

文章编号: 1001-1498(2010)03-0411-06

# 云南红豆杉扦插苗和实生苗的生长及光合特性

臧传富, 苏建荣\*, 张志钧

(中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 云南 昆明 650224)

摘要: 为摸清云南红豆杉实生苗和扦插苗在生长和光合特性方面的特性和差异, 在田间条件下, 以 2 年苗龄的云南红豆杉实生苗和扦插苗为研究对象, 用 Licor-6400 便携式光合作用测定系统测定了实生苗和扦插苗的光响应曲线和光合生理日变化, 同时对实生苗和扦插苗生长、树形和生物量进行测定分析。结果表明: 云南红豆杉实生苗的生长量、生物量和光合生理指标都基本优于扦插苗。实生苗的冠幅和生物量较扦插苗优势明显, 实生苗净光合速率 ( $P_n$ ) 总体高于扦插苗。实生苗净光合速率日变化呈双峰曲线, 存在明显的“光午休”现象, 扦插苗光合日变化呈单峰曲线。同时, 实生苗对光环境和水分环境的适应能力优于扦插苗。实生苗在光补偿点和近光饱和点之间存在的光能利用区间大于扦插苗, 实生苗的  $P_n$  和  $WUE$  的日积分值都大于扦插苗。

关键词: 云南红豆杉; 实生苗; 扦插苗; 净光合速率; 水分利用效率

中图分类号: S791.49

文献标识码: A

## Research of Photosynthetic Characteristics and the Growth of Seedlings and Cutting Stocks of *Taxus yunnanensis*

ZANG Chuan-fu, SU Jian-rong, ZHANG Zhi-jun

(Research Institute of Resource Insects, Chinese Academy of Forestry, Kunming 650224, Yunnan, China)

**Abstract:** To understand the property and difference of the photosynthetic characteristics of seedlings and cutting stocks of *Taxus yunnanensis*, the response of net photosynthesis rate to light intensity and the diurnal variations of photosynthesis in the seedlings and the cutting stocks were measured with Licor-6400 in the two-year-old *Taxus yunnanensis* planted in fields. Moreover, the growth, the tree-form and the biomass of the seedlings and the cutting stocks were analyzed. The results showed that the growth, the biomass and the net photosynthetic rate of the seedlings excelled that of the cutting stocks. And the crown-width, the biomass and the net photosynthetic rate of seedlings was significantly higher than that of the cutting stocks. The diurnal variations of net photosynthetic rate in seedlings showed bimodal peaks curve, and had 'midday depression of photosynthesis'. The diurnal variation of net photosynthetic rate of cutting stocks showed a single peak curve. Meanwhile, the capacity of accommodation about light and water circumstances of seedlings was higher than that of the cutting stocks. And the interval of light compensation point and light saturation point in seedlings was higher than that of the cutting stocks. The daily accumulation value of net photosynthetic rate and water use efficiency of seedlings were also higher than that of the cutting stocks.

**Key words:** *Taxus yunnanensis*, seed seedlings, cutting seedlings, net photosynthetic rate, water use efficiency

收稿日期: 2009-12-22

基金项目: 国家科技支撑计划(2006BAD18B03, 2008BADB0B0401)、国家林业局重点项目(2008-06)、云南省自然科学基金(2008CD200)、云南省科技攻关计划(2006NG28)

作者简介: 臧传富(1983—), 男, 硕士, 主要从事植物生态学研究. E-mail: chuanfuzang@163.com

\* 通讯作者.

云南红豆杉 (*Taxus yunnanensis* Cheng et L. K. Fu) 系国家一级保护植物和国际松杉类专家组 (CSG) 确定的 3 级渐危物种, 主要分布在我国滇西、滇西北、滇西南、滇中、川西、藏东南等地<sup>[1]</sup>。云南红豆杉因分布广、资源丰富、紫杉醇 (Taxol) 含量高而成为紫杉醇原料林主要树种, 在滇、川、渝、藏等省 (市、区) 大面积发展。紫杉醇是最具抗癌活性的天然化合物<sup>[2]</sup>, 现已被 40 多个国家用于多种癌症的治疗, 药用价值和经济价值极高。加之, 资源稀缺、繁殖材料有限, 云南红豆杉的栽培技术, 尤其是苗木培育被高度重视, 在扦插育苗技术和种子育苗技术方面开展了大量的研究<sup>[3]</sup>。生产经验表明, 云南红豆杉扦插苗生长缓慢、生物量较小; 而实生苗生长迅速、生物量大、抗逆性强<sup>[4]</sup>, 选用哪类苗木是生产上关注的焦点和热点。但是, 关于该差异产生原因的研究未见报道, 不利于解决云南红豆杉的苗木选择问题, 难以制订科学、合理的苗木发展战略, 并阻碍着苗木培育技术的提高和完善。

