

三种松树的生理生态学特性研究*

曾小平** 赵平 彭少麟 余作岳 蔡锡安 (中国科学院华南植物研究所, 广州 510650)

【摘要】 测定南亚热带丘陵地马尾松、湿地松和加勒比松光合速率、蒸腾速率、日同化量和水分利用效率的变化。结果表明, 3种松树光合速率和蒸腾速率都具有明显的日变化和季节变化, 夏季的光合速率和蒸腾速率最高, 冬季最低; 加勒比松的平均日同化量为 $9.34\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、平均水分利用效率为 $159.75\mu\text{molCO}_2\cdot\text{g}^{-1}\text{H}_2\text{O}$, 高于其它树种; 湿地松最低。加勒比松是很好的引种树种, 更适合在当地推广。

关键词 松树 光合速率 蒸腾速率 水分利用效率

Physioecological characteristics of three species of pine. Zeng Xiaoping, Zhao Ping, Peng Shaolin, Yu Zuoyue and Cai Xi'an (South China Institute of Botany, Academia Sinica, Guangzhou 510650). - *Chin. J. Appl. Ecol.*, 1999, 10(3): 275~ 278.

The photosynthetic rate, transpiration rate, daily CO_2 assimilation quantity and water use efficiency of *Pinus massoniana*, *Pinus elliottii* and *Pinus caribaea* in hilly regions of south subtropics of Guangdong were measured. The photosynthetic and transpiration rate of test pines displayed daily and seasonal variations, with the maximum in summer and the minimum in winter. Among the test pines, *P. caribaea* had the highest annual average daily CO_2 assimilation and water use efficiency, indicating that is more adaptive to the local environment, and should be widely popularized in this study area.

Key words Pine, Photosynthetic rate, Transpiration rate, Water use efficiency.

1 引言

植物引种试验是退化生态系统的恢复和优化生态系统组建的重要内容。通过引种试验, 可增加系统的多样性, 促使系统内各种反馈机制的形成, 增强系统内各子系统间的协调作用, 促进系统稳定性的提高; 同时可筛选速生、丰产、适应性强的先锋植物进行推广, 提高系统的生产力^[5]。鹤山站自建站以来, 从国内外引种了170多种木本植物, 营造多种类型的人工林试验区, 对先锋树种的优化选择及合理配置进行了试验; 1990年开始, 开展了植物生理生态学的研究工作, 在阔叶林方面已做了一些报道。针叶林是广东经济用材的主要资源, 全省针叶林面积占用材林总面积的65%左右, 不仅能提供大量的用材和林产品, 而且在水土保持、环境保护及维护陆地生态平衡等方面均起着重要作用^[7]。如何合理选种、配置营造针叶林是主要课题, 关于南亚热带针叶林主要建群树种的生理生态学特性还未见较全面报道。为此, 我们测定了针叶混交林中主要建群种的一些生理生态指标, 探讨其对周围环境的适应性, 为造林绿化树种配置和计算机建模提供依据。

2 材料与方法

2.1 测定地点和植物

野外测定在中国科学院鹤山丘陵综合试验站的针叶混交

林试验区进行, 鹤山站地理位置及自然条件见文献[8]。测定树种有: 马尾松(*Pinus massoniana*)、湿地松(*Pinus elliottii*)和加勒比松(*Pinus caribaea*)。其中湿地松和加勒比松为从国外引种植物, 马尾松为本地树种。

2.2 测定方法

用日产常陆-堀场(Hitachi Horiba)ASSA 1610型多通道红外分析仪, 采用开放式系统连体测定针叶 CO_2 浓度交换量; LF-1600型稳态气孔计测定光合作用有效辐射(PAR)、大气温度(T_a), 蒸腾速率测定采用快速称重法, Sartorius电子天平测定针叶重量, 选取阳生成熟针叶束, 每月中旬测定, 每天从8:00~18:00, 每隔2h测定1次, 连续测定3d, 取平均值; 在1992年1月和7月昼夜测定针叶气体交换量, 1994年7月和10月昼夜测定针叶气体交换量及蒸腾速率; 用丙酮提取叶绿素, 721型分光光度计测定提取液的光密度值, 根据Arnon公式计算叶绿素含量^[1]。

3 结果与讨论

3.1 针叶含水量的日变化

从表1可看出, 在旱季(11月), 针叶含水量日变化不明显, 从早到晚处于相对稳定状态, 日平均值最高的是湿地松(57.84%), 最低是马尾松(54.04%), 加勒比松针叶含水量为56.23%, 接近最高的湿地松; 日变

