

鼎湖山南亚热带常绿阔叶林 20 公顷样地 群落特征研究

叶万辉 曹洪麟 黄忠良 练琚愉 王志高 李 林 魏识广 王章明

(中国科学院华南植物园, 广州 510650)

摘 要 鼎湖山南亚热带常绿阔叶林是北回归线附近保存较完好的地带性植被, 是在南亚热带季风湿润型气候条件下发育的植被类型, 具有热带向亚热带的过渡性质, 群落结构相对复杂, 组成种类相对丰富。参照巴拿马巴洛科罗拉多岛 (Barro Colorado Island, BCI) 50 hm^2 热带雨林样地的技术规范, 采用中国森林生物多样性监测网络的统一调查研究方法, 于 2005 年在鼎湖山南亚热带常绿阔叶林建立了 20 hm^2 固定监测样地, 调查并鉴定了样方内胸径 (Diameter at breast height, DBH) 大于 1 cm 的木本植物。首次调查结果表明, 群落内共有木本植物 210 种, 71 617 个活的个体, 分属于 56 科 119 属。从乔木区系的组成及其特点可以看出, 其南亚热带的区系成分占绝对优势, 并呈现出由亚热带向热带过渡的趋势。群落垂直结构复杂, 地上成层现象较明显, 乔木可分为 3 层, 其中重要值最大的锥 (*Castanopsis chinensis*)、木荷 (*Schima superba*) 和黄杞 (*Engelhardtia roxburghiana*) 均是乔木上层的优势种; 中层是群落的主要层, 由厚壳桂 (*Cryptocarya chinensis*)、黄叶树 (*Xanthophyllum hainanense*) 和华润楠 (*Machilus chinensis*) 等中生和耐阴树种组成; 下层成分较复杂, 物种多样性高, 不同地段的物种组成差异较大。样地内物种十分丰富, 种-面积曲线拟合显示其物种数量接近于 BCI。稀有种比例极高, 有 110 种, 占总物种数的 52.38%, 其中有 45% 的稀有种源于物种本身的特性, 有 20% 源于区系交汇, 人为或自然干扰造成的稀有种占 30% 以上。样地中所有个体的径级分布 (以 1 cm 等级排列) 明显呈倒“J”形, 表示群落稳定与正常生长状态。根据对优势种径级结构的分布分析, 将各树种的径级结构归纳为 4 种类型: 1) 峰型 (中径级个体储备型), 此类物种为乔木上层优势种; 2) 倒“J”型 (正常型), 此类物种为乔木中层的优势种; 3) 类倒“J”型 (偏正常型), 此类物种占据乔木的中、下层; 4) “L”型 (灌木型), 此类物种分布于乔木下层和灌木层。点格局分析得出优势种在各个层上的绝大部分尺度都是聚集分布的, 而不同径级的空间分布随物种的不同而呈现出明显的差异性, 点格局显示了优势种在相同径级的分布 (特别是 $\text{DBH} = 10 \sim 40 \text{ cm}$) 具有一定的空间互补性。对大径级 ($\text{DBH} > 40 \text{ cm}$) 的 504 个个体进行空间分布格局分析, 结果表明, 所有这些个体随机分布于整个样地, 但不同的物种在空间分布上存在一定的规律。

关键词 鼎湖山大样地 森林生物多样性监测 南亚热带常绿阔叶林 分布格局 物种组成

COMMUNITY STRUCTURE OF A 20 HM^2 LOWER SUBTROPICAL EVERGREEN BROADLEAVED FOREST PLOT IN DINGHUSHAN, CHINA

YE Wan-Hui, CAO Hong-Lin, HUANG Zhong-Liang, LIAN Ju-Yu, WANG Zhi-Gao, LI Lin, WEI Shi-Guang, and WANG Zhang-Ming

South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China

Abstract *Aims* Lower subtropical evergreen broadleaved forest in Dinghushan is one of typical vegetations in Southern China. Its vegetation is protected very well. Because of its geographical location, the composition of its flora is transitional between the subtropical and tropical. A 20 hm^2 permanent plot of 400 m \times 500 m was established in 2005 for long-term monitoring of the biodiversity in the forest.

Methods The plot was established following the field protocol of the 50 hm^2 plot in Barro Colorado Island (BCI) in Panama. All free-standing trees with diameter at breast height (DBH) at least one centimeter were

收稿日期: 2007-12-19 接受日期: 2008-01-26

基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目 (KZCX2-YW-430) 和中国森林生物多样性监测网络

感谢中国科学院生物多样性委员会对鼎湖山大样地工作的大力支持; 感谢加拿大 Alberta 大学何芳良教授、台湾东海大学孙义方教授、中国科学院植物研究所马克平教授在建设样地中提出宝贵意见, 并在样地选址、调查工作中亲临现场给予指导; 感谢美国史密森森热带森林研究中心 (CTFS) 生态学家 Richard Condit 教授在数据整理上提供指导和帮助; 感谢武汉江韵测绘勘察有限公司在样地建设过程中付出的辛勤劳动。同时感谢以下人员在鼎湖山大样地植物调查时给予帮助: 华南师范大学的林正媚博士, 中国科学院华南植物园的陈炳辉高工、黄玉佳、莫定升、孟泽、张佑昌、吴林芳、叶育石, 浙江古田山自然保护区的方腾, 中国科学院华南植物园研究生: 史军辉、张池、沈浩、李静、穆宏平、韩玉洁; 华南师范大学与华南农业大学 2002 级本科生: 施悦谋、陈达丰、谢腾芳、黄婷、陈裕喜、李胜强、陈水莲。

E-mail: why@scbg.ac.cn

mapped and identified to species.

Important findings There are 71 617 individuals, belonging to 210 species, 119 genera and 56 families. Its floristic composition is transitional between the subtropical and tropical. The vertical structure of the forest is clear. There are five layers from the top of the canopy to the ground floor, three tree layers (upper, middle and low), one shrub layer and one herb layer, respectively. Based on important value, *Castanopsis chinensis*, *Schima superba* and *Engelhardtia roxburghiana* are the three most dominant species in the upper layer. There are many shade-tolerant and intermediate light-demanding species, such as *Cryptocarya chinensis*, *Xanthophyllum hainanense*, *Machilus chinensis* in mid-layer. Species in low layer are rich and complex, which composition varies a lot. The species-area curve indicates that there is high diversity in the forest and the number of species is close to BCI. There is high proportion of rare species represented by < 20 individuals which account for 52.38% of the total number of species. Among these rare species 45% of them lead to be rare by species characteristics, 20% by the floristic transitional nature of the plot, while the rest by disturbances. Size distribution of all individuals shows an invert J-shape, which indicates that the community is in a stable and normal growth status. Size distributions of the dominant species are classified into four types based on their size-class frequencies, unimodal in the top layer, inverse J-shape in middle layer, close to inverse J-shape in middle and low layer, and L-shape in low and shrub layer. Dominant species in different layers are aggregated by the spatial pattern analysis and the spatial patterns of these species in different layers vary with size-classes. However, spatial patterns of them also show complementary within the same size classes, especially in 10–40 cm DBH. The individuals with DBH > 40 cm are randomly distributed.

