

文章编号: 1000-5692(2000)03-0271-05

# 雷竹光合速率日变化及其影响因子

金爱武<sup>1</sup>, 郑炳松<sup>1</sup>, 陶金星<sup>2</sup>, 方道友<sup>3</sup>

(1. 浙江林学院 竹类研究所, 浙江 临安 311300; 2. 浙江省桐庐县林业局, 浙江 桐庐 311500; 3. 浙江省淳安县林业局, 浙江 淳安 311703)

**摘要:** 对雷竹光合速率及光照强度、气温、湿度和气孔阻力等对光合速率的影响进行了研究。结果表明, 在干热条件下, 雷竹光合速率日变化呈双峰曲线, 中午前后光合速率下降, 出现“午睡”现象。“午睡”是大气饱和差引起的气孔阻力增加所致。光照强度、气温、湿度和气孔阻力等因子对光合作用产生显著影响。雷竹光合作用适宜气温为 28.2~32.2 °C, 适宜光强为 860~1 020  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。图 6 参 9

**关键词:** 雷竹; 光合作用; 细胞间隙 CO<sub>2</sub> 浓度; 气温; 光照强度

**中图分类号:** Q945.11; Q718.43 **文献标识码:** A

光合作用是植物重要的生理过程之一, 是作物经济产量的基础。对林木光合特性的研究已有许多报道, 但对竹子研究较少, 仅许大全等报道了毛竹 (*Phyllostachys pubescens*) 光合特性<sup>[1]</sup>。雷竹 (*Ph. praecox* f. *preveynalis*) 为经济价值高且栽培广泛的笋用竹种, 对雷竹地下鞭生理特性已有较多研究<sup>[2,3]</sup>, 而对其光合特性研究还不多见。本文报道雷竹净光合速率日变化规律, 并分析环境因子及叶片生理特性对其光合速率的影响, 为提高雷竹光合能力和生产力提供参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验地概况

试验地设在浙江省临安市高虹镇马岭村雷竹基地。雷竹经营年限为 5 a。竹林立竹密度为 9 000 株  $\cdot\text{hm}^{-2}$  左右。竹株生长状况良好。土壤为黄红壤。该地属亚热带季风气候, 温暖湿润, 四季分明, 年降水量为 1 400 mm 左右。

### 1.2 时间和试样

试验选择晴到少云的天气进行。时间为 1999 年 4 月至 6 月。试样为雷竹当年生叶和 2 龄生叶。

### 1.3 净光合速率的测定

采用国产 GXH-305 型便携式红外分析仪测定。

### 1.4 环境因子的测定

光强、气温和湿度等环境因子采用美国 LI-COR 公司生产的 LI-1600 恒态气孔计测定。

## 2 结果与分析

### 2.1 光合速率日变化

收稿日期: 2000-03-15; 修回日期: 2000-05-18

基金项目: 加拿大国际发展研究中心 (IDRC) 资助项目; 国际林业研究中心 (CIFOR) 资助项目

作者简介: 金爱武 (1969-), 男, 浙江遂昌人, 助理研究员, 从事竹类栽培与生理研究。

在气温较高的干热条件下，雷竹叶片的光合速率 ( $P_n$ ) 日变化和其他植物 [如毛竹、水稻 (*Oryza sativa*) 和猕猴桃 (*Actinidia chinensis*) 等] 相似，呈双峰曲线型，在 10:00 和 14:00 左右分别有一高峰。不同龄叶片的光合速率分别为  $12.76 \sim 14.69 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  和  $4.75 \sim 8.99 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。下午的高峰低于上午的高峰。在两峰之间即下午 13:00 光合速率下降到最大时的 16%~26%，形成低谷，表现出明显的光合“午睡”现象。图 1。

2.2 环境因子对光合速率的影响

2.2.1 光照强度对光合速率的影响 雷竹净光合速率随光照的增强而提高，中午前后受到高温和强光的抑制而产生“午睡”现象；14:15 后，则随光照的减弱而降低 (图 2)。10:00~14:00 光照强度差别不大。因此，它不是导致光合作用中午降低的直接因素。但是，它却是引起一天中气温和湿度等变化的主要因素。在  $0 \sim 860 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  的光照范围内，随光强的提高，叶片净光合速率不断提高。当光强大于  $1020 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  时，净光合速率趋于—稳定值。

