

鼎湖山针阔叶混交林的第一性生产力研究

彭少麟 张祝平

(中国科学院华南植物研究所, 广州, 510650)

S 718.556

A

摘要 本文应用“树木收获法”和“气体分析法”, 结合凋落物收集数据, 综合测定了鼎湖山针阔叶混交林中的各种群第一性生产力以及群落的光。进一步综合分析表明, 该群落的叶面积指数为 11, 生物量为 $261 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 总生产力约为 $117.6 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 光能利用效率为 12%, 第一性生产力为 $20.9 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。由于该群落是南亚热带演替系列中间阶段的代表性类型, 因而本研究结果有助于了解本地带植被动态过程生产力发展规律和对能量的利用状况。

关键词 鼎湖山, 针阔叶混交林, 生物量, 第一性生产力, 光能利用效率。

1 群落的一般描述

鼎湖山自然保护区是联合国教科文组织人与生物圈定位研究站, 世界自然保护区网的成员。保护区位于广东省中部, 东经 $112^{\circ}30'39''$ — $112^{\circ}33'41''$, 北纬 $23^{\circ}09'21''$ — $23^{\circ}11'30''$, 属南亚热带季风气候。年平均气温 21°C 。年降雨量 1927 mm 。干湿季较明显, 以月降雨量 $< 50 \text{ mm}$ 、 $> 100 \text{ mm}$ 为划分干、湿、半湿的标准, 则 11、12 和 1 月份干, 3—10 月为湿, 2 月半湿。基本气候条件见图 1^[1,2]。

保护区面积约有 1200 hm^2 , 分布着多种森林类型。本文研究的针阔叶混交林马尾松-椎树-荷木群落多分布于地带性植被季风常绿阔叶林的边缘, 是人工或自然的马尾松林, 由于阔叶树的自然入侵而形成, 是演替系列中间阶段的典型代表类型。该群落垂直结构大致可分为 4 层, 乔木 2 层, 灌木 1 层, 草本 1 层, 此外还有多种藤本和附生等层间植物。组成种类以常绿树种占绝对优势。大部分属热带亚热带成分。为长期追踪观察群落动态, 于 10 年前已选取具代表性的林段建立永久样地。坡度约 30° , 坡向南 10° 西, 海拔 300 m 左右。地形起伏较大, 母岩为沙页岩, 土壤为赤红壤, 土层较薄, 一般厚度为 30 cm 。本文取样研究系在永久样地周围。

2 研究程序与方法

南亚热带地带性森林植被结构复杂, 有高的物种多样性, 空间结构无论地上地下均为多层次, 这使植被的生物量和第一性生产力研究均具有极大的难度。但对具体的种群, 采用合适的

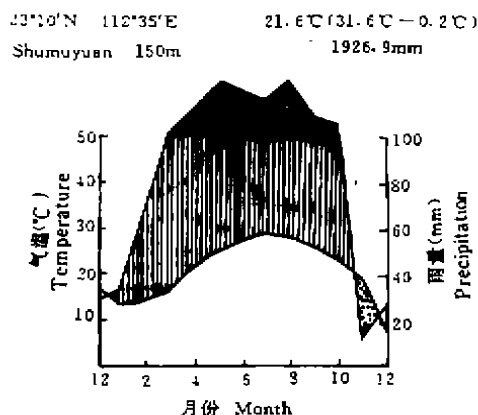


图1 气候图解

Fig. 1 Climate diagram

本研究先后得到中国科学院台站经费、中国科学院青年科学基金、国家自然科学基金的资助。中国科学院华南植物研究所、鼎湖山树木园十几位同志曾先后参加过野外工作, 特此致谢。

收稿日期: 1993 09 02, 修改稿收到日期: 1993 11 10

方法,有可能进行较准确的生物量和生产力的测定。特别是本混交林群落,优势种较明显。为此,采取分解的方法,测定群落中各个常见种群生物量和第一性生产力,对少见种参照同层已测的植物估算,然后进行综合。研究的技术路线简述如下。