光合作用是植物生长、发育及代谢的动力, 植物 90% ~ 95% 的干物质来自光合作用<sup>[5]</sup>。鉴于此, 近年在红豆杉的光合作用方面开展了大量研究。Brzezinska 等<sup>[6]</sup>研究了欧洲红豆杉 (*T. bacatta* Erioides) 对 UV-B 辐射的光合响应; Christopher 等<sup>[7]</sup>比较了欧洲红豆杉与其它针叶树种的光合特性; 张启昌<sup>[8]</sup>、Ayumi Tanaka<sup>[9]</sup>、丁磊<sup>[10]</sup>等研究了 CO<sub>2</sub> 浓度、低温、遮阴对东北红豆杉 (*T. cuspidata* Sieb. et Zucc.) 光合生理的影响; 芦站根<sup>[11]</sup>、孙佳音<sup>[12]</sup>分析了遮阴对曼地亚红豆杉 (*T. media* Rehd.) 和南方红豆杉 (*T. chinensis* (Pilg.) Rehd. var. *mairii* (Lemeé et L'Év.) Cheng et L. K. Fu) 光合生理的影响; 傅瑞树等<sup>[13]</sup>比较了南方红豆杉实生苗和扦插苗的光合特性。然而, 关于云南红豆杉光合生理方面的研究仍然处于空白阶段, 对栽培技术的研究缺乏较全面的科学依据和理论指导。

本研究通过栽培试验, 定量研究云南红豆杉扦插苗和实生苗的构型、生物量以及光合生理, 旨在了解扦插苗和实生苗的生长和光合特性, 进而从构型、生物量分配、光合生理等方面探讨扦插苗和实生苗生长差异的成因, 为制订科学的苗木发展战略、提高苗木培育技术和苗木质量、完善人工栽培技术体系提供科学依据和理论支持。

## 1 研究材料与方法

### 1.1 研究地区概况

本研究在中国林科院资源昆虫研究所景东试验

站完成。景东试验站海拔 1 200 m, 位于 100°21' ~ 101°15' E, 23°56' ~ 24°50' N, 无量山、哀牢山两山环绕。该区属于亚热带季风气候, 年平均气温 18.3 ± 0.5, 极端最高温 37 ± 1.5, 极端最低温 - 2 ± 1; 年平均降水量 1 100 ± 50 mm, 多集中于 7—8 月; 年平均日照天数 205 ± 5。

### 1.2 材料与方法

1.2.1 试验材料 供试苗木为同一种源的 2 年苗龄云南红豆杉扦插苗和实生苗。2008 年 5 月, 选取大小和生长基本一致, 根系健壮的苗木种植于土壤、水分等环境条件均一的试验地内。种植穴大小 30 cm × 40 cm × 30 cm。植苗前, 每穴施牛粪 800 g、复合肥 50 g。种植后, 不遮阴, 生长于全自然条件下, 水、肥和抚育等日常管理措施相同, 并避免人、畜等的干扰。

### 1.2.2 试验方法

(1) 生长与构型指标的测定: 2009 年 5 月, 随机选取实生苗和扦插苗各 5 株, 测量株高, 地径, 冠幅, 枝条总体分枝, 根、茎、叶器官的生物量和根冠比。

用卷尺测量株高; 用游标卡尺测量距基质 2.5 cm 处幼苗主干的直径作为地径; 用卷尺分别测定冠的长轴和短轴, 用椭圆面积公式计算冠幅<sup>[14]</sup>。

按 Strahler 法<sup>[15]</sup>确定枝序, 即由外及内, 外第一层的第一小枝为第一级枝, 两个第一级枝相遇即为第二级枝, 以此类推。统计各级小枝数, 用  $R_b = (N_T - N_s) / (N_T - N_1)$  计算总体分枝率 ( $R_b$ )。式中,  $N_T$  为所有枝级中枝条的总数,  $N_1$  为最高枝级的枝条数,  $N_s$  为第一级的枝条总数。

将挖出的全株苗木分解为根、茎和叶 3 部分, 在 70 °C 下烘烤 24 h 烘干至恒质量后测定生物量, 据此计算根冠比 ( $R/T$ )。

(2) 光合指标的测量: 试验在 2009 年 5 月末至 6 月初进行, 此期间天气晴朗。采用 LI-COR 公司生产的 Li-6400 便携式光合系统仪测定。试验用样株根据试验地苗木的平均胸径、平均株高、平均冠幅和冠长, 分别确定扦插苗和实生苗各 5 株。测定叶片选取植株中上部 1 年叶龄叶片, 每次测量时均放入 4 个叶片, 然后用坐标纸测量叶面积, 测量时输入所测叶面积, 每次测定 5 组。

