

# 不同光照强度和温度对水稻光合作用和光呼吸的影响

邓向前 吕章荣 李明启

(农学系) (农业生物系)

## 提 要

本文报道广陆矮4号、珍珠矮11号、IR-24三个水稻品种的剑叶在不同的光照强度(35,000、40,000、45,000、50,000勒克斯)和30°C、35°C、40°C三个不同温度下的光合作用和光呼吸的变化情况。在三个温度下测得三个品种的光合作用光饱和点均在45,000勒克斯左右。在不同温度和不同光照的综合条件下,三个品种的光合强度变化情况不同:广陆矮4号的光合作用在35°C下最强,在四个光强下均是如此;IR-24的光合作用则在30°C下最强,在四个光强也是如此;珍珠矮11号的光合作用在三个温度下变化不大。在饱和光强和不同温度下,各品种的相对光合强度也不同。在30°C下广陆矮4号的光合作用比其他二个品种稍弱,但在35°C下则相反,其光合作用强于其他二品种。在最适光、温条件下,广陆矮4号、珍珠矮11号和IR-24的光合强度分别为26.7、21.9、21.8mgCO<sub>2</sub>/dm<sup>2</sup>/小时。三个品种的光呼吸均以在35°C为最强,其中以广陆矮的光呼吸最弱,二氧化碳补偿点亦较低。本文对光、温条件与水稻光合作用和光呼吸的关系,以及各品种对光、温条件的不同要求进行了讨论。

水稻是我国重要的粮食作物,其产量与叶片尤其是剑叶的光合作用有着密切的关系。据殷宏章等研究,水稻籽粒中的有机物约有三分之二来自开花后的光合产物<sup>[4]</sup>。因此,提高水稻的光合作用,对提高其产量有重要作用。已知道光合作用受许多外界因子影响。在大田条件下,光照强度和温度是影响光合作用的重要因子;光照影响光合作用的光反应,而温度则影响暗反应。二者必须互相配合,才能获得高的光合效率。因此,了解这两个因子对水稻光合作用的综合影响,有实际的意义。

关于光照对水稻光合作用的影响,过去有过不少研究。许多研究者报道,水稻光合作用的光饱和点在40,000~50,000勒克斯之间<sup>[5][10][11]</sup>。Nayak等研究了降低光照强度对两个印度水稻品种的光合作用和光呼吸的影响,发现耐阴品种Vijaya由于含叶绿素较多,在弱光下比不耐阴品种IR-8有较高光合作用和较低光呼吸<sup>[9]</sup>。关于温度对水稻光合作用的影响,山田等的研究表明,在50,000勒克斯的光强下,在18.5°~35.5°C的温度范围内,光合作用相当稳定;但在弱光下,则光合作用随温度升高而增强<sup>[11]</sup>。村田等亦得出类似的结果<sup>[6]</sup>。长田(Osada)研究了温度对籼稻光合作用的影响,发现其最适应温度在25°~35°C之间,比粳稻的最适温度高(粳稻为18°~33°C)<sup>[10]</sup>。石井(Ishii)等报道,在300ppmCO<sub>2</sub>和20%O<sub>2</sub>下,水稻光合作用在25°~35°C下达到最高<sup>[8]</sup>。关于水稻光呼吸与光、温关系的研究较少。Nayak发现,降低光照强度时,Vijaya水

稻品种的光呼吸降低25%，但1R—8品种反而提高10%<sup>[9]</sup>。石井等报道，水稻的光呼吸和CO<sub>2</sub>补偿点有随温度升高而增加的趋势。

由于光和温度条件对水稻光合作用的重要性，而过去对这二个因子对水稻光合作用的综合影响研究得较少，本文用我国南方三个水稻品种，研究其在不同光照和温度下的光合作用和光呼吸，结果报道如下。

## 材 料 与 方 法

本研究在1978~1980年早晚造进行。试验材料为我院农场提供的广陆矮4号(早熟)、珍珠矮11号(中熟)和1R—24(迟熟)三个水稻品种。各造材料每隔7天左右播种

