

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2016.11.008

# 三峡库区柏木林下半夏的光合特性研究<sup>①</sup>

冯大兰, 黄小辉, 耿养会

重庆市林业科学研究院/三峡库区森林生态保护与恢复重庆市市级重点实验室, 重庆 400036

**摘要:** 以野外环境条件下的半夏为对照, 研究三峡库区柏木林下半夏的光合特性. 结果表明: 柏木林下和野外 2 种环境条件下的半夏净光合速率日变化均呈不明显的“双峰”曲线, 林下半夏各时段的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率总体均低于野外半夏, 但林下半夏的光能利用效率和水分利用效率显著大于野外半夏, 拟合 2 种环境条件下半夏的  $P_n$ -PAR 和  $P_n$ -CO<sub>2</sub> 响应曲线得出: 在相同光照条件下林下半夏净光合速率显著高于野外半夏, 林下半夏的最大净光合速率、表观量子效率和暗呼吸速率均明显高于野外半夏, 林下半夏的光补偿点和光饱和点均明显低于野外半夏; 在相同 CO<sub>2</sub> 浓度条件下林下半夏净光合速率显著高于野外半夏, 林下半夏 CO<sub>2</sub> 饱和时的最大净光合速率、CO<sub>2</sub> 羧化效率、光呼吸速率及 CO<sub>2</sub> 饱和点均明显高于野外半夏, 而林下半夏的 CO<sub>2</sub> 补偿点明显低于野外半夏. 柏木林冠层可以阻挡夏季强光对林下半夏的照射, 同时减少了林下的光合有效辐射, 但林下半夏能够通过调节自身生理代谢来提高自身光能利用效率、水分利用效率和 CO<sub>2</sub> 利用效率, 进而保证其光合作用的正常进行.

**关键词:** 三峡库区; 柏木林; 半夏; 光合特性

**中图分类号:** Q949.71+7.2

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9868(2016)11-0050-07

随着三峡工程的实施, 三峡水库 175 米蓄水以后, 被淹没耕地面积达 2.4 万 hm<sup>2</sup>, 加上库区沿江一带“绿化工程”和“退耕还林工程”的大面积造林, 导致库区耕地严重不足, 人地矛盾突出, 对库区人民生计产生了很大的影响<sup>[1]</sup>. 近年来, 以林地资源和森林生态环境为依托, 发展起来的林下种植业、养殖业、采集业和森林旅游业等林下经济受到了大家的广泛关注. 三峡库区林地面积广阔, 森林覆盖率达 46%<sup>[2]</sup>, 其中柏木 *Cupressus funebris* 林耐干旱贫瘠, 涵养水源能力强, 广泛分布于三峡库区海拔 300~1 000 m 的低山、丘陵地区, 在库区森林中占很大的比例<sup>[3-5]</sup>, 因此选择柏木林发展林下种植不仅可以提高林地产出, 增加农民收入, 还可改善库区生态建设水平. 半夏 *Pinellia ternate* 为天南星科半夏属多年生草本植物, 是中国传统常用药材, 药用价值高, 而且属喜荫植物, 非常适合林下种植<sup>[6]</sup>. 光合作用是植物生长发育的基础, 亦是作物产量和品质构成的决定性因素, 了解作物的光合特性, 对提高产量和制订合理栽培技术措施具有十分重要的意义<sup>[7-9]</sup>. 本研究以野外环境条件下的半夏为对照, 研究柏木林下半夏的光合特性, 以期为三峡库区林下半夏栽培提供理论依据和技术支撑.

## 1 材料与方法

### 1.1 试验方法

试验地点位于三峡库区重庆忠县石宝寨的汝溪河回水区龙滩大桥附近(E 107.89—108.24°, N 30.37—

① 收稿日期: 2015-07-30

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项(国家林业局); 三峡库区流域生态修复关键技术与示范研究(201004039).

作者简介: 冯大兰(1976-), 女, 重庆大足人, 高级工程师, 主要从事生态学和土壤肥料研究.

通信作者: 耿养会, 正高级工程师.

30.76°), 海拔 200~300 m, 坡度小于 5°, 属于亚热带湿润季风气候, 年均气温 18 °C 左右, 年均降水量为 1 100 mm 左右. 样地林分为柏木纯林, 树龄为 10 年, 郁闭度 0.5. 土壤为偏酸性的紫色土, 土层厚度 30~40 cm. 供试材料为取自重庆武隆基地的半夏块茎. 于 2013 年 4 月初分别在柏木林下和野外空地(作为对照)整地, 各 5 个 2 m×2 m 样地. 然后采用点播法埋种半夏块茎, 每穴 1 粒, 行距 12 cm, 株距 6 cm, 深度 3~4.5 cm. 期间进行常规水分和除草管理, 至 8 月初对 2 个处理的半夏进行光合作用测定.