2.1 种群生物量的测定

2.1.1 样地调查

调查 20 个 10m×10m 样地,记录样地中各种群在每层中的数量、每木高度和胸径。按以下公式计算各种群在每层中的标准木的胸径($\bar{D}$)和高度($\bar{H}$):

$$\bar{D} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i \quad (1)$$

$$\bar{H} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i \quad (2)$$

式中, n 为每层中种群总株数, d_i 和 h_i 为该层中第 i 株植物的胸径和高度。

2.1.2 参照各层的标准木收获样木

按公式(1)和(2)计算的结果挑选样木。每个种在每层的样木不少于 2 株。分别收获样木茎(树木)、枝条、根、叶,然后称重。选取一定量的茎圆盘、枝、根、叶的样品于实验室分析。于烘箱 80℃ 恒温至干重。据此计算植物的鲜、干重比。根据野外样木的收获数据计算植物各部分的生长关系式。一般林木的生长关系式和其对数式分别为:

$$W = a(D^2H)^b \quad (3)$$

$$W = \log a + b \log(D^2H) \quad (4)$$

式中, W 为各相应部分生物量, D 、 H 分别为胸径和树高。用(4)式作为回归方程,由实测数据求出各部分的生长关系式中的 a 、 b 系数。再由样地调查数据可求出种群各部分的生物量各总生物量。林下草本层(第 4 层)采用 5 个 2m×2m 样地每木收获。

2.2 种群生产力测定

用 QGD-07 型和 FQ 型红外线 CO₂ 分析仪,自制的开路叶室和呼吸装置,分别在野外不离体地测出植物光合和呼吸时叶室或呼吸装置内外 CO₂ 气体浓度差,依下公式进行计算。

$$F_n = \frac{\Delta C \cdot V}{A \cdot 10^3} \times \frac{44}{22.4} \times \frac{273}{273 + T} \times \frac{P}{760} \quad (5)$$

$$R = \frac{\Delta C \cdot V}{gWD \cdot 10^3} \times \frac{44}{22.4} \times \frac{273}{273 + T} \times \frac{P}{760} \quad (6)$$

式中, ΔC 为叶室或呼吸装置内外气体 CO₂ 浓度差; V 为叶室或呼吸装置内外气体流量(L/h); A 为叶面积(dm²); gWD 为呼吸器官(指茎、根、枝,下同)的干重(g); F_n 为净光合作用速度(mg CO₂ · dm⁻² · h⁻¹); R 为呼吸作用速度(mg CO₂ · g⁻¹ · h⁻¹);44 为克分子 CO₂ 重(g);22.4 为标准状态下克分子体积(L); T 是大气压(mm 汞柱)。

选用不离体的单叶进行野外光合作用测定。选样首先考虑不同立木层,再在同层中同时进行嫩叶和成熟叶测定。

为进一步保证测定结果,对不同层次的叶片均匀采 80—90 片,用半叶法(重量法)加以比较,结果相近^[3-5]。

树茎呼吸作用的测定主要在茎处取 20cm 长的一段进行。然后计算其体积。枝条则以粗细枝分别测定。根也分为粗细根进行测定,测定前先淘空样根周围的土,用自制的装置进行测定。

然后计算体积。

由光合作用速度和呼吸作用速度及总叶面积和呼吸器官生物量,可求得种群年光合量和呼吸量以及净第一性生产力。

$$P_g = 0.67 \cdot F_g \cdot T \cdot S \quad (7)$$

$$R_g' = 0.67 \cdot R \cdot T \cdot S \quad (8)$$

$$R_g = 0.67 \cdot F_g \cdot T \cdot W \quad (9)$$

$$P_n = P_g - R_g' \cdot R_g \quad (10)$$

式中, P_g 为总光合量, R_g' 为叶子的呼吸量, R_g 为其它器官的呼吸量, T 为总光合量, S 为总叶面积, W 为呼吸器官干重, 0.67 为克 CO_2 和克干重的转换系数, P_n 是第一性生产力。

2.2.2 野外测定时间

测定光合作用日进程为每天 6、8、10、12、14、16、18 时, 测定叶片夜呼吸为每天 20、22、24 时; 呼吸器官的呼吸速率测定为每天 6、8、10、12、14、16、18、20、22、24 时。一年分 4 季 4 次测定, 每次重复 3—5 次, 取其平均值。本文总结 8a 的测定结果, 每个数值至少 3a 以上的测定值的平均值。

