

水稻叶面积、叶开张角与光能利用的研究

广东省农业科学院水稻生态研究室

摘 要

本文以广东早稻中熟种“珍珠矮”等品种为材料,利用品种比较的方法,研究了影响水稻产量的一些生理生态因素,并根据所得结果,探讨了提高水稻光能利用率的一些途径,以及如何应用于水稻育种、耕作制度改革及高产栽培。1974、1975 两年的试验结果表明,在本试验条件下,水稻幼穗分化期、齐穗期及齐穗后 20 天的叶面积指数相加值与产量是显著正相关的。同时,叶面积指数在 6 以下时与群体净光合率也是显著正相关的。在叶面积指数较高的情况下,叶片开张角小的供试品种均比开张角大的增产(除一倒伏种例外)。移栽后 90 天内的太阳能,1974 年多于 1975 年,平均产量也高于 1975 年。通过计算,本试验中水稻产量与叶面积指数、叶片开张角及太阳能的关系可用三元线性回归方程表示,用“循环预报”的方法进行检验,计算值与实际产量平均误差为 2%,最大误差为 5%。这表明,上述三因素确实是对水稻产量影响较大的重要因素。

在无产阶级文化大革命和“农业学大寨”群众运动推动下,我省近年来对充分利用太阳能提高农作物的产量越来越被重视。为探明决定水稻某个品种产量的主要内在生理及外在生态因素,以便更自觉地创造、利用、控制这些因素,而创造更高产量。我们采用了品种比较的方法,用我国佛山分析仪器厂所产 FQ-W-CO₂ 红外线气体分析仪,研究了影响水稻产量的重要因素——群体光合作用。初步探讨了叶面积,叶片开张角、太阳能与水稻产量及群体光合率的关系。

叶面积指数与产量

水稻产量 90% 以上来自光合产物。稻叶是进行光合作用、合成碳水化合物主要器官。因此叶面积的发展与产量的关系,在农业栽培和选种上都是很重视的。

1974 年,我们选用了目前生产上初步推广的几个早造中熟新品种与熟期相同的“珍珠矮”进行比较研究。在秧龄、植期、插植规格、水肥管理等栽培措施相同的条件下,首先看到在各生育期间叶面积指数值(叶面积/土地面积,可反映群体的生长势)最大的“朝阳 18”产量最高。1975 年另增加两个同熟期的品种,结果仍是各生育期叶面积指数值最大的品种“长科矮 1 号”产量最高(表 1)。

进而我们把两年试验中各品种在幼穗分化,齐穗及齐穗后 20 天的三期叶面积指数相加值及分别于齐穗期、齐穗后 20 天的叶面积指数值与产量关系进行相关分析。结果表明,叶面积大小与产量高低呈正相关,而又以三期相加值与产量的相关性最显著,相关系数 $r = +0.93$ (图 1)。

表 1 “珍珠矮”等品种各生育期的叶面积指数及产量情况*

年 份	肥料水平 (纯氮斤/亩)	品 种	叶 面 积 指 数				(产量斤/亩)
			幼穗分化期	齐 穗 期	齐穗后20天	三期相加值	
1975, 早造	20	长科矮 1 号	4.0	6.1	2.7	12.8	821.3
		南二矮 5 号	3.6	5.7	2.1	11.4	801.7
		南京 11	3.5	4.8	2.0	10.3	789.9
		朝阳 18	3.4	5.5	1.9	10.8	783.3
		珍珠矮 11	3.7	4.8	2.5	11.0	733.1
		窄叶青 8 号	3.0	3.2	0.9	7.1	639.6
1974, 早造	20	朝阳 18	6.24	6.56	3.36	16.16	984.6
		南二矮 5 号	5.93	6.21	2.60	14.74	958.6
		珍珠矮 11	5.90	6.36	2.57	14.83	870.3
		窄叶青 8 号	4.95	5.27	2.14	12.36	808.7
	12	朝阳 18	5.92	5.58	3.42	14.92	967.5
		南二矮 5 号	4.80	5.53	3.33	13.66	947.0
		珍珠矮 11	5.13	5.32	2.98	13.43	863.0
		窄叶青 8 号	4.32	5.03	2.04	11.39	830.0

