

培矮 64S 的育性特征及其安全使用技术*

邹江石¹ 姚克敏² 邓芳萍³

(¹江苏省农业科学院, 江苏 南京 210014; ²南京气象学院, 江苏 南京 210044; ³浙江省杭州市气象局, 浙江 杭州 310000)

摘要 本文用培矮 64S 在南京、武汉、贵阳、三亚 4 地 1991~ 1998 年共 552 项套袋自交结实率资料和 381 项花粉可育度资料结合各地的逐日平均气温和日长资料分析了培矮 64S 的育性转换指标及其育性变化规律。指出培矮 64S 具有育性转换温度指标较低、短日互补作用显著的基本特点。据此, 结合我国各地的温度和日长特点以及目前两系杂交稻种子生产发生的问题, 讨论了培矮 64S 的安全使用技术。

关键词 培矮 64S; 育性转换光温指标; 日长互补作用; 安全使用技术

中图分类号: S511.032 文献标识码: A

Analysis on Fertility Characteristics of Pei ai64S and Technology for Its Safely Applying

ZOU Jiang-Shi¹ YAO Ke-Min² DENG Fang-Ping³

(¹Jiangsu Academy of Agricultural Science, Nanjing 210014; ²Department of Application Meteorology, NIM, Nanjing 210044; ³Meteorology Bureau of Hangzhou, Hangzhou 310015, China)

Abstract On the basis of the self-fertility and pollen fertility of Pei ai64S in Nanjing, Wuhan, Guiyang and Sanya from 1991 to 1998 under different temperature and daylength, the fertility transition index and its change rule was analyzed. It was provided that the Pei ai64S has lower fertility transition temperature index and obvious short-length compensation effect. According to the results with temperature and daylength character of China and some occurred problems of two-line hybrid rice, the technology for safely applying were discussed.

Key words Pei ai64S; Photo-thermo indexes for fertility transition; Daylength compensation; Technology for safely applying

统计表明, 在我国已经育成推广的 29 个籼型两系杂交组合中, 有 15 个组合是以培矮 64S 为母本选育成功的^[1]。足见, 培矮 64S 是我国目前两系杂交稻生产中应用最广泛的光、温敏核不育系。在培矮 64S 的广泛应用中, 由于我国辽阔稻区的光、温生态条件差异十分显著, 加之对培矮 64S 育性转换指标的生态规律研究还不够系统、全面, 其种子生产有时会发生诸如盛夏低温造成部分育性恢复; 部分在短日季节繁殖的种子其杂种后代会出现部分母本可育株等问题。研究培矮 64S 育性变化规律, 分析问题发生的原因, 提高培矮 64S 的使用安

全性, 不仅能充分发挥其潜力, 而且可以进一步完善两系法杂交稻选育的技术路线, 提高我国两系法杂交稻生产的整体水平。

本文根据作者对培矮 64S 育性的长期观测资料, 用南京、三亚、武汉、贵阳等 4 地 1991~ 1998 年共 552 项套袋自交结实率资料和 381 项花粉可育度资料, 结合各地的气象资料, 分别讨论了温度和日长对培矮 64S 育性变化的影响规律, 并用光温分级法和育性量化模型两种方法定量确定了培矮 64S 育性转换的光温指标集。在此基础上, 分析了培矮 64S 的育性转换特征并结合我国各地的温度和日长

* 基金项目: 国家 863 计划生物领域两系杂交稻研究项目资助(Z16-01-01)

作者简介: 邹江石(1938-), 男, 江苏省农业科学院研究员, 从事水稻遗传育种研究

Received on (收稿日期): 2001-11-27, Accepted on (接受日期): 2002-02-20

特点以及目前两系杂交稻种子生产发生的问题, 讨论了培矮 64S 的安全使用技术。

1 资料

供本文分析的生物学资料见表 1。供平行分析

的气象资料为 4 个气象台站各年同期逐日平均气温和理论可照时数。表 1 的资料表明, 供本文分析的资料具有年代长、样本多、地域广、生态条件宽的特点, 而且各点的育性观测标准完全一致。

