

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201606018

兰斯安, 宋敏, 曾馥平, 等. 喀斯特常绿落叶阔叶混交林木本植物组成特征 [J]. 广西植物, 2016, 36(10):1156-1164  
LAN SA, SONG M, ZENG FP, et al. Species composition of woody plants in evergreen-deciduous broad-leaved karst forests, Southwest China [J]. Guihaia, 2016, 36(10):1156-1164

## 喀斯特常绿落叶阔叶混交林木本植物组成特征

兰斯安<sup>1,2</sup>, 宋敏<sup>1,2,3</sup>, 曾馥平<sup>1,2\*</sup>, 杜虎<sup>1,2</sup>,  
彭晚霞<sup>1,2</sup>, 覃文更<sup>4</sup>, 何铁光<sup>5</sup>

(1. 中国科学院亚热带农业生态研究所 亚热带农业生态过程重点实验室, 长沙 410125; 2. 中国科学院环江喀斯特生态系统观测研究站, 广西 环江 547100; 3. 湖南农业大学 农学院, 长沙 410128; 4. 广西壮族自治区木论国家级自然保护区管理局, 广西 环江 547200; 5. 广西壮族自治区农业科学院 农业资源与环境研究所, 南宁 530007)

**摘要:** 喀斯特常绿落叶阔叶混交林是我国西南喀斯特地区分布的典型森林植被类型之一, 由于富钙偏碱的地球化学背景及多样性的生境类型, 该森林具有群落结构多样、树种组成丰富、优势物种突出等特点, 基于大型动态监测样地的群落特征分析是揭示其生物多样性维持机制的基础。该研究在木论国家自然保护区建立了 25 hm<sup>2</sup> 的样地, 依照 CTFS 全球森林生物多样性监测规范, 定位并调查了样地内每一棵胸径 ≥ 1 cm 的木本植物。结果表明: (1) 样地内有监测树种 254 种, 隶属于 64 科 161 属; 独立个体总数为 110 370 株 (含分枝为 144 679 株), 平均胸径为 4.14 cm。 (2) 个体数最多的 15 个树种的个体数之和占到总个体数的 78.46%, 稀有种有 100 种, 占总树种数的 39.37%。 (3) 群落结构稳定且更新良好, 木本植物整体径级结构呈倒“J”形。 (4) 样地内重要值 ≥ 1 的树种有 26 种, 占总树种数量 10.24%; 重要值排名前三的物种分别是小果厚壳桂、梾子皮和香叶树。 (5) 样地中共有萌生木本植物 204 种 34 309 株, 分属于 127 属 51 科, 分别占样地总物种、个体数量、属及科数的 80.32%、14.42%、78.88% 和 79.69%。此结果表明木论喀斯特常绿落叶阔叶混交林物种组成丰富、群落成熟稳定、更新良好, 反映了亚热带非地带性喀斯特顶极群落常绿落叶阔叶混交林的典型特征。

**关键词:** 物种组成, 径级结构, 动态监测样地, 常绿落叶阔叶混交林, 喀斯特

**中图分类号:** Q948.15 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2016)10-1156-09

## Species composition of woody plants in evergreen-deciduous broad-leaved karst forests, Southwest China

LAN Si-An<sup>1,2</sup>, SONG Min<sup>1,2,3</sup>, ZENG Fu-Ping<sup>1,2\*</sup>, DU Hu<sup>1,2</sup>,  
PENG Wan-Xia<sup>1,2</sup>, QIN Wen-Geng<sup>4</sup>, HE Tie-Guang<sup>5</sup>

(1. Key Laboratory of Agro-ecological Processes in Subtropical Region, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China; 2. Huanjiang Observation and Research Station of Karst Ecosystem, Chinese Academy of Sciences, Huanjiang 547100, Guangxi, China; 3. College of Agriculture, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 4. Administrative Bureau of Mulun National Nature Reserve, Guangxi Zhuang Autonomous Region, Huanjiang 547200, Guangxi, China; 5. Agricultural Resources and Environment Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China)

收稿日期: 2016-06-21 修回日期: 2016-10-12

**基金项目:** 国家重点研发计划项目 (2016YFC0502405); 中国科学院科技服务网络计划“STS”项目 (KFJ-EW-STS-092); 国家自然科学基金 (31370485, 31370623, 31400412, 31460135); 广西科技惠民项目 (桂科转 1599001-6); 广西特聘专家项目 [Supported by the National Key Research and Development Program(2016YFC0502405); the Program of Science and Technology Service Network Initiative (STS for short), Chinese Academy of Sciences (KFJ-EW-STS-092); the National Natural Science Foundation of China (31370485, 31370623, 31400412, 31460135); Guangxi Provincial Benefiting Program of Science and Technology (1599001-6); Guangxi Provincial Program of Distinguished Expert in China]。

**作者简介:** 兰斯安 (1992-), 硕士研究生, 主要从事森林生态学方面的研究, (E-mail) 380457026@qq.com。

\* **通讯作者:** 曾馥平, 研究员, 硕士研究生导师, 主要从事森林生态学及恢复生态学研究, (E-mail) fpzeng@isa.ac.cn。

**Abstract:** Evergreen and deciduous broad-leaved mixed karst forest (EDBLKF for short), locating in the southwestern region of subtropical limestone karst region, China, is one of the most unique types of karst forests in the world. The limestone karst forests in this region display different characteristics such as various community structures, high species richness, abundant endemic biological species, etc. owing to the special limestone soils of abundant Ca and higher pH value, the various heterogeneous habitats. The permanent plot-based approach to community analysis is fundamentally important for revealing mechanisms of biodiversity maintenance. In this study, community structure and species composition were investigated and analyzed using a 25 hm<sup>2</sup> permanent plot in Mulun National Nature Reserve, Guangxi Zhuang Autonomous Region. Based on the standard field protocol of the Center for Tropical Forest Sciences (CTFS), all free-standing individuals with DBH (diameter at breast height)  $\geq 1$  cm were tagged, mapped and identified to species in this plot. The results were as follows: (1) A total of 110 370 individual trees (144 679 individuals with branches), belonging to 254 species, 161 genera and 64 families were recorded in the plot. (2) The top 15 species with most individuals accounted for 78.46% of the total individuals in the plot. One hundred species were considered to be rare species representing by no more than one tree per hectare, they accounted for 39.37% of the total species. (3) The DBH size-class structure of all species in the plot exhibited a reverse J-shaped pattern, indicating good regeneration across the community. (4) There were 26 species with important value  $\geq 1$ , which accounted for 10.24% of the total individuals in the plot. The three most dominant species were *Cryptocarya microcarpa*, *Itoa orientalis* and *Lindera communis*. (5) There were total 34 309 woody plants of 204 sprouting species, belonging to 127 genera and 51 families in the plot, accounting for 80.32%, 14.42%, 78.88% and 79.69% of the total number of individuals, species, genera and families, respectively. In conclusion, with rich species composition and a mature community structure, the EDBLKF in Mulun region is typical characteristic of this vegetation type.

