

ISSN 1001-7488
CN11-1908/S
CODEN LYKSAL

林业科学

SCIENTIA SILVAE SINICAE 2018.1
第54卷 Vol. 54

中国林学会主办

《林业科学》编辑部出版

LINYE KEXUE LINYE KEXUE LINYE KEXUE LINYE KEXUE

林业科学 第54卷 第1期

(2018年1月)

目次

- 地形异质性对尖峰岭热带山地雨林木本植物群落结构及多样性的影响 ... 王家鸣,许涵,李意德,等(1)
- 不同经营模式对蒙古栎天然次生林林分结构和植物多样性的影响 冯琦雅,陈超凡,覃林,等(12)
- 千岛湖国家森林公园大气能见度变化特征及其影响因素 傅伟聪,朱志鹏,陈梓茹,等(22)
- 基于随机森林算法和 SRAP 分子标记的桂花品种鉴定方法 邱帅,沈柏春,李婷婷,等(32)
- 油桐叶肉细胞原生质体分离及瞬时转化体系的建立 谷战英,杨若楠,陈昊(46)
- 不同光环境下天台鹅耳枥叶形变化的测定与分析 陈模舜,金则新,柯世省(54)
- 子叶切除与苗圃施肥对栓皮栎容器苗造林效果的影响 史文辉,李国雷,苏淑钗,等(64)
- Sexual selection, mating and fecundity of *Basilepta melanopus* (Coleoptera: Chrysomelidae), a defoliator of
Camellia oleifera Yang LiuJun, Ma Ling, Liu Xiaoyu, et al. (74)
- 基于高通量测序的4种不同树种人工林根际土壤细菌结构及多样性 丁新景,敬如岩,黄雅丽,等(81)
- 等离子体处理对6种木材表面润湿性能的影响 彭晓瑞,张占宽(90)
- 基于拉曼光谱技术的竹材细胞壁化学组分分布 韦鹏练,杨淑敏,刘嵘,等(99)
- 基于扫描热显微镜的木材细胞壁导热特性 徐德良,徐朝阳,丁涛,等(105)
- 涂料涂布对人造板装饰原纸表面性状和印刷适性的影响及其机制 张正健,张启莲,张明志,等(111)
- 纳秒水导激光加工木材工艺探讨 姜新波,胡昊,刘九庆,等(121)
- 家庭劳动力配置异质性农户非木质林产品经营行为选择——来自陕西省和四川省1131户的调查 ...
..... 薛彩霞,姚顺波(128)
- 综合评述**
- 针叶树碳水化合物分配研究进展 钱杨,孙洪刚,董汝湘,等(141)
- 木材湿热软化压缩技术及其机制研究进展 黄荣凤,高志强,吕建雄(154)
- 研究简报**
- 喷施茉莉酸诱导长白落叶松抗性对舞毒蛾生长发育的影响 姜礲,薛羿,徐智文,等(162)
- 福建三明市应用 Smal-007 菌剂防治松材线虫病的效果 姚伍,郑催云,陈红梅,等(168)
- 不同生长期毛竹材细胞壁力学性能与微纤丝角 刘苍伟,苏明垒,王思群,等(174)
- 《温带林业研究》征订征稿启事 (11)

(本期值班编辑 石红青 统编统校 张君颖)

doi:10.11707/j.1001-7488.20180101

地形异质性对尖峰岭热带山地雨林木本植物群落结构及多样性的影响*

王家鸣¹ 许 涵¹ 李意德¹ 林明猷² 周 璋¹ 骆土寿¹ 陈德祥¹

(1. 中国林业科学研究院热带林业研究所 广州 510520; 2. 中国林业科学研究院热带林业研究所试验站 乐东 572542)

摘 要: 【目的】探讨热带山地雨林不同地形条件下物种组成及群落结构特征差异,评估物种与地形关联性,为进一步探索热带山地雨林的物种共存机制提供依据。【方法】以海南尖峰岭热带山地雨林 60 hm² 大样地及其 290 种木本植物(胸径 ≥ 1 cm)为研究对象,通过对大样地每块 20 m × 20 m 样地的平均海拔、坡度和凹凸度 3 个地形指标进行 C-均值模糊聚类,将 60 hm² 大样地分为不同地形类型,分析不同地形条件下群落物种组成、物种丰富度和植株密度的差异;采用 Torus 转换检验,对大样地中胸径 ≥ 1 cm 的独立植株且种群个体数量大于 60 的 230 种常见木本植物进行物种与地形关联性分析。【结果】尖峰岭 60 hm² 大样地可分为低海拔沟谷、陡坡、高海拔沟谷和山脊 4 类地形,其面积分别为 12.6, 16.68, 15.08 和 15.64 hm², 对应的物种丰富度分别为 274, 269, 264 和 267 种;种-面积曲线表明,随着取样面积增加,同等面积条件下,低海拔沟谷的物种丰富度始终最大,其他 3 类地形物种丰富度基本处于陡坡估计值的 ±1.96 × SE 置信区间内,三者种-面积曲线相差不大;种-个体数累积曲线表明,随着个体数增加,低海拔沟谷物种丰富度的累积速率最大,陡坡和高海拔沟谷物种丰富度基本处于陡坡估计值的 ±1.96 × SE 置信区间内,二者种-个体数累积曲线相差不大,山脊物种丰富度随个体数增加的累积速率最小;高海拔沟谷植株平均胸径最大,陡坡次之,山脊植株平均胸径与大样地植株平均胸径相同,低海拔沟谷植株平均胸径最小;在各个径级内,山脊植株密度均最大,陡坡次之,植株平均胸径 ≤ 10 cm 时,高海拔沟谷植株密度小于低海拔沟谷,而植株平均胸径 ≥ 10 cm 时,低海拔沟谷植株密度小于高海拔沟谷;对 4 类地形内各径级植株数占总植株数的比例进行分析,平均胸径 ≥ 30 cm 时,比例表现为高海拔沟谷 > 陡坡 > 山脊 > 低海拔沟谷,平均胸径 ≥ 50 cm 时,比例表现为低海拔沟谷 > 高海拔沟谷 > 陡坡 > 山脊;低海拔沟谷中重要值最大的前 3 个物种为白颜树、柏拉木和大叶蒲葵,而其他 3 类地形条件重要值最大的前 3 个物种均为大叶蒲葵、白颜树和厚壳桂;230 种常见植物中,有 203 个物种(占 88.3%)与至少 1 类地形显著相关,高于世界上其他多个大样地;4 类地形显著负相关的物种平均数占被检测物种总数比例表征的地形异质性贡献率为 23.7%。【结论】尖峰岭 60 hm² 大样地中不同地形条件下木本植物群落结构及多样性具有较大差异,4 类地形显著相关的物种数明显不同。地形是影响该大样地中木本植物分布的重要因素,与其他影响因素如光照、水分、土壤等多种环境因子共同发挥作用。尖峰岭热带山地雨林森林群落具有生境特化的特性,地形异质性对其物种多样性的维持具有重要贡献。本研究结果同样具有应用价值,如在恢复热带山地雨林植被、改造或营建混交林时,可以根据物种与地形的关联性,在不同的地形条件下选择不同的物种组合。

关键词: 热带山地雨林; 地形; 物种分布; Torus 转换检验; 物种生境关联; 地形异质性; 物种共存

中图分类号: S718.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-7488(2018)01-0001-11

Effects of Topographic Heterogeneity on Community Structure and Diversity of Woody Plants in Jianfengling Tropical Montane Rainforest

Wang Jiaming¹ Xu Han¹ Li Yide¹ Lin Mingxian² Zhou Zhang¹ Luo Tushou¹ Chen Dexiang¹

(1. Research Institute of Tropical Forestry, CAF Guangzhou 510520;