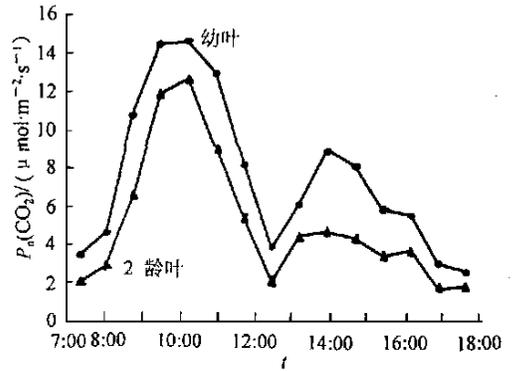


图 1 不同年龄竹光合速率 ( $P_n$ ) 的日变化

Figure 1 Changes of  $P_n$  in bamboo leaves at different olds

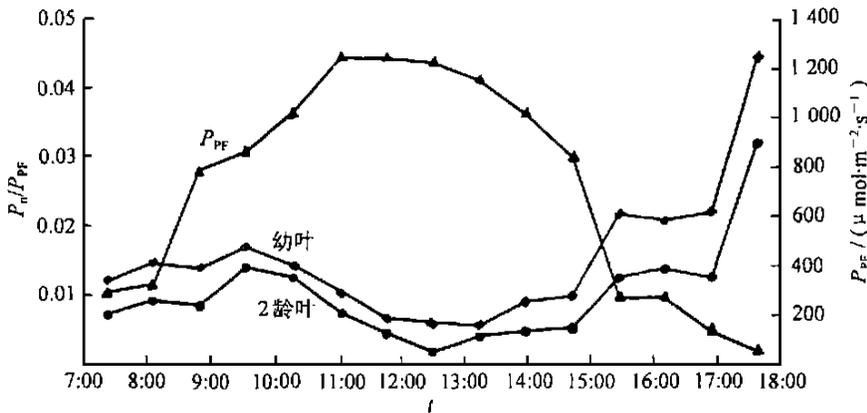


图 2 光照强度对光合作用光子流量 ( $P_n/P_{PF}$ ) 日变化的影响

Figure 2 Effects of intensity of photosynthesis on  $P_n/P_{PF}$

2.2.2 气温对光合速率的影响 光合速率从 7:30 起随着气温的上升而提高。中午前后光合速率受

高温和强光的抑制而呈下降趋势，下午光合速率随气温的下降而降低 (图 3)。小麦光合作用的温度曲线表明<sup>[4]</sup>，气温  $25^\circ\text{C}$  为最适温度， $30^\circ\text{C}$  时呼吸作用显著上升，净光合速率下降 15%~20%。因此，气温偏高可能是中午光合作用下降的部分原因。Salvucci 曾指出光合作用关键酶 Rubisco 的最适活化温度在  $25 \sim 30^\circ\text{C}$  之间，其活性高低直接影响光合速率的大小<sup>[5]</sup>。我们的分析表明，在  $28.2 \sim 32.2^\circ\text{C}$  的气温范

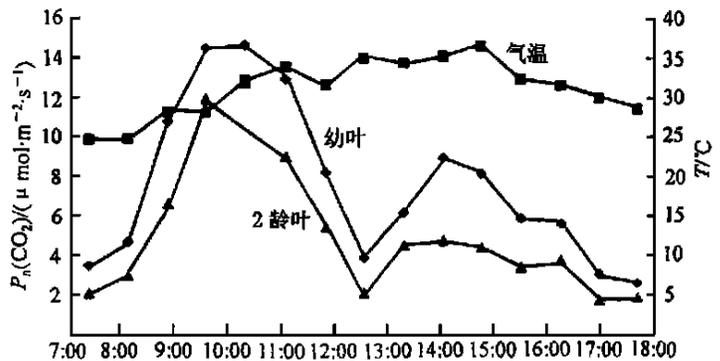


图 3 气温 ( $T$ ) 对当年生叶与 2 龄生叶光合速率 ( $P_n$ ) 日变化的影响

Figure 3 Effects of air temperature on  $P_n$  of bamboo leaves at different olds

