

西藏高原濒危植物西藏巨柏光合作用日进程

兰小中^{1,2}, 廖志华^{2*}, 王景升³

(1. 西藏大学农牧学院林学系, 西藏林芝 860000; 2. 西南师范大学生命科学学院, 重庆市甘薯研究中心, 重庆北碚 400715;

3. 西藏大学农牧学院高原生态研究所, 西藏林芝 860000)

摘要: 研究采用目前先进的光合作用测定系统 Li-Cor-6400 测定濒危物种西藏巨柏的光合作用, 自然环境条件下的西藏巨柏光合日进程表现为单峰型曲线, 在 12:00 时左右达到最高峰, 其光合作用不存在“午休现象”。在 12:00 时, 西藏巨柏的气孔限制值和水分饱和亏缺分别达到最大值, 此时的水分利用效率较高, 在 9:00 时, 西藏巨柏获得一天中最大的表观量子效率, 水分利用效率达到最大值。其蒸腾速率在 13:00 时最大, 这个时间并不与光合速率最大值同步, 这说明在西藏特殊的气候环境条件下, 影响光合速率的因素很多。在光合速率的日进程中, 高光合速率值 (大于 $4.00 \mu\text{mol CO}_2 / (\text{m}^2 \cdot \text{s})$) 持续时间在 5h 左右, 这使得西藏巨柏的光合作用产物得以有效积累, 也为西藏巨柏在半干旱环境中的生长创造了有利条件。

关键词: 西藏巨柏; 光合作用; 表观量子效率; 日进程

文章编号: 1000-0933(2005)12-3172-04 中图分类号: Q 945 文献标识码: A

The diurnal course of photosynthesis of the endangered species Tibetan Cupressus gigantea in Tibet Plateau

LAN Xiao-Zhong^{1,2}, LIAO Zhi-Hua^{2*}, WANG Jing-Sheng³ (1. Forestry Department, Agriculture and Animal Husbandry College, Tibet University, Linzhi 860000, China; 2. School of Life Sciences, Chongqing Sweetpotato Research Center, Southwest China Normal University, Chongqing 400715, China; 3. Research Institute of Plateau Ecological, Agriculture and Animal Husbandry College, Tibet University, Linzhi 860000, China). Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(12): 3172~ 3175

Abstract: The photosynthesis of the endangered species, Tibetan *Cupressus gigantea*, was analyzed with Li-6400. The curve representing the diurnal course of the photosynthetic rate of Tibetan *Cupressus gigantea* has a single peak, at which the photosynthetic rate reaches the maximum value at 12:00. And this indicates that there existed no “midday depression” in the photosynthesis of Tibetan *Cupressus gigantea*. The stomatal limitation and water pressure saturation deficits of leaf also reached maximum values at 12:00 AM and at this moment the water utilization efficiency was still high, but it was lower than the highest water utilization efficiency at 9:00 in the morning. At 9:00, the apparent quantum yield of Tibetan *Cupressus gigantea* also reached the maximum value in a day. The transpiration rate had the maximum value at 13:00, which was not in parallel with the photosynthetic rate in time. In the diurnal variation of photosynthetic rate, the photosynthetic rate maintained at a relatively high level (more than $4.00 \mu\text{mol CO}_2 / (\text{m}^2 \cdot \text{s})$) for about 5 hours. This increased the overall production of photosynthates in daily course and was advantageous to the growth of Tibetan *Cupressus gigantea* in the semi-drought environment in Tibet.

Key words: Tibetan *Cupressus gigantea*; photosynthesis; apparent quantum yield; diurnal course

西藏巨柏 (*Tibetan Cupressus gigantea*) 的树龄高达 2500 余年, 其水分和矿质元素的运输通道已严重衰退, 光合作用受到严重影响, 目前处于衰退时期, 加之种子繁殖能力弱, 鸟类 (如鸢) 和鼠类对种子资源的破坏也极为严重, 导致西藏巨柏处于非常

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30260020)