2. Experimental Station of Research Institute of Tropical Forestry, CAF Ledong 572542)

Abstract: 【Objective】To further explore the species coexistence mechanisms in tropical mountain rainforest, we compared differences in species composition and population characteristics in different topographic conditions, and assessed topographic associations with species diversity. 【Method】The 60 hm² tropical montane rainforest in Jianfengling

收稿日期: 2016-07-07; 修回日期: 2017-11-24。

基金项目: 中国林业科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(CAFYBB2017ZE001, RITFYWZX201505); 国家自然科学基金项目(31670628); 尖峰岭国家级森林生态站运行费。

* 许涵为通讯作者。

of Hainan Province containing trees (DBH ≥ 1 cm) of 290 woody species as a large plot was classified into different topographic types according to their elevations, convexities and slopes of each of the 20 m \times 20 m sample plots by fuzzy C-mean clustering. community composition, species abundance, and individual density among different topographic conditions were compared. Using Torus-translation tests, we examined the association between micro-topography and species for 230 woody species each with more than 60 plants with a DBH ≥ 1 cm in the plot. 【Results】All sample plots of Jianfengling plot could be unambiguously assigned to one of the four topography categories, lower valley (12.6 hm², 274 species), steep slope (16.68 hm², 269 species), upper valley (15.08 hm², 264 species) and ridge (15.64 hm², 267 species). By comparing species-area relationships among these four topographies, the number of species in the lower valley was the largest. But there was little difference among other three topographies, because the numbers of species of them fell within the expected values of the steep slope $\pm 1.96 \times SE$. By comparing the cumulative species-individual relationships among these four topographies, the cumulative rate of the lower valley was the largest and it was the least of the ridge. But there was little difference between the steep slope and the lower valley, because the numbers of species of them fell within the significance interval of the expected values of steep slope $\pm 1.96 \times SE$. The upper valley had the largest average DBH, followed by the steep slope, whereas the lower valley had the least average DBH. And the average DBH of the ridge was equal to that of the whole plot. The ridge had the highest density, followed by the upper valley. The density of the tree community of the upper valley was lower than that of the lower valley, when the average DBH ≤ 10 cm. When the average DBH ≥ 10 cm, it was inverse. For the proportion of different DBH sizes, the upper valley > the steep slope > the ridge > the lower valley when the average DBH ≥ 30 cm, and the lower valley > the upper valley > the steep slope > the ridge when the average DBH ≥ 50 cm. Of the lower valley type, *Girroniera subaequalis*, *Blastus cochinchinensis*, and *Livistona saribus* were the most dominant species, while of the other three topographies *Livistona saribus*, *Girroniera subaequalis*, and *Crypcarya chinensis* were the most dominant species. 203 (88.3% of all) of 230 common species showed significant associations with the topographies, which is relatively higher than other large plots in the world. We used the mean of species negatively associated with one of the four topographies divided by the examined 230 species to assess the effects of topography. The extent that species-topography associations contributed to species coexistence was 23.7%. 【Conclusion】We found that community structure, species diversity and species-topography associations were different among 4 topographies in the 60 hm² plot in Jianfengling. Topography was one of the important environmental factors that determined species distribution in the plot, although light, moisture and soil condition may also have played roles. This study indicated that the species in Jianfengling plot had strong differentiation of micro-topographic niche. Topographic heterogeneity had important contribution to maintaining species diversity in this tropical montane rainforest. This study also provided guidance to choose different species combinations in different topographies when restoring tropical mountain rainforest, rebuilding or constructing mixed forests, according to the species-topography associations.

Key words: tropical montane rainforest; topography; species distribution; Torus-translation test; habitat associations of woody plants; topographic heterogeneity; species coexistence

植物群落中不同物种的共存机制是植物群落生态学的核心内容之一(侯继华等, 2002; Chave, 2004; Shea *et al.*, 2004),也是生物多样性维持的重要研究内容(叶万辉, 2000)。生态学家提出各种各样的理论和假说来解释物种多样性维持机制,其中中性理论和生态位理论最引人注目。生态位理论认为,不同物种通过与环境的相互作用,适应于环境,受环境因子限制,通过占有不同资源、时间、空间来实现共存。经纬度、海拔梯度变化及其组合在空间上引发的温度、降水、光照和土壤等众多因素共同影响物种及其多样性的空间分布格局(Ausirheim,

2002; Grytnes *et al.*, 2006)。在某气候区内,地形导致的环境条件异质性是影响植物空间分布格局的最重要因素(Palmer *et al.*, 1990),而且森林大样地的研究,进一步证实了地形对植物空间分布与森林群落结构的影响(Harms *et al.*, 2001; Gunatilleke *et al.*, 2006; Queenborough *et al.*, 2007; Lai *et al.*, 2009; Wang *et al.*, 2009);基于此平台,不同学者评估了地形或生境对物种分布与共存的重要性(Chen *et al.*, 2010; Lan *et al.*, 2011)。

景观或群落尺度上,地形因子是主导植被格局的非地带性环境因子之一(Woodward *et al.*, 1991)。

在山区,地形往往是局部生境温湿度的良好指示,影响光照、水分和土壤发育,进而影响不同地形部位地貌和群落的物种构成、结构和动态(Swanson, 1988; Mujuru *et al.*, 2007; Puchi-Manage *et al.*, 2013)。沟谷地形的丰富资源是影响物种多样性的一个重要因素(Gunatilleke *et al.*, 2006; 赖江山, 2008),这导致一些树种偏好沟谷地形;光照同样是影响样地内植物分布的主要非生物因子之一(王伟等, 2011),这导致另外一些树种偏好山脊地形。此外,喀斯特生境的独特地形地貌导致其优势种大部分为岩溶地区特有树种(王斌等, 2014)。可见,不同地形条件下植物空间分布及森林群落结构具有明显差异。

尖峰岭是我国保存最为完整的热带原始森林林区之一(李意德, 2012),属热带北缘类型,区位条件独特,是生物多样性研究热点地区,在该地区已经开展了大量植物群落和生物多样性研究工作(李意德, 1997; 李意德等, 2002; 2006; 方精云等, 2004; 许涵等, 2009; 2015a; 吴裕鹏等, 2014; Xu *et al.*, 2015)。研究指出,依据最小取样面积建立的森林植被样地并不能全面反映热带山地雨林的群落结构特征(李意德, 1997),基于更大面积的长期森林动态监测样地探讨热带山地雨林的群落结构特征、物种空间分布和物种多样性共存机制具有重要意义(Condit *et al.*, 2006)。许涵等(2015a)对尖峰岭热带山地雨林 60 hm² 动态监测样地的群落结构特征进行了探讨,为本研究提供了背景资料。本研究基于尖峰岭热带山地雨林 60 hm² 大样地,探讨不同地形生境类型下的群落结构特征差异,评估尖峰岭 60 hm² 大样地中物种与地形的关联性及其对物种共存的影响,以期为进一步揭示热带森林物种的分布与共存规律提供科学依据并指导生产实践。

1 研究区概况

尖峰岭位于海南岛西南部,总面积约 640 km²,包括尖峰岭林区及其周边地区。尖峰岭林区内的热带山地雨林是我国现有面积较大、保存较完整的热带原始森林。本研究所在区域位于尖峰岭林区的尖峰岭国家级自然保护区内(108°44'—109°02'E, 18°23'—18°52'N)。距离大样地约 4 km 处的自动气象观测站 26 年观测数据显示(站区海拔 820 m),尖峰岭热带山地雨林年均气温 19.8 °C,年均降水量 2 449.0 mm,年均空气相对湿度 88.67%(周璋等, 2009),干湿两季明显。尖峰岭国家级自然保护区内保存有大量未经破坏的原始热带雨林,其中热带山地雨林分布于海拔 600~1 200 m 的山地丘陵,其

生境异质性较高,物种组成丰富,结构复杂,板根现象普遍,寄生和附生植物较多(吴裕鹏等, 2014)。土壤类型为砖黄壤和黄壤,土壤水分和腐殖质含量高(蒋有绪等, 1991; 李意德等, 2002)。

