

鼎湖山五种植被类型群落生物量及其径级分配特征

刘 申^{1,2,3}, 罗 艳^{1,4}, 黄钰辉^{1,3}, 周国逸^{1*}

1. 中国科学院华南植物园, 广州 510650
2. 农业部环境保护科研监测所, 天津 300191
3. 中国科学院研究生院, 北京 100049
4. 广东省气候中心, 广州 510080

【摘要】 根据鼎湖山自然保护区 14 次群落样地调查数据和生物量估算方程, 研究了 5 种植被类型的乔木 (DBH≥1cm) 生物量及其径级分配特征。结果显示: (1) 最近一次群落调查中, 沟谷雨林、山地常绿阔叶林、南亚热带常绿阔叶林、针阔叶混交林和马尾松林的生物量分别为 472.9 t·hm⁻², 165.1 t·hm⁻², 290.4 t·hm⁻², 164.1 t·hm⁻² 和 122.5 t·hm⁻²; (2) 生物量径级分配的结果表明, 鼎湖山 14 次植被调查的生物量径级分配总体上存在 3 种主要的分布类型, 分别为递减分布、倒钟型分布和递增分布。鼎湖山生物量径级分配特征规律与其他地区研究结果一致。

关键词: 群落生物量; 径级分配; 植被类型; 鼎湖山

中图分类号: Q148 文献标识码: A 文章编号: 1008-8873(2007)05-387-07

Studies on the community biomass and its allocations of five forest types in Dinghushan Nature Reserve

LIU Shen^{1,2,3}, LUO Yan^{1,4}, HUANG Yu-hui^{1,3}, ZHOU Guo-yi¹

1. South China Botanical Garden, the Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China
2. Agro-Environmental Protection Institute, Ministry of Agriculture, Tianjin 300191, China
3. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China
4. Climatic and Agrometeorological Center of Guangdong Province, Guangzhou 510080, China

Abstract: The community biomass and its allocations in each of the DBH class in tree layer of five forest types, including *Pinus massoniana* forest (PM), Pine and broad-leaved mixed forest (PBM), Subtropical evergreen broad-leaved forest (SSEB), Ravine evergreen broad-leaved forest (REB) and Montane evergreen broad-leaved forest (MTEB), were studied in Dinghushan Nature Reserve (DNR). Based on biomass regression model, community biomass was estimated by measuring all trees with DBH≥1cm. The results showed that standing biomass density in REB, MTEB, SSEB, PBM and PM in the latest investigations were 472.9 t·hm⁻², 165.1 t·hm⁻², 290.4 t·hm⁻², 164.1 t·hm⁻² and 122.5 t·hm⁻², respectively. The allocation of community biomass in each DBH class in the different forest investigation presented three distribution trends, which were the decreasing distribution, the inverse bell distribution and increasing distribution. The characteristics of biomass allocation in each DBH class in DNR were similar to those in other regions.

Key words: biomass; allocation in each DBH class; community; Dinghushan Nature Reserve

收稿日期: 2007-09-25 收稿, 2007-10-20 接受

基金项目: 国家杰出青年科学基金项目 (NSFC30725006)

作者简介: 刘 申 (1979—), 男, 博士, 助理研究员, 主要从事生态系统生态学研究

*通讯作者: gyzhou@scib.ac.cn

1 前言 (Introduction)

群落生物量是确定生态系统特征的重要参数,生物量的测定对研究森林生态系统结构功能有重要作用^[1]。生物量在林木各径级中的分配比例是群落演替过程中的重要参数之一,是反映森林生态系统动态平衡的标志^[2],与森林的发育阶段有关^[3]。以往关于生物量及其分配特征的研究都是以一次或几次的调查数据为主^[1-4],缺乏整合研究。

鼎湖山自然保护区自建立以来积累了大量的群落调查研究数据,许多学者对鼎湖山自然保护区群落的结构特征、功能、物种多样性和演替动态方面^[5-12]进行了较深入的研究,为了解群落生物量长期动态特征提供了基础资料。本研究以鼎湖山自然保护区的5种主要植被类型为研究对象,在近12年共14次群落调查数据的基础上,分析样地尺度上群落演替和群落波动过程中生物量及其径级分配的时间动态变化。通过上述研究,试图回答以下问题:1、在群落演替和群落波动过程中,鼎湖山不同群落类型生物量的变化特征是什么?2、不同群落类型生物量径级分配在不同的演替阶段是否存在差异?