* 1974 年小区面积 1 分, 1975 年小区面积 0.45 分, 重复 3 次。

两年来 6 个品种的试验结果表明, 广州地区早造中熟品种亩产 900~1000 斤左右的叶面积指数的动态大致是: 幼穗分化期在 5~6 左右, 齐穗期在 6~6.5 左右, 齐穗后 20 天在 3.3~3.5 左右, 三个时期的相加值约在 14~16.5 左右。

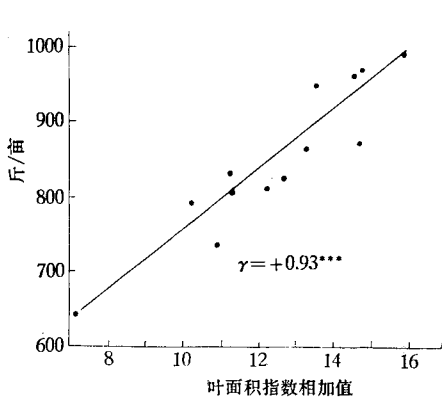


图 1 早造“珍珠矮”等品种其产量与幼穗分化期、齐穗期及齐穗后 20 天叶面积指数相加值的关系

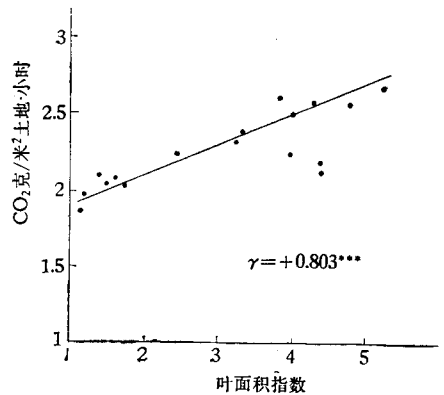


图 2 水稻幼穗分化期叶面积指数与群体净光合率的关系
(品种: “珍珠矮 11”、“朝阳 18”、“南二矮 5 号”、“长科矮 1 号”、“南京 11”)

1975 年, 我们将早造品种“珍珠矮”等品种于晚造进行种植, 并用不同肥料、不同插植规格调节其叶面积, 于幼穗分化期晴天测定田间群体净光合率(图 2)。由图 2 可知, 叶面积在 6 以下时, 它与群体净光合率呈明显正相关。

叶片开张角与产量

叶片开张角是指叶尖与叶枕的连线和茎所形成的夹角。陈永康认为丰产田的稻苗在进入齐穗后应该是“叶片挺直不垂”^[1]。我省贫下中农总结的中期晒田经验,也是非常重视控制叶片开张角。近年来国外也有人提出作为选种的一个重要标准^[4]。

观察中发现:(1)“南二矮”与“珍珠矮”叶面积差不多,但“南二矮”的产量却比“珍珠矮”高。(2)除“窄叶青”倒伏外,“朝阳 18”、“长科矮 1 号”、“南京 11”均比“珍珠矮”增产。两年的总趋势一样(表 1、2)。分析其原因,主要与叶片开张角有关,“珍珠矮”叶片的开张角明显地比其他品种为大(表 3)。特别到了灌浆中后期,“珍珠矮”的剑叶开张角明显增大,与直叶型对比形成了明显不同的两种群体结构(图版,图 1—5)。

表 2 珍珠矮等品种的产量比较

品 种	1974 年		1975 年	
	20 氮区	12 氮区	20 氮区	10 氮区
珍珠矮 11	100%	100%	100%	100%
朝阳 18	113.1	112.1	106.8	101.9
南二矮 5 号	110.1	109.8	109.1	110.8
窄叶青 8 号	91.9	96.2	87.2	78.7
长科矮 1 号	—	—	112.0	108.1
南京 11	—	—	107.7	100.2

