

海南吊罗山低地雨林群落特征分析*

韩天宇¹ 沈燕² 王旭³ 杨锦昌³ 邹文涛³ 李荣生³

(1. 生态环境部环境工程评估中心, 北京 100020; 2. 中南林业科技大学, 湖南 长沙 410004;

3. 中国林业科学研究院 热带林业研究所, 广东 广州 510520)

摘要 低地雨林群落是我国热带地区重要的森林群落类型之一, 在发挥热带森林的生态功能中占有重要的位置。为揭示低地雨林群落特征, 在海南岛吊罗山自然保护区, 选取低地雨林设立 1 ha 固定样地。结果表明: 群落中胸径 ≥ 3 cm 的乔木树种共 3 660 株, 分属于 52 科 121 属 236 种; 乔木层中龙脑香科、大戟科、壳斗科占据较大的优势, 其中青皮是群落的建群种, 具有明显的热带分布特征; 低密度种 97 种, 占样地总树种数的 41.10%; 群落中植物个体数量、胸径级呈倒“J”字型, 处于旺盛的发展阶段, 胸径较小, 结构分层不明显; 吊罗山低地雨林群落特征分析至少面积要达到 6 400 m²。

关键词 低地雨林; 群落结构; 低密度种; 最小取样面积

中图分类号: Q948.15 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2019) 03-0043-07

Community Characteristics of A Lowland Rainforest in Diaoluoshan in Hainan Province

HAN Tianyu¹ SHEN Yan² WANG Xu³ YANG Jinchang³
ZOU Wentao³ LI Rongsheng³

(1.Appraisal Center for Environment & Engineering,Ministry of Environmental Protection, Beijing 100012, China;2.Central South University of Forestry and Technology, Changsha, Hunan 410004, China; 3.Research Institute of Tropical Forestry,Chinese Academy of Forestry,Guangzhou, Guangdong 510520,China)

Abstract The lowland rainforest community is one of the important types of tropical forest communities, and plays an important role in the ecological function in China. To reveal the community characteristics of lowland rainforest, one hectare sampling plot was established in a typical lowland rainforest in Diaoluoshan Natural Reserve of Hainan island. Results showed that trees with DBH ≥ 3.0 cm were about 3 660 individuals belonging to 121 genera and 52 families. Dominant families were Dipterocarpaceae, Euphorbiaceae, and Fagaceae. *Vatica mangachapoi* had the largest importance value and was regarded as the construction species of the community. The community had a very typical tropical plant flora characteristics. The relationship between tree individuals and DBH distribution appears a inverted “J” form, which show the community is an active and productive stage, with small trees and obvious and no obvious layers structure. The minimum sampling area to analysis community characteristics of the lowland rain community in the Diaoluo Mountains should be at least 6 400 m². The results of the study are intended to provide theoretical basis for the construction of tropical national parks and biodiversity conservation.

Key words lowland rainforest; community structure; low-density species; minimum sampling area

* 基金项目: 中央级公益性科研院所基本业务费专项资金项目 (CAFYBB2017SY017)

第一作者: 韩天宇 (1992—), 男, 助理工程师, 主要从事环境科学、森林生态学研究, E-mail: 411160527@qq.com。

通信作者: 王旭 (1977—), 男, 副研究员, 主要从事森林生态学、全球变化生态学研究, E-mail: cafwangxu111@126.com。

热带森林作为陆地上物种最丰富和结构最复杂的森林生态系统,在全球碳循环维持、生物多样性保护、商品生产以及气候调节等方面都发挥着重要的作用。因此在全球变化背景下,关于热带森林的研究成为生态研究的热点^[1-2]。低地雨林是热带森林的重要组成类型,由于海拔较低,易受人为的干扰,其面积也正在不断缩减^[3]。人为干扰引起热带低地雨林生境质量、景观格局配置、物种组成和群落结构的变化,进而影响了生态系统功能的正常发挥,同时也成为引起生物多样性减少的主要威胁因素之一^[4]。

