

文章编号: 1673-9868(2014)4-0008-06

# 榕树光合特性的研究<sup>①</sup>

吴中军<sup>1,2</sup>, 张冬东<sup>1</sup>

1. 重庆文理学院 林学与生命科学学院, 重庆 永川 402168; 2. 重庆特色植物种苗工程研究中心, 重庆 永川 402168

**摘要:** 采用便携式光合测定仪对琴叶榕、黑叶橡胶榕和斑叶橡胶榕 3 种榕树的净光合速率、蒸腾速率、气孔导度和胞间 CO<sub>2</sub> 浓度进行了分析测定。研究表明: 3 个榕树品种的净光合速率日变化曲线均为双峰型, 且都存在明显的光合“午休”现象, 最大净光合速率从大到小依次为黑叶橡胶榕、斑叶橡胶榕和琴叶榕; 3 个榕树品种日蒸腾速率、气孔导度的变化表现为单峰曲线; 3 个榕树品种的光饱和点从大到小依次为琴叶榕、斑叶橡胶榕和黑叶橡胶榕, 而光的补偿点从大到小依次为黑叶橡胶榕、琴叶榕和斑叶橡胶榕。

**关键词:** 榕树; 光合速率; 蒸腾速率; 午睡; 光饱和点; 光补偿点

**中图分类号:** S794.1

**文献标志码:** A

全球气候变化和环境问题目前已经变得越来越尖锐, 诸如热岛效应、干旱、水土流失、沙漠化和物种消失加快等生态问题越来越成为人们关注的焦点<sup>[1-3]</sup>。树木光合作用对 CO<sub>2</sub> 的同化, 是决定森林生产力的重要生理过程, 而且可以客观和准确地反映植物的生长状态。光合特性已经成为一种用来评价植物对各种环境胁迫的反映和快速选择植物种类的有效工具<sup>[4]</sup>。因此, 植物的光合响应和适应性已经成为植物生态学领域的关键内容。关于植物在不良环境条件下的光合响应已有大量的研究报道, 不同植物在各种不利条件下的光合效率各不相同, 因此可以通过提高光合效能, 改善水分利用效率、光合产物的分配效率、自身调节呼吸效率和气孔程度, 以此充分利用气候资源<sup>[5-11]</sup>。

榕树(*Ficus microcarpa* L.) 是起源于亚洲和太平洋地区的常绿木本植物, 具有较高的观赏价值和良好的生态效应, 是庭园常见的观赏树及行道树。关于榕树光合特性的报道还鲜有所见, 本试验通过对琴叶榕、黑叶橡胶榕、斑叶橡胶榕 3 个榕树品种的光合速率、蒸腾速率、光响应曲线等特性及其与色素含量之间的关系进行研究, 期望能够了解榕树的生长发育内在规律, 对造林和城市景观树木的选择和配置, 在理论和实践上提供重要的指导依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

琴叶榕(*Ficus lyrata*)、黑叶橡胶榕(*Ficus elastica* cv. ‘Decora Burgundy’ 黑金刚)、斑叶橡胶榕(*Ficus elastica* cv. ‘Variegata’ 巴西榕) 3 种榕树品种为重庆文理学院花卉研究中心组培盆栽苗, 测试植株年龄为 1 年, 每个品种选取 3 株生长势一致, 无病虫害的植株, 每株树 3 个叶片, 分别选取新发枝条枝梢往下第 3 片展开叶和第 6 片成熟叶, 每叶 5 次重复, 取平均值。

### 1.2 主要仪器

LI-6400 XT 便携式光合测定系统, 美国 LI-COR 公司制造; 日本美能达 SPAD-502 叶绿素仪。

① 收稿日期: 2013-05-10

基金项目: 重庆市科学技术委员会科技攻关项目(CSTCAB1122); 重庆市永川区科委项目(YCSTC, 2011AD1009)基金资助。

作者简介: 吴中军(1966-), 男, 四川夹江人, 教授, 主要从事园林植物生理生态研究。

## 1.3 方法

### 1.3.1 光合日变化的测定

选晴天,从早晨 7:00 至傍晚 19:00,每隔 2 h 左右测定 1 次.分别测定其净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )、胞间  $\text{CO}_2$  浓度( $C_i$ )、蒸腾速率( $Tr$ )等指标<sup>[5]</sup>,同时测定环境  $\text{CO}_2$  浓度( $Ca$ )、光合有效辐射( $PAR$ )、空气温度( $T_a$ ).每个品种 3 株树.