2.2.3 总叶面积的测定

对两种群分别取叶样品, 测定叶重与叶面积的关系。叶面积测定用美国哥拉公司制的 LI-3000 面积仪。然后根据上述测定的叶总重量计算叶总面积。

2.3 群落生物量和生产力的测定

对群落中各种群的生物量和生产力的实测结果进行累加和综合。统计 2000m² 样地的生物量和生产力, 换算为群落的生物量和生产力。

2.4 光能利用效率的测定

采取水平拉线移动法, 在群落样地的每一层拉一条 30m 长的铁线, 用量子传感器 (LI-190sA Quantum Sensor) 沿铁线水平移动 100s, 用积分量子辐射仪 (LI-188B Integrating Quantum Radiometer Photometer) 测定, 取其积分。根据测得光合有效辐射 (PAR) 通量 ($\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 的日进程 (6、8、10、12、14、16、18 时) 和分别晴、雨天重复测定日平均值, 计算春、夏、秋、冬四季以及全年的光合有效辐射能量 ($1\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1} = 217.4\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$), 进而计算群落和各层植物对光合有效辐射能的利用效率:

$$\epsilon_p = \frac{\text{群落各层植物的光合产量} \times 18.5 (\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1})}{\text{群落各层植物吸收的光合有效辐射能} (\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1})} \times 100 \quad (11)$$

$$\epsilon_p = \frac{P_g \times 18.5 (\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1})}{I_{\text{abs}} (\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1})} \times 100 \quad (12)$$

式中 18.5 是克干物质的含能量; I_{abs} 为被吸收的光合有效辐射能; ϵ_p 为各层植物光合产量的效率系数(%); ϵ_p 为群落总生产力的效率系数(%)。

3 结果与分析

3.1 生物量与第一性生产力

群落生物量的测定结果记于表 1。其中生物量的各组分比例为树干(含树皮)占 48.3%, 枝条 12.1%, 叶 6.7%, 花果 0.4%, 根 32.5%。对每层的代表性树种的光合速率和呼吸速率测定结果记于表 2, 据此和公式 5—8, 求得总生产力按群落层次统计记于表 3, 求得总呼吸量记于

表 4, 净第一性生产力为 $19.9 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

按 Lieth 和 Whittaker(1975)所描述的几种世界森林生产力的模型, 鼎湖山针阔叶混交林群落已接近世界森林中最高生产力的类型($20-30 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)^[6-3]。比较本地带顶极类型的季风常绿阔叶林厚壳桂群落的 $23 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 也相差不多¹⁾, 表明该群落正加速趋于顶极类型演替。

表 1 鼎湖山混交林群落的生物量(kg m^{-2})

Table 1 The biomass of mixed forest community in Dinghushan

层次 Layer	叶 Leaf		茎 Truch		枝 Branch		根 Root		总计 Total	
	Wf	Wd	Wf	Wd	Wf	Wd	Wf	Wd	Wf	Wd
1	3.543	1.377	18.005	9.937	4.036	2.289	12.079	6.558	37.664	20.161
2	0.475	0.181	4.030	2.410	1.619	0.907	3.040	1.706	9.164	5.205
3	0.166	0.076	0.284	0.172			0.137	0.078	0.586	0.326
4	0.201	0.120	0.214	0.152			0.268	0.151	0.685	0.422
T	4.386	1.754	22.523	12.611	5.655	3.169	15.525	8.492	48.099	26.113

* 灌木和草本层的枝合于茎项。 The truch contents the branch of shrub and herb.

