	两系法杂交水稻种子质量的检验方法与标准 .....	100
2.1	种子质量的检验方法 .....	100
2.2	种子质量标准 .....	101
3	两系法杂交水稻制种的种子纯度监控技术 .....	101
3.1	影响两系法杂交水稻种子纯度的因素 .....	102
3.2	保障两系法杂交水稻种子纯度的主要技术措施 .....	104
3.3	种子纯度的种植鉴定 .....	110

<b>第6章 两系法杂交水稻种子的收割、精选加工与贮藏</b> .....	112
1 种子的收割 .....	112
1.1 收割前的准备 .....	112
1.2 种子的收割 .....	112
1.3 种子的翻晒 .....	113
1.4 种子的短期保管 .....	113
2 种子的精选加工 .....	113
3 种子的保管与贮藏 .....	114
3.1 杂交水稻种子贮藏的要点 .....	114
3.2 贮藏期间的检查 .....	115
3.3 仓库的通风与密闭 .....	116
3.4 种子贮藏期害虫的防治 .....	117
主要参考文献 .....	119

# 第●章 两系法杂交水稻种子 生产的基础知识

两系法杂交水稻的繁殖与制种技术和三系法杂交水稻相比有其共同点，但又有其特殊性。在两系法杂交水稻种子生产过程中，为了更好地掌握其特殊性，这里首先介绍有关两系法杂交水稻种子生产的基础知识。

## 1 水稻光温敏雄性核不育现象与两系法 杂交水稻

### 1.1 水稻光温敏雄性核不育现象

1973年10月上旬，石明松在一季晚粳农垦58大田中找到了三株雄性不育株，经研究发现，这种材料具有在长日高温条件下不育，在短日低温条件下可育的特性，并且这一特性属细胞核隐性遗传，这种水稻1985年正式命名为“湖北光周期敏感雄性核不育水稻”。1987年，邓华凤在超40B/H285//6209-3的F<sub>5</sub>株系中发现了一株自然温敏雄性核不育突变体，定名为“安农S-1”，该材料在高温条件下表现为雄性不育，在较低的温度条件下表现为雄性可育。此后，我国及国外的一些科学家又相继发现了5460S、衡农S-1、X88、H89-1、IR32464-20-1-3-2B、MT等光温敏核不育材料。这些材料基本上可分为两类：一类是以农垦58S为代表的光敏型核不育材料，这类材料在长日高温条件下表现为雄性不育，在短日低温条件下表现为雄性可育；另一类是以安农S-1为代表的温敏型核不育材料，这类材料在高温

条件下表现为雄性不育，在较低的温度条件下表现为雄性可育。

## 1.2 两系法杂交水稻的概念

广义的两系法杂交水稻是指只涉及到二个亲本的杂交水稻，包括化学杀雄配制的杂交稻组合和利用光温敏核不育系配制的杂交稻组合等。本书的两系法杂交水稻仅指利用光温敏核不育系作母本与正常水稻品种或品系配制而成的杂交水稻，利用模式如图 1.1。

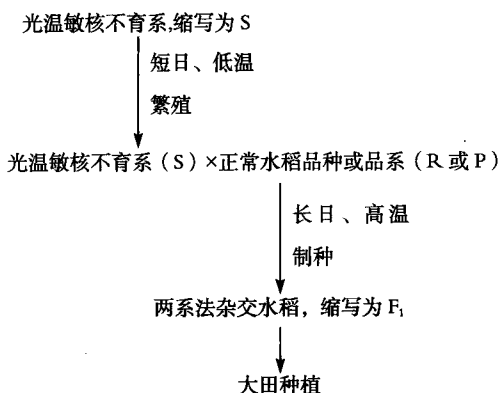


图 1-1 两系法杂交水稻利用模式

利用水稻的光温敏核不育特性选育的水稻雄性不育系，称作光温敏核不育系，它可一系两用，又可称作两用核不育系，在短日低温条件下表现为雄性可育，故可以繁殖种子；在长日高温条件下表现为雄性不育，故可以用来制种。目前生产上利用的不育系基本上属于以温敏为主的不育系，但其不育的临界温度较低，又称为低温敏核不育系，这类不育系一般要在 23.5℃ 以下才能转为可育，故繁殖一般是海南冬繁、高山繁殖或利用冷水串灌繁殖。而制种一般安排在高温季节。

