

# 鼎湖山亚热带季风常绿阔叶林的生物量和光能利用效率

张祝平 丁明懋

(中国科学院华南植物研究所, 广州, 510650)

**摘要** 报道鼎湖山自然保护区黄果厚壳桂群落的生物量、生产力和光能利用效率。根据群落的种类成分和结构特征, 分层选主要树种, 用样本收获法和红外线 CO<sub>2</sub> 气体分析法, 测定了群落的生物量、光合速率和呼吸速率, 计算了群落的生产力和光能利用效率。结果表明, 群落的生物量为 208 t · hm<sup>-2</sup>; 总生产力为 128704 kJ · m<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup>, 净生产力为 30451 kJ · m<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup>; 由总生产力计算光合有效辐射能的吸收利用率为 9.66%, 净生产力的利用率为 2.286%, 并与厚壳桂群落作比较, 阐明了南亚热带森林群落的生产潜力。

**关键词:** 鼎湖山, 森林群落, 第一性生产力, 光能利用效率。

## BIOMASS AND EFFICIENCY OF RADIATION UTILIZATION IN MONSOON EVERGREEN BROADLEAVED FOREST IN DINGHUSHAN BIOSPHERE RESERVE

Zhang Zhuping Ding Mingmao

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

**Abstract** The biomass, productivity and efficiency of radiation utilization in *Cryptocarya concinna* community in Dinghushan Biosphere Reserve were investigated.

The biomass, photosynthetic rate and respiration rate were measured by harvesting the sample plants of the main species in several layers and by CO<sub>2</sub> infra-red analysis. After ward, the productivity and the efficiency of radiation utilization were calculated. The results show that the biomass, gross primary productivity and net primary productivity in the community were 208 t · hm<sup>-2</sup>, 128704 kJ · m<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup> and 30451 kJ · m<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup>, respectively, the utilization efficiency of available radiation for gross primary productivity and net primary productivity were 9.66% and 2.29%, respectively. These results explain the potential productivity of the forest community in southern subtropical zone.

本研究为国家自然科学基金资助项目(38870147)和中美协作项目, 美国 MAB 提供部分经费。石国良、蚊伟民、黄忠良、莫江明、黄玉佳和鼎湖山树木园部分职工协助野外工作, 谨此致谢。

收稿日期: 1994-08-09, 修改稿收到日期: 1996-03-10。

**Key words:** Dinghushan area, forest community, gross primary productivity, efficiency of radiation utilization.

亚热带常绿阔叶林是我国面积最大的森林类型,它在世界森林植被中具有重要的作用和地位,但有关它的生产力和光能利用的研究,至今报道不多。亚热带季风常绿阔叶林,也称南亚热带常绿阔叶林,它种类丰富,结构复杂,测定其第一性生产力及其动态难度较大。近年来,笔者用较适合的方法陆续地研究了鼎湖山季风常绿阔叶林不同群落的生物量、生产力和光能利用效率,其目的不仅是为了弄清本地区土地的生产潜力,更好地利用自然资源,有效地提高森林生产力,而且也推算世界森林植被的生产潜力提供依据<sup>[1-3]</sup>。

## 1 群落概况

鼎湖山自然保护区位于广东省中部,在广州市西南 86 km,居 23°09' 21"~23°11' 30"N, 112°30' 39"~112°33' 41"E。保护区面积为 1155 hm<sup>2</sup>,其中季风常绿阔叶林包括黄果厚壳桂群落,锥栗、荷木、厚壳桂群落(简称厚壳桂群落,下同)等为 125 hm<sup>2</sup>。本区属亚热带湿润季风型气候,年平均气温 21℃,平均年降雨量 1927 mm,年蒸发量 1095 mm,年平均相对湿度 80%。