表 1 供分析的育性和生态条件资料

Table 1 The data of fertility and meteorology

站点 Station	纬度 Latitude	海拔 Altitude	自交套袋结实率 Pocketted self-fertility		花粉可育度 Flower powder fertility		试验期间的生态条件 Ecological condition	
			资料年限 Year of data	样本数 Sample	资料年限 Year of data	样本数 Sample	温度() Temperature	日长(h) Daylength
南京 Nanjing	32 00	8 9	1992, 1993 1995, 1998	177	1998	33	16.4~28.6	14.20~11.00
武汉 Wuhan	30 38	23.3	1991, 1997, 1998	100	1997, 1998	74	17.3~31.8	14.07~11.10
贵阳 Guiyang	26 35	1071.2	1997, 1998	35	1997, 1998	35	18.8~23.8	13.77~11.20
三亚 Sanya	18 38	13.9	1995~1998	240	1995~1998	239	21.3~29.7	10.99~13.18

2 温度和日长对培矮 64S 育性变化的影响

2.1 温度对培矮 64S 育性变化的影响

为分析温度对培矮 64S 育性变化的影响, 将培矮 64S 温度敏感期间(穗前 10~20 天)的平均温度分为 < 19.0, 19.1~20.0, 20.1~21.0, 21.1~22.0, 22.1~23.0, 23.1~24.0, 24.1~25.0, 25.1~26.0, 26.1~27.0, 27.1~28.0, 29.1~30.0 和 > 30 等 12 个级别, 求算培矮 64S 在各温度级别下的平均自交结实率和平均花粉可育度。结果见图 1(图中除 < 19.0 和 > 30.0 外, 各温度级别均取中值表示)。

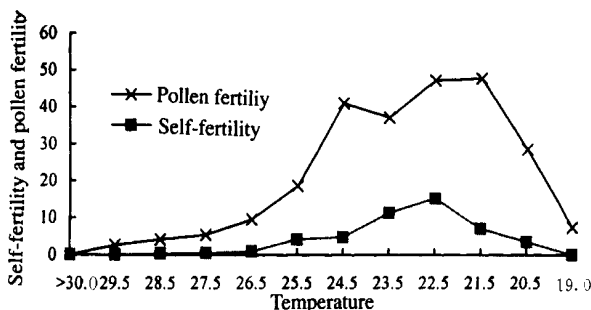


图 1 培矮 64S 在不同温度级别下的自交结实率和花粉可育度

Fig 1 Self-fertility and pollen fertility of Pei ai 64S under different temperature levels

图 1 表明, 培矮 64S 的自交结实率和花粉可育度均与育性敏感期的平均温度呈抛物线关系。当温度 19.0 或 > 27.0 时, 自交结实率均 0.05%。花粉可育度均 10%。当温度在 20.1 ~

24.0 范围内, 培矮 64S 的自交结实率 > 7%, 花粉可育度在 > 35%。温度在 24.1~27.0 时, 培矮 64S 的自交结实率为 0.86%~4.68%, 花粉可育度为 10%~20%。由此初步判断, 在大田条件下, 培矮 64S 的不育的临界高温应为 27.0; 生理不育温度为 19.0; 20.1~26.9 为可育温度范围(即光敏温度范围), 其中又以 21.1~23.9 为培矮 64S 的适宜可育温度范围。

2.2 日长对培矮 64S 育性变化的影响

在分析日长对培矮 64S 育性变化的影响时, 同样将光长敏感期间(抽穗前 15~30 天)的平均日长, 划分为 11.0h, 11.1~11.3h, 11.4~11.6h, 11.7~11.9h, 12.0~12.2h, 12.3~12.5h, 12.6~12.8h, 12.9~13.1h, 13.2~13.4h, 13.5~13.7h, 13.8h 等 11 个日长级别, 求各日长级别下的花粉不育度和平均结实率, 结果见图 2(图中除 11.0h 和 13.8h 外, 其余日长级别均取中值表示)。

