

绿斑病藻寄生对夏橙光合日变化的影响

王大平^{1,2} 朱 钧¹ 李道高^{1*}

(¹西南大学园艺园林学院, 重庆 400716; ²重庆文理学院生命科学系, 重庆 402168)

摘 要: 以盆栽的 2 年生 ‘奥灵达’ 夏橙为试材, 用 LF6400 型便携式光合测定系统研究了绿斑病藻寄生的夏橙叶片光合日变化规律。结果表明: 轻度病叶 (严重度为 5%) 净光合速率 (Pn)、气孔导度 (Gs)、蒸腾速率 (Tr) 和胞间 CO₂ 浓度 (Ci) 的日变化与健康叶片相似, Pn 和 Gs 日变化呈双峰型曲线, Tr 日变化呈单峰型曲线, Ci 在午前直线下降, 午后维持一段时间的较低水平, 而后逐渐回升, 光合作用有明显的 “午休” 现象, 主要受气孔因素控制; 中度病叶 (严重度为 40%) 和重度病叶 (严重度为 80%) 的光合日变化与健康叶片明显不同, Pn、Gs 和 Tr 的日变化曲线整体大幅度下降, 变幅和峰值均小, 而 Ci 在午前下降缓慢, 午后一直保持较高水平, 光合作用主要受非气孔因素控制。

关键词: 橙; 球藻; 寄生; 光合作用; 日变化

中图分类号: S 666.4 文献标识码: A 文章编号: 0513-353X (2006) 04-0821-04

Effect of Green Spot Disease (*Apatococcus lobatus*) Parasitization on Diurnal Variation of Photosynthesis of Valencia Orange Trees

Wang Daping^{1, 2}, Zhu Jun¹, and Li Daogao^{1*}

(¹College of Horticulture and Landscape, Southwest University, Chongqing 400716, China; ²Department of Life Science, Chongqing University of Arts and Sciences, Chongqing 402168, China)

Abstract: The effect of green spot disease (*Apatococcus lobatus*) parasitization on diurnal variation of photosynthesis of valencia orange trees (*Citrus ‘Olinda’*) was studied by portable photosynthesis system LF6400 with 2-year pot-grown grafting seedlings. The results showed that diurnal course in net photosynthetic rate (Pn) and stomatal conductance (Gs) of leaves with low severity (5%) presented two peaks, transpiration rate (Tr) appeared single peak, intercellular CO₂ concentration (Ci) before noon greatly declined and lower Ci was kept afternoon. Leaves with slight severity were similar to healthy leaves in diurnal variation of photosynthesis, their photosynthesis appeared ‘Wuxiu’ phenomenon, and mainly controlled by stomatal factors. Diurnal changes in photosynthesis of leaves with medium severity (40%) and high severity (80%) were different greatly from the healthy leaves, their diurnal curve of Pn, Gs, and Tr declined sharply, Ci decreased slowly before noon and higher Ci was maintained in the whole afternoon, their photosynthesis was mainly controlled by non-stomatal factors.

Key words: Orange; *Apatococcus lobatus*; Parasitization; Photosynthesis; Diurnal variation

1 目的、材料与方法

夏橙绿斑病是一种新报道的病害^[1], 由绿藻门虚幻球藻属虚幻球藻 (*Apatococcus lobatus*) 寄生所致。此病在三峡库区的夏橙叶片和果实上均存在, 发病初期, 叶片和果实上出现黄绿色小点, 以后逐渐向四周扩展, 形成不规则斑块并相互愈合, 覆盖全叶和整个果实, 当空气湿度较低时, 病斑呈痂屑状。有关该病对夏橙叶片光合日变化的影响尚未见报道。本试验以盆栽夏橙为试材,

收稿日期: 2005-12-01; 修回日期: 2006-02-22

基金项目: 重庆市教委资助项目 (KJ051205); 重庆市科委资助项目 (7335)

* 通讯作者 Author for correspondence

研究了不同严重度的夏橙绿斑病叶的光合日变化规律, 以期为该病害的机理研究积累资料 and 提供理论依据。

试验于 2004 ~ 2005 年在西南大学进行。供试夏橙无病幼苗来自中国农业科学院柑橘研究所, 品种为奥灵达 (Olanda), 砧木为枳橙, 2 年生。采用高 35 cm、直径 25 cm 的塑料盆, 内装灭菌营养土, 2004 年 10 月初定植, 每盆 1 株, 于人工气候室 ($25^{\circ}\text{C}/18^{\circ}\text{C}$, 光强 $400\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 相对湿度 80%, 光周期光 14 h 暗 10 h) 中培养。2004 年 11 月将纯化培养的致病藻孢用无菌水配成 8.3×10^9 个/mL 的孢子悬浮液, 采用喷雾法接种于叶片上, 接种 50 盆, 以无菌水为对照 (10 盆)。根据叶片上病藻孢子堆所构成的病斑面积与叶面积的比率 (严重度), 把叶分为健叶 (0, 对照)、轻度病叶 (5%)、中度病叶 (40%) 和重度病叶 (80%)。