## 1.2 光合特性的测定

采用 Li-6400 便携式光合作用测量系统(LI-COR, USA), 在晴朗无风的天气测定自然条件下各类植物叶片的光合参数日变化. 林下和野外半夏各选取 5 株, 每株选取相同部分、生长健壮、无病斑的成熟叶进行测量. 从 6:00 至 18:00 每 2 h 测定 1 次, 每次测定记录 6 组数值. 测定参数主要包括净光合速率( $P_n$ )、蒸腾速率( $Tr$ )、气孔导度( $G_s$ )、胞间  $CO_2$  浓度( $C_i$ )及环境因子, 包括光合有效辐射( $PAR$ )、大气  $CO_2$  浓度、大气温度( $T_a$ )、空气相对湿度( $RH$ ), 试验期间的环境因子日变化见图 1. 光能利用效率( $LUE$ )为叶片吸收的每摩尔光合有效辐射中碳的固定量, 即净光合速率与光合有效辐射( $PAR$ )的比值. 水分利用效率( $WUE$ )为植物叶片每蒸腾一定量的水分所同化的  $CO_2$  量, 即净光合速率与蒸腾效率的比值.

光响应曲线的测定时间为上午 9:00—11:00, 采用 Li-6400 光合作用测量系统 LED 红蓝光源设置 12 个光合有效辐射( $PAR$ )梯度, 分别为 1 500, 1 200, 1 000, 800, 600, 400, 200, 150, 100, 50, 20 和 0  $\mu mol/(m^2 \cdot s)$ , 先从 1 000  $\mu mol/(m^2 \cdot s)$  逐渐增加  $PAR$  进行诱导, 再按设定的  $PAR$  范围从高往低依次进行测定, 重复 3 次. 参比室  $CO_2$  浓度设定为 400  $\mu mol/mol$ , 叶室温度为 30 °C. 在 0~1 500  $\mu mol/(m^2 \cdot s)$  光强范围内制作  $P_n$ - $PAR$  光响应曲线. 光响应曲线采用 Farquhar 等<sup>[10]</sup>提出的非直角双曲线模型进行拟合, 公式为

$$P_n = \frac{\Phi I + P_{max} - \sqrt{(\Phi I + P_{max})^2 - 4\Phi\theta I P_{max}}}{2\theta} - R_d$$

式中,  $P_n$  为净光合速率,  $\Phi$  为表观量子效率,  $I$  为人射到叶片上的光和有效辐射量,  $P_{max}$  为最大净光合速率,  $R_d$  为暗呼吸速率,  $\theta$  为光响应曲线曲角. 根据上式可求出光响应曲线的最大净光合值( $P_{n,max}$ )、表观量子效率( $AQY$ )、光饱和点( $LSP$ )、光补偿点( $LCP$ )、暗呼吸速率( $R_d$ ).