Key words Dinghushan plot, forest biodiversity monitoring, lower subtropical evergreen broadleaved forest, spatial pattern, species composition

DOI: 10.3773/j.issn.1005-264x.2008.02.005

鼎湖山(Dinghushan)地处亚热带季风气候区南缘,北回归线附近。北回归线两侧的陆地是地球上最大的沙漠或半沙漠地带(吴厚水等,1982),而鼎湖山地区由于其独特的地理位置、气候条件和人文因素,形成并较好地保存了地带性植被类型——亚热带常绿阔叶林,具有热带向亚热带的过渡性质,群落结构相对复杂,组成种类相对丰富,成为当今地球该纬度带上最具特色、最具研究价值的地区之一(孔国辉等,1998)。鼎湖山自1956年被确定为自然保护区以来,植被得到了完好的保护,是开展亚热带森林生物多样性形成与维持机制研究的理想地点。

为了更深入地了解森林生物多样性的分布格局、形成与维持的机制,更好地进行森林生物多样性监测,1975年一些著名生态学家提出建立大样地的构思,并在BCI(Barro Colorado Island, Panama)进行了尝试(Condit, 1995)。至今,美国Smithsonian研究院CTFS(the Center for Tropical Forest Science)已在全球热带地区的14个国家建立了18个森林生物多样性监测大样地(4~52 hm²),形成了热带森林生物多样性监测网络(<http://www.ctfs.si.edu>),开始了热带森林的结构组成和物种多样性的实证研究(Kochummen *et al.*, 1990; Manokaran & LaFrankie, 1990; Dallneier *et al.*, 1992; Lee *et al.*, 1995),为不同地区大样地制定了建设的统一标准,提供了交流与合作的平台。

大样地的建设有效监测了物种的时空分布模式,为研究物种多样性的维持机制、物种空间分布格局、群落动态等提供了重要的研究平台,并取得了热带森林生物多样性形成与维持研究的大量成果(Condit, 1995; Hubbell *et al.*, 1999; Condit *et al.*, 2002; Hooper *et al.*, 2004; Condit *et al.*, 2006; Hubbell, 2006)。这些研究成果对物种共存的经典生态位理论提出质疑,创立了群落生态学的中性理论(Neutral theory)(Hubbell, 2001),对热带森林物种多样性形成与维持作出了很好的解释。中性理论以物种间在个体水平上的对等性为前提,强调随机过程的重要性,第一次从基本生态学过程(出生、死亡、迁移、物种分化)出发,为在个体水平上探讨群落结构形成搭建了理论框架(Chave, 2004),在生态学界引起了极大的反响(McGill, 2003; Volkov *et al.*, 2003; Chase, 2005; Condit *et al.*, 2006; McGill *et al.*, 2006)。

中国地跨热带到寒温带,是世界上生物多样性最丰富的国家之一,有必要借鉴CTFS大样地建设的思路和方法,进行森林生物多样性形成维持的研究。为此,中国科学院生物多样性委员会组织建立了中国森林生物多样性监测网络,分别在温带地区的长白山(Changbaishan, CBS)、中亚热带地区的古田山(Gutianshan, GTS)、南亚热带地区的鼎湖山(Dinghushan, DHS)和热带地区的西双版纳(Xishuangbanna, XBN)建立了20~25 hm²的固定监测大样地。

本文报道鼎湖山南亚热带常绿阔叶林大样地(简称鼎湖山大样地, 20 hm² lower subtropical evergreen broadleaved forest plot in Dinghushan, DHS plot)的区系特征、物种组成、垂直结构、径级结构与空间分布等群落特征。

1 研究区、样地概况与研究方法

1.1 研究区概况

鼎湖山国家级自然保护区位于广东省肇庆市鼎湖区(23°09'21"~23°11'30" N, 112°30'39"~112°33'41" E), 面积为 1 155 hm², 属于低山丘陵, 最高峰鸡笼山海拔 1 000.3 m, 山体陡峭, 坡度多在 30°~45°之间。

该地区属南亚热带湿润季风气候, 冬夏气候交替明显, 年平均气温为 20.9 °C, 最热月(7月)平均气温为 28.0 °C, 最冷月(1月)平均气温为 12.6 °C, 极端最高气温为 38.0 °C, 极端最低气温为 -0.2 °C。平均每年有 4 次霜冻, 每次持续 1~2 d。1975~1995 年年均降雨量为 1 985 mm。4~9 月为主要降雨季节, 月降雨量均超过 200 mm。11 月至翌年 1 月为旱季, 月降雨量不足 100 mm。年平均蒸发量为 1 115 mm。年平均相对湿度为 80.3%(黄忠良等, 1998)。每年平均遭遇 3 次寒潮, 寒潮常出现在 11 月至翌年 3 月。寒潮时气温骤降, 偶有霜冻。7~9 月为台风季节, 平均每年有 4 次台风登陆(黄伟峰和沈雪苹, 1982)。

研究区内地带性土壤为发育于砂岩和砂页岩的赤红壤, 山地垂直分布有黄壤和山地灌丛草甸土。赤红壤分布于海拔 300 m 以下的丘陵地带, 土层厚 40~80 cm, pH 值为 4.6, 表土层有机质含量为 4.3%; 黄壤分布于海拔 300~900 m, 土层厚 40~90 cm, pH 值范围为 4.7~5.9, 表土层有机质含量平均为 3.4%; 900 m 以上为山地灌丛草甸土, 土层厚 20~30 cm, pH 值为 5, 表土层有机质含量为 9% 以上。此外, 尚有局部分布的耕型赤红壤(何金海等, 1982)。

鼎湖山森林群落复杂多样、物种丰富, 富含子遗植物和热带植物, 而温带植物相对贫乏(王铸豪等, 1982)。森林植被沿海拔梯度依次分布有沟谷雨林(海拔 50~300 m)、南亚热带常绿阔叶林(海拔 75~500 m)、山地常绿阔叶林或山地常绿灌丛(海拔 500~800 m)和山地常绿灌草丛(海拔 800 m 以上), 且在南亚热带常绿阔叶林的外围丘陵山地伴有处于进展演替状态的针阔混交林(曹洪麟等, 2002; 张林艳等, 2006)。

鼎湖山国家级自然保护区有野生被子植物 181 科 713 属 1 566 种, 裸子植物 4 科 5 属 23 种, 蕨类植物 37 科 74 属 131 种, 苔藓植物 45 科 86 属 141 种。此外, 约有 390 种栽培植物(<http://www.scib.ac.cn/dhs/dhsbhq/index.htm>)。

1.2 样地概况

鼎湖山大样地面积为 20 hm², 东西长 400 m, 南北长 500 m, 位于保护区中心地带(图 1), 海拔 230~470 m, 坡度 30°~50°, 地形起伏较大(图 2)。样地土壤以发育于砂页岩母质的赤红壤为主, 海拔 300 m 以上的局部地段分布着山地黄壤。水湿条件良好, 空气相对湿度大。植被为典型的南亚热带常绿阔叶林, 群落发育和保存较好。

群落外貌表现为终年常绿, 落叶成分很少, 群落高达 30 m, 垂直结构复杂, 成层现象较明显, 一般可分 5 层, 乔木上、中、下层, 灌木层, 草本层。此外还有藤本植物和附生植物组成的层间植物, 交织攀附于乔木和灌木上。

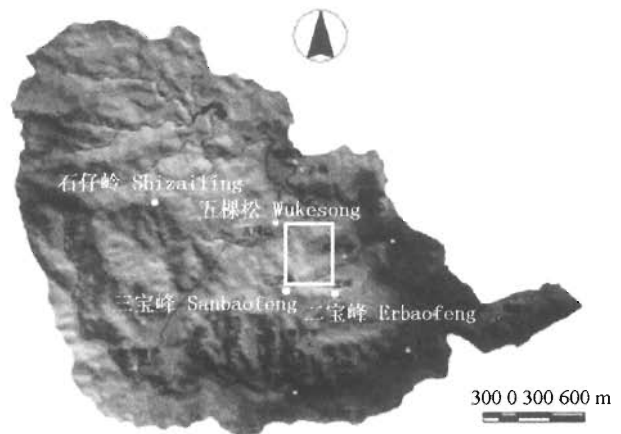


图 1 中国鼎湖山南亚热带常绿阔叶林动态监测样地位置示意图

Fig. 1 The location of 20 hm² lower subtropical evergreen broadleaved forest plot in Dinghushan, China (DHS plot)

1.3 样地的设置与调查

依据 BCI 大样地建设的技术规范(Condit, 1998), 中国森林生物多样性监测网络统一了调查研究方法。鼎湖山样地采用全站仪将 20 hm² 大样地划分为 500 个 20 m×20 m 的样方, 样方的 4 个角用水泥桩作永久标记。在每个 20 m×20 m 的样方内用插值法细分为 4 个 10 m×10 m 和 16 个 5 m×5 m 的小样方。