表 3 珍珠矮等品种的叶片开张角情况*

年 份	品 种	幼穗分化期		齐 穗 期		齐穗后 20 天		平均 (度)
		叶 2 (度)	叶 3 (度)	叶 1 (度)	叶 2 (度)	叶 1 (度)	叶 2 (度)	
1975, 20 氮区	南二矮 5 号	5.2	17.3	6.7	19.1	15.6	32.9	16.1
	长科矮 1 号	5.7	14.4	6.3	22.1	12.6	25.1	14.4
	朝阳 18	4.8	17.6	6.1	19.5	11.0	30.6	14.8
	窄叶青 8 号	4.8	20.0	6.0	16.9	19.2	40.5	17.9
	南京 11	4.3	14.6	6.1	19.8	7.8	19.9	12.1
	珍珠矮 11	3.2	31.1	13.7	28.0	30.1	42.3	24.4
1974, 20 氮区	朝阳 18	6.5	25.0	8.0	17.5	15.8	25.9	16.5
	南二矮 5 号	11.5	34.1	5.1	14.0	12.8	34.2	18.6
	窄叶青 8 号	13.7	25.2	5.1	13.0	32.7	67.3	26.2
	珍珠矮 11	18.7	38.7	31.2	19.9	53.1	41.7	33.9
1974, 12 氮区	朝阳 18	11.5	22.8	6.1	15.9	14.9	22.9	15.7
	南二矮 5 号	13.3	29.2	5.8	13.0	10.1	37.3	18.1
	窄叶青 8 号	11.1	21.1	5.4	13.3	21.6	63.6	22.7
	珍珠矮 11	16.7	36.5	30.3	30.4	29.9	41.0	30.8

* 叶 1 代表顶叶,叶 2 为之下第二叶,幼穗分化期因顶叶未充分展开,从上面第二叶开始算。

两年的试验还可看到,在高肥区开张角小的品种似有增产率较高的趋势。为了鉴定开张角大的“珍珠矮”在不同肥力密度条件下的产量表现,我们于 1975 年晚造设计了两种情况,一为高肥密植区(每亩 20 斤纯氮,5 × 4 寸),一为低肥疏植区(每亩只基肥 5 斤纯氮,

5 寸 × 8 寸), 结果在高肥密植区叶片开张角大的“珍珠矮”产量最低, “朝阳 18”等 4 个叶片开张角小的品种, 比它增产 6.8~13%; 而在低肥疏植区上述开张角小的各品种则比“珍珠矮”减产 2.3~9.6%。

为了鉴定在肥料水平较高, 叶面积较大的情况下, 叶片开张角大是否对产量有不利影响, 1975 年早造着重分析了亩施 20 斤纯氮区的叶片开张角与群体净光合率的关系。

用干物重法测定的结果表明: 在叶面积最大的时期, 开张角大的“珍珠矮”其净同化率最小。同时在叶面积指数大于 3 的整个生育期间, “珍珠矮”的干物重增长量也是最低的(表 4)。在“珍珠矮”剑叶开张角表现最大的灌浆充实期, 对田间群体净光合率的测定也表明; 几个开张角小的品种群体净光合率比“珍珠矮”要高出 8~23% (不同光强度下重复测定 5 次以上)。1975 年晚造在高肥、密植区, 于幼穗分化、齐穗、灌浆期的测定结果, 趋势一样。那么“珍珠矮”开张角大是优点还是缺点? 我们认为具体问题要具体分析。

表 4 “珍珠矮”等品种的干重增长及净同化率

品 种	28/5 叶面积指数	28/5—6/6 平均干重增长 (克/天·10 株)	28/5—6/6 平均净同化率 (克/米 ² ·天)	叶面积指数大于 3 期间(30/4—6/6) 的干重增长 (克/10 株)
珍珠矮 11	6.42	3.77	2.12	213.6
朝阳 18	5.62	7.25	4.53	229.9
南二矮 5 号	6.25	8.66	4.50	240.6
窄叶青 8 号	3.60	6.22	5.70	249.3
南京 11	5.68	6.07	3.60	210.5
长科矮 5 号	7.13	5.02	2.60	243.3

对“珍珠矮”等品种群体内光强度分布情况的调查结果(图 3), 可以看到开张角大的叶片的优点是截光力强, 缺点是遮阴面大; 开张角小的叶片的优点是遮阴面小, 缺点是截光力弱。因此当叶面积小、低光强时, 开张角大是优点, 而在叶面积大、高光强时则是缺点。在地多人少的地方, 插植规格也较疏, 因此叶面积不足, 截获光能能力不够, 这是当时增产的主要矛盾。这样开张角大的“珍珠矮”显示了其优越性, 在肥