### 1.3.2 光响应曲线的制作

选晴天,上午 8:30—11:30,叶室为红蓝光源.在环境温度  $30 \pm 1$  °C,空气  $\text{CO}_2$  浓度约为  $360 \mu\text{mol}/\text{mol}$  时,设光强梯度为 2 000,1 800,1 600,1 400,1 200,1 000,800,600,400,200,150,100,50,20  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,测定指标包括  $P_n, G_s, C_i, Tr, Ca, PAR, T_a$  等.

## 1.4 数据分析

实验数据用 DPS 软件进行统计分析,Excel 2003 作图.

## 2 结果与分析

### 2.1 主要生态因子日变化

从图 1 可以看出,光合有效辐射( $PAR$ )在一天中呈现单峰曲线变化,在接近中午时(11:00)达到最高,而在早 7:00 和晚 19:00 接近 0;大气中  $\text{CO}_2$  浓度在早 7:00 最高,以后趋于逐渐下降.图 2 反映了环境温度从早 7:00 到晚 19:00 大概呈现单峰曲线变化规律,在 15:00 时左右达到最高.

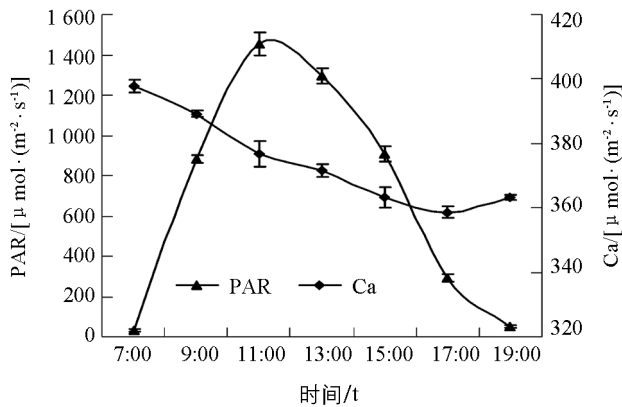


图 1 光合有效辐射和环境  $\text{CO}_2$  浓度日变化

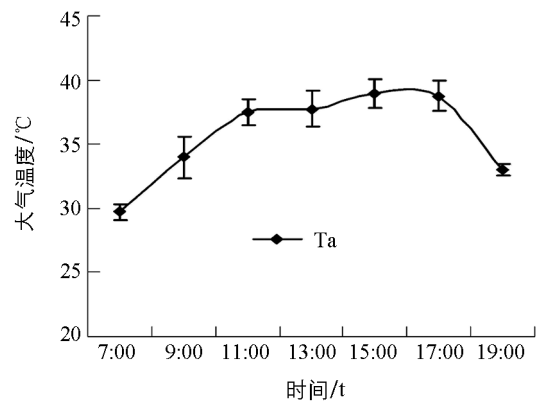


图 2 环境温度日变化

### 2.2 光合特性的日变化

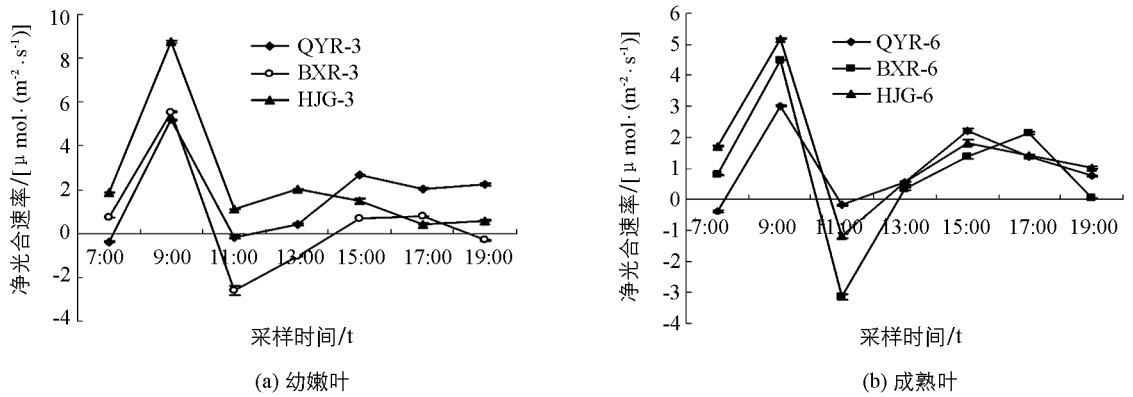
#### 2.2.1 净光合速率的日变化

由图 3a 可以看出,琴叶榕、斑叶橡胶榕、黑叶橡胶榕 3 种榕树嫩叶的净光合速率日变化曲线为双峰曲线,且 3 种榕树嫩叶的第一个波峰均出现在 9:00 左右,峰值分别为  $5.19, 5.53$  和  $8.87 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,而第二个波峰大约出现在 15:00 左右.