表 2 鼎湖山混交林群落优势种叶片的光合与呼吸速率($\text{mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$) *

Table 2 The photosynthetic rate (PR) and respiration rate (RR) for dominant species in mixed forest community in Dinghushan

层次 Layer	种名 Species	光合速率 PR	呼吸速率 RR
1 马尾松	<i>Pinus massoni-ana</i>	4.11	1.07
椎树	<i>Castanopsis chinensis</i>	3.86	0.74
荷木	<i>Schima superba</i>	3.98	0.93
平均(AV)		3.98	0.91
2 红皮黄蘗	<i>Craibiodendron kwangtungense</i>	3.27	0.61
3 短序润楠	<i>Machilus breviflora</i>	3.23	0.49
豺皮樟	<i>Litsea rotundiflora</i>	2.27	0.55
九节	<i>Psychotria rubra</i>	2.39	0.61
三叉苦	<i>Evodia lepta</i>	3.77	0.66
桃金娘	<i>Rhodomyrtus tomentosa</i>	5.41	0.72
平均(AV)		2.60	0.60
4 斑叶珠砂根	<i>Ardisia punctat</i>	3.80	0.60
芒萁	<i>Dicranopteris linearis</i>	1.40	0.60
平均(AV)		2.60	0.60

表 3 鼎湖山混交林群落各层次叶面积指数和总第一性生产力

Table 3 Leaf area index (LAI) and Primary productivity (PP) for layers in the mixed forest community in Dinghushan

层次 Layers	叶重 LW ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$)		叶面积指数 LAI *		总第一性 生产力 PP ($\text{kgWd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)
	鲜重 Wf	干重 Wd	收割法 A	吊线法 B	
1	3.543	1.477	6.73	3.50	7.702
2	0.475	0.191	2.57	3.00	2.598
3	0.166	0.076	0.89	0.75	0.765
4	0.201	0.120	1.09	2.25	0.699
Total	4.386	1.864	11.28	9.50	11.764

* A, measurement with harvest method; B, measurement with dripping tag.

3.2 光能利用效率

群落内光合有效辐射、辐射能量的垂直分布测定结果记于表 5 和表 6, 年辐射的季节性变化从高至低依次是: 夏季, 占全年 29.1%; 秋季, 27.4%; 冬季, 22.4%; 春季, 21.1%。群落的光能利用效率测定结果记于表 7。光能利用效率的垂直格局从第一层下至第四层分别为(%): 6.49、3.25、0.92、

1.35, 总计为 12%。比本地带顶极类型的季风常绿阔叶林厚壳桂群落的光能利用效率 14.28% 为低¹⁾, 但比马尾松群落的光能利用效率高得多。表明在本地带森林群落演替中, 群落的光能利用效率随着演替的进程趋于增高^[1-5,9]。

1) 彭少麟, 张祝平, 中国科学, 1993(待刊稿)

表 4 鼎湖山混交林群落的年呼吸量

Table 4 The annual respiration value of mixed forest community in Dinghusan

层次 Layer	叶(夜)呼吸 Leaf		茎 Truch		枝 Branch		根 Root		总计 Total
	RR	RC	RR	RC	RR	RC	RR	RC	
1	0.91	1779.71	0.074	5379.33	0.070	1380.79	0.055	3098.84	11638.67
2	0.61	356.66	0.030	624.93	0.057	4448.10	0.023	349.40	1779.09
3	0.61	157.23	0.030	44.58			0.023	16.05	217.86
4	0.60	191.95	0.030	39.32			0.023	30.74	262.01
Total	2.73	2485.55	0.164	6088.16	0.127	1828.89	0.124	3495.03	13897.63

* RR(呼吸速率), $\text{mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (叶)或 $\text{g CO}_2 \text{ kg Wd}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (茎, 枝, 根及花果); RC(呼吸量), $\text{g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ a}^{-1}$.

表 5 林内光合有效辐射通量强度的垂直分布

Table 5 The vertical distribution of photosynthetic active radiation flux density ($\mu \text{Em}^{-2} \text{s}^{-1}$, day average) and relative intensity (%) in the forest

层次	测定高度	晴天 Clear								雨天 Rainy	
		春 Spring		夏 Summer		秋 Autumn		冬 Winter			
Layers	Height (m)	入射量 R	%	入射量 R	%	入射量 R	%	入射量 R	%	入射量 R	%
林冠反射 ¹⁾	17.00	30.12	3.91	41.92	3.56	36.92	3.89	24.43	3.94	4.50	4.36
1	12.00	770.67	49.57	1176.45	48.98	948.28	49.88	620.33	50.31	103.28	31.72
2	6.00	360.00	23.16	567.90	23.65	425.45	22.38	322.35	26.14	76.08	23.37
3	2.00	178.50	11.48	294.30	12.25	211.83	11.14	116.26	9.43	44.23	13.58
4	0.50	79.75	5.13	117.33	4.89	101.43	5.33	72.65	5.89	30.50	9.37
林下地面 ²⁾		52.02	6.75	78.50	6.67	70.00	7.38	26.64	4.29	18.18	17.60
植物吸收 ³⁾		688.53	89.34	1056.03	89.77	841.36	88.73	569.26	91.77	80.60	78.04

R means Radiation.

