

鼎湖山南亚热带季风常绿阔叶林 C 贮量分布

唐旭利, 周国逸*, 温达志, 张德强, 闫俊华

(中国科学院华南植物研究所, 广州 510650)

摘要:在对 1hm² 永久样地调查的基础上结合优势树种 C 含量的实测值,对鼎湖山南亚热带季风常绿阔叶林的 C 贮量及其空间和种群分布特点进行了分析,结果表明:(1)鼎湖山季风常绿阔叶林现存 C 贮量为 89.75t·hm⁻²,其中,干、枝、叶、根分别占总量的 53.09%、25.36%、2.64%和 18.31%;(2)数量上小径级个体占有绝对优势,1hm² 样地内 DBH<20cm 的个体占总数的 95%,个体数量随径级的增加而迅速减少,而 C 贮量的径级分布则大致呈“M”形;(3)根据树木高度分为 4 个层次,即 I 层(h≥20m),II 层(10<h≤20m),III 层(5<h≤10m)和 IV 层(h<5m),各亚层之间 C 贮量与该层次的高度呈正相关,占总 C 贮量的比例依次为 53.97%、31.37%、11.26%和 3.40%。在垂直方向上,干、枝、根 C 贮量变化与总 C 贮量的变化趋势大体一致,叶的 C 贮量则以 III 层最大;(4)优势种群对季风常绿阔叶林 C 贮量贡献排序为:锥栗 *Castanopsis chinensis*> 荷木 *Schima superba*> 黄果厚壳桂 *Cryptocarya concinna*> 厚壳桂 *Cryptocarya chinensis*> 肖蒲桃 *Acmena acuminatissima*> 黄杞 *Engelhardtia roxburghiana*> 白颜树 *Gironniera subaequalis*> 臀形果 *Pygeum topengii*> 橄榄 *Canarium album*> 窄叶半枫荷 *Pterospermum lanceaeifolium*> 华润楠 *Machilus chinensis*> 鸭脚木 *Schefflera octophylla*> 韶子 *Nephelium chryseum*。成熟度较高的种群 C 贮量较高,起主导作用。

关键词:南亚热带季风常绿阔叶林; C 贮量; 垂直分布; 径级分布; 鼎湖山自然保护区

Distribution of carbon storage in a lower subtropical monsoon evergreen broad-leaved forest in Dinghushan Nature Reserve

TANG Xu-Li, ZHOU Guo-Yi, WEN Da-Zhi, ZHANG De-Qiang, YAN Jun-Hua (South China Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China). *Acta Ecologica Sinica*. 2003. 23(1): 90~99.

Abstract: It is of theoretical importance to understand forest standing carbon storage. Although there have been many reports on it for major forest types, most of them refer to forests in tropics, medi- and high-latitude areas in the Northern Hemisphere, few focus on forests near the tropic of cancer. The regional vegetation in Dinghushan Nature Reserve (DNR) is monsoon evergreen broad-leaved forest (MEBF). Although located in the tropic of cancer, the area is covered with different forest types, including

基金项目:科技部 973 前期资助项目(2001CCB00600);中国科学院创新资助项目(KZCX2-407);国家杰出青年基金资助项目(B类)(39928007);鼎湖山定位站资助项目

收稿日期:2002-01-23;**修订日期:**2002-11-04

作者简介:唐旭利(1977~),女,四川成都人,硕士。主要从事森林生态系统方面的研究。

* 通讯作者 Author for correspondence

Foundation item: This work was jointly supported by the “973” priority fund under the auspices of the National Science and Technology Department(2001CCB00600), the Innovation Fund from the Chinese Academy of Sciences(KZCX2-407) and the Outstanding Chinese Youth Scholar Fund (B type) from the National Foundation of Natural Sciences(39928007). Early field survey was supported by the CERN monitoring program of Dinghushan Forest Station

Received date:2002-01-23; **Accepted date:**2002-11-04

Biography: TANG Xu-Li, Master. Interested in forest ecosystem ecology study.