光合作用日进程测定在 2009 年 6 月初晴朗的 8:00—18:00 间进行, 每次测量间隔 2 h, 每天共测定 6 次, 连续测定 3 天。测定净光合速率 ( $P_n$ )、蒸腾速率 ( $T_r$ ) 等生理指标, 并记录光合有效辐射 ( $PAR$ )、叶片光合有效辐射 ( $PAR_i$ )、空气温度

( $T_a$ )、大气相对湿度( $RH$ )、空气  $CO_2$  浓度( $C_a$ ) 等环境因子。

光响应曲线在天气晴朗的上午 9:00—11:00 间测定。用红蓝光源叶室测定光合指标, 测量光照梯度: 1 500、1 200、1 000、800、600、400、300、200、150、100、50、30、0  $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$  光强下的光合指标。测量前, 在 1 500  $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$  饱和光强下诱导 15 min 左右至稳态。测定时, 空气流速 400  $mmol \cdot s^{-1}$ , 设定叶温 20  $^{\circ}C$ , 开放式气路, 外界平均温度  $24.7 \pm 2$   $^{\circ}C$ , 外界  $CO_2$  浓度( $C_a$ )  $394 \pm 14 \mu mol \cdot mol^{-1}$ 。

1.2.3 数据分析 水分利用效率( $WUE$ ) 采用下式计算:

$$WUE = P_n / T_r$$

采用非直角双曲线模型<sup>[16]</sup> 拟合扦插苗和实生

$$P_n = \frac{AQY \cdot PAR + P_{max} - (AQY \cdot PAR + P_{max})^2 - 4kAQY \cdot PAR \cdot P_{max}}{2k} - R_d \quad (3)$$

用(3)式拟合测定数据, 并求出实生苗、扦插苗光响应曲线的特征参数。用 200  $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$  以下的线性方程(公式 2) 与直线  $Y = P_{max}$  ( $P_{max}$  由非直角双曲线模型用 SPSS 模拟计算得出) 交点对应的  $x$  轴上的数值即为近光饱和点( $LSP$ ,  $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ )<sup>[17]</sup>。

### 1.3 数据处理

数据分析和作图采用 SPSS 16.0 统计分析软件和 Excel 2007 完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 生长特性

2.1.1 植株大小 云南红豆杉扦插苗植株小于实生苗, 前者的株高小于后者, 但差异不显著; 前者的地径和冠幅均显著小于后者(表 1)。实生苗的株高比扦插苗的高出 18%, 实生苗的地径比扦插苗多出 41%, 说明实生苗主干的生长比扦插苗主干的生长快。实生苗的冠幅是扦插苗的 3.8 倍, 可见实生苗枝条的生长速度比扦插苗的快很多。

2.1.2 分枝特性 从总枝条数和分枝率看, 实生苗枝条总数显著大于扦插苗, 其分枝率也大于扦插苗, 但差异不显著(表 1)。实生苗的总枝条数是扦插苗的 2.5 倍, 实生苗的分枝率比扦插苗的高出 21%。因此, 实生苗对空间和光因子的利用率高于扦插苗。

2.1.3 生物量及其分配 从各个部分生物量以及总生物量干质量来看, 实生苗的根生物量、叶生物量、茎生物量以及总生物量干质量均显著大于扦插

苗的光响应曲线。

$$K \cdot P^2 - P(AQY + P_{max}) + AQY \cdot P_{max} \cdot PAR = 0 \quad (1)$$

式中,  $K$  为双曲线的曲率(0—1),  $P$  为光合速率( $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ ),  $AQY$  为表观量子效率,  $PAR$  为光合有效辐射( $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ ),  $P_{max}$  为最大净光合速率( $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ )。

$$P_n = AQY \cdot PAR - R_d \quad (2)$$

式中,  $P_n$  为净光合速率( $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ ),  $R_d$  为暗呼吸速率( $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ )。当  $P_n = 0$  时, 所得值为光合作用的光补偿点( $LCP$ ,  $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ )。

由(1)和(2)得到光响应曲线的理论模型:

苗(表 1)。同时, 从图 1 可以看出, 在生物量分配方面, 实生苗的根生物量和叶生物量比重大于扦插苗, 分别比扦插苗高 0.74% 和 7.82%; 扦插苗的茎生物量比重高于实生苗, 比实生苗高 8.45%。同时, 据图 1 可以算出, 实生苗地上生物量比重(即茎生物量和叶生物量占全株生物量的比重)为 73.34%, 扦插苗为 74.08%, 实生苗低于扦插苗; 地上生物量与地下生物量的比重(即茎生物量和叶生物量与根生物量的比重)实生苗为 2.77, 扦插苗为 2.91, 实生苗小于扦插苗。