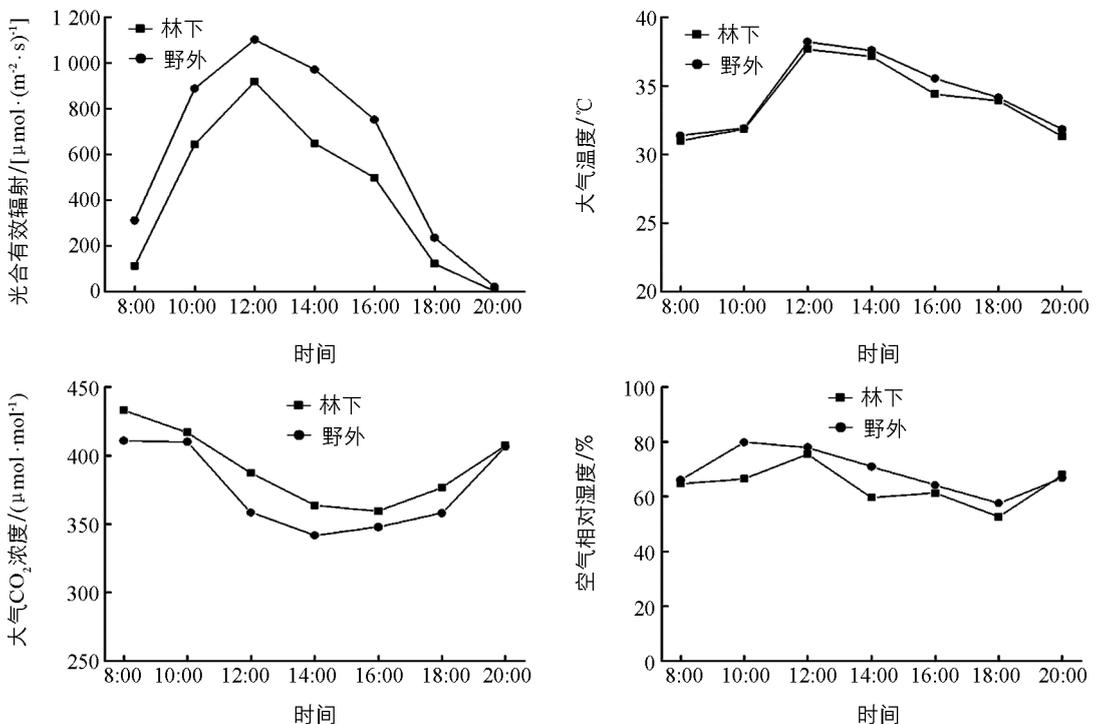


图 1 环境因子的日变化

CO<sub>2</sub> 响应曲线的测定采用 Li-6400-01 液化 CO<sub>2</sub> 钢瓶提供不同的 CO<sub>2</sub> 浓度, 设定 PAR 为 1 000 μmol/(m<sup>2</sup> · s) 作为测定光强, 叶室温度 30 °C. CO<sub>2</sub> 浓度设置为 12 个水平, 分别为: 50, 80, 100, 120, 150, 200, 400, 600, 800, 1 000, 1 200, 1 500 μmol/mol, 先从 400 μmol/(m<sup>2</sup> · s) 逐渐降低进行诱导, 再按设定的 CO<sub>2</sub> 浓度范围从低到高依次进行测定, 重复 3 次. 测得的 CO<sub>2</sub> 响应曲线拟合同光响应曲线一样, 可求出 CO<sub>2</sub> 饱和时的最大净光合速率  $P_{n\max}$ 、CO<sub>2</sub> 羧化效率 (CCE)、CO<sub>2</sub> 补偿点 (CCP)、CO<sub>2</sub> 饱和点 (CSP) 和光呼吸速率 ( $R_p$ ).

### 1.3 数据统计

试验数据用 Microsoft Excel 2000 软件进行统计, OriginPro 7.5 进行作图, 应用统计分析软件 SPSS 17.0 进行方差分析及对光响应曲线的拟合.

## 2 结果与分析

### 2.1 不同环境条件下半夏光合日变化特征

如图 2a 所示, 随着时间的延长, 2 种环境条件下的半夏净光合速率 ( $P_n$ ) 日变化均呈不明显的“双峰”曲线, 两者在 10:00 出现第一个峰值, 过后逐渐下降, 但不显著 ( $p < 0.05$ ), 至 12:00 出现轻微的“午休”现象. 然后两者均在 14:00 出现第二个峰值, 而通过显著性分析得出, 此时野外半夏峰值仍不明显, 林下半夏却出现了明显的峰值. 各时间段 2 种环境条件下的半夏  $P_n$  值也存在较为明显的差异, 其中野外半夏总体均显著高于林下半夏 ( $p < 0.05$ ), 但在 14:00 时段, 林下半夏却显著高于野外半夏 ( $p < 0.05$ ). 图 2b 和 2c 分别显示的是半夏气孔导度 ( $G_s$ ) 和蒸腾速率 ( $T_r$ ) 的日变化. 林下半夏的  $G_s$  和  $T_r$  值日变化均呈明显的“双峰”曲线, 2 个参数变化趋势一致, 均在 10:00 和 14:00 出现峰值. 而野外半夏的  $G_s$  和  $T_r$  值日变化均呈不明显的“双峰”曲线, 2 个参数在 10:00 出现了明显的峰值, 但午时过后出现的峰值均不突出, 尤其是  $G_s$ , 午时过后就表现出逐渐下降的趋势, 说明其受到了午时较强的光照条件的影响, 而过后也仍未缓过来. 在各时间段, 野外半夏的  $G_s$  和  $T_r$  值总体均显著高于林下半夏, 这与外界较强的光强和温度有关. 如图 2d 所示, 随着时间的延长, 2 种半夏的叶片胞间 CO<sub>2</sub> 浓度 ( $C_i$ ) 日变化均呈明显的“单谷”曲线, 而总体上林下半夏  $C_i$  值均显著高于野外半夏 ( $p < 0.05$ ).