从图 3b 可以看出琴叶榕、斑叶橡胶榕、黑叶橡胶榕 3 种榕树成熟叶的净光合速率日变化曲线也为双峰曲线,且 3 种榕树成熟叶的第一个波峰同样出现在 9:00 左右,峰值分别为  $3.02, 4.48$  和  $5.18 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,除了斑叶橡胶榕的第二个波峰出现在 17:00 左右外,余下的琴叶榕和黑叶橡胶榕成熟叶与嫩叶的第二个波峰同样都出现在 15:00 左右.这样品种间成熟叶和嫩叶出现波峰的趋势大致一样,不同品种间斑叶橡胶榕的第二个波峰晚于其他两种榕树.

从全日净光合速率来看,3 种榕树早晨 9:00 的净光合速率最大,而在中午 11:00 除了黑叶橡胶榕嫩叶在  $1.11 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  以外,其他的几种分别在  $0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  左右或者 0 以下.

由于 11:00 左右环境的温度超过  $35$  °C,加上强光气孔关闭,3 个品种都表现出光合的“午睡”现象.



QYR-3: 琴叶榕嫩叶; QYR-6: 琴叶榕成熟叶; BXR-3: 巴西榕嫩叶; BXR-6: 巴西榕成熟叶; HJG-3: 黑金刚嫩叶; HJG-6: 黑金刚成熟叶.

图3 3种榕树叶片净光合速率日变化

## 2.2.2 气孔导度的日变化

由图4a可知,3种榕树嫩叶的气孔导度日变化为大致为双峰型曲线,且都在9:00左右有最大值.黑叶橡胶榕的嫩叶在达到最大值 $0.012\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 后一直下降,到17:00才开始回升.斑叶橡胶榕嫩叶和琴叶榕嫩叶同样在9:00左右达到最大值,其值分别为 $0.0084$ 和 $0.01\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ,不同的是斑叶橡胶榕嫩叶在11:00到19:00这段时间内变化幅度不是很大,只有 $0.0043\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 左右;而琴叶榕嫩叶在11:00达到它的第一次波谷后很快再一次达到波峰.