野外调查以 20 m×20 m 样方为树种编号单元, 以大样地的西南角为坐标原点, 顺序排列 20 m×20

m 样方的行、列号。树种的个体编号共 7 位数,前 4 位数是 20 m×20 m 样方的行号和列号,第 5 位至第 7 位数为植株编号,对于分枝采用同一树号加分枝编号。以 5 m×5 m 小样方为基本测树单元,按顺时针挂牌标记每个胸径 DBH(Diameter at breast height)≥1 cm 的个体,记录树种名称、胸径、坐标和生长状况等信息,并建立数据库。

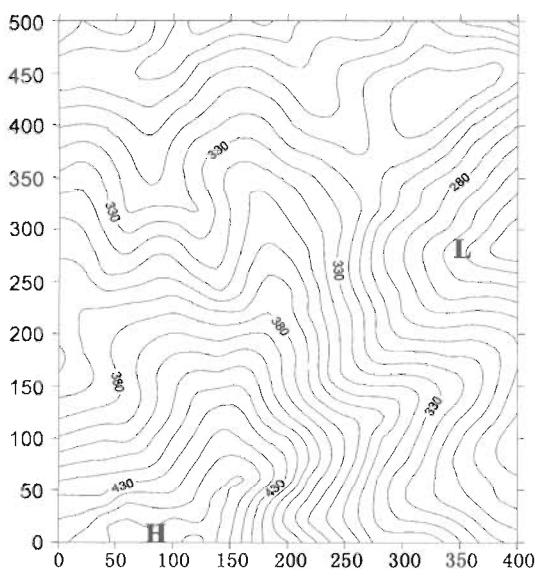


图 2 鼎湖山大样地等高线图

Fig. 2 The topography map of Dinghushan (DHS) plot
H: 最高点为 470 m The highest = 470 m L: 最低点为 230 m The lowest = 230 m

1.4 数据分析方法

采用国际通用软件 R 2.60 (<http://www.r-project.org>) 进行相关统计分析。

2 结果与分析

2.1 区系特征

样地内 DBH≥1 cm 的木本植物共有 210 种 71 617 个活个体(包括分枝在内的活个体总数达到 80 609),分属于 56 科 119 属(表 1)。含物种数与个体数最多的科(表 2)不仅是鼎湖山地区的主要代表科,而且是构成亚热带常绿阔叶林的主要成分,并具有明显的亚热带向热带过渡的特征。根据吴征镒(1991)属级类型的区系分布方案,样地的木本植物以热带区系成分(分布型 2~7)为主,共有 107 属 191 种,67 092 株,占总属数的 89.92%,其中又以泛热带分布和热带亚洲分布的成分占优势;同时也具有少量的温带成分(分布型 8~9, 6.78%)(表 3)。

2.2 物种组成

2.2.1 种-多度格局

样地具有较高的物种多样性,在 20 hm² 的样地中有 210 个物种,其中个体数量较多的前 38 个物种占总个体数的 90%,个体数量最多的前 9 个物种占总个体数的 50%,而个体数较少的 110 个种个体数之和还不到样地总个体数的 1%(图 3)。

2.2.2 优势度

按树种重要值(Important value,简称 IV)((相对频度+相对多度+相对胸高断面积)/3)排序,样地中 IV≥1 的树种有 29 种(表 4),这些物种的多度与胸高断面积分别占样地总多度与总胸高断面积的 83.69% 与 90.52%。IV 最大的前 3 个物种为锥(*Castanopsis chinensis*)、木荷(*Schima superba*)和黄杞(*Engelhardtia roxburghiana*),均是乔木上层的优势种,同时也是胸高断面积最大的物种,三者之和为 16.91 m²·hm⁻²,占样地总胸高断面积的 56.06%。重要值较大的其它物种多为个体数量较多的物种(表 5),其中红枝蒲桃(*Syzygium rehderianum*)、广东金叶子(*Craibiodendron scleranthum* var. *kwangtungense*)、香楠(*Aidia canthioides*)、厚壳桂(*Cryptocarya chinensis*)和黄果厚壳桂(*C. concinna*)等是乔木中下层的优势种。

2.2.3 种-面积格局

根据样地的种-面积曲线可知,巢式取样与随机取样两种方法均显示,鼎湖山大样地在取样面积为 2 500 m² 以下时,物种随面积的增加而急剧增加;面积在 2 500 m² 以上时,物种数增加比较缓慢,面积在接近 20 hm² 时,物种数增加才趋于平稳,由此可见,样地的物种十分丰富。种-面积曲线用幂函数模型($S = CA^z$)进行拟合,随机取样公式为: $S = 6.69A^{0.284}$ ($R^2 = 0.992, p < 0.001$);巢式取样为: $S = 6.59A^{0.285}$ ($R^2 = 0.997, p < 0.001$),其中 S 为物种数, A 为样方面积,所得的 Z 值接近于经典观测值 1/4(Rosenzweig, 1995)。以此值推测出本地区 50 hm² 样地的物种数为 277 种,与 CTFS 各热带地区的 50 hm² 样地相比,鼎湖山大样地的物种数高于一年具有 6 个月旱季的泰国 HKK(Huai Kha Khaeng Wildlife Sanctuary, in Thailand)(248 种)和印度 Mudumalai(72 种),接近于一年具有 4 个月旱季的巴拿马 BCI(299 种),而低于其它无旱季热带地区的样地,如马来西亚 Pasoh(818 种)和马来西亚 Lambir(1 174 种, 52 hm²)(Condit et al., 2000)。

2.2.4 稀有种

按照 Hubbell 和 Foster(1986)的定义,每公顷个体数等于或少于 1 的物种被认为是本样地的稀有种

表 1 鼎湖山大样地木本植物统计
Table 1 Statistics of trees in Dinghushan (DHS) plot

类群 Group	组成 Composition			生长型 Growth type		
	科 Family	属 Genus	种 Species	乔木 Arbor	小乔木 Subarbor	灌木 Shrub
裸子植物 Gymnosperm	2	2	2	2	—	—
被子植物 Angiosperm						
双子叶植物 Dicotyledon	52	115	206	44	93	69
单子叶植物 Monocotyledon	2	2	2	1	—	1
合计 Total	56	119	210	47	93	70

表 2 乔木树种物种数和个体数最大的前 10 个科
Table 2 The top ten families based on the number of species and individuals in Dinghushan (DHS) plot

科名 Family	物种数与比率 No. of species (Proportion %)	科名 Family	个体数与比率 No. of individuals (Proportion %)
樟科 Lauraceae	21 (10.00)	樟科 Lauraceae	14 065 (19.64)
大戟科 Euphorbiaceae	20 (9.52)	桃金娘科 Myrtaceae	8 247 (11.52)
茜草科 Rubiaceae	14 (6.67)	茜草科 Rubiaceae	8 024 (11.20)
桑科 Moraceae	11 (5.23)	野牡丹科 Melastomataceae	5 398 (7.54)
山茶科 Theaceae	9 (4.29)	大戟科 Euphorbiaceae	5 114 (7.14)
桃金娘科 Myrtaceae	9 (4.29)	杜鹃花科 Ericaceae	4 860 (6.79)
冬青科 Aquifoliaceae	8 (3.81)	紫金牛科 Myrsinaceae	4 457 (6.22)
杜鹃花科 Ericaceae	8 (3.81)	山茶科 Theaceae	2 881 (4.02)
杜英科 Elaeocarpaceae	6 (2.86)	蝶形花科 Papilionaceae	2 791 (3.90)
蝶形花科 Papilionaceae	5 (2.38)	壳斗科 Fagaceae	2 604 (3.64)
总计 Total	111 (52.86)	总计 Total	58 441 (81.60)

表 3 鼎湖山大样地木本植物群落种子植物属的分布区类型统计
Table 3 Distribution types of spermatophyte in Dinghushan (DHS) plot