1) Reflex of canopy 2) Forest ground 3) Absorption of Plants

表 6 群落内光合有效辐射的能量

Table 6 The energy ($\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) of photosynthetic active radiation in the forest

层次	春 Spring		夏 Summer		秋 Autumn		冬 Winter		年辐射量	
	晴天	雨天	晴天	雨天	晴天	雨天	晴天	雨天	Annual	radiation
Layers	Sunny	Rainy	Sunny	Rainy	Sunny	Rainy	Sunny	Rainy	Total	(%)
林冠反射	12183	2392	21378	2079	20544	1014	13166	866	73652	3.84
1	311712	54900	599952	47723	527677	23279	334312	20563	1920118	47.79
2	145609	40442	289611	35154	236745	17148	173723	15184	953580	23.73
3	72198	23511	150084	20437	117874	9969	62656	8806	465535	11.59
4	32256	16213	59835	14093	56441	3875	39153	6073	230939	5.75
林下地面	21040	9664	40033	8400	38952	4098	14357	3620	140164	7.30
植物吸收	278489	42844	538541	37244	468181	18167	306786	16047	1706302	88.86

表 7 群落对光合有效辐射能的利用效率

Table 7 The energy ($\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) use efficiency of photosynthetic active radiation (PAR)

层次	由总生产力固定的能量	被森林吸收光合有效辐射能	各层植物的吸收率	各层植物的利用率	森林对光合有效辐射能的利用率
Layers	Energy of Pg	Absorbed Energy	Absorbed rate (%)	Utilization rate (%)	Energy use efficiency (%)
1	110762	892886	46.50	12.40	6.49
2	55457	488045	25.42	11.36	3.25
3	15633	234596	12.22	6.66	0.92
4	23013	90775	4.73	25.35	1.35
Total	204865	1706302	88.86		12.01

参 考 文 献

- 1 中国植被编委会. 中国植被, 北京: 科学出版社, 1980
- 2 王铸豪等. 热带亚热带森林生态系统研究. 1983, 第一集, 17—141
- 3 彭少麟, 张祝平. 植物生态学与地植物学学报, 1990, 14(1), 23—32
- 4 彭少麟, 张祝平. 应用生态学报, 1992, 3(3), 202—206
- 5 Peng S. & Zhang Z. *Vegetation-Structure, Function and Dynamics*. Science Press, Beijing, New York, 1992, 9—16
- 6 Cannell, M. G. R. , *World forest biomass and productivity data*, Academic Press, London, 1982
- 7 Lith, H. & Whittaker, R. H. , *Primary productivity of Biosphere*, 2nd ed, Springer-Verlag, New York, 1975
- 8 Walter, H. , *Vegetation of the earth*, Springer-Verlag, New York, 1979
- 9 张祝平. 植物生态学与地植物学学报, 1990, 14(2), 139—150

STUDIES ON THE BIOMASS, PRIMARY PRODUCTIVITY AND ENERGY USE EFFICIENCY OF THE MIXED FOREST COMMUNITY IN MT. DINGHUSHAN, CUANGDONG

Peng Shaolin Zhang Zhuping

(South China Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650)

The biomass, primary productivity and photosynthetically active radiation energy efficiency of the mixed coniferous and broadleaf forest community in Mt. Dinghushan, situated in the low subtropics, were studied by using the methods of tree harvest, litter gathering and CO_2 analysis. The results show that the community had a leaf area index of 11, biomass of $26.1 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, total productivity of $117 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, primary productivity of $19.9 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, and energy use efficiency of 12%. It was found that the biomass, productivity and energy use efficiency of forest growing in this region were increasing with the process of succession.

Key words: biomass, primary productivity, energy efficiency, mixed coniferous and broadleaf forest, Mt. Dinghushan.