**Key words:** species composition, size class structure, dynamic plot, evergreen and deciduous broad-leaved mixed forest, karst

我国作为喀斯特大国,喀斯特地区面积约占国土面积的 1/3。其中,西南喀斯特地区是全球三大喀斯特集中分布区中面积最大、岩溶发育最强烈的地区,也是石漠化最严重和生态环境最脆弱的地区之一(袁道先和章程,2008)。喀斯特木论国家级自然保护区位于广西环江毛南族自治县西北部,与贵州茂兰国家级自然保护区连片构成当今世界上分布面积最大、保护最好、原生性最强的喀斯特非地带性植被类型—亚热带喀斯特常绿落叶阔叶混交林(郑颖吾,1999)。受地球内动力、强烈的地质运动、高温多雨且分布不均、碳酸盐岩溶蚀性强、水文二维结构明显以及其适生植物具有嗜钙性、耐旱性和石生性等限制特点的综合影响,生境和植被具有高度异质性,群落结构多样、树种组成丰富(袁道先和章程,2008;彭晚霞等,2011)。原始生境下的喀斯特森林可作为石漠区生态重建工程中的生态参考系统,并能提供丰富的种源。因而对我国西南喀斯特顶级森林群落进行植物资源清查、生物多样性维持机制等研究具有重要意义。

喀斯特森林承载着防止石漠化、调蓄表层岩溶带、碳库等多项生态功能重任,近年来越来越受到学

术界和各级政府有关部门的重视(钟军弟等,2012;袁铁象等,2014;郭柯等,2011)。不同学者针对喀斯特地区的群落的分布格局、生境异质性、生物多样性空间分布、群落演替序列以及生态系统功能等方面开展了探索性的研究工作,并取得了一定的进展(彭晚霞等,2011;袁铁象等,2014;宋同清等,2010;曾馥平等,2007;刘攀峰等,2008;周应书等,2008;侯满福等,2011;宋同清等,2009)。然而,由于喀斯特山地野外调查难度较大,研究工作更容易受到尺度、时间、地点及方法等限制,迄今为止喀斯特地区相关资料仍然较匮乏,以往通过短期、小面积调查数据而取得的初步成果也亟需在更大时空尺度上得到验证。

限于监测条件和数据积累缺乏等原因,以大型固定样地为主的森林生物多样性监测方法受到越来越多的关注,为人们了解生物多样性的变化及其影响,研究物种共存机制等提供了翔实的数据(马克平,2008)。全球第一个大型固定森林监测样地于1975年在巴拿马的巴洛克罗拉多岛建立(Anderson et al,2015),1980年美国 Smithsonian 研究院热带森林科学研究中心(Center for Tropical Forest Science, CTFS)发起了全球森林生物多样性监测网络的建

设,经过多年努力,该网络已在全球 24 个国家和地区建立了 63 个大型固定森林监测样地 (<http://www.ctfs.si.edu>)。大样地的建设有效监测了物种的时空分布,验证和发展了物种共存机制的诸多理论和假说,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,在生态学领域产生了很大影响 (Hubbell, 2006; Nathan, 2006)。中国森林生物多样性监测网络 (Chinese Forest Biodiversity Monitoring Network, CForBio) 由中国科学院生物多样性委员会于 2004 年启动建设,是 CTFS 全球森林生物多样性监测网络的重要组成部分。截至 2015 年,CForBio 森林监测网络包括了 15 个大型固定监测样地,涵盖了不同纬度带的森林植被类型,包括针阔混交林、落叶阔叶林、常绿落叶阔叶混交林、常绿阔叶林以及热带雨林 (<http://www.cfbiodiv.org/index.asp>)。

本研究参照 CTFS 大样地建设与监测技术规范,于 2014 年在广西木论国家级自然保护区亚热带常绿落叶阔叶混交林中建成 25 hm<sup>2</sup> 森林动态监测样地。该样地是亚热带喀斯特常绿落叶阔叶混交林中建立的首个大型动态监测样地,也是目前全球喀斯特地区面积最大的一块固定森林监测样地,是对中国森林生物多样性动态监测样地和我国森林生态系统监测网络的有益补充。木论喀斯特常绿落叶阔叶林 25 hm<sup>2</sup> 样地的建立,为喀斯特森林生物多样性研究提供丰富、翔实的科学数据支撑。本文基于木论样地的植被调查数据,从树种组成、物种多度、径级结构、优势物种、萌生物多样性等方面进行分析,以期对亚热带喀斯特常绿落叶阔叶混交林区生物多样性的保育与管理提供依据。

## 1 研究区自然概况

木论国家自然保护区 (25°07'01"~25°12'22" N, 107°54'01"~108°05'51" E) 位于广西环江毛南族自治县的西北部 (图 1), 东西宽 19.80 km, 南北长 10.75 km, 林区总面积 89.69 km<sup>2</sup>, 属于中亚热带石灰岩区常绿落叶阔叶混交林生态系统, 是我国生物区系相汇交错区和交接过渡的中心, 生境异质性极高, 区系成分复杂, 生物种类丰富, 生态环境脆弱, 是目前世界上喀斯特地区保存最完好、面积最大的原生林。森林覆盖率达 94.8%, 其典型景观单元为峰丛洼地。研究区属中亚热带季风气候, 年均气温 19.3 °C, 极端最高温 36