### 2.2 不同环境条件下半夏光能利用效率和水分利用效率日变化

如图 3 所示, 2 种环境条件下半夏的光能利用效率日变化均呈明显的“双峰”曲线, 在 10:00 和 14:00 出现峰值, 午时有明显的下降. 在各时间段, 林下半夏的光能利用效率均显著高于野外半夏 ( $p < 0.05$ ). 林下半夏的水分利用效率日变化呈明显“单峰”曲线, 在 12:00 出现峰值; 而野外半夏的水分利用效率日变化也呈“单峰”曲线, 在 14:00 出现峰值. 总体看来, 林下半夏的水分利用效率要高于野外夏, 尤其在午时, 高出 3 倍之多, 且差异显著 ( $p < 0.05$ ).

### 2.3 不同环境条件下半夏 Pn-PAR 响应特征

光响应曲线反映了植物光合速率随光照强度改变而变化的规律. 本研究采用非直角双曲线即 Farquhar 模型进行光响应曲线拟合 (图 4), 得出 2 种条件下的半夏 Pn-PAR 曲线拟合效果非常好, 拟合决定系数均达到 0.99 以上 (表 1). 当 PAR 小于 400 μmol/(m<sup>2</sup> · s) 时, 2 种半夏的  $P_n$  值均随着光强的增加呈直线上升, 而 PAR 达到 400 μmol/(m<sup>2</sup> · s) 后, 其净光合速率上升缓慢, 逐渐趋于平稳状态, 并且 PAR 达到 1 200 μmol/(m<sup>2</sup> · s) 时, 2 种条件下的半夏  $P_n$  值均有略微下降, 说明其受到了光抑制作用. 林下和野外的半夏在相同光照条件下净光合速率也表现出了明显的差异, 林下半夏在各光强下均显著高于野外半夏 ( $p < 0.05$ ). 通过 Farquhar 模型的拟合, 得到 2 种条件下半夏的最大净光合速率、表观量子效率、暗呼吸速率、光补偿点、光饱和点等相关光合作用参数 (表 1). 本研究结果表明: 林下半夏的最大净光合速率、表观量子效率和暗呼吸速率均明显高于野外半夏, 林下半夏的光补偿点和光饱和点均明显低于野外半夏.