围内, 雷竹叶片中所含的 Rubisco 活性较高 (另文发表), 因此光合速率较大。

2.2.3 湿度对光合速率的影响

湿度对光合速率的影响日变化与气温相反, 上午逐渐下降, 15: 00 后逐渐回升。10: 00 空气相对湿度 ( $H_R$ ) 为 37% 左右, 14: 00 时低于 25%, 此时饱和差达到一天中的最大值 (图 4)。湿度饱和差的增加会加速蒸腾作用, 降低叶片水势, 从而影响气孔的开度和光合速率<sup>[4,6]</sup>。在 10: 00~14: 00 前后, 虽然光量子通量密度维持在最大水平, 但雷竹叶片的净光合速率和气孔导度却大体平行地下降, 说明这时光照强度不是光合速率和气孔导度下降的主要原因。与此同时, 胞间二氧化碳浓度 ( $C_i$ ) 下降, 表明这时气孔导度的降低是光合速率下降的主要原因。这与 Farquhar 和 Sharkey (1982) 的观点是一致的。

将雷竹叶片离体后叶柄置于空气中, 结果表明, 随着水分状况的恶化, 光合速率迅速下降 (图 5)<sup>[7,8]</sup>。这表明, 在叶片水分不断减少的过程中, 气孔关闭, 气孔导度降低, 细胞间隙二氧化碳浓度升高, 叶肉细胞光合活性下降, 从而导致了光合速率的下降。由此可见, 当竹子受水分胁迫, 叶片水分含量较低时, 光合作用将受到严重抑制。

2.2.4 气孔阻力对光合速率的影响

气孔阻力的日变化曲线呈倒双峰型, 与叶片净光合速率日变化曲线相反。当光合速率处于高峰时, 气孔阻力处于低谷, 而当光合速率处于低谷时, 则气孔阻力处于高峰。13: 00 气孔阻力为 10: 00 的 175%, 严重影响了光合作用的气体交换, 从而影响了光合作用的进行。从气孔阻力和净光合速率的相关性分析表明, 两者之间存在着显著负相关 (图 6)。这与许大全等<sup>[4]</sup> 在小麦, San Jose (1983) 在木薯, 蒋德安等<sup>[9]</sup> 在水稻研究中得出的结果相似。

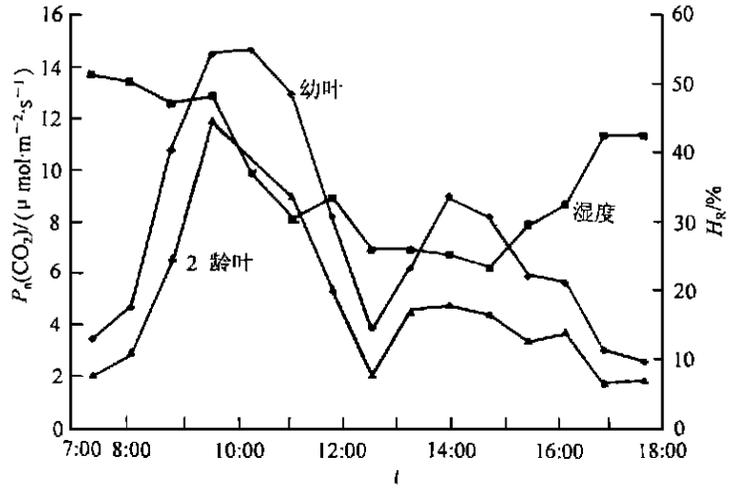


图 4 湿度 ( $H_R$ ) 对当年生叶与 2 龄生叶光合速率 ( $P_n$ ) 日变化的影响

Figure 4 Effects of relative humidity on  $P_n$  of bamboo leaves at different olds