表 1 扦插苗与实生苗的大小、分枝率及生物量

指标	实生苗	扦插苗
株高/cm	49.60 ± 8.38 a	42.20 ± 9.73 a
地径/cm	0.65 ± 0.061 a	0.46 ± 0.078 b
冠幅/cm <sup>2</sup>	6 379.22 ± 462.2 a	1 694.96 ± 914.9 b
总枝条数	72.40 ± 21.17 a	28.80 ± 8.58 b
分枝率	0.70 ± 0.21 a	0.58 ± 0.60 a
叶生物量干质量/g	13.80 ± 2.44 a	5.50 ± 1.76 b
茎枝生物量干质量/g	11.92 ± 1.11 a	6.10 ± 1.78 b
根生物量干质量/g	9.30 ± 1.77 a	3.98 ± 1.11 b
总生物量干质量/g	35.32 ± 3.65 a	15.58 ± 4.08 b
根/冠质量	0.36 ± 0.06 a	0.35 ± 0.07 a

备注: 所有数值为平均值 ± 标准差 ( $n=5$ )。经  $t$  检验, 具不同字母同一指标的均值差异显著 ( $p < 0.05$ )。

### 2.2 光响应曲线特征

2.2.1 光响应曲线特征 由图 2 可知, 实生苗和扦插苗的净光合速率( $P_n$ ) 均随着光强( $PAR$ ) 的增强而增加。在光强 0 ~ 400  $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$  左右时,  $P_n$  上升速度最快。在光强超过 400  $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$

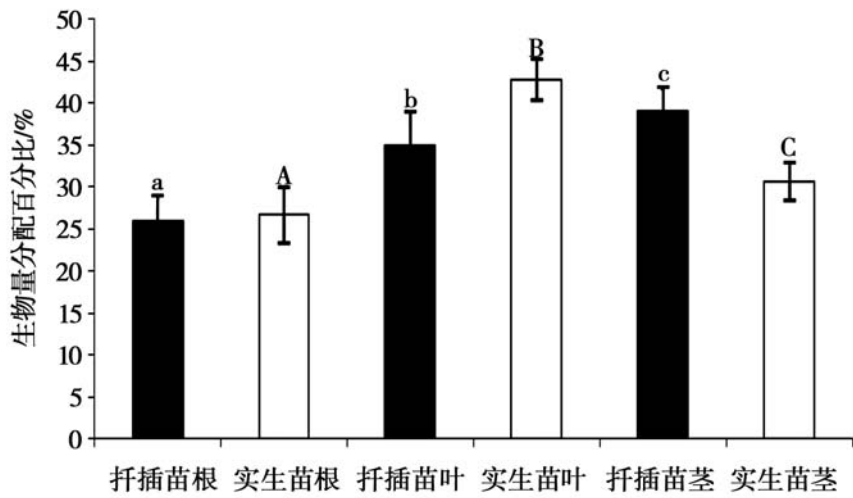


图1 实生苗和扦插苗各部分生物量比重

$s^{-1}$ 时,  $P_n$  上升速度开始减慢, 并逐渐趋于平缓。同时, 从图2可以看出, 在相同范围的光强 ( $PAR$ ) 条件下, 实生苗的  $P_n$  值均高于扦插苗, 据图2计算, 在  $0 \sim 1500 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  光强范围内  $P_n$  值的平均值, 实生苗为  $1.64 \pm 1.42 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 扦插苗为  $1.37 \pm 1.30 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。同时, 从图3来看, 在  $0 \sim 200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  低光强下实生苗的  $P_n$  明显大于扦插苗, 据图3计算在  $0 \sim 200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  光强范围内  $P_n$  值的平均值, 实生苗为  $0.43 \pm 1.15 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 扦插苗为  $0.26 \pm 1.08 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。结合图2和图3可以看出, 不论是高光强还是低光强下, 实生苗的  $P_n$  均大于扦插苗, 这说明实生苗比扦插苗具有更高的光能利用能力。

