

亚种间杂交稻颖花受精率与温度的相关性及模型分析*

吕川根^{1**} 邹江石¹ 胡凝² 姚克敏²

(¹江苏省农业科学院,南京 210014;²南京气象学院,南京 210044)

【摘要】 分析了籼粳杂种、中间型杂种、籼稻和粳稻 4 种类型水稻 15 个品种 2 年分期播种的观测结果,结合对应的逐日气象资料,探讨了温湿度等气象因子对亚种间杂交稻受精率的影响规律,证实了亚种间杂交稻的受精率及其稳定性一般低于籼稻和粳稻。在温度、湿度、日照的 11 项气象因子中,探明温度是影响受精率的主要气象因子,且以盛花前后 5~7 d 的日均温影响最大。建立了 4 种水稻受精率-温度拟合模型,计算出亚种间杂交稻的受精最适温度和安全温度分别为 28.2~29.3 和 23.4~24.3 °C,比籼稻和粳稻的平均值分别高 2.2 和 1.5 °C。用旬平均气温 24~25 °C 作为亚种间杂交稻的安全齐穗期温度指标分析表明,亚种间杂交稻的安全齐穗期在华南双季稻区为 9 月下旬~10 月上旬,长江中下游稻区提前至 9 月上旬,江淮一季稻区则在 8 月下旬~9 月上旬。

关键词 亚种间杂交稻 受精 温度 模型

文章编号 1001-9332(2005)06-1026-07 **中图分类号** S511 **文献标识码** A

Correlation of interspecific hybrid rice spikelet fertilization rate with temperature and related statistic model. LÜ Chuangen¹, ZOU Jiangshi¹, HU Ning², YAO Kernin² (¹Jiangsu Academy of Agricultural Science, Nanjing 210014, China; ²Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2005, 16(6):1026~1032.

Using four types of rice, *i. e.*, *indica-japonica* hybrid, intermediate hybrid, *indica* and *japonica* cultivars as test materials, this paper studied the sensitivity of interspecific hybrid rice to climatic factors, and the correlations between spikelet fertilization rate (SFR) and daily meteorological factors during 2000 and 2001. The results showed that the SFR of interspecific hybrids was lower than that of *indica* and *japonica* cultivars. Among eleven meteorological factors, temperature was the key factor, and the mean temperature within five or seven days around panicle flower blooming affected the SFR significantly. A comprehensive model of SFR-temperature was established, with which, the fittest temperature and safe temperature for fertilization of interspecific hybrids was estimated to be 28.2~29.3 °C and 23.4~24.3 °C, 2.2 °C and 1.5 °C higher than those of *indica* and *japonica* cultivars, respectively. It was suggested that the safe heading date for planting interspecific hybrid should be moved up to the last ten-day of September to the first ten-day of October in southern China, the first ten-day of September in middle and lower reaches of Yangtze River Valley, and the last ten-day of August to the first ten-day of September in rice planting area between Yangtze and Huai River.

Key words Interspecific hybrid rice, Fertilization, Temperature, Model.

1 引言

杂交水稻具有明显的杂种优势。一般而言,亚种间杂交稻的生长优势强于品种间杂交稻,但同时也会因遗传差异增大,而出现育性降低和对环境的敏感性增加等问题^[1,4,8],给实际应用带来困难。亚种间杂交稻育性首先取决于遗传因子。普通籼粳亚种间杂种的育性仅为 0~40%,主要受控于 S5 位点一组等位基因的互作而引起的败育,绝大多数亚种间杂种的遗传不育障碍可以通过该位点的复等位基因 S5-n (广亲和基因)解决^[2,3]。在遗传背景既定的情况下,受精结实主要受植株生理状况和环境生态因子的影响。有关“库”、“源”关系等生理因素对亚种间杂交稻结实率的影响已有部分报道^[9,20]。在生态

因子对水稻受精结实的影响方面,对常规水稻和品种间杂交稻已有较多研究^[6,15~17,22],而对亚种间杂交稻生长的影响尤其是对受精结实的影响规律少有研究报道,仅限于日均温等单因子对花粉育性或结实率影响的定性描述^[8,11,21]。本研究用 15 个不同类型杂交种或常规品种(分成籼粳杂种、中间型杂种、籼稻、粳稻 4 种类型)进行 2 年的分期播种,观察分析了各品种不同出穗期的受精率,结合对应的逐日气象资料,对温度、湿度、日照的 11 项气象因子进行了相关性普查,探讨了温度等因子对亚种间杂交稻受精结实的影响,提出了受精率-温度的非线性关系

* 国家“863”计划项目(2003AA212040)和“863”计划重大专项资助项目(2002AA207001)。

** 通讯联系人。

2004-05-25 收稿,2004-10-14 接受。

和综合模型,旨在探明亚种间杂交稻受精结实对气象因子的反映规律,为亚种间杂交稻的合理种植布局提供理论依据。

2 材料与方法

2.1 供试材料

于2000~2001年在南京(32.0°N, 118.48°E)进行分期播种盆栽试验。选用15个不同类型杂种或常规品种,从4月30日~7月19日每隔20d播种1期,共5期。从7月下旬~10月下旬,对每个品种每隔3~7d进行抽出穗挂牌标记,成熟后收获考查受精率。凡子房受精膨大者均记为受精粒,以1~3个穗的受精总粒数占总颖花数的比例计算受精率。每个品种受精率观测次数在11~23次(表1)。对应以上试验的逐日气象资料(包括平均温度、最高温度、最低温度、日照时数、相对湿度、降水量),由试验所在地的江苏省农业科学院气象站提供。1951~1992年中国南方28个地区的旬平均气温资料由中国气象局提供。