批，共播3~4批。选择壮苗盆栽，每盆三科，每科十苗，每个品种三盆。施肥水平以亩施：N—20斤，P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>—10斤，K<sub>2</sub>O—10斤计算分期施下。依常规方法管理。各批水稻材料取主穗剑叶作不离体单叶测定。

全部测定工作均在自行设计安装的光合作用恒温室进行。应用广东佛山分析仪器厂生产的FQ型红外线CO<sub>2</sub>分析仪(最小分度值2 ppm)测定各项目的CO<sub>2</sub>浓度变化情况。

测定环境因子为：①光强：光源用三支共2000W碘钨灯，由交流电子稳压器稳定电源电压，用硫酸纸遮光调节光强，用西德Dr.Bruno Lange GmbH产的标准照度计测量光照强度(勒克斯)；②温度：应用CKT型空气调节器恒温和调温，叶室气流温度应用半导体点温计测量；③湿度：在气路中加设增湿器来调节叶室的湿度；④气源：采自离地面约20米高空间较稳定的空气，用无油气体压缩机和鼓膜式气泵将气源送至气路系统和叶室。

光合作用的光饱和点测定：采用开放式气路系统分别测定上述材料在5,000~55,000勒克斯十一个不同光强下(温度30°C)的光合强度，以确定光饱和点。

光、温对光合作用综合影响的测定：采用开放式气路系统，分别测定上述材料在温度30°C、35°C和40°C时，光强为35,000、40,000、45,000和50,000勒克斯的光合强度。

CO<sub>2</sub>补偿点测定：采用首尾连接的闭路式气路系统，待气路中的CO<sub>2</sub>含量下降至恒定水平时，仪器指示的CO<sub>2</sub>浓度即为补偿点。

光呼吸的测定：采用测定不含CO<sub>2</sub>气流中叶子放出的CO<sub>2</sub>量。

## 试 验 结 果

### (一) 光合作用的光饱和点

在30°C和不同光强度下上述三个水稻品种的光合强度如图1所示。

结果表明，三个水稻品种的光合作用均随光照强度的增加而逐渐增强，至光强达45,000勒克斯时，光合作用达到最高，即光合作用的光饱和点均在45,000勒克斯左右，三个品种并无明显差异。在45,000勒克斯以上的光强度下，三个品种的光合强度均略有下降。结果还表明，在30°C下，珍珠矮和1R—24具有比较高的光合强度，尤以在较弱

光下较为显著。

## (二) 光照强度和温度对光合作用的综合影响

上述三个水稻品种在30°、35°、40°C的温度下光合强度随光照强度变化的情况如图2、3、4所示。

试验结果表明：1. 在上述在三个温度条件下，三个水稻品种的光合强度均以在45,000勒克斯的光照强度下为最高。这表明在试验的温度范围内，温度对光合作用光饱和点无明显的影响，三个品种均如此。2. 在相同的光照强度下，不同品种的光合强度随温度而变化的情况不同：在四个不同光强下，广陆矮4号品种的光合作用均以在35°C下为最强，在30°C和40°C下，光合强度均降低（图2）；IR-24品种的光合作用则以在30°C下为最强，并随温度升高而略有减弱，在四个光强下均是如此，而尤以在较弱光（35,000勒克斯）下较为明显（图4）；珍珠矮11号品种的光合作用虽然也随光照强度增加而略有增强，但在同一光强下，温度对光合作用影响较小，变化幅度不大（图3）。

3. 在饱和光强和不同温度下，不同品种的相对光合强度也不同。在30°C下，珍珠矮11号和IR-24的光合作用比广陆矮4号强；但在35°C下则相反，广陆矮4号的光合作用比珍珠矮11号和IR-24强。4. 不同品种对光、温条件的配合有不同的要求。广陆矮4号品种以在35°C和45,000勒克斯光强下光合作用最高；IR-24品种则以在30°C和45,000勒克斯下为最高；珍珠矮11号品种的最高光合作用出现在30°C、45,000勒克斯条件下，但在30°~40°C、45,000~50,000勒克斯范围内，光合强