分布区类型 Distribution area types	属数 No. of genera	比率 Rate (%)
1 世界分布 Cosmopolitan	—	—
2 泛热带分布 Pantropic	37	31.09
3 热带亚洲和热带美洲间断分布 Tropical Asia and Tropical America disjuncted	5	4.20
4 旧世界热带分布 Old World Tropic	18	15.12
5 热带亚洲至热带大洋洲分布 Tropical Asia and Tropical Australasia	10	8.40
6 热带亚洲至热带非洲分布 Tropical Asia to Tropical Africa	8	6.72
7 热带亚洲分布 Tropical Asia	29	24.37
热带成分(分布型 2~7) Tropical elements	107	89.92
8 北温带分布 North Temperate	3	2.52
9 东亚和北美洲间断分布 East Asia and North America disjuncted	5	4.20
温带成分(分布型 8~9) Temperate elements	8	6.72
10 旧世界温带分布 Old World Temperate	—	—
11 温带亚洲分布 Temperate Asia	—	—
12 地中海区、西亚至中亚分布 Mediterranean, West Asia to Central Asia	—	—
13 中亚分布 Central Asia	—	—
14 东亚分布 East Asia	4	3.36
15 中国特有分布 Endemic to China	—	—
合计 Total	119	100.00

(Rare species)。样地的稀有种比例很高,共有 110 个,占总物种数的 52.38%,其中只有 1 个个体的物种数为 27,占总物种数的 12.86%,而稀有种的个体

总数为 649 株,仅占样地个体总数的 0.91%。在全球已建立的多个大样地中仅次于 HKK(60%以上),而其它大样地都不超过 40%。

表 4 鼎湖山大样地的物种组成
Table 4 Species composition of live trees ≥ 1.0 cm DBH in Dinghushan (DHS) plot

物种名 Species	多度 Abundance	分枝数 Ramification	胸高断面积 Basal area ($\text{m}^2 \cdot \text{hm}^{-2}$)	重要值 Important value
锥 <i>Castanopsis chinensis</i>	2 311	546	9.304	12.3
木荷 <i>Schima superba</i>	2 296	260	4.132	6.6
黄杞 <i>Engelhardtia roxburghiana</i>	737	149	3.475	4.8
红枝蒲桃 <i>Syzygium rehderianum</i>	5 990	347	0.879	4.7
广东金叶子 <i>Craibiodendron scleranthum</i> var. <i>kwangtungense</i>	3 325	111	1.664	4.4
香楠 <i>Aidia canthioides</i>	5 996	422	0.213	4.1
厚壳桂 <i>Cryptocarya chinensis</i>	2 557	1 028	1.208	3.5
黄果厚壳桂 <i>Cryptocarya concinna</i>	4 478	106	0.177	3.3
云南银柴 <i>Aporosa yunnanensis</i>	3 747	378	0.436	3.0
罗伞树 <i>Ardisia quinqueгона</i>	3 702	503	0.076	2.8
柏拉木 <i>Blastus cochinchinensis</i>	4 011	718	0.058	2.7
肖蒲桃 <i>Acmena acuminatissima</i>	1 484	441	1.096	2.6
光叶红豆 <i>Ormosia glaberrima</i>	2 702	116	0.288	2.2
黄叶树 <i>Xanthophyllum hainanense</i>	1 873	160	0.359	2.0
滇粤山胡椒 <i>Lindera metcalfeana</i>	2 118	369	0.190	1.9
肉实树 <i>Sarcosperma laurinum</i>	1 576	146	0.330	1.9
华润楠 <i>Machilus chinensis</i>	532	65	0.845	1.7
鼎湖钓樟 <i>Lindera chinii</i>	1 302	1 016	0.151	1.5
谷木 <i>Memecylon ligustrifolium</i>	1 263	74	0.092	1.4
小新木姜 <i>Neolitsea umbrosa</i>	1 352	154	0.169	1.3
短序润楠 <i>Machilus breviflora</i>	800	327	0.344	1.3
褐叶柄果木 <i>Mischocarpus pentapetalus</i>	1 252	95	0.044	1.3
鱼骨木 <i>Canthium dicoccum</i>	603	19	0.158	1.2
密花树 <i>Rapanea nerifoli</i>	750	56	0.289	1.2
九节 <i>Psychotria rubra</i>	908	54	0.016	1.2
毛缘杜鹃 <i>Rhododendron henryi</i> var. <i>concatum</i>	810	208	0.278	1.1
马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	169	6	0.700	1.0
岭南山竹子 <i>Garcinia oblongifolia</i>	652	48	0.104	1.0
三花冬青 <i>Ilex triflora</i>	642	28	0.234	1.0
其它 Others	11 679	1 042	2.860	21.1
合计 Total	71 617	8 992	30.167	100.0

DBH: 胸径 Diameter at breast height

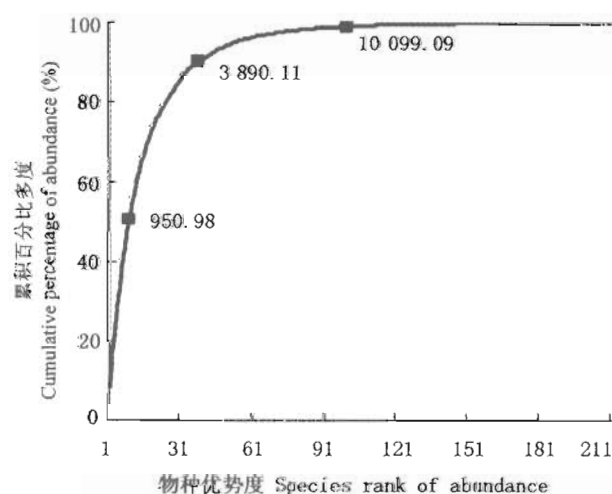


图 3 鼎湖山大样地物种多度的累计分布图
Fig.3 Cumulative distribution map of species abundance in Dinghushan (DHS) plot

表 5 个体数最多的 10 个物种
Table 5 The top ten species based on number of individuals in Dinghushan (DHS) plot

种名 Species	个体数与比率 No. of individuals (Proportion %)
香楠 <i>Aidia canthioides</i>	5 996 (8.37)
红枝蒲桃 <i>Syzygium rehderianum</i>	5 990 (8.36)
黄果厚壳桂 <i>Cryptocarya concinna</i>	4 478 (6.25)
柏拉木 <i>Blastus cochinchinensis</i>	4 011 (5.60)
云南银柴 <i>Aporosa yunnanensis</i>	3 747 (5.23)
罗伞树 <i>Ardisia quinqueгона</i>	3 702 (5.17)
广东金叶子 <i>Craibiodendron scleranthum</i> var. <i>kwangtungense</i>	3 325 (4.64)
光叶红豆 <i>Ormosia glaberrima</i>	2 702 (3.77)
厚壳桂 <i>Cryptocarya chinensis</i>	2 556 (3.57)
锥 <i>Castanopsis chinensis</i>	2 312 (3.23)
合计 Total	38 819 (54.20)

通常群落中稀有种较多的原因,首先取决于物种本身的种群特征与分布特性,有些物种在自然界中种群数量稀少或分布零散;其次是由于区系的交汇分布造成的,相邻气候带的物种在分布上相互渗透,一旦超出主要分布区域,其个体数量将明显下降;再之,人为或自然的干扰也会导致种群数量的减少,如过度采挖、偶然地人为带人、人为或自然的局

部生境改变等。在鼎湖山大样地中有 45% 的稀有种源于物种本身的特性,有 20% 的稀有种源于区系交汇,人为干扰活动造成的稀有种占 30% 以上(表 6)。

在 CTFS 的所有大样地中,HKK 具有很高的稀有种比例,Bunyavejchewi 等(2004)将其原因主要归结为生境异质性和森林类型相嵌,以及干扰造成的

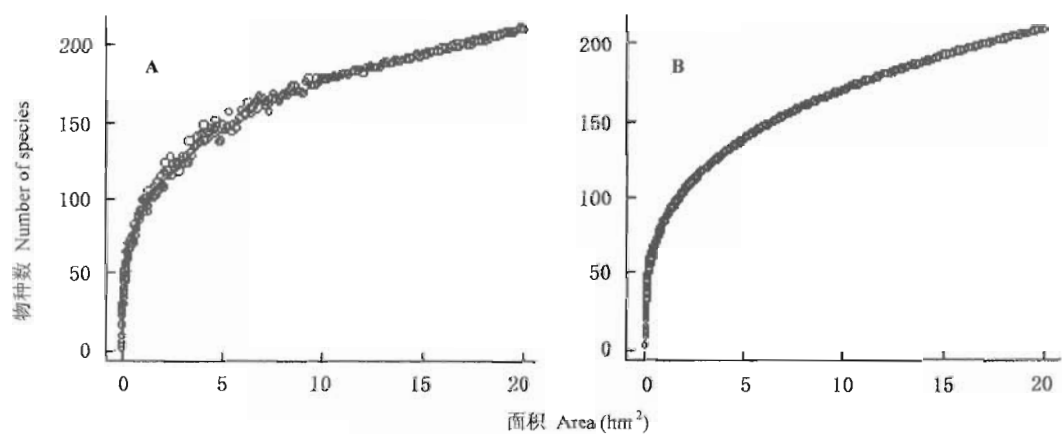


图 4 鼎湖山大样地种-面积曲线
Fig. 4 Species-area curve in Dinghushan (DHS) plot
A: 随机取样 Random sampling B: 巢式取样 Nest sampling