integrated forest succession series. Besides, the background data in this area have been well documented since 1956, which benefits this study. Based on biomass data in 1-hectare permanent plot and carbon contents of dominant species in each height class for MEBF, the paper analyzed standing carbon storage and its distribution according to vertical layers, DBH (diameter at breast height) classes and population. The results are showed as following: (1) Standing carbon storage in the lower subtropical monsoon evergreen broad-leaved forest amounts to $89.75 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, with the percentage of 53.09%, 25.36%, 2.64% and 18.31% in boles, branches, leaves and roots, respectively; (2) Individuals with DBH less than 20 cm dominate the community, account for 95% of the total. The number of individuals decreases remarkably with DBH class increasing. Distribution of standing carbon storage with DBH class enhancement demonstrates an "M" shape tendency. When DBH increases from 1 cm to 100 cm, there are two maximum values of standing carbon storage occurring in the DBH classes of 20~30 cm and 70~90 cm, being $12.50 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ and $14.14 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, respectively, and there is a minimum value of standing carbon storage showing in the DBH class of 50~60 cm, being $1.69 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$; (3) Vertical distribution of standing carbon storage increases simply with layer height. Of the whole standing carbon storage, 53.97% is allocated in layer I ($h \geq 20\text{m}$), 31.37% in layer II ($10\text{m} \leq h < 20\text{m}$), 11.26% in layer III ($5\text{m} \leq h < 10\text{m}$), and 3.40% in layer IV ($h < 5\text{m}$). Standing carbon storage in boles, branches, roots and leaves also increases with layer height except the leaves of layer II, the standing carbon storage of which is the highest; (4) The amount of standing carbon storage of dominant species in MEBF is in this sequence: *Castanopsis chinensis* > *Schima superba* > *Cryptocarya concinna* > *Cryptocarya chinensis* > *Acmena acuminatissima* > *Engelhardtia roxburghiana* > *Girardinia subaequalis* > *Pygeum topengii* > *Canarium album* > *Pterospermum lanceaefolium* > *Machilus chinensis* > *Schefflera octophylla* > *Nephelium chryseum*. In general, the population with higher maturation dominates the standing carbon storage of the community.

Key words: lower subtropical monsoon evergreen broad-leaved forest (MEBF); standing carbon storage; layer height class; DBH class; Dinghushan Nature Reserve

文章编号:1000-0933(2003)01-0090-08 中图分类号:Q948.1 文献标识码:A

C 循环研究是了解生物圈的重要途径,对于估计 CO_2 及其它温室气体含量及它们与生物圈相互作用至关重要^[1]。目前大尺度的 C 平衡研究已被广泛用来分析国家和地区、生物群落和经济区的 C 状况^[2]。国际上,大部分 C 循环研究集中在热带雨林和北半球中、高纬度地区的森林,对北回归线附近季风区的森林生态系统的研究则相对较少^[3~11]。然而,该区域是全球变化特色最鲜明的区域之一,例如土地利用和植被覆盖的强烈变化,给该区域 CO_2 排放量带来较大影响。同时,该区域森林植被 C 贮量大,对全球 C 循环以及大气 CO_2 的季节波动具有重要的影响^[12]。鼎湖山地区独特的地理位置、气候条件和人文因素,使其完整地保存着亚热带典型的地带性森林——季风常绿阔叶林^[13],是研究北回归线附近森林生态系统的最佳区域之一。

近年来,鼎湖山季风常绿阔叶林的生物量、生产力得到持续的研究^[6~10],为本文探讨该群落的 C 贮量提供了良好的基础。本研究在生物量的基础上结合实测的植物 C 含量值,分析了鼎湖山季风常绿阔叶林 C 贮量的径级结构、垂直分布和种间分配特征。旨在探讨地带性森林植被 C 贮量的分布特点,为本区域未来深入开展森林植被与大气 C 通量和 C 平衡研究提供参考。

1 研究地概况

研究地点位于广东省中部鼎湖山自然保护区,东经 $112^\circ 30' 39'' \sim 112^\circ 33' 41''$,北纬 $23^\circ 09' 21'' \sim 23^\circ 11' 30''$ 。属亚热带季风气候,年均气温 21°C ,年降雨量 1929mm,干湿季明显,4~9 月为雨季,11 月至翌年 1 月为旱季^[11]。土壤发育与砂岩母质上的赤红壤,厚度一般为 60~90 cm,表层有机质含量 2.94%~4.27%^[12]。植物种类以茜草科(Rubiaceae)、大戟科(Euphorbiaceae)、樟科(Lauraceae)和桃金娘科(Myrtaceae)

的种类最多。乔木以樟科、壳斗科、茶科、桃金娘科树种为优势,群落结构复杂,成层明显,大致可分为乔木层、小树灌木层和草本苗木层。样地位于保护区核心区内三宝峰的东北坡,面积 1hm^2 ,坡度 $26^\circ\sim 30^\circ$,海拔 $270\sim 300\text{m}$ 。

