

# 太湖源雷竹光合作用日变化规律研究

黄真娟<sup>1</sup>, 江洪<sup>2</sup>

(1. 浙江农林大学, 浙江省森林生态系统碳循环与固碳减排重点实验室, 浙江 杭州 311300;

2. 南京大学 国际地球系统科学研究所, 江苏 南京 210093)

**摘要:**以太湖源雷竹为试材, 采用 Li-6400 光合作用测定仪对太湖源雷竹的光合作用及其环境因子的日变化规律进行了测定, 并利用 SPSS 19.0 对其重要参数进行了相关性分析。结果表明:太湖源雷竹的光合作用表现出较明显的日变化规律。净光合速率(Pn)和光合有效辐射(PAR)均呈“单峰”曲线变化, 未出现光合“午休”现象。胞间 CO<sub>2</sub> 浓度的日变化呈“单峰”曲线, 其变化趋势与光合作用速率呈相反变化规律, 气孔限制值和蒸腾速率(Tr)的日变化也呈现“单峰”型曲线, 气孔导度则呈现“双峰”型曲线变化规律。相关分析结果, 表明对 Pn 影响最显著的因子是 PAR, 其次分别是气孔导度(Gs)、叶温下蒸气压亏损(VPD)、叶温(Tleaf)、气温(Tair)和空气相对湿度(RH); 对 Tr 影响最显著的因子是 Gs, 其次是 RH、PAR、Tair、Tleaf 和 VPD。

**关键词:**雷竹; 日变化; 净光合速率; 蒸腾速率; 光合作用

**中图分类号:**S 718.43; S 795.7 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)19-0087-04

雷竹属禾本科竹亚科刚竹属竹种, 又名早竹、早园竹, 别名雷公竹。雷竹是浙江著名优良笋用竹, 具有易栽培、成林快(3~4 a)、出笋早、笋期长、笋味鲜、产笋量高等特点<sup>[1]</sup>。作为雷竹重要的生理活动指标的光合作用在一定程度上决定着它的生长速度, 对雷竹进行光合作用的研究有助于了解其生长规律, 并为科学栽培和管理提供依据<sup>[2]</sup>。因此, 研究雷竹的光合特性不仅可以了解其丰产机理, 实施丰产技术, 而且也可以了解其对改善环境的贡献能力。目前, 对雷竹的光合生理特性方面的研究还很少, 该试验对前人有关雷竹光合作用应用的主要研究方法等作加以总结, 以浙江省临安市太湖源的雷竹为例, 通过分析环境因子和各种光合作用参数的变化规律来探讨其光合响应机制, 以期雷竹的合理丰产优质栽培措施提供必要的理论依据, 也为进一步研究雷

竹的光合生理特性奠定基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地设在临安太湖源(属于东天目山自然保护区)雷竹林自然保护区。雷竹林实验地临安市位于浙江省西部, 北纬 30°14', 东经 119°42'。属中亚热带季风气候, 年均温 15.8℃, 极端高温 41.90℃, 极端低温 -13.30℃, 年均降水量 1 613.9 mm, 无霜日为 234 d, 年日照时数 1 939 h。

### 1.2 试验方法

选择 2012 年 10 月中旬晴朗的天气对太湖源雷竹进行光合作用各指标的测定。选取 2 a 生、生长状况良好的雷竹样竹, 选取林冠中层南向健康成熟叶, 从上午 8:00 开始到下午 17:00, 每隔 1 h 测定 1 次。所选叶片均长势相同且达到生理成熟, 叶龄相对一致, 每次取 3~5 片叶子, 每片叶子重复测 5 组数据。最后取平均值作为研究数据。

