

# 水稻光温敏核不育系培矮 64S 空间诱变株系的柱头活力特性

李永辉<sup>1 2 3</sup> 柳武革<sup>1</sup> 王 丰<sup>1\*</sup> 刘振荣<sup>1</sup> 蔡耀辉<sup>3</sup> 刘宜柏<sup>2</sup> 颜龙安<sup>3</sup>

(1. 广东省农业科学院 水稻研究所, 广东 广州 510640; 2. 江西农业大学, 江西 南昌 330045; 3. 江西省超级水稻研究发展中心/国家水稻改良中心南昌分中心/水稻国家工程实验室, 江西 南昌 330200)

**摘要:**以培矮 64S 空间诱变的 SP<sub>5</sub> 代大柱头变异不育株系为材料, 对其柱头特性进行研究。结果表明, 19 个变异株系的柱头外露率、柱头长、宽、表面积及体积等性状发生了较大的变化。柱头外露率呈不同程度的降低趋势, 变幅为 14.1%~64.4%; 柱头长、宽、表面积、体积呈不同程度增大趋势, 即柱头长度变幅为 1.45~1.89 mm, 宽度变幅为 0.71~1.16 mm, 表面积变幅为 8.29~15.09 mm<sup>2</sup>, 体积变幅为 0.665~1.881 mm<sup>3</sup>。3 个变异株系 (BV19-5、BV22-4 和 BV24-1) 的柱头活力变幅为 152.3%~192.5%, 均强于对照培矮 64S 的 144.5%, 且柱头活力下降速度均比对照慢; 柱头活力系数变幅为 0.93~1.24, 均高于对照, 达极显著水平。柱头活力与柱头表面积和柱头体积达显著正相关, 相关系数分别为 0.971 74 和 0.990 69。说明培矮 64S 经空间诱变后, 定向选育获得的大柱头变异不育株系, 柱头活力及活力系数得到明显提高。

**关键词:**光温敏核不育系; 培矮 64S; 大柱头; 柱头活力; 空间诱变

中图分类号: S335.2 文献标志码: A 文章编号: 1000-2286(2012)05-0872-06

## Characters of Stigma Vitality of Lines Derived from Space Mutation of Photo-/thermo-sensitive Genic Male Sterile Line Pei' ai 64S in Rice

LI Yong-hui<sup>1 2 3</sup>, LIU Wu-ge<sup>1</sup>, WANG Feng<sup>1\*</sup>,  
LIU Zhen-rong<sup>1</sup>, CAI Yao-hui<sup>3</sup>, LIU Yi-bai<sup>2</sup>, YAN Long-an<sup>3</sup>

(1. Rice Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510630, China; 2. Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China; 3. Jiangxi Super-rice Research and Development Center/Nanchang Sub-center, National Rice Improvement Center/National Engineering Laboratory for Rice, Nanchang 330200, China)

**Abstract:** In this study, the big stigma mutants of P(T) GMS line Pei' ai 64S in SP<sub>5</sub> generation were used to investigate the stigma characters, including exertion rate, length, width, surface area, volume and vitality etc. The results showed that the stigma characters of 19 mutants in SP<sub>5</sub> generation changed greatly. Compared with the check Pei' ai 64S, the stigma exertion rates of these mutants decreased with a range of 14.1 to 64.4%, while their stigma length, width, surface area and volume increased to some extent. The stigma lengths of the 19 mutants ranged from 1.45 to 1.89 mm, longer than that of Pei' ai 64S (CK) of 1.44 mm. Eighteen mutants had higher value of stigma width than that of the CK Pei' ai 64S, and the other one had

收稿日期: 2012-05-20 修回日期: 2012-08-01

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项资金 (CARS-01-10)、广州市科技攻关计划 (2003AA209101) 和广东省科技攻关重点项目 (2004Z2-E0101)

作者简介: 李永辉 (1979—), 男, 助理研究员, 硕士, 主要从事水稻遗传育种研究, E-mail: liyonghui1510@163.com;

