

露地栽培和网室栽培模式下木瓜的光合响应曲线参数比较^{*}

邓 雄¹, 叶万辉¹, 杨期和¹, 曹洪麟¹, 许凯扬¹, 蔡楚雄², 刘世平²

(1. 中国科学院华南植物研究所, 广东 广州 510650;

2. 东莞植物园, 广东 东莞 523079)

摘 要: 为比较传统的露地栽培和网室栽培对木瓜 *Carica papaya* Linn. 的光合作用的影响, 测定了两种栽培方式下木瓜的光合响应曲线, 并建立模型求得响应曲线的参数。结果表明: ① 较之露地栽培, 网室栽培的木瓜叶片具有更低的暗呼吸、光补偿点以及光饱和点和更高的表观量子效率、光能转化效率、最大羧化速率和电子传递速率; ② $g_s - A_n (RH/C_a)$ 响应模型的拟合表明, 两种木瓜的气孔在露地栽培下对光热环境因子更为敏感, 气孔导度的敏感度 g_i 更高; 暗环境条件下的 g_0 气孔导度也更低 ($P \leq 0.05$)。网室栽培下利于木瓜避开光热胁迫, 提高光合效率。

关键词: 网室栽培; 木瓜 *Carica papaya* Linn.; 光合响应曲线

中图分类号: S702.99 文献标识码: A 文章编号: 0529-6579 (2004) 02-0091-04

网室栽培和露地栽培最显著的区别就是光环境的改变; 光环境的改变引起果树生长环境的温度、湿度以及叶内外蒸汽压差 (VPD) 一系列的变化。植物对光的适应性是影响植物冠层碳积累能力的重要因素; 反之, 阐明植物光响应和生理生化机理, 有助于了解植物对环境变化的适应特性^[1,2]。光合生化能力可以通过估算净光合速率 (A)—细胞间隙 CO_2 浓度 (C_i), 即 $A - C_i$ 曲线获得。而光合能力主要由最大羧化速率 (V_{max}) 以及叶绿体电子传递速率 (J_{max}) 组成^[3-5]。在农业实践中网室栽培不仅能提高木瓜产量, 对木瓜的品质也有很大的提高, 但是其光合生理机能并未阐明。华南地区有关植物气孔导度 (g_s) 对环境因子响应的研究并不多, 而 g_s 对环境因子的响应是植物适应环境的重要表现之一^[1,2,6]。为此, 本文从以下两个方面进行探讨: ① 两种木瓜在露地栽培和网室内栽培下的光合响应曲线的参数比较, 阐明网室栽培方式对木瓜内在的光合特性的影响; ② 通过 $g_s - A_n (RH/C_a)$ 响应模型的拟合, 揭示在网室栽培和露地栽培两种模式下木瓜气孔对环境因子的响应, 并进一步验证该模型。

1 材料与方法

龙珠 (LZ) 和夏威夷 (H) 是广东省东莞市植

物园 2001 年自台湾引入两种木瓜新品种。分别在网室内和自然光下露地进行栽培, 其中露地栽培的龙珠 (LZ) 和夏威夷 (H) 在本文分别标记为 LZO 和 HO^[7]。光合日变化测定如前文^[4,6,7], 光合指标测定使用 LCA4 便携式光合测定仪 (ADC, 英国)。光合日变化选择晴朗天气从 6:00—19:00 每小时测定一次, 每次每种测定 6~10 片叶, 每片叶记录 3 次。光合响应曲线测定以及气体交换数据处理中的模型选配及参数计算方法如 Deng 等所述^[4,9], 得出光呼吸速率 R_p ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 和不包括光呼吸的 CO_2 补偿点 Γ^* ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、光饱和点 (LSP)、光补偿点 (LCP)、表观量子效率 (Φ)、 CO_2 补偿点 (Γ) 以及羧化速率 (V_c) 等气体交换参数。 $A - C_i$ 曲线采用 Farquhar & Von Caemmerer (1982) 方程^[9]。气孔对光环境因素叶片光合速率、相对湿度 RH 和空气 CO_2 浓度 C_a 变化的响应通过公式 $g_s = g_0 + g_i [A_n (RH/C_a)]$ 求出^[1,7,8], 其中 g_0 为 PFD=0, $A_n=0$ 时气孔导度 g_s , g_i 为气孔对相对湿度 RH 和空气 CO_2 浓度 C_a 变化的敏感度。非线性回归用 Sigmaplot 软件分析, 参数计算和相关分析及其检验等数据处理都用 Excel 软件包进行^[4,9]。

