第 23 卷第 1 期　　南 京 气 象 学 院 学 报　　Vol. 23 No. 1
2000 年 3 月　　Journal of Nanjing Institute of Meteorology　　Mar. 2000

文章编号: 1000-2022(2000) -01-0016-08

两系法杂交稻 65396 在我国一季稻区的制种播差期决策*

姚克敏[1], 杨学斌[1], 顾显跃[1], 邹江石[2], 吕川根[2]

(1. 南京气象学院环境科学系, 南京　210044; 2. 江苏省农业科学院, 南京　210010)

摘要: 以具有超高产水平的两系杂交稻 65396(培矮 64s ×E32) 为研究对象, 在分析母本不育系培矮 64s 用作单季稻区域制种时的稳定不育期的季节和持续期的基础上, 用生育期模型分析了培矮 64s 与 E32 在南方一季稻区制种时的播差期及其变化规律。研究得到的两系法杂交稻制种技术的气象学方法可供其他熟制地区应用。

关　键　词: 两系法杂交稻; 稳定不育期; 育性转换指标; 制种播差期; 生育期模型

中图分类号: S334　　文献标识码: A

两系法杂交稻是我国在水稻杂种优势利用上的又一项领先于国际先进水平的高新技术。由江苏省农科院用培矮 64s/ E 32 育成的 65396 具有米质好、生育期短、杂种优势强、增产幅度高的明显优势, 是目前水稻育种界第一个超高产水稻苗头组合, 作为早熟中稻, 在我国单季稻区域极具推广价值。两系法杂交稻的制种技术与三系法杂交稻制种相比较, 除了与三系法杂交稻一样要根据父母本的生育期规律确定父母本的播差期, 实现亲本花期相遇的目标外, 还必须根据母本不育系的育性指标选择能稳定不育的抽穗开花期, 防止母本开花期因气温过低或日长过短, 致使育性恢复, 造成制种纯度降低。因此, 两系法杂交稻制种对技术的依赖性比三系法杂交稻制种更强。从制种技术本身来看, 两系法杂交稻制种的气象分析必须包括两个组成部分, 一是根据不育系的育性指标和当地的多年气象资料, 分析不育系在该地的稳定不育期(即制种期) ; 二是根据父母本的光温特性和种植地区气象条件, 确定父母本的播差期, 只有做好这两个方面的制种气候分析, 才能确保制种的产量和纯度。

本文根据培矮 64_S 多年多点分期播种获取的套袋自交结实率资料和相应的气象资料, 在分析培矮 64_S 育性转换指标的基础上, 结合我国南方一季稻区 10 种植地 1951～1992 年逐日温度与日长资料, 分析了这些测站的稳定不育的季节和持续期, 同时根据在南京的培矮 64_S 和 E32 分期播种生育期资料, 用生育期模型法分析了种植地区的播差期及基本变化规律, 以便为两系法杂交稻制种气象和 65396 的制种技术提供依据。

1　资料和方法

* 收稿日期: 1999-07-05; 改回日期: 1999-10-20

基金项目: 江苏省农业科学院资助课题

作者简介: 姚克敏, 男, 杭州市人, 1939 年 7 月生, 教授。主要研究方向: 作物生态, 农业气象研究方法, 水稻与气象

1.1　资料来源

用于本文育性指标分析的资料包括三亚、贵阳、长沙、武汉、南京等地共 6 年 211 个播期的培矮 64s 套袋自交结实率资料。各地的逐日气温资料由当地气象台提供。日长由(1) 式计算。

$$\sin\frac{t}{2}=\frac{\sin\left(45^{\circ}+\frac{+\quad+}{2}\right)\quad\sin\left(45^{\circ}+\frac{-\quad-}{2}\right)}{\cos\quad\cos}。\tag{1}$$

式中, t 为时角;　是纬度;　是太阳赤纬;　为太阳上部边缘在地平线上看到的曲折率, 取 34′。上述 5 地的纬度范围在 18°30′～32°00′, 日长变幅为 11.0 h～14.2 h, 温度变幅在 14.2 ℃～33.0 ℃, 基本可以包括我国主要稻作区的日长和温度范围。