2 研究区概况 (Research Area)

鼎湖山自然国家级保护区位于广东省中部,东经

112°30'39"~112°33'41", 北纬 23°09'21"~23°11'30", 面积 1155 hm²。该区年均气温 22.3℃,年平均相对湿度 78%,年降雨量为 1 678 mm。区内地带性土壤为赤红壤,山地垂直分布有黄壤和山地灌丛草甸土^[13]。

鼎湖山自然保护区植被可划分为自然植被和人工植被。依据曹洪麟等(2002)分类,鼎湖山的自然植被有:(1)分布于海拔 30 m~500 m 的南亚热带常绿阔叶林,该类型为本区的地带性植被类型;(2)分布于海拔 500 m~900 m 的山地常绿阔叶林、山地常绿灌丛和山地常绿灌草丛;(3)分布于海拔 30 m~250 m 的沟谷雨林;(4)分布于海拔 300 m 以下位于丘陵地区的马尾松林;(5)分布于 500 m~600 m 山坡上的常绿灌丛^[14]。

3 研究方法 (Methods)

3.1 起测标准

本研究以样地内胸高直径(DBH)大于等于 1 cm 的个体作为研究对象。

3.2 数据来源

本研究所涉及到的群落包括鼎湖山自然保护区中5种植被类型中的8个研究样地,共14次群落调查(表1)。在每次调查中,对样地内 DBH≥1 cm 的所有个体编号,挂牌作标记后进行测树指标的调查,

表 1 研究样地介绍

Table 1 Introductions for five field plots

研究样地名称 Field plot	调查时间 Year	样地面积 Area (m ²)	简称 Abbreviation
马尾松林 <i>Pinus massoniana</i> forest	2004	2000	PM-2004
针阔叶混交林 I 号 Pine and broad-leaved mixed forest 1	2004	1200	PBM1-2004
针阔叶混交林 II 号 Pine and broad-leaved mixed forest 2	1999	10000	PMB2-1999
	2004	10000	PMB2-2004
针阔叶混交林 III 号 Pine and broad-leaved mixed forest 3	1994	1200	PMB3-1994
	2002	1200	PMB3-2002
	1992	10000	SSEB-1992
南亚热带常绿阔叶林 Monsoon evergreen broad-leaved forest	1994	10000	SSEB-1994
	1999	10000	SSEB-1999
	2004	10000	SSEB-2004
沟谷雨林 I 号 Ravine evergreen broad-leaved forest 1	2001	1200	REB1-2001
沟谷雨林 II 号 Ravine evergreen broad-leaved forest 2	1996	1200	REB2-1996
山地常绿阔叶林 Mountain evergreen broad-leaved forest	1996	1000	MTEB-1996
	2004	1200	MTEB-2004

内容包: 植物种名, DBH, 树高, 枝下高和冠幅。

2.3 样地概述

马尾松林 (PM)

PM 位于保护区东南角缓冲区塘鹅岭, 坡向东南, 坡度约 25°, 海拔 100 m。马尾松 (*Pinus massoniana*) 群落的样地设计采用对比样方设计, 样方之间设计有缓冲带, 共包括 20 个 10 m×10 m 离散样方, 面积 2 000 m²[15]。马尾松由政府林场于 1930~1950 年间营造, 在 1990 年以前允许当地农民砍小树和收割林下层作为薪柴, 人为干扰较大。1990 年后林下层植物稠密, 以桃金娘 (*Rhodomyrtus tomentosa*)、岗松 (*Baechea frutescens*) 等为优势[16]。

针阔叶混交林 I 号 (PBM1)

