

# 鹦哥岭山地雨林不同海拔区森林群落的生物量研究

郝清玉, 刘强\*, 王士泉, 钟琼芯, 王亚陈, 阮长林, 严廷良, 杜爽, 黄奕财

(热带动植物生态学省部共建教育部重点实验室, 海南师范大学生命科学院, 海口 571158)

**摘要:** 为了解海南岛不同海拔热带山地雨林生态系统的生物量现状, 在鹦哥岭山地雨林择伐林中按高(1063 m)、中(899 m)、低(473 m)等3个海拔区分别设立50个10 m × 10 m的固定样方, 对森林群落的生物量进行了分析研究。结果表明, 鹦哥岭山地雨林的生物量较低, 地上部分的生物量仅为152.6 t hm<sup>-2</sup>, 乔木层生物量为142.6 t hm<sup>-2</sup>; 乔木层的生物量在高海拔区明显高于中、低海拔区, 分别为197.6 t hm<sup>-2</sup>、112.2 t hm<sup>-2</sup>和117.8 t hm<sup>-2</sup>; 群落生物量的大小依次是乔木层 > 枯倒木 > 凋落物, 分配比例分别为94.22%、2.90%和2.88%; 其中乔木层的生物量以树干 > 树枝 > 树皮 > 树叶, 分配比例分别为72.63%、15.35%、9.23%和2.79%。因经过择伐, 群落中大径级和特大径级木较少, 各径级生物量比例为: 小径木(5 ~ 19.9 cm) 35.89%、中径木(20 ~ 35.9 cm) 26.24%、大径木(36 ~ 47.9 cm) 16.01%和特大径木(≥ 48 cm) 21.86%。可见, 鹦哥岭山地雨林经过30多年的恢复, 仍然处于演替的中期阶段, 其固碳潜力仍巨大。

**关键词:** 生物量; 海拔; 鹦哥岭; 山地雨林; 海南

doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2013.06.006

## Biomass of Forest Communities at Different Altitude Regions in Yinggeling Montane Tropical Rainforest, Hainan Island

HAO Qing-yu, LIU Qiang\*, WANG Shi-quan, ZHONG Qiong-xin, WANG Ya-chen, RUAN Chang-lin, YAN Ting-liang, DU Shuang, HUANG Yi-cai

(Ministry of Education Key Laboratory for Tropical Animal and Plant Ecology, College of Life Sciences, Hainan Normal University, Haikou 571158, China)

**Abstract:** In order to understand the biomass dynamic changes in tropical montane rainforest with selective harvesting at different altitudes, fifty permanent plots of 10 m × 10 m were established to investigate the biomass of forest communities in Yinggeling montane rainforest at each area of high (1063 m), middle (899 m) and low (473 m) altitudes. The results showed that the biomass of above-ground and tree layer in Yinggeling montane rainforest was only 152.6 t hm<sup>-2</sup> and 142.6 t hm<sup>-2</sup>, respectively, which was far less than that in natural forests of other areas in Hainan Island. The tree layer biomass of sample plots at high altitude was higher than that at middle and low altitude, amounting to 197.6 t hm<sup>-2</sup>, 112.2 t hm<sup>-2</sup> and 117.8 t hm<sup>-2</sup>, respectively. The ratio of biomass allocation was in the order of tree layer (94.22%) > snags & fallen log (2.9%) > litter (2.88%), while that of tree layer was in descending order: trunks (72.63%) > branches (15.35%) > barks (9.23%) > leaves (2.79%). Due to selective harvesting, number of large and extra large diameter trees was small, therefore, the ratio of biomass allocation in small diameter trees (5 – 19.9 cm), middle diameter trees (20 – 35.9 cm), large diameter trees (36 – 47.9 cm) and extra large diameter trees (≥ 48 cm) was accounting for 35.89%, 26.24%, 16.01% and 21.86%, respectively. After over 30 year's natural restoration, Yinggeling montane rainforest was still in the mid-

收稿日期: 2013-02-28

接受日期: 2013-05-14

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(XDA0505020602)资助

作者简介: 郝清玉(1963~), 男, 博士, 教授, 主要从事恢复生态学方面的研究。E-mail: hnhaoqy@126.com

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hnsylq@163.com

successional stage, which indicated that it would have a great potential on forest carbon sequestration in the future.

**Key words:** Biomass; Altitude; Yinggeling; Montane rain forest; Hainan

森林生物量是研究森林生态系统结构、功能<sup>[1]</sup>及物质循环<sup>[2]</sup>的基础,也是评价立地生产力高低的重要指标<sup>[3]</sup>。同时,生物量的估算也是研究碳储量,毁林及碳汇对全球碳平衡影响的基础<sup>[4-5]</sup>。森林生物量因群落类型、演替阶段、环境梯度、干扰强度等发生变化。在同一地区,森林生物量通常随林龄的增加而增大,达到成熟林时接近一个稳定值<sup>[6]</sup>。虽然热带雨林仅占全球植被面积的13%<sup>[7]</sup>,但通过光合作用和呼吸作用在一年四季均吸收和释放大量的碳,因此,热带雨林在全球碳循环中起着非常重要的作用。生物量估算方法可分为直接法和间接法。直接法需要采伐大量的测试树木,具有成本高、破坏性大的特点,但精度较高,如:皆伐法和平均木法等;间接法是利用一些易测量的指标(胸径、树高、冠幅等)通过回归模型来估算生物量,如:生物量模型估计法、材积转换法等。间接法回归模型参数的拟合需要建立在直接方法的基础上,但可以推广应用到其他林分,因此生物量模型估计法是目前比较常用的方法<sup>[8-9]</sup>。

