

# 不同干扰背景下栲树 (*Castanopsis fargesii*) 幼苗 幼树的生理生态特性比较 ——以浙江天童常绿阔叶林为例

丁圣彦, 卢训令

(河南大学环境与规划学院, 开封 475001)

**摘要:** 浙江天童国家森林公园的常绿阔叶林在我国东南沿海地区具有代表性, 在研究区内设置不同干扰方式下的 5 块样地, 借助 LF-6400 型便携式光合测定系统对研究区内不同干扰背景下 5 块样地常绿阔叶林主要优势种之一的栲树幼苗、幼树的生理生态特性进行了测定。比较了不同干扰背景下栲树幼苗、幼树的净光合作用速率、蒸腾作用速率、水分利用效率、表观量子效率等生理生态指标。结果表明, 去除乔木层的样地 1、2、3 中栲树幼苗、幼树的净光合速率与蒸腾速率要高于仅保留乔木层的样地 4 和对照样地 5, 水分利用效率和表观量子效率则低于样地 5 和样地 4。应用统计分析软件对净光合作用速率与诸生理生态影响因子的相关性进行分析, 同时使用逐步回归的方法建立光合速率和诸影响因子之间的回归方程模型。栲树幼苗:  $P_n = -2.399 + 0.205T_a + 43.209G_s$ , 栲树幼树:  $P_n = -2.265 + 0.006PAR - 3.915V_{pd1} + 0.364T_a + 38.121G_s$ , 在  $\alpha = 0.05$  水平上, 两个方程均有显著性意义, 有良好的预测性。

**关键词:** 干扰; 栲树; 幼苗幼树; 生理生态特性; 常绿阔叶林; 天童国家森林公园

**文章编号:** 1000-0933 (2007) 09-3892-09 **中图分类号:** Q945; Q948; S718.5 **文献标识码:** A

## Comparing ecophysiological characteristics of *Castanopsis fargesii* seedlings and saplings under different disturbance regimes: A case study of the Tiantong evergreen broad-leaved forest, Zhejiang Province of China

DING Sheng-Yan, LU Xun-Ling

College of Environment and Planning, Henan University, Kaifeng 475001, China

Acta Ecologica Sinica, 2007, 27 (9): 3892 ~ 3900.

**Abstract:** The Tiantong national forest park of Zhejiang Province boasts evergreen broad-leaved forest (EBLF) representative of the southeastern seaboard of China. *Castanopsis fargesii* is the most extensively distributed EBLF species in the subtropical zone and the main dominant species of the Tiantong forest. Five plots were established, each of which had a unique disturbance regime, to study photosynthetic ecophysiology of *C. fargesii*. The LF-6400 portable photosynthesis system was used. By comparative analysis of daily variances of net photosynthesis ( $P_n$ ), transpiration ( $E$ ), water use efficiency ( $WUE$ ), and apparent quanta efficiency ( $AQE$ ), we found that net photosynthesis and transpiration were higher in the tree-less plots (Plots 1, 2, & 3) than in the shrub-less plot (Plot 4) and the control plot (Plot 5). This might be

**基金项目:** 国家自然科学基金重点资助项目 (30130060); 国家自然科学基金资助项目 (30570301)

**收稿日期:** 2006-02-14; **修订日期:** 2007-05-30

**作者简介:** 丁圣彦 (1963~), 男, 河南商丘人, 博士, 教授, 主要从事植物生理生态学、植被生态学、景观生态学和恢复生态学研究, E-mail: syding@henu.edu.cn

**Foundation item:** The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 30130060, 30570301)

**Received date:** 2006-02-14; **Accepted date:** 2007-05-30

**Biography:** DING Sheng-Yan, Ph.D., Professor, mainly engaged in ecophysiology of plant, vegetation ecology and landscape ecology and restoration ecology. E-mail: syding@henu.edu.cn

<http://www.ecologica.cn>

a result of the high levels of photosynthetic active radiation ( $PAR$ ) in the tree-less plots  $WUE$  and  $AQE$  in plot 5 and plot 4 were higher than in the tree-less plots Using Spss for windows (Version 11. 5), we established correlation matrices of photosynthetic rate and factors affecting *C. fargesii* seedlings and saplings in the differently disturbed plots  $T_a$  (ecological factor) and  $G_s$  (physiological factor) are the foremost factors affecting *C. fargesii* seedlings;  $PAR_i$ ,  $T_{air}$ ,  $V_{pdl}$ , and  $G_s$  are the main factors affecting *C. fargesii* saplings Using the stepwise regression method, we established linear regression equations of photosynthetic rate and various affecting factors At  $\alpha = 0. 05$ , the two following equations are statistically significant and have good predictive power: *C. fargesii* seedlings:  $P_n = - 2. 399 + 0. 205T_a + 43. 209G_s$ ; *C. fargesii* saplings:  $P_n = - 2. 265 + 0. 006PAR - 3. 915V_{pdl} + 0. 364T_a + 38. 121G_s$ .