2 研究方法

2.1 样地调查

参照《热带森林地区生物多样性长期监测——永久样地的建立与调查方法》^[13],将 1hm^2 的永久样地划分为 25 个 $20\times 20\text{m}^2$ 的Ⅱ级样方,每个Ⅱ级样方又分为 16 个 $5\times 5\text{m}^2$ 的小样方。对样地内所有胸高直径 $\geq 1\text{cm}$ 的植株编号、挂牌作永久标记后进行测树指标调查,内容包括:种名、胸高直径(DBH)、树高(h)、枝下高、冠幅、树木定位坐标。

2.2 样品的采集

按高度级将群落乔木层分成乔木Ⅰ亚层($h\geq 20\text{m}$)、Ⅱ亚层($10\text{m}\leq h<20\text{m}$)、Ⅲ亚层($5\text{m}\leq h<10\text{m}$)和Ⅳ亚层($h<5\text{m}$)。每层选择一定数量的优势种(表 1),每种选择样木 2~3 株,按干、枝、叶、根分别取样,从每株样木得到的相同组分的样品组成一个混合样。所有样品在 60°C 烘干、磨碎,供化学分析。

2.3 C 含量的测定

由于鼎湖山季风常绿阔叶林群落植物 $DBH<1\text{cm}$ 木本植物和草本幼苗层的生物量不足群落总生物量的 4%^[9],因而本文所指为 $DBH\geq 1\text{cm}$ 个体的 C 贮量。C 含量采用重铬酸钾外加热法测定^[14]。表 1 为实验测定季风常绿阔叶林乔木层植物各器官的 C 含量值。

2.4 C 贮量的计算

根据表 1 各层优势种 C 含量和对应的生物量数据,计算得到各层植物优势种的 C 贮量($\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$)。非优势种 C 含量则取相应层次优势树种 C 含量的平均值,然后计算 C 贮量。生物量数据为鼎湖山森林生态系统定位站 1992 年、1994 年和 1999 年季风常绿阔叶林样地每木调查的计算结果,文中现存 C 贮量为 1999 年的 C 贮量。

3 结果

3.1 季风常绿阔叶林 C 贮量

表 2 为鼎湖山季风常绿阔叶林 $DBH\geq 1\text{cm}$ 的植物 1992 年、1994 年、1999 年的 C 贮量。可以看出,群落总 C 贮量为 $89.75\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$,干、枝、叶、根的 C 贮量分别为 $47.36\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $23.16\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $2.35\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $16.88\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$,分别占总贮量的 53.09%、25.36%、2.64% 和 18.31%。

3 个年份 C 贮量变化的规律不明显。1994 年群落 C 贮量比 1992 年的基础上略有增加,1999 年则大幅度降低,比 1992 年下降了 15.96%。C 贮量的降低主要受群落中老龄、高大乔木衰老和死亡的影响。从器官变化看,1999 年 C 贮量比 1992 年分别降低了 19.02%(枝)、15.41%(干)、13.70%(根)、11.32%(叶)。

3.2 C 贮量的分布

3.2.1 C 贮量的径级分布 鼎湖山季风常绿阔叶林的株数密度随径级的增加而显著降低,群落中小径级个体在数量上占绝对优势。 1hm^2 样地中 $DBH<20\text{cm}$ 的个体占总数的 95%,其中 $1\text{cm}\leq DBH<5\text{cm}$ 占 68.78%。 DBH 在 40cm 以上的个体数占比例较小,例如, $DBH>100\text{cm}$ 仅为 1 株。

C 贮量的径级分配与个体数的分布趋势不完全一致,大致呈“M”形(图 1)。C 贮量在 $1\text{cm}\leq DBH<30\text{cm}$ 和 $60\text{cm}\leq DBH<90\text{cm}$ 范围内都呈上升趋势,并且达到两个最大值 $12.50\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $14.14\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。在 $1\text{cm}\leq DBH<30\text{cm}$ 范围内个体数随径级的增加明显降低,C 贮量的增加主要受个体 DBH 增加的影响。在 $60\text{cm}\leq DBH<90\text{cm}$ 范围内,C 贮量则在个体数量和 DBH 增加的双重作用下增加。C 贮量在 $30\text{cm}\leq DBH<60\text{cm}$ 和 $DBH\geq 90\text{cm}$ 范围内则因个体数量减少而下降。前一范围内个体数降低幅度明显高于后一范围,C 贮量亦然(如图 1)。