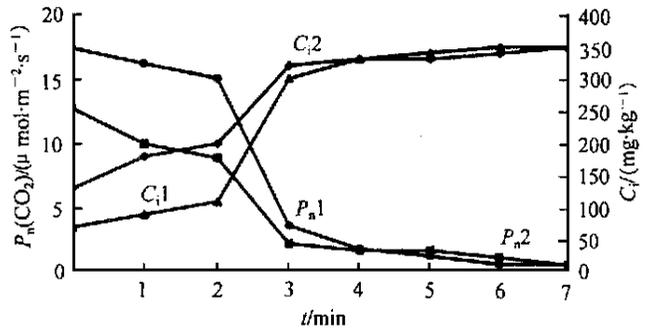


图 5 水分胁迫对光合速率 ( $P_n$ ) 的影响

Figure 5 Effects of water stress on  $P_n$

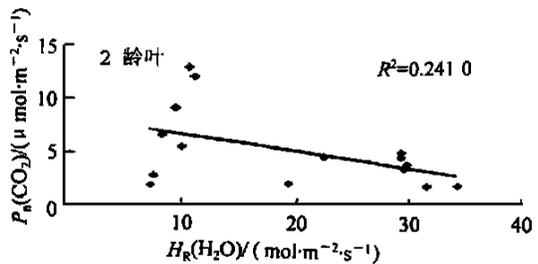
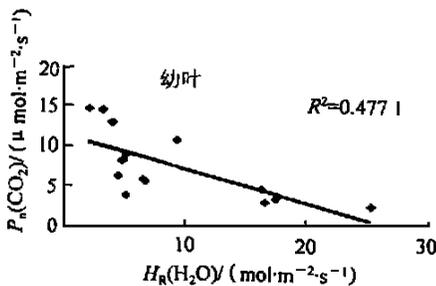


图 6 光合速率 ( $P_n$ ) 与气孔阻力 ( $R_s$ ) 的关系

Figure 6 Relationship between  $P_n$  and  $R_s$

### 2.3 净光合速率日变化与各影响因子相关分析

通过对雷竹净光合速率和各环境因子对光合速率日变化影响进行多元回归分析,建立2龄生叶回归方程:

$$y = 33.51 + 0.003x_1 - 0.185x_2 - 0.4128x_3 - 336.6221x_4 - 0.6655x_5 + 15.9692x_6。$$

其中:  $x_1$  为光强;  $x_2$  为相对湿度;  $x_3$  为气温;  $x_4$  为胞间  $\text{CO}_2$  浓度;  $x_5$  为气孔导度;  $x_6$  为气孔阻力。

$$r_1 = 0.5714^*, r_2 = -0.4165, r_3 = -0.4122, r_4 = -0.9615^{**}, r_5 = 0.4028, r_6 = 0.7976^{**}, r = 0.9999^{**}。$$

结果表明,胞间  $\text{CO}_2$  浓度对雷竹光合速率影响最大,相关系数达  $-0.9615$ ,其次是气孔阻力,相关系数达  $0.7976$ ,再次是光强。作为胞间  $\text{CO}_2$  浓度和气孔阻力是受气温和空气相对湿度等外界环境的影响。

## 3 讨论

在干热条件下,雷竹光合速率日变化呈双峰曲线,中午前后光合速率下降,出现“午睡”现象。光照强度、气温、湿度和气孔阻力等环境因子对光合作用有显著影响。各因子的日变化规律曲线大多为单峰曲线,在每天的正午出现一个峰值。因此,环境因子对雷竹叶片光合作用的日变化是呈非线性的。在 7:30~9:00 时间阶段,随着光照强度的增大,气温的升高,雷竹叶片光合速率明显提高;而 9:00~13:00 期间,光合速率与气孔阻力呈显著负相关。这充分说明“午睡”是中午大气饱和差引起的气孔阻力增加所致。13:00~18:00 期间,气孔阻力对光合速率的影响减少,但在 14:30 左右,即使有较高的胞间  $\text{CO}_2$  浓度,光合速率仍低。这和此时叶片光合机构本身运转出了毛病及强光下较长时间低的胞间  $\text{CO}_2$  浓度导致 PSII 活力降低等相关,进而加剧了“午睡”<sup>[9]</sup>。根据雷竹叶失水处理后的胞间  $\text{CO}_2$  浓度的日变化,推测其光合“午睡”也与此有关。当然,关于光合“午睡”的原因众说纷纭,这是一个复杂的生理现象,有待深入揭示。