**Key Words:** disturbance; *Castanopsis fargesii*; seedlings and saplings; ecophysiological characteristics; evergreen broad-leaved forest; Tiantong National Forest Park

随着人类活动的日益加剧,植被的退化和恢复问题也日益备受关注,前人已经对常绿阔叶林地区植被退化和恢复进行了部分研究<sup>[1-3]</sup>,但对人为不同干扰背景下树种的生理生态特性的研究尚不多见。栲树是亚热带分布最广的常绿阔叶林树种之一,是天童国家森林公园常绿阔叶林的主要优势种,前人已经对栲树的区系特征、生殖特性、分枝特性、物候动态等进行了部分研究<sup>[4-7]</sup>,但对栲树,特别是不同干扰背景下栲树生理生态特性的研究还较少<sup>[8-10]</sup>。那么,究竟不同程度、不同方式的干扰对地带性森林生态系统的主要优势种的生理生态特性产生了哪些影响?干扰后优势种对自然资源的捕获和利用方式发生了哪些变化?为了对受损地区常绿阔叶林的恢复和重建提供科学依据和技术支持,对该地区主要优势种栲树幼苗、幼树在不同干扰程度背景和原生状态下生理生态特性的变化进行比较研究具有重要的理论和实践意义。

## 1 研究方法和资料处理

本研究借助 LF6400型便携式光合仪(美国 LICOR公司(网址: <http://www.licor.com>)生产)<sup>[11]</sup>测定不同干扰背景下和原生状态下栲树幼苗、幼树光合作用速率及主要生理生态指标。

### 1.1 研究区概况和样地设置

本研究在浙江天童国家森林公园中进行。研究区地理位置 29°48'N, 121°47'E, 公园面积 353.3hm<sup>2</sup>, 平均海拔 300m左右, 最高峰太白山顶 653.3m。该区属于典型亚热带气候, 全年温暖湿润, 年平均气温 16.2℃, 最热月(7月份)平均气温 28.1℃, 极端最高气温 38.7℃, 最冷月(1月份)平均气温 4.1℃, 极端最低气温 -8.5℃。全年无霜期 237.8d, 10℃的活动积温为 5166.2℃, 年平均降雨量 1551mm, 年蒸发量 1320.1mm。由于多雨和临近东海, 年相对湿度高达 85%。土壤为黄红壤, 厚薄不一, 一般在 1m左右<sup>[12]</sup>。

在天童国家森林公园内同属一个集水区的坡面上, 选择生境和群落结构比较一致的地段, 设置 5 个样地(其中包括 1 个对照区), 每个处理区的面积为 20×20m<sup>2</sup>, 其间留有 5m宽的隔离带, 样地设置方式为: 样地 1, 全部伐除高度大于 8m的大树, 保留萌枝, 保留下木层; 样地 2, 清除全部地上植物, 保留枯枝落叶层; 样地 3, 在清除地上植物后, 再去除枯枝落叶层和 15cm 表土层; 样地 4, 保留大树, 清除 8m 以下所有植株; 样地 5, 对照区, 不作采伐等干扰处理。5 块样地的分布如图 1 所示。

干扰样地处理前, 对样地进行了较为详细的本底调查, 各个样地中乔木层主要优势种为栲树 (*Castanopsis fargesii*)、木荷 (*Schima superba*)、米槠 (*C. carlesii*)、石栎 (*Lithocarpus glaber*)、苦槠 (*C. sclenophylla*) 等, 林下灌

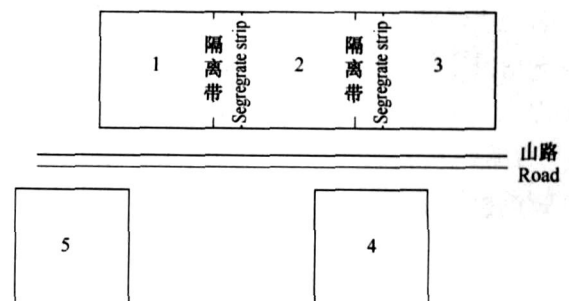


图 1 研究样地分布示意图

Fig 1 The sketch map of research plots

木层以莲蕊茶 (*Camellia fraterna*)、山矾 (*Symplocos sumuntia*)等和各主要优势种的更新幼树和幼苗为主。研究区内不同干扰背景下诸样地的生境状况与对照样地生境状况的比较见图 2。

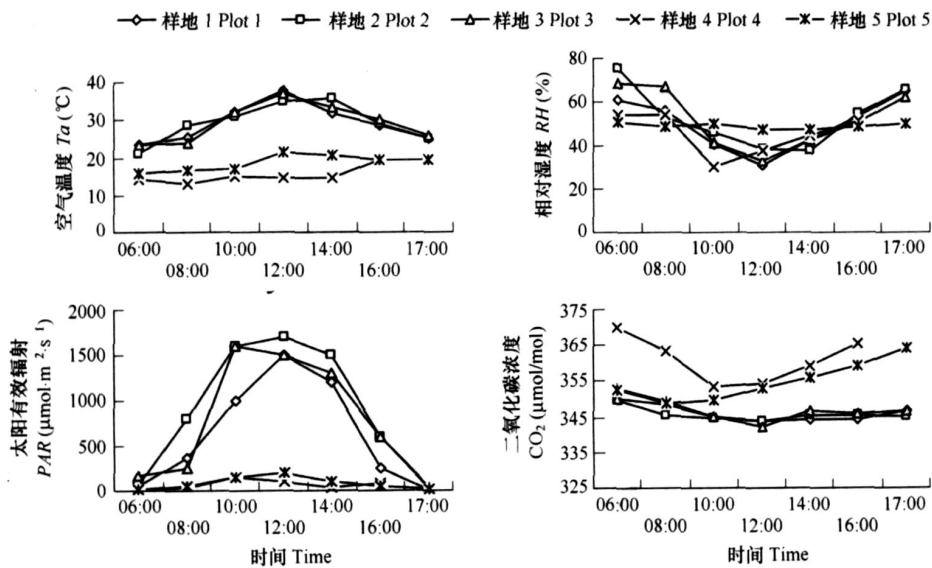


图 2 不同干扰样地与对照样地主要生境因子日变化比较

Fig 2 The comparison of main niche factors between different disturbed plots and contrast plot