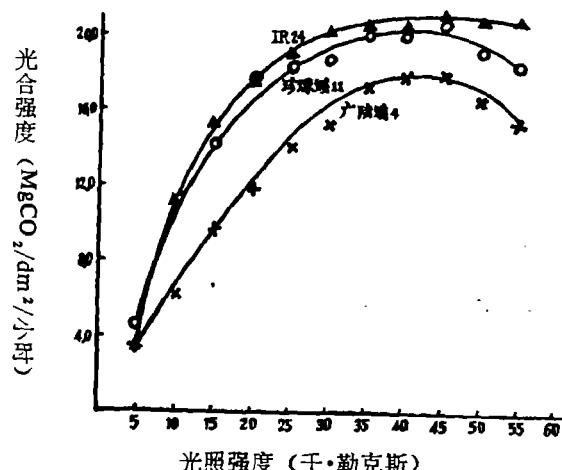


图1 在不同光强度下水稻的光合强度

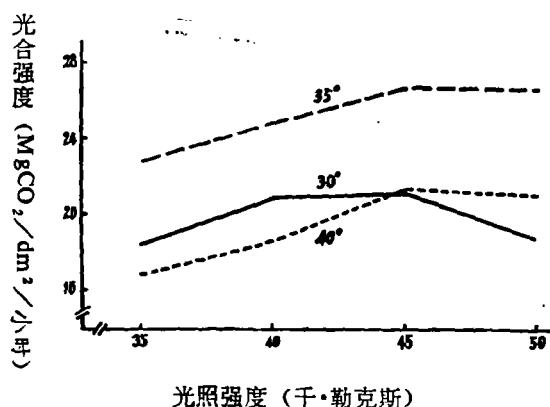


图2 广陆矮4号品种水稻在不同温度和光照条件下的光合强度

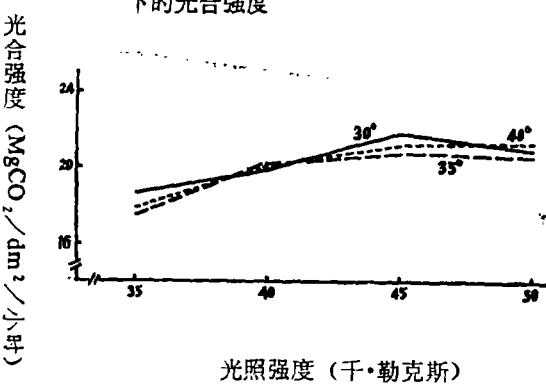


图3 珍珠矮11号品种水稻在不同温度和光照条件下的光合强度

度差异不大,这说明珍珠矮11号品种的光合作用在足够高的光强度下,对温度的变化有较大的适应性。5.各个品种在最适应的光、温条件下所达到的最高光合强度不同。广陆矮4号的最高光合强度为 $26.7 \text{ MgCO}_2/\text{dm}^2/\text{小时}$ ,IR-24和珍珠矮11号则分别为 $21.9$ 和 $21.8 \text{ MgCO}_2/\text{dm}^2/\text{小时}$ 。后二者约为广陆矮4号的82%。

### (三) $\text{CO}_2$ 补偿点

在 $30^\circ\text{C}$ 和50,000勒克斯光强度的下测得三个水稻品种的 $\text{CO}_2$ 补偿点见表1。

结果表明,广陆矮4号和IR-24的 $\text{CO}_2$ 补偿点均较低而珍珠矮11号较高。

### (四) 温度对光呼吸强度的影响

三个水稻品种在 $30^\circ\text{C} \sim 40^\circ\text{C}$ 下的光呼吸强度如图所示。

结果表明,三个品种的光呼吸均以在 $35^\circ\text{C}$ 下为最强,在 $30^\circ\text{C}$ 和 $40^\circ\text{C}$ 下均较弱。这个趋势和在相同光强(50,000勒克斯)下光合作用的温度变化趋势在三个品种之间并不完全一致。兹将在不同温度下测出的光呼吸/光合比值(PR/PS比)列于表2。

