

## 古田山中亚热带常绿阔叶林动态监测样地 ——群落组成与结构

祝 燕<sup>1</sup> 赵谷凤<sup>2</sup> 张俪文<sup>1</sup> 沈国春<sup>2</sup> 米湘成<sup>1</sup> 任海保<sup>1</sup> 于明坚<sup>2</sup>  
陈建华<sup>3</sup> 陈声文<sup>4</sup> 方 腾<sup>4</sup> 马克平<sup>1\*</sup>

(1 中国科学院植物研究所植被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093)

(2 浙江大学生命科学院, 杭州 310058) (3 浙江师范大学化学与生命科学学院, 浙江金华 321004)

(4 古田山国家级自然保护区管理局, 浙江开化 324300)

**摘 要** 亚热带常绿阔叶林是世界上主要植被类型之一, 集中分布于我国, 其中以中亚热带的常绿阔叶林最为典型。为了更好地研究常绿阔叶林森林生物多样性维持机理, 按照 CIFS (Centre for Tropical Forest Science) 样地建设的标准, 于 2004 年 11 月 ~ 2005 年 9 月在浙江开化古田山国家级自然保护区建立了常绿阔叶林 24 hm<sup>2</sup> 永久样地。该文对样地内胸径  $\geq 1$  cm 的木本植物进行了统计, 初步分析了古田山森林样地 (Gutianshan (GTS) forest plot) 的群落组成与空间结构。群落的区系类型以热带成分比较多, 在属的水平上 53 个是热带分布, 44 个是温带分布。共有 159 种, 隶属于 49 科 103 属, 总计 140 700 株, 以常绿树种为主 (91 个物种, 占总优势度的 90.6%, 重要值为 85.6%, 占样地总个体数的 85.9%); 样地群落有明显的优势物种和大量稀有种 (Rare species, 每 hm<sup>2</sup> 个体数小于 1)。甜槠 (*Castanopsis eyrei*)、木荷 (*Schima superba*) 和马尾松 (*Pinus massoniana*) 在群落中占有主要优势; 稀有种占总物种数的 37.1% (59/159); 具有温带落叶阔叶林和热带雨林的相关特征, 较好地代表了中亚热带常绿阔叶林群落。垂直结构由林冠层 (63 个种)、亚乔木层 (70 个种) 和灌木层 (26 个种) 组成。样地所有木本植物物种总径级分布呈倒“J”形, 群落更新良好。几个优势种空间分布随着径级增大, 聚集程度降低; 并且它们的分布表现出与生境紧密关联, 不同的物种表现出对生境不同的偏好。该文最后系统地比较了大样地方法与传统取样方法。

**关键词** 常绿阔叶林 古田山 区系分析 物种组成 垂直结构 径级结构 空间分布

### COMMUNITY COMPOSITION AND STRUCTURE OF GUTIANSHAN FOREST DYNAMIC PLOT IN A MID-SUBTROPICAL EVERGREEN BROAD-LEAVED FOREST, EAST CHINA

ZHU Yan<sup>1</sup>, ZHAO Gu-Feng<sup>2</sup>, ZHANG Li-Wen<sup>1</sup>, SHEN Guo-Chun<sup>2</sup>, MI Xiang-Cheng<sup>1</sup>, REN Hai-Bao<sup>1</sup>, YU Ming-Jian<sup>2</sup>, CHEN Jian-Hua<sup>3</sup>, CHEN Sheng-Wen<sup>4</sup>, FANG Teng<sup>4</sup>, and MA Ke-Ping<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China, <sup>2</sup>College of Life Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China, <sup>3</sup>College of Chemistry and Life Sciences, Zhejiang Normal University, Jinhua, Zhejiang 321004, China, and <sup>4</sup>Gutianshan National Nature Reserve Administrative Bureau, Kaihua County, Zhejiang 324300, China.

**Abstract** *Aims* Mainly distributed in China, subtropical evergreen broad-leaved forest is one of important vegetation types in the world. Here we report preliminary results of floristic characteristics, community composition, vertical structure, size class structure, and spatial structure of Gutianshan (GTS) forest plot.

*Methods* We established a 24-hm<sup>2</sup> (600 m × 400 m) forest permanent plot from November, 2004 to September, 2005 in mid-subtropical evergreen broad-leaved forest of Gutianshan Nature Reserve, China. Following the standard census procedure of the Centre for Tropical Forest Science (CIFS), all free-standing trees  $\geq 1$  cm in diameter at breast height (DBH) in the forest were mapped, tagged and identified to species. We employed software R 2.6.0 to analyze our data.

*Important findings* The results of floristic characteristics indicates that the tropical elements are more than temperate elements. At family level, the proportion of the pantropic type is the greatest (28.6%), the number of the tropic elements are more than temperate ones (24/13). At genus level, there are 53 tropic genera and 44

收稿日期: 2007-12-18 接受日期: 2008-01-21

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX2-YW-430)

感谢中国科学院生物多样性委员会对古田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在样地选址、野外调查和数据分析等方面给予的支持和帮助

\* 通讯作者 Author for correspondence E-mail: kpm@ibcas.ac.cn

temperate ones. As for community composition, there are 159 species, 103 genera and 49 families, 140 700 individuals in total. The evergreen tree species in community are dominant (i. e. 91 species, total relative dominance is 90.6%, importance value is 85.6%, accounts for 85.9% of the total abundance). CTS forest plot is typical mid-subtropical evergreen broad-leaved forest, which displays characteristics of both temperate deciduous broad-leaved forest and tropical rain forest. On the one hand, community composition has obvious dominant species, which is similar to temperate deciduous broad-leaved forest. There are 3 mostly dominant species, *Castanopsis eyrei*, *Schima superba* and *Pinus massoniana*. Large numbers of rare species (59 rare species, equal to or less than one tree per  $\text{hm}^2$ ) in the community account for 37.1% species richness, which is similar to tropical rain forest. Vertical structure is composed of canopy layer (63 species), sub-tree layer (70 species), shrub layer (26 species). The structure of DBH size class of all species in the plot generally appears reverse 'J' shape, which indicates successful community regeneration. Spatial distribution of several dominant species, from small to adult tree or old tree, shifts from closer aggregation to looser aggregation, and shows different habitat preference. Finally, we compare the large plot approach with conventional sampling method.

**Key words** floristic characteristics, community composition, size class structure, spatial pattern, Gutianshan forest plot, evergreen broad-leaved forest

DOI: 10.3773/j.issn.1005-264x.2008.02.004

常绿阔叶林是世界上主要植被类型之一,我国的常绿阔叶林在世界范围内分布面积最广,发育最为典型,与青藏高原高寒植被同为我国的特色植被,中亚热带是常绿阔叶林的典型分布区,其分布范围约位于  $24^{\circ} \sim 32^{\circ} \text{N}$ 、 $99^{\circ} \sim 123^{\circ} \text{E}$  之间(吴征镒, 1980)。选择有代表性的典型地段进行群落生物多样性研究,对了解常绿阔叶林的生物多样性形成和维持机制有着重要意义,也可为该地区生物多样性保护提供科学依据。