黄果厚度桂群落,主要分布于三宝峰至庆云寺以北海拔约 200 m 的坡地上。本研究的林地坡向 S23°W,坡度 26°,东面开朗,日照较早,西面有连绵起伏的山坡,日照较短。土壤为发育于砂岩母质的赤红壤,土层厚度为 30~60 cm。土壤动物有线虫、蚯蚓和白蚁等 28 个类群,土壤动物量为 14.8 g·m<sup>-2</sup>。土壤微生物总数(平板计数)为 4.02×10<sup>6</sup>·g<sup>-1</sup>干土,细菌、真菌和放线菌分别占总菌数的 73.4%, 15.7%和 10.9%。本群落在 40 a 前曾经受人为砍伐影响,现有些植物是砍伐后萌生的。群落植物种类丰富,在 1300 m<sup>2</sup> 样地内有维管束植物 109 种,分属 61 科 91 属,其中蕨类植物 8 种,裸子植物 2 种,被子植物 99 种。群落结构复杂,成层现象较明显,乔木已分化出 3 个亚层。上层乔木有黄果厚壳桂(*Cryptocarya concinna*)、荷木(*Schima superba*)和华润楠(*Machilus chinensis*)等,高度为 16~21 m,冠层不连续;中层乔木有鼎湖钓樟(*Lindera chunii*)、锥栗(*Castanopsis chinensis*)和厚壳桂(*Cryptocarya chinensis*)等,高度为 8~15 m,冠层连续;下层乔木有云南银柴(*Aporosa yunnanensis*)、水石梓(*Sarcosperma laurinum*)和光叶山黄皮(*Randia canthioides*)等,高度为 3~7 m,冠层也不连续。灌木层有柏拉木(*Blastus cochinchinensis*)和罗伞树(*Ardisia quinqueгона*)等,密度较大。草本及苗木层,有沙皮蕨(*Hemigramma decurrens*)和山姜(*Alpinia chinensis*)等。此外层间植物有附生植物石蒲藤(*Pothos chinensis*)等,木质藤本植物有杖枝省藤(*Calamus rhabdocladus*)等。林下枯枝落叶层平均厚度为 3 cm<sup>[2,4,5]</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 生物量和生产量的测定

2.1.1 生物量测定采用收获法。根据样地第一次每木调查结果,分层分级选主要树种(包括优势种和各层主要种)16 种 31 株(其中,乔木 11 种 20 株,灌木 3 种 5 株,木质藤本植物 2 种 6 株)作为样本,逐株测量了样木的胸径(灌木则测基径,下同),枝高(木质藤本植物则测长度,下同)。逐株样木砍伐后,分别根、干(乔木),茎(灌木和木质藤本植物,下同),枝叶各部分器官分级分段称鲜重,并选取园盘和各部分器官回室,先用 LI-3000 面积仪测定各种植物叶片样品的鲜重和叶面积,然后将全部样品于 80℃ 恒温烘至恒重,求出各种植物

各部分器官的干、鲜重量比和叶片干重与叶面积之比。据各层样木的胸径(或基径)、树高(或长度)与各部分器官干重的关系, 求出各层样木各部分的相对生长关系式:

$$\log W = \log a + b \log (D^2 \cdot H) \quad (1)$$

式中  $W$  为植物相应部分的干生物量,  $D$ 、 $H$  分别为胸径和树高。草本苗木层则各选 2 个  $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$  样方进行实收, 分别新根(当年生长)、旧根、茎、叶称重, 求得该层的生物量和净生产量<sup>[4]</sup>。

**2.1.2 净生产量的计算。**调查两个  $1300 \text{ m}^2$  样地, 并在样地内用红线间成  $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$  的方格, 用红漆油将乔、灌木和木质藤本逐株编号, 划出每株胸径(或基径)的标记, 用德国特制的钢丝软卷尺(一面有精密的长度刻度, 另一面有周长换算成直径的刻度)逐株测量胸径(周长的换算)和树高。从 1988 年至 1992 年, 经先后间隔 4 a 时间, 先后进行两次调查, 按下式计算净生产量:

$$B_n = \frac{\sum_{i=1}^n (wt_{2i} - wt_{1i}) + L + D + G}{4 \times S} \quad (2)$$

式中  $B_n$  为净生产量( $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ),  $S$  为样地面积,  $wt_{2i}$  和  $wt_{1i}$  分别为第 2、第 1 次调查时的生物量,  $L$  为凋落物量(每月收集一次),  $D$  为死木(每年调查一次),  $G$  为动物、昆虫啃食量(每季调查一次)。动物、昆虫啃食量的观察和估算: 在样地内设 4 个  $25 \text{ m}^2$  的观察点, 搭架观察各层叶片被啃食的密度, 估算各层被啃食的叶面积, 乘以该层平均叶重与叶面积之比, 除以观察点面积, 求得各层被啃食的叶量; 经试验, 较粗的根、茎平均直径、长度与干重有关, 为此, 另设 2 个  $25 \text{ m}^2$  方格, 观察各层被啃食根、茎的直径和长度, 分别用根、茎的相对关系式求得较粗根、茎的干重, 加上估计被啃食的细小根、茎, 除以观察点面积, 便估算出各层被啃食的根和下层草本苗木的茎。群落和各层植物的叶面积指数  $LAI(\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2})$  的计算, 按上述测得各植株叶片的干重与叶面积之比以下式求得:

$$LAI = \sum_{i=1}^n Ai/s \quad (3)$$

## 2.2 植物光合、呼吸速率的测定

应用红外  $\text{CO}_2$  气体分析法, 用 QGD-07 型(北京分析仪器厂)和 FQ 型(广东佛山分析仪器厂)红外线气体分析仪, 用自制的开路叶室和呼吸装置, 分别在野外连体测定主要植物 14 种 38 株的光合速率和各部分器官的呼吸速率(包括叶片夜呼吸); 并以水平拉线移动法, 用量子传感器(LI-190SA Quantum Sensor)沿每层预先拉好的铁线, 水平地移动 100 s, 用 LI-188B 型积分量子辐射仪测定光合有效辐射( $PAR$ )通量( $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )的垂直分布<sup>[5,6]</sup>。每年每季分晴、阴、雨天各测定 2~3 d, 以日进程 6:00、8:00、10:00、12:00、14:00、16:00 时为测定时间, 测定呼吸速率则延至 24:00, 按下式计算:

$$F_n = \frac{\Delta C \cdot V}{A \cdot 10^3} \times \frac{44}{22.4} \times \frac{273}{273 + T} \times \frac{P}{101322} \quad (4)$$

$$R = \frac{\Delta C \cdot V}{gWd10^3} \times \frac{44}{22.4} \times \frac{273}{273 + T} \times \frac{P}{101322} \quad (5)$$

式中:  $\Delta C$  是叶室或呼吸装置内外气体  $\text{CO}_2$  的含量( $\mu\text{l} \cdot \text{l}^{-1}$ )之差;  $V$  是叶室或呼吸装置内外气体流量( $\text{l} \cdot \text{h}^{-1}$ );  $A$  为叶面积( $\text{dm}^2$ );  $gWd$  是呼吸器官(根、茎、枝。叶仍按面积算, 下同)的干重( $\text{g}$ ); 44 是 1 mol  $\text{CO}_2$  重量( $\text{g}$ ); 22.4 是标准状态下 1 mol 气体的体积( $\text{l}$ );  $T$  是叶

室或呼吸装置内的温度( $^{\circ}\text{C}$ );  $P$  是大气压(Pa);  $F_n$  是净光合速率( $\text{mgCO}_2 \cdot \text{dm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ );  $R$  是呼吸速率( $\text{mgCO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ )<sup>[5~7]</sup>。

### 2.3 群落植物生产力和光能利用效率的计算

根据各年每季晴、阴、雨天测定的  $F_n$ 、 $R$  和  $PAR$ , 逐层计算光合量、呼吸量和  $PAR$  通量, 再按每年总和换算为能量, 取年平均值得总生产力  $P_g$  ( $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 不包括叶片的日呼吸), 净生产力  $P_n$  ( $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ) 和群落对  $PAR$  能量利用效率  $\epsilon P$  (%)

$$P_g = 9.4 F_n \cdot LAI \cdot t \quad (6)$$

$$R_g' = 9.4 R \cdot LAI \cdot t \quad (7)$$

$$R_g = 9.4 R \cdot W \cdot t \quad (8)$$

$$P_n = P_g - R_g' - R_g \quad (9)$$

$$I = I_0 \cdot e^{-k \cdot LAI} \quad (10)$$

$$\epsilon F = \frac{\text{各层植物固定的能量}(\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}) \times 100}{\text{各层植物吸收 } PAR \text{ 能量}(\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1})} \quad (11)$$

$$\epsilon P = \frac{P_g}{I_{abs}} \times 100 \quad (12)$$

式中:  $R_g'$  是叶子的夜呼吸量,  $R_g$  是其它各部分器官的呼吸量 ( $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ),  $t$  为光合作用或呼吸时间;  $W$  为呼吸器官干重; 9.4 为  $1 \text{ gCO}_2$  换算为  $\text{kJ}$  的能量转换系数;  $I_0$  为林冠入射的  $PAR$  通量,  $I$  为距离林冠之下各层入射的  $PAR$  通量,  $K$  为群落或各层植物的消光系数,  $e$  为自然对数的底;  $I_{abs}$  为单位土地面积吸收的  $PAR$  能量 ( $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ );  $\epsilon F$  为各层植物对吸收  $PAR$  能量的利用效率<sup>[2,5,8]</sup>。