PBM1 位于保护区的缓冲区旱坑山脊处, 坡向东南, 坡度约 30°, 海拔 200 m, 面积 2 000 m²。由 20 世纪 30 年代营造的马尾松, 以及荷木 (*Schima superba*)、锥栗 (*Castanea henryi*) 和黎蒴 (*Castanopsis chinensis*) 等阔叶树种逐渐入侵而成。群落结构较为简单, 乔木 I 层为马尾松, II 层优势种为荷木, 更新层及灌木层为荷木、变叶榕 (*Ficus variolosa*)、三叉苦 (*Evodia lepta*) 和桃金娘等植物种[16]。

针阔叶混交林 II 号 (PBM2)

PBM2 位于保护区缓冲区内内的飞天燕, 坡向东北, 坡度 40°, 海拔约 200 m, 面积 1 hm²。由 20 世纪 30 年代营造的马尾松, 经阔叶树种入侵而自然形成针阔叶混交林。该样地南缘与公路相邻, 受人为干扰较大。此样地 1999 年为马尾松、锥栗、荷木群落[17]。

针阔叶混交林 III 号 (PBM3)

PBM3 位于地带性植被南亚热带常绿阔叶林的边缘, 坡向东北, 坡度 25°, 海拔 300 m。该群落是阔叶树种侵入人工或自然的马尾松林形成的, 为演替系列中间阶段的典型代表类型。群落垂直结构可分为四层, 乔木 2 层, 灌木 1 层, 草本 1 层, 此外还有多种藤本和附生的层间植物[18]。

南亚热带常绿阔叶林 (SSEB)

SSEB 位于三宝峰东北坡, 坡向东北, 坡度 30°, 海拔 250 m。该群落是南亚热带常绿阔叶林代表性类型, 保存较完好, 已有 400 多年的保护历史[12]。植物种类丰富, 结构复杂, 垂直结构可分为 7 层, 即乔木 4 个亚层、幼树灌木层、草本苗木层和层间植物层。层间植物主要为木质藤本植物和少量的附生

植物[14,16]。

沟谷雨林 (REB)

沟谷雨林在群落外貌上具有热带山地雨林的特征, 如板状根和茎花现象, 附生植物和木质藤本植物丰富, 历史比较久远[10]。该植被类型具有两个群落:

(1) 沟谷雨林 I 号样地 (REB1) 位于白云寺附近, 坡度 20°~25°, 坡向东, 海拔 300 m。以橄榄 (*Canarium album*) 和肥荚红豆 (*Ormosia fordiana*) 为优势种。该群落受到砍伐的影响, 于六十年代末停止[19];

(2) 沟谷雨林 II 号样地 (REB2) 位于庆云寺附近, 坡度 30°~40°, 坡向西, 海拔 100 m。以凸脉榕 (*Ficus nervosa*) 和鱼尾葵 (*Caryota ochlandra*) 为优势种, 受到人为干扰较大[19]。

山地常绿阔叶林 (MTEB)

MTEB 位于鸡笼山东北坡, 坡向东北, 坡度 30°, 海拔 600 m。MTEB 位于保护区核心区, 人为干扰较少。为少叶黄杞 (*Englhardtia roxburghiana*), 密花树 (*Rapanea neriifolia*), 短序润楠 (*Machilus breviflora*) 群落。该群落在保护区建立前曾遭严重破坏[9]。

2.4 生物量估算

本研究采用温达志等[6]样本“全收获法”建立的回归方程估测鼎湖山自然保护区所有林型的生物量。理由包括以下几个方面: (1) 样地调查过程中, 对样地内所有 DBH≥1 cm 的个体测定 DBH, 记录树种, 保证了温达志公式生物量估测依据的可靠性; (2) 温达志生物量估测公式是基于 1 hm² 南亚热带常绿阔叶林的基础构建, 南亚热带常绿阔叶林该地区的顶级群落, 因此在鼎湖山自然保护区范围内运用该公式进行生物量估算具有一定的合理性[20]。

2.5 群落年龄结构的分级方法

依照黄忠良等[9]的分级方法, 共将群落划分出 10 个径级, 其中胸径在 35 cm 以下时, 按 5 cm 等间隔划分; 在 35 cm 以上时, 仅划分 35~50 cm、50~100 cm 和 >100 cm 三个径级。

3 结果与分析 (Results and Analysis)