表2列出的数据表明,在不同的温度下,广陆矮4号的PR/PS比值较低,而且比较恒定,变化在 $0.18 \sim 0.20$ 之间,这意味着光呼吸随光合作用而升降;但珍珠矮11号和IR-24的PR/PS比则在不同温度下变化较大,其中以在 $35^\circ\text{C}$ 下最大,这是因为这两个品种在 $35^\circ\text{C}$ 下光呼吸最强,而光合作用却不是最强的。

图5和表1的结果还表明,三个品种中,以广陆矮4号的光呼吸最弱,其次是IR-24,珍珠矮11号的光呼吸最强,无论是以光呼吸强度或以PR/PS比表示均是如此。

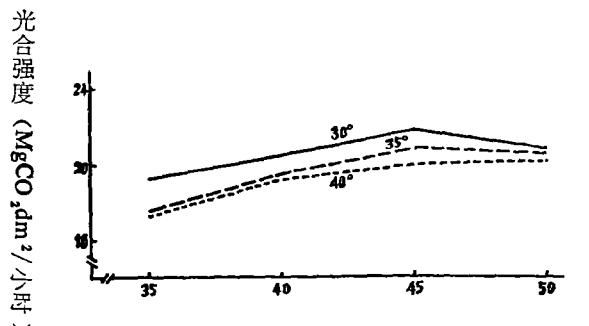


图4 IR-24品种水稻在不同温度和光照条件下  
的光合强度

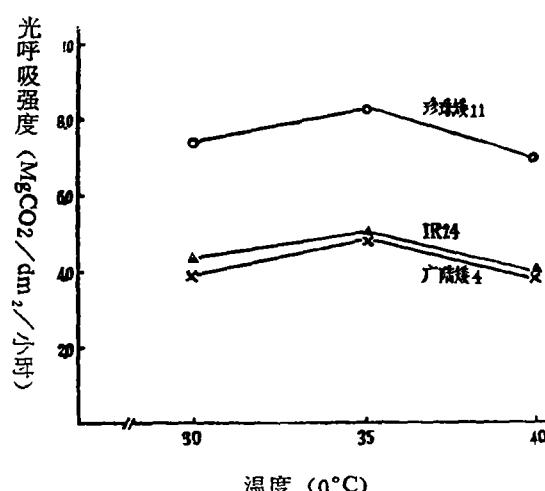


图5 水稻在不同温度下的光呼吸强度

表1 水稻不同品种的 $\text{CO}_2$ 补偿点

品 种	广陆矮4号	珍珠矮11号	IR-24
$\text{CO}_2$ 补偿点	73ppm	82—83 ppm	70—71 ppm

表2 三个水稻品种在50,000勒克斯和  
不同温度下的光呼吸/光合比值

品 种	$30^\circ\text{C}$	$35^\circ\text{C}$	$40^\circ\text{C}$
广陆矮4号	0.20	0.18	0.18
珍珠矮11号	0.35	0.40	0.33
IR-24	0.21	0.25	0.20

## 讨 论

本文报道水稻三个品种的光合作用光饱和点均为45,000勒克斯，与过去文献报道的结果<sup>[5][10][11]</sup>是一致的。但本文报道的三个品种水稻的光—光合曲线有较大的差异。在30°C下，珍珠矮11号和IR—24在弱光下光合较强，曲线上升较急，在光饱和点下达到的光合强度也较高；而广陆矮4号的光—光合曲线上升较缓，最后达到的光合强度也较低（图1）。村田根据水稻品种的光反应与暗反应因素的不同组合而分为四个类型<sup>[6]</sup>。按村田的分类，珍珠矮11号和IR—24应属于A型，即光反应和暗反应均较强的类型，而广陆矮4号则属于D型，即光反应和暗反应均弱的类型。但在35°C下，虽然三个品种的光饱和点仍为45,000勒克斯，其相对光合强度却与在30°C下的刚好相反，即广陆矮4号较高而珍珠矮11号和IR—24则较低。如果根据在35°C下测定的结果，则广陆矮4号应属于A型而珍珠11号和IR—24则应属于D型。所以不能只根据在某一温度条件测定的结果而区分其光合特性类型。关于温度对光—光合曲线的影响，过去未为人们所注意，这是今后研究光合作用应注意的问题。