## 3 研究结果

### 3.1 黄果厚壳桂群落的生物量

**3.1.1 样木测定和回归分析的结果** 乔木层总生物量的生长式为  $W = 0.09114(D^2 \cdot H)^{0.9145}$ , 相关系数为  $R^2 = 0.9958$ , 其根、干、枝、叶各部分器官生长式的相关系数都达到 0.91 以上; 灌木层为  $W = 0.0373(D^2 \cdot H)^{0.8476}$ ,  $R^2 = 0.9541$ , 其它根、茎、叶的  $R^2$  都达 0.9392 以上; 层间植物为  $W = 0.0358(D^2 H)^{0.605}$ ,  $R^2 = 0.8588$ , 根的  $R^2 = 0.7945$ , 茎的  $R^2 = 0.9061$ , 叶的  $R^2 = 0.9552$ 。层间植物主要是附生和木质藤本植物, 因种间的形态差异较大, 故根的  $R^2$  较低。乔、灌木的相关关系都达到了显著和极显著<sup>[4]</sup>。

**3.1.2 乔木主要种类的重要值和生物量** 重要值(%) 在 16 以上者, 其排列是 A 鼎湖钓樟 > B 黄果厚壳桂 > C 华润楠 > D 荷木 > E 锥栗; 按生物量排列是 B > D > C > E > A; 按净生产量排列则为 > E > B > D > C > A。可见本群落为多优势, 他们共同制约和影响群落的结构和生境(见表 1、表 2)<sup>[2,4]</sup>。

**3.1.3 群落各层植物的生物量和生产量** 群落的生物量为  $208.3794 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。其中乔木 I 层占 22.71%, II 层占 67.29%, III 层占 7.71%, 灌木层占 0.33%; 草本苗木层占 0.54%; 层间植物占 1.42%。I ~ II 层是群落的主要层, 不仅生物量大, 而且与外界环境相连接而创造群落内部生境; 下层林木的生物量虽少, 但它与死地被物一起, 阻止了土、肥随水流失, 在氮素循环中也有其作用。林地土层薄, 乔木主根难以深扎, 只有向宽度伸

展, 形成主、侧根不明显。根占群落生物量的 18.81%, 主干占 48.66%, 乔木的枝、灌木和草本的茎占 24.65%, 叶占 7.88%。叶面积指数为  $17.7386 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ 。

表 1 黄栗厚壳桂群落的生物量

Table 1 Biomass in *Cryptogarga gonginna* community

层 次 Layer	生 物 量 Biomass ( $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )								叶面积 指数 LAT ( $\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ )		
	根 Root		干 Trunk		茎 Stem	枝 Branch		叶 Leaf		合计 Total	
	$D > 1 \text{ cm}$	$D \leq 1 \text{ cm}$	木质 Wood	皮 Bark		$D > 2 \text{ cm}$	$D \leq 2 \text{ cm}$				
乔 木 Arbor	I	7.5889	1.0349	21.7063	1.7346		7.4884	4.7877	2.9785	47.3193	3.2795
	II	22.0934	4.2083	63.2163	6.6668		17.7566	15.7465	10.5337	140.2216	11.1416
	III	2.2160	1.0428	6.5486	1.5211		0.7810	2.1115	1.8463	16.0673	2.1778
合计 Total		31.8983	6.2860	91.4712	9.9225		26.0260	22.6457	15.3585	203.6082	16.5989
灌木 Shurb	IV		0.1546			0.4374			0.1013	0.6933	0.1148
苗木 Seedling			0.3315			0.5349			0.1568	1.0232	0.1777
草本 Herb	V		0.0595			0.0126			0.0198	0.0919	0.0402
木质藤本植物 Woody linne			0.4547			1.7172			0.7905	2.9628	0.8070
总计 Total			39.1846		101.3937	2.7021	48.6717		16.4273	208.3794	17.7386

群落净生产量为  $17.5789 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。乔木 I 层(不包括凋落量)占 8.13%, II 层占 31.10%, III 层占 4.6%, 灌木层占 0.54%, 草本及苗木层占 0.59%, 层间植物占 1.37%。各部分器官的比例, 根占 8.66%, 主干占 23.24%, 茎和枝占 21.98%, 叶占 45.23%。花果占 0.89%。群落的净增长量占 31.63%, 死枯木占 14.19%, 动物昆虫啃食量占 0.51%, 凋落量占 53.67%。群落的植物量和净生产量都是乔木第 II 层比第 I 层高, 而且枝、叶量和凋落量也高, 说明群落正处于生长盛期。群落的枝、叶量和凋落量大, 有利于土壤生物的氮代谢, 反过来又促进了植物的碳、氮代谢, 使群落的氮素循环得到永续和发展, 在生态平衡上作用较大<sup>[8,9]</sup>。但是, 枝叶量大则影响了主干的增长, 降低了经济价值<sup>[4,10,11]</sup>。