分析图 2 可看出, 培矮 64S 的自交结实率和花粉可育度随日长的变化呈基本一致的对数规律。完全不育的临界日长在 13.5h 以上。在 12.2~13.4h 日长范围内, 培矮 64S 的自交结实率和花粉可育度都比较低, 其变幅分别为 0.87%~2.01% 和 2.91%~17.51%。在日长 < 12.0h 条件下, 培矮 64S 的花粉可育度和自交结实率呈显著的上升规律。这表明培矮 64S 的育性同时具有明显的光敏感特性, 要揭示培矮 64S 育性转换的规律, 必须深入

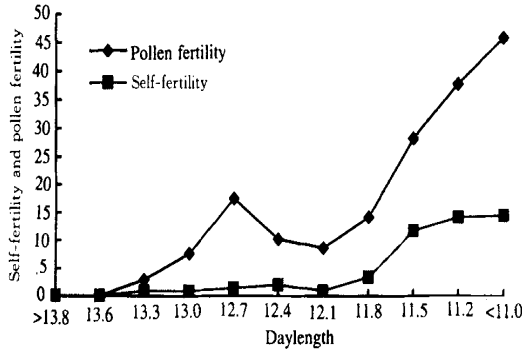


图2 培矮 64S 在不同日长级别下的自交结实率和花粉可育度
 Fig. 2 Self-fertility and pollen fertility of Pei ai64S under different daylength levels

研究日长对温度的补偿效应。

2.3 日长对培矮 64S 育性变化补偿效应分析

为评估日长对培矮 64S 育性变化的补偿效应, 分别计算:

(1) 育性温度敏感期间日长分别为 < 12.0h, 12.0~13.0h, 和 > 13.0h 时, 培矮 64S 在不同温度级别下的平均自交结实率和花粉可育度变化, 结果两者的变化趋势一致。其中不同日长下自交结实率随温度的变化如图 3。

(2) 育性日长敏感期间温度分别为 21.0~24.0、24.1~27.0、和 > 27.0 时, 培矮 64S 在不同日长级别下的平均自交结实率和花粉可育度的变化。结果两者变化趋势也是一致的。图 4 是不同温度下自交结实率随日长的变化图。

图 3 可以认为是短日 (< 12.0h), 中日 (12.0~13.0h) 和长日 (> 13.0h) 条件对温度的互作效应。由图 3 可以看出: 三条自交结实率曲线均呈抛物线变化, 证明不同日长下温度影响的基本规律一致。但三条曲线的自交结实率变幅存在明显的差异。其最大值, 短日为 20.57%; 中日为 7.92%; 长日仅为

2.3%, 说明日长对温度的互作影响是明显存在的。

图 4 可认为是低温 (24.0), 中温 (24.1~27.0) 和高温 (> 27.0) 条件对日长的互作效应。由图 4 同样可以看出: 套袋自交结实率在中温 (24.1~27.0) 和高温 (> 27.0) 下, 随日长缩短均呈平缓的对数曲线上升。其中高温下自交结实率在各日长下均小于 2.1%; 中温下自交结实率只有在日长短于 11.5h 时才开始稳定大于 2%, 此后随日长的缩短可升至 10% 以上; 低温下培矮 64S 的自交结实率在短日下则明显提高。这从另一个角度证明日长能够影响培矮 64S 的育性变化以及温光互补作用的存在。

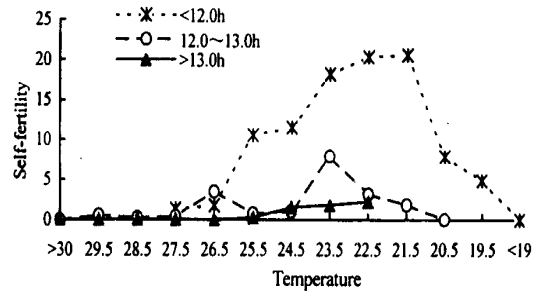


图3 不同日长下培矮 64S 自交结实率随温度的变化
 Fig. 3 Self-fertility variation along with temperature of Pei ai64S under different daylength

