

亚热带季雨林植物罗伞气体交换对光质的反应

孙谷畴

(中国科学院华南植物研究所)

提要 亚热带季雨林林下阴生植物罗伞(*Ardisia quinquegona*)叶片的气体交换速率($PN, \mu \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)随光强($\text{PFD}, \mu \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)增高而增大。在光强低于 $80 \mu \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, $PN=29.21 \text{ PFD} \times 10^{-3} + 0.36$ 。在光强 $150 \mu \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时出现气体交换的光饱和现象。在低光强下, 气孔传导率($G, \text{m mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)与光强($\text{m mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)的关系为 $G=265.6 \text{ PFD} + 4.6$ 。在低光强下, 开阔地的阳生灌木桃金娘(*Rhodmyrtus tomentosa*)的气体交换速率和气孔传导率与光强关系曲线的直线部分斜率皆较罗伞的低。在红光上, 罗伞叶片气体交换速率($\mu \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)与光强($\mu \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)的关系为 $PN=32.4 \text{ PFD} \times 10^{-3} - 0.04$ 。气孔传导率($\text{m mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)与光强($\text{m mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)的关系为 $G=339.08 \text{ PFD} + 7.37$ 。同时气体交换速率的饱和和红光光强亦较白光的高。在蓝光光强低时, 气体交换速率($\mu \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)与光强($\mu \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)的关系为 $PN=13.54 \text{ PFD} \times 10^{-3} - 0.17$, 而气孔传导率($\text{m mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)与光强($\text{m mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)的关系为 $G=80.5 \text{ PFD} + 4.35$ 。在低的蓝光下, 体交换速率和气孔传导率与光强关系曲线的直线部分斜率显著较在白光和红光下的低。罗伞叶片气体交换对红光的反应敏感。因而罗伞能有效地利用林下有限的光能。但对蓝光不敏感。

关键词 罗伞; 光质; 气体交换

罗伞 (*Ardisia quinquegona*) 是我国南亚热带常绿阔叶林耐荫树种。在黄果厚壳桂 (*Cryptocarya concinna*) — 椎树 (*Castanopsis chinensis*) — 厚壳桂 (*Cryptocarya chinensis*) — 荷树 (*Schima superba*) 群落的林下, 荷树幼苗几乎很少见, 而罗伞幼苗数量较多。作者曾讨论过荷树气体交换对环境因素的反应 (待发表)。但罗伞气体交换对光的反应所知甚少。

太阳辐射通过树冠层的反射和叶片的吸收, 达到林下的光强和光质都有很大的变化。林下的光主要缺少红光和蓝光^[1]。罗伞能适应林下弱光的环境。阐明罗伞气体交换对光强和光质的反应, 有助于说明亚热带季雨林植物阴生树种对林下郁蔽环境的适应性和生理反应。本文报道了罗伞叶片气体交换对光质的反应。

材料和方法

罗伞幼树生长在广东鼎湖山自然保护区。后移栽在美国犹他大学的热带植物温室, 盆栽在人工混合土壤中。自然光照, 室温 26 至 28°C , 日间相对湿度维持在 60 至 80% , 每天浇水至田间最大持水量, 每周以稀释的 Hoagland 溶液浇灌一次。

本实验在美国犹他大学进行。以开放式气体交换系统^[2]同时测定叶片气体交换速率和气孔传导率。连体的叶片封入具水夹套的叶室。叶室内装有高速小风扇, 以维持高的边界传导性。在叶片的背面插入两个热电偶, 以测定叶温。以相对湿度检测器 (model HMP 14V, Weathermeasure corp, Sacramento, Calif.) 和红外线 CO_2 分析仪 (model Mark II, Anal-

ytical Development Crop., Hoddesdon, England) 监测进入和流出叶室的气流相对湿度和 CO₂浓度。以光量子辐射仪 (Li-Cor 158 B) 测定光强。测定光合速率和光的关系时, 先从高光强开始测定, 以1000 W HID 灯(400—700 nm)为白光光源。当光合速率达到稳定值后, 在叶室和光源之间插入不同网眼的金属丝网, 以降低光强, 测定不同白光光强下叶片的气体交换速率。在白光光源和叶室之间加入不同色滤片, 以测定不同光质的光下叶片气体交换速率。红光滤片透过光的波长大于600 nm。蓝光滤片透过光的波长为450 nm。