°C, 极端最低温 -5 °C, 1 月平均 3.4~8.7° C, 7 月平均 23.0~26.7 °C, ≥10 °C 年活动积温 6 260 °C, 无霜期为 310 d。年均日照 1451.1 h, 占 1 年可照时数 (4 422 h) 的 32.8%, 月平均日照以 7 月份最多 (190.7 h), 2 月份最少 (61.5 h), 年均降水量 1 529.2 mm (海拔 420 m), 降水集中在 4-8 月, 占全年降水量的 73.7%, 林内阴湿, 年均相对湿度 79%, 干燥度为 0.69, 湿润度为 1.46 ( $K>1.0$ )。基岩裸露达 80%~90%, 土被面积不足 20%, 土壤发育于白云岩、石灰岩的石灰土, 发育不全, 较年幼, 土层浅薄, 枯枝落叶较丰富。该地区的植被属于中亚热带石灰岩常绿落叶阔叶混交林, 属隐域性喀斯特森林植被顶极群落类型, 从洼地、谷地到山顶均有分布。植被成层现象比较明显, 乔木、灌木、草本 3 个层次较为完整, 乔木层通常可分为 3 个亚层。该区森林植被连片面积较大、保存较完整, 原生性强 (郑颖吾, 1999)。

## 2 研究方法

### 2.1 样地设置和调查方法

木论 25 hm<sup>2</sup> 样地位于木论自然保护区内, 地理位置 25°8' N、108°0' E。该区域为典型喀斯特常绿落叶阔叶林分布区; 喀斯特峰丛洼地地貌, 周围群峰林立, 峭壁可高达百米。自 2013 年初经过多次实地勘察, 反复测量并调整样地边框, 最终确定样地为正方形, 东西、南北长均为 500 m。样地海拔在 442.6~651.4 m 之间, 最大高差达 208.8 m。样地内部包括了两个小型山峰和一个较完整的洼地; 坡度范围 0.12°~66.97°, 平均坡度 26.8°。整个样地地形多变, 生境复杂, 包括了从山顶、山坡到洼地等系列完整的“峰丛-洼地”生境类型 (图 1), 岩石裸露率达 60% 以上, 绝大部分地段土层厚度不足 30 cm。

依照 CTFS 全球森林生物多样性监测规范 (Condit et al, 1995), 采用全站仪和 GPS 基站相结合的测量方法将 25 hm<sup>2</sup> 样地划分成 625 个 20 m × 20 m 样方, 样方 4 个角用水泥桩作永久标记。每个 20 m × 20 m 样方又细分为 4 个 10 m × 10 m 小样方。野外调查以 20 m × 20 m 样方为单位对每个树种个体进行编号并挂牌, 测量样方内胸径 ≥ 1 cm 的树种个体 (及分枝、萌枝), 记录其树种名称、胸径、坐标及生长状态等信息。于 2014 年完成样地第一次植被调查。

### 2.2 数据分析

基于野外调查数据, 分别按 1、10 和 30 cm 起测

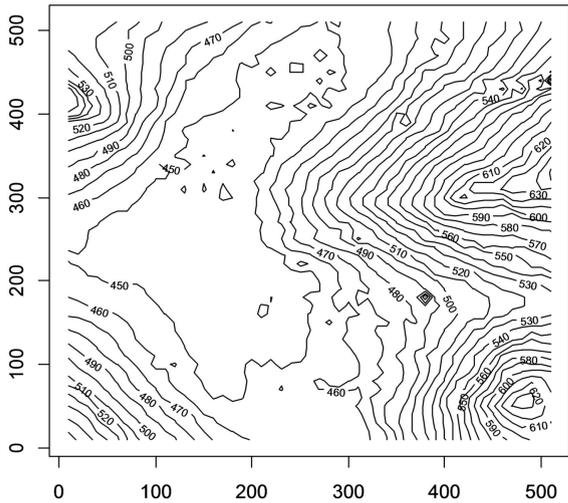


图1 木论样地等高线图 图中的数字为海拔(单位:米)  
Fig. 1 Contour map of Mulun forest plot  
Numbers in the contour map are elevation (Unit: m)

径级统计大样地科、属、种、个体多度等物种组成情况,并计算不同起测径级范围单位面积内( $\text{hm}^2$ )的科、属、种、个体多度。在统计物种多度时,按照物种个体多度,分别统计个体多度 $\geq 1000$ 株 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 和个体多度 $< 1$ 株 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 的物种数量。

物种重要值(IV)计算公式: $IV = (RF + RD + RA)/3$ 。式中,RF为相对频度,RD为相对显著度,RA为相对多度。根据物种的重要值确定大样地中的优势种。

根据野外调查数据中物种萌生情况,分别按1、10和30 cm起测径级统计大样地萌生物种的科、属、种、个体多度和胸高断面积,并计算不同起测径级范围萌生物种的科、属、种、个体多度占相应起测径级范围所有物种科、属、种、个体多度的比例。计算相对频度时的单位样方面积为 $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ ,计算相对多度时仅统计了独立个体的数量,而计算相对胸高断面积时包括了分枝和萌枝的断面积(兰国玉,2008)。

### 2.3 数据处理

采用3.0.0软件(R Core Team,2013)和Excel 2013对数据进行统计分析与制图。

## 3 结果与分析

### 3.1 树种组成分析

样地具有较高的物种多样性,在木论国家级自然

保护区 $25 \text{ hm}^2$ 固定监测样地中,共有木本植物254种(144 679株),分属161属64科(部分物种在鉴定中),其中以10 cm为起测径级的木本植物182种12 765株,分属124属51科;以30 cm为起测径级的木本植物53种258株,分属于46属24科(表1)。以1 cm为起测径级时,样地内平均每公顷木本植物为124种,个体数量为 $5\,789$ 株 $\cdot \text{hm}^{-2}$ ;以10 cm为起测径级时,平均每公顷木本植物为59种,个体数量为 $2\,437$ 株 $\cdot \text{hm}^{-2}$ ;以30 cm为起测径级时,平均每公顷木本植物28种,个体数量 $10$ 株 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 。样地内所有物种胸高断面积为 $424.99 \text{ m}^2$ ,平均每公顷胸高断面积为 $16.99 \text{ m}^2$ ;以10 cm为起测径级时的胸高断面积为 $391.82 \text{ m}^2$ ,平均每公顷胸高断面积为 $15.67 \text{ m}^2$ ;以30 cm为起测径级时的胸高断面积为 $337.07 \text{ m}^2$ ,平均每公顷胸高断面积为 $13.48 \text{ m}^2$ (表1)。