我国在常绿阔叶林区系分类、区系成分、外貌和结构、动态等方面已开展了大量的研究,在四川缙云山、浙江天童山、广东鼎湖山和黑石顶等地逐步形成了各具区域特色的常绿阔叶林研究基地(宋永昌等, 2003; 丁圣彦和宋永昌, 2004)。已在鼎湖山(黄忠良等, 1998; 彭少麟等, 1998)、天童山(达良俊等, 2004)、天目山(汤孟平等, 2006)和三峡库区(赖江山等, 2006)等建立了多个面积为  $1 \text{ hm}^2$  或  $1 \text{ hm}^2$  以下的永久性常绿阔叶林样地,对常绿阔叶林的物种组成和空间分布结构有一定的研究积累,并对常绿阔叶林生态系统进行了综合研究(王伯荪等, 1982; 钟章成, 1992)。然而,随尺度的变化群落的空间分布格局是不同的(汤孟平等, 2006),研究的样地面积小、监测时间短,难于涵盖极端稀有的物种,较难反映群落内不同尺度上的生物多样性格局和过程,不足以认识群落水平上生物多样性维持机制(Hubbell, 2004),因此有必要在亚热带典型常绿阔叶林地带建立大面积永久监测样地,以期在不同的空间尺度上研究常绿阔叶林的物种组成、空间分布格局及对生境的响应,监测常绿阔叶林从种子雨散布、幼苗更新和成株的变化动态过程,探索常绿阔叶林的生物多

样性形成和维持机制。

我国亚热带常绿阔叶林的分布区域达到 250 万  $\text{km}^2$ ,但由于长期的人为干扰,原生林几乎丧失殆尽,我国目前常绿阔叶林的实际面积不到我国亚热带区域总面积的 5% (陈灵芝和陈伟烈, 1995),而且大多在中高海拔地区。浙江古田山国家级自然保护区目前还保存着很好的低海拔天然常绿阔叶林,这在中亚热带东部地区十分少见(于明坚等, 2001; 胡正华等, 2003)。有鉴于此,中国科学院植物研究所组织浙江大学、古田山国家级自然保护区管理局等单位,采用 CTFS(Centre for Tropical Forest Science)样地建设标准(Condit, 1995),于 2004 ~ 2005 年在该自然保护区选择典型的地带性植被甜槠(*Castanopsis eyrei*)-木荷(*Schima superba*)林建立了  $24 \text{ hm}^2$  的永久监测样地,以期对古田山常绿阔叶林生物多样性进行长期监测与研究。我国是世界上唯一一跨越多气候带的国家,古田山样地、长白山样地、鼎湖山样地和西双版纳样地等分别代表不同气候带的典型地带性植被,同时成为中国森林生物多样性监测网络的核心组成部分。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区域概况

古田山国家级自然保护区( $29^{\circ}10'19.4'' \sim 29^{\circ}17'41.4'' \text{N}$ ,  $118^{\circ}03'49.7'' \sim 118^{\circ}11'12.2'' \text{E}$ ),位于浙江省开化县西部的苏庄镇境内(图 1),总面积  $8 107 \text{ hm}^2$ ,属于中亚热带常绿阔叶林地带(吴征镒, 1980)。古田山国家级自然保护区植物资源丰富。自然分布的种子植物有 149 科 648 属 1 426 种(包括种下分类等级),分别占浙江省种子植物科、属和种总数的

81.9%、51.7%和41.6%，其中国家一、二级重点保护植物18种(楼炉煊和金水虎,2000;陈建华和冯志坚,2002)。

常绿阔叶林是古田山分布面积最广的植被类型,主要分布于海拔350~800 m的山坡和山麓;在海拔720 m(山脊)和800 m(山谷)至海拔1 100 m左右,大片分布着黄山松针阔叶混交林,海拔1 100 m以上至山顶为黄山松林(于明坚等,2001;胡正华等,2003)。

古田山属我国亚热带季风气候区,受季风影响大,四季分明。由于山势高峻,山体呈东北到西南走向,使湿润的夏季风能长驱直入,带来丰富的降水,而干燥寒冷的冬季风则被山体阻挡,从而形成冬暖夏凉、温暖湿润和雨量充沛的气候特点。年平均气温为15.3℃,最高气温为38.1℃(7月),最低气温为-6.8℃(1月),生长期总积温为5 221.5℃,无霜期约250 d,年平均降水142.5 d,年均降雨量为1 963.7 mm,相对湿度为92.4%,年日照总时数1334.1 h(胡正华等,2003)。

古田山土壤基本上是由母岩风化形成,土壤类型主要有红壤、黄红壤、红黄壤和沼泽土4大类,前三者分别分布于海拔500~700、700~1 000和1 000 m以上,占全区总面积80%以上,沼泽土主要分布于古田庙和石耳山庙一带低洼处。地表残落物层较薄,绝大多数土壤呈酸性反应,pH值在5.5~6.5之间(胡正华等,2003)。

据记载,古田山山脊有较多局部的雷击火,森林也曾遭受过多次自然灾害(开化林业志编写组,

1988)。19世纪末,古田山曾发生猛烈的山林火灾,20世纪20年代末也曾遭受到山林火灾(开化林业志编写组,1988)。

## 1.2 样地设置和研究方法

选择古田山国家级自然保护区内保护完好的核心地段,典型常绿阔叶林长势良好、分布面积较大的地段建立24 hm<sup>2</sup>固定监测样地。所选定样地的位置为29°15.102'~29°15.344' N,118°07.010'~118°07.400' E(图1)。古田山样地地形复杂多变,最高海拔为714.902 m,最低海拔为446.325 m,平均海拔为580.6 m,最大高差为268.6 m。样地地势较陡,坡度范围12.79°~62°,平均坡度约37.52°(图2)。

样地为长方形,大小24 hm<sup>2</sup>,南北宽400 m、东西长600 m。按CTFS(the Centre for Tropical Forest Science)样地的建设方法(<http://www.ctfs.si.edu/>),用全站仪将整个样地划分成600个20 m×20 m的样方,标定并调查样方内所有胸径(DBH)≥1 cm的木本植物,调查内容包括每株植物的种类、胸径和坐标等,并挂牌标记,以便进行永久监测。

用国际通用R 2.6.0软件分析数据与制图。

## 2 结果

### 2.1 古田山森林样地木本植物区系特征

参照吴征镒(1991,1993,2003)和吴征镒等(2003)关于我国科、属地理区系成分的划分,古田山样地木本植物区系特征分析结果如表1。从表1可以看出,科的分布区类型以泛热带分布最多,达28.6%,代表科如樟科、山茶科和卫矛科等,其次是北温



图1 古田山24 hm<sup>2</sup>样地地理位置

Fig. 1 The location of the 24 hm<sup>2</sup> GTS (Gutianshan) permanent forest plot