### 1.3 项目测定

用 Li-6400 光合作用测定仪对叶片进行净光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(Gs)、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度(Ci)、光合有效辐射(PAR)、气温(Tair)、叶温(Tleaf)、空气 CO<sub>2</sub> 浓度(Ca)、空气相对湿度(RH)和叶温下蒸气压亏损(VPD)等指标测定。气孔限制值(Ls)=1-胞间 CO<sub>2</sub> 浓度/空气 CO<sub>2</sub> 浓度<sup>[3]</sup>。水分利用效率(WUE)=光合作用速率/蒸腾速率<sup>[4]</sup>。表观量子效率(AQY)=光合速率/光合有效辐射<sup>[5]</sup>。

### 1.4 数据分析

采用 Excel 软件进行数据处理, 利用 SPSS 19.0 软

**第一作者简介:**黄真娟(1985-), 女, 河南信阳人, 硕士, 研究方向为竹子碳同化特征。E-mail:huangzhenjuan2011@126.com.

**责任作者:**江洪(1955-), 男, 博士, 教授, 研究方向为生态学。E-mail:jianghong\_china@hotmail.com.

**基金项目:**国家自然科学基金重大基金资助项目(61190114); 国家“973”重点基础研究发展规划资助项目(2011CB302705; 2010CB950702; 2010CB428503); 国家高技术研究发展计划资助项目(2009AA122001; 2009AA122005); 国家自然科学基金资助项目(41171324); 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20110091110028); 科技部重大基础性资助项目(2007FY110300-04&08); 浙江省重大科技专项资助项目(2008C13G2100010); 浙江省重点科技创新团队资助项目(2010R50030)。

**收稿日期:**2013-05-20

件对各生理生态因子对净光合速率和蒸腾速率的影响进行相关性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 太湖源雷竹光合作用重要参数日变化

净光合速率日变化是植物生产过程中物质积累与生理代谢的基本过程。一般情况下其变化规律呈“双峰型”或“单峰型”变化,在不同时期会表现出不同的变化规律。从图1可以看出,10月、11月和12月测定的太湖源雷竹的净光合速率日变化均呈凸型曲线变化,在10月和11月呈“单峰”曲线变化,而在12月呈“双峰”曲线变化。在3个不同月份其变化规律基本类似。在10:00~12:00范围内,其净光合速率达到全天中的最大值,早高晚低。当然,环境中的光照在全天中也是由弱到强再到弱的规律性变化,从而使植物的光合速率日进程出现相应的变化<sup>[6]</sup>。该试验选用2012年10月测定的数据作为太湖源雷竹的光合作用日变化的试验分析数据。

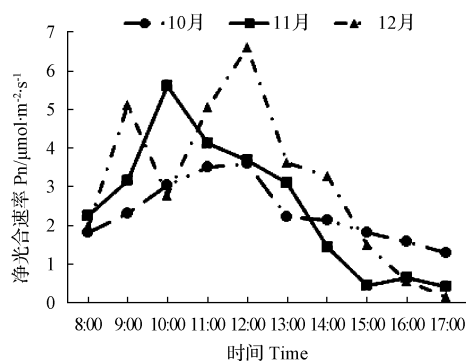


图1 太湖源雷竹不同月份净光合速率日变化规律  
Fig. 1 Diurnal course of net photosynthetic rate of *Phyllostachys praecox* in different months

从图2可以看出,太湖源雷竹的胞间CO<sub>2</sub>浓度与其净光合速率的变化规律呈相反关系变化。后者呈现标准的“单峰”曲线变化,没有出现光合“午睡”现象。早、晚较低,中午12:00左右到达峰值(3.5982 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>);前者则刚好相反,早、晚较高,中午12:00左右就达到最小值(201.8468 μmol/mol)。造成这种结果的原因是光合作用越强,需要消耗的CO<sub>2</sub>就愈多,而气态的CO<sub>2</sub>在液相的胞间存在着扩散阻力,胞间CO<sub>2</sub>得不到迅速的补足,其浓度就会下降;反之,若光合作用强度弱,胞间CO<sub>2</sub>浓度就会增加<sup>[7]</sup>。太湖源雷竹的气孔限制值的日变化呈现的也是“单峰”型,与胞间CO<sub>2</sub>浓度的日变化刚好相反,与光合作用速率的日变化规律一致。因为气孔的开放速率和开放度是和光强呈正比例变化的;太湖源雷竹的表观量子效率从早上开始逐渐下降,中午13:00到达最小值(0.00172 mol/mol),之后开始回升,17:00左右上升到0.00486 mol/mol。