### 3.2 径级结构

木论样地内所有个体的总径级分布明显呈现倒“J”形,即小径级个体数最多,随着胸径等级的增加个体数量逐渐下降(图2)。平均胸径为 $4.14 \text{ cm}$ ,最大胸径为 $115.12 \text{ cm}$ 。其中,胸径 $1\sim 3 \text{ cm}$ 的个体数 $71\,884$ 株,占总个体数的 $49.67\%$ ;  $1\sim 15 \text{ cm}$ 的有 $140\,050$ 株,占总个体数的 $69.77\%$ ;  $10 \text{ cm}$ 以上有 $12\,765$ 株,占总个体数的 $8.82\%$ ;  $20 \text{ cm}$ 以上有 $1\,728$ 株,占总个体数的 $1.191\%$ ;  $30 \text{ cm}$ 以上仅有 $258$ 株,占总个体数的 $0.12\%$ 。胸径大于 $50 \text{ cm}$ 的仅 $10$ 株。

### 3.3 物种多度格局

样地内个体数量超过 $1000$ 的物种有 $35$ 种,占样地所有物种数的 $13.78\%$ ,样地内个体数量超过 $2000$ 的物种有 $15$ 种,占样地所有物种数的 $5.91\%$ (表2),但个体数量之和占样地总个体数量的 $78.46\%$ 。在这 $254$ 个物种中,个体数量超过 $10000$ 的物种仅有小果厚壳桂(*Cryptocarya microcarpa*)1种,个体数量超过 $5000$ 的物种有 $2$ 种:小果厚壳桂和香叶树(*Lindera communis*),个体数量为 $2000\sim 5000$ 的物种有 $13$ 种,而个体数量为 $1000\sim 1999$ 的物种有 $20$ 种。

按照Hubbell(2006)关于稀有种的定义,平均每公顷个体数少于 $1$ 株的种被认为是稀有种。据此定义,木论大样地内有 $100$ 种稀有物种,占物种总数的 $39.37\%$ ,但个体数量仅占总个体数量的 $0.47\%$ 。其中,个体数量为 $1$ 的物种有 $25$ 种,分别占物种总数及稀有种的 $9.84\%$ 和 $25\%$ 。

从图3可以看出,每个物种在多少个样方中出

表 1 物种组成  
Table 1 Species composition

项目 Item	1 cm 为起测 径级 1 cm as the minimum measured diameter	10 cm 为起 测径 10 cm as the minimum measured diameter	30 cm 为起 测径级 30 cm as the minimum measured diameter
科数 Number of families	64	51	24
每公顷科数 Number of families per hectare	36	25	9
属数 Number of genera	161	124	46
每公顷属数 Number of genera per hectare	81	60	11
种数 Number of species	254	182	53
每公顷种数 Number of species per hectare	124	59	28
个体数 Number of individuals	144 679	12 765	258
每公顷个体数 Number of individuals per hectare	5 788.88	1 937.44	10.32
胸高断面面积 Basal area (m <sup>2</sup> )	424.99	391.82	337.07
每公顷胸高断面面积 Basal area per hectare (m <sup>2</sup> · hm <sup>-2</sup> )	16.99	15.67	13.48

表 2 样地内个体数量大于 2 000 的树种多度  
Table 2 Richness of woody plant whose individuals  
is higher than 2 000 in plot

序号 Rank	物种 Species	多度 Richness
1	小果厚壳桂 <i>Cryptocarya microcarpa</i>	36 365
2	香叶树 <i>Lindera communis</i>	6 957
3	滇丁香 <i>Luculia intermedia</i>	4 271
4	火棘 <i>Pyracantha fortuneana</i>	3 963
5	广西海桐 <i>Pittosporum kwangsiense</i>	3 623
6	子楝树 <i>Decaspermum gracilentum</i>	3 524
7	椴子皮 <i>Itoa orientalis</i>	3 449
8	罗伞 <i>Brassaiopsis glomerulata</i>	3 441
9	齿叶黄皮 <i>Clausena dunniana</i>	3 303
10	长管越南茜 <i>Rubrovietnamia aristata</i>	3 205
11	小叶山柿 <i>Diospyros dumetorum</i>	3 119
12	圆果化香树 <i>Platycaarya longipes</i>	2 689
13	密花树 <i>Rapanea neriiifolia</i>	2 600
14	青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i>	2 155
15	黄梨木 <i>Boniodendron minus</i>	2 145

453 个样方中。在 300 个以上样方中均有出现的物种共有 13 种。

### 3.4 优势物种

样地内重要值  $\geq 1$  的树种有 26 种(表 3), 它们占总树种数量的 10.24% 占样地内总重要值的 57.95%; 些物种的多度与胸高断面面积分别占样地总多度与总胸高断面面积的 67.52% 和 66.79%。在所有物种中, 小果厚壳桂的重要值最高, 达 15.52, 其相对多度、相对优势度也最高, 并明显高于其他物种, 这在表中也有所体现。重要值排名第 2 和第 3 的分别椴子皮和香叶树。重要值较大的物种多为个体数量较多的物种。

### 3.5 萌生物种多样性

在木论国家级自然保护区 25 hm<sup>2</sup> 固定监测样地中, 共含有木本植物萌生个体 34 309 株, 属 204 种 127 属 51 科。其中, 以 10 cm 为起测径级的萌生木本植物 105 种, 分属于 67 属 30 科, 共计 1 016 株; 以 30 cm 为起测径级的萌生木本植物 8 种, 分属于 8 属和 8 科, 共计 14 株。