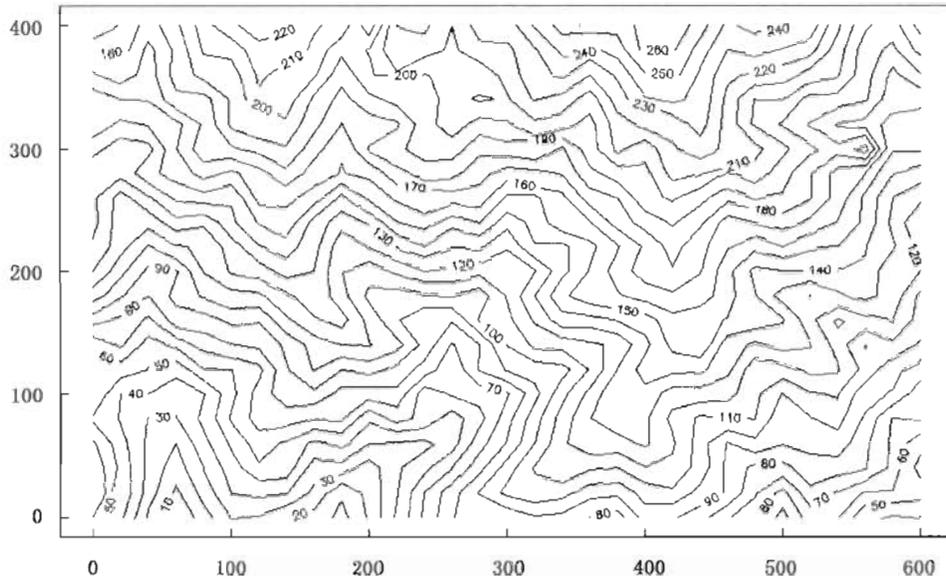


图2 古田山样地地形图

Fig.2 Topographical map of GTS (Gutianshan) plot

样地为长方形,南北宽400 m (y轴),东西长600 m (x轴),图中数字为相对高程,以样地最低点为0 m。The plot shape is rectangle, horizontal axis is 400 m (SN), vertical axis is 600 m (EW), the number in the figure is relative height, 0 m is the lowest point

表1 古田山森林样地木本植物区系类型

Table 1 The areal-types of woody plants in GTS (Gutianshan) forest plot

	分布区类型 Areal types	科数 No. of families	属数 No. of genera
热带 Tropical (2~7)	1. 世界广布 Cosmopolitan	12	2
	2. 泛热带 Pantropic	14	22
	3. 东亚及热带美洲间断 East Asia & Tropical America disjunct	6	5
	4. 旧世界热带 Old world tropics	2	8
	5. 热带亚洲及热带大洋洲 Tropical Asia to Tropical Oceania	1	3
	6. 热带亚洲及热带非洲 Tropical Asia to Tropical Africa	1	2
	7. 热带亚洲 Tropical Asia	0	13
温带 Temperate (8~14)	8. 北温带 North temperate zone	10	14
	9. 东亚及北美间断 East Asia & North America disjunct	3	18
	13. 中亚 Central Asia	0	1
	14. 东亚 East Asia	0	11
	15. 中国特有 Endemic to China	0	3

带分布(20.4%),如壳斗科、松科和山茱萸科等;总体而言,热带分布的科多于温带分布的科(24/13);属的分布区类型以泛热带分布最多(21.8%),代表属如冬青属(*Ilex*),热带分布的属多于温带分布的属(53/44);有3个中国特有属,鸡仔木属(*Sinadina*)、石笔木属(*Tutcheria*)和蜡梅属(*Chimonanthus*)。

## 2.2 群落物种组成

古田山样地内木本植物( $DBH \geq 1$  cm)共159种,分属于104属49科。物种组成以常绿树种为主,同时落叶树种也占一定比例。91个物种属常绿

树种,占样地调查物种数的57.2%,占样地调查总个体数的85.9%,相对优势度达90.6%,总重要值达85.6%,其中27个属于个体数大于1000的常见种;有69个物种属于落叶树种,占样地调查物种数的42.8%,占样地调查总个体数的14.1%,相对优势度为9.4%,总重要值为14.4%,只有灰白蜡瓣花(*Corylopsis glandulifera* var. *hypoglauca*)、红枝柴(*Meliosma oldhamii*)、短柄枹(*Quercus serrata* var. *brevipetiolata*)、满山红(*Rhododendron mariesii*)和映山红(*Rhododendron simsii*)5个物种个体数大于1000。

从种-面积曲线来看,在取样面积较小的初始阶段物种数迅速上升,取样面积达到 4.5 hm<sup>2</sup>(约占总面积的 18.8%)时,包括了 125 个物种(约占样地总物种数的 78.1%)(图 3);当取样面积达到 65.4% (15.7 hm<sup>2</sup>)时,涵盖样地总物种数的 95%,然后物种数趋于稳定,直至样地总面积达到 24 hm<sup>2</sup>,增加 8.3 hm<sup>2</sup>(34.6%)的取样面积,仅增加 8 个物种(5%)。从个体数-面积曲线来看,随着取样面积的增加,个体数随取样面积同步增加,呈直线上升趋势(图 3)。

样地优势种明显,优势种的个体数与胸高断面积在样地内占有显著优势(表 2)。每公顷个体数不多于 1 株的物种被定义为稀有种(Rare species),每公顷多于 1 株的称为常见种(Common species)

(Hubbell & Foster, 1986; He *et al.*, 1997)。个体数大于 1 000 株的常见种,共 32 个物种,其中甜槠的个体数最多,多达 12 406 株;样地平均每公顷总胸高断面积为 36.9 m<sup>2</sup>,胸高断面积大于 1 m<sup>2</sup>·hm<sup>-2</sup>的物种排首位的是甜槠,达到 12.52 m<sup>2</sup>·hm<sup>-2</sup>,其次由大到小依次为木荷、马尾松(*Pinus massoniana*),胸高断面积之和达 23.64 m<sup>2</sup>·hm<sup>-2</sup>,占样地总胸高断面积的 64.1%,在群落中占主要优势。

群落中存在大量的稀有种(图 4)。古田山样地内有 59 个物种个体数不多于 24 株,稀有种占总物种数的 37.1%(图 3),占样地总个体数 0.035%。样地内个体数只有 1 株的稀有物种有 11 个,包括三峡槭(*Acer wilsonii*)、厚壳树(*Ehretia acuminata*)、大果

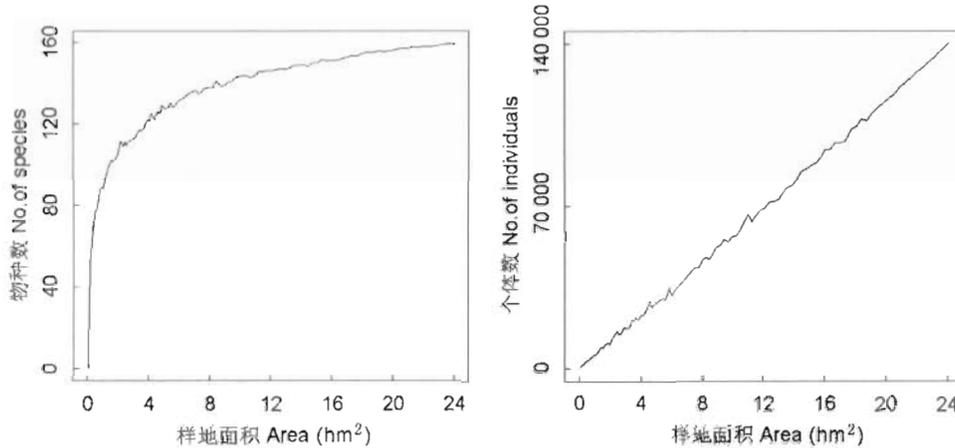


图 3 古田山样地的种-面积曲线和个体数-面积曲线  
Fig. 3 Species-area curve and individual-area curve in GTS (Gutianshan) forest plot