### 3.2 群落的能量分布及其动态

**3.2.1 光合有效辐射的分布动态。**光合有效辐射(PAR)的分布, 由于林木较高, 林冠凹凸不平, 林冠上的反射率为 3.35%, 林下透射率为 0.80%, 植物吸收率为 96.09%, 吸收率因乔木第 I 层冠层不连续, 只占 29.68%, 第 II 层占 58.55%, 第 III 层占 7.19%, 灌木层占 0.43%, 草本层占 0.24%。其入射量的季节变化, 在晴天是夏 > 秋 > 春 > 冬; 由于春季比冬季阴、雨天多, 分别晴、阴、雨天计算入射量的总和则是夏 > 秋 > 冬 > 春(见表 3)。

**3.2.2 群落的消光系数。**消光系数(K)与群落的种类成分、结构特征有关, 不同森林类型形成不同的能量环境。本群落从上而下各层的 K 值分别是 0.0981, 0.1625, 0.2526, 0.2755, 0.2922, 厚壳桂群落分别是 0.2646, 0.2770, 0.2748, 0.2751, 0.2913<sup>[5]</sup>。两个群落各层的 K 值不同, 反映了他们的林龄和结构不同; 但群落的 K 值分别为 0.2922 和 0.2913, 两者几乎相同, 反映他们是同一森林类型, 其种类成分相似。两个群落乔木层植物叶片多趋于直立方向, 与水平面交角较大, 叶面积指数(LAI)较高, 这与 Lambert-Beer 消光定律是一致的<sup>[12]</sup>。

表 2 黄栗厚壳桂群落的生产量

Table 2 Primary production in *Cryptocarya concinna* Community

层 次 Layer	净 生 产 量 Net primary production* (t · hm <sup>-2</sup> · a <sup>-1</sup> )																		
	根 Root			干或茎 Trunk of stem			枝 Branch			叶 Leaf			合 计 Total						
	I	D	G	I	D	G	I	D	G	I	D	G	I	D	G				
乔木	I	0.2508		0.6964			0.3951			0.0810			0.0066			1.4233			0.0066
Arbor	II	0.6192	0.3700	0.0138	1.7197	0.9647	0.9671	0.4275	0.1659	0.1737	0.0456	0.2745	0.0594	0.0594	0.0594	3.4719	1.9359	0.0594	0.0594
	III	0.0577	0.1035		0.1437	0.2607	0.0501	0.1008	0.0230	0.0575	0.0114	0.0114	0.0114	0.0114	0.0114	0.2745	0.5225	0.0114	0.0114
乔木合计 Total of arbor		0.9277	0.4735	0.0138	2.5598	1.2254	1.4123	0.5283	0.2699	0.2312	0.0636	0.0636	0.0636	0.0636	0.0636	5.1697	2.4584	0.0636	0.0774
灌木 Shrub	IV	0.0202	0.0036		0.0457	0.0103			0.0122	0.0025					0.0781	0.0164			0.0164
苗木 Seedling		0.0250			0.0360	0.0089					0.0027				0.0610	0.0089			0.0027
草本 Herb	V	0.0122		0.0025	0.0101	0.0025					0.0038				0.0122	0.0101			0.0038
木质藤本植物 Woody liana		0.0446			0.1286				0.0667						0.2399				
合计 Total		1.0297	0.4771	0.0163	2.7701	1.2547	1.4123	0.5283	0.3488	0.2337	0.0701	0.0701	0.0701	0.0701	5.5609	2.4938	0.0889	0.0889	0.0889
年凋落物量 Litter					0.3133		1.6663		7.2991	(0.1566)**					9.4353				9.4353
总计 Total			1.5231		4.3406		3.6069		7.9517	(0.1566)					17.5789				17.5789

\* I 为年增长量(Increment) D 为年枯死量(Dead plants) G 为动物昆虫啃食量(Guawed mass)  
 \*\* 括号中数字表示花和果的年凋落物量 The data in parentheses are the litterfall of flower and fruit.

