

水稻两优培九株型特征研究

邹江石¹ 姚克敏² 吕川根¹ 胡雪琼^{2*}

(¹江苏省农业科学院, 江苏南京 210014; ²南京气象学院应用气象系, 江苏南京 210044)

摘要 根据我国超级杂交稻育种研究的技术思路和作者的长期栽培育种实践与研究成果,以两优培九(培矮 64S/9311)和汕优 63(CK)等 7 个水稻品种(组合)为试验材料,分析了 20 项株型因素的相关关系。认为株高和叶角是超高产育种和栽培的两项最主要的株型因素。生态条件对两优培九株高的影响可以达到平均株高的 12.6%,并建立了株高的生态预测模型。通过对抽穗后顶部三叶的 8 种叶角度配置的单位受光量的理论模拟计算证明,理想的株型应以剑叶与倒二叶距离(d1d2)为 15 cm,倒二叶与倒三叶距离(d2d3)为 25 cm,叶角配置应以 4°~6°(剑叶),9°~11°(倒二叶),14°~16°(倒三叶)为宜。两优培九的叶角配置已经达到了理想株型的要求。两优培九的光合优势主要表现在主茎绿叶数多、全生育期间的光合面积大、功能叶衰退较慢以及比叶重大、叶片厚等方面,因而具有比较明显的增产优势。

关键词 两优培九;株型因素;光合优势;株高生态规律;受光量

中图分类号: S511 文献标识码: A

Study on Individual Plant Type Character of Liangyoupeijiu Rice

ZOU Jiang-Shi¹ YAO Ke-Min² LÜ Chuan-Gen¹ HU Xue-Qiong²

(¹ Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing, Jiangsu 210010; ² Department of Applied Meteorology, NIM, Nanjing, Jiangsu 210044, China)

Abstract In terms of technical strategy of our country's super hybrid rice breeding as well as experience and fruits that authors have achieved in the course of studying rice breeding, by using Liangyoupeijiu (Peiai 64S/9311) and Shanyou 63 (CK) as fundamental test materials, superiority of Liangyoupeijiu in plant type and its ecological change rule were discussed by means of analyzing correlation character of 20 plant type factors. Then on the basis of numerical simulation, the reasonable leaf angle configuration of function leaves was set forth. The conclusions were as follows: (1) As for super-high yield breeding and planting, plant height and leaf angle were the two most important plant type factors. (2) Though plant height was an inheritance characteristic, ecological condition was also an important influential factor. The results indicated that coefficient of variation of plant height of Liangyoupeijiu with different sowing dates was 12.6%, while it was 7.3% for Shanyou 63. The biggest variance of plant height reached 27 to 37 cm. An ecology prediction model for plant height was established in this study. (3) When d1d2, d2d3 was 15 cm, 25 cm respectively, and angle of flag leaf, angle of the second leaf from top as well as angle of the third leaf from top varied from 4° to 6°, 9° to 11°, 14° to 16° apart, individual plant type was perfect. Configuration of leaf angle of Liangyoupeijiu made its plant type measure up to perfection. (4) Photosynthetic superiority of Liangyoupeijiu was mainly showed by more green leaves on its main stalk which maintained large photosynthesis area during the whole growing period, by slower aging of function leaves, by bigger specific leaf weight as well as thicker lamina. And all these traits enabled it to more yield.

Key words Liangyoupeijiu; Factor of plant type; Photosynthetic superiority; Ecological regular of plant height; Absorbed dose of light

自 1968 年 Donald^[1,2] 提出理想株型的概念以来,高产株型研究已经成为水稻育种技术的重要组

成部分。1997 年袁隆平提出超级稻育种应走杂种优势与株型相结合的途径^[3,4]。国际水稻研究所的

*基金项目:国家 863 计划(2001AA211151)和总理基金资助。

作者简介:邹江石(1938-),男,研究员,致力于水稻育种和栽培研究,“两优培九”主要培育人。

Received(收稿日期):2002-05-21, Accepted(接受日期):2003-02-08.