植物群落是一定时间内的不同植物在长期的历史进程中逐渐形成的生态复合体^[5],对植物群落特征研究对提升整个森林生态系统服务功能和生物多样性保护具有重要的意义。海南岛是我国热带雨林分布面积最大区域,也是我国已开展热带森林研究的重点区域。吊罗山是海南四大林区之一,分布着多种类型的热带森林。国内学者已在此区域开展了不同的研究,主要是对山地雨林的研究,安树青等^[6]对吊罗山热带山地雨植物种类多样性研究发现,群落中具有较高的低密度种分布,王峥嵘等^[5,7]、王文进等^[8]、李佳灵等^[9]对吊罗山种群分布格局进行研究,马志波等^[10]对板根树及数量特征进行了研究,殷支翰等^[11]、郝清玉等^[12]对林分更新特征进行了研究,但对低地雨林研究较少^[13-14]。研究样地面积设置从400~5 000 m²不等,但对于在热带地区样地面积过小,不足以揭示群落的特征^[15],已研究表明热带山地雨林森林群落特征分析至少要1 ha^[16]。随着热带雨林国家公园管理局在吊罗山的成立,海南热带雨林国家公园建设的步伐将将进一步加快,开展热带低地雨林群落特征研究对海南热带国家公园将具有积极的意义。本文以吊罗山低地雨林1 ha样地内群落为基础,分析其物种组成、结构特征及区系特征,丰富低地雨林群落生态学的研究内容,为低地雨林的保护、生产经营和生态系统服务能力的提高奠定理论基础,为认识低地雨林发生与演替提供详实的数据支撑,研究结果可为热带低地雨林地区森林结构重建和恢复提供指导。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

研究区域位于海南省吊罗山自然保护区南喜

站对面,18° 40' 18" N, 109° 53' 38" E,为1968—1970年采伐后的次生林,坡向为南坡,坡度18°。年平均气温24.6℃,最高月平均气温28.4℃(7月),最低月平均气温15.3℃(1月)。年均相对湿度85.9%,年均降水量2 160 mm。雨季和旱季两季分明,5月底到10月底是雨季,11月初到次年5月初是旱季,其中4月是雨季和旱季的过渡阶段保护区内地形复杂。保护区海拔100~1 499 m,地形破碎复杂,地势北高南低,在保护区的边缘有一些低山。本区属中山地貌,地质构造上位于尖峰—吊罗深大断裂东部,万宁—马岭背斜东南部,坑垄断列西北部。土质主要是沙质红壤与山地黄壤,成土木质为花岗岩和闪长岩,土层深厚,湿润,呈酸性,有机质含量较高,局部地区岩石裸露表土极薄。本区植物资源丰富植被类型多样,区系成分复杂,既有大面积的原始林,又有大面积的次生林。

1.2 调查方法

2017年6月份在研究区内300 m海拔处选取人为干扰较少植被类型较为典型的低地雨林区域建立1 ha(100 m×100 m)固定样地,按照相邻格式法分为100个10 m×10 m的样方,对样地内胸径(DBH)≥3 cm的所有植物进行调查,记录植物种类,测定各植物的空间坐标、胸径、树高、冠幅、枝下高和生长状态。

1.3 物种多样性及群落特征值测度方法

1.3.1 多样性测度^[17] 物种多样性计算采用 α 多样性指标。测度公式如下:

①丰富度

Marglef 指数: $E = (S-1)/\ln S$

②优势度

Shannon-Wiener 指数: $H' = -\sum P_i \ln P_i$;

Simpson 指数: $D = 1/\sum P_i^2$

③均匀度

Pielou 指数: $J_{sw} = H'/\ln S$

式中 S 为样地中的树木种类总数, N 为样地内所有物种的个体总和, P_i 为种 i 的个体数占所有种个体数的比率即 $P_i = n_i/N$ 。

1.3.2 群落特征值 重要值: $IV = \text{相对多度} + \text{相对频度} + \text{相对胸高断面面积}$

其中,相对多度(%) = 某个种的株数 / 所有种的总株数 × 100; 相对频度(%) = 某个种在100个样方中出现的次数 / 所有种出现的总次数 × 100;