3.2.2 C 贮量的垂直分布 鼎湖山季风常绿阔叶林总 C 贮量的分布沿高度级的增加成倍增长,各亚层在总 C 贮量中所占的比例依次为:Ⅰ层(53.97%)>Ⅱ层(31.37%)>Ⅲ层(11.26%)>Ⅳ层(3.40%)。干、枝、根的 C 贮量,随高度的增加而增加。但叶的 C 贮量则以Ⅱ层最大,其次为Ⅰ层、Ⅲ层、Ⅳ层(图 2)。

以各层各器官 C 贮量占该层总 C 量的百分比为标准衡量各器官对 C 贮量的贡献情况(表 3)。可见,不同层次干和根的 C 贮量变化相对稳定,随高度级的降低,枝 C 贮量所占的比例逐渐减少,而叶 C 贮量所占比例则逐渐增加。

表 1 季风常绿阔叶林乔木各层优势树种 C 含量

Table 1 Carbon content of main species in the monsoon evergreen broad-leaved forest

层次 Layers	树种 Species	C 含量 Carbon content (%)			
		干 Bole	枝 Branch	叶 Leaf	根 Root
Tree layer I $h \geq 20\text{m}$	黄果厚壳桂 <i>Cryptocarya concinna</i>	46.33	41.30	41.38	46.49
	锥栗 <i>Castanopsis chinensis</i>	34.44	32.08	41.06	34.97
	荷木 <i>Schima superba</i>	36.65	35.13	35.15	33.34
	肖蒲桃 <i>Acmena acuminatissima</i>	36.36	36.16	37.32	39.30
	黄杞 <i>Engelhardtia roxburghiana</i>	33.55	39.76	30.49	37.24
	华润楠 <i>Machilus chinensis</i>	30.87	32.18	39.07	37.53
	厚壳桂 <i>Cryptocarya chinensis</i>	37.65	36.62	39.21	36.17
	平均值 Mean	36.55	36.17	37.67	37.86
	变异系数 C V (%)	13.34	9.65	10.14	11.24
	黄果厚壳桂 <i>Cryptocarya concinna</i>	33.61	33.57	39.69	36.26
Tree layer II $10\text{m} \leq h < 20\text{m}$	荷木 <i>Schima superba</i>	22.87	33.37	33.85	35.82
	肖蒲桃 <i>Acmena acuminatissima</i>	34.02	27.87	38.15	39.15
	黄杞 <i>Engelhardtia roxburghiana</i>	33.71	27.51	37.18	31.99
	华润楠 <i>Machilus chinensis</i>	45.49	47.03	46.51	35.51
	厚壳桂 <i>Cryptocarya chinensis</i>	46.78	43.26	48.89	41.62
	云南银柴 <i>Aporosa yunnanensis</i>	50.74	42.24	33.56	44.56
	红车 <i>Syzygium rehderianum</i>	52.23	46.76	46.60	45.53
	平均值 Mean	39.93	37.70	40.55	38.80
	变异系数 C V (%)	25.93	21.43	14.84	12.29
	黄果厚壳桂 <i>Cryptocarya concinna</i>	40.86	43.46	47.37	47.57
Tree layer III $5\text{m} \leq h < 10\text{m}$	肖蒲桃 <i>Acmena acuminatissima</i>	44.13	40.11	41.88	45.92
	云南银柴 <i>Aporosa yunnanensis</i>	46.47	40.04	30.93	40.80
	红车 <i>Syzygium rehderianum</i>	47.82	47.26	49.2	44.25
	光叶山黄皮 <i>Randia canthioides</i>	43.62	46.97	43.00	41.38
	白颜树 <i>Gironniera subaequalis</i>	45.61	47.72	39.80	44.06
	鼎湖钓樟 <i>Lindera chinii</i>	38.96	39.25	35.65	41.45
	黄叶树 <i>Xanthophyllum hainanense</i>	44.50	44.49	42.27	40.22
	平均值 Mean	44.00	43.66	41.27	43.21
	变异系数 C V (%)	23.53	18.51	14.58	11.04
	黄果厚壳桂 <i>Cryptocarya concinna</i>	39.71	43.79	53.43	46.30
Tree layer IV $h < 5\text{m}$	肖蒲桃 <i>Acmena acuminatissima</i>	42.86	44.72	44.12	43.11
	云南银柴 <i>Aporosa yunnanensis</i>	43.47	41.17	32.38	41.72
	红车 <i>Syzygium rehderianum</i>	43.15	43.23	42.07	46.15
	光叶山黄皮 <i>Randia canthioides</i>	43.05	42.11	47.84	41.51
	鼎湖钓樟 <i>Lindera chinii</i>	39.78	49.46	49.01	45.31
	黄叶树 <i>Xanthophyllum hainanense</i>	42.54	44.76	54.02	46.18
	鼎湖血桐 <i>Macaranga sampsoni</i>	46.71	46.38	39.89	42.96
	平均值 Mean	42.66	44.45	45.35	44.16
	变异系数 C V (%)	5.21	5.84	16.04	4.65