尽管所有萌生个体仅占样地总个体数量的

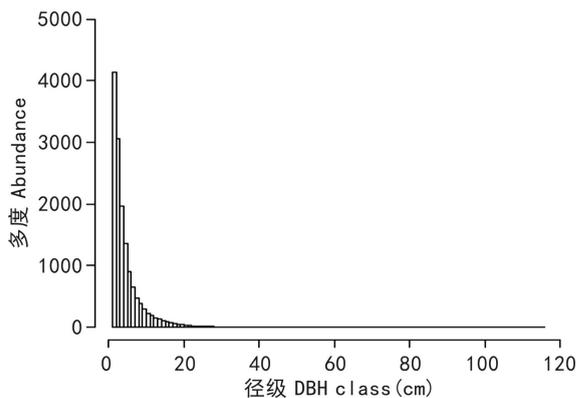


图 2 木论样地的全部树种径级分布图

Fig. 2 Size-class distribution of all tree species in the Mulun forest plot

现, 即物种的相对频度均呈 L 型分布。出现样方最多的物种为香叶树, 在 479 个样方中均有出现。第 2、第 3 位为小果厚壳桂和椴子皮分别出现在 462 和

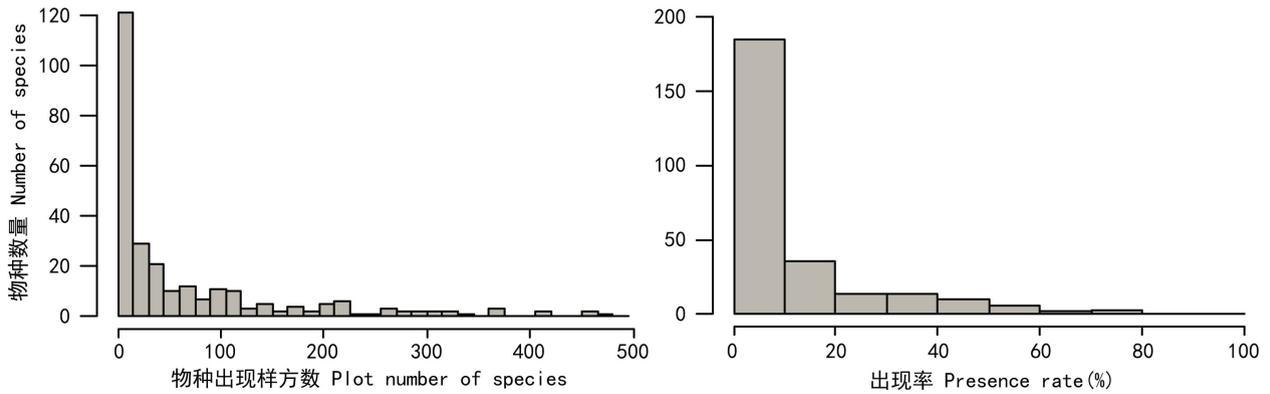


图3 所有样方内物种出现数和物种相对频度

Fig. 3 Number of species presence in all plots and relative frequency

14.42%, 但萌生物种数则超过了总物种数的 80%, 而这些物种所属科、属数分别高达总数的 79.69% 和 78.88%。样地中所有以 10 cm 为起测径级的物种中, 有超过 1/3 的物种出现萌生现象, 这些物种所属科、属数分别占总数的 46.88% 和 41.62%; 样地中所有以 30 cm 为起测径级的物种中, 有 3.15% 的物种出现萌生现象, 这些物种所属科、属数分别占总数的 12.5% 和 4.88%。然而, 3 个不同起测径级范围的萌生物种胸高断面面积均较低, 占相应起测径级范围内总胸高断面面积的比例均不足 10% (表 4)。

## 4 讨论

研究表明, 木论国家级自然保护区 25 hm<sup>2</sup> 常绿落叶阔叶混交林固定监测样地物种多度高于我国长白山阔叶红松林 25 hm<sup>2</sup> 样地 (52 种) (郝占庆等, 2008)、东灵山暖温带落叶阔叶次生林 20 hm<sup>2</sup> 样地 (58 种) (刘海丰等, 2011)、古田山中亚热带常绿阔叶林 24 hm<sup>2</sup> 样地 (159 种) (祝燕等, 2008)、鼎湖山南亚热带常绿阔叶林 20 hm<sup>2</sup> 样地 (210 种) (叶万辉等, 2008)、弄岗北热带喀斯特季节性雨林 15 hm<sup>2</sup> 样地 (223 种) (王斌等, 2013)、八大公山中亚热带山地常绿落叶阔叶混交林 25 hm<sup>2</sup> 样地 (238 种) (卢志军等, 2013), 但少于西双版纳热带森林 20 hm<sup>2</sup> 样地 (468 种) (兰国玉等, 2008) 和海南尖峰岭热带山地雨林 60 hm<sup>2</sup> 样地 (290 种) (许涵等, 2015)。

在单位面积 (hm<sup>2</sup>) 物种数量上, 木论样地同样高于长白山阔叶红松林 25 hm<sup>2</sup> 样地 (25 hm<sup>2</sup> 物种数仅 52 种) (郝占庆等, 2008)、波多黎各的热带雨林

16 hm<sup>2</sup> 样地 (77.6 种) (杨庆松等, 2011), 而低于西双版纳热带森林 20 hm<sup>2</sup> 样地 (216.5 种) (兰国玉等, 2008)。

木论大样地有较多稀有树种, 占总树种数的 39.37%; 与其他森林监测样地相比, 木论稀有种比例大于长白山阔叶红松林 25 hm<sup>2</sup> 样地 (34.6%) (郝占庆等, 2008)、天童山中亚热带常绿阔叶林 20 hm<sup>2</sup> 样地 (36.2%) (杨庆松等, 2011)、古田山中亚热带常绿阔叶林 24 hm<sup>2</sup> 样地 (37.1%) (祝燕等, 2008), 也大于同为喀斯特森林的弄岗北热带喀斯特季节性雨林 15 hm<sup>2</sup> 样地 (33.63%) (王斌等, 2013), 而小于鼎湖山南亚热带常绿阔叶林 20 hm<sup>2</sup> 样地 (52.38%) (叶万辉等, 2008) 和西双版纳热带雨林 20 hm<sup>2</sup> 样地 (49.14%) (兰国玉等, 2008)。