用于分析培矮 64s 在我国南方一季稻区域稳定不育期的气象资料包括徐州(34°17′N)、汉中(33°04′N)、东台(32°51′N)、南京(32°00′N)、合肥(31°31′N)、成都(30°40′N)、贵阳(26°35′N)、腾冲(25°07′N)、昆明(25°01′N)、思茅(22°40′N) 等 10 地 1951～1992 年共 42 年气温和日长资料。

用于生育期预测, 分析制种播差期的资料, 由 1998 年在南京用分期播种方法对培矮 64s 和 E32 所进行的生育期观测数据, 相应的气象资料由南京气象学院农业气象试验站提供。

1.2　分析方法

1.2.1　培矮 64s 育性转换指标的确定方法

用育性量化模型确定培矮 64s 育性转换指标。育性量化模型是根据培矮 64s 自交结实率与育性敏感期的温度、日长分别呈抛物线和对数曲线为基础提出的[1~3], 其模型通式为

$$P=P_0\left(\frac{\overline{T}-T_L}{T_0-T_L}\right)^A\left(\frac{T_H-\overline{T}}{T_H-T_0}\right)^B e^{c(\overline{D}_L-D_{L0})}。\tag{2}$$

式中, P 为育性敏感期平均温度为 $\overline{T}$、日长为 $\overline{D}_L$ 时的自交结实率; P_0 为实际观测到的培矮 64_S 最大自交结实率; T_H 为不育临界高温; T_L 为可育临界低温; T_0 为育性恢复的最适温度; D_{L0} 为育性恢复的最适日长; $\overline{T}$、$\overline{D}_L$ 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。

本文所采用的培矮 64s 的温度育性敏感期为抽穗前 10～20 d, 日长育性敏感期为抽穗前 15～30 d。为了计算培矮 64s 育性转换光温指标, 用自交结实率≤1 % 为不育系的育性转换指标, 将模型参数代入(2) 式中, 并以 0.1 h 为步长, 分别计算日长自 11.0～14.0 h 时培矮 64s 的不育临界温度指标, 这些指标是统计一季稻区 10 个测站培矮 64_S 稳定不育期的季节和持续时间及决定播差期的依据。

1.2.2　培矮 64s 稳定不育期的计算方法

两系法杂交稻制种只能在母本稳定不育的季节内进行。因此, 确定培矮 64s 稳定不育期的季节和播种时间对决定母本播种期具有特别重要的意义。本文对培矮 64s 在一季稻区 10 地的稳定不育期用下列方法确定。

(1) 用发育速度模型计算培矮 64_S 在一季稻区 10 地的出穗持续期。在计算时, 以 80 % 保证率稳定通过 12 ℃的初日为最早播种日期。将上述 10 地 1951～1992 年光温资料, 用培矮 64s 的发育速度模型计算多年的播种– 抽穗的天数, 以最早播– 抽天数所对应的出穗日期作为出穗持续期初日。出穗持续期的终日, 以 90 % 保证率连续 3 d 平均温度≤20 ℃(中低海拔地区) 和≤18 ℃(高海拔地区) 为标准推算。

(2) 根据各地的出穗持续期和育性敏感期, 用 1951～1992 年逐日温度与日长资料, 对照育性转换的光温指标即可得到一季稻区 10 地历年的逐日育性表达状况——不育或可育。

(3) 根据各站历年的育性逐日表达状况, 即可计算制种地区 42 年中 90 % 保证率稳定不育的出穗持续期。

1.2.3 65396 亲本的发育速度的预测方法

(1) 发育速度预测模型[4]

本文应用水稻钟模型作为亲本发育速度的预测模型, 模型的通式如下

$$\frac{1}{N} = e^{K} \left(\frac{\overline{T} - T_L}{T_0 - T_L}\right)^{P} \left(\frac{T_H - \overline{T}}{T_H - T_0}\right)^{G} e^{G(\overline{D}_L - D_{L0})} \tag{3}$$

(当 $\overline{D}_L \leq D_{L0}$ 时, 令 $\overline{D}_L = D_{L0}$)。

(3) 式中各符号的物理意义见文献[4]。

(2) 模型参数的确定[4]