目前海南岛对生物量的研究主要集中在尖峰岭、黎母山和霸王岭的山地雨林和季雨林。林分类型涉及到原始林、皆伐更新林、次生林和转化季雨林<sup>[2,8,10]</sup>,但对鹦哥岭热带山地雨林择伐天然更新林的研究尚未见报道。鹦哥岭山地雨林在20世纪60-80年代曾发生过群落盗伐和商业采伐,之后进行封山育林,经过30多年的自然恢复,目前高海拔区已恢复到演替中期阶段。在海南热带雨林中,这类经营方式的森林面积较大,本文选取具有代表性的鹦哥岭山地雨林进行生物量研究,其目的是通过筛选合理的生物量模型回归参数,估算鹦哥岭山地雨林(择伐更新林)生物量及其分配特征,研究不同海拔高度生物量的分布特征,为深入研究干扰方式对山地雨林生产力恢复能力及热带雨林不同演替阶段的固碳能力等提供理论基础。

## 1 研究地概况

研究地位于海南省琼中县鹦哥岭自然保护区核心区,地理坐标为北纬18°59'50.35"~19°3'49.80",东经109°21'28.74"~109°32'53.53"。鹦哥岭年平均气

温为20℃~24℃,年平均降雨量达1800~2700 mm。植被类型属于热带山地雨林。土壤为发育在花冈岩基质上的热带山地黄壤。调查样地分别设置在3个不同海拔区,海拔高度分别为1063 m、899 m和473 m。高海拔区于20世纪80年代曾进行过群众盗伐和商业采伐;中海拔区于20世纪70-80年代曾进行过群众盗伐;低海拔区于20世纪60-80年代曾进行过群众盗伐;采伐方式均为择伐。由于盗伐持续的时间较长,加之商业性采伐,故研究区的择伐强度均较高。中、高海拔区的土层深度小于1 m,土壤中混有砾石,低海拔区土层厚度则大于1 m。样地调查统计结果表明,不同海拔区的林分密度、平均胸径存在显著差异。低海拔区的林分密度最高,为1694 ind. hm<sup>-2</sup>,平均胸径最小,仅为11.06 cm;中海拔区的林分密度最低,为1586 ind. hm<sup>-2</sup>,平均胸径为11.96 cm;高海拔区的林分密度中等,为1670 ind. hm<sup>-2</sup>,平均胸径最大,为13.43 cm。青冈属(*Cyclobalanopsis*)和木姜子属(*Litsea*)植物以及梨果柯(*Lithocarpus howii*)为3个海拔区的广布优势种、属,其他优势种及其组成随海拔高度的变化差异较大,其中高海拔区的优势种主要有线枝蒲桃(*Syzygium araiocladum*)、红鳞蒲桃(*S. hancei*)和柯属(*Lithocarpus*)、木姜子属植物;中海拔区有五列木(*Pentaphylax euryoides*)、荷木(*Schima superba*)和杜英属(*Elaeocarpus*)植物等;低海拔区有梨果柯、黄牛木(*Cratogeomys ligustrinum*)和木姜子属植物等。林下植被主要由乔木的幼苗和幼树构成,但灌丛盖度及灌木组成随海拔高度的不同变化较大,高海拔区灌丛盖度较小,为54.44%,灌木优势种为青篱竹(*Pseudosasa amabilis*),中、低海拔区灌丛盖度相近,分别为79.30%和72.25%,灌木优势种分别为桫欏属(*Cyathea*)植物和九节(*Psychotria rubra*)。不同海拔区林下草本稀少,最大盖度仅为4.46%。另外,高海拔区局部分布着一定数量的甲竹(*Lingnania fimbriiligulata*)群丛,每丛平均有20~80株。

## 2 研究方法

### 2.1 调查方法

森林生物量及固碳能力的调查采用典型抽样

调查方法。样地设置在鹦哥岭核心区不同海拔高度的热带山地雨林内,其中高、中和低海拔区各设置 50 个样方,每个样方面积为  $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ 。对样方内的树木进行挂牌编号,记录树木种类、株数并测量树木胸径(DBH)  $\geq 5\text{ cm}$  的树高和冠幅。林下植被(灌木和乔木幼苗、幼树)和草本植物的调查采用小样方抽样法,小样方面积为  $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ ,小样方随机设置在样方的一个角上,记录灌丛盖度、种类和高度。高、中和低海拔区的灌草层调查的小样方数分别为 9 个、14 个和 20 个;凋落物调查也采用小样方法,小样方面积为  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ ,小样方数量为 9 个。样方分布在样地的不同方位上,收集小样方内的凋落物,称量鲜重,并取  $150 \sim 300\text{ g}$  鲜重带回实验室烘干称重,计算凋落物的现存量。利用 Excel 软件进行数据统计分析。