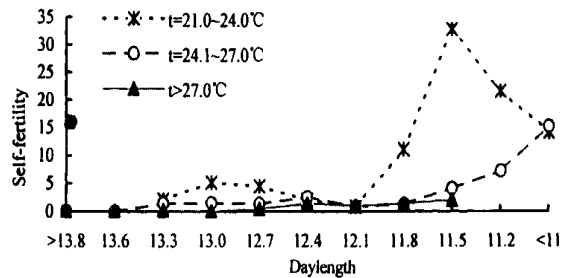


图4 不同温度下培矮 64S 自交结实率随日长的变化
 Fig. 4 Self-fertility variation along with daylength of Pei ai64S under different temperature

表 2 不同日长条件下培矮 64S 的自交结实率 (%) 随温度的变化*

Table 2 Self-fertility variation along with temperature of Pei ai64S under different daylength

日长 (h) Daylength	温度 (°C) Temperature												
	> 30.0	29.1~30.0	28.1~29.0	27.1~28.0	26.1~27.0	25.1~26.0	24.1~25.0	23.1~24.0	22.1~23.0	21.1~22.0	20.1~21.0	19.1~20.0	< 19.0
< 12.0	-	-	-	1.4 (16)	1.78 (25)	10.58 (12)	11.55 (20)	18.2 (32)	20.31 (15)	20.57 (18)	7.88 (6)	4.9 (7)	0.05 (6)
12.0~13.0	-	0 (7)	0.597 (34)	0.346 (35)	0.484 (23)	3.514 (17)	0.81 (29)	1.05 (8)	7.92 (10)	3.23 (8)	1.89 (1)	0.07 (3)	
> 13.0	0.08 (41)	0.06 (54)	0.13 (43)	0.09 (22)	0.08 (18)	0.28 (18)	1.56 (8)	1.87 (15)	2.3 (1)				

* 括号内的数字为该光温条件下的自交结实率的样本数, 每样本均为 10 穗的平均值。

The numbers in parenthesis are the samples of self-fertility under different daylength. Each sample is average of ten ears

若将图3中各日长组合下自交结实率的试验结果列于表2,可以更直接地看出,日长对温度影响存在明显的正向互补效应:随日长的延长,培矮64S的育性转换临界温度降低。长日下,温度需降至24.1~25.0以下时,自交结实率才稳定高于1.0%;而短日下,即使在27.1~28.0高温下培矮64S仍有1.4%的平均自交结实率。长日下培矮64S的育性转换温度要比短日下的育性转换温度约低3.0左右。

3 培矮64S育性转换的光温指标

鉴于温度和日长对培矮64S的育性具有明显的互补效应,求算定量的育性转换光温组合指标就显得十分重要。本文采用光温组合分级和育性量化模

型等两种方法予以分析。

3.1 光温分级法

用光温分级法求算育性指标时,用长日下(>13.0h)的自交结实率资料按育性敏感期的平均温度分级(间隔1),计算各温度级别下的平均自交结实率,以平均结实率1.0%为标准,求出长日下育性转换的温度指标。然后将育性敏感期平均温度低于指标温度的自交结实率资料,按1h日长分级并求出各日长级的平均结实率,建立自交结实率(y)依日长(x)变化的一元线性回归方程,以方程的一次项系数 b_1 为日长对温度的补偿值(见表3)。据表3可确定培矮64S在长日(>13.0h)下的育性转换指标温度为23.5~24.4。

表3 培矮64S在长日下各温度级别的平均自交结实率*

温度(°C)	30.5	29.5~30.4	28.5~29.4	27.5~28.4	26.5~27.4	25.5~26.4	24.5~25.4	23.5~24.4	22.5~23.4	<22.5
平均结实率	0.0	0.0	0.129	0.082	0.140	0.244	0.848	1.480	4.26	6.36
样本数 Samples	29	42	61	48	26	22	15	23	13	2

* 每个样本均为10穗的平均自交结实率 Each sample is average self-fertility of ten ears

自交结实率(y)依日长(x)变化的一元线性回归方程为:

$$y = 12.75 - 0.068x \quad (r = 0.75, n = 104)$$

表明日长每缩短一小时,培矮64S的自交结实率将平均提高6.8%。说明低温下短日对培矮64S的结实率明显的促进作用。

3.2 育性量化模型法

育性量化模型是依据培矮64S的自交结实率与育性敏感期的温度、光长分别呈抛物线和对数曲线关系(如图1,3)为基础提出^[3,4]。其模型通式如下:

$$P = P_0 \left(\frac{\bar{T} - T_L}{T_0 - T_L} \right)^A \left(\frac{T_H - \bar{T}}{T_H - T_0} \right)^B e^{C(\bar{D} - D_0)}$$