3.3 优势种群的 C 贮量及动态

通过对季风常绿阔叶林垂直结构及年龄结构的研究,可以将种群划分为 4 种类群^[15]:①衰退种群;②近期进展远期衰退种群;③长期进展种群;④进展期与衰退期交替出现的种群。本文比较群落中不同类型种群的 C 贮量(表 4)。

表 4 可见,成熟度较高处于衰退期或远期衰退的种群拥有较高 C 贮量,这些种群主要分布在乔木 I 层和 II 层,它们对整个森林 C 贮量起主导作用。成熟度较低,处于进展状态的种群主要分布在乔木 III、IV 层,尽管个体数较多,但由于种群年龄结构偏低,C 贮量也相对较低。

表 2 胸径≥1 cm 的植物不同年份 C 贮量

Table 2 Carbon storage of plants with DBH ≥ 1 cm in different year

年份 Year	层次 Layer	干 Bole	枝 Branch	叶 Leaf	根 Root	总和 Total
1992	I 层 Tree layer I	33.42	19.49	0.96	11.94	65.81
	II 层 Tree layer II	15.63	6.69	0.98	5.49	28.79
	III 层 Tree layer III	5.66	2.02	0.54	1.66	9.88
	IV 层 Tree layer IV	1.28	0.40	0.17	0.47	2.32
	总和 Total	55.99	28.60	2.65	19.56	106.80
1991	I 层 Tree layer I	34.65	19.30	0.84	12.50	67.20
	II 层 Tree layer II	16.42	7.12	1.00	5.81	30.35
	III 层 Tree layer III	5.65	1.99	0.54	1.62	9.80
	IV 层 Tree layer IV	1.38	0.43	0.18	0.51	2.50
	总和 Total	8.10	28.84	2.56	20.44	109.85
1999	I 层 Tree layer I	25.01	13.48	0.69	8.96	48.14
	II 层 Tree layer II	14.53	6.96	0.90	5.58	27.97
	III 层 Tree layer III	6.14	2.17	0.55	1.74	10.60
	IV 层 Tree layer IV	1.68	0.55	0.21	0.60	3.04
	总和 Total	47.36	23.16	2.35	16.88	89.75

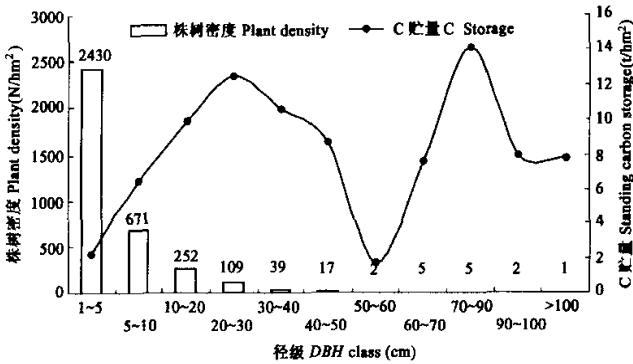


图 1 C 贮量和株数密度的径级分布

Fig. 1 Allocation of standing carbon storage and plant density among the various DBH classes