2005 年 6 月 28 日挑选出叶龄相对一致被病藻寄生不同严重度的植株各 5 株, 移入自然环境中, 先用 62.25% 仙生 WP 杀死叶上的病藻, 然后于 7 月上旬选择晴朗天气, 用美国 Li6400 光合作用系统从 8:00 到 18:00 每隔 2 h 测定 1 次光合速率 (P_n)、气孔导度 (G_s)、胞间 CO_2 浓度 (C_i) 和蒸腾速率 (T_r), 同时记录气温 (T_a)、大气 CO_2 浓度 (C_a)、空气相对湿度 (RH) 和光合有效辐射 (PAR) 等参数, 每株测 1 片叶, 每个叶片测定 3 次, 每处理重复 5 次。叶绿素和类胡萝卜素含量用丙酮比色法^[2]测定, 每处理重复 3 次。

2 结果与分析

2.1 绿斑病藻寄生对夏橙叶片光合色素含量的影响

由表 1 可见, 绿斑病藻寄生后夏橙叶片叶绿素 (Chl) 和类胡萝卜素 (Car) 含量均下降, 轻度病叶下降较少, 其 Chl. a、Chl. b、Chl. a + b 和 Car. 含量比对照分别下降了 0.67%、1.32%、0.89% 和 1.99%, 均未达显著水平; 中度病叶下降较多, Chl. a、Chl. b、Chl. a + b 和 Car. 分别下降了 23.69%、26.46%、23.8% 和 26.49%, 均比对照显著减少; 重度病叶下降幅度最大, Chl. a、Chl. b、Chl. a + b 和 Car. 分别下降了 37.11%、38.60%、37.61% 和 44.04%, 均与对照差异显著。光合色素含量的下降, 说明绿斑病藻寄生后不仅使夏橙叶片光合色素的合成受阻, 同时可能引起叶片脂质过氧化, 产生对色素有漂白作用的活性氧^[3]。

表 1 不同严重度夏橙绿斑病叶光合色素含量的变化

Table 1 Changes in photosynthetic pigment content of Citrus 'Olanda' leaves with various severity of *Apatococcus lobatus* parasitization

| 严重度 Severity (%) | 叶绿素 Chl. ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FM}$) | | | 类胡萝卜素 Car. ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FM}$) | Chl. a/ Chl. b | Chl. /Car. |
|---------------------|---|---------------------|---------------------|--|-------------------|------------|
| | a | b | a + b | | | |
| 0 (对照 Control) | 1.334 \pm 0.022 a | 0.684 \pm 0.036 a | 2.018 \pm 0.053 a | 0.302 \pm 0.010 a | 1.950 | 6.674 |
| 5 | 1.325 \pm 0.024 a | 0.675 \pm 0.014 a | 2.000 \pm 0.022 a | 0.296 \pm 0.008 a | 1.963 | 6.766 |
| 40 | 1.018 \pm 0.017 b | 0.503 \pm 0.010 b | 1.522 \pm 0.027 b | 0.222 \pm 0.006 b | 2.023 | 6.865 |
| 80 | 0.839 \pm 0.009 c | 0.420 \pm 0.005 c | 1.259 \pm 0.009 c | 0.169 \pm 0.006 c | 1.988 | 7.450 |

注: 数据分析采用邓肯氏新复极差法, 同列不同字母代表在 0.05 水平差异显著。

Note: The different letters in the same column indicated the significance at 5% level by Duncan's multiple range test

2.2 环境因子的日变化

重庆地区 7 月上旬与光合作用相关的主要环境因子的日变化以 PAR 变化幅度最大 (图 1), 从 8:00 ~ 12:00, PAR 表现为直线上升, 并在 12:00 达最高值, 12:00 ~ 14:00 维持相对稳定的水平, 而后缓慢下降, 16:00 后开始直线下降; T_a 在 8:00 ~ 12:00 表现为直线上升, 12:00 ~ 14:00 缓慢上升, 并在 14:00 达最高值, 而后缓慢下降, 直到下午 18:00 还维持在 35°C 左右; C_a 从 8:00 ~ 14:00 表现为直线下降, 但幅度不大, 随后维持相对稳定的水平; RH 从 8:00 ~ 16:00 表现为直线下降, 幅度较大, 而后略有升高。