2 研究方法

2.1 样地设置及调查

尖峰岭热带山地雨林 60 hm² 大样地按照美国史密森热带研究所热带森林研究中心(Center for Tropical Forest Science, CTFS)的调查技术规范建设,样地东西长 1 000 m,南北宽 600 m,将整个样地划分为 1 500 块 20 m × 20 m 样地。大样地分布于海拔 866.3~1 016.7 m 处,大样地西南角较平缓,整体地势为向东北角陡峭的山脊逐渐过渡抬升。对每块 20 m × 20 m 样地内胸径 ≥ 1.0 cm 的乔灌木逐一挂标签,记录该植株的坐标、名称、胸径、树高和生存状态;首次植物本底调查于 2010 年年底开始,2012 年底完成。调查结果表明,样地内共记录到 439 676 株胸径 ≥ 1.0 cm 的存活乔灌木植株,其中除 61 个植株未确定种名外,其他植株分属于 62 科 155 属 290 种(许涵等, 2015a)。

2.2 数据处理

样地平均海拔是样地 4 个顶点海拔的平均值;从样地 4 个顶点取 3 个顶点组成一个平面,可以组成 4 个不同的平面,这 4 个平面与样地投影面夹角的平均值就是样地的坡度;样地的凹凸度为样地平均海拔减去与该样地相邻的 8 块样地平均海拔的平均值,处于大样地边缘的样地凹凸度为样地中心的海拔减去 4 个顶点海拔的平均值(Harms *et al.*, 2001; Debski *et al.*, 2002)。通过对大样地的平均海拔、坡度和凹凸度进行 C-均值模糊聚类(fuzzy C-mean clustering)分析(宫贵权等, 2007; Bezdek, 1981),划分大样地不同的地形生境类型。

以大样地内调查到的 290 种 439 615 株存活的胸径 ≥ 1.0 cm 的乔灌木植株为研究对象,比较分析不同生境中群落的物种组成、物种丰富度和植株密度等(Gunatilleke *et al.*, 2006; 赖江山, 2008)。

利用目前常用的检验物种与生境关联的方法——Torus 转换检验法(Harms *et al.*, 2001; Gunatilleke *et al.*, 2006; Lai *et al.*, 2009; 王伟等, 2011; 郭屹立等, 2015)对大样地内胸径 ≥ 1.0 cm 的独立植株(不计算萌生植株)且种群个体数量大于 60 的 230 种常见木本植物进行物种与地形关联性分析。

Torus 转换检验法与常规方法(如卡方检验)不

同,其优点在于能够排除生境和物种分布的空间自相关,从而使检验更加敏感(Harms *et al.*, 2001)。该方法主要通过比较实际生境图和模拟生境图上物种在各类生境中的相对多度来确定物种与生境的关联程度。物种在模拟生境图上相对多度的获取方法是保持生境不变,将叠加于生境图上的物种作平移。这些相对多度值从小到大组成一个排序轴,若某物种在某生境中的实际相对多度处于最大的 2.5% 区间内,则认为该物种与这类生境正相关;反之,若实际相对多度处于最小的 2.5% 区间内,则认为物种与生境负相关。本研究选用 Comita 等(2007)改进的 Torus 转换检验法检测每个物种与生境的相关性。

用与地形负相关的物种平均数占被检测物种总数比例表示地形异质性贡献率(Harms *et al.*, 2001; 赖江山, 2008),以评估地形对物种分布与共存的贡献。

所有统计分析均在 Excel 2010、R 2.15.3 软件中进行,辅以 ArcMap 10.2 软件作图。

3 结果与分析

3.1 4 类地形物种组成和群落结构差异

本研究中,将整个样地划分为低海拔沟谷、陡

坡、高海拔沟谷、山脊 4 类地形(图 1),4 类地形特征及样地数见表 1。

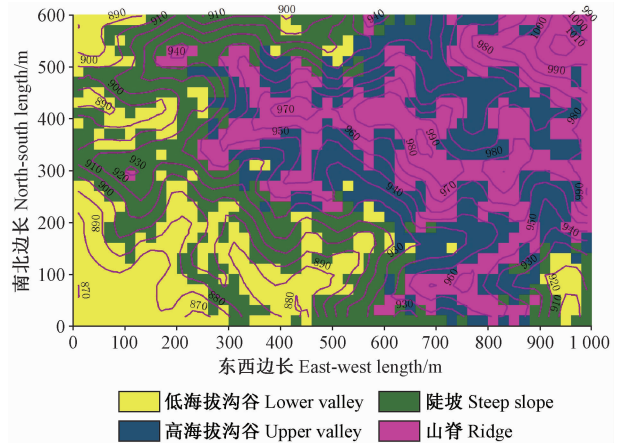


图 1 60 hm² 大样地等高线与生境

Fig. 1 Contour map with 10 m intervals and topography groups of the 60 hm² big sample plot

4 类地形中低海拔沟谷面积最小为 12.6 hm²,但其物种丰富度最高,为 274;陡坡面积最大,为 16.68 hm²,物种丰富度为 269,位于其次;高海拔沟谷与山脊面积分别为 15.08 和 15.64 hm²,物种丰富度分别为 264 与 267(表 2)。

表 1 4 类地形特征及样地数^①

Tab. 1 Characteristic and sample plot number of four topographies

地形 Topography	海拔 Elevation/ m	坡度 Slope/ (°)	凹凸度 Convexity/ m	海拔均值 Mean elevation/ m	坡度均值 Mean slope/ (°)	凹凸度均值 Mean convexity/ m	样地数 Sample plot number
低海拔沟谷 Lower valley	894.47	19.41	-1.19	892.26 ± 15.11	18.24 ± 6.94	-1.35 ± 1.94	315
陡坡 Steep slope	918.44	27.75	0.59	916.45 ± 13.63	28.51 ± 5.80	0.93 ± 1.73	417
高海拔沟谷 Upper valley	948.56	25.54	-1.17	949.75 ± 14.71	25.13 ± 7.35	-1.88 ± 1.50	377
山脊 Ridge	968.30	25.70	2.08	970.03 ± 17.39	25.46 ± 7.26	2.37 ± 1.58	391

①海拔、坡度和凹凸度数值是用离差标准化后进行 C-均值聚类,再还原为实际聚类中心值 The values of elevation, slope, and convexity with a standardized deviation were clustered by fuzzy C-mean clustering and then reverted to the actual value of cluster centers.

表 2 4 类地形物种丰富度与植株密度^①

Tab. 2 Species richness and tree density in four topographies

参数 Parameter	大样地 Big sample plot	低海拔沟谷 Lower valley	陡坡 Steep slope	高海拔沟谷 Upper valley	山脊 Ridge
面积 Area/hm ²	60	12.6	16.68	15.08	15.64
丰富度 Abundance	290	274	269	264	267
平均胸径 Average DBH/cm	5.22	4.93	5.28	5.38	5.22
整体植株密度 Overall density/(individual·hm ⁻²)	7 327	6 551	7 721	6 079	8 734
I 级 Grade I/(individual·hm ⁻²)	5 602	5 145	5 879	4 652	6 592
II 级 Grade II/(individual·hm ⁻²)	813	667	858	633	1 055
III 级 Grade III/(individual·hm ⁻²)	510	406	550	424	635
IV 级 Grade IV/(individual·hm ⁻²)	208	165	226	187	245
V 级 Grade V/(individual·hm ⁻²)	100	85	111	94	107
VI 级 Grade VI/(individual·hm ⁻²)	49	39	52	49	53
VII 级 Grade VII/(individual·hm ⁻²)	44	45	46	40	47

① I, II, III, IV, V, VI 和 VII 级分别代表胸径为 1~5, 5~10, 10~20, 20~30, 30~40, 40~50 和 ≥50 cm 的植株密度。Grade I, II, III, IV, V, VI, and VII represent tree density at 1-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, and ≥50 cm DBH, respectively.