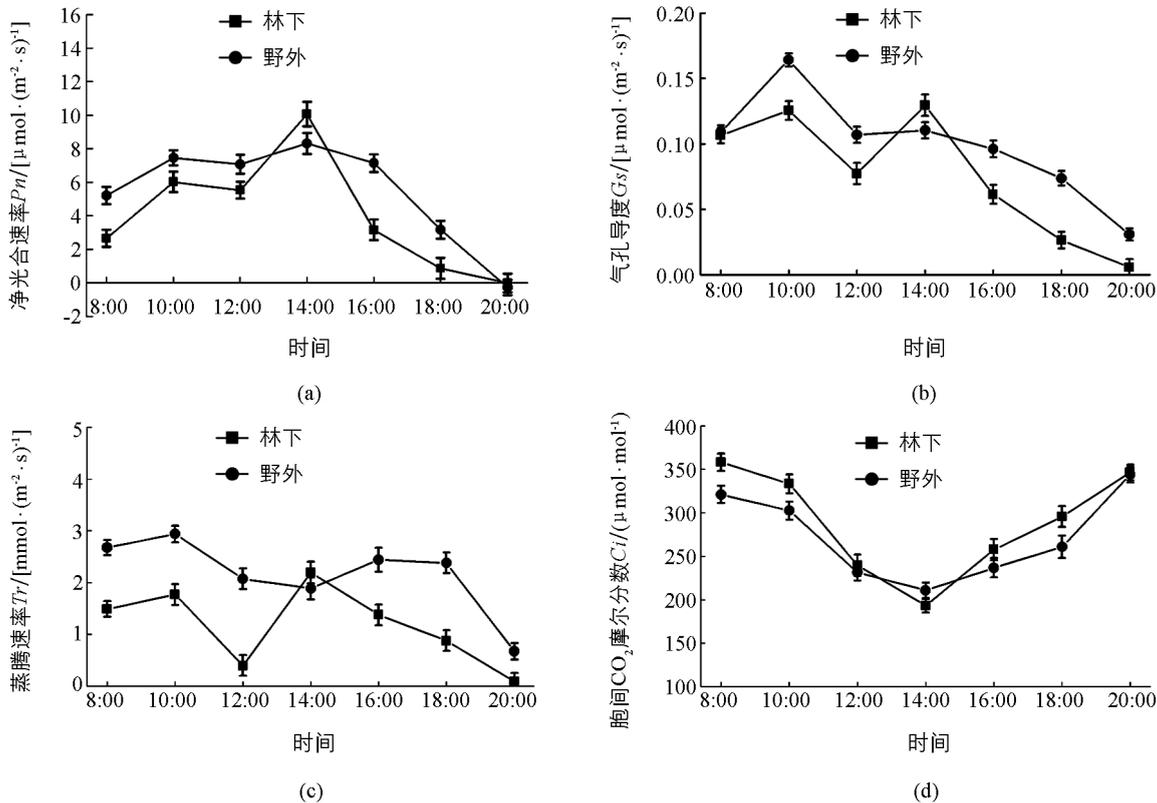


图 2 不同环境条件下半夏光合参数日变化特征

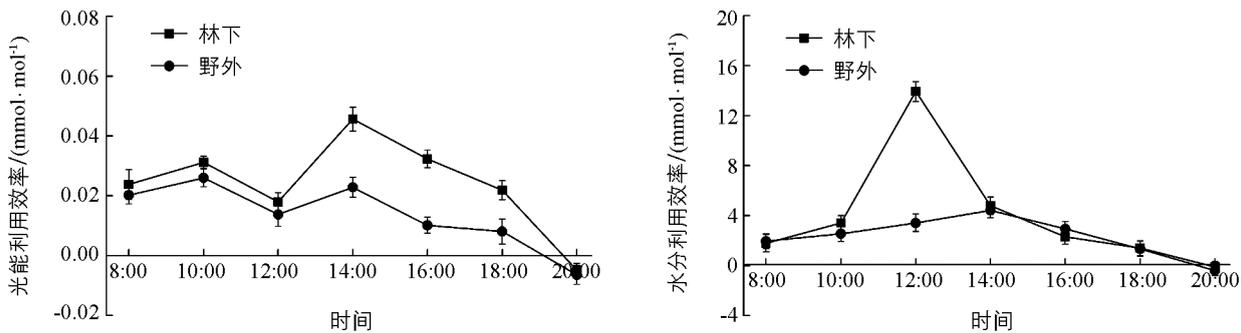


图 3 不同环境条件下半夏光能利用效率和水分利用效率日变化

表 1 不同环境条件下半夏 Pn- $\text{PAR}$  响应相关参数

环境条件	最大净光合速率/ [ $\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$ ]	表观量子效率/ ( $\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ )	暗呼吸速率/ [ $\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$ ]	光补偿点/ [ $\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$ ]	光饱和点/ [ $\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$ ]	拟合决定系数 $R^2$
林下	12.57	0.058	0.49	2.3	911.4	0.997
野外	12.06	0.045	0.11	6.6	1 078.9	0.999

## 2.4 不同环境条件下半夏 Pn- $\text{CO}_2$ 响应特征

如图 5 所示,随着  $\text{CO}_2$  浓度增加,林下和野外半夏的净光合速率均表现出增加的趋势,先快速直线上升,然后缓慢升高,最后趋于稳定,即达到饱和. 2 种环境条件下的半夏在相同  $\text{CO}_2$  浓度条件下净光合速率也表现出了明显的差异,林下半夏在各  $\text{CO}_2$  浓度下均显著高于野外半夏 ( $p < 0.05$ ). 通过曲线模拟和计算得出了林下和野外半夏对  $\text{CO}_2$  的响应特征参数(表 2). 林下半夏  $\text{CO}_2$  饱和时的最大净光合速率、 $\text{CO}_2$  羧化效率、光呼吸速率及  $\text{CO}_2$  饱和点均明显高于野外半夏,而林下半夏的  $\text{CO}_2$  补偿点明显低于野外半夏,两者差异达到 1 倍以上,总体上表现出较强的  $\text{CO}_2$  利用效率.

表 2 不同环境条件下半夏 Pn-CO<sub>2</sub> 响应相关参数

环境条件	CO <sub>2</sub> 饱和最大净光合速率/ [ $\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$ ]	CO <sub>2</sub> 羧化效率/ [ $\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$ ]	光呼吸速率/ [ $\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$ ]	CO <sub>2</sub> 补偿点 CCP/ ( $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ )	CO <sub>2</sub> 饱和点 CSP/ ( $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ )	拟合决定系数
林下	16.89	0.326	12.88	20.14	448.47	0.995
野外	13.65	0.193	16.63	58.56	412.02	0.996