表 3 黄果厚壳桂群落光合有效辐射能量的垂直分布

Table 3 Vertical distribution of energy ( $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ) of photosynthetically active radiation in *Cryptocarya concinna* communit

层次 Layer	测定 高度 (m)	春季	夏季	秋季	冬季	年辐射 能量 Radiation	各层植物呼吸 Absorption of plant layer		
		(3~5月) Spring	(6~8月) Summer	(9~10月) Autumn	(11~2月) Winter		Total	(%)	
林冠反射 Reflection	25	9528	13861	12548	10501	46438			
乔木 Arbor	I	21	291873	403118	380027	311213	1386231	411427	29.68
	II	16	133417	355191	171118	268640	928366	811626	58.55
	III	8	19276	50395	22298	24771	116740	99669	7.19
灌木 Shrub	IV	3	2353	8532	3737	2449	17071	5961	0.43
草本及苗木 Herb & Seedling	V	1	1503	5721	2275	1611	11110	3327	0.24
林下地面 Ground surface			1238	2443	2039	2063	7783		
植物吸收 Absorption of plants			281107	386814	365440	298649	1332010	1332010	96.09

3.2.3 PAR 与 LAI 的关系。根据 PAR 和 LAI 的垂直分布, 用非线性回归方程分析, 以  $PAR(X)$  为自变量,  $LAI(Y)$  为因变量, 其结果, 本群落是  $\log Y = 0.4001 + 0.77 \log X$ , 相关指数  $R^2 = 0.9284$ ; 厚壳桂群落是  $\log Y = -1.1315 + 3.8097 \log X$ ,  $R^2 = 0.9788$ 。两个群落因地形起伏、PAR 入射量和 LAI 的垂直分布不同, 故 Y 值也不同, 但  $R^2$  都是显著的, 说明 PAR 与 LAI 相关关系密切。用回归方程和 M. Monsi 等修正的消光方程式<sup>[5]</sup>算得黄果厚壳桂和厚壳桂群落 LAI 的季节性变化, 依次分别是春季 18.7, 17.43, 夏季 17.47, 17.21, 秋季 17.89, 17.95, 冬季 17.16, 15.65。用吊线法分季测得的数值也很相近。LAI 的动态还与叶的凋落量成正相关, 并与屠梦照等 1982~1986 年测得的叶凋落量节律的趋向是一致的<sup>[5,10,12]</sup>。

### 3.3 群落的生产力和光能利用效率

3.3.1 群落各层植物的光合速率和总生产力 光合速率( $F_n$ )和 LAI 构成了群落的总生产力。 $F_n$  的垂直分布从上而下逐层递减, 分布在同层次的植物, 其  $F_n$  值比较接近, 不同层次的植物(即使同种植物)其  $F_n$  值差异较大<sup>[6]</sup>。虽然每种植物都有其光合能力, 但在群落中都受到能量环境的制约(见表 3)。在春、冬季晴天, 各层植物  $F_n$  的日变化是随 PAR 的升降而升降; 但在夏、秋季晴天近中午的强光高温下, 上层阳性树种蒸腾速率加剧, 出现了水分饱和亏缺, 气孔开度变小, 影响  $F_n$  下降, 其日变化成双峰型。群落各层植物  $F_n$  的季节变化在晴天是春 > 夏 > 秋 > 冬; 分别晴、阴、雨天计算各季光合产量之和则是夏 > 秋 > 春 > 冬。说明光强对整个群落植物的光合生产是有利的, 光合产量是光照的函数。群落的总生产力( $P_g$ , 不包括叶片的白天呼吸量)据表 1、2、4 和公式(5)(7)分别不同层次、不同时间计算结果为  $128704 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 其中春季为 28366、夏 29113、秋 35883、冬 25342; 比厚壳桂群落 180371(原文为 237840, 是以干物质换算能量, 这里则直接以  $\text{CO}_2$  换算为能量)低, 其垂直分布也各有不同(见表 4)<sup>[5,13,14]</sup>。

3.3.2 群落植物的呼吸速率和净生产力 植物各部分的呼吸速率( $R$ )和生物量构成呼吸

表 4 黄果厚壳桂群落的生产力和光能利用效率

Table 4 Primary productivity and energy ( $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ) use efficiency of photosynthetically active radiation in *Crytocyarya concinna* community