\* 通讯作者: 王丰, 研究员, 博士, E-mail: fwang1631@163.com。

smaller stigma width of 0.71 mm than the CK of 0.75 mm. The Stigma surface areas of the 19 mutants ranged from 8.29 to 15.09 mm<sup>2</sup> which were larger than that of the CK of 7.67 mm<sup>2</sup>. The stigma volume of all the mutants ranged from 0.665 to 1.881 mm<sup>3</sup>, larger than that of CK of 0.636 mm<sup>3</sup>. The surface area was positively correlated with the stigma volume. The stigma vitality of three mutants, ranging from 152.3% to 192.5%, was stronger than that of CK with the value of 144.5%. The decline of stigma vitality of 3 mutants, BV19-5, BV22-4 and BV24-1, was slower than that of CK. Stigma vitality coefficient of 3 mutants ranged from 0.93 to 1.24, higher than that of the CK of 0.52, with significant difference compared with the check. The correlation coefficients between Stigma vitality coefficient with the superficial area and the volume were 0.971 74 and 0.990 69 respectively. It is indicated that the big-stigma mutants derived from Pei'ai 64S by space mutation, showed significant improvement in stigma vitality and vitality coefficient.

**Key words:** P(T) GMS line; Pei'ai 64S; big stigma; stigma vitality; space mutation

培矮64S具有米质优、株型好、配合力高、配组杂种优势强等特点,是国内目前生产上利用面积最大的两用核不育系之一,先后与恢复系9311、泰丰占、R3076、茂3、R288、特青、仔七占、山青11、E32等配组育成两优培九、培杂双七、培杂泰丰等两系超级稻和超高产组合在生产中大面积应用,但在制种生产应用中其柱头较小、柱头活力下降较快、制种产量不高、不稳定等因素成为制约培矮64S系列两系杂交稻组合进一步推广的主要限制因素之一<sup>[1-7]</sup>。

本研究通过第18颗返回式卫星搭载培矮64S种子,利用空间特殊条件对其柱头性状进行改良,通过田间筛选得到19个SP<sub>5</sub>代大柱头稳定的变异不育株系,为系统研究和评价其在生产中的应用前景,本文对这批大柱头变异株系的柱头外露率、柱头表面积、柱头体积及柱头活力等特性进行研究,全面了解空间诱变改良杂交稻不育系柱头特性的效果,这对于进一步培育和筛选大柱头不育系,提高杂交稻不育系的高异交结实率和制种产量具有重要意义。

## 1 材料与方 法

### 1.1 供试材料

培矮64S(CK)及其19个SP<sub>5</sub>代性状稳定的大柱头变异不育株系BV19-1、BV19-5、BV19-6、BV20-2、BV20-3、BV21-2、BV22-1、BV22-3、BV22-4、BV22-5、BV22-6、BV22-7、BV22-8、BV22-9、BV22-10、BV23-2、BV24-1、BV25-1和BV25-2,均于2006年晚季同期种植于广东省农业科学院水稻研究所大丰基地,每个株系栽插98株,株行种植,尺寸为16.5 cm×20 cm,常规肥水管理。

### 1.2 材料来源过程

2003-11-03T15:20不育系培矮64S种子搭载第18颗返回式卫星进行空间诱变处理,2004年春在海南三亚隔离良好的条件下种植空间诱变处理过的种子(隔离是防止花粉漂流引起的异交结实),成熟后混合收种,获得SP<sub>1</sub>代种子。2004年晚季在广东省农业科学院水稻研究所白云基地的地种植其SP<sub>2</sub>代上茬为蔬菜,从SP<sub>2</sub>代中筛选出11个不同类型的可育突变体。2005年早季在广东省农业科学院水稻研究所大丰基地种植10个变异株,形成SP<sub>3</sub>代株系,按株行种植,抽穗后观察柱头大小,并从10个株系中选出一批大柱头不育单株,晚季移稻莩至韶关乳源进行冷水串灌繁殖,获得的种子于2005年冬至2006年春在海南加代获得19个SP<sub>4</sub>代大柱头变异不育株系,所获得的株系种子于2006年晚季在广东省农业科学院水稻研究所大丰基地进行种植,SP<sub>5</sub>代<sup>[6-7]</sup>。