结 果

一、罗伞叶片气体交换对白光的反应

图1表明, 罗伞叶片气体交换速率随光强增高而增大。在低光强下(0至80 μ mol. m⁻². s⁻¹), 气体交换速率(PN, μ mol. m⁻². s⁻¹)与白光光强(PFD, μ mol. m⁻². s⁻¹)成线性关系, 其关系为 PN = 29.21 PFD × 10⁻³ + 0.36。当光强继续增高, 气体交换速率变化变缓, 约在光强150 μ mol. 光子 m⁻². s⁻¹ 出现气体交换的光饱和现象。气体交换速率的最大值为2.68 μ mol. m⁻². s⁻¹。在低光强下, 气孔传导率(G, m mol. m⁻². s⁻¹)随光强(PFD, m mol. m⁻². s⁻¹)增高而增大, G = 265.6 PFD + 4.6 (r² = 0.99)。在光强0.1至0.14 m mol. m⁻². s⁻¹光子, 气孔传导率为48 m mol. m⁻². s⁻¹。随后光强继续增高, 气孔传导率略有降低(图2)。在低于饱和光强时, 罗伞叶片细胞间 CO₂浓度与外界 CO₂浓度的比值(C_i/C_a), 随光强增高而降低。在光合作用饱和光强下, C_i/C_a达到稳定最低值, 约为0.5(图3)。在光强0至0.10 m mol. m⁻². s⁻¹光子时, 光合量子产率为0.036 ± 0.001。

开阔地阳生灌木桃金娘, 在低的白光光强下, 叶片气体交换速率(PN, μ mol. m⁻². s⁻¹)与光强(PFD, μ mol. m⁻². s⁻¹)的关系为 PN = 24.94 PFD × 10⁻³ - 0.07 (r² = 1)。在饱和光强下, 气体交换速率的最大值为6.9 μ mol. m⁻². s⁻¹。在光强0.3 m mol. m⁻². s⁻¹以下, 气

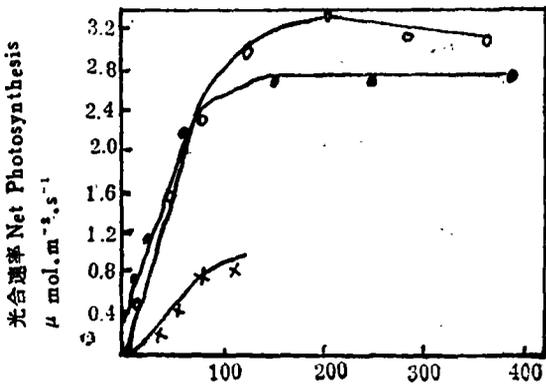
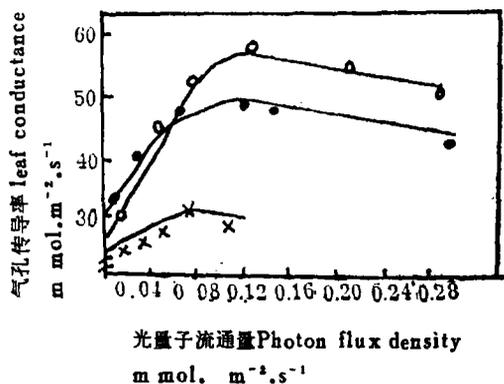


图1 罗伞叶片气体交换速率对光质的反应

●.白光; ○.红光; ×.蓝光

Fig. 1 The responses of net photosynthesis in leaves of *Ardisia quinquegona* to light quality

●.white light; ○.red light; ×.blue light



●.白光; ○.红光; ×.蓝光

图2 罗伞叶片气孔传导率对光质的反应

Fig. 2 The dependence of leaf conductance in leaves of *Ardisia quinquegona* to light quality

●.white light; ○.red light; ×.blue light

孔传导率($G, m\ mol, m^{-2}, s^{-1}$)随光强($m\ mol, m^{-2}, s^{-1}$)增高而增大, $G = 257.46\ PFD + 2.71$ ($r^2 = 0.99$)。桃金娘叶片的光合量子产率为 0.024 ± 0.001 (图4)。结果表明, 自然林下阴生植物罗伞在低光强下对光强反应敏感, 它的光能利用效率亦较阳生植物高。

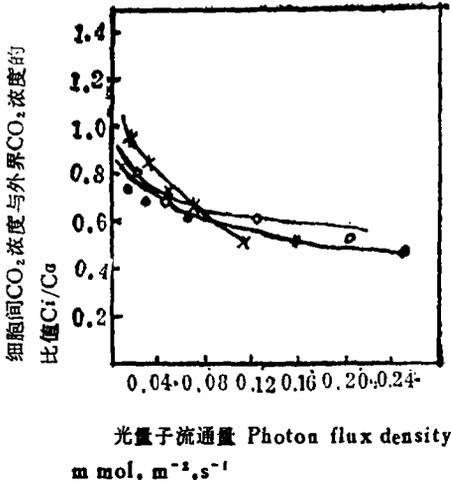


图3 罗伞叶片细胞间CO₂浓度与外界CO₂浓度比率对光质的反应

●.白光; ○.红光; ×.蓝光

Fig. 3 The dependence of the ratio of the intercellular CO₂ concentration and the environmental CO₂ concentration of light quality ●.white light;