从图 2 中看,去除乔木层的样地 1、2 和 3 具有较高的空气温度和极高的太阳辐射强度;空气相对湿度早晚低于保留乔木层的样地 4 和 5,中午更低于二者;CO<sub>2</sub>浓度在样地 4 和 5 中高于样地 1、2 和样地 3,这可能是由样地 1、2、3 中较强的光合作用速率造成的。

### 1.2 样本选择和测定

在各人工砍伐样地和对照样地中选取栲树更新层幼苗、幼树(在样地 3 中未发现栲树幼苗,无法对其进行测定)的健康叶片(指发育较完全,无病虫害影响,营养状况良好的叶片)进行测定,幼苗的选择标准是尚未分枝的实生树苗,高度一般低于 0.5 m,幼树选取具有一定分枝结构的实生和萌生树,高度一般在 1~2 m。实验中幼苗的取样高度约为 0.3 m,幼树约为 1.2 m。

实验时间为 2004 年 4 月,此时栲树的新叶已完全展开,这一时期叶片光合作用的强弱将直接影响到植物在其后整个生长季中生态位的占有。测定时尽量选取晴好天气,从 6:00~17:00 以 2h 为间隔,每次取 3 个样本,每个样本重复 3 次。受群落中变化迅速的环境因子(如光斑等)的影响,存储数据时获得的植株生理指标数值常与当时外界太阳有效辐射值无法匹配,故测定时使用仪器自带的红蓝光源,根据仪器探头上外界光合有效辐射测定仪测定的光合有效辐射强度值输入仪器,以使测定时有一个稳定的太阳有效辐射值,从而使测得的净光合作用速率和野外太阳辐射有较好的吻合性。

### 1.3 数据处理方法

影响植物光合作用速率和水分利用效率的生态因子很多,使用 LI-6400 型便携式光合测定系统每次可同时获得 27 个指标<sup>[13]</sup>,本实验分析时选择的主要指标有:净光合作用速率  $P_n$  ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ );水汽导度  $G_s$  ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ );胞间 CO<sub>2</sub>浓度  $C_i$  ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ );蒸腾作用速率  $T_r$  ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )简称为  $E$ ;叶表面蒸汽压亏缺  $V_{\text{pd}}$  (kPa);叶室空气温度  $T_a$  (°C);叶片温度  $T_{\text{leaf}}$  (°C);参比室 CO<sub>2</sub>浓度  $R_{\text{CO}_2}$  ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ )即大气 CO<sub>2</sub>浓度;样品室 CO<sub>2</sub>浓度  $S_{\text{CO}_2}$  ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ );参比室相对湿度  $RH-R$  (%)即大气相对湿度;样品室相对湿度  $RH-S$  (%);叶室内太阳有效辐射  $PAR_i$  ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )由叶室内光量子传感器感应;外界太阳有效辐射  $PAR_o$  ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )由外部光量子传感器感应等参数。另水分利用效率  $WUE$  和表观量子效率  $AQE$  分别由公式 (1) 和 (2) 算出:

$$WUE = \frac{P_n}{E} \quad (1)$$

$$AQE = \frac{P_n}{PAR} \quad (2)$$

使用 Spss for windows 统计分析软件分析光合作用速率与诸生理生态因子的相关性,并建立线性回归方程模型。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同干扰背景下栲树幼苗幼树诸光合生理生态因子的日变化

#### 2.1.1 净光合作用速率的日变化

在去除乔木层的样地 1 和 2 中,栲树幼苗净光合作用速率日进程呈“双峰”曲线,两个峰值分别出现在 8:00~14:00 左右,12:00 是一个低值点,样地 4 和样地 5 的日进程呈“单峰”曲线,峰值均出现在上午 8 时,随后持续下降。从光合日均值看,去除乔木层的样地 1 和样地 2 中栲树幼苗净光合作用速率远高于仅保留乔木层的样地 4 和对照样地 5。栲树幼树的净光合作用速率日进程曲线与幼苗的很相似,在去除乔木层的样地 1、2 和样地 3 中净光合作用日进程也呈“双峰”曲线,3 个样地中的峰值都是出现在 8:00 和 16:00 左右,14:00 是它们的低值点,样地 4 和样地 5 呈“单峰”曲线,在 8:00 达到峰值,随后持续下降。去除乔木层样地中栲树幼苗、幼树的净光合作用速率高于保留乔木层的样地,这是因为去除乔木层之后更新层具有很高的太阳有效辐射和较高的温度。从图中误差线看,干扰样地内各样本差异性较大,原始样地中较一致,这可能是由于干扰样地中环境因子变动较大造成的。从净光合作用速率日变化曲线看,此结果与周莉等所做春季幼龄栲树净光合作用速率日变化相一致<sup>[9]</sup>,从净光合作用速率值看,全天峰值稍高于周莉等所测定的结果<sup>[9]</sup>,这可能是由两实验地较大的环境因子差异造成的。