### 1.3 柱头大小测量方法

抽穗扬花盛期取对照培矮64S及19个大柱头变异株系1个典型单株的主穗,用湿毛巾包裹保湿带回室内,采用广东省农业科学院水稻研究所生理生态研究室研制的植物细微组织成像装置<sup>[8]</sup>,取每穗中部2朵颖花的柱头平放在成像系统下拍照,测量其长度(L)和宽度(W),柱头表面积计算公式<sup>[9]</sup>:

$$S = 2[\pi LW + \pi(W/2)^2] \quad (1)$$

柱头体积计算公式<sup>[10]</sup>:

$$V = \pi L(W/2)^2 \quad (\text{其中 } \pi = 3.1415) \quad (2)$$

### 1.4 柱头外露率调查

在抽穗扬花期对培矮 64S 及其 19 个 SP<sub>5</sub> 代大柱头变异不育株系进行取样调查,每个供试材料取刚开完花的 3 个主穗,统计各穗已开颖花的柱头双露数、单露数和不露数,获得其相应的柱头外露率。

### 1.5 柱头活力分析

在盛花期对培矮 64S 及其 3 个 SP<sub>5</sub> 代典型大柱头变异不育株系 BV19-5、BV22-4 和 BV24-1 进行柱头活力测定。每个材料选取镜检花粉育性为 0 的单株穗子 35 个进行处理,即剪去已开过的颖花,留下当天张开的颖花,并用硫酸纸袋套住剪过的穗子以防外来花粉的干扰,从处理当天起每天(第 1 天)取恢复系 R128 的花粉对其中的 5 个套袋处理过的穗子进行人工授粉,授粉 2 次,保证花粉量充足,授粉后挂牌记载授粉日期。每天授粉 5 个处理过的套袋穗子,7 d 后全部授粉完毕。在授粉后 20 d 调查结实率,以此结实率表示柱头活力,根据田大成<sup>[10]</sup>提出的公式计算柱头活力系数:即开花后第 2~4 天柱头活力和与开花当天柱头活力之比。

### 1.6 数据处理

实验相关数据,用 Excel 2003 和 DPS 3.01 结合处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 柱头外露率和柱头大小

从表 1 可知,19 个变异株系的柱头总外露率变幅为 14.1%~64.4%,除 BV22-9 的外露率与对照培矮 64S 略高外,其他 18 个株系均比对照低,其中, BV23-2 最低,仅为 14.1%。19 个变异株系柱头长

表 1 培矮 64S 及其 SP<sub>5</sub> 变异株系的柱头特性

Tab. 1 Characters of Stigma for the Pei' ai 64S and its SP<sub>5</sub> mutant lines