* 收稿日期: 2003-09-19

基金项目: 国家重点基础研究发展资助项目 (G2000046803); 广东省科技厅星火计划资助项目 (C20203); 广东省自然科学基金重点资助项目 (021536); 广东省科技百项工程资助项目 (2KB068015)

作者简介: 邓雄 (1975 年生), 男, 博士, 通讯联系人, 叶万辉; E-mail: why@scih.ac.cn

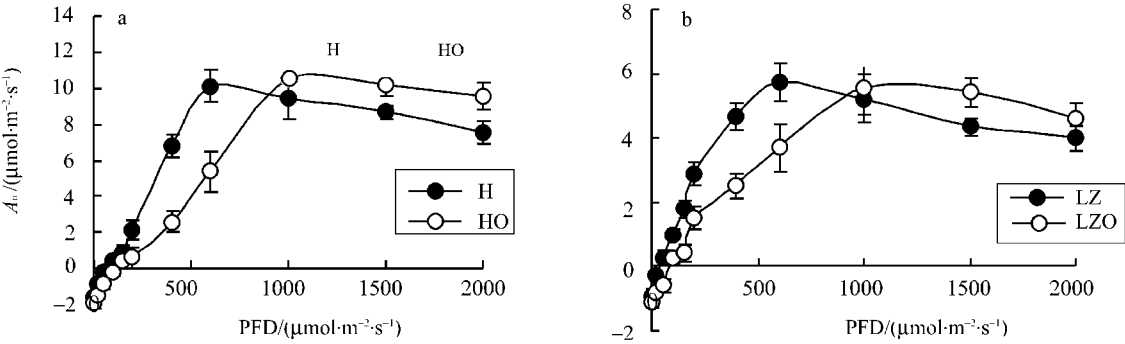


图 1 露地和网室栽培两种木瓜的光响应曲线

Fig. 1 Curves of *Carica papaya* growing in uncovered field and under network conditions in response to light

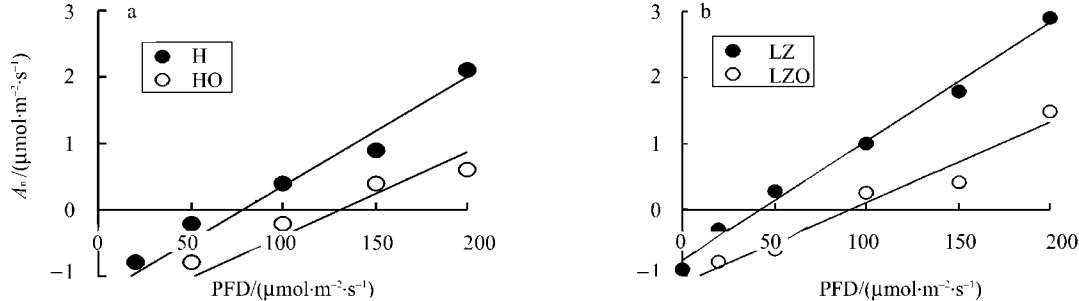


图 2 露地和网室栽培两种木瓜的表观量子产量

Fig. 2 Apparent quantum yields of *Carica papaya* growing in uncovered field and under network conditions

表 1 露地和网室栽培木瓜的光合响应曲线参数¹⁾

Tah 1 Photosynthetic parameters of *Carica papaya* growing in uncovered field and under network conditions in response to light