从样地总物种数及单位面积物种数上看, 木论保护区常绿落叶阔叶混交林样地均高于温带样地, 而低于热带雨林或季节雨林样地, 这与物种数量随纬度的升高而降低相符合。研究也发现, 木论常绿落叶阔叶混交林样地物种数量与同为亚热带的古田山 (祝燕等, 2008) 和鼎湖山 (叶万辉等, 2008) 相比同样较高, 这可能与样地建立地点的地形有关。复杂的地形形成多样的微生境, 提供更多生态位, 必然会容纳更多的物种种类。此外, 较高的稀有种比例也证实了上述说法, 成就了其较高的物种多度。另外, 由于低温等特殊环境, 较多落叶物种出现, 从而使这一区域的物种多样性得到了补充和丰富。

木论森林群落总径级结构呈倒“J”形, 表明总体上群落更新状态良好。木论大样地树种平均 DBH 较小 (4.14 cm), 小于大部分国内大样地 (古田

表3 木论样地重要值 $\geq 1$ 的物种Table 3 Species with the important value  $\geq 1$  in the Mulun forest dynamic plot

物种 Species	相对 多度 Relative abundance	相对 显著度 Relative significance	相对 频度 Relative frequency	重要值 Importance value
小果厚壳桂 <i>Cryptocarya microcarpa</i>	25.124	18.979	2.456	15.52
椴树皮 <i>Itoa orientalis</i>	2.378	8.34	2.377	4.365
香叶树 <i>Lindera communis</i>	4.804	2.77	2.541	3.371
伞花木 <i>Eurycorymbus cavaleriei</i>	1.306	5.067	2.197	2.857
圆果化香树 <i>Platycarya longipes</i>	1.856	4.117	0.741	2.238
罗伞 <i>Brassaiopsis glomerulata</i>	2.375	1.846	1.953	2.058
菜豆树 <i>Radermachera sinica</i>	0.875	2.849	1.943	1.889
黄梨木 <i>Boniodendron minus</i>	1.482	2.391	1.588	1.82
小叶山柿 <i>Diospyros dumetorum</i>	2.155	0.97	2.207	1.777
长管越南茜 <i>Rubovietnamia aristata</i>	2.215	1.464	1.36	1.68
滇丁香 <i>Luculia intermedia</i>	2.94	0.87	0.868	1.559
子楝树 <i>Decaspermum gracilentum</i>	2.427	0.697	1.524	1.549
毛果巴豆 <i>Croton lachnocarpus</i>	1.373	1.354	1.667	1.465
火棘 <i>Pyracantha fortuneana</i>	2.732	0.572	1.08	1.461
齿叶黄皮 <i>Clausena dunniana</i>	2.283	0.745	1.186	1.404
土蜜树 <i>Bridelia tomentosa</i>	0.758	1.942	1.419	1.373
翅荚香槐 <i>Cladrastis platycarpa</i>	0.54	2.167	1.233	1.313
化香树 <i>Platycarya strobilacea</i>	1.315	2.061	0.498	1.291
麻楝 <i>Chukrasia tabularis</i>	0.768	1.645	1.376	1.263
青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i>	1.307	1.306	1.074	1.229
朴树 <i>Celtis sinensis</i>	0.859	0.995	1.752	1.202
石山楠 <i>Phoebe calcarea</i>	0.865	0.802	1.72	1.129
密花树 <i>Rapanea neriifolia</i>	1.795	0.579	0.932	1.102
铁榄 <i>Sinosideroxylon pedunculatum</i>	0.972	0.858	1.207	1.012
广西海桐 <i>Pittosporum kwangsiense</i>	1.38	0.707	0.937	1.008
岩樟 <i>Cinnamomum saxatile</i>	0.643	0.689	1.673	1.002

表4 物种萌生特征

Table 4 Sprouting characteristics of species

项目 Items	1 cm 为起测 径级 1 cm as the minimum measured diameter	10 cm 为起测 径级 10 cm as the minimum measured diameter	30 cm 为起测 径级 30 cm as the minimum measured diameter
科数 Number of families	51	30	8
占样地相同起测径级 范围总科数百分比 Sprouting families percentage of total families in the same measured diameter (%)	79.69	46.88	12.5
属数 Number of genera	127	67	8
占样地相应胸径范围 总属数百分比 Sprouting genera percentage of total genera in the same measured diameter (%)	78.88	41.62	4.88
种数 Number of species	204	105	8
占样地相应胸径范围 总物种数百分比 Sprouting species percentage of total species in the same measured diameter (%)	80.32	41.34	3.15
个体数 Number of individual	34309	1016	14
占样地相应胸径范围 总个体数百分比 Sprouting individual percentage of total individuals in the same measured diameter (%)	14.42	0.70	$9.67 \times 10^{-5}$
胸高断面面积 Basal area at breast height (15 hm <sup>2</sup> )	40.02	17.46	1.41
占样地相应胸径范围 总胸高断面面积百分比 Sprouting basal area percentage of total basal area in the same measured diameter (%)	9.42	4.46	0.34

山(5.21 cm)(祝燕等,2008)、八大公山(5.41 cm)(卢志军等,2013)、天童山(5.66 cm)(杨庆松等,2011),总体来看木论样地森林群落所受外界干扰较少,经过长期自然演替发育,群落结构相对较稳定,且群落能自然更新生长良好。

木论大样地内共含有木本植物萌生个体34 309株,属于204种127属51科。尽管所有萌生个体(DBH $\geq 1$  cm)仅占样地总个体数量的14.42%,但萌生物种数则超过了总物种数的80%,而这些物种

所属科、属数分别高达总数的 79.69% 和 78.88%。物种萌生是多因素共同作用的结果,干扰、光照、水分、营养状况等均是影响物种萌生的因素(王斌等, 2013)。出现高萌生物种比例可能与取样地点为喀斯特森林有关,喀斯特森林的树种需要具备耐旱、耐碱、耐钙等特性,种子散布的局限性许多树种需要依靠萌生的方式来抢占生态位。

木论喀斯特常绿落叶阔叶混交林 25 hm<sup>2</sup> 样地与以往相同群落类型的 0.8 hm<sup>2</sup> 永久样地(宋同清等, 2010)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。物种组成看,0.8 hm<sup>2</sup> 永久样地 DBH ≥ 1 cm 的木本植物仅为 123 种 43 科 91 属,远低于 25hm<sup>2</sup> 大样地的 254 种 64 科 161 属。从重要值看,0.8 hm<sup>2</sup> 永久样地内重要值前三位的分别为铁榄(18.49)、东女贞(15.63)、杉木(14.14),与 25 hm<sup>2</sup> 大样地的小果厚壳桂(15.52)、椴子皮(4.36)、香叶树(3.37)无一重合。可见,由于大型样地包含了更多的生境类型,涵盖了更多种群结构,更好地反映了种群的总体特征。因此,以大样地为尺度开展的木论喀斯特常绿落叶阔叶混交林的研究更具完整性,且能更客观地反映不同尺度上木论喀斯特常绿落叶阔叶混交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。

## 参考文献:

ANDERSON-TEIXEIRA KJ, DAVIES SJ, BENNETT AC, et al, 2015. CTFs-forest GEO : a worldwide network monitoring forests in an era of global change [J]. *Glob Change Biol*, 21(2):528.