变异株系 Mutant lines	柱头性状 Characteristics of stigma				
	柱头外露率/% Stigma exertion rate	柱头长/mm Stigma length	柱头宽/mm Stigma width	表面积/mm <sup>2</sup> Superficial area	体积/mm <sup>3</sup> Volume
BV19-1	46.0 ± 1.9	1.45 ± 0.10	0.82 ± 0.08	8.53	0.766
BV19-5	47.1 ± 2.0	1.77 ± 0.10	0.91 ± 0.11	11.42	1.151
BV19-6	42.1 ± 2.7	1.89 ± 0.06	0.99 ± 0.08	13.30	1.455
BV20-2	56.5 ± 4.1	1.59 ± 0.10	0.84 ± 0.06	9.50	0.881
BV20-3	59.1 ± 3.6	1.69 ± 0.08	0.96 ± 0.03	11.64	1.223
BV21-2	53.5 ± 1.9	1.58 ± 0.08	0.84 ± 0.08	9.45	0.876
BV22-1	35.6 ± 2.8	1.51 ± 0.14	0.89 ± 0.11	9.69	0.939
BV22-3	48.4 ± 4.3	1.59 ± 0.13	0.92 ± 0.08	10.52	1.057
BV22-4	56.6 ± 5.2	1.63 ± 0.11	1.07 ± 0.07	12.76	1.466
BV22-5	40.8 ± 2.6	1.53 ± 0.06	0.85 ± 0.10	9.31	0.868
BV22-6	40.2 ± 1.5	1.72 ± 0.07	1.01 ± 0.10	12.52	1.378
BV22-7	54.2 ± 4.0	1.78 ± 0.10	1.16 ± 0.07	15.09	1.881
BV22-8	48.9 ± 2.4	1.50 ± 0.06	0.96 ± 0.08	10.50	1.086
BV22-9	64.4 ± 2.0	1.61 ± 0.06	0.97 ± 0.08	11.29	1.190
BV22-10	56.1 ± 1.4	1.83 ± 0.08	1.00 ± 0.11	13.07	1.437
BV23-2	14.1 ± 1.1	1.68 ± 0.07	0.71 ± 0.11	8.29	0.665
BV24-1	34.2 ± 1.3	1.67 ± 0.08	0.96 ± 0.08	11.52	1.209
BV25-1	21.9 ± 1.0	1.57 ± 0.06	0.92 ± 0.14	10.40	1.044
BV25-2	16.0 ± 1.5	1.48 ± 0.08	0.85 ± 0.10	9.04	0.840
培矮 64S(CK) Pei' ai 64S	64.0 ± 4.4	1.44 ± 0.13	0.75 ± 0.08	7.67	0.636

度的变幅为 1.45 ~ 1.89 mm ,均比对照培矮 64S 的 1.44 mm 长 ,其中 ,最长的是 BV19 - 6 ,最短的是 BV19-4; 19 个变异株系的柱头宽度变幅为 0.71 ~ 1.16 mm ,仅 BV23-2 株系比对照培矮 64S 的 0.75 mm 窄 ,其余 18 个株系均比对照宽; 19 个变异株系的柱头表面积变幅为 8.29 ~ 15.09 mm<sup>2</sup> ,均比对照培矮 64S 的 7.67 mm<sup>2</sup> 大 ,其中 ,最大的是 BV22-7 ,最小的是 BV23-2。19 个变异株系的柱头体积变幅为 0.665 ~ 1.881 mm<sup>3</sup> ,均比对照培矮 64S 的 0.636 mm<sup>3</sup> 大 ,其中 ,柱头体积最大与最小值株系同表面积最大与最小值株系相一致。说明培矮 64S 经返回式卫星搭载后 ,柱头外露率、柱头长、宽及体积等柱头性状发生了较大的变异 ,柱头外露率呈不同程度降低趋势 ,柱头长、宽、表面积、体积呈不同程度增大趋势。

### 2.2 柱头活力及活力系数

表 2 结果显示 ,4 个供试材料的柱头活力主要集中在开花后前 4 天 ,开花后第 5 天 3 个供试变异株系的柱头活力为 5% ~ 10% ,而对照培矮 64S 的最低 ,仅有 1.3% ,开花后第 6 天至第 7 天 ,所有材料的异交结实率均为 0 ,表明柱头活力