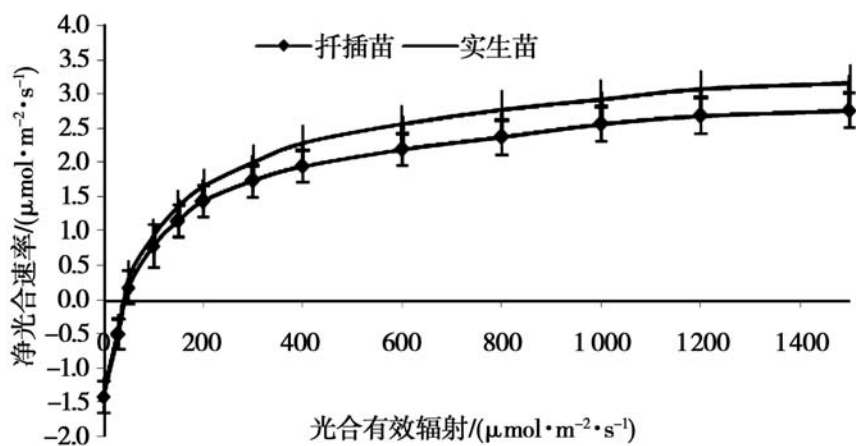


图2 实生苗和扦插苗的光响应曲线

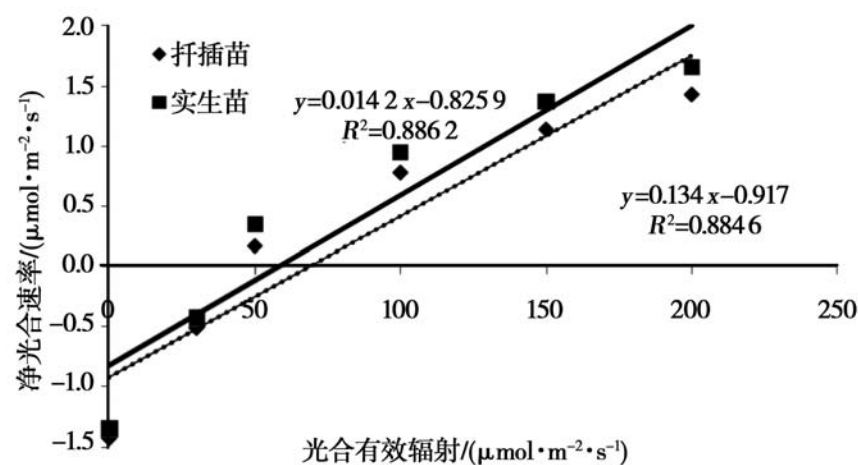


图3 实生苗和扦插苗的低光响应曲线

2.2.2 实生苗和扦插苗的光合参数拟合 由表2拟合结果可知, 公式(3)较好的模拟光合速率随光强的变化 ( $R^2 > 0.995$ ), 拟合程度达到了显著水平, 这说明拟合结果可以如实反应实际情况。从表2可以看出, 实生苗的表观量子效率高于扦插苗, 但没有达到显著差异。实生苗的光补偿点显著低于扦插苗, 二者的光饱和点无显著差异。实生苗在光补偿点和近光饱和点之间存在的光能利用范围大于扦插苗, 说明实生苗对光照适应范围比扦插苗更广一些。同时由表2可知, 实生苗的  $P_{max}$  显著大于扦插苗, 实生苗的暗呼吸速率显著低于扦插苗, 这说明实生苗叶片在无光条件下对光合产物的消耗比扦插苗要小。

表2 实生苗、扦插苗光响应特征参数

指标	实生苗	扦插苗
最大净光合速率/ $(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	4.67 $\pm$ 0.088a	4.29 $\pm$ 0.128b
表观量子效率	0.041 $\pm$ 0.003 2a	0.037 $\pm$ 0.003 5a
暗呼吸速率/ $(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	1.30 $\pm$ 0.34a	1.39 $\pm$ 0.33b
光饱和点/ $(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	387.74 $\pm$ 6.64a	388.58 $\pm$ 8.47a
光补偿点/ $(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	58.16 $\pm$ 2.64a	68.43 $\pm$ 2.64b
光能利用区间/ $(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	329.58 $\pm$ 6.53a	320.15 $\pm$ 11.15a

注: 所有数值为平均值  $\pm$  标准差 ( $n=5$ )。同列具有相同字母标记的数字间经  $t$  检验无显著差异。

### 2.3 光合生理日变化

2.3.1 净光合速率的日变化 由图4可以看出, 在测量期间温度、湿度相对稳定, 天气比较晴朗, 天气状况较为适合光合的观测。由图5可以看出, 实生苗的  $P_n$  日变化呈双峰曲线, 峰值分别出现上午10:00左右和下午4:00左右, 峰谷出现在下午1:00左右, 存在明显的“午休”现象; 而扦插苗的  $P_n$  日变化呈单峰曲线, 峰值出现在上午11:00左右, 然后  $P_n$  呈线性下降趋势, 无“午休”现象出现。同时, 根据图5计算出  $P_n$  日积累量即日积分值, 实生苗  $P_n$  的日积分值为  $13.48 \pm 0.59 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 扦插苗为  $12.17 \pm 0.71 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 实生苗的光合产物日积分值高于扦插苗。扦插苗的光合产物仅在上午积累, 这说明了扦插苗光能的利用效率相对较