## 2.2 生物量模型回归参数的选择

森林生物量测定方法主要有皆伐法、材积转换法、生物量模型估计法和平均木法等<sup>[4]</sup>,其中皆伐法需对森林进行破坏性的测定,但结果真实可靠,是其他研究方法的基础。但由于国家实行天然林保护工程,海南岛全面实行禁伐,因此本文利用海南岛其他林区生物量回归模型对鹦哥岭林区的生物量进行估测。生物量回归模型法是利用林木易于测定的因子,如胸径( $D$ )、树高( $H$ )等,来推算难于测定的林木生物量( $W$ ),其中幂函数模型  $W = a(D^2H)^b$  应用最为普遍<sup>[10]</sup>。生物量回归模型中的回归参数  $a$  和  $b$  是通过一定数量的皆伐样本进行线性回归获得。海南岛热带雨林生物量回归模型主要有黎母山热带山地雨林模型<sup>[10]</sup> (I),尖峰岭热带山地雨林模型(原始林和更新林)(II),尖峰岭热带季雨林模型(III)及海南岛热带山地雨林模型<sup>[8]</sup> (IV)——黎母山热带山地雨林和尖峰岭热带山地雨林的混合模型(表 1)。黎母山热带山地雨林的林分起源于原始林,特大径木生物量高达 60% 以上,优势种有陆均松(*Dacrydium pierrei*),尖峰桢楠(*Machilus monticola*),青蓝(*Xanthophyllum hainanense*),盘壳栎(*Quercus patelliformis*),厚壳桂(*Cryptocarya chinensis*),线枝蒲桃,亨氏蒲桃(*Syzygium henryi*),属于演替顶极群落。尖峰岭原始林的优势种为壳斗科(Fagaceae),梧桐科(Sterculiaceae),樟科(Lauraceae),山榄科(Sapotaceae)和桃金娘科(Myrtaceae)植物,特大径木的生物量达 43.45%,属于演替顶极群落。尖峰岭

更新林的林分起源于皆伐天然更新林,优势种为壳斗科,榆科(Ulmaceae),樟科植物,缺乏特大径木,属于演替中期群落。尖峰岭热带季雨林的优势种为大叶鼠刺(*Itea macrophylla*),水锦树(*Wendlandia uvariifolia*),翻白叶(*Pterospermum heterophyllum*),短齿叶柃(*Eurya loquaiana*),姜磨桐(*Lithoearpus silvicolarum*),大沙叶(*Aporosa chinensis*)。鹦哥岭热带山地雨林起源于择伐天然更新林,优势种有无线枝蒲桃、五列木、梨果柯和柯属、杜英属、木姜子属植物,特大径木的生物量达 22.34%,属于中期-顶极的过渡类型。

生物量回归模型参数的选择采用尽可能使研究样地与模型参数估计的样地相接近的原则。考虑到鹦哥岭与黎母山距离较近,均位于琼中县境内,且同属于山地雨林,与尖峰岭相距较远,因此应首选模型 I 的回归参数用于鹦哥岭山地雨林生物量的估测。但是,黎母山热带山地雨林模型 I 的起测径级为  $5.5\text{ cm}$ ,特大径木的生物量高达 60% 以上,属于演替顶极群落,这些特征与鹦哥岭山地雨林差异性较大,因此不适合采用此模型。海南岛热带山地雨林模型 IV 是将黎母山山地雨林和尖峰岭山地雨林的皆伐样本进行合并得到的,起测径级为  $5\text{ cm}$ ,中、小径木样本数量增加,特大径木比例减少,这些特点与鹦哥岭山地雨林的特征更加接近,因此本文主要选择模型 IV 进行生物量估测,同时与模型 I、II、III 进行对比分析。生物量回归模型的样地生境和林分类型见表 2。

生物量模型 IV 属于非兼容性模型,即各器官生物量估测值的总和与总生物量的估测值存在一定的误差,因此需要对各器官生物量的估测值进行校正。但考虑到地上部分单株生物量( $W$ )和树干生物量( $W_t$ )的相关系数( $r$ )较高,分别为 0.97 和 0.96,而树皮生物量( $W_{bk}$ )、树枝生物量( $W_{br}$ )、树叶生物量( $W_l$ )的相关系数( $r$ )相对较低,分别为 0.89、0.81 和 0.80<sup>[8]</sup>,因此本文只对  $W_{bk}$ 、 $W_{br}$  和  $W_l$  进行校正。校正方法采用生物量加权平均法,即各器官生物量变化量 = 误差量  $\times W_i / \sum_{i=bk}^{l} W_i$ ,式中  $W_i$  为各器官生物量, $i$  取  $bk$ ,  $br$ ,  $l$ 。

另外,乔木层优势种是根据各树种生物量的大小筛选出来的,若生物量占总生物量的 1% 左右均确定为优势种,每块样地共选出 8 种优势种。

## 2.3 径级划分标准

根据树木的胸径大小划分为 4 个径级<sup>[11]</sup>,即:

表 1 海南岛热带雨林生物量回归模型中的参数

Table 1 Parameters in biomass regression models for tropical rainforest in Hainan Island

生物量 Biomass	模型 Model							
	I		II		III		IV	
	a	b	a	b	a	b	a	b
W	0.045691	0.960662	0.040213	0.97268	0.113121	0.840652	0.042086	0.970315
Wt	0.031134	0.961226	0.022816	0.992674	0.097049	0.827354	0.022178	1.005174
Wbk	0.005354	0.908143	0.006338	0.902418			0.004412	0.943871
Wbr	0.00399	1.037314	0.005915	0.999046	0.006702	0.959917	0.011633	0.892514
Wl	0.005765	0.761225	0.005979	0.804661	0.018616	0.658202	0.007247	0.750386