3.1 群落生物量

最近一次调查中, 鼎湖山自然保护区 3 种常绿阔叶林的生物量呈沟谷雨林>季风常绿阔叶>山地常绿阔叶林 (表 2)。南亚热带常绿阔叶林样地——SSEB

群落生物量在 1992~1999 年间呈现出增加的趋势,但变化较小。至 2004 年, SSEB 群落生物量出现明显的下降。MTEB 生物量 1996 年至 2004 年呈快速增长的趋势。

表 2 SSEB, MTEB, REB, PBM 和 PM 的生物量变化
Table 2 Changes of biomass in SSEB, MTEB, REB, PBM and PM

研究样地 Field plot	生物量密度 Biomass density (t·hm ⁻²)
REB1-1996	472.9
REB2-2001	391.2
SSEB-1999	349.1
SSEB-1994	332.7
SSEB-1992	317.8
SSEB-2004	290.4
MTEB-2004	165.1
MTEB-1996	62.3
PBM1-2004	265.6
PBM2-2004	164.1
PBM2-1999	141.5
PBM3-2002	276.8
PBM3-1994	94.9
PM-2004	122.5

南亚热带常绿阔叶林演替序列上, PBM2 的年平均生物量增量为 4.5 t·hm⁻²·a⁻¹, 远高于 PBM3 的年平均生物量增量(36.4 t·hm⁻²·a⁻¹)。这一结果可能与 PBM

2 所受到较大程度的干扰有关^[20]。PM 与针阔叶混交林的起源相同, 其生物量明显小于 2000 年后 3 块针阔叶混交林样地的群落生物量(表 2)。

3.2 群落生物量径级分配

在 1992~2004 年间, SSEB 相对生物量径级分布呈现波浪式前进的动态特征, 在 2004 年形成各径级生物量依次递增的分布规律(图 1a)。4 个时期中 SSEB 在 1~5 cm 和 5~10 cm 两个径级的生物量占群落总生物量平均比值分别为 1.8%±0.1% 和 5.3%±0.2%, 反映出 1~10 cm 径级并没有因为较高的相对个体数而具有高的生物量比率。1992 年、1994 年和 1999 年相对生物量在 10~30 cm 内的 4 个径级内的变化较小, 而 2004 年均出现了明显的下降。SSEB 生物量在 >35 cm 的 3 个径级上表现出了明显的时间动态: 35~50 cm 和 >100 cm 两个径级明显增长, 50~100 cm 径级明显减少。

山地常绿阔叶林——MTEB 在 1996 年 1~30 cm 各径级的相对生物量变化范围为 13.5%~21.7%, 依径级大小呈递减分布规律(图 1b)。2004 年 MTEB 最大生物量出现在 15~20 cm 径级, 其径级分布在 1~35 cm 各径级中呈倒钟型, 分布特征与 1996 年相比具有较大差异。

沟谷雨林样地——2001 年 REB1 和 1996 年 REB2 的相对生物量在 >50 cm 径级上所占有比例分别为 62.0% 和 53.9% (图 1c), 均高于 SSEB 在 1992~1999 年间 3 个时期的生物量比率(52.1%~52.8%), 反映了沟谷雨林大胸径个体在群落生物