收稿日期: 2004-08-16; 修订日期: 2005-07-05

作者简介: 兰小中 (1973~), 男, 四川大竹人, 讲师, 主要从事植物生理生态学研究。E-mail: xiaozhonglan2003@tom.com

* 通讯作者 Author for correspondence E-mail: zhihualiao@yahoo.com

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (No. 30260020)

Received date: 2004-08-16; Accepted date: 2005-07-05

Biography: LAN Xiao-Zhong, Lecture, mainly engaged in plant physiological ecology. E-mail: xiaozhonglan2003@tom.com

严峻的濒危境地。西藏巨柏是西藏裸子植物门柏科的典型子遗植物之一,对区域植被的建成和群落演替有很大影响^[1]。目前处于濒危状态,是国家一级保护植物。植物的光合作用是研究植物生长生理过程的基本内容之一。目前,国内外对柏科植物的光合特性研究极少,对西藏巨柏的研究则处于空白状态。

本文主要研究濒危植物西藏巨柏的光合作用日进程。从获得的年轮资料和气象数据看,西藏巨柏的寿命有的高达 2500 余年,对西藏巨柏进行光合研究,可以为以后在西藏开展全球气候变化研究提供一些借鉴。

1 研究地概况

开展本项研究的地点位于林芝县大柏树保护区,该地位于八一镇前往林芝县方向 9 km 处,为半湿润气候区,海拔 3 000~3 150m (研究地海拔分布范围),年均气温 8.7℃,大于 5.0℃ 年均积温 2 892.6℃,年均降水量 688.1mm,年均蒸发量 1792.2mm,相当于年均降水量的 2.6 倍,年均日照时数 1 710.3h,无霜期 170d。土壤土层较厚,以山地棕壤为主。植被以稀疏的耐干旱植物为主,草本主要有狗尾草(*Setaria viridis* Beauv.)、米林黄芪(*Astragalus nangxianensis* P. C. Lo et Ni)等植物,灌木主要有川滇高山栎(*Quercus aquifolioides* Rehd et Wils.) (注:川滇高山栎在林芝地区因樵采等因素皆长成灌木状)、工布小檗(*Berberis kongboensis* Ahrendt)等。

2 材料与方方法

鉴于巨柏生长缓慢的特点,本研究采用天然巨柏幼树(50a)作为实验材料。由于西藏巨柏的耐干旱能力特强,所以选用的西藏巨柏生长在较为干旱的自然生态环境中。本项目的光合作用日进程研究,采用目前先进的美国生产的 Li-Cor-6400 便携式光合作用测定系统测定。Li-Cor-6400 与 Li-Cor-6200 有很大的不同之处,它是开放式系统,能准确快速测定叶片光合速率、蒸腾速率、光合有效辐射、空气温度、空气相对湿度、空气压力、空气 CO₂ 浓度、叶片温度、叶片气孔导度、胞间 CO₂ 浓度^[2]。

此外,叶片水分利用效率为光合速率与蒸腾速率的比值,表观量子效率为光合速率与光合有效辐射的比值,气孔限制值的计算式为 $L_s = (C_a - C_i) / (C_a - J)$,其中, C_a 为大气 CO₂ 浓度, C_i 为胞间 CO₂ 浓度, J 为 CO₂ 补偿点,在此忽略不计^[3]。

3 结果与讨论

植物光合作用对碳的同化积累是植物生长和生产力形成的基础。根据许大全学者的论述,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。西藏巨柏在藏东南这种特殊的半干旱地区,并且在一天当中环境因子(如光照、气温)的变化也很多,“太阳雨”是该地区夏季最典型的特征,因此,西藏巨柏的光合日进程尽管表现为“单峰型”曲线,但在一天当中的起伏却非常明显。

一般植物光合作用的研究选用叶龄成熟位于树冠上部的阳叶(功能叶片),而且通常选用南向叶片。

从图 1 可以看出,无论是在 7 月、8 月份还是 10 月份测定的西藏巨柏光合速率,其日进程均呈凸形曲线,光合速率日变化呈单峰型。本文主要引用的是在 2003 年 7 月测定的数据,因为此时的巨柏处于生长旺季。从图 1 还可以看出,在 3 个不同的时间段内测定的净光合速率其日进程的变化趋势基本一致。在 11:00~13:00 时间范围内,其净光合速率达到一天的峰值。相对而言,早上的光合速率要明显高于傍晚时分的光合速率,这是因为在自然的环境条件下,植物通过一夜的呼吸,使环境中早上的 CO₂ 浓度略有上升,而傍晚由于白天植物的呼吸作用使得环境中 CO₂ 浓度偏低所致。当然,环境中的光照在一天中也是从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。