关于温度对水稻光合作用的影响，山田等的研究表明，在50,000勒克斯光强下，在18.5°C~35.5°C范围内，光合作用相当恒定；但在弱光下，则光合作用随温度升高而增强<sup>[11]</sup>。据村田对日本农林29号水稻测定的结果，20°C~32.3°C范围内，光合几乎不受温度影响<sup>[5]</sup>。长田用籼稻测定的结果认为最适温度在25°C~35°C之间，在25°C以下或35°C以上则下降<sup>[10]</sup>。石井用日本晴水稻品种进行测定，亦认为水稻表观光合作用的最大值是在25°C~35°C<sup>[8]</sup>。我们的试验结果表明，在饱和光强度下，在30°C~40°C范围内珍珠矮11号和IR—24品种的光合作用无大变化，而以在30°C下稍高，但广陆矮4号则变化较大，以在35°C下为最高。这说明不同品种的水稻光合作用对温度的敏感性是不同的。广陆矮4号品种的光合作用要求较高的温度。该品种在生产上是作为中造早熟品种推广的，可能与其光合适温较高有关。

山田等<sup>[11]</sup>测得日本的农林36号和陆羽132号水稻品种在35°C下光合光饱和点下降，最高光合强度也减弱。但我们测定三个水稻品种的光合作用在40°C下的光饱和点与在30°C和35°C下的并无差异，均为45,000勒克斯，这可能是由于品种不同，对高温的敏感性也不同之故。

据过去报道，水稻品种间的光合强度有很大差异<sup>[2][3][7]</sup>。这些结果均是在一定的光、温条件下测定的。为要进行品种间的比较，一般是选定某一温度，在饱和光照条件下进行测定。但对一个品种适宜的温度，对其他品种则未必适宜。我们的结果表明，在饱和光强和30°C下，珍珠矮11号和IR—24的光合作用高于广陆矮4号，而在35°C下则相反。所以不同品种的光合适温是不同的。

一般认为，光合作用光饱和点的出现，是由于此时暗反应限制了光合作用。暗反应是酶促反应，其反应速度与温度有关。提高温度可加速暗反应的进行，因而提高其光饱和点<sup>[8]</sup>。但我们的试验结果表明，在30°C~40°C范围内，温度对光饱和点并无明显影响。山田等的研究亦表明在18.5°C~33.5°C范围内，水稻的光饱和点均在40,000

~50,000勒克斯之间<sup>[11]</sup>。可能在高温情况下,光合器部分受到破坏,或由于气孔张开受到影响,限制了CO<sub>2</sub>的进入,影响暗反应的进行,因而影响光饱和点的提高。

关于温度对光呼吸的影响,一般认为在一定范围内,光呼吸随温度升高而增强。如石井测定了水稻和大麦的光呼吸和CO<sub>2</sub>补偿点,在15°C~35°C范围内,二者均随温度上升而增高<sup>[8]</sup>。但我们用三个水稻品种测定的结果表明,在由30°C升至35°C时,光呼吸略有升高;但温度升至40°C时,则光呼吸反而下降。

我们以前曾报道,珍珠矮11号的乙醇酸氧化酶活性强于广陆矮4号<sup>[1]</sup>。本次的结果亦表明,珍珠矮11号的光呼吸强于广陆矮4号,与我们以前报道的结果是一致的。