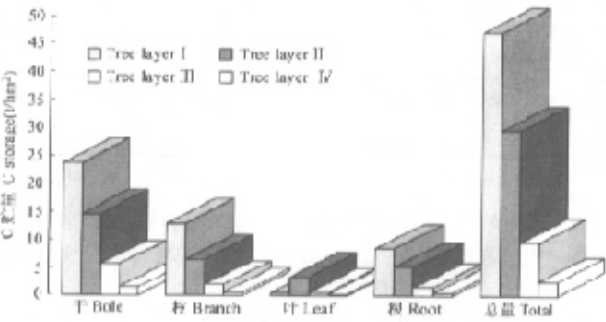


图 2 各亚层干、枝、叶、根的 C 贮量

Fig. 2 Standing carbon storage of bole, branch, leaf and root in each sub-layer

4 讨论

鼎湖山季风常绿阔叶林的 C 贮量为 89.75 t · hm⁻², 介于硬叶常绿阔叶林(100.73 t · hm⁻²)和常绿、常绿落叶阔叶林(73.68 t · hm⁻²)之间^[2], 比海南岛尖峰岭热带原始林(207.68 t · hm⁻²)低, 但略高于此处的天然更新林(83.39 t · hm⁻²)^[16], 远大于我国森林 C 贮量的平均值(57.07 t · hm⁻²)^[23], 属于高 C 贮量森林^[17]。目前国内外对森林植物 C 贮量的估算多数学者都采用 C 含量 45%^[3,11,17~20] 或 50%^[17,23~25] 作为转换系数将生物量换算成 C 贮量, 利用实测值估算森林 C 贮量的例子并不多^[16,26~27], 造成不同地理、气候区域森林之间比较上的困难。

表 4 不同类型种群 C 贮量的比较

Table 4 Standing carbon storage of various population

种群类型 Population types	种名 Species	C 贮量(t/hm ²) Standing carbon storage	占总 C 贮量的百分比(%) Percentage of total standing carbon storage
衰退种群 Declining population	椎栗 <i>Castanopsis chinensis</i>	31.57	35.18
	黄杞 <i>Engelhardtia roxburghiana</i>	4.59	5.12
近期进展远期衰退种群 Recent increasing and future declining population	荷木 <i>Shima superba</i>	9.58	10.68
	华润楠 <i>Machilus chinensis</i>	1.17	1.03
	厚壳桂 <i>Cryptocarya chinensis</i>	5.09	5.67
	白颜树 <i>Gironniera subaequalis</i>	3.34	3.72
长期进展种群 Increasing population	窄叶半枫荷 <i>Pterospermum lanceaefolium</i>	1.41	1.57
	肖蒲桃 <i>Ardena acuminatissima</i>	4.85	5.40
	橄榄 <i>Canarium album</i>	2.40	2.67
	鸭脚木 <i>Schefflera octophylla</i>	0.42	0.45
	臀形果 <i>Pygeum topengii</i>	2.55	2.84
进展期与衰退期交替出现的种 Increasing and declining alternately population	黄果厚壳桂 <i>Cryptocarya concinna</i>	9.57	10.66
	粗子 <i>Nephelium chryseum</i>	0.38	0.42

类似于生物量, C 贮量的径级分布也与森林的发育程度相关。对于年轻的群落, 较多的 C 贮量存在于较小的径级中, 而成熟森林则有较多 C 贮量分布于大径级中。根据陈章和等报道的黑石顶同类型森林生物量的径级分配规律^[28], 推算了其 C 贮量的径级分布趋势, 结果表明黑石顶季风常绿阔叶林的 C 贮量在 DBH 等级上呈典型的正态分布型, 而鼎湖山季风常绿阔叶林 C 贮量的径级分布则大致呈“M”型。林龄的差异可能是导致这两个森林 C 贮量径级分配差异的主要原因, 黑石顶季风常绿阔叶林的林龄约为 100a, 而鼎湖山季风常绿阔叶林的林龄超过了 400a, 后者较前者更成熟, 其结构、组成更复杂, 整个森林的径级范围(1~100cm 以上)远大于黑石顶季风常绿阔叶林(1~60cm), 群落中存在少量高大老龄个体, 同时拥有数量众多的小径级低龄个体, C 贮量的“M”形分布可能在一定程度上反映了森林的古老性和复杂性。

在森林的整个演替过程中, 依据其 C 积累的速率, 刘国华等把森林的 C 动态分为 4 个阶段, 分别为: C 积累速率较低的初始阶段或干扰后的再生阶段、C 积累速率最大的逻辑斯谛生长阶段、C 积累速率下降的成熟阶段、C 分解到土壤的森林死亡阶段, 并指出森林的 C 动态在很大程度上取决于其年龄级的变化^[17]。根据这一观点, 可以认为鼎湖山季风常绿阔叶林的乔木 I、II 层处于 C 积累速率下降的成熟阶段, 而乔木 III、IV 层则分别处于 C 积累速率最大的逻辑斯谛生长阶段和 C 积累速率较低的初始阶段。