2.2 试验方法

将15个水稻杂种或常规品种(以下均称为品种)划分为4种类型,其中亚种间杂交稻又分为籼粳杂种和中间型杂种两种类型(均含有广亲和性亲本)。具体品种为:1)籼粳杂种类型。A12(Kasalath/Akihikari), A23(K58/Kasalath), A114(Kasalath/Nekken1), A172(3037/02428), TA01(NJ11/02428), TA05(NJ14/02428),共6个杂交组合;2)中间型杂种类型(籼爪交或粳爪交)。两优培九(培矮64S/9311),两优E32(培矮64S/E32),泗优422(731A/轮回422),共3个杂交组合;3)籼稻(或籼型杂种)。9311, IR36, S23(Kasalath)3个籼稻和1个籼型杂种汕优63;4)粳稻。K58和W21共2个品种。

按4种类型统计受精率,比较类型间的差异。通过受精率与不同时段、不同气象因子之间的相关性普查,筛选具有显著相关性的影响因子和时段。共选择了11项气象因子,其

中日平均气温2项: T_5 (盛花当天和前后各2d日均温的平均值), T_7 (盛花当天和前后各3d日均温的平均值);日最高气温2项: TM_5 , TM_7 (下标数值的意义与平均气温相同,下同);日最低气温2项: T_{m5} , T_{m7} ;平均相对湿度和日照时数各2项: RH_5 , RH_7 和 S_5 , S_7 ;日降水量1项: R_5 。上述气象因子的时段能够包容被观测稻穗的绝大多数颖花的开花期。通过相关分析和回归拟合,确定气象因子对受精率的影响规律,建立相应的回归模型^[14]。

根据受精率-温度相互关系,并依据南方稻区1951~1992年秋季旬平均温度资料,提出亚种间杂交稻在中国南方各稻区种植的安全齐穗期。

3 结果与分析

3.1 不同类型水稻受精率及其稳定性的差异

由表1可以看出,在相近气象条件下,4种类型水稻的平均受精率存在明显差异。籼粳杂种最低,平均为 $63.3\% \pm 17.9\%$;中间型杂种其次,平均为 $69.3\% \pm 9.4\%$;籼稻和粳稻较高,分别为 $73.8\% \pm 13.9\%$ 和 $76.7\% \pm 6.4\%$ 。籼粳杂种和中间型杂种比籼稻与粳稻受精率的平均值分别低12%和6%(表1),表明亚种间杂交稻受精率一般低于常规品种,遗传差异较大的籼粳杂种受精率又低于遗传差异相对较小的中间型杂种。而另一方面,4种类型水稻间的最高受精率却非常接近,说明只要环境条件适宜,并且亲本之一具有广亲和性,籼粳杂种和籼爪或粳爪中间型杂种的育性与籼、粳稻相近。籼粳杂种和中间型杂种的受精率变异系数分别为52.2%和38.5%(表1),均明显高于籼稻和粳稻,以受精率的变异系数来衡量其稳定性,亚种间杂交稻受精率的稳定性明显低于籼、粳稻,籼粳杂种又明显低于中间型杂种。

表1 4种类型水稻受精率的统计结果

Table 1 Spikelet fertilized rate (SFR) of four types of rice (%)

类型 Type							类型平均 Mean
籼粳杂种 <i>Indica-japonica</i> hybrid	A12(12) ¹⁾	A23(21)	A114(13)	A172(16)	TA01(14)	TA05(11)	
平均受精率 Average SFR	75.9	70.8	55.2	51.7	61.5	64.4	63.3
最高受精率 Highest SFR	96.2	97.3	97.5	93.4	96.4	89.8	95.1
变异系数 CV	36.4	44.1	62.7	64.4	56.7	48.9	52.2
中间型杂种 Intermediate hybrid	两优培九 Liangyoupeijiu(19) 两优 E32 Liangyou E32(16) 泗优 422 Siyou422(16)						
平均受精率 Average SFR	63.7						69.3
最高受精率 Highest SFR	96.0						95.2
变异系数 CV	43.6						38.5
籼稻 <i>indica</i>	9311(12)		IR36(23)	S23(15)	汕优 63 Shanyou63(15)		
平均受精率 Average SFR	73.5		72.0	83.3	66.2		73.8
最高受精率 Highest SFR	91.0		94.9	98.2	93.2		94.3
变异系数 CV	18.8		29.6	28.6	43.8		30.2
粳稻 <i>japonica</i>	K58(18)			W21(19)			
平均受精率 Average SFR	79.0			74.4			76.7
最高受精率 Highest SFR	92.0			94.3			93.2
变异系数 CV	27.0			37.6			32.3

1) 为取样次数 Sampling times.