由表 2 可知，整体植株密度表现为山脊 > 陡坡 > 大样地 > 低海拔沟谷 > 高海拔沟谷，分别为 8 734, 7 721, 7 327, 6 551 和 6 079 株·hm⁻²；山脊各径级植株密度都最大，陡坡次之；胸径 ≤ 10 cm 时，高海拔沟谷植株密度小于低海拔沟谷；胸径 ≥ 10 cm 时，低海拔沟谷植株密度小于高海拔沟谷。

种 - 面积曲线表明，随着取样面积增加，同等面积条件下，低海拔沟谷的物种丰富度始终最大，其他 3 类地形物种丰富度基本处于陡坡类型估计值的 ± 1.96 × SE 置信区间内，三者种 - 面积曲线相差不大(图 2)。

种 - 个体数累积曲线表明，随着个体数增加，低海拔沟谷物种丰富度的累积速率最大，陡坡和高海拔沟谷的物种丰富度基本处于陡坡类型估计值的 ± 1.96 × SE 置信区间内，二者种 - 个体数累积曲线相差不大，山脊类型物种丰富度随个体数增加的累积速率最小(图 3)。

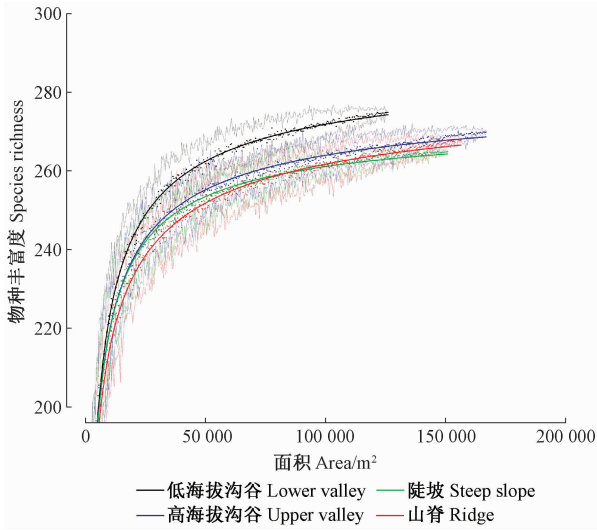


图 2 4 类地形种 - 面积曲线 (虚线表示估计值在 ± 1.96 × SE 的变化范围)

Fig. 2 Cumulative species-area relationships of four topography (the dotted lines indicated the expected values ± 1.96 × SE)

表 3 表明，1 ~ 5 cm 胸径级植株数占总植株数的比例表现为低海拔沟谷明显大于其他 3 类地形；30 ~ 40 和 40 ~ 50 cm 胸径级植株数占总植株数的比例均表现为高海拔沟谷 > 陡坡 > 山脊 > 低海拔沟谷；≥ 50 cm 胸径级植株数占总植株数的比例表现为低海拔沟谷 > 高海拔沟谷 > 陡坡 > 山脊。

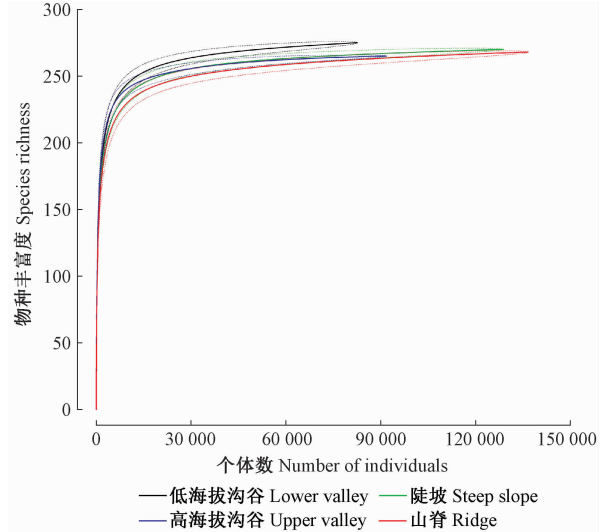


图 3 4 类地形种 - 个体数累积曲线

(虚线表示估计值在 ± 1.96 × SE 的变化范围)

Fig. 3 Cumulative species-individual relationships of four topography (the dotted lines indicated the expected values ± 1.96 × SE)

表 4 表明，低海拔沟谷中重要值最大的前 3 个物种为白颜树 (*Gironniera subaequalis*)、柏拉木 (*Blastus cochinchinensis*) 和大叶蒲葵 (*Livistona saribus*)，尤其是柏拉木重要值排在第 2 位，相对密度排在第 1 位。其他 3 类地形中重要值最大的前 3 个物种均为大叶蒲葵、白颜树和厚壳桂 (*Cryptocarya chinensis*)。低海拔沟谷与高海拔沟谷中重要值最大的前 10 个物种有 9 个相同，说明 2 类沟谷地形群落结构较为一致；陡坡与山脊中重要值最大的前 10 个物种有 9 个相同，说明陡坡与山脊群落结构较为一致。

表 3 大样地及各地形中各径级植株数占总植株数比例

Tab. 3 Percentage of trees in different DBH classes to total number of trees in the big sample plot and four topographies %

胸径级 DBH class/cm	大样地 Big sample plot	低海拔沟谷 Lower valley	陡坡 Steep slope	高海拔沟谷 Upper valley	山脊 Ridge
1 ~ 5	76. 46	78. 53	76. 14	76. 53	75. 47
5 ~ 10	11. 09	10. 18	11. 11	10. 41	12. 08
10 ~ 20	6. 97	6. 20	7. 13	6. 97	7. 27
20 ~ 30	2. 84	2. 52	2. 93	3. 08	2. 81
30 ~ 40	1. 37	1. 29	1. 44	1. 55	1. 22
40 ~ 50	0. 67	0. 60	0. 67	0. 81	0. 61
≥ 50	0. 61	0. 68	0. 59	0. 65	0. 54

表 4 4 类地形重要值前 10 的物种

Tab. 4 Importance values of the top ten dominant species in the four topographies