层 次 Layer	总生产力 $P_g$		呼 吸 量 Respiration						净生产力 $P_n$		
	固定能量 Fixed energy	各层植物 利用效率 $eF$ of plant layer (%)	茎 Stem						固定能量 Fixed energy	森林的 利用率 $eP$ of forest	
			叶(夜间) Leaf (at night)	根 Root >1 cm <1 cm	干 Trunk >2 cm <2 cm	枝 Branch	花 Flower	果 Fruit			合 计 Total
I 乔 木	(2.79) 31393 (2.20)	7.63	(0.816) 9182 (0.648)	(1.44) 3749 (1.68)	(3.12) 1108 (3.24)	(0.24) 1930 (0.26)	(0.98) 2518 (0.96)	(2.04) 3351 (1.82)	21838	9555	0.717
■ Arbor	84099 (1.40)	10.36	24771 (0.60)	12735 (1.17)	4678 (2.27)	6234 (0.30)	5849 (0.67)	9833 (1.27)	64100	19999	1.501
■ 乔木合计 Total	10461 125953	10.50	4483 38436	890 17374	812 6598	674 8838	179 8546	920 14104	7958 2322 (599)	2503 -2322 1104	0.188 -0.174 2.232
■ 灌木 Shrub	(0.81) 319	5.35	(0.36) 142	(1.17) 62	(0.49) 74				278	41	0.003
■ 草本及苗木 Herb and seedling	(0.55) 411	12.35	(0.18) 135	(1.17) 157	(0.49) 92				384	27	0.002
■ 木质藤本植物 Woody liana	(0.73) 2021	0.15	(0.294) 814	(1.73) 270	(0.49) 289				1373	648	0.049
■ 合计 Total	128704	9.66	39527	24461	31943	98253	30451	2.286	1104	1218	98253

括号内数字为平均光合速率和呼吸速率  
The figures in parentheses are average photosynthesis rates ( $\text{gCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ) and respiratory rates ( $\text{gCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  or  $\text{gCO}_2 \cdot \text{kgDM}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ ).



量( $R_g$ )。  $R$  在日夜变化中是随气温降低和空气  $\text{CO}_2$  浓度增高而下降。林内上层比下层日平均气温高  $1\sim 2^\circ\text{C}$ , 空气  $\text{CO}_2$  含量低  $20\sim 30\ \mu\text{l}\cdot\text{l}^{-1}$ , 故各层植物的  $R$  是从上而下逐层递减。群落的呼吸量据表 1 和公式(6)(8)(9)计算为  $98253\ \text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ , 其中根占 24.9%, 茎占 32.51%, 叶占 40.23%(不包括光呼吸), 花(按 50 d 时间算)占 1.12%, 果(按 100 d)占 1.24%。群落的净生产力( $P_n$ )按公式(10)计算为  $30451\ \text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ , 比表 1 用收获法计算的  $B_n$  高些, 可以作为不同研究方法的比较。 $P_n$  的垂直分布是乔木 II 层 > I 层 > III 层 > 灌木层 > 草本层, 层间植物比灌木高些。群落的  $P_n$  仅占  $P_g$  的 23.66%, 可见本群落的呼吸消耗较大, 尤以叶的呼吸量最大。但是比厚壳桂群落呼吸量占总生产力 82.76% 又显得不高, 可能与群落的年龄和植物量有关<sup>[6]</sup>。

**3.3.3 群落的光能利用效率** 用光能利用效率评价森林群落的结构、功能比用生产力更为准确和合理。据表 1~2 和公式(12)(13)计算群落  $P_g$  对  $PAR$  能量的吸收利用效率( $\epsilon P$ )为 9.66%, 其季节变化是春季 10.09, 夏 10.11, 秋 9.82, 冬 8.49。厚壳桂群落的  $\epsilon P$  为 10.83%, 其季节变化是春 10.81, 夏 11.32, 秋 10.99, 冬 9.53。本群落的  $\epsilon P$  比厚壳桂群落低, 但其季节变化都是夏 > 秋 > 春 > 冬。本群落各层植物吸收  $PAR$  的利用率( $\epsilon F$ ), 除灌木层外, 从上而下递升, 反映下层植物比上层更能充分利用弱光, 但对群落吸收  $PAR$  的利用率则是乔木 II 层 > I 层 > III 层 > 草本层 > 灌木层, 可见群落乔木的 I ~ II 层作用最大。厚壳桂群落各层植物的  $\epsilon F$  更为明显地从上而下递升, 而且升幅较大; 其  $\epsilon P$  逐层下降, 以乔木 I 层为最高。本群落的  $P_n$  对  $PAR$  的吸收利用为 2.286%, 其中以乔木 II 层的作用最大。说明本群落结构不如厚壳桂群落完善, 生产能力也比较低, 仍有较大的生产潜力<sup>[5]</sup>。