表 2 受精率与气象因子的相关普查¹⁾

Table 2 Correlation coefficients between spikelet fertilized rate and climatic factor

项目 Item	T ₅	T ₇	T _{M5}	T _{M7}	T _{m5}	T _{m7}	RH ₅	RH ₇	S ₅	S ₇	R ₅
A12	0.83**	0.80**	0.81**	0.77**	0.82**	0.79**	-0.39	-0.31	0.53*	0.43	-0.02
A23	0.90**	0.90**	0.89**	0.87**	0.87**	0.88**	-0.13	-0.01	0.38	0.17	0.30
A114	0.79**	0.81**	0.77**	0.75**	0.74**	0.77**	-0.33	-0.26	0.49*	0.35	0.16
A172	0.77**	0.79**	0.74**	0.74**	0.75**	0.80**	0.19	0.33	0.29	0.03	0.22
TA01	0.80**	0.80**	0.76**	0.76**	0.78**	0.77**	0.15	0.22	0.14	0.10	0.30
TA05	0.89**	0.88**	0.90**	0.89**	0.85**	0.84**	-0.09	0.01	0.51*	0.27	0.47
籼粳杂种类型平均 Average of <i>indica-japonica</i> hybrids	0.83**	0.83**	0.81**	0.80**	0.80**	0.81**	-0.10	0.0	0.39	0.23	0.24
两优培九 Liangyoupejiu	0.79**	0.77**	0.77**	0.73**	0.77**	0.76**	0.07	0.23	0.13	-0.10	0.31
两优 E32 LiangyouE32	0.77**	0.71**	0.76**	0.67**	0.74**	0.69**	-0.21	-0.08	0.26	0.06	0.24
酒优 422 Siyou422	0.79**	0.73**	0.75**	0.67**	0.77**	0.73**	0.06	0.19	0.25	-0.06	0.32
中间型杂种类型平均 Average of intermediate hybrids	0.78**	0.74**	0.76**	0.69**	0.76**	0.73**	-0.03	0.11	0.21	-0.03	0.29
9311	0.54*	0.59*	0.41	0.46	0.67**	0.68**	0.22	0.36	-0.29	0.50*	0.45
IR36	0.74**	0.79**	0.75**	0.78**	0.66**	0.71**	-0.23	-0.17	0.38	0.29	0.20
S23	0.72**	0.75**	0.78**	0.78**	0.57**	0.62**	-0.32	-0.27	0.50*	0.46*	0.20
汕优 63 Shanyou63	0.88**	0.89**	0.91**	0.90**	0.79**	0.86**	-0.14	0.12	0.38	0.54*	0.12
籼稻类型平均 Average of <i>indica</i>	0.72**	0.76**	0.71**	0.73**	0.67**	0.72**	-0.12	0.01	0.24	0.45*	0.24
K58	0.72**	0.78**	0.73**	0.78**	0.65**	0.70**	-0.11	-0.05	0.18	0.12	0.24
W21	0.66**	0.58**	0.68**	0.60**	0.60**	0.53**	-0.05	-0.02	0.18	0.10	0.19
粳稻类型平均 Average of <i>japonica</i>	0.69**	0.68**	0.71**	0.69**	0.63**	0.62**	-0.08	-0.04	0.18	0.11	0.22

1) 2000 与 2001 年观测样本合并分析 Samples include data of 2000 and 2001. ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$. 下同 The same below.

3.2 影响受精率的气象因子

由表 2 可以看出, 在 6 项温度因子中, 除 9311 有 T_{M5} 和 T_{M7} 未达显著水平外, 所有品种的受精率与 6 项温度指标的相关系数均达显著 ($P < 0.05$) 或极显著 ($P < 0.01$) 水平. 在其他气象因子中, S₅ 和 S₇ 对受精率有一定影响, 相对湿度和日降水量的相关结果都没有达到显著水平 ($P > 0.05$). 4 种类型水稻的受精率与温度的相关系数表现为: 籼粳杂种 > 中间型杂种 ≈ 籼稻 > 粳稻, 表明籼粳杂种对温度的敏感性大于籼稻和粳稻.

3.3 温度对受精率的影响

根据普查结果, 选用 T₅ 作为指标分析温度对受精率的影响. 根据本试验受精率观测期间的实际温度变幅, 将温度划分为 ≤20、20.1~22、22.1~24、

24.1~26、26.1~28、28.1~30 和 >30 °C 共 7 个温度级, 并将所有受精率观测资料按类型归并到相应的温度级中, 计算 4 个类型受精率的平均值. 结果表明, 若以 ≤24 °C 为低温, 24.1~28 °C 为中温, >28 °C 为高温, 则低温下 4 种类型间的受精率差异最大. 以 4 种类型水稻在同一温度级下的受精率距平值表示相对差异, 则在 3 个低温级中, 籼粳杂种的平均受精率仅为 4 种类型水稻平均受精率的 62.1%, 中间型杂种为 93.7%, 而籼稻和粳稻分别为 117.6% 和 126.6% (表 3). 在中温或高温条件下, 4 种类型水稻平均受精率相对差异较小 (表 3), 表明低温是造成不同类型水稻受精率差异的主要生态因子. 在 3 个低温级中, 相同温度下的受精率表现为籼粳杂种 < 中间型杂种 < 籼稻 < 粳稻, 表明籼粳杂种的耐低温能力最弱, 中间型杂种次之.