I: 黎母山热带山地雨林; II: 尖峰岭热带山地雨林(原始林和更新林); III: 尖峰岭热带季雨林; IV: 海南岛热带山地雨林; W: 地上部分单株生物量; Wt: 树干生物量; Wtb: 树干和树皮生物量的总和; Wbk: 树皮生物量; Wbr: 树枝生物量; Wl: 树叶生物量。下表同。

I: Limushan tropical montane rainforest; II: Jianfengling montane tropical rainforest (virgin forest and regeneration forest); III: Jianfengling tropical monsoon forest; IV: Hainan Island tropical montane rainforest; W: Above-ground biomass; Wt: Stem biomass; Wtb: Total biomass of stem and bark; Wbk: Bark biomass; Wbr: Branch biomass; Wl: Leaf biomass. The same is following Tables.

表 2 海南热带山地雨林的生境特点

Table 2 Habitat characteristics of Hainan tropic montane rainforests

地点 Region	林型 Type	气温 (°C) Temperature	降雨量 Rainfall (mm)	海拔 (m) Altitude	皆伐样地面积 Plot area of clear cutting (m <sup>2</sup> )	皆伐径级 Clear cutting diameter class (cm)	密度 Density (ind. hm <sup>-2</sup> )
黎母山 Limushan		20.5	3727	680 ~ 700	1500	> 5.5	1126.67
尖峰岭 Jianfengling	原始林 Virgin forest	19.7 ~ 24.5	1600 ~ 3000	850 ~ 900	300	> 5	2133
尖峰岭 Jianfenglin	更新林 Regeneration forest	19.7 ~ 24.5	1600 ~ 3000	850 ~ 900	206.67	> 5	1839
尖峰岭 Jianfenglin	季雨林 Monsoon forest	24.5	1634.3	400 ~ 500	20	> 7.5	-
鹦哥岭 Yinggeling		20 ~ 24	1800 ~ 2700	473 ~ 1063	-	> 5	1650

小径木: 5 ~ 19.9 cm; 中径木: 20 ~ 35.9 cm; 大径木: 36 ~ 47.9 cm; 特大径木: ≥ 48 cm。

相比, 低海拔区乔木层地上部分的生物量比例较高, 为 96.84%, 但枯倒木生物量的比例较低, 仅为 0.62%(表 3)。

### 3 结果和分析

#### 3.1 海拔高度对群落生物量的影响

根据生物量模型(IV)和样地资料统计出鹦哥岭热带山地雨林不同海拔高度的生物量。结果表明: 凋落物生物量和枯立木生物量均随海拔高度的升高而增加; 高海拔区地上部分总生物量高达 218.6 t hm<sup>-2</sup>, 而低海拔区的总生物量仅为 121.6 t hm<sup>-2</sup>, 高海拔区比中、低海拔区的总生物量分别高 85.81% 和 79.71%; 乔木层地上部分生物量是地上部分总生物量的主体, 约占 94.22%, 凋落物次之, 约占 2.88%, 枯倒木的比例很小, 仅占 2.9%; 与高海拔区

#### 3.2 乔木层各器官生物量的分配

根据生物量模型IV, 非兼容校正模型和样地资料统计出鹦哥岭热带山地雨林不同海拔高度乔木层各器官的生物量, 结果表明: 在乔木层生物量中, 以树干生物量最多, 平均占 72.63%, 树枝次之, 平均占 15.35%, 树皮为第三位, 平均占 9.23%, 树叶生物量最小, 平均仅占 2.79%; 海拔高度对乔木层各器官生物量的分配有一定的影响, 与中、低海拔区相比, 高海拔区的树干生物量比例较高, 其他 3 个器官生物量的比例却较低, 但中、低海拔间的各器官生物量比例无明显差异(表 4)。

表 3 鹦哥岭热带山地雨林不同海拔高度地上部分的生物量(kg hm<sup>-2</sup>)

Table 3 Biomass (kg hm<sup>-2</sup>) of above-ground at different altitude in Yinggeling tropical montane forest

海拔区 Altitude region	乔木 Tree	枯立木 Snag	倒木 Fallen wood	凋落物 Litter	总和 Total
高 High	197634.5	7823.3	7992.5	5135.6	218595.9
%	90.42	3.58	3.66	2.35	100
中 Middle	112243.0	978.3	0.0	4416.4	117637.8
%	95.41	0.83	0	3.75	100
低 Low	117795.5	553.2	206.9	3078.4	121634.0
%	96.84	0.45	0.17	2.53	100
平均 Average	142557.7	3118.3	2733.1	4210.1	152619.2
%	94.22	1.62	1.28	2.88	100

枯立木生物量不包含树叶生物量;倒木不包含树枝和树叶生物量;总生物量不包含灌木和草本生物量。

Snag and fallen tree biomass don't include leaf, branch and leaf biomass, respectively. Total biomass didn't include bush and grass biomass.