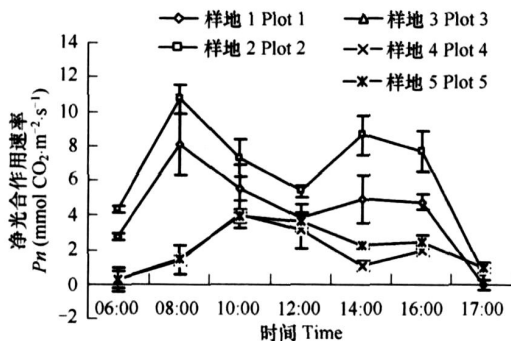


图3 不同干扰背景下栲树幼苗净光合速率日变化

Fig. 3 Daily net photosynthesis variance of *C. fargesii* seedlings in different disturbance

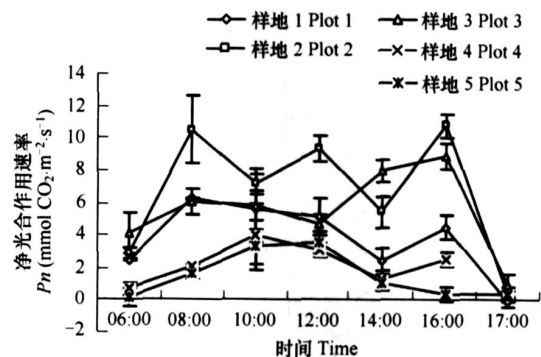


图4 不同干扰背景下栲树幼树净光合速率日变化

Fig. 4 Daily net photosynthesis variance of *C. fargesii* saplings in different disturbance

#### 2.1.2 蒸腾作用速率的日变化

不同干扰背景下栲树幼苗蒸腾作用速率的日变化各不相同,4 个样地中蒸腾作用速率日变化均呈“单峰”曲线,样地 1 和 2 中最明显,在 12:00 左右达到峰值,随后开始下降,保留乔木层的样地 4 和对照样地 5 中栲树幼苗的蒸腾作用速率日变化也呈现“单峰”曲线,但曲线变化很平缓,与净光合作用速率日变化曲线相似,基本表现为“梯形”,且其值明显低于样地 1 和样地 2,这与样地 1 和样地 2 中午强烈的太阳辐射所导致的高温低湿环境有直接关系,强烈的太阳有效辐射,导致空气温度急剧增高,为了维持叶片光合器官的正常运转,其蒸腾作用速率会增高以降低叶温。不同干扰背景下栲树幼树蒸腾作用速率日变化与幼苗相似,去除乔木层的 3 块样地栲树幼树蒸腾作用速率日变化呈“单峰”曲线,其峰值大致都出现在 12:00 左右,保留乔木层的样地 4 和对照样地 5 的栲树幼树蒸腾作用速率日变化与幼苗一样也呈现“梯形”曲线,但样地 4 中的值要高于样

地 5。这也与太阳有效辐射的差异及其引起的温度、湿度的差异有密切关系。从图中误差线看,干扰样地内各样本差异性较大,原始样地中较一致。

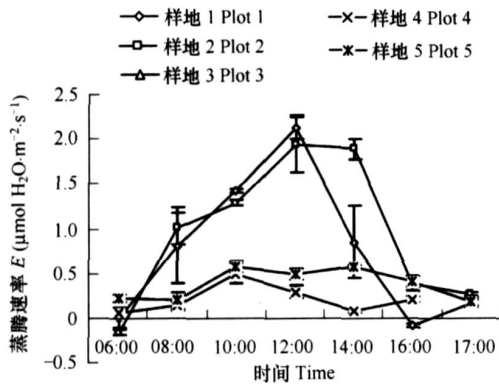


图 5 不同干扰背景下栲树幼苗蒸腾速率日变化

Fig. 5 Daily transpiration variance of *C. fargesii* seedlings in different disturbance

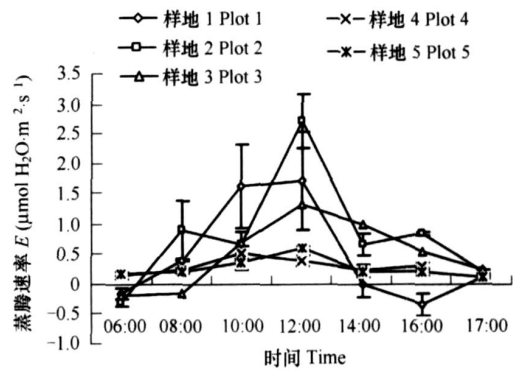


图 6 不同干扰背景下栲树幼树蒸腾速率日变化

Fig. 6 Daily transpiration variance of *C. fargesii* saplings in different disturbance

### 2.1.3 水分利用效率的日变化

植物的水分利用效率 (*WUE*)是深入研究植物如何高效利用水资源的一个核心问题<sup>[14]</sup>,通常将其作为评价植物生长适宜程度的综合指标而被广泛应用<sup>[15]</sup>。它是指植物蒸腾消耗单位重量的水分所同化的  $CO_2$  的量,常用净光合速率与蒸腾作用速率的比值表示<sup>[16]</sup>,由于它同时受到光合作用速率变化和蒸腾作用速率变化的影响,各样地中的栲树幼苗、幼树的 *WUE*日变化曲线变率比较大,样地 1和样地 2中栲树幼苗 *WUE*日变化呈“双峰”曲线,两个峰值分别出现 8:00和 14:00~16:00,其它时间为低值区。在样地 4和样地 5中,栲树幼苗 *WUE*日变化比较平稳,从 8:00~16:00一直都比较稳定,全天日变化基本呈“梯形”曲线。不同干扰背景下栲树幼树的 *WUE*日变化更复杂,但从全天水分利用效率变化值来看,样地 4和样地 5中要高于其它 3个去除乔木层的采伐样地,这可能是因为在低太阳有效辐射下进行光合作用,其它 3个去除乔木层的采伐样地中栲树幼树在高太阳辐射下的光合作用速率虽有增加,但远没有蒸腾作用速率增长的快,所以其 *WUE*值不升反降。