与三系法比较，两系法的优越性主要体现在两个方面：一是配组自由，不受“三系法”所需的恢复基因的制约。据不完全统计

计, 水稻品种中有 97% 以上的品种对光温敏两用核不育系恢复, 而三系法的恢复系仅 6% 左右。二是可避免三系法的雄性不育细胞质对杂种某些经济性状的负效应和不育细胞质单一化的潜在危险。

## 2 水稻光温敏核不育系育性转换与温光的关系

### 2.1 光敏型核不育系育性转换与温光的关系

#### 2.1.1 诱导育性转换的光周期敏感期

研究发现, 光照诱导水稻光敏核不育系育性转换的敏感发育时期为幼穗分化的第二次枝梗及颖花原基分化期到花粉母细胞形成期。其中以雌蕊形成期至花粉母细胞形成期为最敏感期。

#### 2.1.2 诱导育性转换的光照条件

关于光照诱导水稻光敏核不育系育性转换的临界日照时数(光照长度), 国内许多学者从 20 世纪 80 年代起进行了许多研究。石明松等(1987)在湖北仙桃市( $30^{\circ}10'N$ )观察, 农垦 58S 在自然日照为 13.75h 的条件下, 就表现为完全不育; 在 13.53h 时转为可育。李丁民等(1992)在广西南宁( $22^{\circ}35'N$ )观察, 自然条件下早季诱导农垦 58S 转为不育的临界光照长度为 13.87h 左右, 晚季为 13.57h 左右。杨振玉等(1989)在辽宁沈阳( $42^{\circ}N$ )观察, 自然条件下农垦 58S 等粳型光敏核不育系育性转换的临界光照长度区域在 12.5~14h 之间。张自国等(1987)在人工控制光照长度的条件下研究表明, 农垦 58S 在每日光照长度长于 14h 的条件下, 表现为高度不育或全不育, 不育度达 98.34%~100%; 在每日光照长度短于 13.75h 时, 结实率随光照长度缩短而逐渐提高。

许多研究表明, 光照诱导水稻光敏核不育系育性的转换并不是间断性的飞跃, 即并非当光照长度长于某一临界光照长度时, 就表现为完全不育, 或当光照长度短于某一临界光照长度时, 就

表现为完全可育；而是存在一个连续的转变过程，即在一定的光长范围内，随着光长延长，不育系的育性逐步走向败育，具有一定的数量变化特征。据此，薛光行等（1990）提出了“诱导临界日长”和“败育临界日长”的概念。“诱导临界日长”是指诱导光敏核不育水稻开始败育的日照长度；“败育临界日长”是指诱导光敏核不育水稻完全败育的日照长度。在北京自然条件下，光敏核不育水稻鄂宜 105S 的诱导临界日照长度为 13.42h，其败育临界日照长度则为 14.33h。一般照度为 50lx 以上的光照即对育性转换有明显的诱导效应，但临界光照长度与温度也存在一定的互补作用。

因此，根据上述研究结果，在自然条件下，包括曙暮光的日照时数，诱导水稻光敏核不育系育性转换的临界光照时数一般在 13.5~14h 之间。

### 2.1.3 诱导育性转换的温度条件

水稻光敏核不育系的育性转换除了受光照长度控制外，还受温度的影响。贺浩华等（1987、1991）用农垦 58S 和双 8-2S 作材料，在人工气候箱将温度分为低温、中温、高温三档，发现双 8-2S 在低温和中温条件下，长日照不能诱导不育；在高温条件下，14h 长日照可以诱导不育。农垦 58S 在低温条件下，长日照不能诱导不育；而在中温和高温条件下，13.75h 以上的长日照可以诱导不育。邓启云等 1991 年采用分蘖剥萼的办法将每株材料一掰为四，分别置于长光低温、短光低温、长光高温和短光高温四种条件下观察，发现在低温条件下长光照不能诱导 7001S 等光敏核不育系花粉完全不育，在高温条件下短光照并不能诱导较高的自交结实率。

另外，有些试验结果还表明，光期温度比暗期温度对于诱导光敏核不育水稻育性转换更为重要。申岳正等（1990）用郝扎 S、C407S、农垦 58S 和鄂宜 105S 作材料，在 14h 的光周期条件下，观察了不同昼夜温度处理下的光敏核不育水稻的育性变化，结果表明，光期温度相同、暗期温度相差 5℃（处理 2 和 4、处

理3和5)时,其雄性败育水平无显著差异;而暗期温度相同,光期温度相差4℃时(处理2和3,处理4和5),其雄性败育水平却有极显著差异(表1-1)。

表1-1 5种温度处理下花粉育性平均值的比较

(申岳正等,1990)