表 4 乔木各器官生物量(kg hm<sup>-2</sup>)及分配

Table 4 Biomass (kg hm<sup>-2</sup>) and allocation in different organs of trees

海拔区 Altitude region	W	W <sub>t</sub>	W <sub>bk</sub>	W <sub>br</sub>	W <sub>l</sub>	∑W <sub>i</sub>	误差 Error
高海拔 High altitude	197634.5	146619.9	16037.9	25926.6	4396.3	192980.7	4653.8
校正值 Correction value	-	-	17647.8	28529.2	4837.6		
%	100	74.19	8.93	14.44	2.45		
中海拔 Middle altitude	112243.0	80360.5	9342.5	15807.7	2977.5	108488.2	3754.8
校正值 Correction value	-	-	10589.6	17917.9	3375.0		
%	100	71.6	9.43	15.96	3.01		
低海拔 Low altitude	117795.5	84939.6	9755.9	16365.8	3032.7	114093.9	3701.6
校正值 Correction value	-	-	10994.6	18443.6	3417.7		
%	100	72.11	9.33	15.66	2.9		
平均比例 Average %	100	72.63	9.23	15.35	2.79		

$\sum W_i = W_t + W_{bk} + W_{br} + W_l$ ; 误差量 =  $(W - \sum W_i)$ 。

$\sum W_i = W_t + W_{bk} + W_{br} + W_l$ ; Error =  $(W - \sum W_i)$ 。

### 3.3 乔木层优势种的生物量

优势种及其各器官生物量的分配结果表明:不同海拔高度优势种组成有较大的差异性,随着海拔高度的升高,8 优势种的总生物量逐渐递减,分别为 81.60%、78.85% 和 66.01%(表 5)。

### 3.4 各径级生物量及其分配

根据生物量模型Ⅳ和样地资料统计出鹦哥岭热带山地雨林不同海拔高度各径级树木的株数和生物量,结果表明:随海拔高度的升高,20 cm 以下的小径木比例逐渐减少,从低海拔区的 92.21% 递减到高海拔区的 84.07%,20 cm ~ 35.9 cm 中径木的比例则逐步增大,从低海拔区的 4.84% 增加到高

海拔的 13.05%,高海拔区 48 cm 以上特大径木的数量和比例高于中、低海拔区的。各径级树木生物量随海拔高度的变化与株数比例相类似,即随海拔高度的升高,小径木生物量所占比例逐渐减少,中径木的比例则逐渐增加。在各种径级中,生物量变化较为平缓,但株数的变化很大,特别是小径木的数量急剧增加,平均占总株数的 88.48%;大径木和特大径木的比例不足 3%,生物量却高达 37%,相反小径木的生物量仅为 35.89%(表 6)。

### 3.5 鹦哥岭山地雨林与其他雨林生物量的比较

海南岛各种热带雨林生物量的统计结果表明,原始林乔木层的生物量较高,为 492.5 ~ 625.4 t hm<sup>-2</sup>,

表 5 乔木层优势种生物量及各器官生物量(kg hm<sup>-2</sup>)的分配Table 5 The biomass of dominant species in tree layer and biomass allocation for each organ (kg hm<sup>-2</sup>)

海拔区 Altitude regions	优势种 Dominant species	密度 Density (ind. hm <sup>-2</sup> )	%	W	Wt	Wbk	Wbr	Wl	∑Wi
高 High	青冈属 <i>Cyclobalanopsis</i>	66	36.74	72607.0	57408.1	5607.2	8210.8	1042.6	72268.7
	柯属 <i>Lithocarpus</i>	238	9.13	18046.3	12654.8	1524.1	2644.6	523.2	17346.6
	线枝蒲桃 <i>Syzygium araiocladu</i>	250	6.95	13729.5	9569.9	1165.1	2042.3	417.6	13195.0
	红鳞蒲桃 <i>Syzygium hancei</i>	164	4.08	8072.2	5620.1	685.7	1204.9	248.7	7759.4
	木姜子属 <i>Litsea</i>	162	3.26	6433.9	4424.0	551.7	986.6	213.1	6175.4
	短翅黄杞 <i>Engelhardtia colebroodenne</i>	16	3.15	6234.2	4681.1	499.9	784.3	117.6	6082.8
	含笑属 <i>Michelia</i>	16	1.63	3229.1	2327.6	267.0	444.4	78.0	3117.0
	降真香 <i>Acronychia pedunculata</i>	24	1.07	2106.6	1500.9	175.8	298.6	56.0	2031.3
	合计 Total			66.01	130458.8	98186.4	10476.6	16616.5	2696.7
中 Middle	青冈属 <i>Cyclobalanopsis</i>	82	35.27	39585.6	29606.7	3183.7	5024.4	764.0	38578.7
	五列木 <i>Pentaphylax euryoides</i>	592	23.20	26045.4	18194.6	2208.2	3870.6	800.3	25073.9
	荷木 <i>Schima superba</i>	92	4.92	5518.6	3897.2	464.1	800.7	158.5	5320.5
	杜英属 <i>Elaeocarpus</i>	124	4.87	5470.9	3765.6	468.7	836.3	179.1	5249.6
	梨果柯 <i>Lithocarpus howii</i>	84	3.97	4455.1	3067.6	381.4	679.3	143.9	4272.3
	短翅黄杞 <i>Engelhardtia colebroodenne</i>	52	3.05	3421.6	2375.3	291.1	512.4	105.1	3283.9
	潺槁木姜 <i>Litsea glutinosa</i>	88	2.42	2720.7	1847.4	235.5	428.7	97.0	2608.5
	尖峰桢楠 <i>Machilus monticola</i>	60	1.14	1283.0	881.5	110.2	198.5	44.7	1235.0
	合计 Total			78.85	88500.8	63635.9	7342.9	12350.9	2292.7
低 Low	乌墨 <i>Syzygium cumini</i>	68	38.06	44833.3	33670.6	3593.3	5628.3	833.6	43725.8
	梨果柯 <i>Lithocarpus howii</i>	686	27.13	31959.0	22103.1	2728.1	4835.7	1018.1	30684.9
	枫香 <i>Liquidambar formosana</i>	10	8.04	9473.6	7409.7	736.7	1090.3	140.0	9376.7
	木姜子属 <i>Litsea</i>	112	2.39	2820.1	1925.9	243.3	440.8	99.9	2709.9
	无患子科 <i>Sapindaceae</i>	48	1.81	2135.9	1488.1	181.4	318.7	66.1	2054.3
	楝科 <i>Meliaceae</i>	18	1.62	1913.8	1358.3	160.2	273.0	51.4	1842.8
	黄牛木 <i>Cratoxylon ligustrinum</i>	96	1.55	1822.7	1218.1	159.7	298.0	72.5	1748.3
	杜英属 <i>Elaeocarpus</i>	10	0.99	1167.7	821.3	98.4	169.6	32.7	1122.0
合计 Total			81.60	96126.0	69995.1	7901.0	13054.4	2314.2	93264.6