* 国家自然科学基金重大项目(39899370)、中国科学院“九五”重大项目(KZ95FBF110)和所长基金资助项目。

** 通讯联系人。

1997-03-20收稿, 1997-12-28接受。

化最大的是马尾松 (7.8%), 变化最小的是加勒比松 (2.07%)。结果表明针叶含水量较低, 接近维持细胞生活的低限^[4], 该地区年平均降雨量达 2000mm, 但分布不均, 有明显的干、湿季之分, 在旱季造成植物不同程度的水分胁迫。

表 1 3 种松树针叶含水量的日变化

Table 1 Daily variation of water content in three pines fascicles of needles (%)

时间 Time	马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	湿地松 <i>Pinus elliotii</i>	加勒比松 <i>Pinus caribaea</i>
8◇00	53.59	59.62	59.81
10◇00	53.71	57.87	59.43
12◇00	58.81	58.09	58.03
14◇00	51.01	56.53	58.04
16◇00	55.21	58.16	57.74
17◇00	52.53	56.76	57.74
平均 Mean	54.04±2.46	57.84±1.12	56.23±1.28

测定时间: 1994 年 11 月 Measurement time: Nov., 1994.

3.2 针叶气体交换的日变化

图 1 表明, 3 种松树都具有明显的日变化, 在 1 月, 光合速率日变化呈单峰曲线, 早晨由于光强和气温

较低致使光合速率也很低, 随着气温和光照强度的上升, 气孔开放, 光合速率增高, 至中午升至最高, 其中湿地松和加勒比松峰值出现在 12◇00 左右, 马尾松在 14◇00 左右到达高峰, 之后随着气温降低和光强减弱而逐渐下降, 当光合有效辐射降至接近或等于 0 时, 针叶处于较平稳的呼吸状态。在 7 月, 光合速率日变化呈双峰曲线, 早上逐渐升高, 在 10◇00 左右形成第一峰值, 午间有所下降, 后又逐渐回升, 在 14◇00 左右形成第二峰值, 夜间处于较稳定的呼吸状态。由于冬季日照时间短, 光强和气温较夏季低, 造成植物光合时间少于夏季, 光合和呼吸强度也低于夏季。在 7 月光合作用出现“午休现象”, 有学者认为在高光照强度下, 特别是热天, 由于过度消耗水分造成气孔关闭, 气孔传导率下降^[10], 本文测定结果与上述观点一致。在南亚热带地区的夏季, 气温和光照强度都比其它季节高, 特别是气温, 高达 30℃ 以上。7 月植物光合速率日变化呈双峰曲线, 这是因为 7 月中午气温和光照强度高所致, 光合速

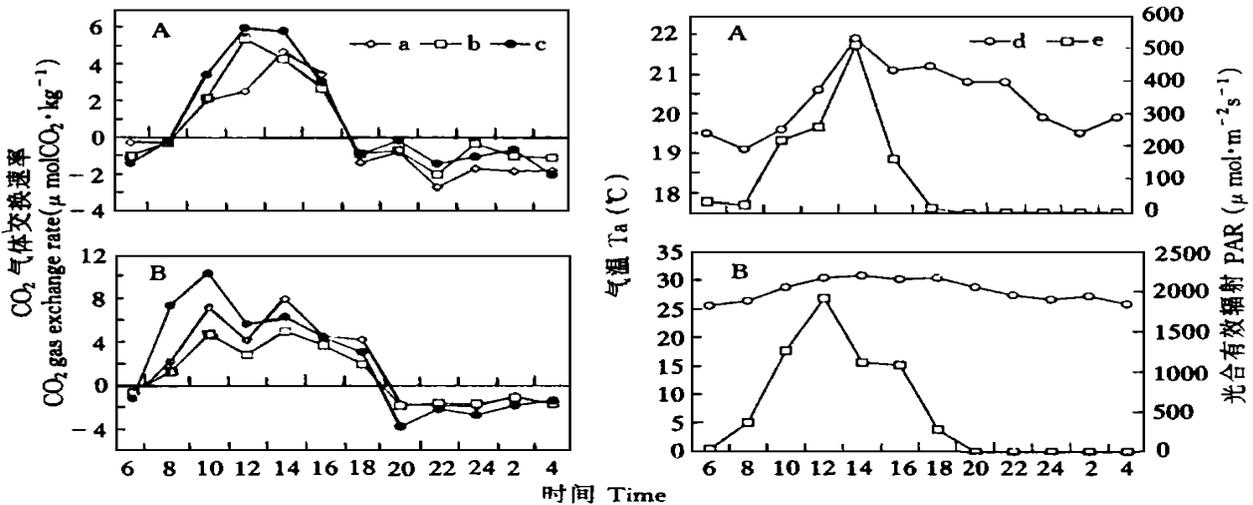


图 1 3 种松树针叶 CO₂ 气体交换速率及相应环境因子的日变化

Fig. 1 Diurnal variation of CO₂ gas exchange rate in three pines fascicles of needles and environmental factors.

a) 马尾松 *Pinus massoniana*, b) 湿地松 *Pinus elliotii*, c) 加勒比松 *Pinus caribaea*, d) 气温 Ta, e) 光合有效幅射 PAR; A. 1 月 Jan., B. 7 月 Jul. 下同 The same below.