对(3) 式两边取对数, 使其线性化, 然后用多元线性回归求出各参数的初值。在自然条件下高温对水稻发育速度的抑制作用一般很少见[4], 并且最适温度往往有一个幅度, 在这个幅度范围内发育速度均达到最大值。因此在调整参数 P、Q 时, 直接应用以下的简化模型

$$\frac{dt}{N} = e^{K}\left(\frac{\overline{T}}{T_0}\right)^{P} e^{G(\overline{D}_L - D_{L0})} dt, \tag{4}$$

$$\int_{0}^{N} \frac{dt}{N} = \int_{n}^{N} e^{K}\left(\frac{\overline{T}}{T_0}\right)^{P} e^{G(\overline{D}_L - D_{L0})} = 1。 \tag{5}$$

对(4) 式进行积分, 并用求和形式表示为(5) 式, 在计算机上按(5) 式逐日模拟, 当累积到 1 时, 表示该生育期已完成, 这时输出 N 即该生育期天数。当与实测值之差达到最小时得到参数的终值。

数据分析流程如图 1。

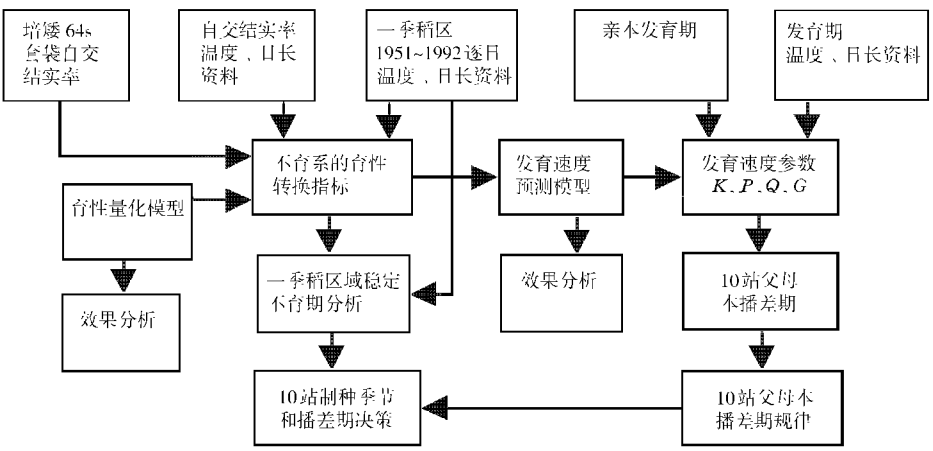

图 1 数据流程图

Fig. 1 Flow chart of data analysis and processing

2 结果分析

2.1 计算结果

2.1.1 培矮 64s 的育性指标

对培矮 64s 用育性量化模型拟合的模型参数, 结果如下。P = 45.5 %; D_0 = 10.15 h; T_0 =

21.12 ℃; T_L= 18.18 ℃; T_H= 26.36 ℃; A = 0.711 8; B= 0.675 6; C= − 1.077 6。复相关系数 R= 0.514; n= 211; $F_{0.01}$= 0.212。

以≤1 % 为育性转换标准, 按育性量化模型计算的培矮 64s 的育性转换指标如表 1。

表 **1**　培矮 **64s** 的育性转换光温组合指标

Table 1　Daylength/ temperature combined fertility conversion index of AP64S

日长/ 温度 (h/ ℃)	结实率	日长/ 温度 (h/ ℃)	结实率	日长/ 温度 (h/ ℃)	结实率
11.0/ 26.34	0.89	12.1/ 26.23	0.98	13.1/ 25.68	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/ 26.22	0.86	12.4/ 26.15	0.97	13.4/ 25.11	1.00
11.4/ 26.31	0.94	12.5/ 26.11	0.98	13.5/ 24.83	1.00
11.5/ 26.30	0.98	12.6/ 26.06	0.99	13.6/ 24.44	1.00
11.6/ 26.30	1.00	12.7/ 26.11	0.98	13.7/ 21.12	0.99
11.7/ 26.70	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/ 26.26	0.97				