相对胸高断面积 (%) = 某个种的胸高断面积 / 所有种的胸高断面积之和 $\times 100$ 。

低密度种：单个体种 (1 个 / hm^2) 和双个体种 (2 个 / hm^2) 确认为低密度种^[6]。

1.3.3 分布类型判别 采用扩散系数 (C)^[18] 判定低密度种在样地中的分布类型, 公式为 $C=S^2/\bar{x}$

式中: $\bar{x}$ 为各样地 10 m $\times$ 10 m 样方内低密度树木个体数的平均值, S^2 为低密度树木个体数的方差。当 $C < 1$ 时趋于均匀分布, $C = 1$ 时趋于随机分布, $C > 1$ 时趋于集群分布。用 t 检验确定样本观测值是否偏离泊松分布 (随机分布)。 t 值计算公式为: $t = (c-1)/\sqrt{2/(n-1)}$, 查 t 分布检验表即可检验 t 值的显著水平。

1.4 数据处理及分析

所有数据统计分析在 Excel 2010 和 R386 3.5.1 中进行。

2 结果与分析

2.1 区系成分

样地内树木科、属地理成分共 12 种分布型 (表 1), 重要值排名前十的龙脑香科 (Dipterocarpaceae)、大戟科 (euphorbiaceae), 壳斗科 (Fagaceae)、樟科 (Lauraceae) 均属典型的热带/亚热带科, 占了重要值的 35.1%, 其中热带东南亚至印

度—马来, 太平洋诸岛 (热带亚洲) 包含的科、属最多, 分别占总科、属的 25.29%、28.81%, 泛热带分布次之, 分别占总科、属的 21.82%、24.58%, 包括 10 以上的科及属的还有热带亚洲至热带大洋洲分布、旧世界热带分布, 单科单属的共 4 类分布型。说明吊罗山低地雨林物种组成具有很明显的热带至亚热带过渡性质。

2.2 物种组成

样地中木本植物共 3 660 株, 隶属于 52 科 121 属 236 种。含 5 种以上的科共 15 科, 占总科数的 28.85%, 分别是樟科、大戟科、茜草科 (Rubiaceae)、桃金娘科 (Myrtaceae)、桑科 (Moraceae)、梧桐科 (Sterculiaceae)、番荔枝科 (Annonaceae)、壳斗科、柿科 (Ebenaceae)、紫金牛科 (Myrsinaceae)、芸香科 (Rutaceae)、豆科 (Fabaceae)、冬青科 (Aquifoliaceae)、夹竹桃科 (Apocynaceae)、木犀科 (Oleaceae) 等, 其中樟科种类最多, 为 9 属 31 种、其次为大戟科, 为 14 属 19 种, 茜草科, 为 14 属 17 种。单科单种的为 21 科, 占总科数的 40.38%。青皮 (*Vatica mangachapoi*)、荷木 (*Schima superba*)、犁耙柯 (*Lithocarpus silvicularum*)、蝴蝶树 (*Heritiera parvifolia*)、白茶树 (*Koilocarpus hainanense*) 等为优势种, 其中排在第一位的青皮是荷木的 2.28 倍 (表 2), 由此可见该群落为典型的热带低地雨林青皮林。低

表 1 样地内科、属的分布型
Tab.1 Flora of family and genus in the plot

分布型 Areal-type	科 Family	属 Genus
2. 泛热带分布 Pantropic	19	29
3. 热带亚洲至热带美洲间断分布 Trop. Asia & Trop. Amer.disjuncted	6	7
4. 旧世界热带分布 Old World Tropics	10	14
5. 热带亚洲至热带大洋洲分布 Tropical Asia to Tropical Australasia Oceania	12	14
6. 热带亚洲至热带非洲分布 Tropical Asia to Tropical Africa	7	9
7. 热带东南亚至印度 - 马来, 太平洋诸岛 (热带亚洲) Tropical Southeast Asia to Indo-Malaya & Tropical Southwest Pacific Islands	22	34
8. 北温带分布 North Temperate	1	1
9. 东亚至北美洲间断分布 East Asia & North America disjuncted	4	4
12. 地中海区、西亚至中亚 Mediterranean & West to Central Asia	1	1
14. 东亚分布 East Asia	3	3
14SJ. 中国 - 日本分布 Sino-Japan	1	1
15. 中国特有分布 Endemic to China	1	1