西藏巨柏的表观量子效率的日进程见图 2,它从 8:00 时的 0.0153 下降到 12:00 时的 0.0114,到 14:00 时又有所回升(0.0194)。

从图 2 还可以看到,西藏巨柏胞间 CO₂ 浓度日变化的趋势与其净光合速率日变化趋势正好相反。后者呈标准的单峰型,即 12:00 时出现峰值,早、晚较低;而前者呈现早晚高中午低的形势,其低谷出现在 12:00 时(285 μmol CO₂/mol air)。这是因为,光合作用愈强,消耗的 CO₂ 就愈多,而气态的 CO₂ 在液相的胞间和胞内存在着扩散阻力,因此,胞间 CO₂ 得不到迅速的补足,浓度就会下降;反之,若光合作用强度小,胞间 CO₂ 浓度就会增加^[4]。造成这种结果的原因主要是气孔阻力,凡是能影响光合作用和叶片水分状况的各种因素,都会影响气孔的运动^[5]。气孔开放速率和开放度的大小随光强的增加而增大。光对气孔导度的影响是直接的,加强质子动力势,而不是间接的通过光合作用引起胞

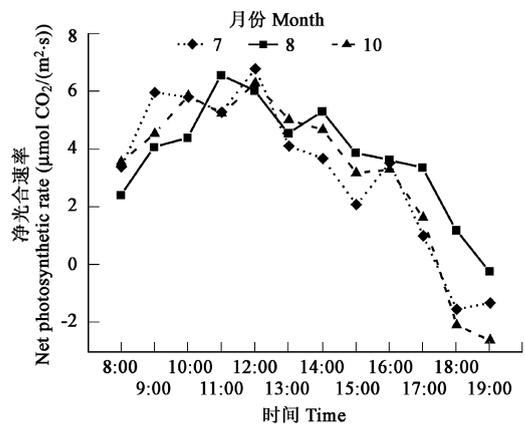


图 1 西藏巨柏不同日期光合速率日进程

Fig 1 Diurnal course of net photosynthetic rate of Tibetan *Cupressus gigantea* in different date

间 CO₂ 浓度而发生的^[6]。

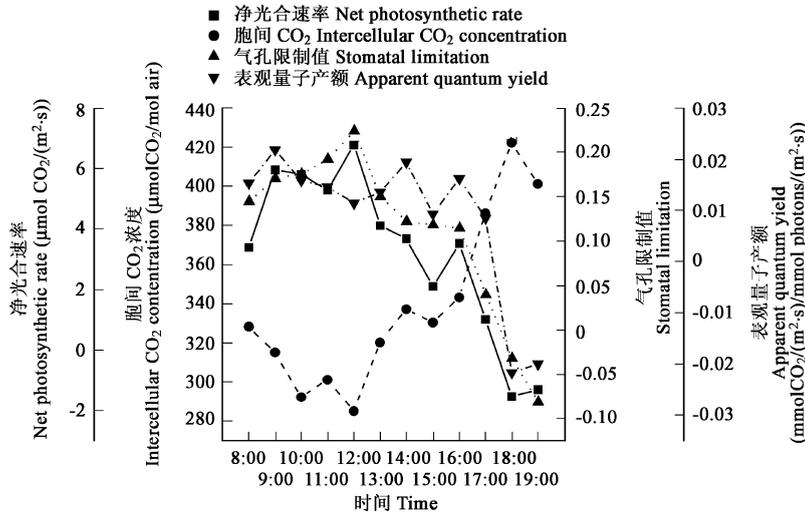


图2 西藏巨柏光合作用重要参数日进程

Fig. 2 Diurnal course of important parameters in photosynthesis of Tibetan *Cupressus gigantea*