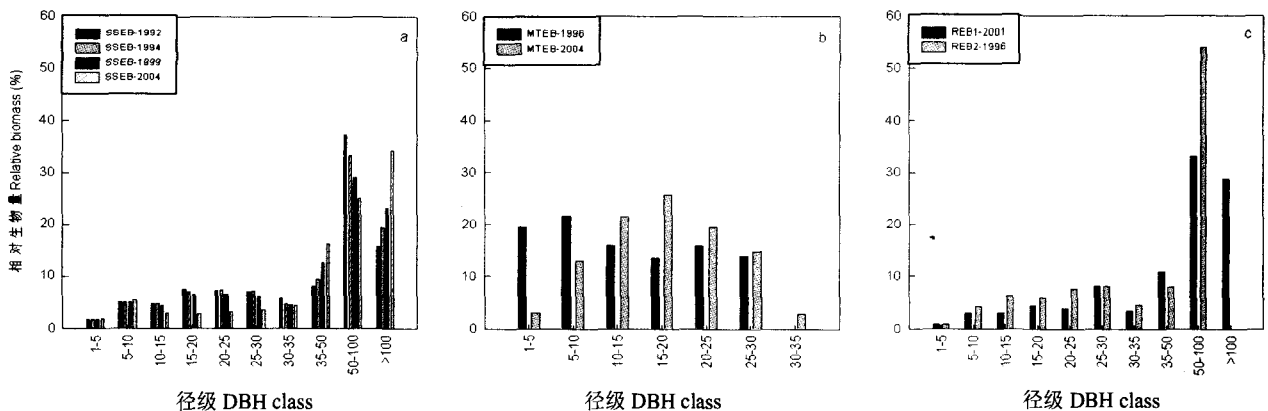


图 1 SSEB, MTEB 和 REB 的群落生物量径级分配

Fig. 1 Allocations of community biomass in each DBH class in SSEB, MTEB and REB

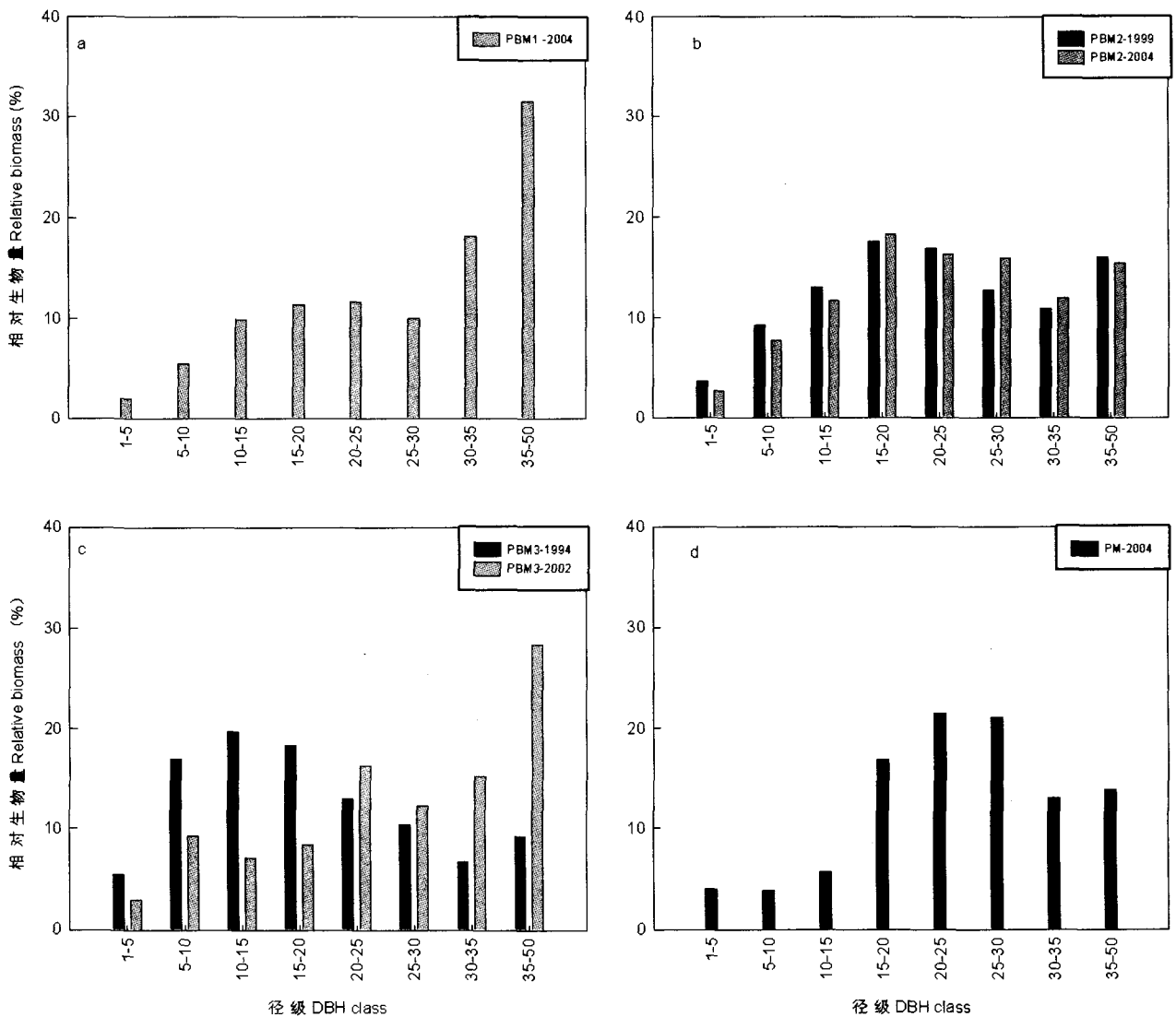


图 2 PBM1, PBM2, PBM3 和 PM 的群落生物量径级分配

Fig. 3 Allocations of community biomass in each DBH class in PBM1, PBM2, PBM3 and PM

量中占有绝对优势的地位, 具有热带雨林的特征^[2]。总体来看, 沟谷雨林的生物量径级分配与 SSEB2004 年的分布特征相似, 均呈递增分布。

南亚热带常绿阔叶林演替序列上, 针阔叶混交林和马尾松林的相对生物量径级分布范围均为 1~35 cm (图 2)。2004 年 PBM1 相对生物量的分布规律与 2002 年 PBM3 的分布规律相似, 均为递增分布 (图 2a, 图 2c)。

PBM2 在 1999~2004 年间的生物量径级分布特征变化较小, 特征均为先增加后减小, 然后再增加 (图 2b)。PBM2 两个时期生物量的最大值均出现在

15~20 cm 径级, 分别为 17.6%和 18.3%。

PBM3 在 1994~2002 年间生物量径级分布特征变化较大。1994 年 PBM3 生物量的最大值出现在 10~15 cm 径级, 为群落总生物量的 17.6%。而 2002 年 PBM3 生物量的最大值在 35~50 cm 径级, 为群落总生物量的 28.3%, 较 1994 年 (9.3%) 有明显增加。以上结果反映 PBM3 生物量径级分布具有逐步向大胸径等级占优势的发展趋势。

PM 的生物量径级分布与 PBM2 相似 (图 2d)。PM 在 5~10 cm 和 10~15 cm 两个径级的相对生物量 (3.9%和 5.7%) 均明显小于 3 块针阔叶混交林样地