○.red light; ×.blue light

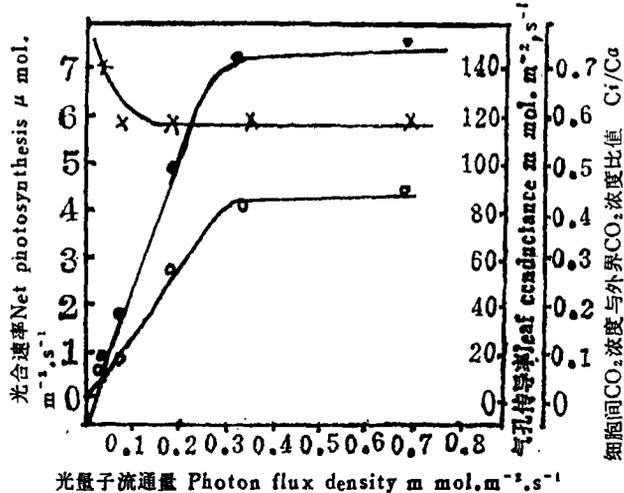


图4 桃金娘叶片气体交换速率、气孔传导率和细胞间CO₂浓度与外界CO₂浓度比率对光的反应

●. 气体交换速率; ○. 气孔传导率; ×. 细胞间CO₂浓度与外界CO₂浓度比率

fig. 4 The responses of net photosynthesis, leaf conductance and the ratio of the intercellular CO₂ and the environmental CO₂ concentration in leaves of *Rhodomyrtus tomentosa* to changes in the incident quantum flux

●. the rate of gas exchange; ○. leaf conductance; ×. the ratio of intercellular CO₂ concentration and environmental CO₂ concentration

二、罗伞气体交换对红光的反应

从图1可见, 在低的红光光强(0至 $80\ \mu\ mol, m^{-2}, s^{-1}$ 光子)下, 罗伞叶片气体交换速率($\mu\ mol, m^{-2}, s^{-1}$)随红光光强($\mu\ mol, m^{-2}, s^{-1}$)增高而增大, 其关系为 $PN = 32.42\ PFD \times 10^{-3} - 0.04$ ($r^2 = 0.96$)。在红光光强约 $200\ \mu\ mol, m^{-2}, s^{-1}$ 光子时出现气体交换的光饱和和现象。在低光强下, 气孔传导率($m\ mol, m^{-2}, s^{-1}$)随红光光强($m\ mol, m^{-2}, s^{-1}$)增高而增大, $G = 339.23\ PFD + 7.37$ ($r^2 = 0.94$)。光饱和时气体交换速率为 $3.32\ \mu\ mol, m^{-2}, s^{-1}$, 相应的气孔传导率为 $55\ m\ mol, m^{-2}, s^{-1}$ 。在低的红光光强($0.07\ m\ mol, m^{-2}, s^{-1}$ 光子), 叶片细胞间CO₂浓度与外界CO₂浓度比值较白光的略低, 但在红光光强高于 $0.08\ m\ mol, m^{-2}, s^{-1}$ 光子, 这一比值则较白光的略高。表明在较高的红光有利于促进气孔的传导率, 使叶片细胞间CO₂浓度较白光的高。在红光下, 光合量子产率为 0.035 ± 0.005 。

三、罗伞气体交换对蓝光的反应

从图1可见, 在低的蓝光光强(0至 $10\ \mu\ mol, m^{-2}, s^{-1}$ 光子), 叶片气体交换速率

($\mu\text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) 随蓝光光强 (PFDF, $\mu\text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) 增高而增大, 其关系表示为 $PN = 13.54\text{PFDF} \times 10^{-3} - 0.17 (r^2 = 1)$ 。结果表明, 在低的蓝光光强下, 气体交换与光强关系曲线的直线部分的斜率较白光和红光的显著为小。在相同的光量子流通量密度 ($100 \mu\text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) 下, 在蓝光下叶片的气体交换速率显著地较白光和红光的低。同时在蓝光下叶片气孔传导率亦较低, 气孔传导率 ($\text{m mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) 与蓝光光强 ($\text{m mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) 的关系为 $G = 80.5\text{PFDF} + 4.35 (r^2 = 0.81)$ 。在低的蓝光光强下, 细胞间 CO_2 浓度与外界 CO_2 浓度的比值较在红光和白光下的高。在蓝光下的光合量子产率为 0.007 ± 0.002

讨 论

尽管对一般植物叶片光合作用与光的关系有过一系列的研究^[3]。但对于光与光合作用关系的绝对效率和光合作用对光质的反应仍值得进一步研究。特别是亚热带季雨林的阴生树种能在林下极度郁蔽的光环境下生长, 它对光的适应性和生理反应仍所知甚少。