表 3 4 种类型水稻在不同温度下的受精率

Table 3 Spikelet fertilized rate of four types of rice at different temperature

类型 Type		温度 Temperature(°C)						
		≤20	20.1~22	22.1~24	24.1~26	26.1~28	28.1~30	>30
籼粳杂种 <i>indica-japonica</i>	受精率 SFR (%)	2.9	37.2	36.6	84.1	84.8	88.5	80.7
	距平 Compared to average (%)	66.7	59.6	60.0	103.9	98.7	101.3	106.3
	样本数 Number	10	14	12	16	10	23	2
中间型杂种 Intermediate hybrid	受精率 SFR (%)	4.2	51.3	62.4	77.5	91.3	86.8	-
	距平 Compared to average (%)	96.6	82.2	102.4	95.7	106.2	99.3	-
	样本数 Number	1	7	12	16	3	12	0
籼稻 <i>indica</i>	受精率 SFR (%)	5.0	76.5	70.2	81.5	81.4	85.4	71.1
	距平 Compared to average (%)	114.9	122.6	115.2	100.7	94.7	97.7	93.7
	样本数 Number	6	13	12	17	6	14	1
粳稻 <i>japonica</i>	受精率 SFR (%)	5.3	84.6	74.6	80.7	86.3	88.9	-
	距平 Compared to average (%)	121.8	135.6	122.4	99.7	100.4	101.7	-
	样本数 Number	3	6	8	10	3	6	0

表 4 籼粳杂种 A23 的受精率与温度的线性和非线性拟合

Table 4 Simulation for spikelet fertilized rate of an *indica-japonica* hybrid A23 with linear and nonlinear models on temperature

年份 Year	拟合模型 Simulation model	拟合方程	相关系数 Correlation coefficient	温度变幅 Temperature fluctuate (°C)	样本数 Number
2000	线性模型 Linear model	$P = 7.065T_5 - 103.2$	0.879**	15.0~28.8	15
	非线性模型 Nonlinear model	$P = -0.003T_5^2 + 7.166T_5 - 104.3$	0.879**		
2001	线性模型 Linear model	$P = 4.574T_5 - 49.3$	0.494 ^{ns}	17.7~32.4	6
	非线性模型 Nonlinear model	$P = -0.980T_5^2 + 53.66T_5 - 641.1$	0.946**		
2000 + 2001	线性模型 Linear model	$P = 6.225T_5 - 85.9$	0.754**	15.0~32.4	21
	非线性模型 Nonlinear model	$P = -0.326T_5^2 + 21.17T_5 - 248.7$	0.812**		

** $P < 0.01$; ns: 不显著 No significant correlation.

选用 2 年试验受精率观测中分别未遇高温(2000 年, 温度幅度 15.0~28.8 °C)和相遇高于 30°C 高温(2001 年, 温度幅度 17.7~32.4 °C)的 A23(K58/Kasalath)组合, 通过比较其线性和非线性拟合的效果判别高温对受精率的影响. A23 在 2000 年的受精率与温度的线性和非线性拟合效果一致, 而 2001 年的非线性拟合效果明显提高. 两年结果合并拟合, 也是非线性的二次抛物线拟合相关系数比线性相关系数高(表 4), 表明高温对受精率的影响客观存在^[15,16,18]. 在实际观测结果中, 在 28.4 °C 时 A23 的受精率为 96.8%, 而 32.4 °C 时仅为 66.7%.

鉴于低温或高温都会对水稻的受精结实产生不利影响^[8,11,15,16,18], 本文选择二次抛物线型拟合受精率-温度曲线, 结果 4 种类型水稻都有良好的拟合效果($P < 0.01$, 图 1). 二次抛物线型拟合效果均好于线性拟合^[11], 表明不良温度对受精率危害的客观存在. 4 种类型水稻受精率-温度拟合方程为:

$$P_{\text{籼粳杂种}} = -0.789T_5^2 + 46.21T_5 - 586.9$$

$$(r = 0.874^{**}, n = 87) \quad (1)$$

$$P_{\text{中间型杂种}} = -0.829T_5^2 + 46.83T_5 - 571.8$$

$$(r = 0.735^{**}, n = 51) \quad (2)$$

$$P_{\text{籼稻}} = -1.208T_5^2 + 63.56T_5 - 744.3$$

$$(r = 0.769^{**}, n = 65) \quad (3)$$

$$P_{\text{粳稻}} = -0.702T_5^2 + 37.73T_5 - 417.9$$

$$(r = 0.710^{**}, n = 37) \quad (4)$$

为验证拟合方程的应用可信性, 计算了 4 种类型水稻在 T_5 时段分别为 23.5 (代表低温)和 28.5°C (代表高温)时的受精率, 并与实际观察结果进行了比较. 结果表明, 模型可信度良好. 如 28.5°C 时籼粳杂种结实率的预测值为 87.6%, 实际观察结果为 89.2% (表 5).