光合响应曲线参数	龙 珠		夏 威 夷	
	网室栽培(LZ)	露地栽培(LZO)	网室栽培(H)	露地栽培(HO)
暗呼吸 $R_d/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	0.76(0.24)	1.15(0.31) ³⁾	1.30(0.21)	1.66(0.19) ²⁾
光呼吸 $R_p/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	1.45(0.18)	1.31(0.21) ²⁾	1.66(0.23)	1.41(0.25) ²⁾
光补偿点 LCP/ $(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	45(25)	78(21) ³⁾	68(30)	112(27) ³⁾
表观量子效率 Φ	0.018(0.0017)	0.012(0.001) ²⁾	0.017(0.003)	0.013(0.002) ²⁾
最大羧化速率 $V_{\text{max}}/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	62.2(10.1)	51.6(8.8) ²⁾	69.2(12.1)	60.3(11.3) ²⁾
最大电子传递速率 $J_{\text{max}}/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	69.8(12.1)	65.3(9.1)	81.6(7.6)	76.8(9.4)
光能利用率 δ	0.38(0.02)	0.31(0.03) ²⁾	0.28(0.01)	0.24(0.02) ²⁾
光饱和点 LSP/ $(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	635(110)	920(130) ³⁾	611(68)	890(120) ³⁾
最大光合速率 $A_m/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	5.52(0.88)	5.43(1.12)	9.88(2.10)	10.31(1.86)

1) 参数值均表示为平均数（标准误）；2) 差异显著；3) 差异极显著

2 结果与分析

露地栽培下的两种木瓜 LSP（图 1 和表 1， $P \leq 0.05$ ）和 LCP（表 1， $P \leq 0.01$ ）都显著高于网室栽培下木瓜的 LSP 和 LCP。露地栽培的木瓜对 PFD 响应不如网室栽培下的木瓜敏感，两种木瓜在露地栽培表观量子效率显著较低。与此类似，露地栽培的木瓜光响应曲线的暗呼吸 R_d 也显著高于网室栽培的木瓜。两种木瓜露地栽培的光呼吸 R_p 均显著小于网室栽培。网室内的两种木瓜最大羧化速率 V_{max} 分别比露地栽培的高 21%和 14%（差异显著，

$P \leq 0.01$ ），而最大电子传递速率 J_{max} 分别高出 7%和 6%（差异检验不显著， $P \leq 0.05$ ）。网室栽培下两种木瓜的光能转化效率也显著高于露地栽培的木瓜，LZ 和 H 分别高出 LZO 和 HO 的 δ 24%和 17%；但它们的光曲线最大光合速率并无显著差异（ $P \leq 0.05$ ）。

当 PFD 为光补偿点， A_n 为 0 时， $g_s = g_0 + g_i [A_n (RH/C_a)]$ 即可简化为 $g_s = g_0$ ，露地栽培下夏威夷和龙珠木瓜的 g_0 都显著低于在网室下两种木瓜（ $P \geq 0.05$ ）。露地栽培下夏威夷和龙珠木瓜的 g_i 都显著高于在网室下两种木瓜（ $P \geq 0.05$ ）。