从图4b可以看出,黑叶橡胶榕、琴叶榕和斑叶橡胶榕的成熟叶气孔导度都是在9:00达到它们的第一个波峰,峰值分别为 $0.0071\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 、 $0.0061\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 和 $0.0081\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ .黑叶橡胶榕成熟叶从第一个波谷( $0.026\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ )一直到19:00点都比较平稳;斑叶橡胶榕的成熟叶片在9:00达到波峰后,也是在11:00达到波谷,其值为 $0.0002\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ,可以看出斑叶橡胶榕的成熟叶片在气孔导度日变化方面差距比较大;琴叶榕的成熟叶片波谷为 $0.0005\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ,与其他两种榕树相比较波峰和波谷的差值最小.总而言之,3个品种不管是嫩叶还是成熟叶片,气孔导度都在上午9:00时达到最高峰,在11:00—12:00时,由于温度的急剧升高和强烈的太阳辐射导致其气孔导度降到最低.

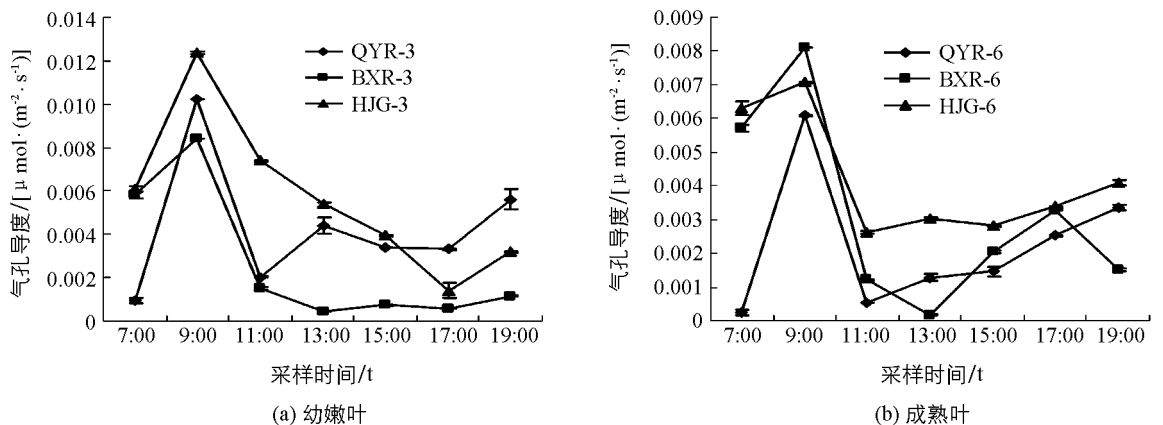


图4 3种榕树叶片气孔导度日变化

## 2.2.3 蒸腾速率的日变化

从图5a可以看出琴叶榕、斑叶橡胶榕、黑叶橡胶榕3种榕树嫩叶蒸腾速率的第一个峰值都出现在9:00,其值分别为 $0.49$ 、 $0.47$ 和 $0.72\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ .琴叶榕嫩叶的第二个波峰出现在13:00,达到 $0.27\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ;斑叶橡胶榕嫩叶的第二个波峰出现在15:00左右,峰值为 $0.06\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 左右;黑叶橡胶榕成熟叶的第二个波峰出现在17:00,峰值约为 $0.27\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ;而黑叶橡胶榕嫩叶的峰谷出现的比较晚,在17:00左右,谷值为 $0.11\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ .

从图 5b 可以看出琴叶榕、斑叶橡胶榕和黑叶橡胶榕 3 种榕树成熟叶蒸腾速率的第一个波峰都出现在 9:00, 其值分别为 0.29, 0.46 和 0.42  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ . 琴叶榕成熟叶的第二个波峰出现在 17:00, 其值为 0.172  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ; 斑叶橡胶榕成熟叶的第二个波峰出现在 17:00 左右, 峰值为 0.246  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ; 而黑叶橡胶榕成熟叶片的第二个波峰也出现在 17:00 左右, 只是峰值比斑叶橡胶榕的稍微偏高。

3 个品种的蒸腾速率由于在 9:00 左右气孔的开度最大, 因此蒸腾速率也同时达到最大, 但是随着气温的不断升高和太阳辐射的不断加强, 导致气孔关闭, 蒸腾速率也逐渐降低。