References

[1] Berrien M, Braswell B H. The metabolism of the earth: understand the carbon cycle. *AMBIO*, 1994, 23: 4~12

- [2] Zhou Y R, Yu Z L, Zhao S D. Carbon storage and budget of major Chinese forest type. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, **24**(5): 518~522.
- [3] Whittaker R H, Likens G E. Carbon in the biota. In: *Carbon and the biosphere*. In: Woodwell G M and Pecan E V eds. National technical information service (CONF-720510). Springfield, Virginia. 1973, 281~302.
- [4] Oliver L P, Yadrinder Malhi, Niro Higuchi, et al. Change in the carbon balance of tropical forests: evidence from long-term plot. *Science*, 1998, **282**: 139~142.
- [5] Kong G H, Liang Ch, Wu H M, et al. *Dinghushan Biosphere Reserve ecological research history and perspective*. Beijing New York: Science Press. 1993, 2~3.
- [6] Peng S L, Zhang Z P. Biomass and primary productivity of dominant species *Aporosa yunnanensis* and *Blastus cochinchinensis* of forest vegetation on Dinghu Mountain. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1992, **3**(3): 202~206.
- [7] Peng S L, Fang W. Features of biomass and productivity dynamics in successional process of low subtropical forest. *Ecology Science*, 1995, **3** (1): 1~8.
- [8] Peng S L, Ren H. *Study on ecological energetics of the subtropical forest ecosystem*. Beijing: Weather Press. 1998. 45~48.
- [9] Wen D Z, Zhang D Q, Wei P, et al. Long-term monitoring of the lower subtropical evergreen broad-leaved forest in Dinghushan biosphere reserve (V) Vegetation biomass, coarse woody debris storage and litter dynamics of the community of *Castanopsis chinensis*, *Cryptocarya concinna*. In: *Tropic and subtropical forest ecosystem* (8). Beijing: Weather Press. 1998. 32~39.
- [10] Zhang Z P, Ding M M. Biomass and efficiency of radiation utilization in monsoon evergreen forest in Dinghushan biosphere reserve. *Acta Ecologica Sinica*, 1996, **16**(5): 525~534.
- [11] Huang Z F, Fang Z G. The climate of Dinghushan. *Tropical and subtropical forest ecosystem*, 1982, (1): 11~16
- [12] He J H, Chen Z Q. The soils of Dinghushan biosphere reserve. *Tropical and subtropical forest ecosystem*, 1982, (1): 25~37.
- [13] Dallmeier F. Long-term monitoring of biological diversity in tropical forest areas: Methods for establishment and inventory of permanent plots. *MAB Digest*, 1992, **11**: 72.
- [14] Soil physical and chemical analysis & description of soil profiles. In: Sun H L, et al eds. *Standard methods for observation and analysis in Chinese Ecosystem Research Network*. Beijing: Standards Press of China. 1996. 24~28
- [15] Huang Z L, Kong G H, Ye W H, et al. Long-term monitoring of the lower subtropical evergreen broad-leaved forest in Dinghushan biosphere reserve (I) Population spatio-temporal pattern and its dynamic significance of *Castanopsis chinensis*, *Cryptocarya concinna* community. In: *Tropic and subtropical forest ecosystem* (8). Beijing: Weather Press. 1998. 7~17.
- [16] Li Y D, Zeng Q B, Wu Z M, et al. Estimation of amount of carbon pool in natural tropical forest of China. *Forest Research*, 1998, **11**(2): 156~162.
- [17] Liu G H, Fu B J, Fang J Y. Carbon dynamics of Chinese forests and its contribution to global carbon balance. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, **20**(5): 733~740.
- [18] Wang X K, Feng Z W. The potential to sequester atmospheric carbon through forest ecosystems in China. *Chinese J. of Ecology*, 2000, **19**(4): 72~74.
- [19] Olson J S, Watts J A, Allison L J. Carbon in live vegetation of major world ecosystems. U. S. Department of Energy DOE/NBGB-0037. (Rep. Ornl-58620. Oak Ridge National Library, Oak Ridge, TN). 1983.
- [20] Levine J S, Cofer W R, Cabocn D R, et al. Biomass burning, a driver for global change. *Environmental Science Technology*, 1995, **120**: 120~125.
- [21] Fang J Y, Chen An P, Peng C H, et al. Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998. *Science*, 2001, **292**: 2320~2322.
- [22] Lee K Ch, Lin J C, Chen L Ch. The potential carbon sequestration and its cost-benefit analysis for Taiwan Plantations. *Taiwan J. For. Sci.*, 2000, **15**(1): 115~123.