表 6 各径级树木的生物量分配

Table 6 Biomass allocation in different diameter class

径级 Diameter class		海拔区 Altitude region						平均 Mean (%)
		高 High	%	中 Middle	%	低 Low	%	
小 Small	密度 Density (ind. hm <sup>-2</sup> )	1404	84.07	1414	89.16	1562	92.21	88.48
	生物量 Biomass (kg hm <sup>-2</sup> )	54349.57	27.50	44493.05	39.64	47737.8	40.53	35.89
中 Middle	密度 Density (ind. hm <sup>-2</sup> )	218	13.05	130	8.20	82	4.84	8.58
	生物量 Biomass (kg hm <sup>-2</sup> )	60902.85	30.82	31690.85	28.23	23174.2	19.67	26.24
大 Large	密度 Density (ind. hm <sup>-2</sup> )	24	1.44	32	2.02	38	2.24	1.90
	生物量 Biomass (kg hm <sup>-2</sup> )	14710.87	7.44	20913.37	18.63	25850.71	21.95	16.01
特大 Extra lage	密度 Density (ind. hm <sup>-2</sup> )	24	1.44	10	0.63	12	0.71	0.93
	生物量 Biomass (kg hm <sup>-2</sup> )	67671.17	34.24	15145.77	13.49	21032.79	17.86	21.86
总和 Total	密度 Density (ind. hm <sup>-2</sup> )	1670	100	1586	100	1694	100	100
	生物量 Biomass (kg hm <sup>-2</sup> )	197634.46	100	112243.04	100	117795.5	100	100

其中特大径木的生物量比例高达 43.45% ~ 60%，尖峰岭季雨林的生物量最低，仅为 125.8 t hm<sup>-2</sup>，而鹦哥岭择伐更新林的生物量稍高于尖峰岭季雨林，为 142.6 t hm<sup>-2</sup>，远低于尖峰岭皆伐天然更新林(30 年)的 256.5 t hm<sup>-2</sup>；鹦哥岭山地雨林的生物量也远低于马来西亚热带湿润雨林(391.0 t hm<sup>-2</sup>)<sup>[4]</sup>、巴西热带雨林(264.0 t hm<sup>-2</sup>)<sup>[13]</sup>、柬埔寨热带湿润雨林(295.0 t hm<sup>-2</sup>)<sup>[14]</sup>以及西双版纳象明热带山地雨林(302.1 t hm<sup>-2</sup>)<sup>[15]</sup>。此外，鹦哥岭的凋落物生物量和特大径木生物量比例也远低于原始森林(表 7)。

### 3.6 不同生物量模型对群落生物量的影响

对生物量模型 I ~ IV 的结果进行了比较分析，结果表明：乔木层生物量从高到低的顺序依次

为尖峰岭与黎母山混合模型(IV, 142.6 t hm<sup>-2</sup>)、黎母山原始林模型(I, 141.4 t hm<sup>-2</sup>)、尖峰岭热带山地雨林(原始林和更新林)模型(II, 139.2 t hm<sup>-2</sup>)、尖峰岭季雨林模型(III, 101.6 t hm<sup>-2</sup>)，可见模型 I、II、III 计算的生物量比本文采用的模型 IV 分别降低了 -0.78%、-2.33% 和 -28.76%。乔木各器官生物量中只有树干生物量模型的顺序与乔木层生物量的变化顺序一致，即 IV > I > II > III，树皮生物量(Wbk)模型的顺序为 IV > II > I，树枝生物量(Wbr)模型的顺序为 II > I > IV > III，树叶生物量(Wl)模型的顺序为 II > III > IV > I；模型 II 计算的树枝和树叶生物量明显高于其他模型，模型 IV 计算的树干生物量明显高于其他模型，模型 I 计算的各器官生物量较为均衡(表 8)。