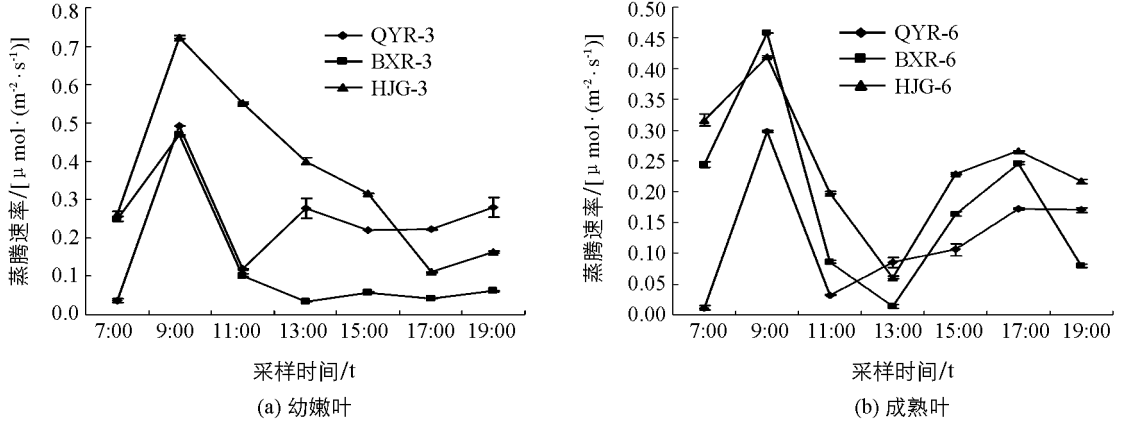


图 5 3 种榕树叶片蒸腾速率日变化

#### 2.2.4 胞间 $\text{CO}_2$ 浓度的日变化

从图 6a, b 可以看出, 3 种榕树嫩叶和成熟叶片的胞间  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ ) 日变化幅度很大, 尤其是在早上 7:00 和下午 17:00 以后变化特别明显, 中午 3 种榕树胞间  $\text{CO}_2$  浓度都降低, 琴叶榕的嫩叶和成熟叶片呈现出明显的“U”型曲线, 最低值分别出现在 15:00 和 13:00, 最低值分别为 405.15 和 349.15  $\mu\text{mol}/\text{mol}$ ; 而斑叶橡胶榕和黑叶橡胶榕的两种叶片上午的  $\text{CO}_2$  浓度变化幅度不大, 由图 6a 可以看出黑叶橡胶榕和斑叶橡胶榕的嫩叶都是在 13:00 左右达到最低值, 而后的 4 个小变化不是很大, 直到 17:00 左右两种榕树叶片的  $\text{CO}_2$  浓度急剧升高. 由图 6b 可以看出黑叶橡胶榕成熟叶片在 9:00 左右, 细胞间的  $\text{CO}_2$  浓度就达到了最低值, 而斑叶橡胶榕的成熟叶片在 15:00 才达到波谷。