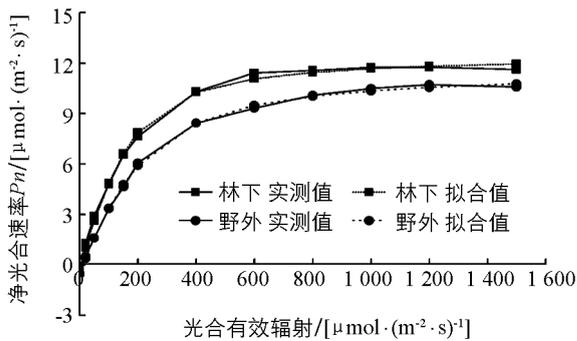
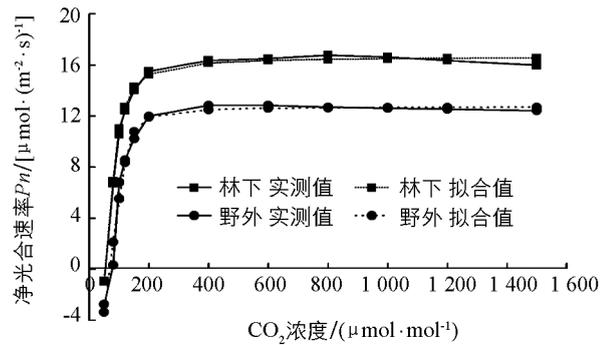


图 4 不同环境条件下半夏 Pn-PAR 响应曲线的拟合

图 5 不同环境条件下半夏 Pn-CO<sub>2</sub> 响应曲线的拟合

### 3 结论与讨论

光合作用是植物生长发育的基础,为植物的生长提供所需的物质和能量,而光合日变化可以直接反映出植物光合日生产能力<sup>[11-14]</sup>。柏木林下和野外 2 种环境条件下的半夏净光合速率日变化均呈不明显的“双峰”曲线,在 12:00 出现轻微的“午休”现象,然后两者均在 14:00 出现峰值,通过显著性分析得出,此时野外半夏峰值不显著,林下半夏却出现了显著的峰值,为一天中最大值。一般认为,引起光合午休的原因主要有气孔限制因素和非气孔限制因素<sup>[15]</sup>,前者是因气孔导度下降阻止了 CO<sub>2</sub> 的供应;后者是因叶肉细胞光合能力下降使 CO<sub>2</sub> 的同化能力减弱,从而使胞间 CO<sub>2</sub> 浓度升高。柏木林下及野外半夏的叶片气孔导度和蒸腾速率在午时均明显下降,而此时胞间 CO<sub>2</sub> 浓度也显著降低,说明午时气孔关闭导致了 CO<sub>2</sub> 的供应减少,光合作用减弱,从而出现“午休”现象,表现为非气孔限制因素。林下半夏的 G<sub>s</sub> 值在午休过后又明显回升,出现峰值;而野外半夏的 G<sub>s</sub> 值表现出逐渐下降的趋势,说明其受到了午时较强光照条件的影响,而过后也仍未缓过来。有研究表明,半夏不耐干旱及强光照射,在芒种夏至期间,由于高温和强光照,使半夏的呼吸作用过强,消耗物质超过光合积累,易导致细胞原生质结构破坏而枯萎<sup>[16]</sup>。而在本研究中,林下半夏的 P<sub>n</sub>, G<sub>s</sub> 和 T<sub>r</sub> 值总体均低于野外半夏,这是因为林下环境降低了光合有效辐射,但林下半夏提高了自身光能利用效率和水分利用效率,进而保证光合作用正常进行和半夏正常生长。

光饱和点与光补偿点分别代表光照强度与光合作用关系的上限和下限临界指标,能够反映植物叶片对弱光和强光的利用能力,一般情况下光饱和点和光补偿点均较低的植物属于耐荫植物,反之属于阳性植物。光补偿点较低、光饱和点较高的植物对光环境的适应性较强;而光补偿点较高、光饱和点较低的植物对光照的适应性较弱<sup>[17]</sup>。林下半夏的光补偿点和光饱和点均明显低于野外半夏,野外半夏光饱和点与光补偿点之间有较宽的光能利用区间,但林下半夏光补偿点更低,有利于叶片利用较弱的光线进行光合作用,能够提高整株植物的光合能力。另外,林下半夏的最大净光合速率、表观量子效率和暗呼吸速率均明显高于野外半夏,而表观量子效率反映了植物光合作用的光能利用效率,尤其是对弱光的利用能力<sup>[18]</sup>,暗呼吸速率则与叶片的生理活性有关<sup>[19]</sup>,这同样说明林下半夏对弱光的利用能力强,具有较高的光能转化效率和较强的生理活性,同时也说明林下遮荫条件改善了半夏的光合作用。半夏为喜荫植物,自然光照条件下很容易导致 PSII 反应中心的失活而出现光合作用的“光抑制”,不利于半夏生长。本研究发现,当 PAR 超过 1 200  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  后,2 种条件下的半夏均会受到光抑制作用,所以林下条件还可以阻挡夏季强光对半夏的照射,减少光抑制现象发生,防止半夏光叶片光合机构受到损害。