空瘪花粉				染败花粉				正常花粉			
处理 序号	平均值 Sin <sup>-1</sup> %	显著性比较 0.05 0.01		处理 序号	平均值 Sin <sup>-1</sup> %	显著性比较 0.05 0.01		处理 序号	平均值 Sin <sup>-1</sup> %	显著性比较 0.05 0.01	
1	83.7	a	A	5	15.4	a	A	5	6.9	a	A
2	78.1	b	B	3	14.7	a	A	3	6.8	A	A
3	76.9	b	B	2	11.8	b	B	2	4.8	b	B
4	73.5	c	C	4	10.9	b	B	4	4.7	b	B
5	72.9	c	C	1	5.8	c	C	1	1.7	c	C

注:温度处理(光期温度℃/暗期温度℃):1—31/27;2—31/27;3—27/17;4—31/22;5—27/22;试验在14h光照下完成。

关于诱导水稻光敏核不育系育性转换的临界温度和对温度反应的敏感期,张自国等(1990)根据在云南元江不同海拔高度分期播种的育性转换观察结果推断,日长大于13.45h,诱导农垦58S不育的最低温度为 $26.4 \pm 1.6^\circ\text{C}$ ;日长为12.75h,诱导农垦58S可育转换的最适温度为 $26.9 \pm 1.3^\circ\text{C}$ 。贺浩华等(1991)推测,诱导农垦58S不育的临界下限温度为昼/夜温 $25.4 \pm 3.9^\circ\text{C}/21.2 \pm 2.7^\circ\text{C}$ 。曾汉来等(1993)以农垦58S为材料,在14.5h的长日照条件下利用人工气候箱控制温度,于幼穗分化的不同时期分别进行不同的温度处理,发现农垦58S育性转换对温度反应的敏感期为颖花原基分化期至单核花粉期,距抽穗前25~7d,最敏感的时期为雌雄蕊形成中期至减数分裂末期,距抽穗前19~9d。邓启云等(1994)在人工气候室设置了在幼穗发育III~VI期分别给予连续4~15d的长光低温处理,发现7001S等光敏型不育系育性转换对温度的最敏感期在雌雄蕊形成期到花粉母细胞形成期,距抽穗前12~17d。

从以上研究结果来看,诱导水稻光敏核不育系育性转换的临



界温度和对温度反应的敏感期，不同的不育系之间存在一定的差异，但不同的不育系其共同的敏感期为雌雄蕊形成期至花粉母细胞形成期。

## 2.2 温敏型核不育系育性转换与温光的关系

### 2.2.1 诱导育性转换的临界温度和温光因素分析

由于夏季长日照与高温季节重叠，致使一些自然突变的温敏型核不育材料，如安农 S-1、衡农 S-1 (87N-123S)、5460S 等，曾一度被认为是“光敏”核不育水稻。通过 1989 年盛夏低温对两系法杂交水稻制种影响的经验教训，以及通过后来的仔细研究，明确了其育性转换实际上主要受温度控制，并称之为温敏型水稻核不育系。孙宗修等 (1989) 在人控条件下对温敏核不育水稻 5460S 研究表明，在日均温为 23.5℃ 时，不论光照长短，其花粉育性与套袋自交结实率都基本正常；在日均温 29.5℃ 时，不论光照长短，大部分植株都表现为完全不育或高度不育。对套袋自交结实率进行方差分析表明 5460S 的育性转换主要受温度影响。尹华奇等 (1989) 在长沙自然条件下观察，发现安农 S-1 和衡农 S-1 的育性表现与抽穗前 11~15d 的温度相关，高温诱导不育，低温诱导可育。由农垦 58S 转育而成的籼型不育系，大多也属于温敏型，方国成等 (1990) 用 W6154S、W6334S、W6417S 等作材料，在武昌自然条件下进行分期播种，观察结果表明，这些不育系的育性转换主要受温度的影响。

诱导育性转换的临界温度和低温持续时间因不同的温敏型核不育系而有所不同。据杨仁崔等 (1990) 采用分期播种、异地异季观察以及人控光温条件研究，发现 5460S 在日均温大于 27.5℃ 时，表现为全不育，花药淡黄色、细秆状，完全不散粉，花粉趋近 100% 碘败；25~27℃ 时，处于育性转换状态，部分花药金黄色、变形、部分散粉，部分花粉染色；22~25℃ 时，基本正常可育，花粉育性、结实率均可达 80% 以上。周广洽等 (1990)