表 7 海南岛热带雨林生物量比较

Table 7 Biomass of tropical rain forest in Hainan Island

地点 Region	乔木层 Tree layer (t hm <sup>-2</sup> )	下木层 Subtree layer (t hm <sup>-2</sup> )	凋落物 Litter (t hm <sup>-2</sup> )	特大径木的比例 % of extra large diameter trees
黎母山原始林 Limushan virgin forest <sup>[10]</sup>	492.5	13.9	-	> 60
尖峰岭原始林 Jianfengling virgin forest <sup>[8]</sup>	625.4	12.6	6.0	43.45
尖峰岭更新林 Jianfengling regeneration forest <sup>[8]</sup>	256.5	10.2	6.0	0.00
尖峰岭季雨林 Jianfengling monsoon forest <sup>[12]</sup>	125.8	59.1	-	-
鹦哥岭更新林 Yinggeling regeneration forest	142.6	-	4.2	21.86

-: 无数据。

-: No data.

表 8 不同模型计算的乔木层生物量(kg hm<sup>-2</sup>)

Table 8 Biomass (kg hm<sup>-2</sup>) of tree layer calculated by different models

模型 Model	W	Wt	Wbk	Wbr	Wl	ΣWi	与IV相比 Compared with model IV (%)
I	141445.2	96884.4	10255.5	25318.9	3025.3	135484.0	-0.78
II	139231.5	95151.1	11537.0	26182.3	4585.6	137456.0	-2.33
III*	101563.5	77751.2	-	17094.2	3659.8	98505.2	-28.76
IV	142557.7	103973.4	11712.1	19366.7	3468.8	138520.9	

\*: Wt 包含 Wbk, 模型参见表 1。

\*: Wt include Wbk, and Models see Table 1.

## 4 结论和讨论

(1) 鹦哥岭山地雨林在 80 年代曾进行过商业性择伐或群众盗伐，经过 30 多年的自然恢复，生物量在不断增加，但乔木层地上生物量仅为 112.2 ~ 197.6 t hm<sup>-2</sup>，远低于岛内及其他地区热带雨林的生物量(250 ~ 300 t hm<sup>-2</sup>)<sup>[4,8,13-15]</sup>。鹦哥岭山地雨林生

物量较低的主要原因是林分中大径木或特大径木的数量较少。研究结果表明热带雨林生物量的大小主要取决于大径木(DBH ≥ 45 cm)或特大径木(DBH ≥ 60 cm)的数量，一般约 1% 的大径木或特大径木，其生物量却占乔木层地上总生物量的 25% ~ 32%<sup>[16-17]</sup>。鹦哥岭不同海拔高度特大径木(DBH ≥ 48 cm)株数的平均比例不足 1%，但乔木层地上生

物量的比例却高达 22%。这表明无论是择伐经营林还是原始天然林,大径木或特大径木均是构成热带雨林生物量的主体。另外,随海拔高度的升高,凋落物和枯立木生物量呈逐渐增加的趋势;小径木的生物量比例逐渐递减,中径木及特大径木的比例则逐渐增加,这些结果表明不同海拔高度的山地雨林处于不同的演替阶段。其中,低海拔区小径木数量较多,大径木和枯立木较少,说明林分自疏现象不严重,林分尚处于演替的初期阶段;相反,在高海拔区,小径木减少,中径木、特大径木及枯立木的生物量增多,说明林分自疏现象开始加剧,林分已达到森林演替的中期阶段,但达到演替顶极阶段还需要一些时间,因为生物量远低于岛内其他原始热带雨林。

(2) 鹦哥岭山地雨林乔木层生物量占地上生物量的 94.22%,其中,树干生物量占乔木层各器官生物量的 72.63%,其结果表明乔木及乔木的树干部分是热带雨林生物量的主体。本文乔木树干生物量比例与西双版纳热带山地雨林的树干生物量比例<sup>[15]</sup>相当(去除不可比较部分,经归一化处理),分别为 80.02% 和 76.34%,但树枝生物量所占比例有明显的差异,分别为 16.91% 和 21.63%。这可能是不同热带雨林树种组成及树木的形态特征存在差异性所致。

(3) 鹦哥岭山地雨林不同海拔区的优势种组成(生物量)存在明显差异,但是青冈属(*Cyclobalanopsis*)和木姜子属(*Litsea*)植物分布较广。高海拔区呈单优势种,其中青冈属植物的生物量显著高于其他优势种,占 36.74%;中海拔区呈双优势种,其中青冈属植物和五列木(*Pentaphylax euryoides*)的生物量分别占 35.27% 和 23.20%;低海拔区也呈双优势种,其中乌墨(*Syzygium cumini*)和梨果柯(*Lithocarpus howii*)的生物量最大,分别占 38.06% 和 27.13%。这表明鹦哥岭热带山地雨林处于自然演替的初期和中期阶段,单优或双优群落明显。由于群落调查期间植物无花无果,一些植物难以鉴定到种,因此,一定程度上影响了各树种生物量的分配结果。

(4) 选用不同模型估测的生物量有一定的差别,但模型Ⅳ和模型Ⅰ估测的生物量差异较小,仅为 -0.78%。通过对不同模型估测的生物量进行对比分析,林分类型是影响生物量精度的重要指标,山地雨林和季雨林模型估测的生物量差异明显,两