式中, P 为育性敏感期的平均温度为 \bar{T} , 日长为 \bar{D} 时的自交结实率;

P_0 为实际观测到的培矮64S的最大自交结实率;

T_H 为不育临界高温; T_L 为可育的临界低温; T_0 为育性恢复的最适温温度;

D_0 为最适日长; \bar{T} 、 \bar{D} 分别为育性敏感期的平均温度和平均日长; A 、 B 、 C 为待定参数。

利用培矮64S套袋自交结实率资料及其温度敏

感期(穗前10~20天)的平均温度和光长敏感期(穗前15~30天)的平均日长拟合培矮64S的量化模型参数如下:

$$\begin{aligned} P_0 &= 45.5\%, \quad D_0 = 10.15h, \quad T_0 = 21.12, \\ T_L &= 18.48, \quad T_H = 26.36, \quad A = 0.7118, \\ B &= 0.6756, \quad C = -1.0776, \\ (R &= 0.514, N = 211) \end{aligned}$$

以自交结实率1%为不育标准,0.1h为日长间隔,可分别计算以0.1h为间隔的培矮64S的育性转换温度指标(见表4)。由表4可看出,培矮64S的育性转换温度指标可在21.12~26.34幅度内变化。长日下育性转换的温度指标较低,而短日下的育性转换的温度指标较高,日长的互作效应明显。当日长13.7h时,培矮64S在21.12以上的自交结实率均1%,可以认为是培矮64S的不育临界光长。比较光温分级法和育性量化模型法的结果,在>13.0h的日长下,光温分级法计算出培矮64S育性转换的温度指标为23.5~24.4,而育性量化模型计算出的温度指标平均为23.53,结果基本一致。

表 4 培矮 64S 不育(自交结实率 1%) 的光温组合指标

Table 4 The Photo-thermo combining index of Pei a i64S with self-fertility 1%

日长(h)/温度() Daylength/ temperature	结实率(%) Self- fertility	日长(h)/温度() Daylength/ temperature	结实率(%) Self- fertility	日长(h)/温度() Daylength/ temperature	结实率(%) Self- fertility
11. 0/26 34	0.89	12. 1/26 23	0.98	13. 1/25 65	1.00
11. 1/26 34	0.80	12. 2/26 21	0.97	13. 2/25 51	1.00
11. 2/26 33	0.95	12. 3/26 18	0.98	13. 3/25 33	1.00
11. 3/26 33	0.86	12. 4/26 15	0.97	13. 4/25 11	1.00
11. 4/26 32	0.94	12. 5/26 11	0.98	13. 5/24 83	1.00
11. 5/26 31	0.98	12. 6/26 06	0.99	13. 6/24 44	1.00
11. 6/26 30	1.00	12. 7/26 01	0.98	13. 7/21 12	0.99
11. 7/26 29	0.99	12. 8/25 94	0.99	13. 8/21 12	0.89
11. 8/26 28	0.98	12. 9/25 86	0.99	13. 9/21 12	0.80
11. 9/26 27	0.95	13. 0/25 77	0.99	14. 0/21 12	0.72
12. 0/26 25	0.97				

综上, 培矮 64S 的主要育性特征包括: (1) 培矮 64S 的光敏感温度范围为 18.5~26.3; 不育临界日长为 13.7h。(2) 具有一定光敏特性, 短日对育性转换温度具有较强的正向互补效应。(3) 具体的育性转换温度指标范围是: 日长在 13.7h 时为 21.1; 日长在 13.2~13.6h 时为 25.5~24.4; 日长 13.1h 时育性转换温度指标可提高至 26 或以上。