表 6 鼎湖山大样地稀有种形成的原因
Table 6 The forming factors for the rare species in Dinghushan (DHS) plot

形成原因 Forming factors	物种数 Species number	比率 Proportion (%)
1. 物种特性 Species characteristics	49	44.54
区域稀有种 Rare in Lower Subtropical Area	32	29.09
鼎湖山分布较少 Rare in DHS Reserve	17	15.45
2. 区系交汇 Floristic transitional zone	24	21.82
典型亚热带种类 Typical subtropical species	18	16.36
沟谷分布种 Ravine species	6	5.46
3. 干扰 Disturbance	37	31.82
阳生性树种 Heliophytes species	19	17.27
中生性树种 Mesophyte species	16	14.55
果树 Fruit tree	2	1.82
合计 Total	110	100.00

相嵌结构的变化,而忽略了物种本身的特性。此外,由于鼎湖山保护区处于热带向中亚热带的气候过渡带,在低海拔地段分布着具有热带性质的沟谷雨林,在中山地段(海拔 500 m 以上)分布着具有中亚热带性质的山地常绿阔叶林。样地位于海拔 230~470 m 之间,高差达 240 m。其下限接近沟谷雨林群落,上限接近山地常绿阔叶林,因此邻近区系的物种渗透

也占了较大的比例。

2.3 垂直结构

乔木上层的优势种比较显著,高 20 m 以上,主要由锥、木荷、黄杞等高大的阳性乔木构成,种类少,郁闭度仅为 0.3。乔木中层是群落的主要层,高 10~17 m,常见的种类有厚壳桂、黄叶树(*Xanthophyllum hainanense*)、华润楠(*Machilus chinensis*)、广东

金叶子、肖蒲桃(*Acmena acuminatissima*)等中生、耐阴树种,郁闭度近 0.6;乔木下层高 3~9 m,由于一些乔木幼树和大灌木的进入,致使该层成分较复杂,物种多样性高,不同地段物种组成差异较大,主要有云南银柴(*Aporosa yunnanensis*)、厚壳桂、红枝蒲桃、肉实树(*Sarcosperma laurinum*)等,郁闭度仅为 0.2 左右。

灌木层高 1.2~1.5 m,平均盖度为 40%,种类组成丰富,多属于耐阴种类,以柏拉木(*Blastus cochinchinensis*)、罗伞树(*Ardisia quinqueгона*)、九节(*Psychotria rubra*)为主,此外还有一些乔木的幼树。草本层的组成种类主要是几种阴生或耐阴的蕨类,如沙皮蕨(*Hemigramma decurans*)、刺头复叶耳蕨(*Arachniodes exilis*)、金毛狗(*Cibotium barometz*)等。层间植物有丁公藤(*Erycibe obtusifolia*)、白叶瓜馥木(*Fissistigma glaucescens*)、白花油麻藤(*Mucuna birdwoodiana*)、扁担藤(*Tetrastigma planicaule*)等藤本植物,以及眼树莲(*Dischidia chinensis*)、石柑子(*Pothos chinensis*)、百足藤(*Pothos repens*)、小叶爬崖香(*Piper arboricola*)等附生植物。

2.4 径级结构

径级结构是植物群落稳定性和生长发育状况的重要指标。样地内 $DBH \geq 1$ cm 的树木的总胸高断面面积为 $30.17 \text{ m}^2 \cdot \text{hm}^{-2}$ 。样方内乔木最大胸径为 175 cm(锥)。样地中所有个体的径级分布(以 1 cm 等级排列)明显呈现倒“J”形(图 5),表现出群落稳定与正常生长状态。从径级结构可以看出, $DBH \leq 10$ cm 的个体数量居多,占 83.58%,其中 $DBH \leq 4$ cm 的个体数占样地总个体数的 60.86%; $DBH > 40$ cm 的个体数为 504 株,仅占 0.70%。

样地中 $DBH > 10$ cm 的个体比例为 16.42%,高于 CTFS 中热带雨林区的大样地,如 BCI、Pasoh、Lambir、Sinharaja(均小于 10%),而低于 CTFS 中热带季雨林区的大样地,如 HKK (27.10%), Mudumalai (58.97%)(Condit et al., 2000),体现了鼎湖山的南亚热带季风气候特征。

根据对优势种径级结构的分布分析(图 6),各树种的径级结构可归纳为 4 种类型:1)峰型(中径级个体储备型),此类物种为乔木上层优势种,其径级结构类似于正态分布,个体主要集中在中径级,小径级与大径级则相对较少,代表种为锥、木荷和黄杞;2)倒“J”型(正常型),此类物种为乔木中层的优势种,径级结构的形状类似于倒置的“J”字,以 $DBH = 1$ cm 的个体数最大,并随着 DBH 的增加个体数量

逐步下降,代表种为厚壳桂、黄叶树和华润楠;3)类倒“J”型(偏正常型),此类物种占据乔木中、下层,径级结构近似于倒“J”型,但径级个体数最大值出现在 $DBH = 2 \sim 4$ cm,代表物种有肖蒲桃、广东金叶子和云南银柴等;4)“L”型(灌木型),此类物种分布于乔木下层和灌木层,个体集中在小径级处,大径级个体极少,代表种有柏拉木、香楠和黄果厚壳桂等。

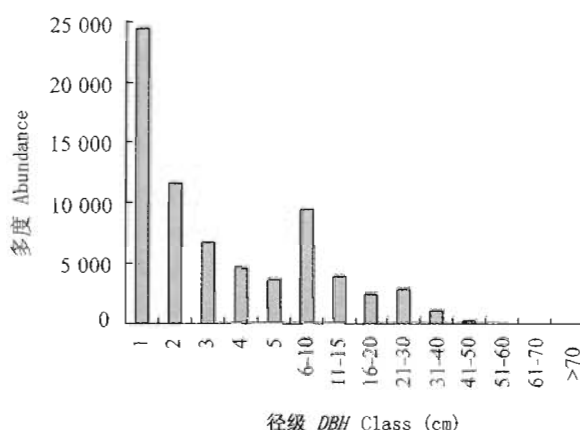


图 5 鼎湖山大样地本植物径级分布图
Fig.5 Distribution patterns of size class of diameter at breast height (DBH) of tree species in Dinghushan (DHS) plot

2.5 空间分布格局

对部分优势种按不同径级个体的点分布格局分析表明,优势种在各个层上的绝大部分尺度都是聚集分布的(图 7),而不同径级的空间分布随物种的不同而呈现明显的差异,点格局显示了优势种在相同径级的分布(特别是在 $DBH = 10 \sim 40$ cm 时)具有一定的空间互补性。

同一物种不同径级个体的空间分布规律基本一致,个别物种,如锥在中径级(10~40 cm)和大径级(40 cm 以上)个体分布上存在着一定的互补关系,中径级个体主要分布于样地的西北部,大径级个体主要分布于东南部。同一层次、同一径级的不同物种之间也存在分布的互补性特征,如锥和黄杞都是乔木上层的优势种,其大径级个体的分布存在明显的互补性,锥的大径级个体主要分布于东南部,黄杞的大径级个体主要分布在西北角。在不同层次的优势种在空间分布格局上也存在互补关系,如在中径级个体分布上,乔木上层种锥和木荷主要分布在西北部,黄杞主要分布在西部;而乔木中、下层优势种肖蒲桃和广东金叶子主要分布在东部,黄叶树和云南银柴主要分布在东南角,与乔木上层树种形成互补。