表 2 重要值排前 10 位的植物种类的特征值
Tab.2 Characteristic value of the plant species rank in the top 10 important values

种名 Species	相对频度 Relative frequency	相对密度 Relative density	相对显著度 Relative prominence	重要值 Important value
青皮 <i>Vatica mangachapoi</i>	4.40	13.91	11.92	30.24
荷木 <i>Schima superba</i>	2.25	5.04	5.94	13.24
犁耙柯 <i>Lithocarpus silvicularum</i>	2.05	2.13	6.93	11.11
蝴蝶树 <i>Heritiera parvifolia</i>	3.33	5.15	2.52	10.99
白茶树 <i>Koilodepas hainanense</i>	2.51	4.61	1.45	8.57
细仔龙 <i>Amesiodendron chinense</i>	3.02	3.18	1.82	8.02
高山榕 <i>Ficus altissima</i>	0.20	0.13	7.06	7.40
岭南山竹子 <i>Garcinia oblongifolia</i>	3.17	2.86	0.54	6.57
海南栲 <i>Castanopsis hainanensis</i>	1.13	0.75	4.48	6.36
十棱山矾 <i>Symplocos chunii</i>	2.20	1.91	2.07	6.18

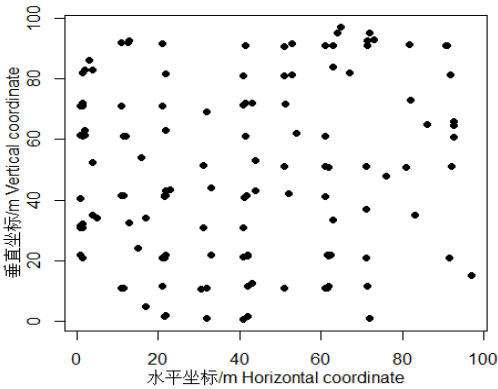


图 1 低密度种树木水平分布
Fig.1 Horizontal distribution of low-density species

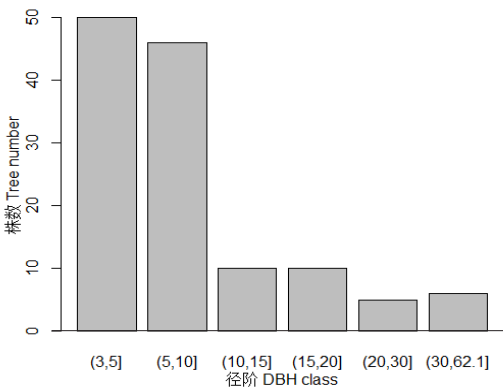


图 2 低密度种树木径阶分布
Fig.2 DBH class distribution of low-density species

密度种 97 种，其中单个体种 63 个，双个体种 34 个，分别占样地总树种数的 41.10%、26.69% 和 14.41%。对 1ha 样地内低密度种计算扩散系数 (C) 和 t 统计量, C 为 1.244, t 为 1.720, $t_{(\alpha=0.1, n=100)}=1.660$, $t_{(\alpha=0.05, n=100)}=1.984$, 说明低密度种扩散系统大于 1, 为集群分布趋势, 在 $\alpha = 0.1$ 水平上具有统计意义上的显著性, 在 $\alpha = 0.05$ 水平上不具统计意义上的显著性。从图 1 可看出, 低密度种集群分布趋势不明显, 可见样地内低密度种为弱集群分布。从径级分布上主要为 10 cm 以下的小树, 占总株数的 73.28% (图 2)。