新株型育种以及松岛、武田和角田等对高产水稻株型的研究均为水稻高产株型育种提供了有益的借鉴^[5,6]。作者长期的实践认为^[7,8],水稻株型应由基本型和生态型两部分构成。基本型是指水稻下位第1~3个伸长节间短而粗,上位节间长而有韧性;分蘖盛期叶片披散,孕穗以后叶片长而挺拔,顶部三张叶与茎的夹角较小;有发达的根系及较强的活力。生态型是指植株高度,穗型(含直立或弯曲),叶角,叶片的长、宽、厚度以及千粒重等性状。基本型是构架优良株型的基础,生态型是优良株型的构件,可因环境条件的差异而有不同的要求。作者在日本东京农业大学与松岛省三合作研究“水稻高产株型特征”时发现,水稻分蘖期叶片披散,分蘖力中到强,拔节期-抽穗期乃至成熟期叶片挺直,能保持较高叶面积,穗型大,结实率高,容易实现高产。两优培九(培矮64S/9311)是作者以上述思想为指导育成的超高产两系法杂交稻组合。为了探讨生态条件对水稻株型的影响规律,本文以该组合和汕优63(CK)为主要试验材料,根据多年田间试验资料,通过株型因素的相关分析,筛选主要株型因素,并从株高、抽穗后功能叶形态和叶角等三个方面,讨论了两优培九的株型优势。在数值模拟的基础上提出了功能叶的最佳叶角配置。

1 材料与方法

本项研究包括水稻株型因素相关性研究;两优培九的株型光合优势研究和水稻顶部三叶合理配置模拟研究等3项内容。

1.1 水稻株型因素相关性研究

参加水稻株型因素间的相关性研究的品种有两优培九、65396、9311、E32、汕优63、培矮64S、399等7个品种(组合)。于1998~1999年各播种8期。播种日期为4月21日、5月1日、5月11日、5月21日、6月1日、6月13日、6月25日和7月5日。每期200株。各播期每品种于齐穗期各取10株测定以下4类20项株型因素并作相关分析。

第一类:株高与茎性状(5项)

株高(H):地面至穗顶的距离。株高决定水稻群体光合层的厚度。茎第1节长(T1)(cm)。

茎第2节长度(T2)(cm)。茎第1节粗(C1)(mm)。

茎第2节粗(C2)(mm)。它们与群体的抗倒伏性能有关。

第二类:顶部3叶角与叶间距(6项)

剑叶叶角(1)。倒2叶叶角(2)。倒3叶叶角(3)。叶间距(H1)指穗节与剑叶叶枕的距离(cm)。剑叶叶枕与倒2叶叶枕的距离(H2)。^⑪倒2叶叶枕与倒3叶叶枕的距离(H3)。叶角与叶间距是决定群体受光量的因素。

第三类:顶部3叶性状(6项)

^⑫剑叶面积(S1)。^⑬倒2叶面积(S2)。^⑭倒3叶面积(S3)。^⑮顶部3叶总叶面积(S)。顶部三叶面积决定了水稻结实期单株和群体的受光数量和光合量。^⑯叶干重(W)。^⑰比叶重(LW)。比叶重表示叶的厚度。

第四类:穗性状(3项)

^⑱穗长(L)。^⑲穗粒数(M)和^⑳着粒密度(D)。三者都是与单株或群体净光合效率有关的因素。

1.2 两优培九的株型光合优势研究

于2000年在南京气象学院农业气象试验站进行田间试验,以两优培九为材料,汕优63为对照。小区面积20m²,2个重复。分8期播种,播种日期与1.1相同。主要观测项目包括,主茎绿叶数、功能叶(倒三叶)面积和比叶重等光合特征值及其相应的产量结构值。分析两优培九的光合优势。

1.3 水稻顶部三功能叶合理配置模拟研究

为判明两优培九顶部三叶配置的合理性及其受光优势,共设计8种功能叶叶角组合和叶间距配置,并用解析分析方法对单位面积土地上稻株的有效受光量进行模拟计算。

1.3.1 叶角配置

参照对两优培九实际叶角的测定结果,设置8种功能叶叶角组合,即剑叶叶角分别为1°~8°,倒2叶叶角分别为6°~13°,倒3叶叶角分别为11°~18°,顺序配置。即第一种组合的三功能叶叶角配置为1°~6°~11°,第八种配置为8°~13°~18°。

1.3.2 叶间距配置

设置2种叶间距组合,即d1d2=10cm,d2d3=17cm;和d1d2=15cm;d2d3=25cm。其中d1d2表示剑叶与倒2叶叶间距,d2d3表示倒2叶与倒3叶叶间距。