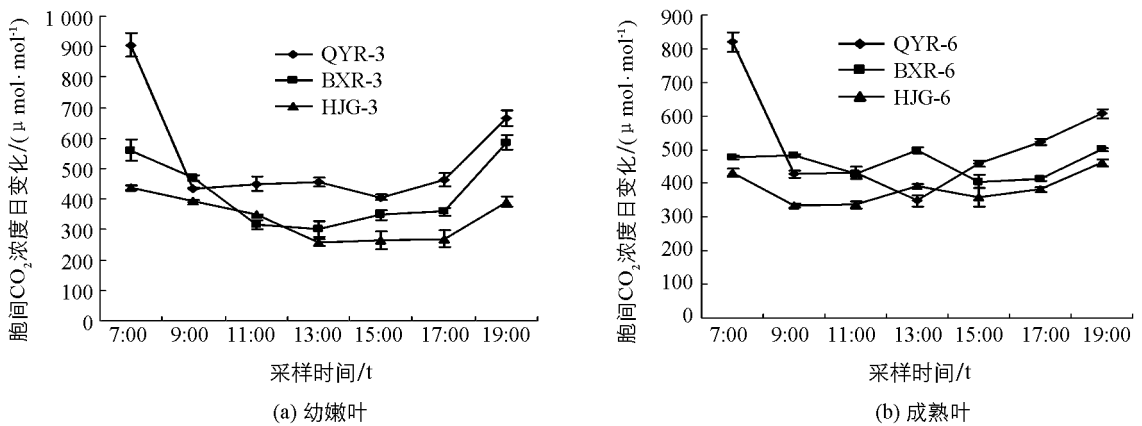


图 6 3 种榕树叶片胞间  $\text{CO}_2$  浓度日变化

#### 2.3 光响应特性

由图 7a, b 可以看出, 3 种榕树的光响应曲线都表现先迅速上升, 然后变得平稳或缓慢下降这样一种趋势. 在拟合的光强梯度相同的情况下, 斑叶橡胶榕成熟叶和嫩叶的光饱和点 ( $LSP$ ) 相差不大, 其值大约在 1000  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 且达到饱和过后随着光强的增加, 曲线下降的趋势很大; 而琴叶榕的成熟叶和嫩叶则在 1200  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  左右达到饱和, 达到饱和状态随着光强的变化曲线基本趋于平稳; 黑叶橡胶榕的两种叶片约在 800  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  左右达到饱和状态, 饱和过后随着光强的变化净光合速率缓

慢下降. 光饱和点从大到小依次为黑叶橡胶榕,斑叶橡胶榕,琴叶榕;黑叶橡胶榕成熟叶光补偿点(LCP)最高[40  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ],其次是琴叶榕[20  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ],斑叶橡胶榕最低[12  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ].

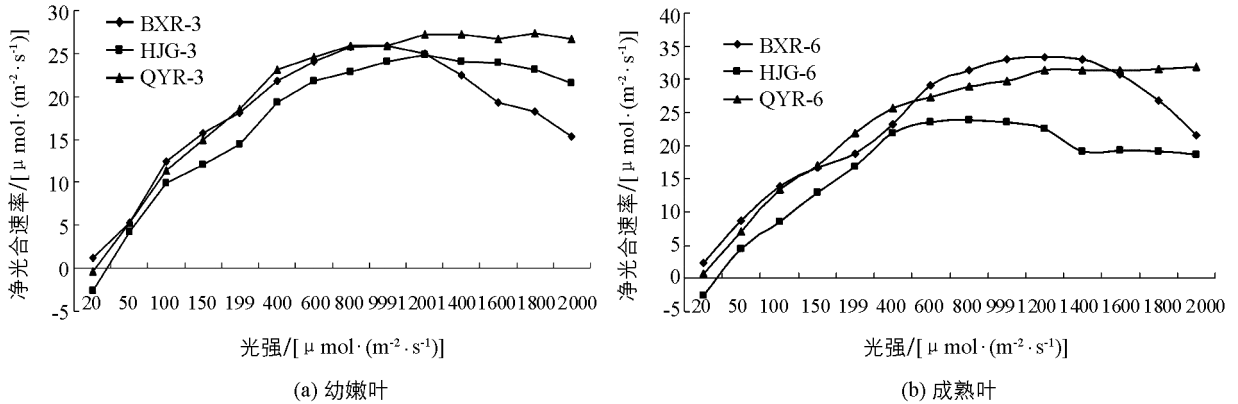


图7 3种榕树的光强响应曲线

### 3 结论与讨论

#### 3.1 光合“午休”现象

植物的光合作用和其他生命活动一样,经常受到外界环境条件和内部遗传因素的影响.光合有效辐射是植物光合作用能量的最终来源,是影响光合作用生态生理因子的最根本因素<sup>[13]</sup>.本试验中,3个榕树品种都出现了光合“午休”现象,光合过程中的暗反应是由酶催化的化学反应,温度直接影响酶的活性,因此,温度对光合作用的影响很大.一般植物可在10~35℃下正常进行光合作用,其中以25~30℃最适宜.光合作用在高温下降低的原因,一方面是高温破坏了叶绿体和细胞质结构,并使叶绿体的酶钝化;另一方面是在高温时,呼吸速率大于光合速率,表观光合作用降低.当然,晴天中午日照很强,气温过高,植物的蒸腾速率很大,叶片失水较快,导致气孔关闭,胞间CO<sub>2</sub>浓度下降,从而也导致光合速率降低<sup>[14-15]</sup>.