2.3 群落结构特征

群落树木密度为 36.6 株 /100 m², 最大胸径

为 94.2 cm。树木主要以胸径小于 30 cm 为主, 占样地总株数的 99.41%, 1~10 cm 径阶占总株数的 77.2%, 胸径在 30~95 cm 共 22 株。按 5 cm 阶差, 采用下限排外法分析各径级株数与胸径的关系, 结果表明株数随胸径的增加而减少, 呈倒“J”型分布 (图 3), 说明该群落未达到顶极群落, 为“增长型”的次生林。群落中平均树高为 7.12 m, 最大树高 57.33 m。由于热带季雨林树高超过 15 m 即为林冠层, 所以在垂直方向上使用上限排外法分为 4 层: 第一层 (1~5 m) 有 897 株植株, 有 39 科 84 属 131 种, 第二层 (5~10 m) 有 2 147 株植株, 有 51 科 114 属 204 种, 第三层 (10~15 m) 有 523 株植株, 有 39 科 71 属 104 种, 第四

层 (≥ 15 m) 有 142 株植株, 有 20 科 33 属 41 种 (图 4)。树高主要集中在 5~10 m 区间内, 林冠下层植株占有较大比例, 高大树木较少。说明林下更新良好, 生长旺盛, 处于群落的发展阶段。

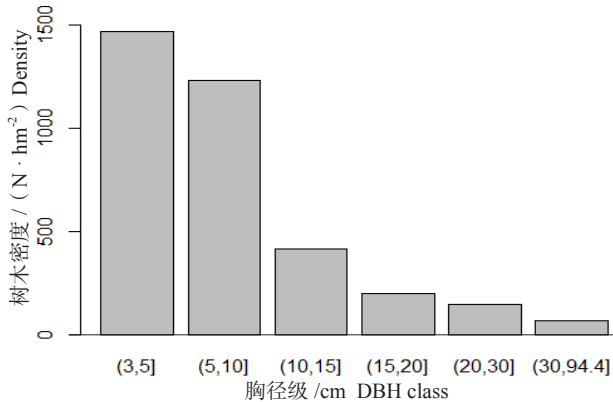


图 3 样地树木胸径频度分布

Fig.3 DBH class distribution for total trees in the 1 ha of plot

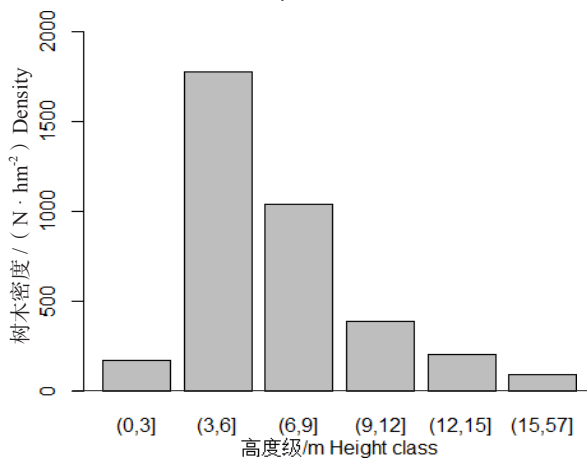


图 4 植物树高分组频度分布

Fig.4 Height class distribution for total trees in the 1 ha of plot

2.4 生物多样性分析

群落中物种丰富度指数、多样性指数和均匀度指数是表征群落特性的重要指标, 在反映植物群落的结构类型、演替阶段和稳定程度等方面均有重要意义。样地内树木多样性指数分别为: Marglef 指数 $E = 28.594 0$, 优势度 Shannon-Wiener 指数 $H' = 4.242 7$, Simpson 指数 $D = 0.965 3$, 均匀度 Pielou 指数 $J_{sw} = 0.776 5$ 。