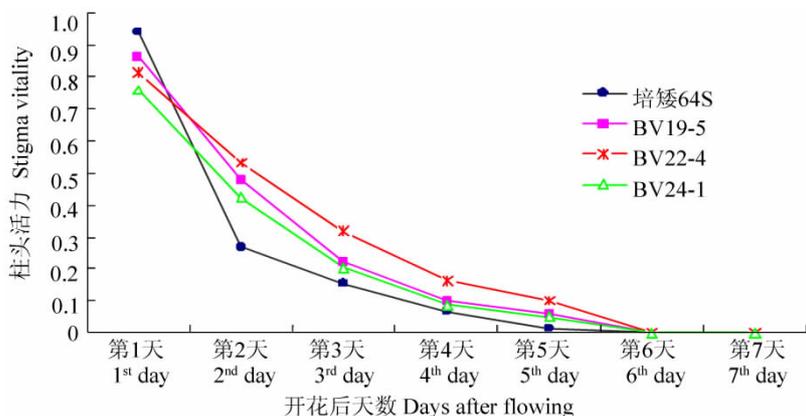


图 1 培矮 64S 及其 SP<sub>5</sub> 变异株系的柱头活力

Fig. 1 Stigma vitality of Pei' ai 64S and its SP<sub>5</sub> mutants

已完全丧失。培矮 64S 尽管开花后第 1 天的柱头活力最高 ,达 94.1% ,但在开花后第 2 天、第 3 天和第 4 天的柱头活力均比 3 个大柱头变异株系的柱头活力低; 对开花后第 1 ~ 5 天的柱头活力进行累加 ,3 个变异株系的柱头活力变幅为 152.3% ~ 192.5% ,均比对照培矮 64S 的 144.5% 高。从图 1 可看出 ,随着开花时间后移 ,4 个供试材料的柱头活力均呈下降趋势 ,但 3 个大柱头变异不育株系的柱头活力下降均比对照培矮 64S 下降慢 ,快慢顺序为: 培矮 64S > BV19-5 > BV24-1 > BV22-4。

BV19-5、BV22-1 和 BV22-4 等 3 个大柱头变异株系的柱头活力系数分别为 0.93、0.93 和 1.24 ,均比对照培矮 64S 的 0.52 大 ,达极显著水平。

表 2 培矮 64S 及其 SP<sub>5</sub> 变异株系的结实率(柱头活力)

Tab. 2 Seed set rate (Stigma vitality) of Pei' ai64S and its SP<sub>5</sub> mutants

花开后天数 Days after flowing	培矮 64S( CK)		BV19 - 5		BV22 - 4		BV24 - 1	
	授粉颖花数 No. of pollinated spikelets	结实率/% Seed set rate						
第 1 天 1 <sup>st</sup> Day	136	94.1	156	86.5	130	81.4	150	76.1
第 2 天 2 <sup>nd</sup> Day	228	26.8	228	47.9	110	53.2	199	42.2
第 3 天 3 <sup>rd</sup> Day	252	15.6	428	22.3	104	31.7	286	20.3
第 4 天 4 <sup>th</sup> Day	312	6.7	163	10	138	16.2	181	8.6
第 5 天 5 <sup>th</sup> Day	120	1.3	148	6	305	10	127	5
第 6 天 6 <sup>th</sup> Day	285	0	197	0	243	0	189	0
第 7 天 7 <sup>th</sup> Day	309	0	117	0	113	0	130	0
第 1 ~ 5 天总和 Sum of 1 <sup>st</sup> day to 5 <sup>th</sup> Day	1 048	144.5	1 123	172.7	787	192.5	943	152.2

其中 ,BV22-4 的柱头活力系数最大 ,达到 1.24 ,是培矮 64S 的 2.38 倍。这说明不育系培矮 64S 经空间诱变后 ,定向选育获得的大柱头变异不育株系 ,柱头活力及活力系数得到明显提高。进一步的相关关系分析结果显示 ,柱头表面积和柱头体积与柱头活力之间达显著正相关 ,相关系数分别达到 0.971 74 和 0.990 69( 表 3) 。说明变异株系的柱头表面积和体积变大 ,可以显著提高柱头的活力。

表 3 变异株系的柱头活力系数  
Tab. 3 Stigma vitality coefficient of Pei' ai 64S and SP<sub>5</sub> mutant lines

项目 Item	培矮 64S( CK)	BV19-5	BV22-4	BV24-4
活力系数 Stigma vitality coefficient	0.52	0.93 **	1.24 **	0.93 **
活力系数与柱头表面积的相关系数 Corelation coefficient between stigma vitality coefficient and the superficial area	0.971 74			
活力系数与柱头体积的相关系数 Corelation coefficient between stigma vitality coefficient and the volume	0.990 69			

\*\* 表示与对照差异达极显著水平。 \*\* indicate significant different 1% levels compared with the check.