同径级的相对生物量。以上结果说明 5~15 cm 径级相对生物量的差异显示出了马尾松林与针阔叶混交林之间生物量构成的差异。

4 讨论与结论 (Discussion and Conclusion)

鼎湖山自然保护区内 3 种常绿阔叶林在最近一次群落调查中, 生物量由高到低排序为沟谷雨林>南亚热带常绿阔叶林>山地常绿阔叶林。由于生物量的大小与群落年龄^[22], 干扰强度等因素有关, 所以随着山地常绿阔叶林发展, 以上排序可能发生变化。沟谷雨林的生物量为鼎湖山自然保护区内的最大值, 小于热带山地雨林的天然林 ($587.7 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\sim 727.2 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$)^[22], 反映了沟谷雨林具有由亚热带常绿阔叶林向热带山地雨林过渡的特点。山地常绿阔叶林位于核心区, 经过 26 年(1978~2004 年)的保护, 其生物量已经超过 20 年的山地常绿阔叶林 ($125.3 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$), 略低于 42 年的山地常绿阔叶林 ($159.0 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$)^[22]。

在南亚热带常绿阔叶林演替序列上, 生物量呈南亚热带常绿阔叶林>针阔叶混交林>针叶林的趋势, 符合南亚热带森林演替过程群落结构变化的特征^[11]。针阔叶混交林和针叶林共 4 块样地分别零散分布于保护区的核心区和缓冲区。PBM1 和 PBM3 均位于保护区的核心区, 受到干扰较小, 且与南亚热带常绿阔叶林相邻, 所以两个样地所在的群落在生物量方面向南亚热带常绿阔叶林演替的速度较快。而 PBM2 的生物

量累积速率小于 PBM3, 生物量年龄分布变化较小。这是由于 PBM2 距离南亚热带常绿阔叶林相对较远, 且紧邻公路, 不可避免的要受到一定程度的人为活动干扰所致^[21]。