地形 Topography	物种 Species	重要值 Importance value	相对胸高断面面积 Relative basal area at the breast height	相对密度 Relative density	相对频度 Relative frequency
低海拔沟谷 Lower valley	白颜树 <i>Gironniera subaequalis</i>	3.2	6.1	2.2	1.3
	柏拉木 <i>Blastus cochinchinensis</i>	2.8	0.2	7.3	0.8
	大叶蒲葵 <i>Livistona saribus</i>	2.8	7.0	0.5	0.8
	变色山槟榔 <i>Pinanga baviensis</i>	2.6	0.2	6.5	1.2
	厚壳桂 <i>Cryptocarya chinensis</i>	2.6	3.1	3.4	1.3
	四蕊三角瓣花 <i>Prismatomeris tetrandra</i>	2.5	0.3	5.8	1.3
	海南韶子 <i>Nephelium topengii</i>	2.4	3.1	2.7	1.3
	油丹 <i>Alseodaphne hainanensis</i>	2.0	4.1	0.8	1.1
	海南蕈树 <i>Altingia obovata</i>	1.9	4.7	0.6	0.5
	九节 <i>Psychotria asiatica</i>	1.9	0.8	3.5	1.3
陡坡 Steep slope	大叶蒲葵 <i>Livistona saribus</i>	4.0	10.2	0.9	1.1
	白颜树 <i>Gironniera subaequalis</i>	3.0	5.5	2.3	1.2
	厚壳桂 <i>Cryptocarya chinensis</i>	2.6	2.5	4.0	1.2
	油丹 <i>Alseodaphne hainanensis</i>	2.5	4.9	1.4	1.2
	四蕊三角瓣花 <i>Prismatomeris tetrandra</i>	2.4	0.3	5.7	1.2
	红柯 <i>Lithocarpus fenzelianus</i>	2.2	5.3	0.5	0.8
	东方琼楠 <i>Beilschmiedia tungfangensis</i>	2.1	2.2	2.9	1.1
	海南韶子 <i>Nephelium topengii</i>	1.9	2.0	2.6	1.2
	香果新木姜子 <i>Neolitsea ellipsoidea</i>	1.9	0.9	3.7	1.2
	黄叶树 <i>Xanthophyllum hainanense</i>	1.7	2.4	1.5	1.1
高海拔沟谷 Upper valley	大叶蒲葵 <i>Livistona saribus</i>	4.2	10.6	0.9	1.1
	白颜树 <i>Gironniera subaequalis</i>	3.2	5.7	2.5	1.3
	厚壳桂 <i>Cryptocarya chinensis</i>	2.7	3.1	3.6	1.3
	变色山槟榔 <i>Pinanga baviensis</i>	2.7	0.2	6.6	1.1
	海南韶子 <i>Nephelium topengii</i>	2.6	3.2	3.2	1.3
	油丹 <i>Alseodaphne hainanensis</i>	2.3	4.5	1.2	1.1
	九节 <i>Psychotria asiatica</i>	2.0	0.7	4.0	1.3
	四蕊三角瓣花 <i>Prismatomeris tetrandra</i>	1.8	0.2	4.0	1.3
	香果新木姜子 <i>Neolitsea ellipsoidea</i>	1.8	1.0	3.1	1.2
	柏拉木 <i>Blastus cochinchinensis</i>	1.6	0.1	4.2	0.6
山脊 Ridge	大叶蒲葵 <i>Livistona saribus</i>	3.1	7.6	0.7	0.9
	白颜树 <i>Gironniera subaequalis</i>	2.8	4.9	2.2	1.2
	厚壳桂 <i>Cryptocarya chinensis</i>	2.6	2.7	4.1	1.2
	红柯 <i>Lithocarpus fenzelianus</i>	2.6	6.6	0.5	0.8
	香果新木姜子 <i>Neolitsea ellipsoidea</i>	2.2	1.0	4.5	1.2
	黄叶树 <i>Xanthophyllum hainanense</i>	2.1	2.9	2.1	1.2
	油丹 <i>Alseodaphne hainanensis</i>	2.1	3.8	1.3	1.2
	东方琼楠 <i>Beilschmiedia tungfangensis</i>	2.1	2.0	3.0	1.1
	海南紫荆木 <i>Madhuca hainanensis</i>	2.0	4.6	0.6	0.8
	四蕊三角瓣花 <i>Prismatomeris tetrandra</i>	1.9	0.2	4.3	1.2

3.2 木本植物与地形相关性

Torus 转换检验结果表明,230 个常见物种(独立植株数目 > 60)在 4 类地形中共产生 920 个相关关系。这些相关关系中,有 203 个物种发生了 420 个显著相关关系($P < 0.05$),其中显著正相关 202 个,显著负相关 218 个。换言之,203 个物种至少与 1 类地形存在显著相关($P < 0.05$),剩下的 27 个物种并未与 4 类地形中的任何一类显著相

关。而在这 27 个物种中,厚壳桂独立植株数量最多,为 12 238 株;九节其次,为 12 024 株;长柄山龙眼 (*Helicia longipetiolata*) 的数量为 2 500 株,居于第 3 位。检验结果也表明,与 4 类地形显著相关的物种数明显不同。在正相关的检测结果中,高海拔沟谷 > 陡坡 > 山脊 > 低海拔沟谷;在负相关的检测结果中,陡坡 > 山脊 > 高海拔沟谷 > 低海拔沟谷(图 4)。另外,与某类地形正相关的物种

并不完全与其他地形负相关,大部分物种对其他地形相关性表现为中性,并非完全排斥其他 3 类地形。

4 类地形中重要值前 10 的物种共有 15 种,其与地形的相关性见表 5。厚壳桂、海南蕈树和九节与 4 类地形中任何一类均无显著相关 ($P > 0.05$),变色山槟榔与低海拔沟谷、高海拔沟谷 2 种地形显著正相关 ($P < 0.05$),其他物种均仅与 1 类地形显著正相关 ($P < 0.05$)。

3.3 物种地形相关性与物种共存

尖峰岭 60 hm² 大样地中与低海拔沟谷、陡坡、高海拔沟谷和山脊负相关的物种数分别为 83、19、44 和 72。以与 4 类地形负相关的物种平均数占被检测物种总数的比例表示地形异质性贡献率,发现 60 hm² 大样地中地形异质性对物种分布与共存的贡献率为 23.7%。

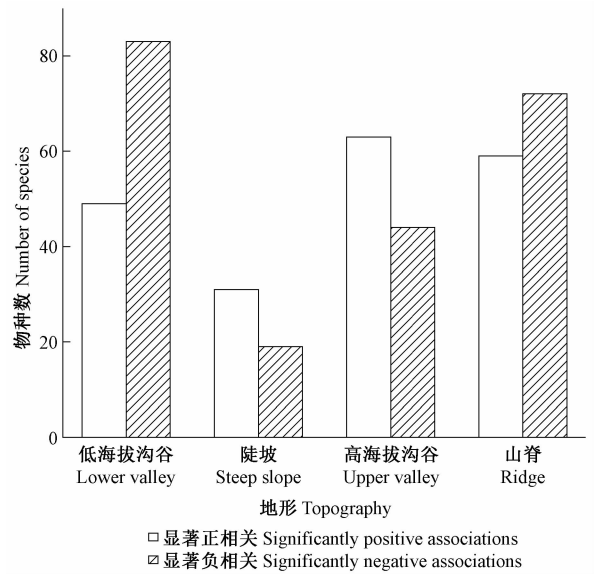


图 4 与 4 类地形显著相关的物种数

Fig. 4 Number of species significantly associated with each of four topographies

表 5 15 种物种与 4 类地形的相关性^①

Tab. 5 Fifteen species associated with four topographies

物种 Species	低海拔沟谷 Lower valley	山坡 Steep slope	高海拔沟谷 Upper valley	山脊 Ridge
白颜树 <i>Gironniera subaequalis</i>	0	0	0	+
柏拉木 <i>Blastus cochinchinensis</i>	+	0	-	0
大叶蒲葵 <i>Livistona saribus</i>	-	0	0	+
变色山槟榔 <i>Pinanga baviensis</i>	+	-	+	-
厚壳桂 <i>Cryptocarya chinensis</i>	0	0	0	0
四蕊三角瓣花 <i>Prismatomeris tetrandra</i>	+	0	0	-
海南韶子 <i>Nephelium topengii</i>	0	0	0	+
油丹 <i>Alseodaphne hainanensis</i>	-	0	0	0
海南蕈树 <i>Altingia obovata</i>	0	0	0	0
九节 <i>Psychotria asiatica</i>	0	0	0	0
红柯 <i>Lithocarpus fenzelianus</i>	-	+	0	0
东方琼楠 <i>Beilschmiedia tungfangensis</i>	-	0	+	-
香果新木姜子 <i>Neolitsea ellipsoidea</i>	-	0	+	0
黄叶树 <i>Xanthophyllum hainanense</i>	-	0	+	-
海南紫荆木 <i>Madhuca hainanensis</i>	-	0	+	-

① +、- 和 0 分别表示物种在 0.05 水平上与地形显著正相关、显著负相关、无显著相关。+, -, and 0 indicates significantly positive, negative association and no significant association at level of 0.05, respectively.