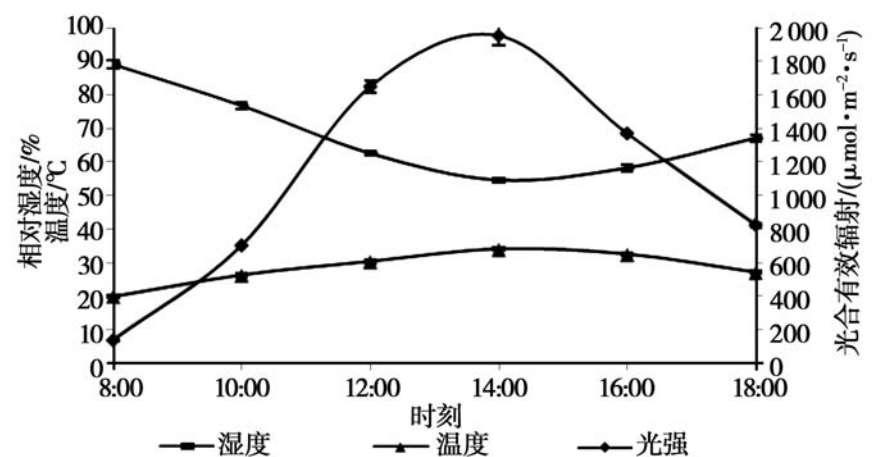


图4 试验样地主要环境因子的日变化

低, 而实生苗在一天的上午和下午均进行着较为活跃的光合活动。这说明实生苗比扦插苗光合产物日积累量高, 光合产量高, 干物质积累更多<sup>[18]</sup>。

2.3.2 水分利用效率(*WUE*)的日变化 从图5可以看出, 实生苗的水分利用效率日变化趋势呈双峰曲线, 出现了明显的“午休”现象; 扦插苗则成单峰变化趋势。实生苗的峰值出现在上午10:00左右和下午4:00左右, 低谷出现在下午1:00左右, 扦插苗的峰值出现在上午11:00左右, 然后呈逐渐下降趋势。同时也可以看出, 在大多数时间, 实生苗的水分利用效率高于扦插苗。根据图5计算出, 实生苗