对(1)~(4)式求极大值即为 4 种类型水稻受精率的最适温度(受精率最高时的温度). 由各模型也可求得安全温度(受精率为 70% 时的温度)以及

在不同温度水平下的受精率波动率(温度每升高 1 °C 受精率的增加值, %·°C⁻¹)(表 6). 由表 6 可以看出, 4 种类型水稻受精率的最适温度不同, 籼粳杂种为 29.3 °C, 中间型杂种为 28.2 °C, 亚种间杂种的平均值比籼稻与粳稻的平均值高 2.2 °C, 说明亚种间杂交稻要求的开花受精温度比籼、粳稻明显高. 受精

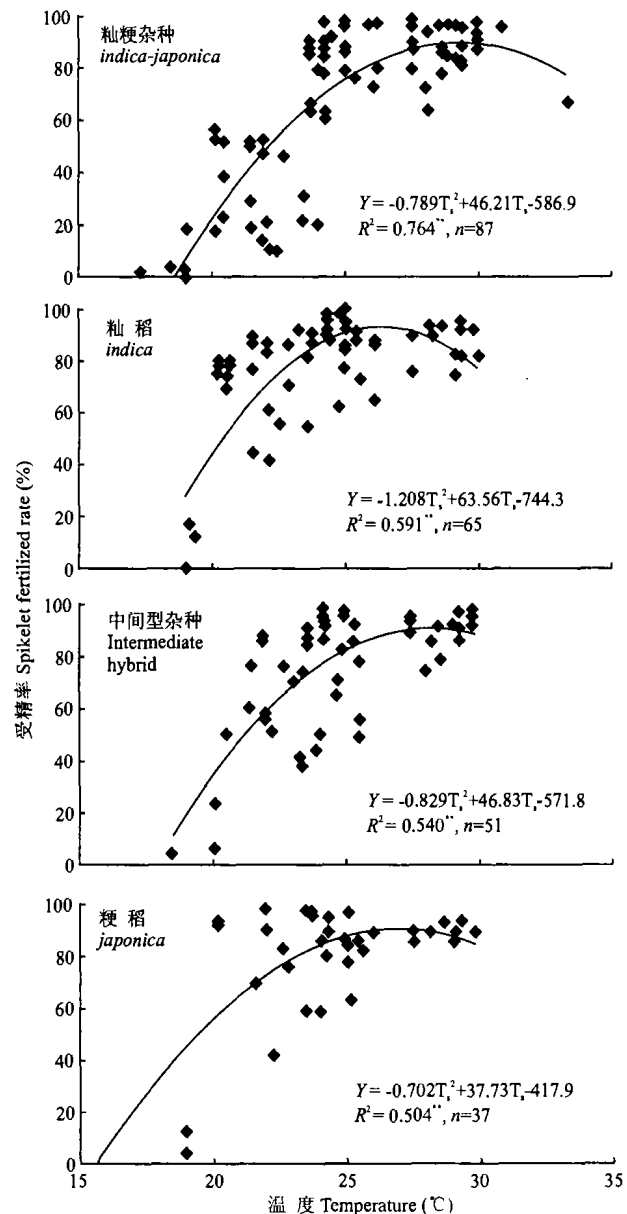


图 1 4 种类型水稻受精率与温度的关系

Fig.1 Correlations between spikelet fertilized rate and temperature for four types of rice.

表5 4种类型水稻受精率-温度拟合方程估算的理论值和实测值比较

Table 5 Comparison on theoretical and practical spikelet fertilized rate of four types of rice

项目 Item	23.5(℃)			28.5(℃)		
	理论值 Theoretical (%)	实测值 Practical (%)	实测时温度 Temperature(℃)	理论值 Theoretical (%)	实测值 Practical (%)	实测时温度 Temperature(℃)
籼粳杂种 <i>indica-japonica</i>	58.1	65.1	23.7	87.6	89.2	28.5
中间型杂种 Intermediate hybrid	65.5	71.7	23.6	81.5	89.4	28.4
籼稻 <i>indica</i>	80.3	82.3	23.5	85.5	86.5	28.4
粳稻 <i>japonica</i>	80.0	82.0	23.7	88.7	87.4	28.4

表6 4种类型水稻受精率的温度指标和波动率

Table 6 Temperature index and fluctuating rate of spikelet fertilized rate for four types of rice

类型 Type	温度 Temperature (℃)	籼粳杂种 <i>indica-japonica</i>	中间型杂种 Intermediate hybrid	籼稻 <i>indica</i>	粳稻 <i>japonica</i>
最适温度 Fittest temperature(℃)		29.3	28.2	26.3	26.9
安全温度 Safe temperature(℃)		24.3	23.4	23.0	21.7
受精率波动率 Fluctuating rate of SFR in temperature variation(%·℃ ⁻¹)	24	8.3	7.0	5.6	4.0
	26	5.2	3.7	0.7	1.2
	28	2.0	0.4	-4.1	-1.6
	30	-1.1	-2.9	-8.9	-4.4
	32	-4.3	-6.2	-13.8	-7.2