4 讨论

4.1 不同地形间群落结构和物种组成差异

低海拔沟谷面积最小,物种丰富度最高,是由于该地形条件下环境异质性强,拥有足够多的种源,能为更多的物种提供定居的生态位(卜文圣, 2013),但与该生境负相关的物种数最多,表明适宜生存的物种数最少,且低海拔沟谷植株密度较小,这是由于: 1) 低海拔沟谷地势低洼,大量降雨容易形成溪流和沟壑,减少了部分不耐水湿条件植物的生长空间(Daws *et al.*, 2002; Punchi-Manage *et al.*, 2013);

2) 土壤透气性差,抑制了植物生长(郭屹立等, 2016); 3) 光照条件较弱,植物群落接受光合有效辐射的时间可能短于其他地形(Körner, 2007; 黄甫昭等, 2014; 2016)。低海拔沟谷更大比例超大径级植株(DBH ≥ 50 cm)的遮挡,导致群落中下层光照资源更为缺乏,荫生小径级物种由于耐荫性,在该生境中重要值和植株数比例比其他生境大,因而植株平均胸径在 4 类地形中最小。

高海拔沟谷内植株平均胸径最大,可能原因是该地形内水热条件较好,且沟壑数量少于低海拔沟谷,而光照条件优于低海拔沟谷(Körner, 2007; 黄

甫昭等, 2014), 土壤 N, P, K 含量较高(许涵等, 2015b)。整体植株密度最小, 原因是大径级植株比例大, 群落上层郁闭度高, 小型植物生长困难。这也说明光照、土壤、水热资源共同发挥着作用。

在海南热带山地雨林气候区, 水分等限制性资源在非沟谷地形内并不是主要的限制因子(王伟等, 2011)。山脊植株密度各径级都最大, 原因是该地形内光照条件充足, 且该地形凹凸度较大, 从而加大了植株生存的表面积。

陡坡各径级植株密度也明显大于 2 类沟谷地形, 山脊陡坡阳生树种更丰富(Hoover *et al.*, 2012; Lin *et al.*, 2012), 说明在尖峰岭 60 hm² 大样地中光照可能是影响植物分布的另一个关键环境因子。

种-面积曲线显示山脊物种丰富度低, 可能原因是其内部环境异质性较弱, 生境限制性高; 流水或风力作用导致植物种子迁移至沟谷或山下, 山顶种源较少(Jiao *et al.*, 2009; 沈泽昊等, 2004)。而高海拔沟谷物种数目少, 说明该地形内影响群落物种丰富度的环境因子较为复杂。

许涵等(2015b)在该大样地中的研究发现, 有些物种的空间分布与土壤有效氮的养分供给紧密相关, 另外一些物种(如海南蕈树)的空间分布似乎受其他因素影响。这表明尖峰岭 60 hm² 大样地中光照可能是影响其植物分布的限制性环境因子之一, 水热资源、土壤等多种环境因子共同发挥了作用。

4.2 样地木本植物与地形生境的关联性

在地形比较平坦的巴拿马 BCI 50 hm² 大样地(海拔高差 38 m)中, Harms 等(2001)利用 Torus 转换检验, 发现 64% 的常见种至少与 1 类地形存在显著相关。在海拔高差达 151 m 的斯里兰卡 25 hm² Sinharaja 样地, 同样通过 Torus 转换检验, 发现 79% 的物种与至少 1 类地形存在显著相关。在地形复杂的古田山 24 hm² 样地(海拔高差达 268 m), 赖江山(2008)利用 Torus 转换检验, 发现 83.3% 的常见种与地形存在显著相关。王伟等(2011)发现百山祖 5 hm² 样地(海拔高差 123 m)中, 39% 的物种与地形存在显著相关。比较这些样地的地形条件, 可以发现地形越复杂, 物种与地形关联比例越大; 同时样地面积也可能会影响物种生境关联的研究。

本研究应用 Torus 转换检验法对尖峰岭 60 hm² 样地中胸径 ≥ 1 cm 的独立植株且个体数量大于 60 的物种与地形的相关性进行检验, 发现被检验的 230 个物种中, 与地形相关的物种有 203 种, 即高达 88.3% 的物种与至少 1 类地形存在显著相关。尽管尖峰岭样地的海拔高差比古田山样地小, 与

Sinharaja、Lambir 样地相当, 并非地形条件最复杂的样地, 但物种与地形相关比例却大于其他样地, 主要原因可能是尖峰岭样地具有更大的面积, 因而具有更为复杂的地形。植被群落属于原始林, 与次生林相比, 物种经过更长时间的环境适应, 生态位分化更加明显(Letcher *et al.*, 2012; Jiao *et al.*, 2012), 不同物种更多地生存于各自有利的地形条件中, 这导致物种与地形具有更高的相关性。

Torus 转换检验是较为保守的物种生境关联性检验方法, 可以推断大部分尖峰岭热带山地雨林中的常见树种, 具有明显的生境生态位分化特征。

4.3 物种地形关联与物种共存

Harms 等(2001)认为如果某物种与某类生境负相关, 代表该物种不能在该生境中长期生存, 正相关或中性则代表物种能在该生境中长期生存。基于此, Harms 认为 BCI 样地中与沼泽(swamp)生境负相关的物种数虽然最多, 但若 BCI 样地仅由沼泽(swamp)生境组成, 其群落物种减少数占被检测物种总数的比例却很小, 因此生境异质性对 BCI 样地物种多样性维持的贡献率很小。赖江山(2008)据此采用与生境负相关的平均物种数占被检测物种总数的比例评估了古田山样地内物种生境关联对物种共存的贡献, 认为古田山 24 hm² 样地中地形导致的生境异质性对物种共存的贡献率为 19.6%。

本研究采用同样方法, 发现尖峰岭 60 hm² 大样地中地形导致的生境异质性对物种分布与共存贡献率为 23.7%, 说明尖峰岭大样地中地形是影响植物分布的一个重要因素。梁爽(2014)研究该大样地 3 个主要优势种的空间分布, 也发现了相同规律。本研究结果同样具有应用价值, 如在恢复热带山地雨林植被、改造或营建混交林时, 可以根据不同物种对地形的关联性, 在不同的地形条件下选择不同的物种组合。

但是由于本研究在分析中只考虑了地形因素对物种分布的影响, 可能低估了生境异质性在热带雨林中的作用。如果考虑光照、土壤、水分等其他环境因子, 生态位理论或许能更好地解释物种的共存机制。因此, 下一步研究可以继续探索光照、水分、土壤等其他环境因子对群落物种空间分布的影响。

5 结论

本研究以地形因素为主线, 对热带山地雨林木本植物物种多样性的维持机制进行研究, 发现尖峰岭 60 hm² 大样地中不同地形条件下木本植物群落结构及其多样性具有较大差异, 4 类地形显著相关

的物种数明显不同。地形是影响该大样地中植物分布的一个重要因素,其生境异质对物种分布与共存的贡献率为 23.7%,与其他影响因素如光照、水分、土壤等多种环境因子共同发挥作用。大部分热带山地雨林森林群落具有生境特化的特性,本研究结果同样具有其应用价值,如在恢复热带山地雨林植被、改造或营造混交林时,可以根据物种与地形的关联性,在不同的地形条件下选择不同的物种组合,更好地进行群落配置,以达到更大的生态效益和经济效益。