1.3.3 叶功能期

为便于对计算结果作比较,统一规定顶部三叶的功能期为45天。

2 结果与分析

2.1 水稻株型因素的相关性

2.1.1 株型因素相关矩阵

表 1 是 4 类 20 项株型因素的相关矩阵(0.01 显著水平为 0.834, 0.05 显著水平为 0.707)。

2.1.2 类内株型因素的相关分析

2.1.2.1 叶角与叶间距 7 个品种间顶部三功能叶叶角间呈显著相关,即叶角小的品种三功能叶叶角均较小,叶角大的品种三功能叶叶角均较大。三功能叶间距及和叶角的相关则大多不显著,说明三功能叶的空间分布与叶角大小无关。三叶间距大小也无明显相关规律。

2.1.2.2 叶性状 顶部三功能叶面积之间及与总叶面积和总干重的相关均十分显著。但比叶重与叶面积不相关。

2.1.2.3 株高与茎性状 株高除与第 1 节长不相关外,与第 1、2 节茎粗及第 2 节长均显著相关。与第 1 节长不相关的原因可能与移植深度的随机性有关。

2.1.2.4 穗性状 穗长与穗粒数相关显著。着粒密度与穗粒数呈正相关,但与穗长不相关。

2.1.3 20 项株型因素间的相关

表 2 是各株型因素与其他株型因素的相关程度统计结果。结果表明,若把 20 个株型因素看成一个株型链,其链结应是株高(H)。

2.1.3.1 H 与其他 19 个株型因素的相关性,除了 T1 外,有 13 个因素达 0.01 显著水平,与另 5 个因素达 0.05 显著水平。说明要保持优良株型首先应控制好株高。

2.1.3.2 顶部三叶面积和(S)和叶干重与其他株型因素的相关程度也很高。有 14 个因素达 0.01 显著水平,另有 3 个因素达 0.05 显著水平,仅与第 1、2 节长不相关。但因株高与 S1、S2、S3、S、W 的相关非常高,因此 H 与这些株型因素实际上是同一个链结。

2.1.3.3 叶角与株高有 0.05 显著相关。但叶角与受光量关系密切,是超高产栽培和育种中必须考虑的另一重要因素。

表 1 20 项株型因素的相关矩阵

Table 1 Correlative matrix for 20 plant type characteristics of the rice

1	2	3	H	H1	H2	H3	S1	S2	S3	S	T1	T2	C1	C2	L	M	W	LW	D
1	.973	.795	-.846	-.683	-.703	-.656	-.856	-.832	-.852	-.851	-.026	-.571	-.767	-.787	-.690	-.934	-.928	-.866	-.917
	1	.855	.805	-.619	-.554	-.651	-.817	-.782	-.837	-.813	-.099	-.557	-.758	-.768	-.590	-.889	-.870	-.765	-.891
		1	-.790	-.656	-.380	-.525	-.752	-.697	-.802	-.745	-.410	-.489	-.837	-.816	-.565	-.740	-.742	-.523	-.668
			1	.837	.848	.745	.982	.968	.976	.977	.463	.760	.977	.981	.912	.915	.946	.717	.781
				1	.793	.324	.752	.732	.718	.733	.346	.389	.799	.769	.924	.733	.737	.581	.484
					1	.622	.844	.867	.784	.839	.200	.647	.740	.759	.924	.805	.843	.741	.656
						1	.848	.871	.862	.865	.436	.958	.701	.736	.545	.756	.749	.480	.798
							1	.996	.992	.999	.463	.856	.941	.957	.874	.945	.939	.694	.854
								1	.983	.997	.458	.879	.917	.935	.873	.933	.929	.682	.844
									1	.994	.483	.851	.954	.965	.823	.918	.938	.680	.838
										1	.462	.866	.937	.953	.860	.938	.939	.692	.853
											1	.616	.575	.548	.448	.277	.178	-.271	.127
												1	.729	.762	.638	.761	.679	.346	.753
													1	.995	.859	.840	.888	.623	.696
														1	.859	.867	.905	.652	.743
															1	.831	.806	.606	.620
																1	.908	.741	.947
																	1	.890	.840
																		1	.726

表 2 各株型因素间的相关程度统计结果

Table 2 Statistic results of correlation of each plant type factor

	叶角与叶间距			叶性状				株高与茎性状				穗性状								
	Leaf angle and leave distance			Leaf character				Plant height and stem character				Panicle character								
	1	2	3	H1	H2	H3	S1	S2	S3	S	W	LW	H	T1	T2	C1	C2	L	M	D
0.01 显著水平																				
0.01 significance level	10	9	4	2	6	5	13	13	12	14	14	2	13	0	5	9	9	8	11	8
0.05 显著水平																				
0.05 significance level	3	4	6	9	6	5	3	3	5	3	3	7	5	0	5	6	7	3	6	6
不显著																				
No significance	6	6	9	8	7	9	3	3	2	2	2	10	1	19	9	4	3	8	2	5