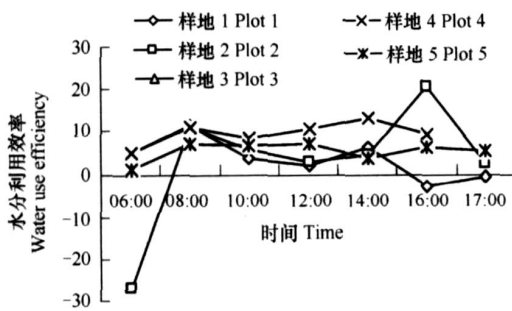


图 7 不同干扰背景下栲树幼苗水分利用效率日变化

Fig. 7 Daily *WUE* variance of *C. fargesii* seedlings in different disturbance

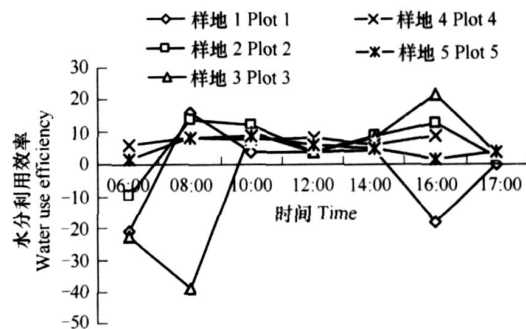


图 8 不同干扰背景下栲树幼树水分利用效率日变化

Fig. 8 Daily *WUE* variance of *C. fargesii* saplings in different disturbance

### 2.1.4 表观量子效率的日变化

表观最大量子效率是代表植物潜在光合能力的重要参数<sup>[17,18]</sup>,它是反映光化学变化效率的一个参数。对于一个叶片的光合作用系统而言,量子效率的数值以光合释放氧分子数与被吸收的光量子数之比来表示。这里所说的“被吸收”是指除叶片对光的反射和透射外被叶片净吸收的光量子。而且,这是一个有着良好光

合活力的植物在最适条件下即  $\text{CO}_2$ 饱和、温度最适、低光通量密度下所能达到的效率。通常,植物在自然光照下所吸收的光量子对于光合作用而言总是有所剩余,而且在实际测量中也不便于计测反射光和透射光的量。另外,自然状况下温度很难是最适的, $\text{C}_3$ 植物还伴随着光呼吸的损失, $\text{C}_4$ 植物则需耗费部分能量用于  $\text{CO}_2$ 泵的运行,强光下还常常伴随着光抑制现象。因此,实践上将植物在光照下的放氧速率或  $\text{CO}_2$ 同化速率,即净光合速率与相应光量子通量密度的比值称为表观量子效率(AQE)。文中使用净光合速率  $P_n$ 与相应光量子通量密度 PAR的比值来表示。

栲树幼苗在去除乔木层的样地 1和 2中,AQE表现为明显的“U型曲线,在早晨和午后 AQE值较高,中午很低,在保留乔木层的样地 4和对照样地 5中变化比较平缓,且具有全天较高值。栲树幼树的 AQE日变化曲线基本上也呈“U型,样地 4样地 5中栲树幼树仍然呈较高值。这是因为 AQE的变化受光合作用速率  $P_n$ 与太阳有效辐射 PAR的共同影响,早晚的  $P_n$ 值虽然较低,但 PAR值也很低,中午  $P_n$ 值虽有所增加,但远没有 PAR增加的快,所以 AQE值非但不会增加,反而会下降。

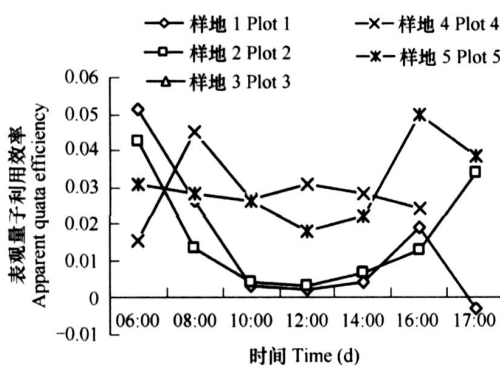


图9 不同干扰背景下栲树幼苗表观量子效率日变化

Fig. 9 Daily AQE variance of *C. fargesii* seedlings in different disturbance

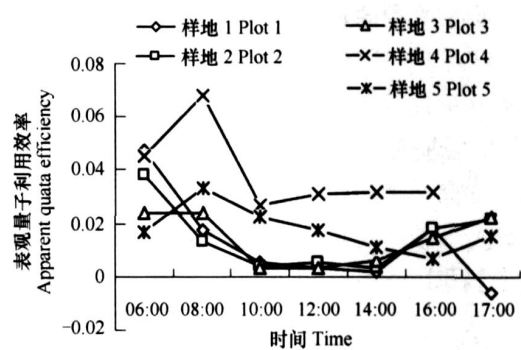


图10 不同干扰背景下栲树幼树表观量子效率日变化

Fig. 10 Daily AQE variance of *C. fargesii* saplings in different disturbance

## 2.2 光合作用速率与诸光合生理生态影响因子之间的相关分析

光合作用受诸生理和生态因子的影响。为定量的表示它们之间的关系,使用 Spss for windows 统计分析软件分别对栲树幼苗和幼树的光合作用速率与生理因子 ( $E$ 、 $G_s$ 、 $C_i$ )、生态因子 ( $PAR$ 、 $T_a$ 、 $V_{pd1}$ 、 $RH$ 、 $\text{CO}_2$ )的关系进行分析,并建立线性回归方程。