#### 3.2 光的饱和点和光的补偿点

植物的光饱和点和光补偿点反映了植物对光照条件的要求,是判断植物耐阴性的一个重要指标<sup>[16-18]</sup>.在本试验的3种榕树中,琴叶榕光饱和点最高且光补偿点较低,对光照的适应范围最广,能充分利用弱光进行光合作用;斑叶橡胶榕光饱和点较高但光补偿点最低,说明其对光照的适应范围也很广;黑叶橡胶榕光饱和点最低,光补偿点高,叶绿素含量最高,日平均净光合速率最高,所以黑叶橡胶榕是较优的城市绿化树种.

#### 3.3 结论

本试验表明,在晴朗、温暖、水分供应充足的条件下,随着低光照下光强的增加,3种榕树的净光合速率加大,气孔导度增大,蒸腾速率加强,胞间CO<sub>2</sub>浓度下降,与C<sub>i</sub>呈极其显著的负相关关系.本研究结果表明,黑叶橡胶榕、斑叶橡胶榕和琴叶榕的净光合速率均为双峰型曲线;3种榕树的蒸腾速率日变化也为双峰曲线,且黑叶橡胶榕第一个波峰和第二个波峰间隔的时间段比较长.琴叶榕光饱和点最高和光补偿点较低,对光照的适应范围最广;斑叶橡胶榕光饱和点较高但光补偿点最低,说明其对光照的适应范围也很广;黑叶橡胶榕光饱和点最低,光补偿点高,叶绿素含量最高,日平均净光合速率最高,所以黑叶橡胶榕是较优的城市绿化树种.

#### 参考文献:

- [1] CASPER B B, FORSETH I N, WAIT D A. A Stage-Based Study of Drought Response in *Gryptantha Flava*(Boraginaceae): Gas Exchange, Water Use Efficiency, and Whole Plant Performance [J]. *Am J Bot*, 2006, 93(7): 978-987.
- [2] DWYER S A, GHANNOUN O, NICOTRA A, et al. High Temperature Acclimation of C<sub>4</sub> Photosynthesis is Linked to Change in Photosynthetic [J]. *Biochemistry, Plant Cell Environ*, 2007, 30(1): 53-66.
- [3] 蒋高明. 当前国际上植物生理生态研究的几个热点问题 [J]. *植物生态学报*, 2001, 25(5): 514-519.
- [4] JOSHI S C, CHANDRA S, PALNI L M S. Differences in Photosynthesis Characteristics and Accumulation of Os-