2.2 两优培九株高的生态变化规律

统计表明,在南京 7 个正常播期下(7/5 日播种未正常抽穗),两优培九的平均株高为 101 cm,汕优 63 为 104 cm。但各播期之间有较大差异,两优培九的株高变幅为 86 ~ 122 cm,变异系数 12.6%;汕优 63 的株高变幅为 100.9 ~ 120 cm,变异系数 7.3%。说明株高虽然是品种的一种遗传性状,但在相当程度上会因生育期间的环境条件的影响而发生改变。

表 3 是以两优培九自分蘖至乳熟以 7 天为间隔的株高动态观测资料用生长曲线拟合计算的逐日株高增长量结果。两优培九在南京地区若能在 6/1 前播种,其株高平均日增量可在 1 cm 以上。6/10 以后播种时,株高日增量只有 0.53 ~ 0.69 cm。

若以 7 日株高增长量(Y)对平均温度(X_1),平均日较差(X_2),总日照时数(X_3),雨日(X_4),雨量(X_5),大于 13 有效积温(X_6)和距拔节天数(X_7)等 7 个变量作逐步回归分析,可得到两优培九株高的预报方程:

$$Y_{\text{两优培九}} = -0.147 - 0.66X_3 - 0.66X_7 + 0.99X_6$$

$$(n = 46 \quad F_{0.01} = 2.00 \quad F = 4.07_{X_3})$$

$$F_{X_6} = 21.3 \quad F_{X_7} = 2.94)$$

上式证明,热量(积温)、距拔节天数、日较差和日照等生态条件都对株高有一定影响,株高虽是品种的遗传特性,但生态条件也能影响平均株高的 10% ~ 18%,其最大影响幅度可达 27 ~ 37 cm。在正常播期下,株高可以达到该品种的正常值,株高平均日增量可在 1 cm 以上。不正常晚播时,株高一般达

不到正常值,日增量仅为正常值的 40% ~ 70% 左右。株高在拔节期后的增长速度不均衡。从拔节前 7 天开始,株高增长量最快,至孕穗期株高增长量降至最低。但抽穗时,因穗颈的伸长株高增长速又会加快。

2.3 叶角和株型受光量

对两优培九和汕优 63 顶部 3 功能叶叶角的测定表明。汕优 63 的顶部 3 叶叶角较大,分别为 7.3° ~ 16.3° ~ 24.0°,两优培九 3 功能叶角度则较小,分别为 5.1° ~ 8.1° ~ 15.1° 基本接近袁隆平提出的超级稻叶角要求。为了判明两优培九因叶角配置合理受光量方面的优势,本文按 8 种功能叶叶角组合和叶间距配置,对单位面积土地上稻株的有效受光量进行模拟计算,结果如表 4。表 4 中 hc 为水稻的临界遮蔽角(度),其大小与叶角、叶长、叶宽有关。sc 为单株水稻的土地占用(垂直投影)面积(cm^2),ys 为水稻单株有效受光量,即单位土地面积上的 45 天稻株受光量(kJ/cm^2)。分析表 4 可以得出:

2.3.1 就单叶而言,叶角越大,临界遮蔽角越小,一天中受光时间也较多,但叶角增大时,同时也占有较多的土地面积,合理的群体密度将会减少。

2.3.2 单株有效受光量(yc)在 8 种叶角配置中呈一抛物线型,当叶间距 d1d2、d2d3 为 15 cm、25 cm 时,叶角配置以剑叶 4° ~ 6°,倒二叶 9° ~ 11°,倒三叶 14° ~ 16° 为最优;当叶间距缩短到 10 cm、17 cm 配置时,最优叶角配置应适当增大至 6° ~ 8°、11° ~ 13° 和 16° ~ 18°。

表 3 两优培九和汕优 63 不同播种期的株高日增量

Table 3 Daily increase of plant height of Liangyoupeiji and Shanyou 63 under different sowing dates (cm)

播种期 Sowing date	4/21	5/1	5/11	5/21	6/1	6/13	6/25	7/10	1—5 期平均 Mean of 1—5 stage	6—8 期平均 Mean of 1—5 stage
两优培九 Liangyoupeiji	1.14	0.99	1.01	1.05	1.07	0.64	0.54	0.41	1.05	0.53
汕优 Shanyou63	-	1.19	-	1.16	-	0.81	-	0.51	1.18	0.66