#### 4 小结和讨论

本文主要用收获法和  $\text{CO}_2$  气体分析法测定了黄果厚壳桂群落的生物量、生产力和光能利用效率, 同时分析了其在时间空间上的动态变化, 并与本区顶极群落——厚壳桂群落作比较, 获得较理想的结果, 反映了本群落正处于生长盛期, 结构尚不完善, 仍有其生产潜力, 可以进一步提高其光能利用效率。季风常绿阔叶林是由热带雨林向亚热带常绿林过渡的南亚热带常绿阔叶林。Walter, H. 把华南地区列为夏雨区, 把这里的生物群落列为湿润地带生物群落<sup>[3]</sup>。实际上, 季风常绿阔叶林是中国南亚热带的地带性植被类型<sup>[1]</sup>。Larcher, W. 引 Lieth, H. 1972 年和 Geiger, R. 等 1965 年资料, 热带雨林由总生产力估算能量为  $104676\ \text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ , 年吸收光合有效辐射量为  $2344608\ \text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ , 光能利用率为 4.5%<sup>[12]</sup>。这个数值可能太低了。Walter, H. 认为愈接近赤道, 潮湿陆地区域的第一性生产力亦随之增加, 但从亚热带到热带则增加甚少。他调查泰国的森林总生产力为  $124\ \text{t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。本研究表明黄果厚壳桂群落的总生产力(换算为干物质)为  $91.73\ \text{t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ; 厚壳桂群落为 128.56, 其结果与 Walter, H. 的论述和调查泰国森林的数值比较接近。因此, 本文研究结果可以说明本区森林群落的世界森林植被生产力连续分布的位置和光能利用效率的幅度<sup>[1,3,5]</sup>。

#### 参 考 文 献

- 1 吴征镒等. 中国植被. 北京: 科学出版社, 1980
- 2 Zhang Zhuping et al. Nitrogen cycle of monsoon evergreen broad leaf forest in Dinghushan biosphere reserve——(I).

- The characteristics of floristic composition and structure of *Cryptocarya concinna*, *Lindera chunii* community. *Annali Di Botanica*(Roma), 1992, **50**: 161~171
- 3 Walter H. 世界植被. 北京:科学出版社, 1984
  - 4 张祝平等. 鼎湖山黄果厚壳桂群落的生物量. 生态科学, 1991, **18**(1): 8~11
  - 5 张祝平. 鼎湖山森林群落的光能利用效率. 植物生态学与地植物学学报, 1990, **14**(2): 139~150
  - 6 张祝平等. 鼎湖山森林群落植物量和第一性生产力的初步研究. 热带亚热带森林生态系统研究, 1989, **5**: 63~73
  - 7 彭少麟, 张祝平. 鼎湖山森林植被主要优势种云南银柴和柏拉木的生物量及第一性生产力研究. 应用生态学报, 1992, **3**(3): 202~206
  - 8 Jiangming Mo *et al.* Nitrogen distribution in vegetation of a subtropical monsoon evergreen broadleaf forest in China. *Tropics*, 1994, **3**(2): 143~153
  - 9 Ding Mingmao, Zhang Zhuping *et al.* Nitrogen cycling and its relationship to the ecosystem stability and development of the evergreen broad leaf forest in Southern Subtropical zone. in *proceedings of the international conference on natural Resources Management and conservation in Chinese Tropical and Subtropical Regions*. China Science and Technology Press, Beijing, China, 1991, 1~8
  - 10 屠梦照等. 鼎湖山亚热带常绿阔叶林凋落物的特征. 土壤学报, 1993, **30**(1): 34~42
  - 11 廖兰玉等. 鼎湖山某些植物群落根系生物量及其氮素动态. 植物生态学与地植物学学报, 1993, **17**(1): 56~60
  - 12 Larcher W. 植物生理生态学. 李博等译. 北京:科学出版社, 1980
  - 13 张祝平等. 粤北石灰岩山地主要造林树种的生理生态学特征. 植物生态学与地植物学学报, 1993, **17**(2): 133~142
  - 14 Niciporovic A A. 从光合作用是光照函数的研究来估计生产力. 植物生态学译丛. 1978, **3**: 37~48