### 2.2.1 光合作用速率与影响因子的相关系数矩阵

表 1和表 2是不同干扰背景下栲树幼苗、幼树的光合速率与诸影响因子的相关系数矩阵。

从两个相关性系数矩阵中看,栲树幼苗光合作用速率与诸影响因子之间均具有一定的相关性,但最显著的分别是生态因子  $T_a$ 和生理因子  $G_s$ ,对栲树幼树的光合作用速率影响较显著的是生态因子  $PAR$ 、 $T_a$ 与生理因子  $V_{pd1}$ 、 $G_s$ 。

### 2.2.3 光合作用速率与诸光合生理生态影响因子回归模型

在 Spss for windows 统计软件中使用逐步回归 (Stepwise)的方式,在  $F$ 显著水平值 Sig 0.05进入方程的条件下,分别建立栲树幼苗、幼树的回归方程模型如表 3所示。

从表中方程可以看出,建立的两个方程,经  $t$ 检验,栲树幼苗  $T_a$ 和  $G_s$ 的  $P$ 值分别为 0.000和 0.001,栲树幼树  $PAR$ 、 $V_{pd1}$ 、 $T_a$ 和  $G_s$ 的  $P$ 值分别为 0.002、0.001、0.002和 0.015,按  $\alpha=0.05$ 水平,两个方程均有显著性意义,这也说明生态因子和生理因子在共同对栲树幼苗、幼树的生长起着作用。

## 3 结论

在常绿阔叶林不同人工干扰背景下的样地中,栲树幼苗、幼树的生理生态特性表现出一定的差异,且有一

定的规律性:

(1)受砍伐后天空中高光强的影响,去除了乔木层的样地 1, 2和 3中栲树幼苗、幼树的日光合作用速率要高于保留有乔木层的样地 4和对照样地 5,但从日变化曲线也可以看出,去除乔木层样地光合作用速率日进程呈“双峰”曲线,而样地 4和 5中呈“梯形”曲线,这很可能是因为去除乔木层样地中午极高的光强导致的光伤害造成的。

(2)受温度与湿度的共同作用,各样地的栲树幼苗、幼树的蒸腾作用速率日变化均呈“单峰”曲线,但在去除乔木层的样地中,其蒸腾作用速率要远高于样地 4和对照样地 5。

(3)因水分利用效率  $WUE$  为  $P_n$ 和  $E$ 的比值,受二者的共同影响,各样地中栲树幼苗、幼树  $WUE$ 的日变化比较复杂,规律性不是太明显。

(4)表观量子效率主要反映了低光照下植株利用太阳有效辐射的能力,受群落下层长期隐蔽环境的驯化,样地 5和 4中栲树幼苗、幼树具有较高的  $AQE$ ,但由于全天光照强度太低,其全天光合作用量反而要远低于去除乔木层的其他 3个样地。

(5)通过使用统计软件建立光合作用速率与诸生理生态因子的相关系数矩阵,结果表明,栲树幼苗、幼树光合作用的进行与生态因子和生理因子的关系都很密切,这说明对人为强烈干扰地区常绿阔叶林的恢复和重建,不仅要重视主要优势种内部生理机制的研究,外部生态环境变化的研究亦应受到重视。因为各生理和生态因子之间是相互影响和制约的,如:太阳辐射的变化会影响空气温度以及叶表面蒸汽压亏缺的变化,而叶表面蒸汽压亏缺的改变又可以影响叶片气孔的开闭,从而引起气孔导度和胞间  $CO_2$ 浓度的变化,进而影响到叶片的蒸腾作用速率,这些变化又作用于光合作用过程,影响到植株叶片光合作用速率的高低和物质积累的快慢。

表 1 不同干扰背景下栲树幼苗光合作用速率与诸影响因子的相关系数矩阵

Table 1 Correlation matrix between  $P_n$  and affecting factors of *C. fargesii* seedlings in different disturbance

项目 Item	测定参数	净光合作用速率 $P_n$	空气温度 $T_a$	$CO_2$ 浓度 $CO_2$ Content	相对湿度 $RH$	太阳有效辐射 $PAR$	叶面蒸气压亏缺 $V_{pdl}$	水汽导度 $G_s$	胞间 $CO_2$ 浓度 $C_i$	蒸腾作用速率 $E$
Pearson相关性系数	$P_n$	1.00	0.63	-0.60	-0.24	0.61	0.50	0.50	-0.17	0.57
Pearson Correlation	$T_a$		1.00	-0.75	-0.25	0.86	0.89	0.28	-0.04	0.77
	$CO_2$			1.00	0.17	-0.63	-0.62	-0.31	0.01	-0.56
	$RH$				1.00	-0.55	-0.60	-0.51	0.24	-0.63
	$PAR$					1.00	0.95	0.43	-0.25	0.91
	$V_{pdl}$						1.00	0.36	-0.14	0.90
	$G_s$							1.00	-0.46	0.68
	$C_i$								1.00	-0.35
	$E$									1.00
单尾显著性检验概率	$P_n$	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00
Sig (1-tailed)	$T_a$		0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.08	0.42	0.00
	$CO_2$			0.00	0.19	0.00	0.00	0.06	0.49	0.00
	$RH$				0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00
	$PAR$					0.00	0.00	0.01	0.11	0.00
	$V_{pdl}$						0.00	0.03	0.24	0.00
	$G_s$							0.00	0.01	0.00
	$C_i$								0.00	0.04
	$E$									0.00