由图 2 和图 3 可以看出, 西藏巨柏的光合速率日变化主要是受光合有效辐射的影响, 但温度对光合速率的影响没有光照那么明显。在藏东南的夏季, 白天气候变化通常很复杂, 一天当中要下 3~ 4 次雨, 因此环境因子对光合速率的影响变得极为复杂, 从图 3 可以看出, 由于降雨的缘故(根据实验时的天气变化记录)环境中的相对湿度出现了起伏变化, 然而, 气孔表面又和大气接触, 环境的高湿状态使得气孔蒸腾减弱, 从而影响西藏巨柏的光合速率。其环境因子的日变化参见图 3。

植物的光合作用过程伴随着叶片的蒸腾耗水过程。蒸腾作用的强弱是表明植物水分代谢的一个重要生理指标。一般来说, 光合速率高蒸腾速率也高, 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, 但是过高的蒸腾会导致叶片气孔出现部分关闭的现象, 从而引起光合速率下降。

西藏巨柏蒸腾速率的日进程同样受到环境因子日进程的影响。从图 4 可以看出, 在 12: 00 时, 由于叶片温度达到最高值(气温作用的结果)和叶面蒸汽压亏缺(大气相对湿度作用的结果), 导致西藏巨柏蒸腾速率最剧烈(1.494 mm H₂O/(m² · s))。

4 结论

西藏巨柏光合速率呈单峰型, 在 12: 00 时达到峰值(6.78), 它主要受到气温、叶温、光合有效辐射、相对湿度、蒸腾速率、大气 CO₂ 浓度、胞间 CO₂ 浓度、气孔阻力和饱和水压亏缺等因素的影响, 并且各种因素对光合速率的影响程度不同^[7]。西藏巨柏的日进程曲线, 与其它地区植物的日进程单峰曲线有所不同, 在一天中出现了一些小的波动, 这是由藏东南在夏秋时节变化无常的天气情况决定的。

西藏巨柏的表观量子效率在一天中以下午 14: 00 时最高(0.0194)。

西藏巨柏胞间 CO₂ 浓度的日变化与光合速率日变化趋势相反, 即早晚高、中午低, 12: 00 时达到低谷(285 μmol CO₂/(mol air)), 这是由于在 12: 00 时, 光合速率达到最大值, 消耗 CO₂ 最多, 但又不能及时补给造成的, 这主要是因为气孔下腔细胞间隙中 CO₂ 浓度和气孔导度之间存在一个反馈环: 当细胞间隙中 CO₂ 浓度降低时, 气孔导度增加, 使更多的 CO₂ 进入叶肉叶片, 结果叶片内 CO₂ 浓度提高所致。

西藏巨柏蒸腾速率的日进程亦为标准的单峰型, 在 12: 00 时蒸腾最为剧烈(1.494 mm H₂O/(m² · s))。

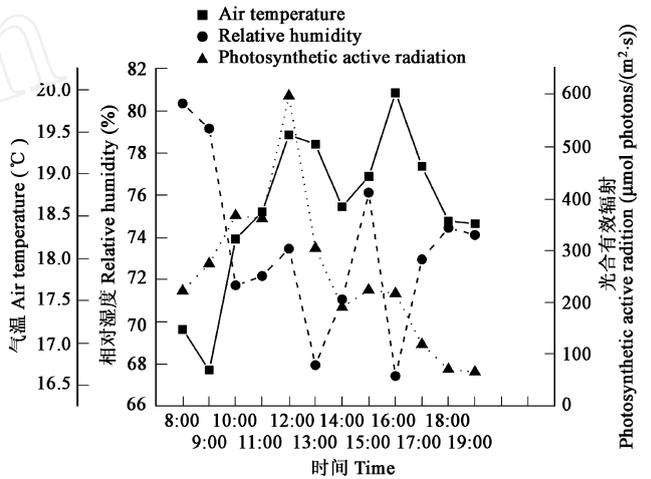


图3 西藏巨柏天然生境环境因子日变化

Fig. 3 Diurnal change of environmental factors for Tibetan *Cupressus gigantea* in natural ecological environment