表 1 不同垂直结构层主要的物种及相关信息  
Table 2 Mostly dominant species of each vertical layer

物种名 Species name	多度 Abundance	胸高断面积 Basal area. (m <sup>2</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	优势度 Dominance	重要值 Important value	垂直结构 Vertical structure
甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i>	12 406	12.52	0.344	0.153	林冠层 Canopy layer
木荷 <i>Schima superba</i>	8 514	6.89	0.193	0.094	林冠层 Canopy layer
马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	2 061	4.23	0.098	0.043	林冠层 Canopy layer
青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i>	1 620	0.88	0.024	0.018	林冠层 Canopy layer
虎皮楠 <i>Daphniphyllum oldhamii</i>	2 718	0.79	0.019	0.021	林冠层 Canopy layer
红楠 <i>Machilus thunbergii</i>	1 384	0.76	0.02	0.016	林冠层 Canopy layer
细叶青冈 <i>Cyclobalanopsis myrsinaefolia</i>	375	0.59	0.016	0.009	林冠层 Canopy layer
短柄枹 <i>Quercus serrata</i> var. <i>brevipetiolata</i>	3 508	1.63	0.043	0.028	亚乔木层 Subtree layer
马银花 <i>Rhododendron ovatum</i>	10 793	0.72	0.023	0.042	亚乔木层 Subtree layer
檫木 <i>Lomoxsalum chinense</i>	4 461	0.64	0.017	0.024	亚乔木层 Subtree layer
厚皮香 <i>Tessstroemia gymnanthera</i>	3 177	0.52	0.014	0.02	亚乔木层 Subtree layer
杨梅叶蚊母树 <i>Distylium myricoides</i>	3 468	0.45	0.014	0.017	亚乔木层 Subtree layer
柳叶蜡梅 <i>Chimonanthus salicifolius</i>	7 835	0.09	0.003	0.028	灌木层 Shrub layer
窄基红褐柃 <i>Eurya rubiginosa</i> var. <i>attenuate</i>	2 770	0.03	0.001	0.015	灌木层 Shrub layer
石斑木 <i>Raphiolepis indica</i>	1 995	0.02	0.001	0.012	灌木层 Shrub layer

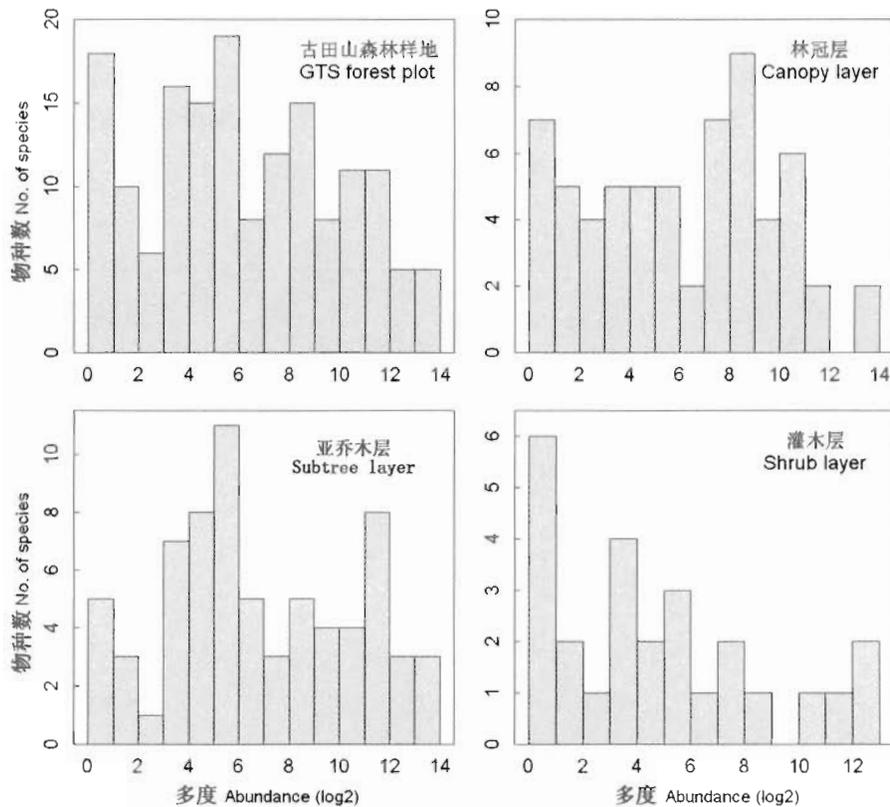


图4 样地整体上及不同垂直层结构的物种多度分布格局

Fig.4 Species-abundance distribution of all species and different vertical layers in GTS (Gutianshan) forest plot  
横轴表示以2位底数的多度的对数,间隔范围为1 The horizontal axis is the abundance in logarithm base 2, and the interval is 1

卫矛(*Euonymus myrianthus*)、四照花(*Dendrobenthamia japonica* ssp. *chinensis*)和红紫珠(*Callicarpa rubella*)等。

### 2.3 群落垂直结构

样地内成层清晰,按物种高度和生长型,划分群落的垂直结构:林冠层( $\geq 15$  m)、亚乔木层( $\geq 5$  m,  $< 15$  m),及灌木层( $< 5$  m)。林冠层有63个物种,亚乔木层有70种,灌木层26种。个体数超过1000株的常见种,林冠层物种10个,亚乔木层物种18个,灌木层物种4个,占样地总物种数的20%,占样地总个体数的88.9%;其中包括林冠层物种的甜槠、木荷、马尾松,亚乔木层的短柄枹、马银花(*Rhododendron ovatum*)、浙江新木姜子(*Neolitsea aurata* var. *chekiangensis*)、浙江红山茶(*Camellia chekiang-oleosa*)、隔药柃(*Eurya muricata*)、榿木(*Loropetalum chinense*)以及灌木层中的柳叶蜡梅(*Chimonanthus salicifolius*)和映山红等。胸高断面积较大的前34个物种中,包括林冠层的21个物种和亚乔木层的12个物种以及灌木层的1个物种,其胸高断面积总和达到 $35.1 \text{ m}^2 \cdot \text{hm}^{-2}$ ,占样地总胸高断

面积的95.1%。

稀有种在不同垂直结构层中的分配比例为:灌木层最高(53.8%, 14/26),林冠层的次之(36.5%, 23/63),亚乔木层最低(31.4%, 22/70)。古田山样地所有物种及不同垂直结构层物种的物种-多度分布格局见图4。

### 2.4 群落物种的径级结构与更新

样地内  $DBH \geq 1$  cm 的活个体数有140700个,其中  $DBH > 10$  cm 的有18016个,  $DBH > 25$  cm 的有5065个,  $DBH > 50$  cm 的有232个。样地内植物最大胸径为87.4 cm,平均胸径为5.21 cm。林冠层、亚乔木层、灌木层的平均胸径分别为9.79、3.59和1.74 cm。林冠层物种的胸径主要分布在1.0~35.0 cm之间,下木层物种的胸径主要分布在1.0~10.0 cm之间,而灌木层物种的胸径主要集中在1.0~4.0 cm之间。

样地中所有物种个体的总径级分布呈明显的倒“J”形,胸径1~4 cm的个体数占总个体数的69.07%,群落总体上更新良好。其中林冠层中的物种径级分布呈明显的倒“J”形,且没有明显的断层现

象,  $DBH$  在 15 ~ 20 cm 之间出现水平分布趋势, 82.21% 的个体集中在  $1\text{ cm} < DBH < 20\text{ cm}$  区间,  $DBH < 30\text{ cm}$  以内的个体达到 92.50%; 亚乔木层中的物种径级分布同样显示倒“J”形分布, 该层物种 94.18% 的个体  $DBH$  在 1 ~ 10 cm 之间, 没有明显的