自然林的阴生树种罗伞生长环境的光强较开阔地阳生灌木桃金娘的约低两个数量级 (未发表资料)。罗伞叶片气体交换的饱和白光光强和在饱和白光光强下气体交换速率均较桃金娘的低。但罗伞的气体交换速率与白光光强关系曲线的最初直线部分斜率较桃金娘的大。表明在低光强下, 罗伞较桃金娘能更有效地利用有限的光能。光合量子产率亦较桃金娘的高。在低光强下, 罗伞叶片气孔传导率与光强关系曲线的直线部分斜率较桃金娘的大。可能表明, 在低光强下罗伞叶片气孔传导率增高很快, 引起气体交换速率迅速增大。结果表明耐荫植物对弱光的反应较阳生植物敏感。植物对光反应的特性与其生长环境的光状况有密切关系。但阴生植物的光饱和和气体交换速率较阳生植物低。

与在白光下的相比较, 罗伞叶片气体交换速率与红光光强关系曲线的最初直线部分斜率较大, 气体交换的饱和光强和在饱和光下气体交换速率亦较高, 表明红光促进罗伞叶片气体交换和光能利用。在红光下, 气孔传导率与光强关系曲线的直线部分斜率亦较白光下的大。可能红光促进气孔的开启和增大气孔传导率。在较低红光光强 ($0.08 \text{ m mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) 下, 细胞间 CO_2 浓度与外界 CO_2 浓度的比值 (C_i/C_a) 较在相同光强的白光下要高。红光促进气孔传导率增高, 使外界 CO_2 更容易进入叶片的薄壁组织。但在红光下, 气体交换的光量子产率与白光的略相近似。

在相同的光量子通量密度下, 在蓝光下的气体交换速率较红光的低。气体交换速率与蓝光光强关系曲线的直线部分斜率亦较红光的低。气孔传导率与蓝光光强关系曲线的直线部分斜率也较低。可能蓝光限制气孔的开启, 引起气体交换速率降低。同时在蓝光下光合量子产率显著为低。结果表明, 亚热带季雨林耐荫植物对红光反应敏感。红光有利于叶片的气体交换。罗伞适应于林下郁蔽的光环境, 它能有效地利用林下有限的光能。林下缺少蓝光^[1], 但罗伞叶片气体交换对蓝光的反应并不敏感。

THE RESPONSE OF GAS EXCHANGE TO LIGHT QUALITY IN LEAVES OF ARDISIA QUINQUEGONA

Sun Gu-chou

(South China Institute of Botany, Academia Sinica)

The rate of gas exchange ($PN, \mu \text{ mol m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) in leaves of *Ardisia quinquegona* increased with enhancing photon flux density ($\mu \text{ mol. m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). The relationship between two parameters was $PN=29.21 \text{ PFD} \times 10^{-3} + 0.36$. Leaf conductance ($G, \text{ m mol. m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) increased as photon flux density (PFD, $\text{ m mol. m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) enhanced and the relationship was $G=265.6 \text{ PFD} + 4.6$. The saturated photosynthesis occurred at $150 \mu \text{ mol m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. As compared with that of *Rhodomyrtus tomentosa*, a subtropical monsoonal forest shrub, higher initial slopes of gas exchange-light curve and leaf conductance-light curve were observed in *Ardisia* leaves. The slopes of these relationships were more significant in *Ardisia* as lighting with red light ($>600 \text{ nm}$). The relationship between gas exchange ($\mu \text{ mol. m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) and incident density ($\mu \text{ mol. m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) of red light was $PN=32.42 \text{ PFD} \times 10^{-3} - 0.04$ and corresponded relationship between leaf conductance ($\text{ m mol. m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) and incident density ($\text{ m mol. m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) was $G=339.1 \text{ PFD} + 7.37$. The rate of gas exchange and leaf conductance reduced with lighting blue light (450 nm). And the equations of these regression lines were $PN=13.5 \text{ PFD} \times 10^{-3} - 0.17$ and $G=80.5 \text{ PFD} + 4.35$. The results showed that *Ardisia* leaves might use red light energy efficiently under canopy but it was not sensitive to blue light.

Key words *Ardisia quinquegona*; Light quality; Gas exchange

参 考 文 献

- (1) Emberlin, J. C., 1983: Introduction to ecology. 82-84. MacDonald and Evans.
- (2) Ehleringer, J. R., 1983: Ecophysiology of *Amaranthus pulmeri*, a Sonoran Desert summer annual. *Oecologia*. 57: 107-112.
- (3) Bjorkman, O., 1981: Responses to different quantum flux densities. In: *Physiological Plant Ecology. I. Responses to the physical environment* (Encyclopedia of Plant Physiology, New Series, Vol. 12A) ed. by Lange, O. L., P. S., Nobel, C. B. Osmond, H., Ziegler, 57-107. Springer-Verlag Berlin.