4 培矮 64S 使用的安全技术

4.1 选择育性敏感期日长较长的地区制种

培矮 64S 主要在我国华南双季稻区、华中双单季稻区和江淮一季稻区应用。表 5 是上述三稻区 8 个代表地区的地理位置、秋季制种的育性敏感时期及其相应的日长、温度条件和低温风险率的统计结果。表 5 表明:

表 5 培矮 64S 在我国南方稻区制种时的日长和温度条件

Table 5 The suitable daylength and temperature conditions for seed-production of Pei a i64S

熟制区域 Producing area	华南双季稻区 Huanan double rice cropping area			华中双单季稻区 Huazhong double rice cropping area		江淮一季稻区 Jianghuai region of single rice cropping area		
	三亚 Sanya	广州 Guangzhou	福州 Fuzhou	长沙 Changsha	杭州 Hangzhou	南京 Nanjing	高邮 Gaoyou	徐州 Xuzhou
纬度 Latitude 海拔 Altitude(m)	18.14 3.9	23.08 6.3	26.05 84.0	28.12 7.2	30.19 44.9	32.00 8.9	32.48 6.5	34.17 43.0
育性敏感期 Fertility sensitive period	9/上~9/中旬			8/下~9/上旬		8/上~8/中旬		
日长(h) Daylength	12.34~12.17	12.20~12.43	12.22~12.48	12.52~12.81	12.56~12.88	13.25~13.53	13.29~13.56	13.36~13.67
日长旬变率(m in) Ten-day variation of daylength	10.6~10.7	13.7~13.9	15.7~16.0	16.5~17.5	18.1~19.1	16.8~19.3	17.4~19.9	18.4~21.1
温度() Temperature	27.4~27.5	27.2~27.7	25.8~27.4	26.4~28.0	25.4~27.0	27.9~28.6	27.2~27.6	26.3~27.5
温度旬变率() Ten-day variation of temperature	0.38~0.42	0.56~0.62	1.20~0.74	1.44~1.34	1.24~1.24	0.96~1.32	0.89~1.14	0.92~1.18
旬内 24 5d 的风险% The failure probability 24 5d of ten days	0.0	0.0	0.0	5.2~18.4	4.8~26.2	0.0~2.4	3.3~3.3	0.0~4.8

(1) 由于纬度和育性敏感时期的差异, 华南和华中稻区秋季制种时日长均偏短, 江淮一季稻区日长明显延长, 培矮 64S 的育性转换温度指标在地区之间要相差 1~2 之多。日长的旬际变率也因江淮一季稻区较长, 使该地区培矮 64S 的育性转换指标

温度比较稳定。

(2) 就温度而言, 以华南双季稻区育性敏感期的平均温度最高也最稳定, 旬内 24 5d 的风险率在 1951~1992 年的 42 年中均为 0; 华中双单季稻区正处于秋季温度变化大的季节, 温度旬变

率大, 低温的风险概率也高; 江淮一季稻区则因季节提前使培矮 64S 的制种条件又有改善, 温度旬变率减小且低温的风险概率明显降低。

因此, 选择江淮一季稻区偏南地区或华中单双季稻区的丘陵一季稻地区制种, 可以达到培矮 64S 的育性敏感期提前, 育性转换指标温度低, 温度较高, 遇低温风险概率较小, 制种基本安全之目的。

4.2 不要选用三亚南繁时 2 月下旬以后抽穗的种子作为制种亲本

海南三亚是我国唯一能在冬季生长水稻的热带地区, 也是两系杂交稻不育系重要的繁殖基地。表

6 是根据国家 863 计划“新不育系气候适应性鉴定”的试验资料和 1951~1992 年气象资料整理的数据库。表 6 的统计结果表明, 三亚在 3/月上旬时的气温已明显升高, 由于短日对育性转换温度指标的互补作用, 培矮 64S 即使在 3/中、下旬抽穗, 其套袋自交结实率也比较高。由于不育系杂合基因的存在, 在高温短日下繁殖的种子必然会导致部分不育系的指标温度的上升(即育性漂变)。用这些育性转换指标不一致的不育系制种时, 就会影响种子纯度。事实上, 2001 年种植的两优培九就已因此而出现部分混杂。