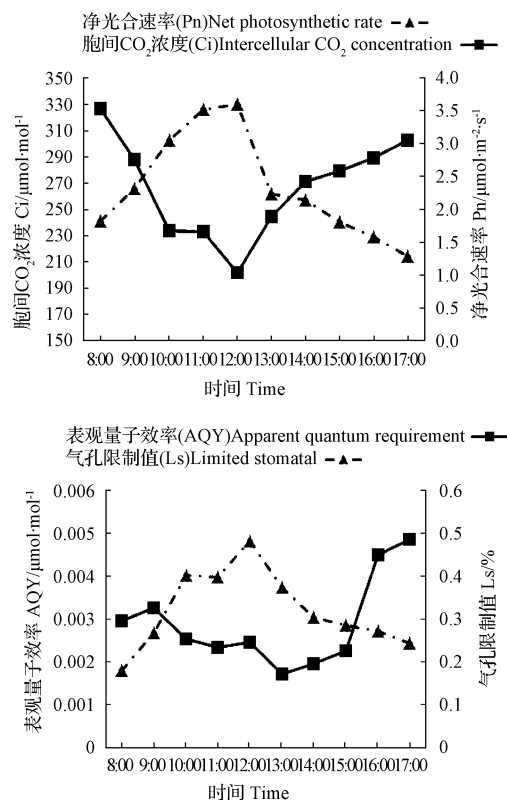


图2 太湖源雷竹光合作用重要参数日进程  
Fig. 2 Diurnal course of important parameters in photosynthesis of *Phyllostachys praecox*

### 2.2 太湖源雷竹光合作用水分参数日变化

植物的光合作用过程伴随着叶片的蒸腾耗水过程。蒸腾速率主要是由叶片气孔下空间的水蒸气浓度和大气中水蒸气浓度之间的浓度差以及水蒸气扩散途径的阻力所决定的<sup>[8]</sup>。从图3可以看出,蒸腾速率的日变化规律与光合作用速率非常类似,也是呈现“单峰”曲线。随着温度不断上升,气孔导度逐渐增大,光合作用速率逐渐上升,叶温下蒸气压亏损逐渐上升,蒸腾速率也相应的上升。中午13:00左右,叶温下蒸气压亏损达到峰值(2.1973 kPa),太湖源雷竹的蒸腾速率也到达最大值(0.9858 mmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>)。因为生成光合产物需要水分和通过水分运载的矿物质营养成分的不断供应。气温较高,雷竹的叶温也会升高,从而加剧了其蒸腾速率。太湖源雷竹的气孔导度则呈现“双峰”型。分别在上午9:00和中午12:00左右达到峰值,分别为0.0384 mol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>和0.0579 mol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>。太湖源雷竹的水分利用效率也呈“双峰”型变化,上午11:00之前,水分利用效率迅速上升,主要原因是因为上午11:00之前,光合速率较高,气孔导度逐渐上升,蒸腾速率还处在比较低的上升水平。