率为70%的安全温度亚种间杂交稻也比籼稻和粳稻高,籼粳杂种为24.3℃,中间型杂种为23.4℃,亚种间杂交稻平均值比籼稻与粳稻的平均值高1.5℃.由于温度对受精率的影响表现为非线性,因此不同温度水平下,受精率随温度的波动率也不同.籼

表7 4种类型水稻的受精率-温度综合模型

Table 7 Synthesis model of SFR-temperature for four types of rice

类型 Type	模型 Model	模型效果 Effect of model		
		F	R	样本数 Number
籼粳杂种 <i>indica-japonica</i>	$G_{\text{籼粳杂种}} = -0.497T_7^2 + 28.40T_7 + 1.734T_{M5} + 1.728T_{m5} - 0.684\Delta T_5 - 412.3$	48.97***	0.841...	87
中间型杂种 Intermediate hybrid	$G_{\text{中间型}} = -0.004T_7^2 + 0.146T_7 + 1.952T_{M5} + 3.619T_{m5} + 0.864\Delta T_5 - 68.58$	16.58***	0.793***	37
籼稻 <i>indica</i>	$G_{\text{籼稻}} = -0.588T_7^2 + 31.63T_7 + 0.600T_{M5} + 0.313T_{m5} + 1.193\Delta T_5 - 370.8$	16.80***	0.736**	65
粳稻 <i>japonica</i>	$G_{\text{粳稻}} = -1.059T_7^2 + 58.35T_7 + 0.336T_{M5} - 1.768T_{m5} + 0.339\Delta T_5 - 666.3$	10.66***	0.786***	37

T₇: 盛花当天及前后各3d的平均温度 Average temperature within seven days around bloom flowering; T_{M5}、T_{m5}、ΔT₅: 盛花当天及前后各2d的最高温度、最低温度和温度日较差 Highest temperature, lowest temperature, and temperature fluctuate, respectively, within five days around bloom flowering. ** P<0.01; *** P<0.001.

4 讨论

本研究采用的亚种间杂交稻均含有广亲和基因,在适宜条件下最高受精率均高于90%(仅TA05为89.6%).在遗传背景既定的情况下,颖花受精率主要受开花期温湿度等环境生态因子的影响.“库”、“源”关系等生理因子仅对受精粒的充实(结实率)有较大影响^[9],影响颖花受精率的生理因素则是花粉粒淀粉充实程度、ATP含量和柱头活性,而这些因素也主要受花粉充实期和开花期的温度等生态因子的影响^[11].

粳杂种和中间型杂种的受精率波动率表现为高温(≥30℃)下较小,中、低温下(≤26℃)明显较大,表明亚种间杂交稻受精率具有较高温度下稳定性较好而低温下稳定性较差的特点.

3.4 受精率-温度综合模型

根据上述受精率-温度关系的分析,为全面描述各项温度指标对受精率的综合影响,本文采用多元回归方法建立4种类型水稻的受精率-温度模型.考虑到模型的实用性和概括性,建模型时将每一个类型内各品种的所有观测值合并为一个样本.在确定回归因子时,日平均温度采用抛物线形式,最高、最低温度采用线性形式,并用温度日较差ΔT(T_M-T_m)替代日照时数对受精率的影响.由上述4个因子建立的受精率-温度综合模型均具有大样本、拟合效果好的特点(表7),能比较全面地解释影响4种类型水稻受精率变化的温度综合原因.

用11项气象因子对4种类型水稻的受精率进行相关性普查表明,温度是影响水稻受精的主要因子,以盛花当天及前后各2d(T₅)和盛花当天及前后各3d(T₇)的影响具有普遍性和较高相关度.最高和最低气温因与平均气温相关密切,对受精率的影响在本质上与平均气温相同.

日照时数对受精率也有一些影响.相对湿度和日降水量的相关普查结果均没有达到显著水平,但是如果是盛花时遭雨,则会明显降低受精率^[6,19,22].本文用多元回归方法建立了4种类型水稻的受精率-温度综合模型,并采用了包括日平均气

温、日最高气温、最低气温和日较差等温度表达形式,以描述温度对受精率的综合影响。

试验结果表明,在相近气象条件下,4 种类型水稻间最高受精率相近,而平均受精率和受精率变异系数存在较大差异。亚种间杂交稻的平均受精率明显低于籼、粳稻,而受精率的变异系数却明显高于籼、粳稻,表明亚种间杂交稻受精率及其稳定性低于籼稻和粳稻。在两种类型亚种间杂交稻中,亲缘关系较远的籼粳杂种的受精率和稳定性又明显低于亲缘关系相对较近的中间型杂种,表明杂交亲本间的遗传距离是影响杂种受精率的重要遗传因子^[1,8]。4 种类型水稻受精率与温度的相关程度有籼粳杂种>中间型杂种~籼稻>粳稻的规律,低温对受精率影响程度的顺序表现为籼粳杂种>中间型杂种>籼稻>粳稻,表明亚种间杂交稻的受精率对温度尤其是低温的反应比籼稻和粳稻更敏感。