表 4 不同叶角及叶间距单位面积受光量

Table 4 Calculation results of incident sunlight received on a leaf surface based on different leaf angle and distance between two neighboring leaves

叶间距 Leaf distance		叶角 Leaf angle							
		1° - 6° - 11°	2° - 7° - 12°	3° - 8° - 13°	4° - 9° - 14°	5° - 10° - 15°	6° - 11° - 16°	7° - 12° - 17°	8° - 13° - 18°
d1d2 = 10 cm	hc	53	48	44	41	38	35	33	31
	sc	20.8	24.0	27.2	28.8	32.0	33.6	36.8	38.4
d2d3 = 17 cm	ys	144	141	157	167	165	175	170	173
	hc	41	37	33	30	27	25	23	22
d1d1 = 15 cm	sc	20.8	24.0	27.2	28.8	32.0	33.6	36.8	38.4
	yc	230	229	230	238	237	240	232	227

2.3.3 比较两优培九与汕优 63 的实测叶角,两优培九的株型光合优势明显较汕优 63 具有优势。

2.3.4 根据有限的理论计算,理想的株型应以 d_1d_2 为 15 cm, d_2d_3 为 25 cm,叶角配置应以 $4^\circ \sim 6^\circ$ (剑叶), $9^\circ \sim 11^\circ$ (倒二叶), $14^\circ \sim 16^\circ$ (倒三叶) 为宜。

2.4 两优培九的光合优势

2.4.1 主茎绿叶数的优势和特点

叶片是水稻的主要光合器官,绿叶数量是决定群体光合面积的重要因素,绿叶数的时间分布影响着叶面积分布的空间均匀性及光合效率的高低。两优培九主茎绿叶数的优势和特点主要表现在以下两个方面:

2.4.1.1 全生育期内的光合总面积大 两优培九和汕优 63 的主茎绿叶数从分蘖期到成熟期的时间曲线均为一抛物线。若以主茎绿叶数 \times 时间表示群体光合总面积,可对两优培九和汕优 63 的主茎绿叶数的时间曲线进行积分计算,有:

$$M = \int_{t_1}^{t_2} y_i dt$$

式中 $y_i dt$ 时段内主茎绿叶数; t_1 分蘖期; t_2 成熟期

表 5 的计算结果表明,分蘖—成熟期间两优培九按单株 7 日计算的总绿叶数量平均比汕优 63 多约 19.6%,具有较大群体叶面积优势。

2.4.1.2 功能叶衰退较慢 观测表明,在最大绿叶期出现之后,汕优 63 与两优培九单株绿叶数的衰退速度也会出现显著差别。汕优 63 绿叶数衰退速度明显较快,功能期较短。而两优培九的后期光合优势则明显较强。实际的统计结果表明,汕优 63 在最大绿叶期后的平均衰退速度为 0.208 叶/株·天,高峰后的功能期平均为 43.75 天,而两优培九分别为 0.131 叶/株·天和 63.5 天,这一差距意味着,汕优 63 在最大绿叶期后,平均每 5 天就要减少一张绿叶,而两优培九则需 7.5 天,较汕优 63 的叶片功能期也长近 50%。

2.4.2 功能叶面积与比叶重的优势

水稻顶部的三张功能叶受光条件优越、分化晚、衰老慢、功能期长。研究证明,功能叶的光合产物约占水稻经济产量的 70%~80%。因此,分析功能叶的光合性状对发挥品种的增产潜力,制定超高产栽培技术有重要意义。

表 6 是两优培九和汕优 63 各 4 个播种期主茎功能叶的平均叶面积和比叶重的统计结果。表明两优培九的功能叶面积虽较汕优 63 略小,但两优培九的比叶重则明显比汕优 63 大。若以叶面积 \times 比叶重表示功能叶的综合光合特性,两优培九的乘积为 889.25;汕优 63 为 820.62。两优培九约大 5.99%。

表 5 两优培九和汕优 63 从分蘖到成熟期的单株绿叶总数(张/株·7天)

Table 5 Green leaves on an individual plant of Liangyoupeijiu and Shanyou 63, respectively, from tillering period to ripening period

品种 Variety	播种期 Sowing date (month/day)							
	4/21	5/1	5/11	5/22	6/1	6/11	6/21	7/5
两优培九 Liangyoupeijiu	145.8	162.2	136.0	154.2	165.4	157.2	159.0	121.6
%		129.1		119.3		105.1		130.7
汕优 Shanyou 63		125.6		129.2		149.8		93.0
%		100		100		100		100