### 2.3 太湖源雷竹环境因子重要参数日变化

植物光合作用受多种外界环境因子的影响,植物对多种环境胁迫的共同响应是光合速率降低<sup>[9]</sup>。从图4

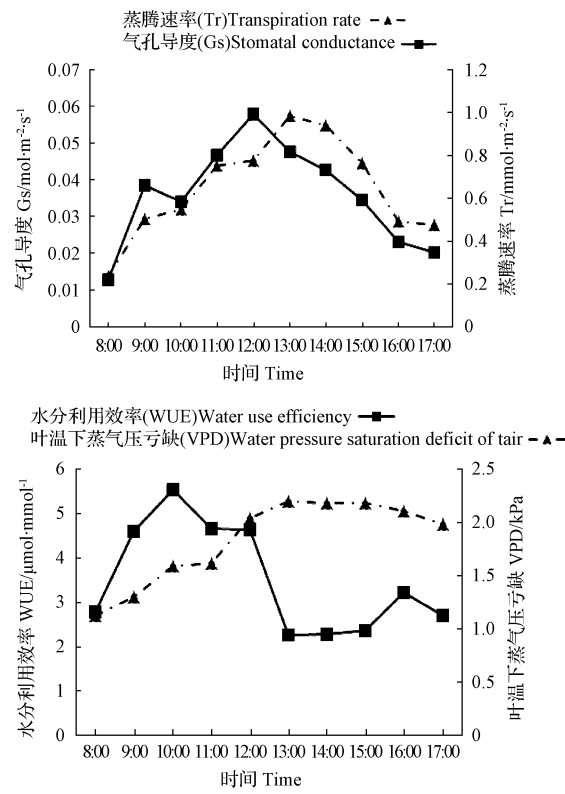


图3 太湖源雷竹光合作用水分参数日进程  
Fig. 3 Diurnal course of water relation parameters in photosynthesis of *Phyllostachys praecox*

可以看出,太湖源雷竹的光合有效辐射呈现早晚低中午高的变化趋势,可见光合有效辐射也是影响太湖源雷竹光合速率的重要参数。气温和叶温在 20~26℃变化,变化规律基本一致,气温较叶温略高;从图 3、4 可以看出,空气相对湿度在 30%~50%范围变化,而叶温下的蒸气压亏损则与其相对湿度呈相反规律变化关系。从上午 8:00 开始,随着相对湿度的下降,其叶温下的蒸气压亏损则逐渐增大。而叶温和叶温下的蒸气压亏损则是直接影响太湖源雷竹蒸腾速率的直接因素。

2.4 太湖源雷竹光合作用重要参数相关性分析

由以上分析可知,太湖源雷竹的光合作用参数和环境因子参数之间都互相存在着很大的相关性。太湖源

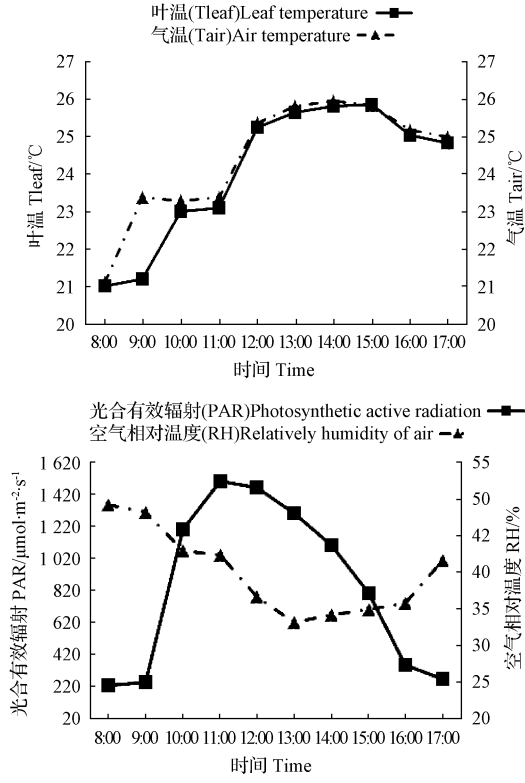


图4 太湖源雷竹环境因子重要参数日进程  
Fig. 4 Diurnal course of important parameters in environmental factor of *Phyllostachys praecox*