#### 参 考 文 献

- [1] 广东农林学院农学系作物生态遗传研究室:光呼吸的测定,《植物学报》,19(2) 1977: 166。
- [2] 水稻高光效育种组:水稻净光合率的品种间差异及高光效育种,《植物生理学报》,4(2) 1978: 113—121。
- [3] 刘贞琦等:水稻某些光合生理特性的研究,《中国农业科学》, (5) 1982: 33—39。
- [4] 殷宏章等:水稻开花后干物质的累积和运转,《植物学报》,5(2) 1956: 177—194。
- [5] 村田吉男:1962,水稻的光合作用,户义彦次等主编(中译本)《作物生理讲座5.呼吸作用与光合作用》,上海科学技术出版社。1965年V-133—147页。
- [6] Gabrielsen, E.K., 1960, Beleuchtungsstärke und Photosynthese. In Ruhland, W.(ed.) Encyclopedia of Plant Physiology, Vol.V/2, pp.27-48. Springer-Verlag, Berlin.
- [7] International Rice Research Institute, 1968. Annual Report. pp.24-28.
- [8] Ishii, R. (石井龙一), et al., 1977. The effect of temperature on the rates of photosynthesis, respiration and the activity of RuDP carboxylase in barley, rice and maize leaves. Jap. Journ. Crop Sci., 46 (4): 516-523.
- [9] Nayak, S.K. et al., 1978. Photosynthetic efficiency of rice as influenced by light intensity and quality. Indian Journ. Plant Physiol., 21 (1): 48-52. (见《高光合效率与作物丰产》,146—148页,张晓红译,科学技术文献出版社重庆分社。)
- [10] Osada, A. (长田明夫), 1964. Studies on the photosynthesis of indica rice. Proc. Crop Sci. Soc. Japan, 37: 69-76.
- [11] Yamada, N. et al. (山田登), 1955. Photosynthesis of rice plant. Proc. Crop Sci. Soc. Japan, 23 (3): 214-222.

## EFFECTS OF LIGHT INTENSITY AND TEMPERATURE ON THE PHOTOSYNTHESIS AND PHOTORESPIRATION OF RICE

Deng Xiangqian Lü Zhangrong Li Mingqi

(Department of Agronomy) (Department of Agricultural Biology)

### ABSTRACT

The photosynthetic and photorespiration rates of flag leaves of three varieties of rice, i.e. Guangluai No. 4, Zhenzhuai No. 11, and IR-24, under four light intensities (35, 40, 45, and 50 Klx) and three temperatures ( $30^{\circ}\text{C}$ ,  $35^{\circ}\text{C}$ , and  $40^{\circ}\text{C}$ ) were measured with potted rice plants in the laboratory. It was found that all three varieties showed light saturation at about 45 Klx under three different temperatures. But the photosynthesis of these three varieties responded differently to differing combinations of light and temperature conditions. The highest photosynthetic rate of Guangluai No. 4 was found at  $35^{\circ}\text{ C}$  under all four light intensities, that of IR-24 at  $30^{\circ}\text{C}$ . The variety Zhenzhuai No. 11 seemed to be more tolerant to temperature fluctuation, with only a relatively small change of photosynthetic rate under these three temperatures. The relative photosynthetic rates of these three varieties differed under differing conditions. Under  $30^{\circ}\text{ C}$ , the photosynthetic rate of the variety Guangluai No. 4 was relatively lower than that of the other two varieties, but under  $35^{\circ}\text{ C}$  the reverse was true. Under optimum temperature and saturated light intensity, the highest photosynthetic rates attained were 26.7, 21.9, and  $21.8 \text{ mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \cdot \text{hr}^{-1}$  for the varieties Guangluai No. 4, Zhenzhuai No. 11 and IR-24 respectively. The highest photorespiration rates were found at  $35^{\circ}\text{C}$  for all three varieties. The variety Guangluai No. 4 had the lowest photorespiration rate and relatively lower  $\text{CO}_2$  compensation point. Discussion was made on the combined effects of light intensity and temperature on photosynthesis of rice.