对大径级 ($DBH > 40$ cm) 的 504 个个体进行空间分布格局分析(图 8), 结果表明, 所有这些个体随机分布于整个样地, 说明样地的群落构成比较自然, 没有受到大范围的干扰。但不同的物种在空间分布上存在一定的规律, 锥是乔木上层的主要树种, 其大径级个体聚集分布在山脊上, 黄杞则聚集在山谷, 华

润楠主要出现在中海拔区域。

3 结论与讨论

通过对鼎湖山常绿阔叶林 20 hm^2 样地物种组成与群落结构的分析发现, 样地物种组成十分丰富, 包括 56 科 119 属 210 种, 种-面积曲线拟合显示其物

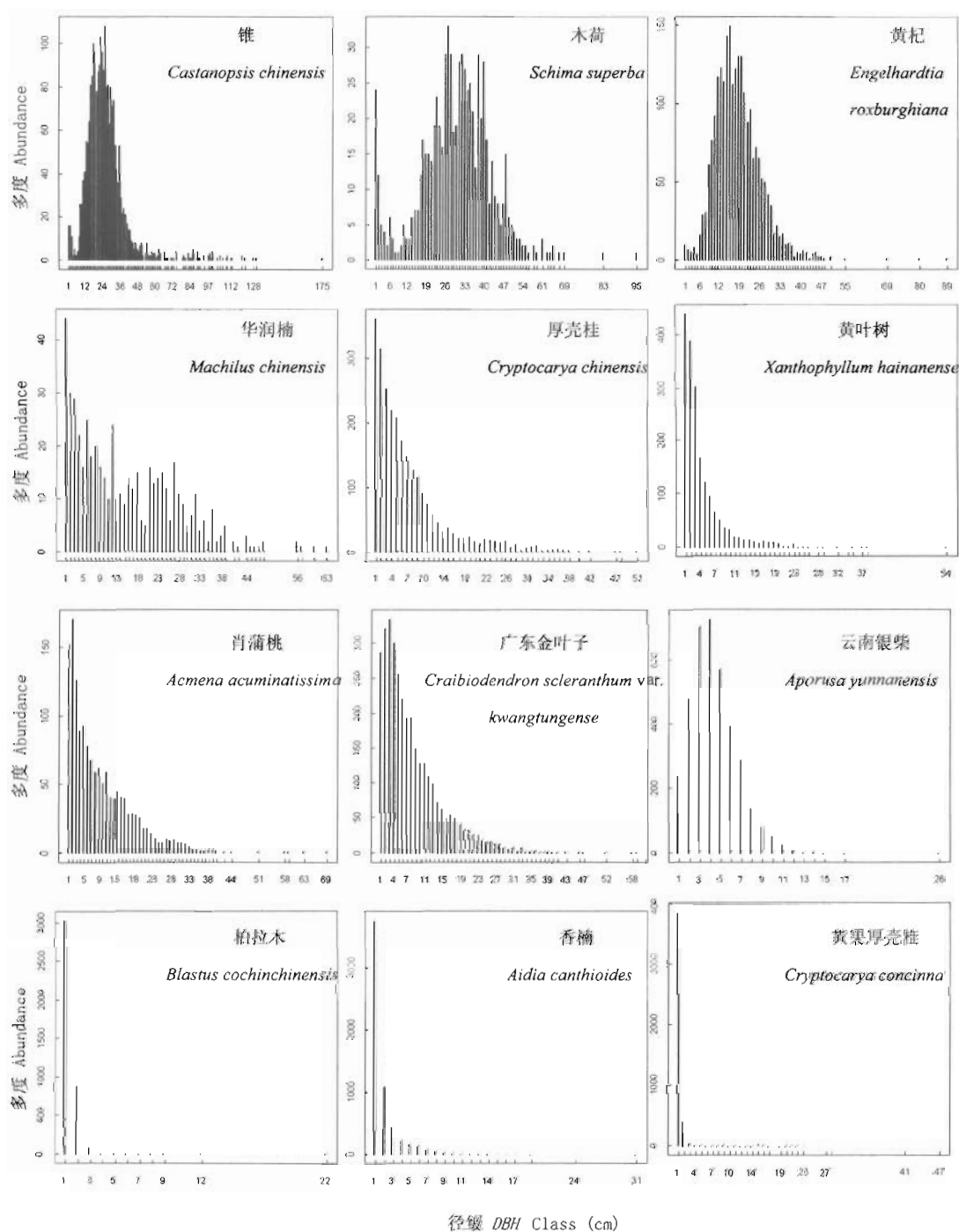


图 6 鼎湖山大样地优势树种的径级结构图
Fig. 6 Size-class distribution of dominant species in Dinghushan (DHS) plot

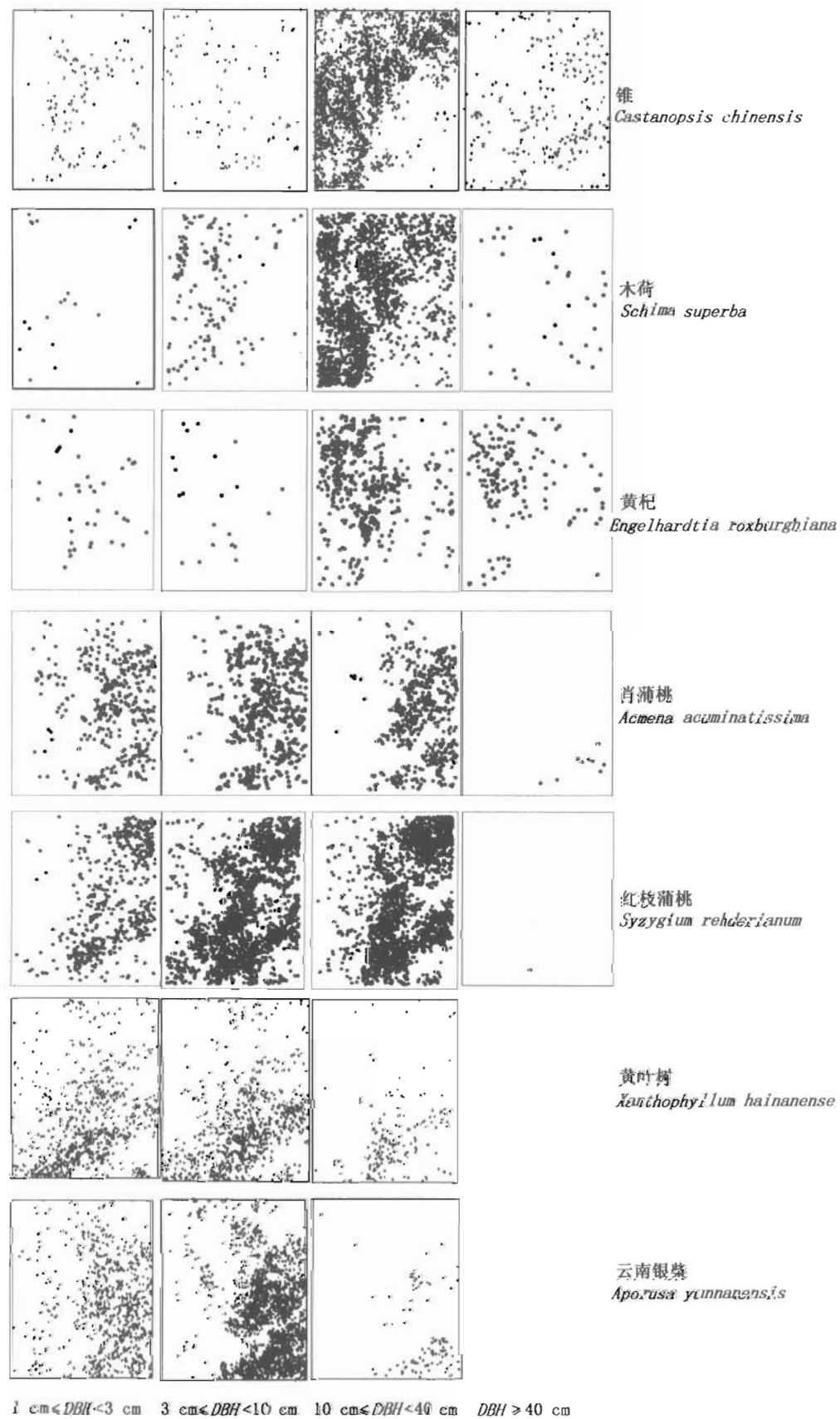


图 7 鼎湖山大样地优势树种在 4 个不同径级的分布图

Fig. 7 Distribution map of dominant species in Dinghushan (DHS) plot at four DBH classes