- moprotectants in Saplings of Evergreen Plants Grown Inside and Outside a glasshouse during the Winter Season [J]. *Photosynthetica*, 2007, 45(4): 594–600.
- [5] OTIENO D O, SCHMIDT M W, ASIKU S, et al. Physiological and Morphological Responses to Water Stress in Two Acacia Species from Contrasting Habitats [J]. *Tree Physiol*, 2005, 25(3): 361–371.
- [6] NIU S L, JIANG G M, GAO L M, et al. Comparison of Gas Exchange Traits of Different Plant Species in Hunshandak Sand Area [J]. *Acta Phytoecol Sin*, 2003, 27(3): 318–324.
- [7] BLOCH D, HOFFMANN C M, MAARLANDER B. Impact of Water Supply on Photosynthesis, Water Use and Carbon Isotope Discrimination of Sugar Beet Genotypes [J]. *Eur J Agron*, 2006, 24(3): 218–225.
- [8] 许 皓, 李 彦. 3 种荒漠灌木的用水策略及相关的叶片生理表现 [J]. *西北植物学报*, 2005, 25(7): 1309–1316.
- [9] 闫海龙, 张希明, 许 皓. 塔里木沙漠公路防护林植物沙拐枣气体交换特性对于旱胁迫响应 [J]. *中国沙漠*, 2007, 27(3): 460–465.
- [10] 李 伟, 曹坤芳. 干旱胁迫对不同光环境下的三叶漆幼苗光合特性和叶绿素荧光参数的影响 [J]. *西北植物学报*, 2006, 26(2): 266–275.
- [11] BARTH C, KRAUSE G H, WINER K. Responses of Photosystem I Compared with Photosystem II to High-Light Stress in Tropical Shade and Sun Leaves [J]. *Plant Cell Environ*, 2001, 24(2): 163–176.
- [12] 孙晓璐, 李孟波, 阎 阳. 浅议植物在生态园林中的功能和作用 [J]. *河北建筑工程学院学报*, 2008, 26(3): 53–54, 60.
- [13] 宋建民, 田纪春, 赵世杰, 等. 中午强光胁迫下高蛋白小麦旗叶的光合特性 [J]. *植物生理学报*, 1999, 25(3): 209–213.
- [14] 陶汉之. 茶树光合日变化的研究 [J]. *作物学报*, 1991, 17(6): 444–452.
- [15] 张晔明, 王继和, 马全林. 干旱沙区 2 种梨树光合特性的研究 [J]. *西北植物学报*, 2001, 21(1): 94–100.
- [16] 曾小平, 赵 平, 彭少麟. 5 种木本豆科植物的光合特性研究 [J]. *植物生态学报*, 1997, 21(6): 52–57.
- [17] 孔文娟, 刘学录, 姚小华, 等. 4 个油茶物种的光合特性研究 [J]. *西南大学学报: 自然科学版*, 2013, 35(1): 16–22.
- [18] 幸宏伟, 代 雪. 6 种热带园林植物在温室环境下的光合及蒸腾特性的研究 [J]. *西南大学学报: 自然科学版*, 2012, 34(6): 64–68.

## Study on Photosynthetic Characteristics of *Ficus* Plants

WU Zhong-jun<sup>1,2</sup>, ZHANG Dong-dong<sup>1</sup>

1. School of Forestry and Life Science, Chongqing University of Arts and Sciences, Chongqing 402168, China;

2. Chongqing Engineering Research Center for Special Plant Seedlings, Chongqing 402168, China

**Abstract:** In order to study the photosynthetic characteristics of three *Ficus* cultivars and provide theoretical support for their scientific planting, the diurnal variation of net photosynthetic rate ( $P_n$ ), transpiration rate ( $Tr$ ), stomata conductance ( $G_s$ ) and intercellular carbon dioxide concentration ( $C_i$ ) were measured with the LI-6400 Portable Photosynthesis System. The results showed that the diurnal courses of photosynthesis in *F. lyrata*, *F. elastica* ‘Decora Burgundy’ and *F. elastica* ‘Variegata’ might be described with a double-peak curve and an obvious photosynthetic “nap” phenomenon was detected. The maximum net photosynthetic rate was in order of *F. elastica* ‘Decora Burgundy’ > *F. elastica* ‘Variegata’ > *F. lyrata*. The diurnal changes in transpiration rate and stomata conductance of all the three cultivars could be described with a single-peak curve. Their light saturation point (LSP) appeared in the order of *F. lyrata* > *F. elastica* ‘Variegata’ > *F. elastica* ‘Decora Burgundy’, and their light compensation point (LCP) in the order of *F. elastica* ‘Decora Burgundy’ > *F. lyrata* > *F. elastica* ‘Variegata’.

**Key words:** *Ficus*; photosynthetic rate; transpiration rate; photosynthetic “nap” phenomenon; light saturation point (LSP); light compensation point (LCP)