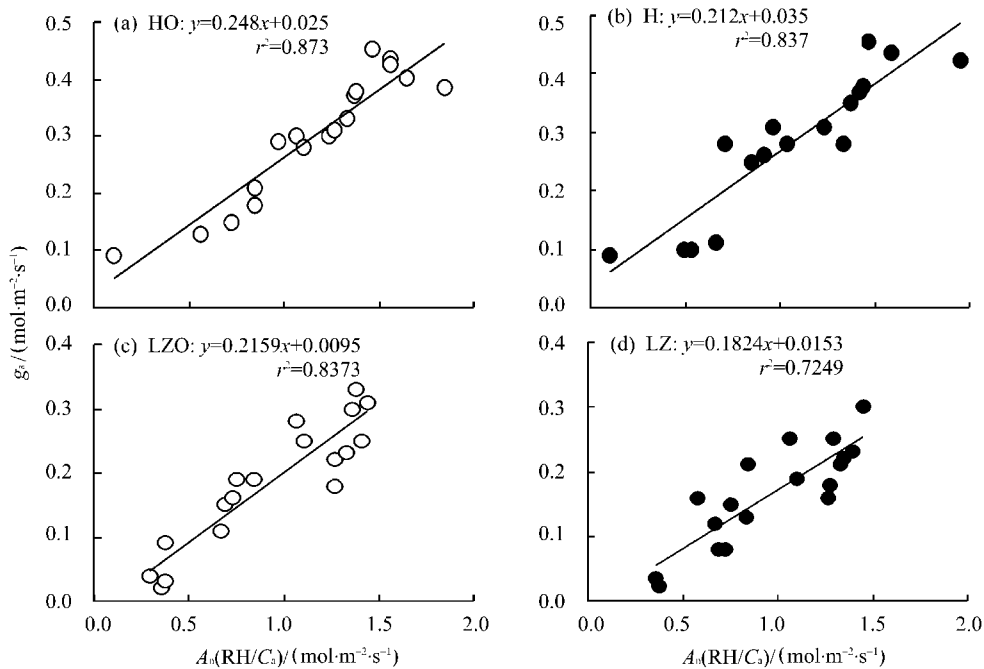


图 3 露地和网室栽培两种木瓜的 $g_s - A_n (RH/C_a)$ 响应

Fig 3 Response of *Carica papaya* growing in uncovered field and under network conditions in $g_s - A_n (RH/C_a)$

3 结 论

与露地栽培的木瓜相比较，网室栽培的木瓜具有较低的 LSP、LCP、Rd 以及较高的 Φ 和 R_p ，这是由网室栽培下的木瓜长期的生长环境所决定。网室内午间光照强度要显著低于露地栽培，而且一天内的最高气温也要显著低于后者^[7]。网室栽培下木瓜叶片逐步适应这种荫生环境，具有较低的 R_d 和 LCP 以及较高的 Φ 。强光下光呼吸速率要低，这是因为在光下线粒体呼吸被部分抑制。露地栽培下的木瓜长期适应于光照较强的环境，从而在光下有较低的 R_p ^[4-6]。一般来说，植物在阳生条件下要比荫生条件的 A_m 更高^[4,5,7]，但是本研究结果中两种栽培模式下两者 A_m 却无显著差异，这可能因为：①网室栽培下的木瓜叶片避开了午间强光、高温和高温的胁迫，避灭了露地栽培下的光合器官和机能的损失；②其 V_{cmax} 、 J_{max} 以及 Φ 都较露地栽培的要高，表明适度的降低光强和气温更加有利于它达到最佳光合作用条件；③ J_{max} 与 R_uBP 的再生潜力密切相关，露地栽培的强光下 R_uBP 再生受阻，而网室栽培下的光照强度可能更适于促进木瓜叶片的光合潜力^[3,5]。这些都可能是两种栽培模式下的木瓜光曲线下的 A_m 无显著差异的原因。

露地栽培下的木瓜叶片为避灭强光和高温引起的过量的水分蒸腾，产生一些保护性的适应，气孔

开度变小，甚至在较暗条件下也保持较低的 g_s ，导致 g_0 较网室栽培下的要低^[1,2]。 G_i 是气孔导度对 PFD、 C_a 和 RH 等环境的敏感度^[8,9]。由于网室栽培下的木瓜受到这些环境因子的胁迫的可能性较小，所以对它们的变化不如露地栽培下的叶片敏感。我们的研究结果也证实在露地栽培下的木瓜叶片 g_s 比网室栽培更为敏感^[7]。

以上结果表明，网室栽培有助于木瓜避开华南地区的光热胁迫，更有利于木瓜进行光合作用，积累更多的有机碳，提高光合效率。

参考文献:

[1] 孙谷畴, 赵平, 曾小平, 等. 不同光强下生长的厚叶木莲 *Magnolia pachyphylla* 光合作用光响应的变化[J]. 应用与环境生物学报, 2001, 7(3): 213—218.

[2] BUNCE J A. Effects of environment during growth on the sensitivity of leaf conductance to changes in humidity[J]. Global Change Biol, 1998, 4: 269—274.