DBH: 胸径 Diameter at breast height

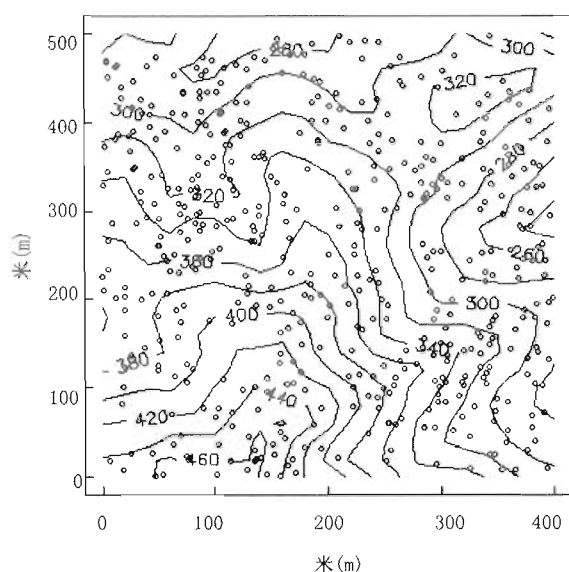


图8 鼎湖山大样地大径级乔木($DBH > 40$ cm)的分布图
Fig.8 Distribution map of individuals with $DBH > 40$ cm in Dinghushan (DHS) plot

种数量接近于 BCI。区系特征明显, 亚热带区系成分占绝对优势, 并呈现由亚热带向热带过渡的特色。群落垂直结构复杂, 地上成层现象较明显, 优势树种明显, 乔木上层的优势种锥、木荷和黄杞在群落中占有绝对优势地位, 它们均为寿命长的阳生性树种, 个体主要分布在中径级上, 并以中径级作为主更新库来保持其在群落中长期的优势种地位。林下更新良好, 红枝蒲桃、广东金叶子、香楠、厚壳桂、黄果厚壳桂等是乔木中下层的优势种, 在样地中占有一定的比例。稀有种比例极高, 有 110 种, 占总物种数的 52.38%, 其中有 45% 的稀有种源于物种本身的特性, 有 20% 源于区系交汇, 人为或自然干扰造成的稀有种占 30% 以上。所有个体的径级分布(以 1 cm 等级排列)明显呈倒“J”形, 表示群落稳定与正常生长状态。根据对优势种径级结构的分布分析, 各树种的径级结构可归纳为 4 种类型: 1) 峰型(中径级个体储备型), 此类物种为乔木上层优势种; 2) 倒“J”型(正常型), 此类物种为乔木中层的优势种; 3) 类倒“J”型(偏正常型), 此类物种占据乔木的中、下层; 4) “L”型(灌木型), 此类物种分布于乔木下层和灌木层。从物种的空间分布格局来看, 点格局分析得出优势种在各个层上的绝大部分尺度都是聚集分布的, 而不同径级的空间分布随物种的不同而呈现出明显的差异性, 点格局显示了优势种在相同径级的分布(特别是 $DBH = 10 \sim 40$ cm)具有一定的空间互补性, 对大径级($DBH > 40$ cm)的 504 个个体进行

空间分布格局分析, 结果表明, 所有个体随机分布于整个样地, 但不同的物种在空间分布上存在一定的规律。

鼎湖山常绿阔叶林 20 hm^2 样地与以往相同群落类型的 1 hm^2 永久样地(孔国辉等, 1998)相比, 在物种组成与物种多度格局等方面都存在较大的差异。从物种组成看, 1 hm^2 永久样地 $DBH \geq 1$ cm 的木本植物仅为 123 种, 远小于 20 hm^2 大样地的 210 个物种。从种-面积曲线的结果可知, 在取样面积接近 20 hm^2 时, 曲线才趋于平缓, 说明以 20 hm^2 作为样地的尺度对研究鼎湖山常绿阔叶林更具完整性。从上层优势种锥、木荷和黄杞的多度格局来看, 1 hm^2 样地由于取样面积的限制, 这些树种的小径级个体很少, 因而认为锥和黄杞为衰退种, 木荷为近期进展远期衰退种(黄忠良等, 1998), 但 20 hm^2 样地的结果显示, 这 3 个优势种的多度是以中径级个体为主储备型结构的类型。由此可见, 鼎湖山大样地能更为客观地反映不同尺度上鼎湖山常绿阔叶林群落水平的总体特征, 能更好地为日后开展群落生态学的研究提供全面的数据。

长期以来, 国内外学者对亚热带常绿阔叶林植被进行了大量的研究(彭少麟, 1996; 彭少麟和方炜, 1994; 彭少麟等, 1998)。对季风常绿阔叶林植被分布、演替规律、群落结构和物种多样性等有了较为全面的了解。但是迄今为止, 对亚热带常绿阔叶林物种多样性维持机制的研究还不够充分, 研究结果较少(叶万辉, 2000; 彭闪江等, 2003; 彭闪江和徐国良, 2005; 李林等, 2006)。群落物种多样性的维持机制或组织方式的研究, 一直是群落生态学研究的核心内容。目前国际上这方面的研究基本上是在热带雨林中开展的, 基于热带雨林的研究提出了众多的理论假说。作为最具代表性的常绿阔叶林, 鼎湖山大样地有其独特的复杂地形与过渡型气候带。那么, 基于热带雨林推出的理论假说是否适用于亚热带常绿阔叶林? 该地带森林的群落组织方式是否有其特点? 亚热带森林群落中有着怎样的生物多样性格局与规律? 生态位分化理论和中性理论等在亚热带森林群落生物多样性格局与维持机制中有着怎样的作用和地位? 这些问题的解决既可能为生物多样性的组织机制理论带来突破, 又对发展完善当前的群落生态学理论具有十分重要的意义。同时, 开展亚热带森林物种多样性维持机制的研究, 对于加强亚热带森林的管理和保护也具有十分重要的现实意义。因此, 对鼎湖山亚热带常绿阔叶林群落