2.1.2　培矮 64s 的稳定不育期与持续时间

(1) 用发育速度模型计算培矮 64s 在一季稻区 10 站的出穗起止日期和持续天数, 如表 2 所示。

(2) 90 % 保证率的培矮 64s 稳定不育期的起止日期和持续天数的计算结果, 如表 3 所示。

表 **2**　一季稻区 **10** 站培矮 **64s** 可能出穗日期和持续天数

Table 2　Possible earring dates and duration of AP64S for 10 stations under single rice cropping

站名	出穗日期 (月-日)	持续天数 (d)	站名	出穗日期 (月-日)	持续天数 (d)
徐州	07-20～09-11	54	成都	07-15～09-05	53
汉中	07-27～08-25	30	贵阳	07-23～09-15	55
东台	07-27～09-15	51	腾冲	*	*
南京	07-20～09-16	59	昆明	*	*
合肥	07-18～09-16	61	思茅	06-19～10-04	118

注: * 表示该地培矮64s 不能稳定出穗

2.1.3　培矮 64s 与 E32 的发育期预测模型及效果分析

本文应用生育期模型法计算父母本的播差期, 必须由(3) 式得到生育期模型的参数, 并由式(4) 拟合并调整 P、G 值, 计算并确定 K、P、Q、G 的终值及效果检验。由上述资料计算得到结果见表4。其中培矮64s 经用 1998 年贵阳、武汉 14 个播期验证, 平均绝对误差为 2.5 d, E32 因样本少未作回代检验。

根据表4, 父本 E32 的感光性(G) 表现略强。父母本都表现较强的感温性, 其中父本的增温促进作用和高温抑制作用较母本更强。模型的拟合效果良好。

表 **3** 培矮 **64s** 在一季稻区 **10** 站稳定不育的季节与持续天数

Table 3 As table 2 but for the season and duration of steady sterile

站名	稳定不育初日(月-日)	稳定不育终日(月-日)	持续天数(d)	站名	稳定不育初日(月-日)	稳定不育终日(月-日)	持续天数(d)
徐州	08-03	08-31	29	成都	07-28	08-02	26
汉中	08-07	08-16	10	贵阳	08-10	07-30	*
东台	08-09	09-02	25	腾冲	*	*	*
南京	08-10	09-04	26	昆明	*	*	*
合肥	07-29	09-04	38	思茅	*	*	*

注: * 表示培矮64s 在该地区无稳定不育期

表 **4** 父母本播种至抽穗期模型参数及模型统计检验

Table 4 Model parameters and statistical test for sowing to erring for parents of sterile line

品种	模型参数				统计量			
	K	P	Q	G	R		E_a/d	E
E32	- 4.32	0.85	0.20	- 0.19	0.90	0.05	- 1.5	3.2 %
培矮 64_S	- 4.24	0.60	0.003 2	- 0.13	0.89	0.01	- 0.125	3.9 %

注: K 为基本营养性系数; P 为增温促进系数, 反映在下限到最适温度范围内, 增温对发育速度的促进作用大小; Q 为高温抑制系数, 反映在最适到最高温度范围内, 增温对发育速度的抑制作用的大小; G 为感光系数; R、E_a、E 分别表示复相关系数、绝对误差及相对误差

2.2 65396 制种的技术分析

2.2.1 播差期的计算方法与变化特点

65396 父母本的播差期用以下方法计算。(1) 先求算母本出穗期。对 10 站 80 % 保证率的播种初日～终日按旬将母本的模型参数代入生育期模型, 求出 42 年中 80 % 保证率的母本抽穗日期。(2) 根据母本抽穗日期, 由父本的模型参数计算父本播种日期。(3) 母本与父本的播种日期差即为制种播差期, 其播差期和变化规律的计算结果如表 5 和表 6。

从表 6 可以明显地看出 7 站播差期有如下变化特点。(1) 就单站而言, 随播期的推迟, 播差期逐渐减小。如徐州, 最大播差为 26 d, 最小播差为 10 d。(2) 不同播期, 不同地区的播差期差异与种植地的纬度高低和播种期早晚有关。如以表 6 资料建立的播种期(X_1)、纬度(X_2) 和海拔高度(X_3) 对播差期的回归方程, 结果如(6) 式。

$$Y = 7.695\,3 - 2.400\,2X_1 + 0.566\,8X_2 + 0.003\,1X_3, \qquad R = 0.6, n = 28。 \qquad (6)$$