亚种间杂交稻育性易受低温的影响有其遗传学原因,已发现多个配子体败育基因和低温敏感基因^[5,7],低温诱使携有某种配子体基因型的雄配子发生败育或活性降低而导致花粉育性的下降^[8]。因此,改善花粉的耐低温能力是提高亚种间杂种结实率及其稳定性的重要途径。在少数品种中存在可缓解亚种间杂合体配子败育的亲亲和基因和低温钝感基因,将这些基因导入亚种间杂种中,可有效缓解配子体部分败育而提高花粉育性及其稳定性^[13]。水稻受精率是小穗育性和花粉育性互相作用的结果。作者已有的研究表明,低温对受精结实的影响主要缘于花粉育性的降低^[8,10,11]。本试验表明,高温对水稻受精也存在抑制作用^[15~17],比较 4 种类型水稻的受精率-温度的线性和非线性回归效果,用抛物线拟合均有更高的相关性。根据拟合方程计算出 4 种类型水稻的开花受精最适温度和安全温度,这些参数对采用生态调节措施提高亚种间杂交稻的受精结实率具有理论参考价值。

亚种间杂交稻开花受精要求的最适温度和安全温度分别为 29.3~28.2 和 24.3~23.4 °C,分别比籼、粳稻的平均值高 2.2 和 1.5 °C^[8],而且籼粳杂种对温度的要求高于中间型杂种。因此,要充分发挥亚种间杂交稻的优势,提高其受精结实率,需从生态角度分析受精率与气候条件之间的关系,了解亚种间杂交稻适宜种植的条件,合理规划种植区域和种植季节^[12]。

由于中国南方各稻区的地理位置、地形特点和季风特征,秋季冷空气总是逐渐由北向南移动并减

弱,南方各稻区秋季降温强度存在一定的差异,亚种间杂交稻在各稻区的安全齐穗期也由北向南逐渐推迟。根据中国南方主要稻区 1951~1992 年 8~10 月的旬平均温度资料,用旬平均气温 24~25 °C 作为亚种间杂交稻的安全齐穗期温度指标进行分析表明,亚种间杂交稻的安全齐穗期在华南双季稻区为 9 月下旬~10 月上旬(海口和湛江可迟 1 旬,桂林、福州、南平须早 1 旬),长江中下游稻区提前至 9 月上旬,江淮一季稻区则在 8 月下旬~9 月上旬^[12]。

参考文献

- 1 Chen L-Y(陈立云), Xiong W(熊 炜), Yang J-H(阳菊华), et al. 2002. Relationship between the extent of genetic differentiation in parental lines and seed setting percentage stability in intersub-specific hybrid rice. *J Hunan Agric Univ* (湖南农业大学学报), 28(2): 89~92(in Chinese)
- 2 Ikehashi H, Zou JS, Huhn PM, et al. 1994. Wide-compatibility gene and *indica-japonica* heterosis in rice for temperate countries. In: Virmani SS, ed. *Hybrid Rice Technology*. Manila: IRRI Press. 21~31
- 3 Ikehashi H, Araki H. 1987. Screening and genetic analysis of wide-compatibility in F_1 hybrid of distant crosses in rice (*Oryza sativa* L.). In: Ikehashi H, ed. *Technology Bulletin of Tropic Agricultural Research Center*. Tsukuba: Tropic Agricultural Research Center. 1~79
- 4 Li HB, Zhang QF, Liu AM, et al. 1996. A genetic analysis of low temperature sensitive sterility in *indica-japonica* hybrids. *Plant Breeding*, 115: 305~309
- 5 Li HB, Wang J, Liu AM, et al. 1997. Genetic basis of low-temperature-sensitive sterility in *indica-japonica* hybrids of rice as determined by RFLP analysis. *Theor Appl Genet*, 95: 1092~1097
- 6 Li L(李 林). 1991. Effect of raining on rice production and the countermeasure in Jiangsu Province. *Jiangsu Agric Sci* (江苏农业科学), (5): 17~20(in Chinese)
- 7 Lin SY, Ikehashi H, Yanagihara S, et al. 1992. Segregation distortion via male gamete in hybrids between *indica* and *japonica* or wide compatibility varieties of rice (*Oryza sativa* L.). *Theor Appl Genet*, 84: 812~818
- 8 Lü C-G(吕川根), Wang C-L(王才林), Zong S-Y(宗寿余), et al. 2002. Effects of temperature on fertility and seed set in intersub-specific hybrid rice. *Acta Agron Sin* (作物学报), 28(4): 499~504 (in Chinese)
- 9 Lü C-G(吕川根), Zong S-Y(宗寿余), Zhao L(赵 凌), et al. 2000. Studies on the seed set of a two-line intersubspecific hybrid, Liangyoupeijiu. *Jiangsu J Agric Sci* (江苏农业学报), 16(4): 193~196(in Chinese)
- 10 Lü C-G(吕川根), Zong S-Y(宗寿余), Zhao L(赵 凌), et al. 2003. Stability and effects of temperature on seed setting rate for a two-line hybrid rice, Liangyoupeijiu. *Chin J Rice Sci* (中国水稻科学), 17(4): 339~342(in Chinese)
- 11 Lü CG, Zou JS, Ikehashi H. 1999. Spikelet fertility affected by low temperature in *indica-japonica* hybrids of rice. *Jap J Trop Agric*, 43(4): 254~259
- 12 Lü C-G(吕川根), Zou J-S(邹江石). 2004. Planting conditions for a two-line super hybrid rice, Liangyoupeijiu. *Hybrid Rice* (杂交水稻), 19(2): 45~49(in Chinese)
- 13 Lü CG, Zou JS, Ikehashi H. 2004. Developing rice lines for possessing neutral alleles at sterility loci to improve the width of compatibility. *Plant Breeding*, 123(1): 98~100
- 14 Lu X-G(卢兴桂), Yuan Q-H(袁潜华), Yao K-M(姚克敏), et al. 2001. *Ecological Adaptability of Photo-sensitive Male Sterile Rice*. Beijing: Meteorology Press. (in Chinese)
- 15 Mackill DJ. 1981. Rice pollination characteristics related to high