率不同季节日变化曲线不同, 不同种也有差异。这主要与植物内生节律及环境条件有关, 是植物对环境适应的表现^[13]。

3.3 光合作用的季节变化

表 2 表明, 3 种松树存在着较相似的季节变化, 在夏季和秋季, 植物光合作用较强, 夏季光合速率最高; 在春季和冬季, 植物光合作用相对较弱, 冬季植物光合速率最低; 年平均光合速率最高的是加勒比松 (6.94), 其次是马尾松 (5.96) 和湿地松 (5.29)。夏季光照时间长, 且较长时间维持较高的光合速率, 加勒比松、马尾

松和湿地松白天日同化量 (CO₂ 同化量转换成干物质的参数以 0.67 计算) 分别为 11.41、9.87 和 8.85 · kg⁻¹, 而冬季则与夏季相反, 光合速率低, 加勒比松、马尾松和湿地松白天日同化量仅为夏季的 50.0%、54.6% 和 43.1%; 3 种松树平均日同化量分别为加勒比松 9.34、马尾松 7.58 和湿地松 6.73, 而晚间平均呼吸消耗为加勒比松 3.67、马尾松 3.12 和湿地松 2.05, 说明白天同化量高的树种, 晚间呼吸消耗也大, 这与当地阔叶树测定结果一致^[3]; 有关生物量研究结果表明, 马尾松群落生物量明显高于湿地松群落^[9],

表 2 3 种松树光合速率的季节变化

Table 2 Seasonal variation of photosynthetic rate in three pines fascicles of needles ($\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

季节 Season	马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	湿地松 <i>Pinus elliotii</i>	加勒比松 <i>Pinus caribaea</i>	气温(T_a) ($^{\circ}\text{C}$)	光合有效辐射(PAR) ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
春季 Spring	4.76	5.40	6.59	27.11	341.50
夏季 Summer	7.75	6.95	8.96	29.85	963.14
秋季 Autumn	7.09	5.80	7.74	24.89	908.88
冬季 Winter	4.23	2.99	4.48	17.98	310.25
平均 Mean	5.96 ± 1.72	5.29 ± 1.67	6.94 ± 1.91	24.96 ± 5.07	623.72 ± 347.45

本文从光合产量的角度也证实这一结论。

3.4 叶绿素含量

叶绿素是光合作用中重要的光能吸收色素, 植物光合作用速率与叶绿素含量有密切关系, 不同植物的叶绿素含量不同, 从表 3 可以看出, 在旱季 12 月, 叶绿素含量最高的是马尾松(0.91), 其次为加勒比松(0.66)和湿地松(0.56); 叶绿素 a/b 比最大也是马尾松(1.93), 最小的是湿地松(1.80). 邓瑞文等^[2]测定了热带地区植物的叶绿素含量, 结果表明, 随着叶子的衰老, 叶绿素含量逐渐降低, 本文测定的是 12 月份的

针叶, 估计应是一年中的较低值。

3.5 蒸腾作用的日变化

图 2 表明, 3 种松树蒸腾作用的日进程在 7 月和 10 月都呈单峰曲线, 上午蒸腾作用随光照和气温上升而逐渐增高, 在 12 \diamond 00 左右达到高峰, 然后又随着光照减弱和气温下降而降低; 在中午时段, 植物蒸腾速率较高, 夜间蒸腾速率较低, 特别是秋季晚上蒸腾速率低且变化不大; 7 月蒸腾速率比 10 月高, 在 7 月气温和光照强度都高于 10 月, 说明光照强度和气温是影响植物蒸腾作用的主要因子。