显然, 播差期的这种规律是种植地的光温条件影响的结果。(3) 由(1)、(2) 分析: 这种结果是由亲本的光温特性造成的。

2.2.2 制种的适宜播种期和最佳播期

本文所指的制种最适播种期是指母本能在稳定不育期与父本花期相遇; 最佳播种期是指异交结实率最高的播种期。本文以父母本花期的旬平均温度在27～28 ℃为指标所确定。根据表 6 的计算结果, 对照表 3 母本稳定不育期的计算结果, 可以确定制种的适宜播种期和最佳播种期(见表 7) 。

表 5　亲本的播种日期、抽穗日期及播差期

Table 5　Sowing, erring dates and sowing-date difference from seven experimental sites

站名		播种日期	抽穗日期	播种日期	抽穗日期	播种日期	抽穗日期	播种日期	抽穗日期	播种日期	抽穗日期
徐州	母本	04-30	08-02	05-10	08-07	05-20	08-10	05-30	08-13	06-10	08-23
	父本	04-04	08-05	04-18	08-10	05-03	08-12	05-19	08-16	05-30	08-26
		26*		22*		17*		11*		10*	
汉中	母本	04-30	08-01	05-10	08-09	05-20	08-17	05-30	08-25		
	父本	04-04	08-04	04-17	08-11	04-28	08-19	05-09	08-28		
		26*		23*		22*		21*			
东台	母本	04-30	08-01	05-10	08-08	05-20	08-14	05-30	08-23	06-10	09-01
	父本	04-01	08-05	04-15	08-12	04-27	08-19	05-10	08-26	05-24	09-04
		29*		25*		23*		20*			
南京	母本	04-30	07-29	05-10	08-05	05-20	08-13	05-30	08-20	06-10	08-28
	父本	04-08	08-01	04-20	08-08	05-03	08-15	05-14	08-23	05-25	08-31
		24*		20*		17*		16*		15*	
合肥	母本	04-30	07-30	05-10	08-06	05-20	08-15	05-30		06-10	08-25
	父本	04-07	08-01	04-20	08-08	05-01	08-18	05-14		05-25	08-27
		23*		20*		19*		16*		15*	
成都	母本	04-30	07-30	05-10	08-07	05-20	08-15	05-30	08-24		
	父本	04-09	08-01	04-20	08-09	05-01	08-17	05-02	08-25		
		21*		20*		19*		18*			
贵阳	母本	04-30	07-29	05-10	08-07	05-20	08-17	05-30	08-24	06-10	09-03
	父本	04-08	08-02	04-19	08-10	05-01	08-19	05-11	08-27	05-24	09-05
		22*		21*		19*		19*		17*	

注: 带* 的数字表示播差期

表 6　7 测站播差期的变化

Table 6　Variation of sowing-date difference in the same sites as in Table 5

测站	纬度	拔海高度 (m)	播种期(月-日)					平均	变幅	Cv
			04-30	05-10	05-20	05-30	06-10			
徐州	34°17′	43.0	26	22	17	11	10	17	16	0.359
汉中	33°04′	508.3	26	23	22	21		23	5	0.081
东台	32°51′	6.3	29	25	23	20	17	23	12	0.179
南京	32°00′	8.9	24	20	17	16	15	18	9	0.183
合肥	31°51′	23.6	23	20	16	16	15	18	8	0.169
成都	30°40′	505.9	21	20	19	18		20	3	0.061
贵阳	26°35′	1 071.2	22	21	19	19	17	20	5	0.089
平均			24	21	19	17	14	19	8	0.179