- [23] Murillo J C R. Temporal variations in the carbon budget of forest ecosystem in Spain. *Ecological Applications*, 1997, 7(2): 461~469.
- [24] Brown S L, Schroeder P, Kern J S. Spatial distribution of biomass in forests of the eastern USA. *Forest Ecology and Management*, 1999, 123: 81~89.
- [25] Hakkila P. *Utilization of residual forest biomass*. Berlin: Springer-Verlag, 1989.
- [26] Chen C Y, Liao L P, Wang S L, et al. Research on carbon allocation and storage in Chinese fir plantation ecosystem. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(Supp.): 175~178.
- [27] Wang J Y, Che K J, Jiang Z R. A study on carbon balance of *Picea crassifolia* in Qilian Mountains. *J. of Northwest Forest University*, 2000, 15(1): 9~14.
- [28] Chen Z H, Wang B S, Zhang H D. Productivity of the lower subtropical evergreen broad-leaved forest in China. Guangzhou: Higher Education Press, 1996. 76~77.

参考文献

- [2] 周玉荣, 于振良, 赵士洞. 我国主要森林生态系统碳贮量和碳平衡. *植物生态学报*, 2000, 24(5): 518~522.
- [6] 彭少麟, 张祝平. 鼎湖山森林植被主要优势种云南银柴、柏拉木生物量及第一性生产力研究. *应用生态学报*, 1992, 3(3): 202~206.
- [7] 彭少麟, 方炜. 亚热带森林演替过程生物量和生产力动态特征. *生态科学*, 1995, 3(1): 1~8.
- [8] 彭少麟, 任海. 亚热带森林生态系统的能量生态研究. 北京: 气象出版社, 1998. 45~48.
- [9] 温达志, 张德强, 魏平, 等. 鼎湖山亚热带常绿阔叶林定位研究(V) 锥栗、黄果厚壳桂群落现存生物量、粗死木质残体贮量及凋落物动态. *热带亚热带森林生态系统研究第8集*. 北京: 气象出版社, 1998. 32~39.
- [10] 张祝平, 丁明慧. 鼎湖山亚热带季风常绿阔叶林的生物量和光能利用效率. *生态学报*, 1996, 16(5): 525~534.
- [11] 黄展帆, 范征广. 鼎湖山的气候. *热带亚热带森林生态系统研究*, 1982, 1: 11~16.
- [12] 何金海, 陈兆其. 鼎湖山自然保护区之土壤. *热带亚热带森林生态系统研究*, 1982, 1: 25~37.
- [14] 土壤理化分析与剖面描述. 孙鸿烈等主编. *中国生态系统研究网络观测与分析标准方法*. 北京: 中国标准出版社, 1996. 24~28.
- [15] 黄忠良, 孔国辉, 叶万辉, 张倩媚. 鼎湖山亚热带常绿阔叶林定位研究(Ⅰ) 锥栗、黄果厚壳桂群落种群垂直结构与年龄结构及其动态特征. *热带亚热带森林生态系统研究第8集*. 北京: 气象出版社, 1998. 7~17.
- [16] 李意德, 曾庆波, 吴仲民, 周光益, 陈步峰. 我国热带天然林植被 C 贮存量的估算. *林业科学研究*, 1998, 11(2): 156~162.
- [17] 刘国华, 傅伯杰, 方精云. 中国森林碳动态及其对全球碳平衡的贡献. *生态学报*, 2000, 20(5): 733~740.
- [18] 王效科, 冯宗炜. 中国森林生态系统中植物固定大气碳的潜力. *生态学杂志*, 2000, 19(4): 72~74.
- [22] 李国忠, 林俊成, 陈丽琴. 台湾杉人工林碳吸存潜力及其成本效益分析. *台湾林业科学*, 2000, 15(1): 115~123.
- [26] 陈楚莹, 廖利平, 汪思龙, 等. 杉木人工林生态系统碳素分配与贮量的研究. *应用生态学报*, 2000, 11(Supp.): 175~178.
- [27] 王金叶, 车克钧, 蒋志荣. 祁连山青海云杉林碳平衡研究. *西北林学院学报*, 2000, 15(1): 9~14.
- [28] 陈章和, 王伯荪, 张宏达. 亚热带常绿阔叶林的生产力. 广州: 广东高等教育出版社, 1996. 76~77.