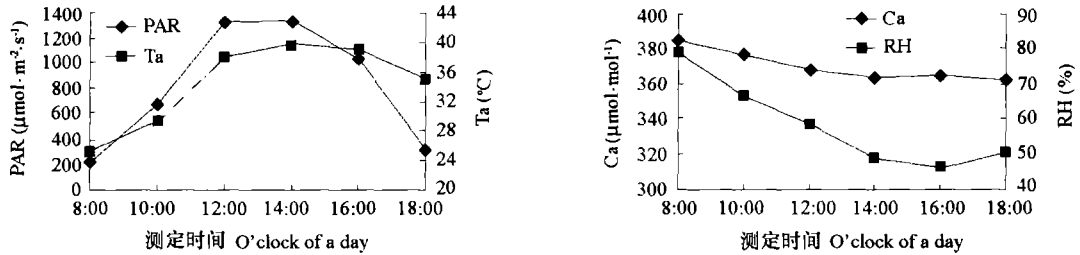
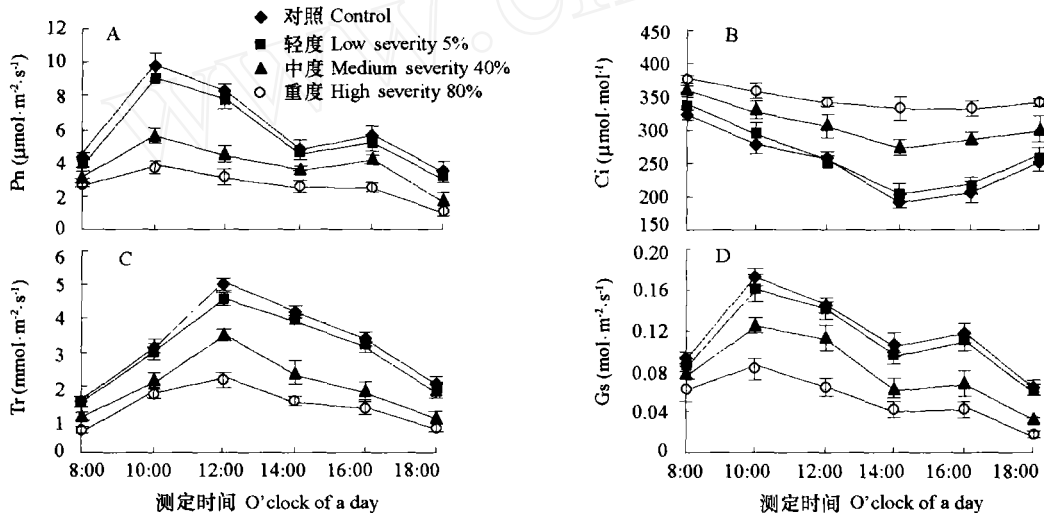


图 1 环境因子的日变化 (7月上旬)

Fig. 1 Diurnal variation of environment factors in the first ten-day of July

2.3 绿斑病藻寄生对夏橙叶片净光合速率 (P_n) 日变化的影响

图 2, A 表明, 健叶和轻度病叶 P_n 日变化较为相似, 均呈双峰曲线, 在早晨尽管 C_i 较高 (图 2, B), 但是由于 PAR 和 T_a 低 (图 1), P_n 很低; 其后随 PAR 和 T_a 的增加, P_n 迅速升高, 于 10:00 达全天最大值; 随后 P_n 呈下降趋势, 14:00 时 PAR 和 T_a 达全天最高值, RH 较低, P_n 达全天最低值; 而后 P_n 又略有回升, 于 16:00 出现 1 次小峰; P_n 有明显的“午休”现象, 表现出对环境光强变化的敏感性响应。中度病叶 P_n 日变化也呈双峰曲线, 但曲线整体下降, 变化幅度和峰值均小, 10:00 和 16:00 的峰值比对照分别降低了 43.3% 和 26.7%, 差异显著。重度病叶 P_n 日变化与健叶显著不同, 呈弱单峰曲线, 虽在午前有轻微升高, 但缺乏对环境光强变化的敏感性响应, 因此 P_n 较健叶大幅降低, 10:00 的峰值比对照降低了 61.7%, 差异显著, 说明绿斑病藻大量寄生后对夏橙叶片净光合速率有较大影响。

图 2 不同严重度夏橙绿斑病叶 P_n 、 C_i 、 Tr 和 G_s 的日变化Fig. 2 Diurnal variations of P_n , C_i , Tr and G_s of Citrus 'Oinda' leaves with various severity of *Apatococcus lobatus* parasitization