表 7 培矮 64S 与 E32 的适宜播种期和最佳播种期

Table 7 Suitable and optimal sowing date for AP64S and E32

站名	父母本	适宜播种期(月-日)	适宜抽穗期(月-日)	最佳播种期(月-日)	最佳抽穗期(月-日)
徐州	母本	05-10～06-10	08-05～08-25	05-20～05-30	08-10～08-20
	父本	04-18～05-30		05-03～05-20	
汉中	母本	05-10～05-20	08-10～08-20	05-10～05-15	08-05～08-15
	父本	04-17～04-28		04-15～04-25	
东台	母本	05-10～05-30	08-10～08-25	05-10～05-25	08-10～08-20
	父本	04-15～05-10		04-15～04-30	
南京	母本	05-20～06-10	08-15～08-31	05-30～06-10	08-20～08-31
	父本	05-05～05-25		05-14～05-25	
合肥	母本	04-30～06-10	08-01～08-25	05-30～06-10	08-20～08-25
	父本	04-07～05-25		05-14～05-25	
成都	母本	04-30～05-10	08-01～08-10	04-30～05-10	08-01～08-10
	父本	04-09～04-30		04-09～04-20	

注: 贵阳、腾冲、昆明、思茅 4 地没有制种的适宜播种期和最佳播种期

3 结论与讨论

(1) 两系法杂交稻的制种技术, 除了必须保证亲本花期相遇外, 还必须保证不育系能在稳定不育期内抽穗, 才能确保制种成功。

(2) 本文用育性量化模型确定母本(培矮 64s) 的育性光温综合指标。用发育速度模型和秋季抽穗的温度指标, 确定母本在一季稻区 10 站抽穗持续期, 并对照育性转换指标, 确定母本的稳定不育期。用发育速度模型确定父、母本的播- 抽天数, 并椐上述结果作制种技术分析。

(3) 用南方一季稻区 10 站 42 年逐日温度和日长资料, 对 65396 制种的父母本播差期分析表明, 就单站而言, 播差期随播种期推迟而减少。不同地区、不同播期的父母本播差期与种植地区的纬度和拔海高度有关, 拟合的播差期随纬度、高度、播种期的三元线性回归方程结果良好。

(4) 以母本能在稳定不育期内与父本花期相遇作为制种适宜播种期; 以异交结实率最高, 父母本花期旬平均气温在 27～28 ℃作为制种最佳播种期, 南方一季稻区 10 站中有贵阳、昆明、腾冲、思茅 4 地不能安全制种, 徐州、汉中、东台、南京、合肥、成都等 6 站都存在相应的适宜播种期和最佳播种期, 这些结果可以作为 65396 制种时父母本播种期决策的依据。

(5) 本文所提出的两系法杂交稻制种的气象学方法应能适用于其他亲本和地区。

参考文献:

[1] 姚克敏, 储长树, 杨亚新, 等. 水稻两用核不育系的育性机理研究[J]. 作物学报, 1995, 21(2): 187～197

[2] 姚克敏, 储长树, 卢显富, 等. 水稻两用核不育系的育性量化模型与鉴定方法[J]. 南京气象学院学报, 1996, 19(4): 399～404

[3] 姚克敏, 杨亚新, 储长树. 水稻光敏核不育系的气象模型及其机理[J]. 南京气象学院学报, 1994, 17(4): 418～425

[4] 高亮之, 金之庆. 水稻钟模型——水稻模拟发育动态的计算机模型[J]. 中国农业气象, 1989, 10(3): 3～10

[5] 侯杰夫. 浅议杂交水稻制种花期安排与预测[J]. 杂交水稻, 1997, (4): 37～38

Decision on sowing-time difference between the parents of hybrid rice 65396

YAO Ke-min[1], YANG Xue-bin[1], GU Xian-yao[1],
ZOU Jiang-shi[2], LU Chuan-geng[2]
(1. Department of Environmental Sciences, NIM, Nanjing 210044;
2. Jiangsu Academy of Agricultural sciences, Nanjing 210010)

Abstract: In terms of a developmental model, a super high-yielding two-line hybrid rice 65396 (AP64SE32) has been investigated both on steady sterile season and duration of its female parent AP64S and on sowing-time difference between its female and male parents for seed production in a single rice cropping zone in the south of China. The agrometeorological technique for making hybrid rice seeds is applicable to zones of other rice cropping systems.

Key words: two-line hybrid rice; steady sterile period; fertility conversion index; sowing-time difference for seed production; developmental model