通过对鼎湖山自然保护区 5 种植被类型共 14 次群落调查数据进行的生物量径级分配分析, 生物量径级分配主要包括以下 3 种类型:

(1) 递减分布: 代表性群落为 1996 年山地常绿阔叶林 (图 3a)。特征为: 所涉及的径级数目较小, 小径级 (比如 1~5 cm 和 5~10 cm) 的生物量在群落总生物量中占有较高的比例, 各径级生物量随径级的增长呈递减的规律。

(2) 倒钟型分布: 代表性群落为 2004 年山地常绿阔叶林, 1999 年和 2004 年的针阔叶混交林 II 号, 1994 年的针阔叶混交林 III 号以及 2004 年的马尾松林 (图 3b)。特征为: 径级数目在生物量增长早期的基础上增多, 整体上看相对生物量径级分布呈“中间大两头小”的规律, 或称为“倒钟形”和“正态分布”。经过一定阶段的发展, 初始阶段生物量占优势的小径级的比例降低为最小值, 中等径级的生物量比例最大。

(3) 递增分布: 代表性群落为 2004 年的针阔叶混交林 I 号, 2002 年的针阔叶混交林 III 号, 南亚热带常绿阔叶林和沟谷雨林 (图 3c)。主要特征为: 大胸径等级的生物量在群落中占有一定的优势地位, 中小径级的生物量比例均较小。

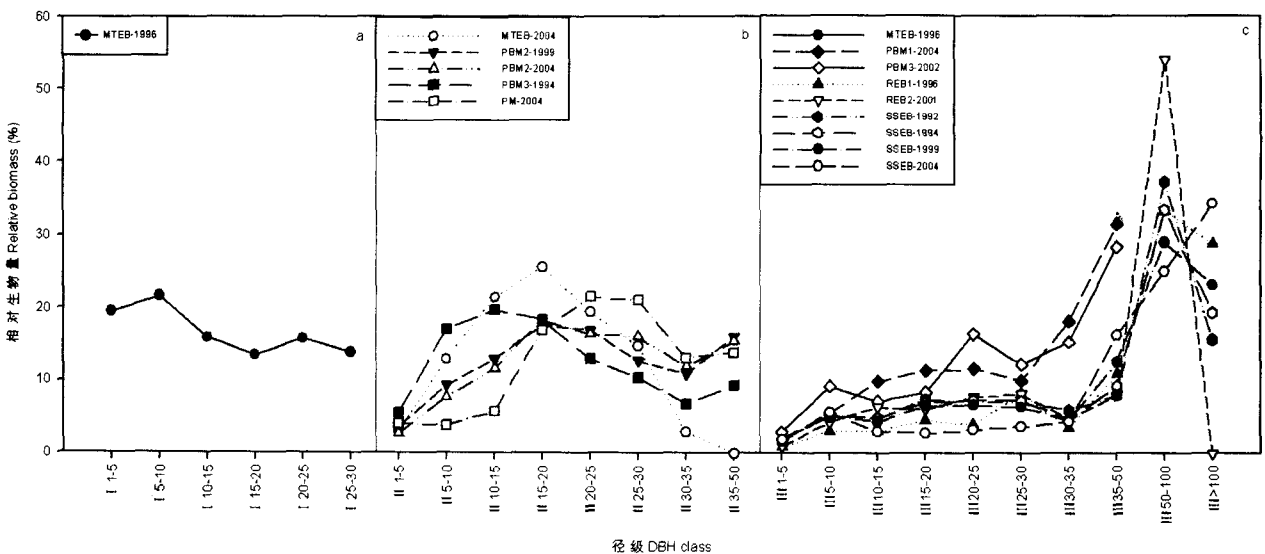


图3 群落生物量径级分配类型

Fig. 3 Allocation map of community biomass among different DBH classes

生物量在林木各径级中的分配比例是群落演替过程中的重要参数之一,是反映森林生态系统动态平衡的标志^[5],与森林的发育阶段有关。鼎湖山自然保护区内的群落生物量径级分配结果表明不同群落类型或相同群落的不同阶段间具有相似的生物量径级分配特征(图3)。鼎湖山群落生物量的此种径级分布规律,即3种分布类型,也符合其他林型不同时期的生物量径级分布:广东黑石顶亚热带常绿阔叶林由于林龄较小,生物量径级分布形态显示该群落生物量径级分配呈倒钟型^[2];西双版纳原始热带季节雨林由于是成熟的自然林,从生物量径级分布形态来看,该群落符合递增的分布特征^[3];四川云杉人工林符合倒钟型的生物量分布特征^[4];海南黎母山热带雨林的生物量径级分布呈递增分布^[5]。