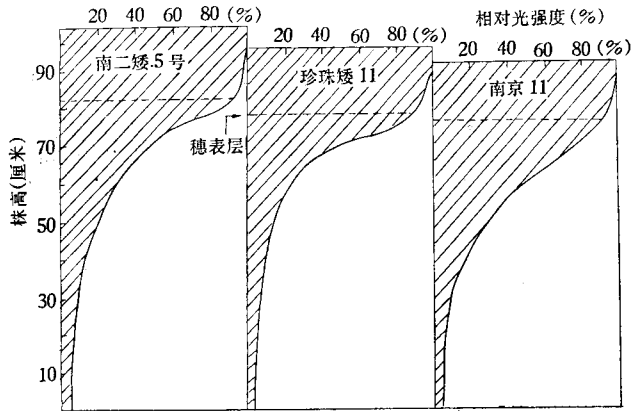


图 3 “珍珠矮”等品种群体内光强度分布情况图示 (三个小区, 15 个点不同高度光强度测定数的平均值)

少疏植地区更为适应。而在肥力水平较高的地区, 由于开张角大小在一定程度上可以通过栽培技术来控制, 所以矛盾也不大。但随着生产的发展, 要达到千斤左右的产量, 对叶面积的要求更大了。在叶面积大的条件下, 截获光能的问题已不是主要矛盾了, 而如何增加群体内的透光性, 充分发挥中、下层叶的光合潜力则转化成主要矛盾了。因此如何分析“珍珠矮”在新的生产条件下株型上的弱点并加以改进就十分必要。

综上所述,叶片开张角小的品种所组成的群体结构,在叶面积较大的条件下,有利于光能的透入中下层提高整个群体的光合率,对增产有利。钱德勒(Chandler)报道了“IR8”、“Peta”等品种在重施氮肥的情况下,产量水平与叶片开张角大小是负相关^[1],在本试验中,这种负相关的趋势也是明显的。田中孝幸曾提出在叶面积指数为7.1时,弯叶的群体光合率明显比直立叶为低^[2]。因此欲达到900~1000斤的单产,叶片开张角以小为有利。在保证叶面积指数有较高值的前题下,叶片开张角以顶叶维持在10~15°以下,第二叶在20~30°以下较为合适。

太阳能与产量

我省近年来出现了一些三季连作稻中造超千斤的单位,这与充分利用我省七、八月间优越的太阳能条件是有关的。为了验明大田中,光照情况与群体净光合率的关系。1975年,我们在晚造测定的结果表明:光强度不同对群体净光合率的影响是很大的。在同一群体中,其净光合率雨天(8千勒克斯)、阴天(1.5万勒克斯)及晴天(6万勒克斯)的相应比值为0.68:1、68:3.81 CO₂克/米²土地,小时。

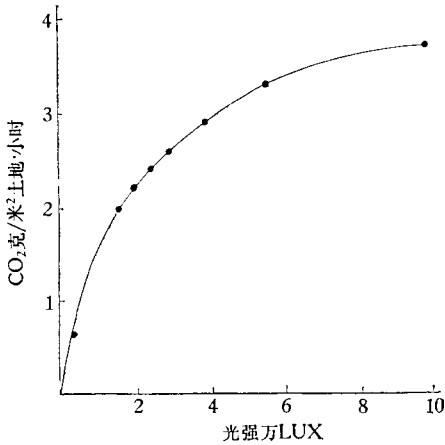


图4 “广二矮”等品种在齐穗期的光—同化曲线

1975年,我们在早造上用人工遮光的办法测定了“广二矮5-3”在齐穗期的群体净光合率。所得光—同化曲线也同样表明,太阳能强度不同对群体光合率的高低是影响相当大的(图4)。

在肥水管理,栽培措施基本相同的情况下,1974年大田生长期间的太阳能比1975年多,各品种平均产量也高,1976年重复观察,结果一致(表5),总趋势是太阳能对产量的影响是显著的。

表5 “珍珠矮”等早造中熟品种的平均产量与太阳能情况比较

年 份	大田生育期总能量 (大卡/厘米 ²)	对 比 (%)	各品种平均产量 (斤/亩)	对 比 (%)
1975	23.2773	—	761.8	
1974	27.0114	+16.0	903.7	+18.7
1976	26.0793	+11.1	845.8	+11.1