表 6 两优培九和汕优 63 功能叶的光合特性比较

Table 6 Comparison of photosynthetic characteristic of function leaves of Liangyoupeijiu and Shanyou 63

叶位 Leaf position	功能叶面积 Function leaves area (cm ²)		比叶重 Comparative leaf weight (mg/cm ²)	
	两优培九 Liangyoupeijiu	汕优 63 Shanyou 63	两优培九 Liangyoupeijiu	汕优 63 Shanyou 63
倒一叶 Inverse first leaf	53.34	57.81	5.069	4.266
倒二叶 Inverse second leaf	63.69	68.19	4.967	4.479
倒三叶 Inverse third leaf	60.82	59.33	4.964	4.527
平均 Average	59.28	61.78	5.000	4.424
相对百分率 Relative percent	96.0	100	130.2	100

3 结论和讨论

3.1 通过对 7 个品种 4 类 20 项株型因素的实际测定和相关分析表明,株高和叶角是超高产育种和栽培的两项最主要的株型因素。

3.2 株高虽然是品种的遗传特性,但生态条件也是重要的影响因素。试验证明两优培九的株高在不同播种期之间的变异系数为 12.6%,汕优 63 为 7.3%,最大变幅可达 27~37 cm。影响株高变化的气象因素是热量(积温)、日较差和日照时间,生物学因素是距拔节天数和抽穗并建立了株高的生态预测模型。

3.3 通过对 8 种叶角和叶间距配置的单位土地面积受光量的理论模拟计算证明,理想的株型应以 d1d2 为 15 cm,d2d3 为 25 cm,叶角配置应以 4°~6°(剑叶),9°~11°(倒二叶),14°~16°(倒三叶)为宜。两优培九的叶角配置已经达到了理想株型的要求。

3.4 两优培九的光合优势主要表现在主茎绿叶数多,全生育期间的光合面积大;功能叶衰退较慢以及比叶重大(叶片厚)等方面,因而具有比较明显的增产优势。

3.5 本文对 8 种叶角和叶间距配置在单位土地面积上水稻单株受光量的理论模拟计算,是在假设水稻叶面平整,正反叶面受光特性一致,不考虑散射光影响的条件下计算获得的。结论的正确性有待验证。

References

- [1] Donald C M. Competition among crop and pasture. *Adv Agro*, 1963, (15):1
- [2] Donald C M. The breeding of crop ideotypes. *Euphyica*, 1968, 17: 385—403
- [3] Yuan L-P(袁隆平). Hybrid rice breeding for supper high yield. *Hybrid Rice* (杂交水稻), 1997, 12(6):1—6
- [4] Yuan L-P(袁隆平). Present state of utilization of two-line system heterosis in China's crop and its prospects. *Science and Technology Review* (科技导报), 1997, (12):8—10
- [5] Penning de Vries FW. Improving yield: Designing and testing VHYVs. In: IRRI ed. System Simulation at IRRI, 1991. 13—16
- [6] 田中市郎. 超高收水稻开发现状展望. *农业及园艺*, 1984, 59(1):155—160
- [7] Zou J-S(邹江石). The tentative utilization of wind compatibility strain 02428 in *indica/japonica* hybrid rice. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 1989, 22(1):6—14
- [8] Zou Jiang Shi. Breeding research for hybrid rice combinations between *indica* and *japonica* by two line method. 45th World Food Production Conference Oct. 1998. 11—14
- [9] Yao K-M(姚克敏), Zou J-S(邹江石), Wang Z-N(王志南). Studies on the photosynthetic morphology of two-line hybrid rice combinations Liangyoupeijiu and 65396. *Hybrid Rice* (杂交水稻), 1999, 14(5):35—38
- [10] Yao K-M(姚克敏), Zou J-S(邹江石), Mai M(买苗). Variation of plant height and its relation to climatic factors. *Hybrid Rice* (杂交水稻), 1999, 14(suppl):49—52
- [11] Yao K-M(姚克敏), Hu X-Q(胡雪琼), Wang Z-N(王志南), Gu X-Y(顾显跃). Heterosis of photosynthetic characteristics and plant type of hybrid rice line "Liangyou Peijiu" and 65396 bred by two-line rice *Jiansu Journal of Agricultural Science* (江苏农业科学), 2000, 1:8—12
- [1] Donald C M. Competition among crop and pasture. *Adv Agro*, 1963,