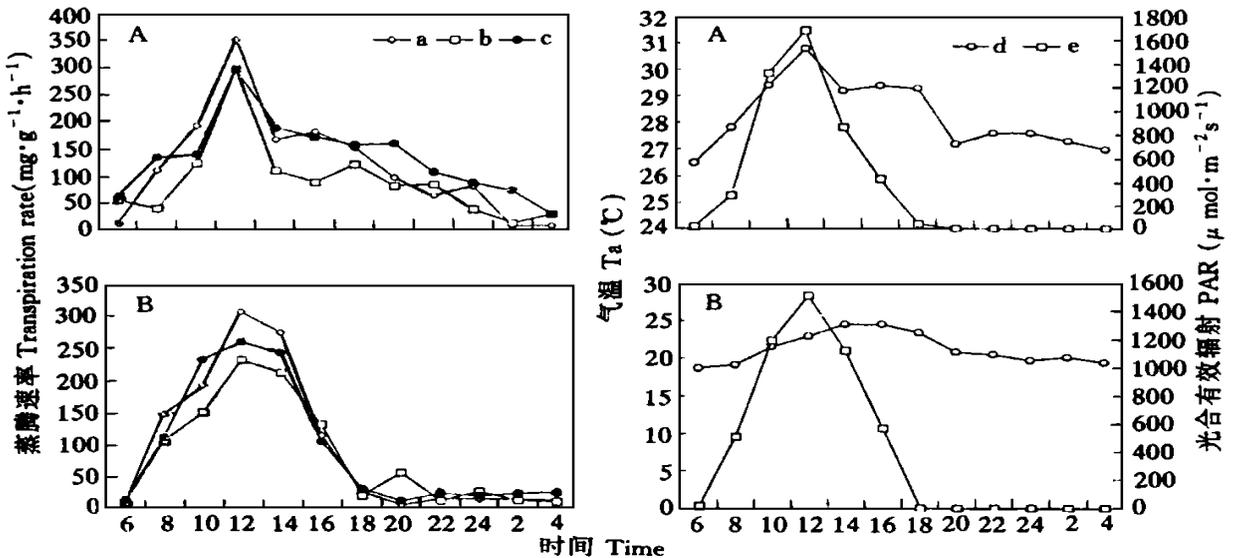


图 2 3 种松树针叶蒸腾速率及相应环境因子的日变化

Fig. 2 Diurnal variation of transpiration rate in three pines fascicles of needles and environmental factors.

A. 7 月 Jul., B. 10 月 Oct.

表 3 3 种松树叶绿素含量及叶绿素 a/b 比

Table 3 Chlorophyll content and chlorophyll a/b ratio in three pines fascicles of needles ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)

种名 Species	叶绿素 a Chl. a	叶绿素 b Chl. b	叶绿素 a+ b Chl. (a+ b)	叶绿素 a/b Chl. a/b
马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	0.60	0.31	0.91	1.93
湿地松 <i>Pinus elliotii</i>	0.36	0.20	0.56	1.80
加勒比松 <i>Pinus caribaea</i>	0.43	0.23	0.66	1.88

测定时间: 1994 年 12 月 Measurement time: Dec., 1994.

3.6 蒸腾作用的季节变化

3 种植物蒸腾速率都呈明显的季节变化(表 4), 夏季蒸腾速率较高, 冬季较低. 年平均蒸腾速率最高的是马尾松(171.55), 其次为加勒比松(154.50)和湿地松(148.49). 树木蒸腾作用强弱会直接影响干物质积累,

余健普等^[6]通过测定发现, 泡桐光合产量和蒸腾强度具有变动相似的趋势, 两者存在较大相关; Brown 等^[11]测定菲律宾雨林树木的季节生长, 指出水分短缺的旱季或雨季阴天蒸腾作用低, 生长量亦低. 从本文测

表 4 3 种松树蒸腾速率的季节变化

Table 4 Seasonal variation of transpiration rate in three pines fascicles of needles ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)

季节 Season	马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	湿地松 <i>Pinus elliotii</i>	加勒比松 <i>Pinus caribaea</i>
春季 Spring	202.73	156.17	148.54
夏季 Summer	192.98	172.57	185.77
秋季 Autumn	154.81	154.75	152.49
冬季 Winter	135.69	110.47	131.20
平均 Mean	171.55 ± 31.61	148.49 ± 26.61	154.50 ± 22.81

定结果看,在树木光合速率和日同化量高的季节,其蒸腾耗水量也大,这与有关学者得出的结论相似。

3.7 3种松树的水分利用效率(WUE)

在试验区,由于水分分布不均,形成每年10~12月为干旱季节,在旱季,水分是植物生长的主要制约因子之一;水分利用效率说明植物消耗单位重量水分所固定CO₂的数量,表示植物对水资源的利用水平。根据水分利用效率的定义及计算公式^[12]:

$$\text{水分利用效率(WUE)} = \frac{\text{光合速率(Pn)}}{\text{蒸腾速率(Tr)}} \\ (\text{单位: } \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{g}^{-1}\text{H}_2\text{O})$$