断层出现; 灌木层的物种由于受到物种本身生长型限制, 该层中有 95.88% 的个体  $DBH$  集中在 1 ~ 3 cm 的范围内, 而只有少量的个体  $DBH > 3\text{ cm}$ , 并且径级分布出现明显的断层现象, 使径级分布呈“L”形(图 5)。

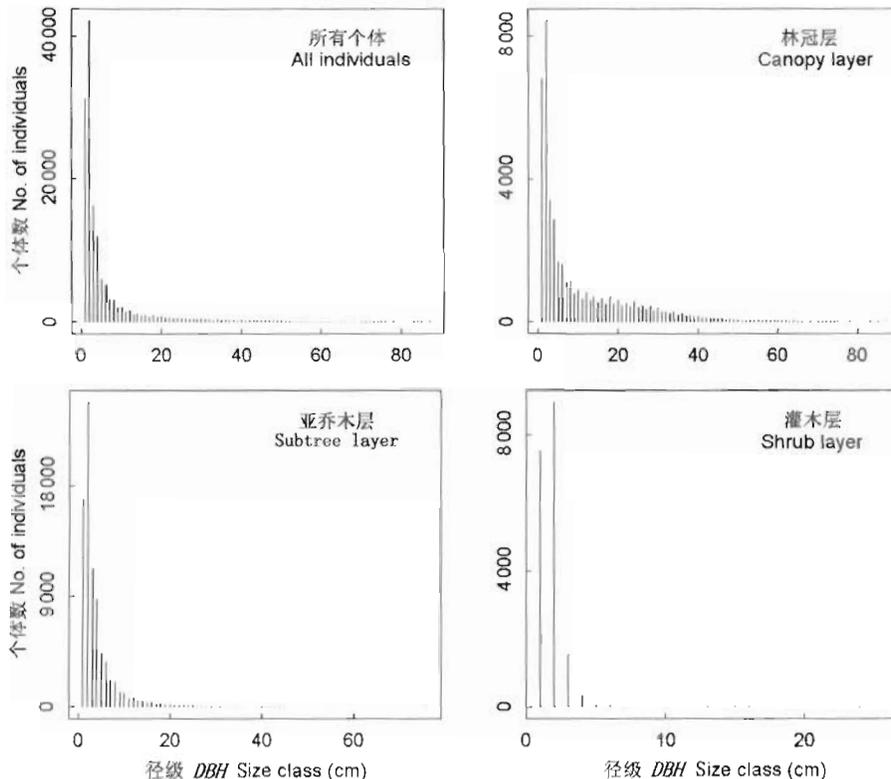


图 5 古田山样地不同垂直层的径级结构图

Fig. 5 Size-class distribution of different vertical layers in GTS (Gutianshan) forest plot

X轴为单株胸径四舍五入取整数, 间隔范围为 1 The horizontal axis is the integer of the  $DBH$  values rounded, the interval is 1

3 个主要优势树种的径级结构均呈现倒“J”形(图 6)。木荷在  $DBH$  22 ~ 28 cm 处有第二峰出现, 77.18% 的木荷个体的  $DBH$  在 1 ~ 20 cm 之间,  $DBH$  在 30 cm 以上的木荷有 772 个个体; 甜槠存在大量的  $DBH$  在 1 cm 左右的幼树, 74.62% 的甜槠个体的  $DBH$  在 1 ~ 20 cm 之间,  $DBH$  在 30 cm 以上的甜槠有 1 449 株; 马尾松的径级结构呈倒“J”形, 在  $DBH$  30 ~ 40 cm 处有第二峰出现。然而, 短柄枹的径级结构呈偏正态分布, 以  $DBH$  8 cm 为峰值向两边递减, 62.59% 的个体  $DBH$  集中在 5 ~ 15 cm 之间。

## 2.5 优势种的空间分布格局

甜槠、木荷、马尾松和短柄枹是样地内胸高断面面积大于  $1\text{ m}^2 \cdot \text{hm}^{-2}$  的 4 个优势种。对不同径级个体的空间分布格局的分析(图 7)可以看出:  $DBH <$

10 cm 的甜槠表现出明显的聚集分布, 尤其是在山脊地带, 但  $DBH > 25\text{ cm}$  的甜槠大树聚集分布的程度明显降低;  $DBH < 10\text{ cm}$  的木荷幼树在海拔较高处出现明显的聚集现象, 同时这里也是整个样地中光照最为充分的地带; 样地北端有  $1\text{ hm}^2$  左右在 20 世纪 20 年代曾遭受火的干扰, 作为阳性先锋物种马尾松, 其个体呈现出一定的聚集, 尤其是在山脊以及高海拔有干扰的地带, 在  $DBH < 10\text{ cm}$  的马尾松幼树上体现得更明显, 一定程度上说明马尾松种子的萌发对光照有强烈的依赖性, 另外  $DBH \geq 25\text{ cm}$  的马尾松成年个体也几乎只在光照相对较好的山脊上分布; 作为落叶阳性先锋种的短柄枹, 它的分布与干扰的相关性比马尾松更密切,  $DBH < 20\text{ cm}$  的个体都能观察到不同程度的聚集现象,  $DBH \geq 25\text{ cm}$