表 2 不同干扰背景下栲树幼树光合作用速率与诸影响因子的相关系数矩阵

Table 2 Correlation matrix between  $P_n$  and affecting factors of *C. fargesii* saplings in different disturbance

项目 Item	测定参数	净光合作用速率 $P_n$	空气温度 $T_a$	CO <sub>2</sub> 浓度 CO <sub>2</sub> Content	相对湿度 $RH$	太阳有效辐射 $PAR$	叶面蒸 汽压亏缺 $V_{pdl}$	水汽 导度 $G_s$	胞间 CO <sub>2</sub> 浓度 $C_i$	蒸腾作 用速率 $E$
Pearson相关性系数	$P_n$	1.00	0.61	-0.55	-0.23	0.64	0.51	0.35	-0.11	0.57
Pearson Correlation	$T_a$		1.00	-0.78	-0.29	0.86	0.89	0.09	-0.19	0.58
	CO <sub>2</sub>			1.00	0.12	-0.61	-0.61	-0.01	0.07	-0.38
	$RH$				1.00	-0.58	-0.65	-0.62	0.42	-0.63
	$PAR$					1.00	0.94	0.30	-0.31	0.72
	$V_{pdl}$						1.00	0.28	-0.31	0.71
	$G_s$							1.00	-0.43	0.75
	$C_i$								1.00	-0.36
	$E$									1.00
单尾显著性检验概率 Sig (1-tailed)	$P_n$	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.02	0.27	0.00
	$T_a$		0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.30	0.14	0.00
	CO <sub>2</sub>			0.00	0.26	0.00	0.00	0.48	0.36	0.01
	$RH$				0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
	$PAR$					0.00	0.00	0.04	0.04	0.00
	$V_{pdl}$						0.00	0.06	0.04	0.00
	$G_s$							0.00	0.01	0.00
	$C_i$								0.00	0.02
	$E$								0.00	

表 3 栲树幼苗、幼树光合作用速率与诸影响因子的回归方程模型

Table 3 Regression equations between  $P_n$  and affecting factors of *C. fargesii* seedlings and saplings

树种 Species	回归方式 Regression mode	相关系数 $R$ Correlation	方差 $F$ 值 ANOVA	回归方程模型 Regression equation model	经 $t$ 检验的 $P$ 值 (Sig) Sig $F$ Change
幼苗 Seedling	Stepwise	0.712	12.317	$P_n = -2.399 + 0.205T_a + 43.209G_s$	$T_a$ : 0.000 $G_s$ : 0.001 $PAR$ : 0.002 $V_{pdl}$ : 0.001
幼树 Sapling	Stepwise	0.803	13.198	$P_n = -2.265 + 0.006PAR - 3.915V_{pdl} + 0.364T_a + 38.121G_s$	$T_a$ : 0.002 $G_s$ : 0.015

从以上结果来看,在去除了乔木层的常绿阔叶林群落中,下层幼树幼苗接受的太阳有效辐射急剧增加,但这又导致幼苗、幼树极易发生光抑制和光伤害,从而引起植株光合作用降低,严重的甚至会损坏植物的光合器官,且难以恢复。在有上层乔木遮荫的群落中,林下幼苗、幼树会具有较高的表观量子效率,能更大程度地利用太阳辐射,且全天能有一定的太阳辐射,这个值低于去除了乔木层的样地但又远高于对照群落。在造林抚育实践上,可以通过在成熟常绿阔叶林中采取“间伐”的方式造成一定面积的“林窗”或“林带”,这样既能增加群落下层光照,提高林下幼苗、幼树的光合作用速率,又不至于因光照太强对幼苗、幼树叶片的的光合器官造成伤害。在次生裸地上,借助于一些先锋树种或杂草形成的覆盖层,可以结合人工栽植幼苗的方式加速常绿阔叶林的恢复。

此外,本研究只是对不同干扰背景下栲树幼苗、幼树部分生理生态指标值进行了比较,还有众多的生理生态指标,如植物的叶面积 ( $LA$ )、叶绿素总量 ( $Chl$ )、细胞液  $pH$  值和细胞质膜透性 ( $CML$  电导率)、气孔限制值 ( $L_s$ ) 等尚没有涉及,这也是文章的不足之处,在以后的研究中还应加强对这一方面的研究,以求能更好的揭示不同干扰背景下植物体的生理生态特性及其表现为相应特性的原因。

## References:

- [1] Wang X H, Yan E R, Yan X, et al Analysis of degraded evergreen broad-leaved forest communities in Eastern China and issues in forest