CONDIT RS, ASHTON MS, BALSLEV H, et al, 1978. Tropical tree a diversity : results from a worldwide network of large plots [J]. *J Surg Res*, 25(1):61-69.

GUO K, LIU CC, DONG M, 2011. Ecological adaptation of plants and control of rocky-desertification on karst region of South-west China [J]. *Chin J Plant Ecol*, 35(10): 991-999. [郭柯,刘长成,董鸣, 2011. 我国西南喀斯特植物生态适应性及石漠化治理 [J]. *植物生态学报*, 35(10):991-999.]

HAO ZQ, LI BH, ZHANG J, et al, 2008. Broad-leaved Korean pin (*Pinus Koreansis*) mixed forest plot in Changbaishan (CBS) of China :community composition and structure [J]. *Chin J Plant Ecol*, 32(2):238-250. [郝占庆,李步杭,张健,等, 2008. 长白山阔叶红松林样地(CBS):群落组成与结构 [J]. *植物生态学报*, 32(2):238-250.]

HOU MF, SHEN QG, QING HN, 2011. Species diversity characters of original karst forest communities in Maolan, Guizhou, China [J]. *J Guangxi Norm Univ: Nat Sci Ed*, 29(1):60-65. [侯满福,沈庆庚,覃海宁, 2011. 贵州茂兰喀斯特原生性森林群落物种多样性特征 [J]. *广西师范大学学报·自然科学版*, 29(1):60-65.]

HUBBELL SP, 2006. Neutral theory and the evolution of ecological

equivalence. [J]. *Ecology*, 87(6):98-1387.

LAN GY, HU YH, CAO M, et al, 2008. Establishment of Xishuangbanna tropical forest dynamic plot:species compositions and spatial distribution patterns [J]. *Chin J Plant Ecol*, 32(2): 287-298. [兰国玉,胡跃华,曹敏,等, 2008. 西双版纳热带森林动态监测样地——树种组成与空间分布格局 [J]. *植物生态学报*, 32(2):287-298.]

LIU HF, LI L, SANG WG, 2011. Species composition and community structure of the Donglingshan forest dynamic plot in a warm temperate deciduous broad-leaved secondary forest, China [J]. *Biodivers Sci*, 19(2):232-242. [刘海丰,李亮,桑卫国, 2011. 东灵山暖温带落叶阔叶次生林动态监测样地:物种组成与群落结构 [J]. *生物多样性*, 19(2):232-242.]

LIU PF, YANG R, AN MJ, et al, 2008. Quantitative analysis on karst forest vegetation succession series in Maolan, Guizhou [J]. *Carsol Sin*, 27(4):43-48. [刘攀峰,杨瑞,安明态,等, 2008. 贵州茂兰喀斯特森林植被演替序列的数量分析 [J]. *中国岩溶*, 27(4):43-48.]

LU ZJ, BAO DC, GUO YL, et al, 2013. Community and structure of Badagongshan (BDGS) forest dynamic plot in a mid-subtropical mountain evergreen and deciduous broad-leaved mixed forest, central China [J]. *Plant Sci J*, 31(4):336-344. [卢志军,鲍大川,郭屹立,等, 2013. 八大公山中亚热带山地常绿落叶阔叶混交林物种组成与结构 [J]. *植物科学学报*, 31(4):336-344.]

LUOGA EJ, WITKOWSKI ETF, BALKWILL K, 2004. Regeneration by coppicing (resprouting) of miombo (African savanna) trees in relation to land use [J]. *For Ecol & Manag*, 189(1):23.

MA KP, 2008. Large scale permanent plots: important platform for long term research on biodiversity in forest ecosystem [J]. *Chin J Plant Ecol*, 32(2):237-237. [马克平, 2008. 大型固定样地:森林生物多样性定位研究的平台 [J]. *植物生态学报*, 32(2):237-237.]

NATHAN R, 2006. Long-distance dispersal of plants [J]. *Science*, 313(5788):8-786.

PENG WX, SONG TQ, ZENG FP, et al, 2011. Spatial heterogeneity of vegetation in karst mixed forest of evergreen and deciduous broadleaf [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 31(4):815-822. [彭晚霞,宋同清,曾馥平,等, 2011. 喀斯特常绿落叶阔叶混交林植被的空间异质性 [J]. *西北植物学报*, 31(4):815-822.]

SONG TQ, PENG WX, ZENG FP, et al, 2009. Spatial heterogeneity of surface soil moisture content in dry season in Mulun National Natural Reserve Karst area [J]. *Chin J Appl Ecol*, 20(1):98-104. [宋同清,彭晚霞,曾馥平,等, 2009. 喀斯特木论自然保护区旱季土壤水分的空间异质性 [J]. *应用生态学报*, 20(1):98-104.]

SONG TQ, PENG WX, ZENG FP, et al, 2010. Community composition and biodiversity characteristics of forests in Karst cluster-peak-depression region [J]. *Biodivers Sci*, 18(4):335-364. [宋同清,彭晚霞,曾馥平,等, 2010. 喀斯特峰丛洼地不同类型森林群落的组成与生物多样性特征 [J]. *生物多样性*, 18(4):335-364.]

THOMPSON J, BROKAW N, ZIMMERMAN JK, et al, 2002. Land use history, environment, and tree composition in a tropical forest [J]. *Ecol Appl*, 12(5):1344-1363.