雷竹的净光合速率、蒸腾速率和水分利用效率不仅受到其环境因子的影响,也和其生理因子有很大的关系。它们之间的相关关系见表 1。从表 1 可以看出,太湖源雷竹的净光合速率(Pn)和蒸腾速率(Tr)与光合有效辐射(PAR)分别呈现极显著和显著正相关,其水分利用效率(WUE)则与光合有效辐射(PAR)的正相关关系不显著;净光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)和水分利用效率(WUE)与气温(Tair)和叶温(Tleaf)分别呈现负相关、显著正相关和负相关关系;蒸腾速率(Tr)与空气相对湿度(RH)、叶温下蒸气压亏损(VPD)和气孔导度(Gs)分别呈现极显著负相关、显著正相关和极显著正相关关系;净光合速率(Pn)则与气孔导度(Gs)呈现显著正相关。

表 1 太湖源雷竹净光合速率、蒸腾速率和水分利用效率与生理生态因子相关系数

Table 1 Correlative coefficient between net photosynthetic rate,transpiration rate or water use efficiency in *Phyllostachys praecox* of taihu source and phy-ecological factors

	光合有效辐射 PAR/ $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	气温 Tair/℃	叶温 Tleaf/℃	空气相对湿度 RH/ %	叶温下蒸气压亏损 VPD/kPa	气孔导度 Gs/ $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
净光合速率(Pn)	0.797 **	-0.131	-0.132	0.043	-0.161	0.752 *
蒸腾速率(Tr)	0.762 *	0.752 *	0.711 *	-0.788 **	0.710 *	0.810 **
水分利用效率(WUE)	0.301	-0.403	-0.479	0.442	-0.472	0.315

注:\*表示在 0.05 水平上显著相关,\*\*表示在 0.01 水平上显著相关。

3 结论

太湖源雷竹的净光合速率呈现单峰曲线变化,与气

温(Tair)、叶温(Tleaf)、蒸腾速率(Tr)、光合有效辐射(PAR)、空气相对湿度(RH)、叶温下蒸气压亏损(VPD)

和气孔导度(Gs)等生理生态因子都有不同程度的相关关系。太湖源雷竹的光合作用日变化规律和其它不同种类的植物的光合作用日规律类似。有出入的一些结论,可能与所选竹叶的地点、地形、天气情况、测定仪器及参数设置等各种因素有关。

太湖源雷竹的胞间  $\text{CO}_2$  浓度与其净光合速率的变化规律呈相反关系变化,因为光合作用要消耗  $\text{CO}_2$ ,所以光合作用速率上升时胞间  $\text{CO}_2$  浓度就会有向下降趋势;气孔是植物叶片与外界进行气体交换的主要通道,气孔导度表示的是气孔张开的程度,影响光合作用,呼吸作用及蒸腾作用。太湖源雷竹的气孔导度均呈现“双峰”型。分别在上午 9:00 和中午 12:00 左右达到峰值,分别为  $0.0384 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  和  $0.0579 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。气孔限制值的日变化呈现的是“单峰”型,与胞间  $\text{CO}_2$  浓度的日变化刚好相反,与光合作用速率的日变化规律一致。

光合有效辐射是太阳辐射中能被绿色植物用来进行光合作用的那部分能量,是影响植物光合作用的主要因素。因此与光照强度和气温有密切的关系,也是呈现“单峰”曲线规律变化;空气相对湿度从变化规律可以看出,其变换规律与气温的日变化相反;叶温下的蒸汽压亏损则与其相对湿度呈相反规律变化关系,叶温下的蒸汽压亏损逐渐减小,而空气相对湿度则逐渐上升。

从太湖源雷竹的各种光合作用参数的相关系数可知,影响其净光合速率(Pn)的先后顺序是:光合有效辐射(PAR)>气孔导度(Gs)>叶温下蒸气压亏缺(VPD)>叶温(Tleaf)>气温(Tair)>空气相对湿度(RH);对蒸腾速率(Tr)影响的因子先后顺序是:气孔导度(Gs)>空气相对湿度(RH)>光合有效辐射(PAR)>气温(Tair)>叶温(Tleaf)>叶温下蒸气压亏缺(VPD);对水分利用效率(WUE)影响的生理生态因子先后顺序是:叶温(Tleaf)>