特征的研究,将促进我们对这些问题的解决,进一步对群落多样性的维持机制做深入研究。

参 考 文 献

- Bunyavejchewi S, Baker P, LaFrankie J, Ashton P (2004). Structure, history, and rarity in a seasonal evergreen forest in western Thailand. In: Losos EC, Leigh EG eds. *Forest Diversity and Dynamism: Findings from a Network of Large-scale Tropical Forest Plots*. University of Chicago Press, Chicago, Illinois, USA, 145–158.
- Cao HL (曹洪麟), Huang ZL (黄忠良), Zhang LY (张林艳), Kong GH (孔国辉) (2002). Vegetation map of Dinghu Mountain Nature Reserve. *Tropical and Subtropical Forest Ecosystem* (热带亚热带森林生态系统研究), 9, 1–9. (in Chinese with English abstract)
- Chase JM (2005). Towards a really unified theory for metacommunities. *Functional Ecology*, 19, 182–186.
- Chave J (2004). Neutral theory and community ecology. *Ecology Letters*, 7, 241–253.
- Condit R (1995). Research in large, long-term tropical forest plot. *Trends in Ecology & Evolution*, 10, 18–23.
- Condit R (1998). *Tropical Forest Census Plots: Methods and Results from Barro Colorado Island, Panama and a Comparison with Other Plots*. Springer, Berlin.
- Condit R, Ashton P, Bunyavejchewi S, Dattaraja HS, Davies S, Esufali S, Ewango C, Foster R, Gunatilleke IA, Gunatilleke CV, Hall P, Harms KE, Hart T, Hernandez C, Hubbell S, Itoh A, Kiratiprayoon S, LaFrankie J, de Lao SL, Makana JR, Noor MN, Kassim AR, Russo S, Sukumar R, Samper C, Suresh HS, Tan S, Thomas S, Valencia R, Vallejo M, Villa G, Zillio T (2006). The importance of demographic niches to tree diversity. *Science*, 313, 98–101.
- Condit R, Ashton PS, Baker P, Bunyavejchewi S, Gunatilleke S, Gunatilleke N, Hubbell SP, Foster RB, Itoh A, LaFrankie JV, Lee HS, Losos E, Manokaran N, Sukumar R, Yamakura T (2000). Spatial patterns in the distribution of tropical tree species. *Science*, 288, 1414–1418.
- Condit R, Pitman N, Leigh EG, Chave J, Terborgh J, Foster RB, Núñez PV, Aguilar S, Valencia R, Villa G, Muller-Landau H, Losos E, Hubbell SP (2002). Beta-diversity in tropical forest trees. *Science*, 295, 666–669.
- Dallmeier F, Taylor CM, Mayne JC, Kabel M, Rice R (1992). Case study of SI/MAB biological diversity plot research methodology: effects of hurricane Hugo on the Bisley biodiversity plot, Luquillo Biosphere Preserve, Puerto Rico. In: Dallmeier F ed. *Long-term Monitoring of Biological Diversity in Tropical Forest Areas: Methods for Establishment and Inventory of Permanent Plots*. MAB Digest 11, UNESCO, Paris, 47–72.
- He JH (何金海), Chen ZQ (陈兆其), Liang YE (梁永矣) (1982). The soils of Ding Hu Shan biosphere reserve. *Tropical and Subtropical Forest Ecosystem* (热带亚热带森林生态系统研究), 1, 25–38. (in Chinese with English abstract)
- Hooper ER, LeGendre P, Condit R (2004). Factors affecting community composition of forest regeneration in deforested, abandoned land in Panama. *Ecology*, 85, 3313–3326.
- Huang WF (黄伟峰), Shen XP (沈雪苹) (1982). The climatic ecological environments in the region of Ding Hu Shan. *Tropical and Subtropical Forest Ecosystem* (热带亚热带森林生态系统研究), 1, 17–24. (in Chinese with English abstract)
- Huang ZL (黄忠良), Meng ML (蒙满林), Zhang YC (张佑昌) (1998). Climate of Dinghushan Biosphere Reserve. *Tropical and Subtropical Forest Ecosystem* (热带亚热带森林生态系统研究), 8, 134–139. (in Chinese with English abstract)
- Hubbell SP (2001). *The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography*. Princeton University Press, Princeton.
- Hubbell SP (2006). Neutral theory and the evolution of ecological equivalence. *Ecology*, 87, 1387–1398.
- Hubbell SP, Foster RB (1986). Commonness and rarity in a neotropical forest: implications for tropical tree conservation. In: Soule ME ed. *Conservation Biology: Science of Scarcity and Diversity*. Sinauer Press, Sunderland, Mass, 205–231.
- Hubbell SP, Foster RB, O'Brien ST, Harms KE, Condit R, Wechsler B, Wright SJ, de Lao SL (1999). Light gap disturbances, recruitment limitation, and tree diversity in a neotropical forest. *Science*, 283, 554–557.
- Kochummen KM, LaFrankie JJV, Manokaran N (1990). Floristic composition of Pasoh forest reserve, a lowland rain forest in peninsular Malaysia. *Journal of Tropical Forest Science*, 3, 1–3.
- Kong GH (孔国辉), Ye WH (叶万辉), Huang ZL (黄忠良), Wei P (魏平), Huang YJ (黄玉佳) (1998). Long-term monitoring of the low subtropical evergreen broad-leaved forest in Dinghushan Biosphere Reserve. I. Species composition of *Castanopsis chinensis*, *Cryptocarya concinna* community and its contribution. *Tropical and Subtropical Forest Ecosystem* (热带亚热带森林生态系统研究), 8, 1–6. (in Chinese with English abstract)
- Lee HS, Ashton PS, Ogino K (1995). Long-term ecological research of tropical rain forest in Sarawak. *A New Program for Promotion of Basic Sciences Studies of Global Environmental Change with Special Reference to Asia and Pacific Regions 2*. Ehime University, Ohzu, Japan.
- Li L (李林), Zhou XY (周小勇), Huang ZL (黄忠良), Wei SG (魏识广), Shi JH (史军辉) (2006). Study on the relationship between α diversity of plant community and environment on Dinghushan. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 26, 2301–2307. (in Chinese with English abstract)
- Manokaran N, LaFrankie JJV (1990). Stand structure of Pasoh forest reserve, a lowland rain forest in peninsular Malaysia. *Journal of Tropical Forest Science*, 3, 14–24.
- McGill BJ (2003). A test of the unified neutral theory of biodiversity

- ty. *Nature*, 422, 881–885.
- McGill BJ, Maurer BA, Weiser MD (2006). Empirical evaluation of the neutral theory. *Ecology*, 87, 1411–1423.
- Peng SJ (彭闪江), Huang ZL (黄忠良), Xu GL (徐国良), Ouyang XJ (欧阳学军), Zhang C (张池) (2003). Effects of habitat heterogeneity on forest community diversity in Dinghushan Biosphere Reserve. *Guihaia* (广西植物), 23, 391–398. (in Chinese with English abstract)
- Peng SJ (彭闪江), Xu GL (徐国良) (2005). Seed traits of *Castanopsis chinensis* and its effects on seed predation patterns in Dinghushan Biosphere Reserve. *Ecology and Environment* (生态环境), 14, 493–497. (in Chinese with English abstract)
- Peng SL (彭少麟) (1996). *Dynamics of Forest Community in Lower Subtropical Zone* (亚热带森林群落动态学). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Peng SL (彭少麟), Fang W (方炜) (1994). Studies on the dynamics of dominant populations of Dinghushan forest during successions. III. *Cryptocarya chinensis* and *Cryptocarya concinna* populations. *Journal of Tropical and Subtropical Botany* (热带亚热带植物学报), 2, 79–87. (in Chinese with English abstract)
- Peng SL (彭少麟), Fang W (方炜), Ren H (任海), Huang ZL (黄忠良), Kong GH (孔国辉) (1998). The dynamics on organization in the successional process of Dinghushan *Cryptocarya* community. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 22, 245–249. (in Chinese with English abstract)
- Rosenzweig M (1995). *Species Diversity in Space and Time*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Volkov I, Banavar JR, Hubbell SP, Maritan A (2003). Neutral theory and relative species abundance in ecology. *Nature*, 424, 1035–1037.
- Wang ZH (王铸豪), He DQ (何道泉), Song SD (宋绍敦), Chen SP (陈树培), Chen DR (陈定如), Tu MZ (屠梦照) (1982). The vegetation of Ding Hu Shan Biosphere Reserve. *Tropical and Subtropical Forest Ecosystem* (热带亚热带森林生态系统研究), 1, 77–141. (in Chinese with English abstract)
- Wu HS (吴厚水), Deng HZ (邓汉增), Chen HT (陈华堂), Zheng LW (郑良文), Liu YD (刘宜钊) (1982). Physico-geographical features of Ding Hu Shan and their dynamic analyses. *Tropical and Subtropical Forest Ecosystem* (热带亚热带森林生态系统研究), 1, 1–10. (in Chinese with English abstract)
- Wu ZY (吴征镒) (1991). The areal-types of Chinese genera of seed plants. *Acta Botanica Yunnanica* (云南植物研究), 4 (Suppl.), 1–139. (in Chinese and English)
- Ye WH (叶万辉) (2000). The maintenance mechanism of plant community and its species diversity. *Biodiversity Science* (生物多样性), 8, 17–24. (in Chinese with English abstract)
- Zhang LY (张林艳), Ye WH (叶万辉), Huang ZL (黄忠良) (2006). Assessment of function area design in Dinghushan Biosphere Reserve using landscape ecology principles. *Biodiversity Science* (生物多样性), 14, 98–106. (in Chinese with English abstract)

责任编辑: 马克平 责任编辑: 姜联合 王 藏