- WANG B, HUANG YS, LI XQ, et al, 2013. Species composition and spatial distribution of the 15 ha northern tropical karst seasonal rain forest dynamic plot in Nonggang of Guangxi, Southern China [J]. Biodivers Sci, 6(21):1-16. [王斌, 黄俞淞, 李先琨, 等, 2013. 弄岗北热带喀斯特季节性雨林 15 ha 监测样地-树种组成与空间分布 [J]. 生物多样性, 6(21):1-16.]
- XU H, LI YD, LIN MX, et al, 2015. Community characteristics of 60 ha dynamics plot in the tropical montane rain forest in Jianfengling, Hainan Island [J]. Biodivers Sci, 23(2):192-201. [许涵, 李意德, 林明献, 等, 2015. 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, 23(2):192-201.]
- YANG QS, MA ZP, XIE YL, et al, 2011. Community structure and species composition of an evergreen broad-leaved forest in Tiantong's 20 ha dynamic plot, Zhejiang Province, eastern China [J]. Biodivers Sci, 19(2):95-103. [杨庆松, 马遵平, 谢玉彬, 等, 2011. 浙江天童 20ha 常绿阔叶林动态监测样地的群落特征 [J]. 生物多样性, 19(2):95-103.]
- YE WH, CAO HL, HUANG ZL, et al, 2008. Community structure of a 20 hm<sup>2</sup> lower subtropical evergreen broad-leaved forest plot in Dinghushan, China [J]. Chin J Plant Ecol, 32(2):274-286. [叶万辉, 曹洪麟, 黄忠良, 等, 2008. 鼎湖山南亚热带常绿阔叶林 20 公顷样地群落特征研究 [J]. 植物生态学报, 32(2):274-286.]
- YUAN DX, ZHANG C, 2008. Karst dynamics theory in China and its practice [J]. Acta Geosc Sin, 29(3):355-365. [袁道先, 章程, 2008. 岩溶动力学的理论探索与实践 [J]. 地球学报, 29(3):355-365.]
- YUAN TX, ZHANG HP, OU ZY, et al, 2014. Effects of topography on the diversity and distribution pattern of ground plants in karst montane forests in Southwest Guangxi, China [J]. Chin J Appl Ecol, 25(10):41-48. [袁铁象, 张合平, 欧芷阳, 等, 2014. 地形对桂西南喀斯特山地森林地表植物多样性及分布格局的影响 [J]. 应用生态学报, 25(10):41-48.]
- ZENG FP, PENG WX, SONG TQ, et al, 2007. Changes in vegetation after 22 years' natural restoration in the karst disturbed area in Northwest Guangxi [J]. Acta Ecol Sin, 27(12):5110-5119. [曾馥平, 彭晚霞, 宋同清, 等, 2007. 桂西北喀斯特人为干扰区植被自然恢复 22 年后群落特征 [J]. 生态学报, 27(12):5110-5119.]
- ZHENG YW, 1999. Introduction to Mulun karst forest region [M]. Beijing: Science Press. [郑颖吾. 木论喀斯特林区概论 [M]. 北京: 科学出版社, 1999.]
- ZHONG JD, LI XQ, XIANG WS, et al, 2012. Structure analysis of Eupatorium odoratum population in communities with different stability in Karst region of southwest Guangxi [J]. Guangxi Agric Sci, 43(7):83-88. [钟军弟, 李先琨, 向悟生, 等, 2012. 桂西南喀斯特区域不同稳定性群落下飞机草种群结构特征分析 [J]. 南方农业学报, 43(7):83-88.]
- ZHOU YS, LUO L, HE XH, et al, 2008. Analysis on spatial variability of plant species richness in karst mountain area [J]. J Trop Subtrop Bot, 16(6):516-520. [周应书, 罗林, 何兴辉, 等, 2008. 喀斯特山区植物物种丰富度的空间变异分析 [J]. 热带亚热带植物学报, 16(6):516-520.]
- ZHU Y, ZHAO GF, ZHANG LW, et al, 2008. Community composition and structure of Gutianshan forest dynamic plot in a mid-subtropical evergreen broad-leaved forest, east China [J]. Chin J Plant Ecol, 32(2):262-273. [祝燕, 赵谷风, 张佃文, 等, 2008. 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 [J]. 植物生态学报, 32(2):262-273.]

( 上接第 1185 页 Continue from page 1185 )

- WAG BX, ZENG YH, WANG DY, et al, 2010. Responses of leaf stomata to environmental stresses in distribution and physiological characteristics [J]. Agr Res Arid Areas, 28(2):122-126, 131. [王碧霞, 曾永海, 王大勇, 等, 2010. 叶片气孔分布及生理特征对环境胁迫的响应 [J]. 干旱地区农业研究, 28(2):122-126, 131.]
- XUE ZD, HAN RL, HOU QC, et al, 2004. Anatomical study of xeromorphism of leaves in cutting for five brushes in Yan'an region [J]. Acta Bot Boreal-Occident Sin, 24(7):1200-1206. [薛智德, 韩蕊莲, 侯庆春, 等, 2004. 延安地区 5 种灌木叶旱性结构的解剖研究 [J]. 西北植物学报, 24(7):1200-1206.]
- YU ZH, ZENG ZQ, ZHANG MT, 2009. Mycorrhizal microstructure of *Cymbidium georingii* and its mycorrhizal fungi isolation and identification [J]. J Wuhan Bot Res, 27(3):332-335. [余之和, 曾昭清, 张明涛, 2009. 春兰菌根的显微结构及菌根真菌的分离 [J]. 武汉植物学研究, 27(3):332-335.]
- ZHAI MT, 2015. Identification and diversity research of endophytic fungi from orchids roots in Yachang, Guangxi [D]. Beijing: Beijing Forestry University: 23-40. [翟明恬, 2015. 广西雅长自然保护区优势兰科植物根部内生真菌鉴定及多样性研究 [D]. 北京: 北京林业大学: 23-40.]
- ZHANG SB, HU H, XU K, et al, 2007. Flexible and reversible responses to different irradiance levels during photosynthetic acclimation of *Cypripedium guttatum* [J]. J Plant Physiol, 164(5):611-620.