[3] EVANS J R. The relationship between electron transport components and photosynthetic capacity in pea leaves grown at different irradiances[J]. AUST J Plant Physiol, 1987, 14: 157—170.

[4] DENG X, Li X M, ZHANG X M et al. The studies about the photosynthetic response of the four desert plants[J]. Acta Ecol Sin, 2003, 23(3): 598—605.

[5] FARQUHAR G D, Von CAEMMERER S. Encyclopedia of plant physiology. // LANGE O L et al eds. Modelling of

photosynthetic response to environmental conditions[M] . Heidelberg Berlin: Springer-Verlag Press 1982: 549— 587.

[6] 邓雄, 李小明, 张希明, 等. 多枝怪柳气体交换特性研究 [J] . 生态学报, 2003, 23(1): 180— 187.

[7] 蔡楚雄, 邓雄, 刘世平, 等. 4 种木瓜品种的呼吸作用以及其耐荫性研究 [J] . 中山大学学报 (自然科学版), 2003, 42(增刊): 211— 214.

[8] KUPPERS, SCHULAZE E D. An empirical model of net photosynthesis and leaf conductance for the simulation of diurnal courses of CO₂ and H₂O exchange [J] . AUST J Plant Physiol, 1985, 12: 513— 526.

[9] COWAN I R. Stomatal behavior and environment [J] . Advances in Botanical Research, 1977, 4: 117— 228.

Comparative Analyses of Photosynthetic Parameters in Response Curves of *Carica papaya* Linn. Grown Under Uncovered Field and Network Conditions

DENG Xiong¹, YE Wanhui¹, YANG Qi he¹, XU Kai yang¹,
CAO Hong ting¹, CAI Chu xiong², LIU Shi ping²

(1. South China Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Guangdong Guangzhou 510650, China;
2 Dongguang Botany Garden, Guangdong Dongguang 523079, China)

Abstract: To compare photosynthetic ability of *Carica papaya* Linn. grown under traditional uncovered field and network conditions, the photosynthetic response curves were determined and related parameters were analyzed using some photosynthetic models. The results showed: ① leaves of *C. papaya* under network conditions had lower dark respiration, light compensation point, light saturated point and higher apparent quantum yield, light conversion efficiency, maximum carboxylation rate and maximum electron transport rate, and ② Fitting of the response curves with the model of $g_s - A_n$ (RH/C_a) suggested that the stomata of the leaves was more sensitive to the light and thermal factors, with g_s , the sensitivity of stomatal conductance, were higher under uncovered field than under network and g_0 , stomatal conductance in dark, were lower under uncovered field ($P \leq 0.05$). It suggested that network planting was helpful for mitigating the stress caused by high light and air temperature, and for improving the photosynthetic efficiency.

Key words: network planting; *Carica papaya* Linn; photosynthetic response curve

(上接第 90 页)

The Effects of Catechin and Fisetin on Blood Lipids of Iron loaded Mice Model

FENG Xing, XU Dong hui, MEI Xue ting, ZHU Liang, CHEN Li qiong, XU Shi bo
(School of Pharmaceutical Sciences, Sun Yat sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: To investigate the effects of catechin (CAT) and fisetin (FIS), which is extracted from *Rosa bracteata* Wendl. on the of iron loaded mice. Carbonyl iron was added in the food of mice to make them iron overloaded model. CAT (3.5, 10.5, 31.5 mg·kg⁻¹, po) and FIS (3.5, 10.5, 31.5 mg·kg⁻¹, po) were treated for 3 months. The level of HDL Cho, LDL Cho, T Cho, TG, Fe³⁺ in serum were tested after 3 months. CAT and FIS could restrain the weight fall of the iron loaded mice and reduce Fe³⁺ level and LDL level of serum. CAT could also restrain the TG level. CAT has the protective effects on the abnormalities of the iron overloaded mice.

Key words: *Rosa bracteata* Wendl; (+) catechin; fisetin; blood lipids; iron overloaded