叶温下蒸气压亏缺(VPD)>空气相对湿度(RH)>气温(Tair)>气孔导度(Gs)>光合有效辐射(PAR)。

不同类型的竹子其生物学特性差别甚大。即使是同一类竹子不同竹种之间的生长特征的差异也相当大<sup>[10-11]</sup>。因此对于不同竹种的光合作用加以研究是十分必要的。对太湖源雷竹的光合作用日变化进行比较研究对竹林的经济和生态效益有重要的意义。光合速率从另一个方面也反映了雷竹固碳的能力,这方面还需要进一步的深入研究。

### 参考文献

- [1] 方伟,何钧潮,卢可学,等. 雷竹早产高效栽培技术[J]. 浙江林学院学报,1994,11(2):121-128.
- [2] 高健,刘颖丽,李岚,等. 竹子光合作用研究进展[J]. 世界竹藤通讯,2006,4(3):13-16.
- [3] Berry J A, Downton W J S. Environmental regulation of photosynthesis [M]. New York: Academic Press, 1982: 263-343.
- [4] Fischer R A, Turner N C. Plant productivity in the arid and semiarid zones[J]. Ann Rev Plant Physiol, 1978(29): 227-317.
- [5] 王爱民,刘志学,祖元刚. 天然白桦种苗光合作用日进程[J]. 上海大学学报,2000,4(增刊):202-205.
- [6] 兰小中,廖志华,王景升. 西藏高原濒危植物西藏巨柏光合作用日进程[J]. 生态学报,2005,25(12):3172-3175.
- [7] 张大鹏,黄丛林,王学臣,等. 葡萄叶片光合速率与量子效率日变化的研究及利用[J]. 植物学报,1995,37(1):25-33.
- [8] 施建敏,郭起荣,杨光耀. 毛竹蒸腾动态研究[J]. 林业科学研究,2007,20(1):101,104.
- [9] 许大全. 光合作用的气孔限制[M]//许大全. 光合作用效率. 上海:上海科学技术出版社,2002:84-98.
- [10] 林琼影,胡剑,温国胜,等. 天目山毛竹冬季光合作用日变化规律[J]. 福建林学院学报,2008,28(1):61-64.
- [11] 施建敏,郭起荣,杨光耀. 毛竹光合动态研究[J]. 林业科学研究,2005,18(5):551-555.

## Study on the Diurnal Variations of Photosynthesis of *Phyllostachys praecox*

HUANG Zhen-juan<sup>1</sup>, JIANG Hong<sup>2</sup>

(1. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Carbon Cycling in Forest Ecosystems and Carbon Sequestration, Zhejiang Agriculture and Forestry University, Hangzhou, Zhejiang 311300; 2. International Institute for Earth System Science, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210093)

**Abstract:** Taking *Phyllostachys praecox* as material, the photosynthesis and its environmental factors of diurnal course discipline of Taihuyuan *Phyllostachys praecox* were measured using Li-6400. Its important parameters of the correlation had been analyzed by SPSS 19.0 software. The results showed that the photosynthesis of Taihuyuan *Phyllostachys praecox* showed a clear day change rule. Photosynthesis rate and photosynthetic active radiation were in ‘unimodal’ curve changes, and there was no ‘midday depression’. Diurnal intercellular  $\text{CO}_2$  concentration was in ‘unimodal’ curve changes, and the change rule of photosynthesis rate was inverse relationship changes; transpiration rate and stomatal limitation of present day change was ‘unimodal’ type, the stomatal conductance were revealed ‘bimodal’ type rule changes. Correlation analysis results showed that the net photosynthetic rate (Pn) affected the most significantly with the factor PAR, followed by Gs, VPD, Tleaf, Tair and RH respectively; transpiration rate (Tr) affected the most significantly with the factor was Gs, second was RH, PAR, Tair, Tleaf and VPD.

**Key words:** *Phyllostachys praecox*; diurnal course; net photosynthetic rate; transpiration rate; photosynthesis