### 3 讨 论

#### 3.1 柱头大小的测量方法

由于水稻的柱头细小,选择合适的准确测量方法对于柱头特性的研究显得非常重要。藤加浩等<sup>[11]</sup>用显微测量法测量了 16 个品种的柱头长度和宽度;曹孟飞等<sup>[12]</sup>用显微测微尺测量了一些品种的柱头面积,但每测量一个要 20 min 左右,操作过程中易失水干缩,如加水保湿又易造成柱头膨大,重复性差;肖层林等<sup>[3]</sup>用显微测量法对培矮 64S 的柱头大小性状进行过测量;周宗岳等<sup>[13]</sup>则用电脑扫描测量柱头面积,效果较好。为此,本研究在对不育系柱头大小进行测量时,选用了广东省农业科学院水稻研究所研制的植物细微组织成像装置,它由解剖镜改装而成,目镜内带有刻度,由摄像头扫描柱头成像后,进行柱头大小测量,准确方便且速度较快,为柱头大小测量提供了良好的技术支撑。

#### 3.2 柱头大小与柱头活力之间的关系

王丰等<sup>[6]</sup>通过返回式卫星搭载培矮 64S 种子进行空间诱变,在 SP<sub>2</sub> 代中筛选到 17 株柱头明显变大的变异单株。在此材料基础上通过连续 3 代系统选择,在 SP<sub>5</sub> 代获得 19 个大柱头变异稳定不育株系,这些空间诱变材料不仅柱头明显变大,而且在株叶形态、株高、休眠性、白叶枯病抗性等方面存在变异且得到改良<sup>[7]</sup>。为进一步了解这些大柱头变异株系的柱头特性,本研究系统地分析了这些材料的柱头外露率、柱头大小、体积、表面积和柱头活力等特性。结果表明,培矮 64S 在广东广州晚稻种植时的柱头总外露率为 64%,这与李曙光等<sup>[1]</sup>报道的在广东乐昌中造制种时考察的柱头总外露率 80.45% 有较大差异,但与王鸿昌等<sup>[14]</sup>报道其在广东广州的柱头总外露率 65.51% 相接近,可能是不育系柱头外露率与观察地的花期气候条件、植株营养及栽培管理等有关。3 个大柱头变异株系的柱头活力下降均比对照培矮 64S 慢,其下降快慢顺序与柱头体积、柱头表面积大小顺序一致,进一步的相关分析表明,柱头活力与柱头表面积、柱头体积大小呈显著正相关。说明表面积、体积越大授粉面越大,活力相对越强。在用于柱头活力测定的 4 个供试材料中,培矮 64S 的柱头表面积、体积最小,柱头活力最弱;BV22-4 的柱头表面积和体积均最大,柱头活力最强。这与龚光雄等<sup>[2]</sup>报道的培矮 64S 柱头授粉面积小,柱头活力下降快的结论一致。

郭光荣等<sup>[15]</sup>通过卫星搭载不育系培矮 64S 进行空间诱变,获得异交结实率明显提高的 FS-5、FS-6 和 FS-114 等 3 个新不育材料,且发现这些新不育材料异交结实率高与柱头外露率、柱头长度、柱头宽度和颖张角等呈正相关。这也进一步说明了柱头大小与柱头活力和异交结实率有明显的相关性。因此,在不育系选育过程中,有针对性地选择和培育柱头较粗大、外露好的不育系,可以提高不育系的柱头活力和异交结实率,进而提高其杂交稻制种产量。

通过进一步选择,目前已选育出株叶形态好、不育起点温度与对照相当或更低、柱头明显比对照大的稳定不育系航丰 S (BV22-4),并利用该不育系已组配出一批苗头新组合进入区试,且该不育系的制种产量比培矮 64S 有显著提高,产量在 3 000 kg/hm<sup>2</sup> 以上,比培矮 64S 的制种产量提高 30% 以上,说明通过空间诱变在改变培矮 64S 的异交特性、制种产量等取得良好效果,为该不育系的进一步开发应用提供参考。