Medrano 等<sup>[20]</sup>认为,CO<sub>2</sub> 补偿点低的作物常具有净光合速率高和产量高的特点,而低 CO<sub>2</sub> 补偿点也

常被用作选育高产品种的指标. 本研究也得出, 林下半夏的  $\text{CO}_2$  补偿点明显低于野外半夏, 并且林下半夏表现出了更高的净光合速率和  $\text{CO}_2$  羧化效率. 一般认为,  $\text{CO}_2$  响应曲线中初始斜率, 即  $\text{CO}_2$  羧化效率与 RuBPCase(核酮糖 1, 5-二磷酸羧化酶)的活性呈正相关, 斜率越大说明该酶的数量更多或活性更强, 进而促进植物的光合作用<sup>[21-24]</sup>. 2 种环境条件下的半夏在相同  $\text{CO}_2$  浓度条件下净光合速率表现出了明显的差异, 其中林下半夏在各  $\text{CO}_2$  浓度下均显著高于野外半夏, 这进一步说明了柏木林下的环境条件提高了半夏的  $\text{CO}_2$  利用效率.

柏木林冠层可以阻挡夏季强光对林下半夏的照射, 减少光抑制现象发生, 防止半夏光合机构受到损害, 而这在一定程度上也降低了林下的光合有效辐射, 影响半夏的光合速率. 但柏木林下的半夏能够通过调节自身生理代谢来提高自身光能利用效率、水分利用效率和  $\text{CO}_2$  利用效率, 进而保证其光合作用的正常进行. 因此, 在三峡库区柏木林下种植半夏, 春季播种时可以通过梳理林冠层减小郁闭度, 提高林下光照; 至夏季, 柏木林冠的生长使郁闭度增加, 进而减少林下强光直射, 保证半夏的正常生长.

### 参考文献:

- [1] 王学雷, 蔡述明, 任宪友, 等. 三峡库区湿地生态建设与保护利用 [J]. 长江流域资源与环境, 2004, 13(2): 149-152.
- [2] 王鹏程, 姚 婧, 肖文发, 等. 三峡库区森林植被分布的地形分异特征 [J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(6): 528-534.
- [3] 张志永, 张卓文, 陈玉生, 等. 5 种主要森林类型涵养水源能力比较研究 [J]. 福建林学院学报, 2005, 25(2): 171-175.
- [4] 陈玉生, 张卓文, 韩 兰, 等. 连峡河小流域不同森林类型凋落物持水特性研究 [J]. 华中农业大学学报(自然科学版), 2005, 24(2): 207-212.
- [5] 程瑞梅, 肖文发, 李新新, 等. 三峡库区柏木林研究 [J]. 林业科学研究, 2004, 17(3): 382-386.
- [6] 龚成文. 半夏综合栽培技术研究 [J]. 中国中药杂志, 2005, 30(16): 1240-1242.
- [7] 张仁和, 薛吉全, 浦 军, 等. 干旱胁迫对玉米苗期植株生长和光合特性的影响 [J]. 作物学报, 2011, 37(3): 521-528.
- [8] 李菊艳, 赵成义, 孙栋元. 水分对胡杨幼苗光合及生长特性的影响 [J]. 西北植物学报, 2009, 29(7): 1445-1451.
- [9] 李昌晓, 钟章成. 模拟三峡库区消落带土壤水分变化条件下落羽杉与池杉幼苗的光合特性比较 [J]. 林业科学, 2005, 41(6): 28-34.
- [10] FARQUHAR G D, CAEMMERER S V, BERRY J A. A Biochemical Model of Photosynthetic  $\text{CO}_2$  Assimilation in Leaves of C3 Species [J]. *Planta*, 1980, 149(1): 78-90.
- [11] 朱文旭, 张会慧, 许 楠. 玉间作对桑树和谷子生长和光合日变化的影响 [J]. 应用生态学报, 2012, 23(7): 1817-1824.
- [12] 陈健妙, 擲青松, 刘兆普. 麻疯树(*Jatropha curcas* L.) 幼苗生长和光合作用对盐胁迫的响应 [J]. 生态学报, 2009, 29(3): 1356-1365.
- [13] 张 弥, 吴家兵, 关德新. 长白山阔叶红松林主要树种光合作用的光响应曲线 [J]. 应用生态学报, 2006, 17(9): 1575-1578.
- [14] 黄小辉, 刘 芸, 李佳杏, 等. 模拟三峡库区消落带土壤干旱对桑树生理特性的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2013, 35(9): 127-132.
- [15] 许大全. 光合作用气孔限制分析中的一些问题 [J]. 植物生理学通讯, 1997, 33(4): 241-244.
- [16] 薛建平, 王 兴, 张爱民, 等. 遮荫对半夏光合特性的影响 [J]. 中国中药杂志, 2008, 33(24): 2896-2900.
- [17] 杨兴洪, 邹 琦, 赵世杰. 遮荫和全光生长的棉花光合作用和叶绿素荧光特征 [J]. 植物生态学报, 2005, 29(1): 8-15.
- [18] 蹇洪英, 邹寿青. 地毯草的光合特性研究 [J]. 广西植物, 2003, 23(2): 181-184.
- [19] 冯玉龙, 曹坤芳, 冯志立. 四种热带雨林树种幼苗比叶重、光合特性和暗呼吸对生长光环境的适应 [J]. 生态学报, 2002, 22(6): 901-910.
- [20] MEDRANO H, KEYS A J, LAWLOR D W, et al. Improving Plant Production by Selection for Survival at Low  $\text{CO}_2$  Concentrations [J]. *J Exp Bot*, 1995, 46(Special issue): 1389-1396.
- [21] 钟 楚, 王 毅, 简少芬, 等. 云南玉溪烟区两烟草品种叶片光合作用对光和  $\text{CO}_2$  的响应 [J]. 中国农业气象, 2010,