叶面积指数、叶片开张角、太阳能与产量关系的综合分析

应当承认水稻产量的构成是很多生理过程及多种生态因素综合作用的结果,没有这一通观全局的基本认识就会犯形而上学的错误。但是我们也应承认,当某些生理因素、生态条件基本一致或基本正常的条件下,总是有几个因素对产量的高低起着较为重要的作用,要善于分析矛盾,并抓住主要矛盾。

在前面对叶面积、开张角、太阳能分别分析的基础上,我们把这三因素综合在一起,和

广东师范学院数学系协作，经计算，它们和产量的关系可用三元线性回归方程式来表示，用“循环预报”的方法进行检验，结果证明：这三因素确实是对水稻产量影响的重要因素。方程式如下：

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 - b_3x_3$$

Y 代表产量， x_1 为大田生育期间的太阳能(千卡/厘米² 90天)， x_2 为叶面积指数在幼穗分化、齐穗及齐穗后 20 天三期的相加值， x_3 为叶片开张角在同样三期顶部两片展开叶的平均角度。所用数据为 1974、1975 年两年早造“珍珠矮”等 6 个品种共 14 组数据(表 1、3)。计算结果表明，预报的 14 个产量数据与实际产量数据的平均误差为 15.1 斤/亩，只为实际产量的 2% 左右，最大的误差也只有 32.3 斤，这主要是“窄叶青 8 号”，后期倒伏了，故产量偏低。如扣除“窄叶青”的三组数据进行计算，则平均误差只有 5.8 斤/亩，最大误差只 13.7 斤/亩。在早稻中熟种产量为 700~1000 斤的范围内，叶面积、太阳能与产量是正相关的，与开张角则与产量是负相关的。

综前所述，初步认为：就我们所试品种而言，叶面积及叶片开张角是关系到整个群体净光合率高低以及最终产量高低的重要内在因素；而大田生育期间太阳能的多少则是影响到群体净光合率以及最终产量的重要外界因素。我们如能通过改制、栽培、育种等手段，能动地去创造、控制、利用这三因素，使之达到一个适宜的指标，是提高水稻光能利用率，夺取高产的一条重要途径。

参 考 文 献

- [1] 中国农科院江苏分院，1964：陈永康水稻高产经验研究。
- [2] 田中孝幸，1972：水稻之光——同化曲线に関する作物学の研究——特に受光态势制御との关系 农业技术研究所报告 A 第 19 号。
- [3] Chandler, R. F. Jr., 1969: Plant morphology and stand geometry in relation to nitrogen. in «Physiological Aspects of Crop Yield».
- [4] Shouichi Yoshida, 1972: Physiological aspects of grain yield. Annual Review of Plant Physiology. 23: 437—464.

THE RELATION BETWEEN LAI, LEAF OPENNESS AND SOLAR ENERGY UTILIZATION IN RICE

Laboratory of Rice Ecology, Kwangtung Academy of
Agricultural Science

ABSTRACT

Using medium maturing varieties of early rice from Kwangtung province as materials (Pearl dwarf etc.) and by method of varietal comparison, we have made investigations on some physiological and ecological factors which affect rice yield. On the basis of experimental results obtained in our laboratory some approaches of increasing the efficiency for solar energy utilization and the application of these results to rice breeding, reform of cultivation system and high yielding culture measures have been discussed.

Our experimental results obtained in 1974 and 1975 showed that a significant positive correlation is present between rice yield and the sum of leaf area indices (LAI) at young panicle differentiation, full (80%) heading stage and 20 days after full heading stage. In case of LAI values less than 6, there is also a significant positive correlation between canopy net photosynthesis rate and LAI. In case where LAI values are higher, those varieties with little leaf openness all give more grain yield than variety with greater leaf openness (except for one variety lodging). In 1974 the total solar energy during the 90 days after transplanting was more than that in 1975, and the average grain yield in 1974 was also higher than that in 1975. The relationship between rice yield and LAI, leaf openness, solar energy can be expressed by a linear regression equation with three arguments. Using the method of so-called "cyclic prediction" (an unpublished new method) to examine the exactness of such a regression, the average error between calculated and actual values of rice yield is 2%, the maximum error is 5%. This indicates that the above three are indeed important factors affecting rice yield.