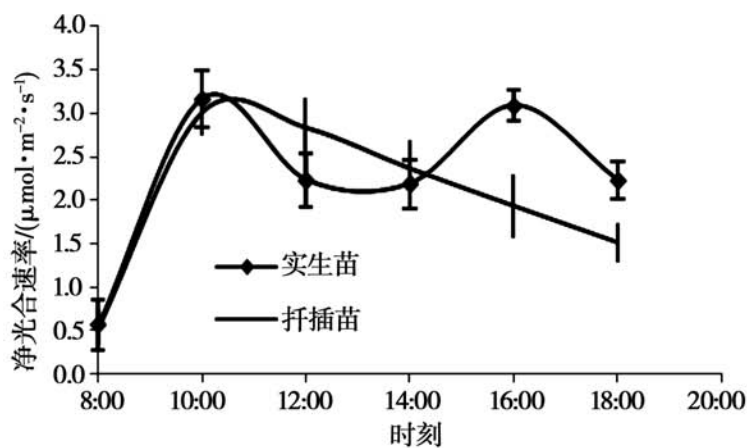


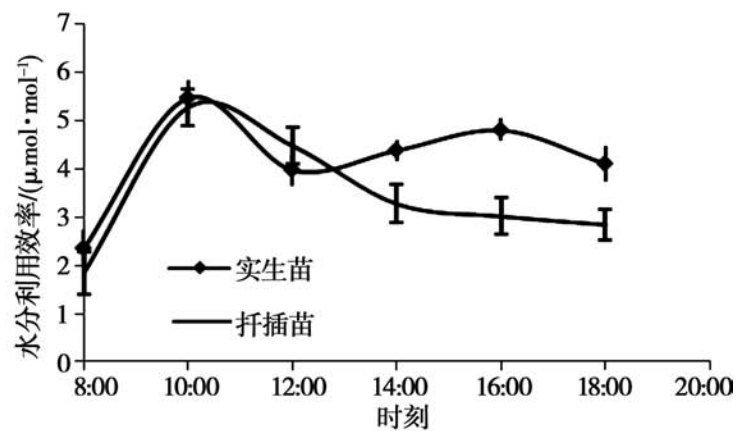
图5 实生苗和扦插苗光合生理指标的日变化

### 3 结论与讨论

从本实验结果看, 实生苗的冠幅和枝条总数显著大于扦插苗。最外层枝条数数量的多少对植物的光环境利用会产生很大影响<sup>[19]</sup>。光环境的不同可能会影响植物树冠对碳的获取<sup>[20]</sup>, 这势必会对植株的生长和干物质的积累产生影响。在叶片的遮阴相互影响不严重的情况下, 植物的干物质生产和产量与全株净光合能力呈正相关, 因此除通过改善光环境以增加对碳的获取外, 也可以通过提高光合速率增加作物的产量<sup>[21]</sup>, 朱春全等<sup>[22]</sup>研究也表明, 杨树的单株总生物量和生长季末的单株日光合总量存在密切的线性正相关关系。在本试验中, 在相同的条件下, 实生苗的 *Pn* 显著大于扦插苗, 暗呼吸速率显著低于扦插苗, 实生苗的生物量干质量显著大于扦插苗。可以推断, 实生苗的干物质积累能力和对光环境的适应能力要明显强于扦插苗。

Huston<sup>[23]</sup> 和 Wilson<sup>[24]</sup> 研究表明, 植物地下部分与地上部分生物量比值大小反映了其对土壤养分和光照的需求和竞争关系。从本实验来看, 实生苗生物量分配根和叶的比重均大于扦插苗, 但茎生物量和地上生物量部分的比重小于扦插苗。这主要是由

*WUE* 的日积分值为  $25.12 \pm 0.71 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ , 扦插苗 *WUE* 的日积分值为  $20.75 \pm 0.95 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。这说明实生苗总体的水分利用状况要好于扦插苗。同时, 从图5可以看出, 实生苗和扦插苗的 *Pn* 的日变化和 *WUE* 的日变化曲线的变化趋势相对一致。根据 *WUE* 的计算公式可以推断出, 实生苗和扦插苗的蒸腾速率的日变化趋势与其 *Pn* 的日变化趋势相对一致。因此可以进一步推断, 实生苗 *WUE* 出现“午休”现象可能是由于光合的“午休”现象引起。



于繁殖途径不同所致, 扦插苗是靠扦插穗繁殖, 所以其茎生物量比重较大。其次, 实生苗和扦插苗的地上生物量和地下生物量比值都大于1, 说明其地下部分对养分的需求和竞争能力较强。而扦插苗根系生物量较小会直接或间接导致其全株生存竞争能力低于实生苗<sup>[25-26]</sup>。

从实验结果看, 实生苗净光合日变化存在着明显的光合“午休”现象。植物光合“午休”可以减少水分损失和减轻光破坏, 是植物对环境适应的一种表现<sup>[27]</sup>。实生苗存在光合“午休”的原因可能由光照、温度、空气相对湿度变化引起气孔的开闭所导致。随着光照强度升高, 会导致光抑制的发生, 同时光照强度会影响温度和空气的相对湿度。所以光照强度可能是使实生苗产生光合“午休”现象的主导因素。植物光合作用的日变化类型并不固定, 它随着气候条件、生境及生育期的不同而不同<sup>[28]</sup>。实生苗和扦插苗净光合速率日变化曲线的差异, 一方面可能是由于扦插苗对光环境的适应能力不如实生苗, 它在遇强光时不能通过调节气孔的开闭来减少水分和能量的散失, 所以光合日变化呈单峰型曲线; 另一方面可能是观测季节的不同所致。周小玲等<sup>[28]</sup>在研究四川桉木光合日变化时发现, 其在6

月、9月呈双峰曲线型,4月和10月、11月呈单峰曲线型。所以对云南红豆杉不同季节和不同生长阶段的净光合速率的日变化还需进一步的探讨和研究。

总体来看,2年苗龄的云南红豆杉实生苗生长能力和干物质积累能力都强于扦插苗。这与傅瑞树<sup>[13]</sup>对南方红豆杉的研究结果比较一致。同时,实生苗对光环境适应能力也好于扦插苗。所以,在生产中使用实生苗可以获得更多的生长量和生物量,从而有利于经济效益的提高。通过对云南红豆杉扦插苗和实生苗幼苗的生长和光合特性差异的研究,可以为云南红豆杉的规模化生产制订科学的苗木发展战略,也可为完善云南红豆杉人工栽培技术体系提供科学依据和理论支持。