- temperature tolerance. *IRRN*, 6(5): 11~12
- 16 Ren C-F(任昌福), Zhang H-S(张洪松). 1984. Effect of high temperature on flowering and seed set of hybrid rice. *J Southwest Agric Coll* (西南农学院学报), 6(1): 25~30(in Chinese)
- 17 Tetsuno, Shouichi, Yoshida. 1978. High temperature induce sterility in *indica* at flowering. *Jap J Crop Sci*, 47(1): 6~17
- 18 Wei M(魏 溟), Wang G-M(王光明), Chen G-H(陈国惠), et al. 2002. Effect of high temperature at full flowering stage on seed setting percentage of two-line hybrid rice, Liangyoupeijiu. *Hybrid Rice* (杂交水稻), 17(1): 51~53(in Chinese)
- 19 Xie P-Q(解平强), Long G-B(龙国炳), Li Z-W(李卓吾). 1989. Primary study on meteorological conditions to seed setting rate of intersubspecific hybrid rice. *Hunan Agric Sci* (湖南农业科学), (3): 7~8(in Chinese)
- 20 Xue Y-F(薛艳凤), Lü J-F(陆江锋), Lu C-G(吕川根), et al. 2001. Studies on the development of grain filling of two-line intersubspecific hybrid rice, Liangyoupeijiu. *Jiangsu Agric Res* (江苏农业研究), 22(2): 13~19(in Chinese)
- 21 Yang J(杨 杰), Wan J-M(万建民), Zhai H-Q(翟虎渠), et al. 2003. Effect of temperature on pollen fertility in intersubspecific rice hybrids. *Chin J Rice Sci* (中国水稻科学), 17(2): 145~148 (in Chinese)
- 22 Zhang Y-Z(张玉烛), Zhang G-H(张桂和), Zhu G-Q(朱国奇), et al. 1995. Effects of overcast and raining on flowering, fertilizing and seed setting on early rice. *Chin J Rice Sci* (中国水稻科学), 9(3): 173~178(in Chinese)

作者简介 吕川根,男,1964年生,研究员,博士.主要从事水稻育种与栽培研究,发表研究论文50余篇. Tel: 025-84390313; E-mail: rb8@jaas.ac.cn

FIRST ANNOUNCEMENT AND CALL FOR PAPERS

INTERNATIONAL CONFERENCE ON WASTE TREATMENT AND MANAGEMENT

July 25~28, 2005

Shenyang, China

Organized by

Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences (CAS)

International Solid Waste Association
Key Laboratory of Terrestrial Ecological Process, CAS
Aalborg University, Denmark
Ecological Society of China
China Association of Urban Environmental Sanitation

Sponsored by

CAS
National Natural Science Foundation of China
Ministry of Science and Technology, People's Republic of China

International Solid Waste Association
Panjin Municipal Government, China

Scientific Program-Selected Topics (Preliminary)

- Collection/Transportation and Integrated Utilization of Urban Wastes
- Landfill, Compost and Management of Urban Domestic Wastes
- Biological and Wetland Treatment of Wastewater including Landfill Leachate
- Ecological Methods of Waste Treatment
- Phytoremediation and ecological rehabilitation of Abandoned Landfilled Sites

Manuscripts and Publication

All papers to be reviewed for publication in *Waste Management & Research* as a special volume should be submitted to the conference Secretariat before 31 December 2004 in final version, according to the instructions and guidelines to authors of the journal. Accepted papers for the workshop will be published before the workshop.

Conference Tours

Shenyang Qing-Imperial Palace

Transportation and Accommodation

Foreign guests will be received at the Taoxian Airport in Shenyang on request and arranged in a comfortable hotel.

Registration Fees

Standard, US\$ 300; students, US\$ 150 before 15 April 2004

Standard, US\$ 350; students, US\$ 200 after 16 April 2004

The full registration fee includes all conference materials, reception and send-off, tea and coffee breaks, breakfast, lunch, dinner and the conference banquet.

For More Information, Please Contact:

Conference Secretariat

Key Laboratory of Terrestrial Ecological Process

Chinese Academy of Sciences

Shenyang 110016, China

Tel: 0086-24-83970373

Fax: 0086-24-83970436

E-mail: Zhaomanru@iae.ac.cn; Zhouqx@iae.ac.cn