致谢:本文承蒙浙江大学生命科学院蒋德安教授和浙江林学院资源与环境系管康林教授审阅。在此谨表感谢。

### 参考文献:

- [1] 许大全,李德耀,邱国雄,等.毛竹叶光合作用的气孔限制研究[J].植物生理学报,1987,13(2):154-160.
- [2] 金爱武,胡超宗,张卓文,等.雷竹竹鞭侧芽发育过程中核酸含量、过氧化物酶和淀粉酶同工酶的变化[J].竹子研究汇刊,1996,15(1):14-20.
- [3] 胡超宗,金爱武,张卓文.雷竹竹鞭侧芽分化过程中内源激素的变化[J].浙江林学院学报,1996,13(1):1-4.
- [4] 许大全,李德耀,沈允钢,等.田间小麦叶片光合作用“午睡”现象研究[J].植物生理学报,1984,103:269-276.
- [5] Salvucci M E, Porits A R, Ogren W L. Light and  $\text{CO}_2$  response of ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase/ oxygenase activation in arabisopsis leaves [J]. *Plant Physiol*, 1986, 80: 655-659.
- [6] 许大全.光合作用“午睡”现象的生态生理与生化[J].植物生理学通讯,1996,22(6):5-10.
- [7] 王焘,邹琦,郑国生.逆境胁迫过程中作物光合作用下降的气孔与非气孔行为的理论分析[J].植物生理学通讯,1995,12(2):54-58.
- [8] 卢从明,张其德,匡廷云.水分胁迫对光合作用影响的研究进展[J].植物通讯学报,1994,11(增刊):9-14.
- [9] 蒋德安,翁晓燕,陆庆.钾营养对水稻光合速率、Hill 反应及 SOD 活力日变化的影响[J].植物生理学报,1996,22(1):87-93.

## Diurnal change of photosynthetic speed and its influential factors on Lei bamboo

JIN Ai-wu<sup>1</sup>, ZHENG Bing-song<sup>1</sup>, TAO Jin-xing<sup>2</sup>, FANG Dao-you<sup>3</sup>

(1. Bamboo Research Institute, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. Forest Enterprise of Tonglu County, Tonglu 311500, Zhejiang, China; 3. Forest Enterprise of Chun'an County, Chun'an 311703, Zhejiang, China)

**Abstract:** Lei bamboo (*Phyllostachys praecox* f. *preveynalis*) is an elite species of bamboo shoot in Zhejiang. The results of field study indicate that photosynthetic speed of Lei bamboo reaches peaks at 10:00 and 14:00 respectively in dry-heat conditions, and lows at noon. The reason of "sleeping" at noon is stomatal resistance increasing by atmospheric saturation deficit. There is a great effect between photosynthetic speed and light intensity, air temperature, relative humidity and stomatal resistance. The optimum temperature for photosynthesis of Lei bamboo is from 28.2 °C to 32.2 °C, and the optimum light intensity is from 860  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  to 1 020  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ .

**Key words:** Lei bamboo (*Phyllostachys praecox* f. *preveynalis*); photosynthesis; CO<sub>2</sub> concentration in cell space; air temperature; light intensity

### 欢迎订阅《南京林业大学学报》

《南京林业大学学报》1958年创刊。主要刊登林学、森保、园林、木材加工、人造板、林产化工、制浆造纸、林业机械、森林工程和土木工程等专业学术论文、科研报告及有关学科进展的综述和专题讨论。附有英文目录和英文摘要。重要文章收录于国内外林业、森工等文摘刊物。1992年起入选“中国自然科学核心期刊表”，1996年加入《中国学术期刊（光盘版）》，并于1997年起发行光盘版，近年来连续获省、部级优秀学报奖及第二届全国优秀科技期刊三等奖。1999年再次荣获江苏省优秀自然科学学报一等奖。

本刊拟每期安排版面，设置专栏，集中报道重点项目、基金项目及重大课题的研究成果。欢迎国内外学者赐稿，并欢迎预约专栏。

本刊大16开本，彩色封面，并自1999年起改为双月刊，逢单月出版。定价：每期6.00元。

国内外公开发行，全国各地邮局收订，也可向本刊编辑部订阅。国外总发行：中国教育图书进出口公司。

刊号：CN 32-1161/S 邮发代号：28-16

地址：南京市龙蟠路南京林业大学学报编辑部

邮编：210037 电话：(025) 5428247

传真：(025) 5434121 E-mail: XueBao@njfu.edu.cn