种模型相差近 30%;同一种林分类型(山地雨林),尽管密度、起源、演替系列和特大径木比例等差异较大,但不同模型计算出的生物量差异较小,误差小于 3%;另外不同模型之间的差异还表现在各器官生物量的分配上,模型Ⅱ估测的树冠生物量比例较高,模型Ⅳ估测的树干生物量比例较高。因此,当林分树冠发达时应优先选择模型Ⅱ,但树冠不发达时应优先选择模型Ⅳ。

(5) 由于乔木层是构成地面生物量的主体,因此乔木的数量(密度)、形态、各径级比例,特别是大径木和特大径木比例对生物量的影响极大。而群落的演替阶段又影响各径级比例和树木形态,若能按不同森林的演替阶段(初期,中期,顶极),分径级(小、中、大和特大径木)建立生物量模型,将会显著提高热带雨林生物量估测的精度。

#### 参考文献

- [1] Chave J, Andalo C, Brown S, et al. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests [J]. *Oecologia*, 2005, 145(1): 87-99.
- [2] Liu W D, Zang R G, Ding Y. Variation of biomass among three low elevation tropical forests of Bawangling on Hainan Island, China [J]. *J Nat Res*, 2009, 24(7): 1212-1222.  
刘万德, 臧润国, 丁易. 海南岛3种低海拔热带林生物量变化规律 [J]. *自然资源学报*, 2009, 24(7): 1212-1222.
- [3] N avar J. Allometric equations for tree species and carbon stocks for forests of northwestern Mexico [J]. *For Ecol Manage*, 2009, 257(2): 427-434.
- [4] Brown S, Gillespie A J R, Lugo A E. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data [J]. *For Sci*, 1989, 35(4): 881-902.
- [5] Litton C M, Kauffman J B. Allometric models for predicting above-ground biomass in two widespread woody plants in Hawaii [J]. *Biotropica*, 2008, 40(3): 313-320.
- [6] Hoshizaki K, Niiyama K, Kimura K, et al. Temporal and spatial variation of forest biomass in relation to stand dynamics in a mature, lowland tropical rainforest, Malaysia [J]. *Ecol Res*, 2004, 19(3): 357-363.
- [7] Malhi Y, Grace J. Tropical forests and atmospheric carbon dioxide [J]. *Trend Ecol Evol*, 2000, 15(8): 332-337.
- [8] Li Y D. Comparative analysis for biomass measurement of tropical mountain rain forest in Hainan Island, China [J]. *Acta Ecol Sin*, 1993, 13(4): 313-320.  
李意德. 海南岛热带山地雨林林分生物量估测方法比较分析 [J]. *生态学报*, 1993, 13(4): 313-320.
- [9] Xu H, Zhang H R. Research on Tree Biomass Models [M]. Kunming:

- Yunnan Science and Technology Press, 2002: 10–18.
- 胥辉, 张会儒. 林木生物量模型研究 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 2002: 10–18.
- [10] Huang Q, Li Y D, Lai J Z, et al. Study on biomass of tropical mountain rain forest in Limushan, Hainan Island [J]. *Acta Phytoecol Geobot Sin*, 1991, 15(3): 197–206.
- 黄全, 李意德, 赖巨章, 等. 黎母山热带山地雨林生物量研究 [J]. *植物生态学与地植物学学报*, 1991, 15(3): 197–206.
- [11] Hao Q Y. Community Structure and Selective Cutting Management Strategy for Broad-leaved Forest [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2011: 1–84.
- 郝清玉. 阔叶混交林群落结构及择伐经营策略 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2011:1–84.
- [12] Yang Y, Li Y D, Zeng Q B, et al. Study on community structure and biomass of monsoon forest in Jianfeng Mt., Hainan Island [J]. *Nat Sci J Hainan Univ*, 1988, 6(4): 26–32.
- 阳云, 李意德, 曾庆波, 等. 海南岛尖峰岭热带季雨林群落结构及其地上部分生物量的研究 [J]. *海南大学学报: 自然科学版*, 1988, 6(4): 26–32.
- [13] Keller M, Palace M, Hurtt G. Biomass estimation in the Tapajos National Forest, Brazil: Examination of sampling and allometric uncertainties [J]. *For Ecol Manage*, 2001, 154(3): 371–382.
- [14] Brown S. Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: a Primer. (FAO Forestry Paper No. 134) [M]. Rome: Forest Resources Assessment Publication, 1997: 1–31.
- [15] Zheng Z, Liu H M, Feng Z L. Biomass of tropical montane rain forest in Xishuangbanna of southwest China [J]. *Chin J Ecol*, 2006, 25(4): 347–353.
- 郑征, 刘宏茂, 冯志立. 西双版纳热带山地雨林生物量研究 [J]. *生态学杂志*, 2006, 25(4): 347–353.
- [16] Clark D B, Clark D A. Abundance, growth and mortality of very large trees in neotropical lowland rain forest [J]. *For Ecol Manage*, 1996, 80(2): 235–244.
- [17] Chen D X, Li Y D, Liu H P, et al. Biomass and carbon dynamics of a tropical mountain rain forest in China [J]. *Sci China Life Sci*, 2010, 53(7): 798–810.