2.4 绿斑病藻寄生对夏橙叶片胞间 CO_2 浓度 (C_i) 日变化的影响

图 2, B 表明, 健康叶和轻度病叶 C_i 日变化较为相似, 均呈逆向抛物线, C_i 在 8:00 较高, 之后随叶片光合作用的增强而直线下降, 到 12:00 ~ 14:00, 由于光照强、温度高和空气湿度低 (图 1), G_s 低 (图 2, D), C_i 较低, 14:00 达全天最低值, 而后 C_i 逐渐回升, 说明健康叶午后 P_n 下降主要是与光合作用相关的环境因子不适, 从而导致 C_i 的大幅降低。中度病叶和重度病叶 C_i 日变化与健康叶存在明显差异, 在午前下降缓慢, 午后仍保持较高的 C_i , 说明光合作用受到抑制的主要原因是叶片同化 CO_2 能力降低, 可能与绿斑病藻大量寄生后导致光合色素含量下降、光合作用酶系统活性受阻有关。

2.5 绿斑病藻寄生对夏橙叶片蒸腾速率 (T_r) 日变化的影响

不同严重度叶片 T_r 日变化均表现为单峰型 (图 2, C), 健叶 T_r 日变化从 8: 00 ~ 12: 00 随光强和温度的增加而急剧升高, 12: 00 达全天最大值, 之后迅速下降。蒸腾作用与光合速率基本呈同步变化趋势。轻度病叶 T_r 日变化与健康叶较为相似, 无明显差异; 中度病叶和重度病叶 T_r 的日变化曲线较平缓, 与健康叶差异较明显, 在午前 T_r 的升高不如健康叶, 特别是重度病叶, 全天保持较低的蒸腾水平, 可能与叶片上大量覆盖着被杀死的藻胞成痂屑状有关。

2.6 绿斑病藻寄生对夏橙叶片气孔导度 (G_s) 日变化的影响

图 2, D 表明, 健康叶从 8: 00 ~ 10: 00, G_s 直线上升, 于 10: 00 达全天最大值; 10: 00 ~ 14: 00 由于光照强、温度高和空气湿度低 (图 1), G_s 下降, 而后又略有回升, 16: 00 以后逐渐下降。轻度病叶 G_s 的日变化与健叶较为相似, 但峰值和变化幅度不如健叶的大。中度病叶和重度病叶 G_s 的日变化与健叶有较明显的差异, 峰值较小, 变化幅度较小, 特别是重度病叶, G_s 日变化基本呈现弱单峰曲线, 全天维持极低水平。绿斑病藻大量寄生后 G_s 的下降, 阻碍了气体交换, 限制 CO_2 到达光合部位, 从而抑制其光合作用。

光合作用下降既有气孔因素也有非气孔因素, 如果气孔限制占主导作用, 则在 P_n 、 G_s 和 T_r 下降的同时, C_i 也相应下降^[4]。本试验表明, 轻度病叶与健叶的光合日变化相似, 呈双峰型曲线, 光合作用有明显的“午休”现象, 在午后由于光照强、温度高和空气湿度低, G_s 和 T_r 降低, 气孔开度减少, C_i 下降, 导致 P_n 下降, 说明光合作用主要受气孔因素控制; 而中度病叶和重度病叶光合日变化与健叶明显不同, 全天的 G_s 、 T_r 和 P_n 均低, 特别是在上午 10: 00 左右比健叶显著低, 而 C_i 比健叶高, 说明绿斑病藻寄生后引起夏橙叶片 P_n 下降除了气孔因素的限制外, 主要是非气孔因素的限制。

参考文献:

- 王大平, 李道高. 夏橙绿斑病的病原鉴定及其生长特性研究. 中国农学通报, 2005, 21 (6): 288 ~ 291
Wang D P, Li D G. Studies on the identification and growth characteristics of the pathogen of valencia orange green spot. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21 (6): 288 ~ 291 (in Chinese)
- 李合生. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社, 2000. 134 ~ 137
Li H S. The Experimental principles and technique of plant physiology and biochemistry. Beijing: Higher Education Press, 2000. 134 ~ 137 (in Chinese)
- 陈文峻, 蒯本科. 植物叶绿素的降解. 植物生理学通讯, 2001 (4): 336 ~ 338
Chen W J, Kuai B K. Chlorophyll degradation in plants. Plant Physiol Commu, 2001 (4): 336 ~ 338 (in Chinese)
- 胡文海, 喻景权. 低温弱光对番茄叶片光合作用和叶绿素荧光参数的影响. 园艺学报, 2001, 28 (1): 41 ~ 46
Hu W H, Yu J Q. Effects of chilling under low light on photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristic in tomato leaves. Acta Horticulturae Sinica, 2001, 28 (1): 41 ~ 46 (in Chinese)