2.5 低地雨林最小取样面积确定

确定植物群落的最小面积是研究植物群落的首要步骤。从图 5 种—面积曲线中可以看出, 在样地面积 $2\ 000\text{ m}^2$ 内, 物种数量为急剧上升, $2\ 000\sim 6\ 400\text{ m}^2$, 物种数量增加趋势有所减缓, 超

过 $6\ 400\text{ m}^2$ 后物种数量增加趋势明显变缓。由于受地形和自然条件限制, 本研究仅设置 1 ha 的样地。因此, 吊罗山低地雨林进行群落特征和多样性研究中, 样地面积至少要达到 $6\ 400\text{ m}^2$ 以上, 结果才具有代表性。

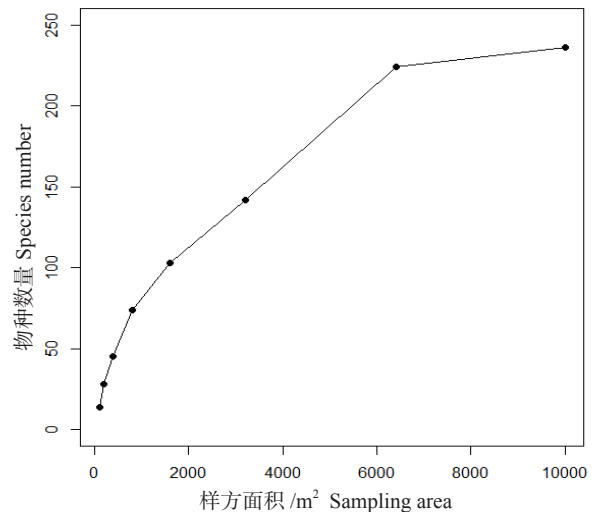


图 5 种—面积曲线

Fig 5. The curve of species-area

3 结论与讨论

3.1 吊罗山低地雨林 1 ha 样地内树木共 52 科 121 属 236 种, 主要组成物种以青皮、蝴蝶树、犁耙柯等为主。方精云等^[20]对尖峰岭 1 ha 样地调查中, 以 5 cm 为起测胸径, 样地内共有 52 科 93 属 171 种, 臧润国等^[21]对霸王岭 1 ha 样地调查中, 以树高 1.5 m 为起测树木, 样地内共有 138 种, 本调查中以 5 cm 为起测胸径进行统计, 共有 52 科 113 属 198 种, 两地的研究树木种类均小于本研究区树木种类。这与王伯荪等^[22]对海南四大林区 (吊罗山—五指山—霸王岭—尖峰岭) 研究结果一致, 表现为乔木层物种多样性从东到西依次减少的规律。区系成分与杨小波等^[19]对海南五指山及北部青皮林研究结果相比, 均表现为以热带亚洲分布和泛热带分布为主, 但略所不同。杨小波等在海南北部研究中泛热带树木属最多, 无旧世界成分, 而本研究中为热带亚洲属最多, 旧世界成分有 14 属, 与五指山区系成分表征更相似。

3.2 胸径和树高分布是可以预测群落结构形成和趋势的两个特征^[23], 顶级群落应在树高及径阶分布上均呈现倒“J”型分布^[24]。吊罗山低地雨林

样地内只在胸径分布呈倒“J”型,树高近似于倒“J”型,树高分布主要在5~10 m的树木,而高于15 m的树木较少,这表明此群落更新状况良好,处于近顶级群落阶段。从群落内垂直高度上分析,群落分层不是很明显,平均树高和平均胸径与其他地区^[25-27]相比还有一定的上升空间,未达到顶级群落。由于研究地属低海拔地区,上世纪60年代有轻微砍伐痕迹,而且此地区受台风影响频繁,在雨季是林内经常有大树木被吹倒,产生大量林窗,植株更新较快,中小径阶植株大量生长,也是导致形成此种群落结构的原因^[28-31]。