31(3): 436-441.

- [22] 孙谷畴, 赵平, 曾小平, 等. 大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高对香蕉光合作用及光合碳循环过程中叶氮分配的影响 [J]. 应用生态学报, 2001, 12(3): 429-434.
- [23] 董志新, 韩清芳, 贾志宽, 等. 不同苜蓿 (*Medicago sativa* L.) 品种光合速率对光和 CO<sub>2</sub> 浓度的响应特征 [J]. 生态学报, 2007, 27(6): 2272-2278.
- [24] 刘锦春, 钟章成, 何跃军, 等. 重庆石灰岩地区十大功劳 (*Mahonia fortunei*) 的光合响应研究 [J]. 西南师范大学学报 (自然科学版), 2005, 30(2): 316-320.

## Researches on Photosynthetic Characteristics of *Pinellia ternata* Forest under the *Cupressus funebris* Forest in the Three Gorges Reservoir Area

FENG Dan-lan, HUANG Xiao-hui, GENG Yang-hui

Chongqing Key Laboratory of the Three Gorges Area Forest Ecology Protection and Restoration/  
Chongqing Academy of Forestry, Chongqing 40003, China

**Abstract:** Taking the *Pinellia ternate* in the field as control, we studied the photosynthetic characteristics of *Pinellia ternate* under the *Cupressus funebris* forest. The results showed the following. 1) The daily variation of net photosynthetic rate of *Pinellia ternate* that in the field and under *Cupressus funebris* forest both presented an atypical double-peak curve. 2) The net photosynthetic rate (Pn), stomatal conductance (Gs) and transpiration rate (Tr) of *Pinellia ternate* under the *Cupressus funebris* forest in each period were all lower on the whole than that of *Pinellia ternate* in the field, however, the light use efficiency and water use efficiency of *Pinellia ternate* under the *Cupressus funebris* forest were higher significantly. 3) Under the same light condition, the net photosynthetic rate of *Pinellia ternate* under the *Cupressus funebris* forest was significantly higher than that in the field. The maximum net photosynthetic rate, apparent quantum yield and dark respiration rate of the former were all higher, while its light compensation point and light saturation point were both lower obviously. 4) Under the same CO<sub>2</sub> concentration condition, the net photosynthetic rate of *Pinellia ternate* under the *Cupressus funebris* forest was significantly higher than that in the field. The maximum net photosynthetic rate when CO<sub>2</sub> concentration saturated, CO<sub>2</sub> carboxylation efficiency, light respiration rate and CO<sub>2</sub> saturation point of *Pinellia ternate* under the *Cupressus funebris* forest were all significantly higher than that in the field, but the CO<sub>2</sub> compensation point was lower obviously. Accordingly, the canopy layer of *Cupressus funebris* could block the irradiation of strong light in summer to *Pinellia ternate*, and meanwhile, it reduced the photosynthetically active radiation in the forest, however, the *Pinellia ternate* under the *Cupressus funebris* forest could improve its light use efficiency, water use efficiency and CO<sub>2</sub> use efficiency by means of adjusting its physiological metabolism, and then ensured its normal photosynthesis.

**Key words:** the Three Gorges Reservoir Area; *Cupressus funebris* forest; *Pinellia ternate*; photosynthetic characteristics