通过测得的针叶光合速率和蒸腾速率数值,得出水分利用效率结果(表5),可以看出,在冬季和春季植物的水分利用效率较低,在夏季和秋季则较高;年平均水分利用效率最高的是加勒比松(159.75),其次为马尾松(126.55)和湿地松(125.46),表明加勒比松更适应南亚热带的丘陵环境;年均水分利用效率高的加勒比松其日同化量也高,而年均水分利用效率低的湿地松日同化量也低;在夏、秋季,3种松树都具有较高的日同化量和水分利用效率,在春、冬季则相应较低;说明植物水分利用效率与日同化量有密切的相关性。

表5 3种松树水分利用效率的季节变化

Table 5 Seasonal variation of water use efficiency in three pines fascicles of needles ($\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{g}^{-1}\text{H}_2\text{O}$)

季节 Season	马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	湿地松 <i>Pinus elliottii</i>	加勒比松 <i>Pinus caribaea</i>
春季 Spring	84.53	124.48	159.71
夏季 Summer	144.57	144.98	173.63
秋季 Autumn	164.87	134.93	182.73
冬季 Winter	112.23	97.44	122.93
平均 Mean	126.55±35.42	125.46±20.47	159.75±26.31

4 结 论

4.1 在旱季,3种松树针叶含水量日变化不明显,湿地松含水量最高,马尾松最低;蒸腾作用具有明显的日变化和季节变化,夏季蒸腾速率较高,冬季较低,年平均蒸腾速率马尾松最高(171.55),湿地松最低(148.49)。

4.2 光合速率具有明显的日变化和季节变化,夏季较

高,冬季较低,年平均光合速率加勒比松最高(6.94),湿地松最低(5.29)。

4.3 白天,加勒比松日同化量最高(9.34),湿地松最低(6.73);同化量高的树种其晚间呼吸消耗量也大。

4.4 年平均水分利用效率加勒比松最高(159.75),湿地松最低(125.46)。

加勒比松和湿地松都是引种树种,而加勒比松较其它松类速生,在相同的地条件下,15年生的加勒比松胸径生长量比同龄湿地松大6%~38%,综合上述各项生理生态指标也说明,加勒比松具有高日同化量和水分利用效率,比马尾松和湿地松更适合于当地推广种植,是广东亚热带低海拔丘陵地区造林绿化的好树种。

参考文献

- 1 内蒙古大学生物系. 1984. 植物生态学实验. 北京: 高等教育出版社. 55~57.
- 2 邓瑞文等. 1984. 电白人工林主要建群植物的生理生态特性研究. 热带亚热带森林生态系统研究, 2: 132~144.
- 3 孙谷畴等. 1995. 亚热带季风常绿阔叶林植被恢复II. 木本豆科植物的气体交换. 应用生态学报, 6(2): 119~122.
- 4 孙谷畴等. 1990. 几种木本豆科植物旱季时的光合和蒸腾作用. 热带亚热带森林生态系统研究, 7: 60~68.
- 5 余作岳. 1990. 广东亚热带丘陵荒坡退化生态系统的植被恢复及优化模式探讨. 热带亚热带森林生态系统研究, 7: 1~11.
- 6 余健普等. 1982. 泡桐蒸腾作用的初步研究. 林业科学, 18(4): 417~421.
- 7 徐燕千主编. 1990. 广东森林. 北京: 中国林业出版社. 260~265.
- 8 曾小平等. 1995. 鹤山丘陵地4种木本豆科植物的蒸腾作用比较研究. 生态学报, 15(Supp. A): 68~72.
- 9 彭少麟等. 1991. 广东鹤山亚热带丘陵人工林群落分析IV. 针叶林. 生态学报, 1: 20~25.
- 10 P. J. 克累默尔等(汪振儒等译). 1985. 木本植物生理学. 北京: 中国林业出版社. 223~227.
- 11 Brown, W. H., Mathews, D. M. 1914. Philippine dipterocarp forests. *Philipp. J. Sci.*, A9: 413~561.
- 12 Fischer, R. A. et al. 1978. Plant production in the arid and semiarid zones. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 29: 227~317.
- 13 Loomis, R. S., et al. 1979. Explanatory models in crop physiology. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 30: 339~367.

作者简介 曾小平,男,1964年生,助理研究员,农学学士,主要从事植物生理生态研究,发表论文15篇. E-mail: zengxp@scib.ac.cn