的短柄栎成年个体也几乎只在光照相对较好、曾遭受干扰的山脊上分布(图 7)。

并且从图 7 可以明显看出,从幼树到成树直到

老树,甜槠、木荷、马尾松和短柄栎的分布格局都不同程度地表现出聚集程度逐渐降低的趋势。

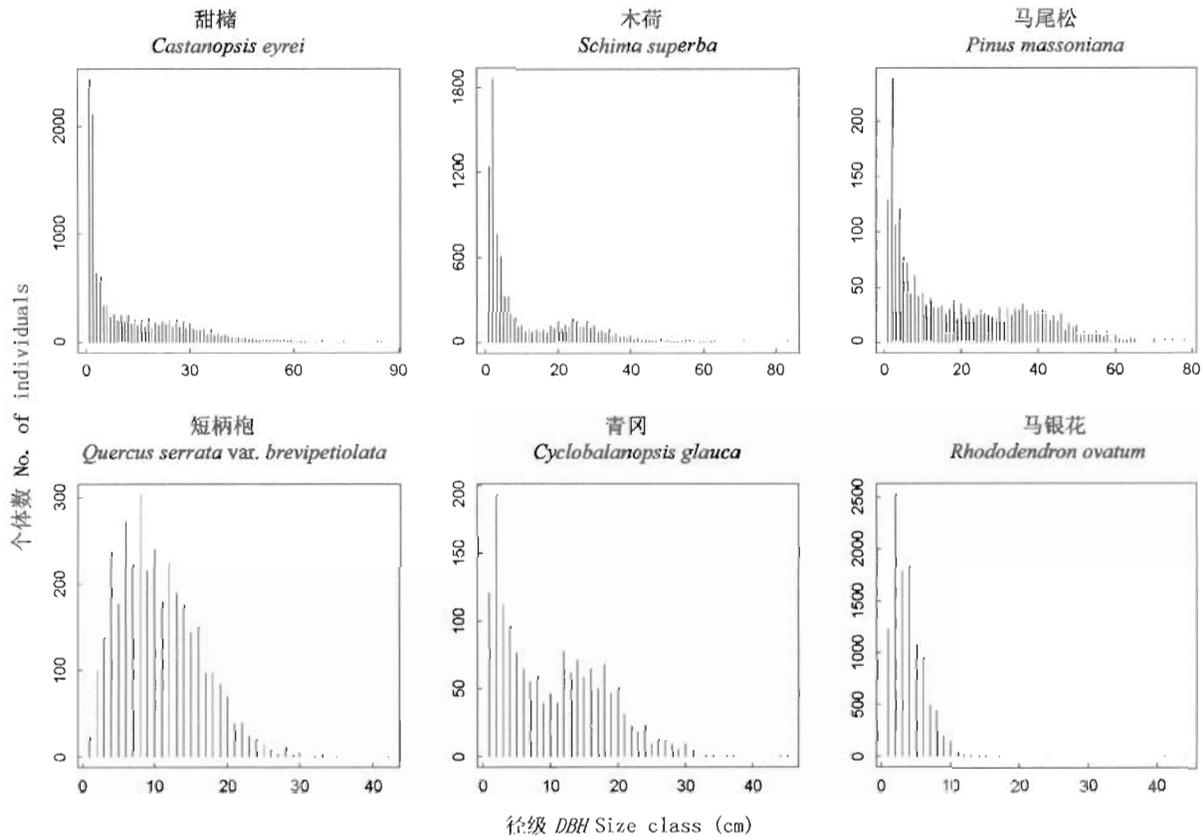


图 6 古田山样地主要树种的径级结构图

Fig. 6 Size-class distribution of dominant species in GIS (Gutianshan) forest plot

X 轴为单株胸径四舍五入取整数,间隔范围为 1 The horizontal axis is the integer of the DBH values rounded, the interval is 1

### 3 结论与讨论

#### 3.1 古田山样地木本植物区系特征

样地木本植物区系地理成分结果分析表明,热带和温带分布的科,分别占总科数的 49.0% 和 26.5%,热带和温带分布的属,分别占总属数的 52.5% 和 43.6%,热带成分多于温带成分。结果与陈卫娟(2006)对中亚热带常绿阔叶林植物区系的分析基本一致;与楼炉焕和金水虎(2000)(热带: 44.6%;温带: 52.8%)认为温带成分多于热带成分分析结果有差别。这主要是与研究的区域尺度有关,24 hm<sup>2</sup> 样地分布在古田山自然植被较低海拔(446.325 ~ 714.902 m)处,楼炉焕和金水虎(2000)的考察结果是在整个古田山自然保护区尺度上,其中包括 24 hm<sup>2</sup> 样地及到样地以上的区域,而海拔 800 ~

1 256 m 的区域温带成分比例明显增高。

#### 3.2 物种组成与植被类型

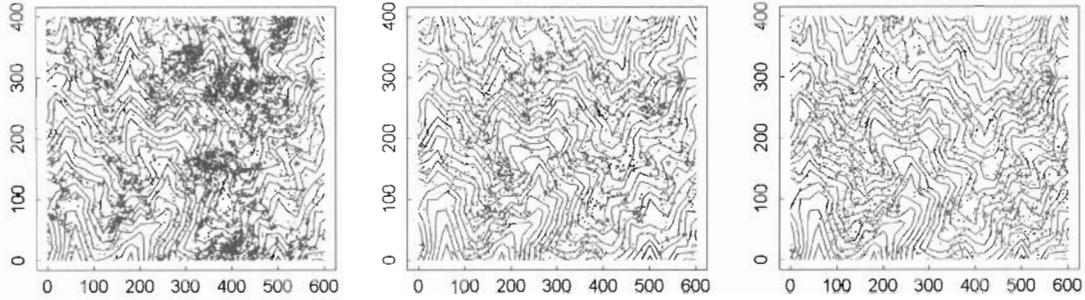
古田山森林样地物种组成以常绿树种为主,虽然有 69 个物种是落叶树种,占样地调查物种数的 42.8%,但是常绿树种个体数、优势度和重要值明显高于落叶树种。群落的林冠层以甜槠和木荷为优势种,二者重要值之和为 24.7%,为典型的中亚热带常绿阔叶林优势树种。因此,古田山样地为典型的中亚热带常绿阔叶林。

从古田山大样地种-面积关系与个体数-面积关系来看(图 3),随着取样面积的增加,个体数同步增加,但物种数先迅速增加后趋于稳定,后期随着面积增大,物种数变化幅度极小,样地面积选为 24 hm<sup>2</sup>,比较好地代表了古田山常绿阔叶林地带性植被的物种组成结构。

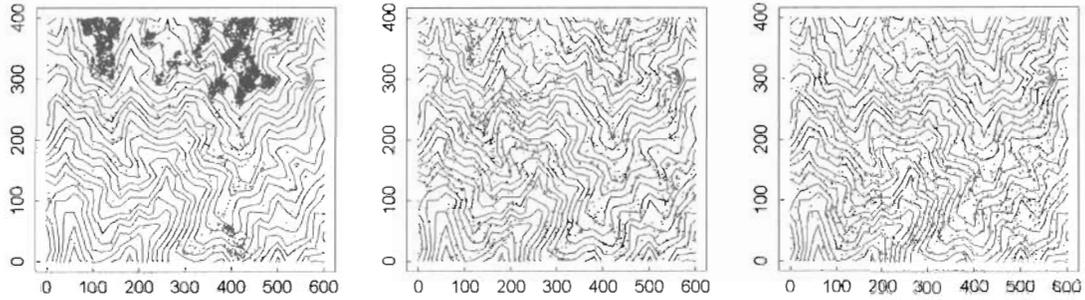
样地中群落的物种组成结构是典型的亚热带常绿阔叶林,它同时具有温带落叶阔叶林和热带雨林的 特征。一方面群落与温带落叶阔叶林相似,具有 明显的共优势物种,另一方面群落有大量的稀有种,

占总物种数的 37.1%,与热带雨林相似,有大量的 稀有种存在(He *et al.*, 1997; Peters, 2003)。如 BCI (Barro Colorado Island)样地就有 113 个稀有种,占总 物种数(307 个物种)的 36.8%。