参 考 文 献

- 卜文圣. 2013. 海南岛热带天然林生物多样性与生态系统功能关系的研究. 北京: 中国林业科学研究院博士学位论文.
- (Bu W S. 2013. The relationships between biodiversity and ecosystem functioning in natural tropical forests of Hainan Island, China. Beijing: PhD thesis of Chinese Academy of forestry. [in Chinese])
- 方精云, 李意德, 朱 彪, 等. 2004. 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. 生物多样性, 12(1): 29-43.
- (Fang J Y, Li Y D, Zhu B, et al. 2004. Community structures and species richness in the montane rain forest of Jianfengling, Hainan Island, China. Biodiversity Science, 12(1): 29-43 [in Chinese])
- 官贵权, 程积民, 米湘成, 等. 2007. 古田山常绿阔叶林木本植物与生境的相关性. 中国水土保持科学, 5(3): 79-83.
- (Gong G Q, Cheng J M, Mi X C, et al. 2007. Habitat associations of wood species in the Gutianshan subtropical broad-leaved evergreen forest. Science of Soil and Water Conservation, 5(3): 79-83. [in Chinese])
- 郭屹立, 王 斌, 向悟生, 等. 2016. 喀斯特季节性雨林木本植物胸高断面分布格局及其对地形因子的响应. 生物多样性, 24(1): 30-39.
- (Guo Y L, Wang B, Xiang W S, et al. 2016. Responses of spatial pattern of woody plants' basal area to topographic factors in a tropical karst seasonal rainforest in Nonggang, Guangxi, southern China. Biodiversity Science, 24(1): 30-39. [in Chinese])
- 郭屹立, 王 斌, 向悟生, 等. 2015. 弄岗北热带喀斯特季节性雨林 15 hm² 样地木本植物萌生特征. 生态学杂志, 34(4): 955-961.
- (Guo Y L, Wang B, Xiang W S, et al. 2015. Sprouting characteristics of tree species in the 15-hm² plot of northern tropical seasonal rain forest in Nonggang, Guangxi, Southern China. Chinese Journal of Ecology, 34(4): 955-961. [in Chinese])
- 侯继华, 马克平. 2002. 植物群落物种共存机制的研究进展. 植物生态学报, 26(增刊): 1-8.
- (Hou J H, Ma K P. 2002. On mechanisms of species coexistence in plant communities. Acta Phytoecological Sinica, 26 (Suppl): 1-8. [in Chinese])
- 黄甫昭, 丁 涛, 李先琨, 等. 2016. 弄岗喀斯特季节性雨林不同群落物种多样性随海拔的变化. 生态学报, 36(14): 1-9.
- (Huang F Z, Ding T, Li X K, et al. 2016. Species diversity for various associations along an altitudinal gradient in the Karst seasonal rainforest in Nonggang. Acta Ecologica Sinica, 36(14): 1-9. [in Chinese])
- 黄甫昭, 王 斌, 丁 涛, 等. 2014. 弄岗北热带喀斯特季节性雨林群丛数量分类及与环境的关系. 生物多样性, 22(2): 157-166.
- (Huang F Z, Wang B, Ding T, et al. 2014. Numerical classification of associations in a northern tropical karst seasonal rain forest and the relationships of these associations with environmental factors. Biodiversity Science, 22(2): 157-166. [in Chinese])
- 蒋有绪, 卢俊培. 1991. 中国海南岛尖峰岭热带林生态系统. 北京: 科学出版社, 18-199.
- (Jiang Y X, Lu J P. 1991. Forest Ecosystem of Tropical Forest of Jianfengling Mountain, Hainan Island. Beijing: Science Press, 18-199. [in Chinese])
- 赖江山. 2008. 古田山常绿阔叶林物种生境关联及其对物种共存的贡献. 北京: 中国科学院研究院博士学位论文.
- (Lai J S. 2008. Species habitat associations and species coexistence on evergreen broadleaved forest in Gutianshan, Zhejiang. Beijing: PhD thesis of the Chinese Academy of Sciences. [in Chinese])
- 李意德. 1997. 海南岛尖峰岭热带山地雨林的群落结构特征. 热带亚热带植物学报, 5(1): 18-26.
- (Li Y D. 1997. Community characteristics of tropical mountain rain forest in Jianfengling, Hainan Island. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 5(1): 18-26. [in Chinese])
- 李意德, 陈步峰, 周光益. 2002. 中国海南岛热带森林及其生物多样性保护研究. 中国林业出版社, 37-95.
- (Li Y D, Chen B F, Zhou G Y, et al. 2002. Research and conservation of tropical forest and the biodiversity: a special reference to Hainan Island, China. China Forestry Publishing House, 37-95. [in Chinese])
- 李意德, 方 洪, 罗 文, 等. 2006. 海南尖峰岭国家级保护区青皮林资源与乔木层群落学特征. 林业科学, 42(1): 1-6.
- (Li Y D, Fang H, Luo W, et al. 2006. The resource and community characteristics of *Vatica mangachapoi* forest in Jianfengling National Nature Reserve, Hainan Island. Scientia Sinicae, 42(1): 1-6. [in Chinese])
- 李意德, 许 涵, 罗士寿, 等. 2012. 海南尖峰岭站生物物种数据集//中国生态系统定位观测与研究数据集. 森林生态系统卷. 北京: 中国农业出版社, 330-347.
- (Li Y D, Xu H, Luo T S, et al. 2012. Permanent monitoring and research dataset of Chinese ecosystem: forest ecosystem. Jianfengling Station. Bio-species checklist. Beijing: Chinese Agriculture Press, 330-347. [in Chinese])
- 梁 爽. 2014. 海南尖峰岭热带山地雨林主要优势种空间分布格局研究. 广州: 华南农业大学硕士学位论文.
- (Liang S. 2014. The spatial pattern distribution of main dominant species in tropical montane rainforest of Jianfengling, Hainan Island, China. Guangzhou: MS thesis of South China Agriculture University. [in Chinese])
- 沈泽昊, 吕 楠, 赵 俊. 2004. 山地常绿落叶阔叶混交林种子雨的地形格局. 生态学报, 24(9): 1981-1987.