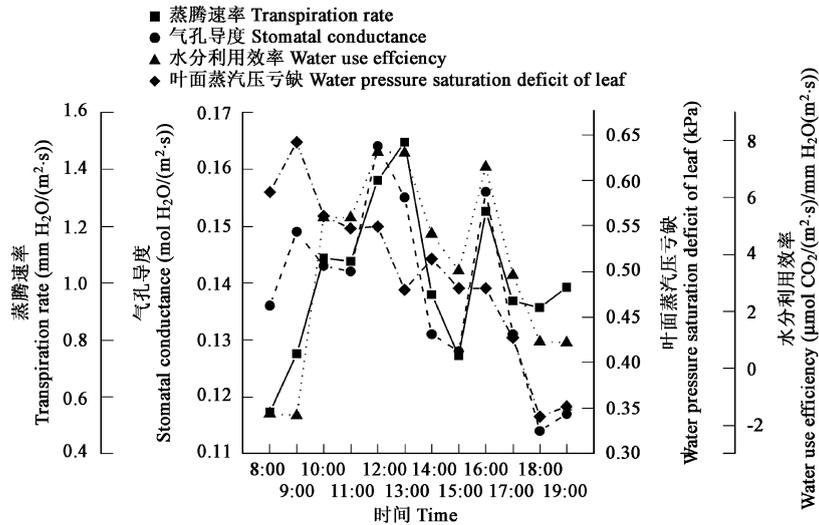


图4 西藏巨柏水分关系重要变量日进程

Fig 4 Diurnal course of important variable in water relation of Tibetan *Cupressus gigantea*

从西藏巨柏光合作用日进程的研究发现, 西藏巨柏的水分利用效率相对较高, 这表明西藏巨柏对半干旱环境有很好的适应性。由于该物种树龄较高, 体内的水分和矿质元素运输通道已严重衰退, 导致其整体光合速率较低。

References

- [1] Wu Z Y ed. *Tibet Flora* (Vol 1). Beijing, Science Press, 1983. 386
- [2] Sun B, Yang G T, Li H. The age structure and community replaced of birch population. *Journal of Northeast Forestry University*, 1994, 23(3): 43~ 48
- [3] Wang A M, Liu Z X, Zu Y G. Daily course of photosynthesis in seedling of natural birch. *Journal of Shanghai University*, 2000, 4 (Suppl): 202~ 205
- [4] Zhang D P, Huang C L, Wang X C, et al. Research and utilization of daily course photosynthetic rate and quantum efficiency on grape leaves. *Acta Botanica Sinica*, 1995, 37(1): 25~ 33
- [5] Pan R C. Transpiration. In: Pan R C ed. *Physiology*. Beijing: Higher Education Press, 2004. 16~ 21.
- [6] Xu D Q. The stomatal limitation of photosynthesis. In: Xu D Q ed. *The efficiency of photosynthesis*. Shanghai: Shanghai Scientific & Technological Press, 2002. 84~ 98
- [7] Guo Z H, Zhang H D, Li Z A, et al. The photosynthetic characteristics in leaves of *Liriodendron Chinese* seedlings in M T. Lushan. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(2): 164~ 169.

参考文献:

- [1] 吴征镒主编. 西藏植物志(第1卷). 北京: 科学出版社, 1983. 386
- [2] 孙冰, 杨国亭, 李弘. 白桦种群的年龄结构及群落演替. 东北林业大学学报, 1994, 23(3): 43~ 48
- [3] 王爱民, 刘志学, 祖元刚. 天然白桦种苗光合作用日进程. 上海大学学报, 2000, 4(增刊): 202~ 205
- [4] 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. 植物学报, 1995, 37(1): 25~ 33
- [5] 潘瑞炽. 蒸腾作用. 见: 潘瑞炽主编. 植物生理学. 北京: 高等教育出版社, 2004. 16~ 21.
- [6] 许大全. 光合作用的气孔限制. 见: 许大全主编. 光合作用效率. 上海: 上海科学技术出版社, 2002. 84~ 98
- [7] 郭志华, 张宏达, 李志安, 等. 鹅掌楸苗期光合特性的研究. 生态学报, 1999, 19(2): 164~ 169