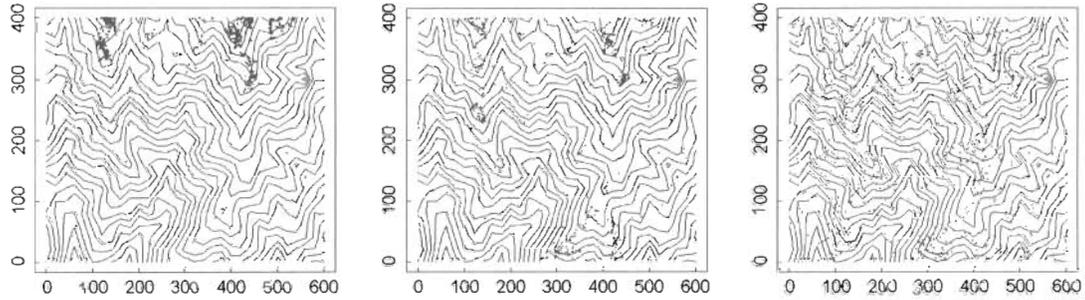
甜槠 *Castanopsis eyrei*



木荷 *Schima superba*



马尾松 *Pinus massoniana*



短柄枹 *Quercus serrata* var. *brevipetiolata*

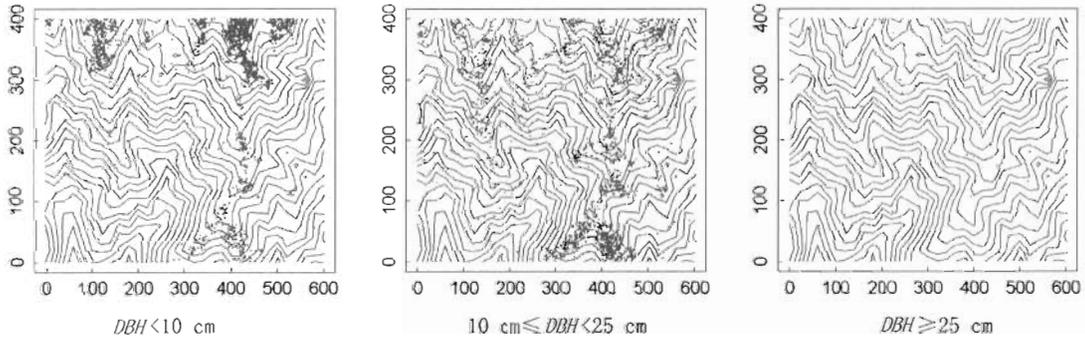


图 7 古田山样地主要树种在 3 个不同径级的分布图

Fig. 7 Distribution maps of dominant species at three DBH classes in the GTS (Gutianshan) forest plot

### 3.3 群落垂直结构

样地内层次清晰,其中林冠层和亚乔木层在垂直结构中占主要部分,灌木层稀有种比例最高。林冠层的甜槠、木荷、马尾松和亚乔木层的短柄枹是样地主要的4个优势种。

### 3.4 群落径级结构、更新状况及演替趋势

样地总体径级结构呈倒“J”形,表明群落更新呈良好状态。虽然灌木层出现断层现象,但总体幼龄个体偏多,也暗示更新良好。

从优势物种的径级结构比较来看,甜槠、木荷径级结构比较合理,更新呈良好发展趋势;而马尾松相对其它优势种而言,小龄级个体比例偏小,44.07%的马尾松个体的DBH在1~10 cm之间,而这个范围在甜槠和木荷上分别占有59.56%和66.64%的比例,苗源储备不及甜槠和木荷(图6);结合物种空间分布格局结果来看(图7),马尾松、短柄枹小径级的植株多出现在有较多局部雷击火自然干扰的高海拔处,大径级植株多出现在低海拔干扰比较少的地带;从树木年轮数据来看,古田山样地优势种中马尾松的树龄也是最高的(王晓春和李宗善,未发表数据);说明马尾松、短柄枹等作为先锋种群,其分布与干扰的出现密切相关,虽然优势度低于甜槠和木荷,但在古田山森林群落中也是群落稳定的组成部分。

### 3.5 优势种的空间分布格局

几个优势种呈聚集格局,并且从幼树到成树直到老树,甜槠、木荷、马尾松和短柄枹的分布格局都不同程度地表现出逐渐稀疏的趋势。类似He等(1997)对马来西亚热带雨林Pasoh样地的18个物种进行的格局分析结果,大部分物种表现随着树木年龄的增长聚集程度逐渐降低的趋势。这也反映了密度制约机制对群落物种共存的维持作用,即局部地限制优势种的多度,提供生存空间给竞争能力较弱的物种,从而促进群落内的物种多样性(Wright, 2002)。

甜槠、木荷、马尾松和短柄枹同时还表现生境偏好现象,不同生长阶段有不同的生境偏好。宫贵权等(2007)用卡方检验( $\chi^2$  test)和CCA分析古田山大样地物种与生境的相关性,结果发现绝大多数物种的分布与生境显著相关,表明生态位分化机制在样地森林群落的生物多样性维持中有重要的作用。

## 4 结束语

大型固定森林生物多样性永久监测样地已成为解

决生物多样性(群落结构)形成和维持机制、生物多样性保护等重要生态学理论和实践问题的有效手段之一(Condit, 1995)。本文对古田山中亚热带典型常绿阔叶林24 hm<sup>2</sup>永久监测样地的群落组成和结构的分析,揭示了大样地与传统群落学研究方法在回答重要生态学问题的区别主要包括以下几个方面:1)大样地建立的初衷之一,就是要使样地内的多个木本植物种群个体的数量能足以监测种群生长、出生和死亡的动态过程,Hubbell(2004)假定这个数量是100个个体,在1 hm<sup>2</sup>样地内只有少数种群能够达到这个数量。古田山样地中159个物种中有70个大于100个个体的物种,已足以监测样地内重要物种的动态变化;2)样地内包含了大量的稀有物种(占总物种数的37.1%),但稀有物种的个体数仅占总个体数的0.035%。传统的小面积取样不可能如此涵盖如此大量的稀有种。为什么样地内有如此丰富的稀有物种,也是传统的小面积取样所不能回答的;3)中亚热带常绿阔叶林局域群落中用种-面积曲线获得的最小取样面积或表现面积为400~800 m<sup>2</sup>(宋永昌,2001)。古田山样地种-面积曲线表明,当取样面积达到15.7 hm<sup>2</sup>时包含了样地95%的物种,但在说明传统方法得到的最小取样面积时可能是有局限的,实际上种-面积曲线是尺度依赖的,随着面积的增大出现的物种数量达到饱和的渐进线是相对的(Williamson *et al.*, 2001);4)古田山样地的地形图表明,样地包含了复杂的地形和多样的生境,这在以局域尺度群落为基础的小面积取样中是不可能包括如此丰富的生境变化的。5)古田山物种的空间格局分析表明,大样地包含了多尺度的物种空间格局信息,这种大样地反映的格局信息,在小面积取样中是不能很好反映的。如对DBH < 10 cm的甜槠进行20 m × 20 m取样时,结果具有不确定性,如:在甜槠的斑块内取样有可能表现出随机分布,在斑块边缘取样有可能表现聚集分布,但在大样地中可表现出不同尺度上的格局分布信息;同时还反映了同一物种不同年龄阶段的格局变化,及对生境不同的偏好。

现代生态学理论表明生物多样性的维持机制不但与局域尺度物种间的相互作用有关,而且还与大的空间尺度和时间尺度上的物种分化、物种扩散和迁移有关(Ricklefs, 2004)。如:Hubbell(2001)的中性理论实际上是在大的时空尺度背景下的理论,他认为物种分化、生态漂变、个体的出生和死亡是生物多样性维持的基本动力,该理论解释了热带森林存在大量稀有物种的原因,小面积、少量植物个体取样

的数据是无法验证该理论的,因此大样地研究将为发展和验证现代生态学理论提供一个很好的平台。特别是一定时间间隔(例如5年一次)的复查得到的长期监测结果,对于生态系统动态理论的发展和生物多样性与森林生态系统的管理实践具有重要意义。