3.3 低密度种占热带森林树种中的绝大多数,已成为热带森林的显著特征之一,在维持热带雨林生物多样性方面发挥着重要作用。由于低密度种个体少且零星公布,更容易受到各种胁迫的影响而在群落中灭绝^[6,28-30]。样地内树种中有低密度种97种,占样地总树种数的41.10%。其中不乏海南省省级重点保护野生植物,如海南大风子(*Hydnocarpus hainanensis*)、香楠(*Cinnamomum rigidissimum*)。密度制约是热带森林中低密度种形成的主要原因,Wright^[32]认为有限更新对稀有种的影响更大。由于低地雨林常距居民生活区近,交通方便,加之近年来海南森林旅游产业的兴起,吊罗山地区旅游开发,虽有一定的保护基础,但仍受人为扰动较大,因此低地雨林保护急需加强,尤其是低密度种的保护。

3.4 最小取样面积是在一个最小地段内,对一个特定群落类型能提供足够的环境空间,或能保证展现出该群落类型的种类组成和结构的真实特征^[33]。李意德^[34]认为尖峰岭热带山地雨林的最小取样面积原始林为3 000 m²,如果从群落种类组成特征研究角度来考虑取样面积,在热带山地雨林需要1 ha才能满足研究需要。颜文红和胡玉佳^[35]对海南石梅湾青皮林(*Vatica hainanensis*)研究中认为,此群落最小研究面积为1 000 m²。许涵等^[24]对尖峰岭山地雨林60 ha大样地群落结构特征分析中,认为取样面积达7.5 ha时可包含大样地内90%的物种。而在本研究中,吊罗山低地雨林群落特征分析至少面积要达到6 400 m²,曲线才趋于平缓。虽然对不同群落类型,其最小面积不同,但从大样地研究结果来看,原有研究可能低估热带森林的最小面积。因此建议后续对吊罗山低地雨林群落特征和多样性分析时,按大样地标

准进行研究,进一步确定植物群落的最小面积。

参考文献

- [1] ZHOU G, LIU S, LI Z, et al. Old-growth forests can accumulate carbon in soils[J]. science, 2006, 314(5804): 1417-1417.
- [2] QIE L, LEWIS S L, SULLIVAN M J P, et al. Long-term carbon sink in Borneo's forests halted by drought and vulnerable to edge effects[J]. Nature communications, 2017, 8(1): 1966.
- [3] 马克平, 钱迎倩. 生物多样性研究的现状与发展趋势[J]. 科技导报(北京), 1995, 13(1): 27-30.
- [4] 臧润国, 张志东. 热带森林植物功能群及其动态研究进展[J]. 生态学报, 2010, 30(12): 3289-3296.
- [5] 王峥峰, 安树青, GAMPELL G D, 等. 海南岛吊罗山山地雨林物种多样性[J]. 生态学报, 1999, 19(1): 61-67.
- [6] 安树青, 王峥峰, 曾繁敬, 等. 海南吊罗山热带山地雨林植物种类多样性研究[J]. 中山大学学报(自然科学版), 1999(6): 79-84.
- [7] 王峥峰, 安树青, 朱学雷, 等. 热带森林乔木种群分布格局及其研究方法的比较[J]. 应用生态学报, 1998(6): 17-22.
- [8] 王文进, 张明, 刘福德, 等. 海南岛吊罗山热带山地雨林两个演替阶段的种间联结性[J]. 生物多样性, 2007, 15(3): 257-263.
- [9] 李佳灵, 林育成, 王旭, 等. 海南吊罗山不同海拔高度热带雨林种间联结性对比研究[J]. 热带作物学报, 2013, 34(3): 584-590.
- [10] 马志波, 黄清麟, 庄崇洋, 等. 吊罗山国家森林公园山地雨林板根树与板根的数量特征[J]. 林业科学, 2017, 53(6): 135-140.
- [11] 殷云翰. 吊罗山国家森林公园热带雨林不同恢复阶段群落结构与生物多样性比较研究[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(10): 2347-2351.
- [12] 郝清玉, 王贵, 吕冰, 等. 海南岛不同海拔高度青皮林天然更新特征[J]. 林业资源管理, 2012(5): 39-45; 58.
- [13] 黄康有, 廖文波, 金建华, 等. 海南岛吊罗山植物群落特征和物种多样性分析[J]. 生态环境, 2007(3): 900-905.
- [14] 黄运峰, 丁易, 臧润国, 等. 海南岛霸王岭热带低地雨林树木的空间格局[J]. 植物生态学报, 2012, 36(4): 269-280.
- [15] 兰国玉. 世界热带森林生态系统大样地定位研究进展[J]. 西北植物学报, 2007(10): 2140-2145.
- [16] 李意德. 海南岛尖峰岭热带山地雨林的群落结构特征[J]. 热带亚热带植物学报, 1997(1): 18-26.
- [17] 张金屯. 数量生态学 [M]. 2版. 北京: 科学出版社, 2011:

- 248-249.
- [18] 马钦彦.负二项分布及种群格局检验分析[J].北京林业大学学报, 2009, 31(3): 1-5.
- [19] 杨小波, 林英, 梁淑群.海南岛五指山的森林植被Ⅱ.五指山森林植被的植物种群分析与森林结构分析[J].海南大学学报(自然科学版), 1994(4): 311-323.
- [20] 方精云, 李意德, 朱彪, 等.海南岛尖峰岭山地雨林的群落结构、物种多样性以及在世界雨林中的地位[J].生物多样性, 2004, 12(1): 29-43.
- [21] 臧润国, 杨彦承, 蒋有绪.海南岛霸王岭热带山地雨林群落结构及树种多样性特征的研究[J].植物生态学报, 2001, 25(3): 270-275.
- [22] 王伯荪, 张伟银, 张军丽.海南岛热带山地雨林群落物种多样性的空间格局分析[J].热带亚热带植物学报, 2001(3): 229-234.
- [23] 陈红锋, 严岳鸿, 秦新生, 等.海南铜铁岭热带低地雨林群落特征研究[J].西北植物学报, 2005, 25(1): 103-112.
- [24] 许涵, 李意德, 林明猷, 等.海南尖峰岭热带山地雨林60 ha动态监测样地群落结构特征[J].生物多样性, 2015, 23(2): 192-201.
- [25] 安树青, 朱学雷, 王峥峰, 等.海南五指山热带山地雨林植物物种多样性研究[J].生态学报, 1999, 19(6): 803-809.
- [26] 陈伟, 杨小波, 李时兴, 等.海南中部山区植被演变阶段植物物种多样性与群落结构多样性变化规律[J].热带作物学报, 2014, 35(4): 784-790.
- [27] 毛超.海南岛甘什岭无翼坡垒林群落结构与物种多样性[J].生态学杂志, 2014, 33(11): 2959-2965.
- [28] PITMAN N C A, TERBORGH J, SILMAN M R, et al. Tree species distributions in an upper Amazonian forest[J]. Ecology, 1999, 80(8): 2651-2661.
- [29] PITMAN N C A, TERBORGH J W, SILMAN M R, et al. Dominance and distribution of tree species in upper Amazonian terra firme forests[J]. Ecology, 2001, 82(8): 2101-2117.
- [30] 卓元午, 安树青, 项华均, 等.热带森林的低密度种及其形成与维持机制[J].生物多样性, 2003, 11(2): 147-154.
- [31] 宋君.森林凋落物对环境及植物群落结构的影响[J].广东林业科技, 1994, 10(1): 47-50.
- [32] WRIGHT J S. Plant diversity in tropical forests: a review of mechanisms of species coexistence[J]. Oecologia, 2002, 130(1): 1-14.
- [33] 王伯荪, 余世孝, 彭少麟, 等.植物群落学实验手册[M].广州: 广东高等教育出版社, 1996: 13.
- [34] 李意德, 黄全.对海南岛热带山地雨林植物群落取样面积问题的探讨[J].热带林业科技, 1986(3): 23-29.
- [35] 颜文洪, 胡玉佳.海南石梅湾青皮林最小取样面积与物种多样性研究[J].生物多样性, 2004, 12(2): 245-251.