- (Shen Z H, Lü N, Zhao J. 2004. The topographic pattern of seed rain of a mountain mixed evergreen and deciduous forest community. *Acta Ecologica Sinica*, 24(9): 1981 – 1987. [in Chinese])
- 王 斌, 黄俞淞, 李先琨, 等. 2014. 弄岗北热带喀斯特季节性雨林 15 ha 监测样地的树种组成与空间分布. *生物多样性*, 22(2): 141 – 156.
- (Wang B, Huang Y S, Li X K. *et al.* 2014. Species composition and spatial distribution of a 15 ha northern tropical karst seasonal rain forest dynamics study plot in Nonggang, Guangxi, southern China. *Biodiversity Science*, 22(2): 141 – 156. [in Chinese])
- 王 伟, 骆争荣, 周荣飞, 等. 2011. 百山祖常绿阔叶林木本植物的生境相关性分析. *生物多样性*, 19(2): 134 – 142.
- (Wang W, Luo Z R, Zhou R F, *et al.* 2011. Habitat associations of woody plant species in Baishanzu subtropical broad-leaved evergreen forest. *Biodiversity Science*, 19(2): 134 – 142. [in Chinese])
- 吴裕鹏, 许 涵, 李意德, 等. 2014. 海南尖峰岭热带山地雨林不同空间尺度和径级水平的物种丰富度与个体密度关联. *植物生态学报*, 38(4): 325 – 333.
- (Wu Y P, Xu H, Li Y D, *et al.* 2014. Associations between species richness and individual densities of varying spatial scales and diameter classifications in tropical montane rainforest in Jianfengling, Hainan Island, China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 38(4): 325 – 333. [in Chinese])
- 许 涵, 李意德, 林明献, 等. 2015a. 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. *生物多样性*, 23(2): 192 – 201.
- (Xu H, Li Y D, Lin M X, *et al.* 2015a. Community characteristics of a 60 ha dynamics in the tropical montane forest in Jianfengling, Hainan Island. *Biodiversity Science*, 23(2): 192 – 201. [in Chinese])
- 许 涵, 李意德, 骆士寿, 等. 2015b. 海南尖峰岭热带山地雨林 – 群落特征、树种及其分布格局. 北京: 中国林业出版社, 15 – 48.
- (Xu H, Li Y D, Luo T S, *et al.* 2015b. Jianfengling tropical mountain rain forest dynamic plot: community characteristics, tree species and their distribution patterns. Beijing: China Forestry Publishing House, 15 – 48. [in Chinese])
- 许 涵, 李意德, 骆士寿, 等. 2009. 尖峰岭热带山地雨林不同更新林的群落特征. *林业科学*, 45(1): 14 – 20.
- (Xu H, Li Y D, Luo T S, *et al.* 2009. Community structure characteristics of tropical montane rain forests with different regeneration types in Jianfengling. *Scientia Sinica*, 45(1): 14 – 20. [in Chinese])
- 叶万辉. 2000. 物种多样性与植物群落的维持机制. *生物多样性*, 8(1): 17 – 24.
- (Ye W H. 2000. The maintenance of plant community and its species diversity. *Chinese Biodiversity*, 8(1): 17 – 24. [in Chinese])
- 周 璋, 李意德, 林明献, 等. 2009. 海南岛尖峰岭热带山地雨林区 26 年的气候变化特征 – 光、水和风因子. *生态学报*, 29(3): 1112 – 1120.
- (Zhou Z, Li Y D, Lin M X, *et al.* 2009. Climate changes characteristics over tropical mountain rainforest in Jianfengling during the recent 26 years: radiation, moisture, and wind factors. *Acta Ecologica Sinica*, 29(3): 1112 – 1120. [in Chinese])
- Austrheim G. 2002. Plant diversity patterns in semi-natural grasslands along an elevational gradient in southern Norway. *Plant Ecology*, 161(2): 193 – 205.
- Bezdek J C. 1981. Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms. New York: Plenum Press, 15 – 235.
- Chave J. 2004. Neutral theory and community ecology. *Ecology Letters*, 7(3): 241 – 253.
- Chen L, M X C, Comita L S, *et al.* 2010. Community-level consequences of density dependence and habitat association in a subtropical broad-leaved forest. *Ecology Letters*, 13(6): 695 – 704.
- Comita L S, Condit R, Hubbell S P. 2007. Developmental changes in habitat associations of tropical trees. *Journal of Ecology*, 95(3): 482 – 492.
- Condit R, Ashton P, Bunyavejehwin S, *et al.* 2006. The importance of demographic niches to tree diversity. *Science*, 313(5783): 98 – 101.
- Daws M I, Mullins C E, Burslem D F R P, *et al.* 2002. Topographic position affects the water regime in a semideciduous tropical forest in Panama. *Plant and Soil*, 238(1): 79 – 89.
- Debski I, Burslem D F R P, Palmiotto P A, *et al.* 2002. Habitat preferences of *Aporosa* in two Malaysian forests: implications for abundance and coexistence. *Ecology*, 83(7): 2005 – 2018.
- Grytnes J A, Heegaard E, Ihlen P G. 2006. Species richness of vascular plants, bryophytes, and lichens along an altitudinal gradient in western Norway. *Acta Oecologica*, 29(3): 241 – 246.
- Gunatilleke C V S, Gunatilleke I, Esufali S, *et al.* 2006. Species-habitat associations in a Sri Lankan *Dipterocarp* forest. *Journal of Tropical Ecology*, 22(4): 371 – 384.
- Harms K E, Condit R, Hubbell S P, *et al.* 2001. Habitat associations of trees and shrubs in a 50-ha Neotropical forest plot. *Journal of Ecology*, 89(6): 947 – 959.
- Hoover C M, Leak W B, Keel B G. 2012. Benchmark carbon stocks from old-growth forests in northern New England, USA. *Forest Ecology and Management*, 266: 108 – 114.
- Jiao J, Zhang Z, Bai W, *et al.* 2012. Assessing the ecological success of restoration by afforestation on the Chinese Loess Plateau. *Restoration Ecology*, 20(2): 240 – 249.
- Jiao J, Zou H, Jia Y, *et al.* 2009. Research progress on the effects of soil erosion on vegetation. *Acta Ecologica Sinica*, 29(2): 85 – 91.
- Körner C. 2007. The use of ‘altitude’ in ecological research. *Trends in Ecology and Evolution*, 22(11): 569 – 574.
- Lai J, Mi X, Ren H, *et al.* 2009. Species-habitat associations change in a subtropical forest of China. *Journal of Vegetation Science*, 20(3): 415 – 423.
- Lan G, Hu Y, Cao M, *et al.* 2011. Topography related spatial distribution of dominant tree species in a tropical seasonal rain forest in China. *Forest Ecology and Management*, 262(8): 1507 – 1513.
- Letcher S G, Chazdon R L, Andrade A C S, *et al.* 2012. Phylogenetic community structure during succession: evidence from three Neotropical forest sites. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 14(2): 79 – 87.

- Lin D, Lai J, Muller-Landau H C, *et al.* 2012. Topographic variation in aboveground biomass in a subtropical evergreen broad-leaved forest in China. *Plos One*, 7(10): e48244.
- Mujuru L, Kundhlande A. 2007. Small-scale vegetation structure and composition of chirinda forest, southeast Zimbabwe. *African Journal of Ecology*, 45(4): 624 – 632.
- Palmer M W, Dixon P M. 1990. Small-scale environmental heterogeneity and the analysis of species distributions along gradients. *Journal of Vegetation Science*, 1(1): 57 – 65.
- Punchi-Manage R, Getzin S, Wiegand T, *et al.* 2013. Effects of topography on structuring local species assemblages in a Sri Lankan mixed dipterocarp forest. *Journal of Ecology*, 101(1): 149 – 160.
- Queenborough S A, Burslem D F R P, Garwood N C, *et al.* 2007. Habitat niche partitioning by 16 species of Myristicaceae in Amazonian Ecuador. *Plant Ecology*, 192(2): 193 – 207.
- Shea K, Roxburgh S H, Rauschert E S J. 2004. Moving from pattern to process: coexistence mechanisms under intermediate disturbance regimes. *Ecology Letters*, 7(6): 491 – 508.
- Swanson F J, Kratz T K, Caine N, *et al.* 1988. Landform effects on ecosystem patterns and processes. *Bioscience*, 38(2): 92 – 98.
- Wang Z, Ye W, Cao H, *et al.* 2009. Species-topography association in a species-rich subtropical forest of China. *Basic and Applied Ecology*, 10(7): 648 – 655.
- Woodward F I, McKee I F. 1991. Vegetation and climate. *Environment International*, 17(6): 535 – 546.
- Xu H, Detto M, Fang S, *et al.* 2015. Habitat hotspots of common and rare tropical species along climatic and edaphic gradients. *Journal of Ecology*, 103(5): 1325 – 1333.

(责任编辑 于静娴)

《温带林业研究》征订征稿启事

《温带林业研究》是由国家林业局主管,国家林业局哈尔滨林业机械研究所主办的林业学术期刊,立足生态修复与建设的林业发展模式,服务生态林业和民生林业发展。面向国内外有关科研院所、高等院校、企事业单位的林业科技工作者和管理工作者等。中国林业科学研究院院长、中国工程院院士张守攻担任本刊顾问,副院长孟平研究员任主编,北京林业大学副校长骆有庆教授、中国科学院应用生态研究所代力民研究员和《林业科学》副主编张君颖研究员任副主编,中国林业科学研究院林业研究所王军辉研究员任常务副主编。

期刊主要内容有森林保护、森林生态、森林培育、林木遗传育种、森林经营、森林经理、林产化工、生物多样性保护、森林土壤、野生动植物保护与利用、园林植物与观赏园艺、林业遥感、林业可持续发展、林业生物技术、林业劳动安全、林业经济及林业政策研究等方面的研究成果。以学术论文、研究报告、综述为主,还设有学术问题讨论、研究简报、林业劳动安全等栏目。为立足于高平台为广大读者提供更加规范、更加完善的林业类学术论文,带着创办高水平林业学术期刊的宏愿,我们诚挚地向林业及相关行业的专家、学者征稿,真诚期待您惠赐佳作!

本刊为季刊,大16开本,64页,公开发行,国际连续出版物号 ISSN 2096 – 4900;国内统一刊号 CN 23 – 1603/S;国内邮发代号:14 – 33。单价10元/册,全年40元。电话/传真:0451 – 86655192,电子邮箱:wdlyyj_hlj@163.com,投稿请登录《温带林业研究》期刊网站:www.wdlyyj.cn,地址:黑龙江省哈尔滨市南岗区学府路374号,国家林业局哈尔滨林业机械研究所《温带林业研究》编辑部,邮政编码:150086。