表 6 三亚繁殖季节的生态条件和培矮 64S 的自交结实率

Table 6 The temperature and daylength during seed multiplication period at Sanya and the self-fertility of Pei ai 64S

抽穗期 Earing period		1/中	1/下	2/上	2/中	2/下	3/上	3/中	3/下	4/上
1997	温度/ Temperature	24.3	22.9	23.4	25.6	23.9	26.5	25.4	27.3	27.8
	日长/h Daylength	11.10	11.20	11.34	11.49	11.65	11.78	12.33	11.96	12.33
	自交结实率% Self-fertility	15.7	22.1	14.1	29.6	43.9	9.7	12.0	2.2	1.6
1998	温度/ Temperature	20.1	24.8	22.3	23.8	23.9	25.1	26.4	27.0	27.4
	日长/h Daylength	11.10	11.20	11.34	11.49	11.65	11.78	12.33	11.96	12.33
	自交结实率% Self-fertility	13.1	3.5	36.0	34.3	27.2	39.0	31.0	3.4	1.0
1999	温度/ Temperature	23.2	21.0	21.3	23.7	22.5	22.9	26.2	25.6	27.8
	日长/h Daylength	11.10	11.20	11.34	11.49	11.65	11.78	12.33	11.96	12.33
	自交结实率% Self-fertility	0.1	0.7	2.7	16.6	18.3	9.4	32.9	6.4	0.0
1951~1988 年旬平均温度/ Average temperature of ten days in 1951~1988		20.80	21.40	21.59	22.35	22.69	23.20	24.28	25.08	25.72

4.3 在低温-短日条件下繁殖培矮 64S 原原种

袁隆平(1994)针对不育系育性转换指标的漂变现象提出了不育系的提纯方法和原种生产程序, 其原原种的繁殖条件是 14h 和 24^h。这样的繁殖条件显然仍不能克服培矮 64S 的短日互补效应, 若能在 12.0~12.2h 和 24^h 条件下繁殖原原种, 将能从根本上保证培矮 64S 育性转换指标的稳定。

References

- [1] Yuan L-D (袁隆平). Purification and production of foundation seed of rice PGMS lines. *Hybrid Rice* (杂交水稻), 1994, 6: 1~3
- [2] Lu X-G (卢兴桂), Yuan Q-H (袁清华), Xu H-Sh (徐宏书). Practice and program of middle experiments and development of two-line hybrid rice in China. *Hybrid Rice* (杂交水稻), 1998, 13: 1~3
- [3] Yao K-M (姚克敏), Tang S-H (唐世豪), Li J-M (李继明), Wang C-W (王池为). Studies on the fertility of Pei ai 64S-05 in Hsian Island and the decision making concerning related

practices for its seed multiplication at Sanya, Hainan. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), 1997, 23: 208~213

- [4] Yao K-M (姚克敏), Yang Y-X (杨亚新), Chu C-S (储长树), Sun R-L (孙瑞兰). A preliminary study of the fertility change mechanism of the photoperiod (temperature period) sensitive genic male sterile rice (PSGMR) *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), 1995, 21: 187~197
- [5] Zou C-S (周承恕), Liu J-B (刘建宾), Chang K-M (张克明). Purification of rice TGM S line under the spring low temperature condition in Hainan. *Hybrid Rice* (杂交水稻), 1996, 5: 32
- [6] Luo X-H (罗孝和), Yuan L-D (袁隆平). Breeding for wide compatibility rice line. *Hybrid Rice* (杂交水稻), 2000, 15 (Supplement 专辑): 1~3
- [7] Lu X-G (卢兴桂), Yuan Q-H (袁清华), Yao K-M (姚克敏), Liu M (刘梅). A adaptability of photo-thermo sensitive genic sterile rice line to climate condition in China. *Chinese Journal of Rice Science* (中国水稻科学), 2001, 15: 81~87
- [8] Lu C-G (吕川根), Zou J-S (邹江石). Breeding and utilization of two-line intersubspecific hybrid rice Liangyou Peijiu. *Hybrid Rice* (杂交水稻), 2000, 15 (Supplement 专辑): 23~24