- restoration Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(7): 1796-1802
- [ 2 ] Ding S Y, Song Y C. Application of succession study in tending and restoration of evergreen broad-leaved forest Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(3): 423-426.
- [ 3 ] Li C H, Yu S Q, Zhou G M. Review of researches in restoration of subtropical evergreen broad-leaved forests Journal of Zhejiang Forestry College, 2002, 19(3): 325-329.
- [ 4 ] Fan H L, Hong W, Yan S J, et al. Study on the flora of *Castanopsis fargesii* secondary forest in the middle sub-tropic Journal of Henan Agricultural University, 2003, 37(3): 270-274.
- [ 5 ] Chen B, Song Y C, Da L J. Study on reproductive unit size and reproductive modules dynamics of *Castanopsis fargesii* in Tiantong National Forest Park, Zhejiang Province Bulletin of Botanical Research, 2004, 24(1): 80-86.
- [ 6 ] Chen B, Da L J. Branching Patterns of *Castanopsis fargesii* as Affected by Growth and Developmental Phases Journal of Wuhan Botanical Research, 2003, 21(3): 226-231.
- [ 7 ] Chen B, Song Y C, Da L J. Flowering phenology and floral distribution of *Castanopsis fargesii* in Tiantong, Zhejiang Province Acta Phytocologica Sinica, 2003, 27(2): 249-255.
- [ 8 ] Ding S Y, Song Y C. The comparison of photosynthesis physiocology of evergreen broad-leaved forest of Tiantong National Forest Park in Zhejiang Province, China Acta Ecologica Sinica, 1999, 19(3): 319-323.
- [ 9 ] Zhou L, Zhong Z C. A study on the photosynthetic ecophysiology of young *Castanopsis fargesii* in the evergreen broad-leaved forest of Jinyun Mountain Journal of Southwest China Normal University (Natural Science), 1994, 19(2): 187-192.
- [ 10 ] Ding S Y. A comparison of respiration characteristics between *Schinus molle* and *Castanopsis fargesii* in successional series of evergreen broad-leaved forest Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(1): 61-67.
- [ 11 ] Using the LI6400 Portable Photosynthesis system Version5. Licor Bioscience, 2004.
- [ 12 ] Song Y C, Wang X R. Vegetation and flora of Tiantong National Forest Park, Zhejiang Province Shanghai: Shanghai Science and Technology and Literature Press, 1995.
- [ 13 ] Using the LI6400 Portable Photosynthesis system Version5. Licor Bioscience, 2004, 3(21-22).
- [ 14 ] Shan L. Water use efficiency of plant and agriculture water saving in the semi-arid region Plant Physiology Communications, 1994, 30(1): 61-66.
- [ 15 ] Shan L, Xu M. Water-saving agriculture and its physio-ecological basis Chinese Journal of Applied Ecology, 1991, 2(1): 70-76.
- [ 16 ] Zhang X Q, Xu D Y, Zhao M S. The responses of 17-years-old Chinese fir shoots to elevated CO<sub>2</sub>. Acta Ecologica Sinica, 2000, 20(3): 390-396.
- [ 17 ] Shen Y G, Xu D Q. The adaptations and responses of photosynthetic structure to environment, In: Yu S W. Plant Physiology and Molecular Biology. Beijing: Science Press, 1992.
- [ 18 ] Von Caemmerer S, Farquhar G D. Some relationships between the biochemistry and the gas exchange of leaves Planta, 1981, 153: 376-385.

#### 参考文献:

- [ 1 ] 王希华, 闫恩荣, 严晓, 等. 中国东部常绿阔叶林退化群落分析及恢复重建研究的一些问题. 生态学报, 2005, 25(7): 1796 ~ 1802.
- [ 2 ] 丁圣彦, 宋永昌. 演替研究在常绿阔叶林抚育和恢复上的应用. 应用生态学报, 2003, 14(3): 423 ~ 426.
- [ 3 ] 李翠环, 余树全, 周国模. 亚热带常绿阔叶林植被恢复研究进展. 浙江林学院学报, 2002, 19(3): 325 ~ 329.
- [ 4 ] 范海兰, 洪伟, 闫淑君, 等. 中亚热带栲树次生林植物区系研究. 河南农业大学学报, 2003, 37(3): 270 ~ 274.
- [ 5 ] 陈波, 宋永昌, 达良俊. 天童常绿阔叶树种栲树生殖个体大小及其生殖构件特征. 植物研究, 2004, 24(1): 80 ~ 86.
- [ 6 ] 陈波, 达良俊. 栲树不同生长发育阶段的枝系特征分析. 武汉植物学研究, 2003, 21(3): 226 ~ 231.
- [ 7 ] 陈波, 宋永昌, 达良俊. 常绿阔叶树种栲树开花物候动态及花的空间配置. 植物生态学报, 2003, 27(2): 249 ~ 255.
- [ 8 ] 丁圣彦, 宋永昌. 浙江天童常绿阔叶林演替系列优势种光合生理生态的比较. 生态学报, 1999, 19(3): 319 ~ 323.
- [ 9 ] 周莉, 钟章成. 四川缙云山常绿阔叶林幼龄栲树光合生理生态研究. 西南师范大学学报(自然科学版), 1994, 19(2): 187 ~ 192.
- [ 10 ] 丁圣彦. 常绿阔叶林演替系列中木荷和栲树呼吸作用特性的比较. 生态学报, 2001, 21(1): 61 ~ 67.
- [ 12 ] 宋永昌, 王祥荣. 浙江天童国家森林公园植物区系. 上海: 上海科学技术出版社, 1995. 208.
- [ 14 ] 山仑. 植物水分利用效率与半干旱地区农业节水. 植物生理学通讯, 1994, 30(1): 61 ~ 66.
- [ 15 ] 山仑, 徐萌. 节水农业及其生理基础. 应用生态学报, 1991, 2(1): 70 ~ 76.
- [ 16 ] 张小全, 徐德应, 赵茂盛. CO<sub>2</sub> 增长对杉木中龄林针叶光合生理生态的影响. 生态学报, 2000, 20(3): 390 ~ 396.
- [ 17 ] 沈允钢, 许大全. 光合机构对环境的适应与响应. 见: 余叔文, 植物生理与分子生物学. 北京: 科学技术出版社, 1992.