### 参 考 文 献

- Chen JH (陈建华), Feng ZJ (冯志坚) (2002). Study on geographical compositions of seed plant flora in Gutianshan Mountain of Zhejiang Province. *Journal of East China Normal University (Natural Science Edition)* (华东师范大学学报(自然科学版)), 1, 104–111. (in Chinese with English abstract)
- Chen LZ (陈灵芝), Chen WL (陈伟烈) (1995). *Studies on Degraded Ecosystems in China* (中国退化生态系统研究). Chinese Science and Technology Press, Beijing, 16–23. (in Chinese)
- Chen WJ (陈卫娟) (2006). *Flora of Evergreen Broad-leaved Forest in Mid-subtropical China* (中亚热带常绿阔叶林植物区系地理研究). East China Normal University, Master degree dissertation, East China Normal University, Shanghai, 1–2. (in Chinese)
- Condit R (1995). Research in large, long-term tropical forest plots. *Trends in Ecology & Evolution*, 10, 18–22.
- Da LJ (达良俊), Yang YC (杨永川), Song YC (宋永昌) (2004). Population structure and regeneration types of dominant species in an evergreen broadleaved forest in Tiantong National Forest Park, Zhejiang Province, Eastern China. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 28, 376–384. (in Chinese with English abstract)
- Ding SY (丁圣彦), Song YC (宋永昌) (2004). Research advances in vegetation dynamic of evergreen broad-leaved forest. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 24, 1765–1775. (in Chinese with English abstract)
- Editorial Group of Forestry Chorography in Kaihua County (开化林业志编写组) (1988). *Forestry Chorography in Kaihua County* (开化林业志). Zhejiang People's Publishing House, Hangzhou. (in Chinese)
- Gong GQ (宫贵权), Cheng JM (程积民), Mi XC (米湘成), Chen SW (陈声文), Fang T (方腾) (2007). Habitat associations of wood species in the Gutianshan subtropical broad-leaved evergreen forest. *Science of Soil and Water Conservation* (中国水土保持科学), 5, 79–83. (in Chinese with English abstract)
- He FL, Legendre P, LaFrankie JV (1997). Distribution patterns of tree species in a Malaysian tropical rain forest. *Journal of Vegetation Science*, 8, 105–114.
- Huang ZL (黄忠良), Kong GH (孔国辉), Wei P (魏平) (1998). Plant diversity dynamics in Qinghu Mountain. *Biodiversity Science* (生物多样性), 6, 116–121. (in Chinese with English abstract)
- Hubbell SP, Foster RB (1986). Commonness and rarity in a neotropical forest: implications for tropical tree conservation. In: Soule ME ed. *Conservation Biology: the Science of Scarcity and Diversity*. Sinauer Associates, Inc., Sunderland, MA, 205–231.
- Hubbell SP (2001). *The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography*. Princeton University Press, Princeton.
- Hubbell SP (2004). Two decades of research on the BCI Forest Dynamics Plot: where we have been and where we are going. In: Losos EC, Leigh Jr EG eds. *Tropical Forest Diversity and Dynamism: Findings From a Large-Scale Plot Network*. University of Chicago Press, Chicago, 8–30.
- Hu ZH (胡正华), Yu MJ (于明坚), Ding BY (丁炳扬), Fang T (方腾), Qian HY (钱海源), Chen QC (陈启瑞) (2003). Types of evergreen broad-leaved forests and their species diversity in Gutian Mountain National Nature Reserve. *Chinese Journal of Application Environment Biology* (应用与环境生物学报), 9, 341–345. (in Chinese with English abstract)
- Lai JS (赖江山), Zhang M (张謇), Xie ZQ (谢宗强) (2006). Characteristics of the evergreen broad-leaved forest in Shiping Forest Park Three Gorges Reservoir Area. *Biodiversity Science* (生物多样性), 14, 435–443. (in Chinese with English abstract)
- Lou LH (楼炉煊), Jin SH (金水虎) (2000). Spermatophyta flora of Gutianshan Nature Reserve in Zhejiang. *Journal of Beijing Forestry University* (北京林业大学学报), 22, 33–39. (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), Yu QF (余清发), Zhang DQ (张德强) (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)
- Peters HA (2003). Neighbour-regulated mortality: the influence of positive and negative density dependence on tree populations in species-rich tropical forests. *Ecology Letters*, 6, 757–765.
- Rehfeldt RE (2004). A comprehensive framework for global patterns in biodiversity. *Ecology Letters*, 7, 1–15.
- Song YC (宋永昌) (2001). *Vegetation Ecology* (植被生态学). East China Normal University Press, Shanghai. (in Chinese)
- Song YC (宋永昌), Xu GS (徐国士), Chen WL (陈伟烈), Wang XH (王希华), Da LJ (达良俊), Chen TC (陈添财) (2003). Evergreen broad-leaved forest in Taiwan and its relationship with counterparts in mainland China. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 27, 719–732. (in Chinese with English abstract)
- Tang MP (汤孟平), Zhou GM (周国模), Shi YJ (施拥军), Chen YC (陈永刚), Wu YQ (吴亚琪), Zhao MS (赵明水) (2006). Study of dominant plant populations and their spatial patterns in evergreen broadleaved forest in Tianmu Mountain, China. *Journal of Plant Ecology* (Chinese Version) (formerly

- Acta Phytologica Sinica* (植物生态学报), 30, 743 – 752. (in Chinese with English abstract)
- Wang BS (王伯荪), Zhang ZQ (张志权), Lan CY (蓝崇钰), Hu YJ (胡玉佳) (1982). Study on sample technique of south-subtropical evergreen broad-leaved forest. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 6, 51 – 61. (in Chinese)
- Williamson M, Gaston KJ, Lonsdale WM (2001). The species-area relationship does not have an asymptote! *Journal of Biogeography*, 28, 827 – 830.
- Wright SJ (2002). Plant diversity in tropical forests: a review of mechanisms of species coexistence. *Oecologia*, 130, 1 – 14.
- Wu ZY (吴征镒) (1980). *Vegetation of China* (中国植被), Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Wu ZY (吴征镒) (1991). The areal-types of Chinese genera of seed plants. *Acta Botanica Yunnanica* (云南植物研究), 13 (Suppl. IV), 1 – 139. (in Chinese with English abstract)
- Wu ZY (吴征镒) (1993). Addenda et corrigenda ad typi arealorum generorum spermatophytorum sinicarum. *Acta Botanica Yunnanica* (云南植物研究), 15 (Suppl. IV), 141 – 178. (in Chinese)
- Wu ZY (吴征镒) (2003). Addenda et corrigenda: the areal-types of the world families of seed plants. *Acta Botanica Yunnanica* (云南植物研究), 25, 535 – 538. (in Chinese)
- Wu ZY (吴征镒), Zhou ZK (周浙昆), Li DZ (李德铤), Peng H (彭华), Sun H (孙航) (2003). The areal-types of the world families of seed plants. *Acta Botanica Yunnanica* (云南植物研究), 25, 245 – 257. (in Chinese with English abstract)
- Yu MJ (于明坚), Chen QC (陈启霁) (1999). Biocycle of potassium in an evergreen broad-leaved forest dominated by *Cyclobalanopsis glauca* in SE, China. *Bulletin of Botanical Research* (植物研究), 19, 461 – 468. (in Chinese with English abstract)
- Yu MJ (于明坚), Hu ZH (胡正华), Yu JP (余建平), Ding BY (丁炳扬), Fang T (方腾) (2001). Forest vegetation types in Gutianshan Natural Reserve in Zhejiang. *Journal of Zhejiang University* (Agriculture & Life Science Edition) (浙江大学学报(农业和生命科学版)), 27, 375 – 380. (in Chinese with English abstract)
- Zhong ZC (钟章成) (1992). *Study on Ecosystem of Evergreen Broad-leaved Forest* (常绿阔叶林生态系统研究). Southwest China Normal University Press, Chongqing. (in Chinese)