## 参考文献:

- [1]李曙光,王丰,黄健文等.水稻低温敏不育系培矮64S的开花及制种特性[J].广东农业科学,1996(6):7-8.
- [2]龚光雄,滕树喜,周卜龙等.两系培矮64S特性及制种技术对策[J].种子,1996(3):39-41.
- [3]肖层林.水稻籼型温敏不育系培矮64S异交特性研究[J].杂交水稻,2000,15:58-61.
- [4]唐建成,莫志军,张卫.培矮64S花器特性研究[J].种子,2003(4):40-41.
- [5]国家水稻数据中心.中国水稻品种及其系谱数据库[EB/OL]. [2012/7/13]http://www.ricedata.cn/variety/index.htm.
- [6]王丰,李永辉,柳武革等.水稻不育系培矮64S的空间诱变效应及后代的SSR分析[J].核农学报,2006,20(6):449-453.
- [7]李永辉,柳武革,王丰等.培矮64S空间诱变的生物学效应[J].江西农业大学学报,2008,30(6):1007-1013.
- [8]陈友订,张旭,陈冠华等.一种植物细微组织装置及其应用:中国,2003101118178[P].2004-05-21.
- [9]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.
- [10]田大成.水稻异交栽培学[M].成都:四川科学技术出版社,1991:73.
- [11]藤加浩,生井兵治.イネF<sub>1</sub>采种時の自然交杂率を高めめ为花器形质卜环境条件[J].育种学杂志,1987,37:318-330.
- [12]曹孟飞.杂交水稻种子科学与技术[M].北京:中国农业出版社,1999:59-150.
- [13]周宗岳,帅国元.水稻不育系柱头面积的电脑扫描测定[J].杂交水稻,2000,15(6):18-19.
- [14]王鸿昌,梁克勤,万邦惠等.水稻光温敏核不育系培矮64S的开花习性观察[J].杂交水稻,2000,15:51-53.
- [15]郭光荣,程乐根,郭峰等.太空诱变选育水稻核不育系的研究[J].核农学报,2004,18(4):269-271.

## (上接第858页)

- [11]柳金来,宋继娟,李福林等.水稻自动调节与产量[J].吉林农业科学,2001,26(5):8-14.
- [12]袁隆平.水稻强化栽培体系[J].杂交水稻,2001,16(4):1-3.
- [13]Hasanuzzaman M, Nahar K, Roy T S, et al. Tiller dynamics and dry matter production of transplanted rice as affected by plant spacing and number of seedling per hill [J]. Academic Journal of Plant Science 2009 2(3):162-168.
- [14]李木英,石庆华,王涛等.种植密度对双季超级稻群体发育和产量的影响[J].杂交水稻,2009,24(2):72-77.
- [15]陈惠哲,朱德峰,林贤青等.稀植条件下杂交稻分蘖成穗规律和穗粒结构研究[J].杂交水稻,2004,19(6):51-54.
- [16]冯永祥,徐正进,韩彦辉等.分布方式对不同穗型水稻群体茎蘖影响的研究[J].内蒙古民族大学学报,2003,18(5):420-424.
- [17]李木英,陈关,石庆华等.播种量对直播早稻群体质量和产量的影响[J].江西农业大学学报,2010,32(3):419-424.
- [18]李木英,陈关,石庆华等.不同早稻品种直播栽培的生育特性研究[J].江西农业大学学报,2011,33(3):399-404.
- [19]Stafford R E. Yield stability of Guar breeding lines and cultivars [J]. Crop Science, 1982, 22: 1009-1011.
- [20]Joel F M. Performance and stability of doubled haploid line of upland cotton derived via semigamy [J]. Crop Science, 1984, 24: 271-276.
- [21]Venkate S B. Nature of association among photomass, harvest index and economic yield in rice( II ): Stability analysis of yield, photomass and harvest index [J]. India J Plant physiology, 1982, 25(3):266-270.
- [22]王忠.植物生理学[M].2版.北京:中国农业出版社,2009:305-336.
- [23]张自常,段华,杨立年等.水稻育苗移栽旱种方式对米质的影响及其与籽粒激素浓度的关系[J].中国农业科学,2008,41(5):1297-1307.