#### 参考文献:

- [1] 苏建荣, 张志钧, 邓 疆, 等. 云南红豆杉地理分布与气候的关系 [J]. 林业科学研究, 2005, 18(5): 510 - 515
- [2] Gregory R E, DeLisa A F. Paclitaxel: A new antineoplastic agent for refractory ovarian cancer [J]. Clin Pharm, 1993(12): 401 - 415
- [3] 王卫斌, 王达明. 云南红豆杉 [M]. 昆明: 云南大学出版社, 2006: 54 - 74
- [4] 王卫斌, 姜远标, 王达明, 等. 云南红豆杉药用原料林培育技术的建立 [J]. 林业科技, 2008, 33(1): 19 - 23
- [5] Chaumont M, Morot Gaudry J F, Foyer C H. Seasonal and diurnal changes in photosynthesis and carbon partitioning in *Vitis vinifera* leaves in vines with and without fruit [J]. Journal of Experimental Botany, 1994, 45(9): 1235 - 1243
- [6] Brzezinska E, Kozłowska M, Stachowiak J. Response of three conifer species to enhanced UV-B radiation; consequences for photosynthesis [J]. Polish J of Environ Stud, 2006, 15(4): 531 - 536
- [7] Christopher H Lusk, Ian Wright, Peter B. Reich. Photosynthetic differences contribute to competitive advantage of evergreen angiosperm trees over evergreen conifers in productive habitats [J]. New Phytologist, 2003, 160: 329 - 336
- [8] 张启昌, 赵 影, 其其格, 等. 东北红豆杉枝叶对不同 CO<sub>2</sub> 浓度的光合生理响应 [J]. 北华大学学报, 2006, 7(1): 66 - 70
- [9] Ayumi Tanaka. Photosynthetic activity in winter needles of the evergreen tree *Taxus cuspidata* at low temperatures [J]. Tree Physiology, 2007, 27: 641 - 648
- [10] 丁 磊, 胡万良. 遮荫对东北红豆杉苗期生长及光合特性的影响 [J]. 吉林林业科技, 2008, 37(1): 1 - 4
- [11] 芦站根, 赵昌琼, 韩 英. 不同光照条件下生长的曼地亚红豆杉光合特性的比较研究 [J]. 西南师范大学学报, 2003, 28(1): 117 - 121
- [12] 孙佳音, 杨逢建, 祖元刚. 遮阴对南方红豆杉光合特性和生活史型的影响 [J]. 植物研究, 2007, 27(4): 439 - 444
- [13] 傅瑞树, 黄 琦. 南方红豆杉扦插繁育技术研究 [J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(2): 62 - 63
- [14] 陈 波, 宋永昌, 达良俊. 木本植物的构型及其在植物生态学研究的进展 [J]. 生态学杂志, 2002, 21(3): 52 - 56
- [15] Thomas A McMahon, Richard E Kronauer. Tree structures: Deducing the principle of mechanical design. [J]. Journal of Theoretical Biology, 1976, 59(2): 433 - 466
- [16] Thornley J H M. Mathematical Models in Plant Physiology [M]. Academic Press( London), 1976: 86 - 110
- [17] 刘宇锋, 萧浪涛, 童建华, 等. 非直线双曲线模型在光合光响应曲线数据分析中的应用 [J]. 中国农学通报, 2005, 21(8): 76 - 79
- [18] 王康才, 张 媛, 陈 暄. 杭白菊与黄菊光合特性的比较研究 [J]. 南京农业大学学报, 2009, 32(2): 151 - 155
- [19] 黄 华, 梁宗锁, 韩蕊莲. 持续干旱胁迫对女贞形态与生长的影响 [J]. 林业科学, 2008, 44(8): 145 - 148
- [20] Hirose T, Werger M J A. Maximizing daily canopy photosynthesis with respect to the leaf nitrogen allocation pattern in the canopy [J]. Oecologia( Berlin), 1987, 72: 520 - 526
- [21] Bassham. Increasing crop production through more controlled photosynthesis [J]. Science, 1977, 197(4304): 630 - 638
- [22] 朱春全, 王世绩, 王富国, 等. 六个杨树无性系苗木生长、生物量和光合作用的研究 [J]. 林业科学研究, 1995, 8(4): 388 - 394
- [23] Huston M A, Smith T M. Plant succession: life history and competition [J]. The American Naturalist, 1987, 130(2): 168 - 198
- [24] Wilson J B. Shoot competition and root competition [J]. Journal of Applied Ecology, 1988, 25: 279 - 296
- [25] Putz F E, Canham C D. Mechanism of arrested succession in shrublands: root and shoot competition between shrubs and tree seedlings [J]. Forest Ecology and Management, 1992, 49: 267 - 275
- [26] Eric G Lamb, Steven W Kembel, James F Cahill Jr. Shoot, but not root, competition reduces community diversity in experimental mesocosms [J]. Journal of Ecology, 2009, 97: 155 - 163
- [27] 许大全. 光合作用的“午睡”现象 [J]. 植物生理学通讯, 1997(6): 466
- [28] 周小玲, 田大伦, 许忠坤, 等. 中亚热带四川桉木与台湾桉木幼林的光合生态特性 [J]. 中南林业科技大学学报, 2007, 27(1): 40 - 49