参考文献(References)

- [1] 栗忠飞,郑征,李佑荣,等.2004.云南莱阳河自然保护区热带季节雨林乔木生物量[J].热带亚热带植物学报,12(1):41-45.
- [2] 陈章和,张宏达,王伯荪,等.1993.广东黑石顶常绿阔叶林生物量及其分配的研究[J].植物生态学与地植物学学报,17:289-298.
- [3] 郑征,刘宏茂,刘伦辉,等.1999.西双版纳原始热带季节雨林生物量研究[J].广西植物,19:309-314.
- [4] 鄢武先,宿以明,刘兴良,等.1991.云杉人工林生物量和生产力的研究[J].四川林业科技,12:17-22.
- [5] 黄全,李意德,赖巨章,等.1991.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,3:197-206.
- [6] 温达志,魏平,孔国辉,等.1997.鼎湖山锥栗+黄果厚壳桂+荷木群落生物量及其特征[J].生态学报,17:497-504.
- [7] 张宏达,王伯荪,张超常,等.1955.广东高要鼎湖山植物群落之研究[J].中山大学学报(自然科学版),3:159-225.
- [8] 王伯荪,马曼杰.1982.鼎湖山自然保护区森林群落的演变[J].热带亚热带森林生态系统研究,1:142-156.
- [9] 黄忠良,孔国辉,叶万辉,等.1998.鼎湖山季风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[J].热带亚热带森林生态系统研究,8:32-39.
- [10] 黄忠良.2002.鼎湖山植物多样性空间格局及其动态规律的研究[D].广州:中国科学院华南植物园.12-50.
- [11] 彭少麟.1996.南亚热带森林群落动态学[M].北京:科学出版社.198-221.
- [12] 周小勇,黄忠良,欧阳学军,等.2005.鼎湖山南亚热带常绿阔叶林原锥栗-厚壳桂-荷木群落演替[J].生态学报,25:37-44.
- [13] Zhou G Y, Liu S G, Li Z L, et al. 2006. Old-growth forests can accumulate carbon in soils[J]. *Science*, 314:1417.
- [14] 吴厚水,邓汉增,陈华堂,等.1982.鼎湖山自然地理特征及其动态分析[J].热带亚热带森林生态系统研究,1:1-11.
- [15] 曹洪麟,黄忠良,张林艳,等.2002.鼎湖山自然保护区植被类型[J].热带亚热带森林生态系统研究,9:1-9.
- [16] 孔国辉,莫江明.2002.人为干扰对鼎湖山马尾松林种群动态的影响[J].热带亚热带植物学报,10:193-200.
- [17] 方运霆,莫江明,彭少麟,等.2003.森林演替在南亚热带森林生态系统碳吸存中的作用[J].生态学报,23:1685-1694.
- [18] 罗艳,周国逸,张德强,等.2004.鼎湖山三种主要林型水文学过程中总有机碳浓度对比[J].生态学报,24:2973-2978.
- [19] 周存宇,周国逸,王迎红,等.2005.鼎湖山针阔叶混交林土壤呼吸的研究[J].北京林业大学学报,27:23-27.
- [20] 王铸豪,何道泉,宋绍敦,等.1982.鼎湖山自然保护区的植被[J].热带亚热带森林生态系统研究,1:77-141.
- [21] 唐旭利.2006.季风常绿阔叶林演替系列碳平衡及其动态模拟[D].广州:中国科学院华南植物园.28-54.
- [22] 冯宗炜,王效科,吴刚.1999.中国森林生态系统的生物量 and 生产力[M].北京:科学出版社.130-199.