•研究报告•

云南纳板河热带季节雨林20 ha动态监测样地的树种组成与群落分类

施国杉^{1,2}, 刘峰³, 陈典³, 邓云^{1,2,4}, 林露湘^{1,4*}

1. 中国科学院西双版纳热带植物园热带森林生态学重点实验室, 云南勐腊 666303; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 纳板河流域国家级自然保护区管理局, 云南景洪 666100; 4. 云南西双版纳森林生态系统国家野外科学观测研究站, 云南勐腊 666303

摘要: 大型森林动态监测样地是研究物种共存、群落演替等生态学核心问题的重要平台。纳板河流域国家级自然保护区管理局与中国科学院西双版纳热带植物园合作, 于2016–2017年参照美国史密森热带森林科学中心的技术标准, 在纳板河流域国家级自然保护区内建立了一块热带季节雨林20 ha动态监测样地。本研究分析了该样地的树种组成特征, 并进行了群落数量分类。结果表明: 该样地中DBH ≥ 1 cm的木本植物个体共有59,498株, 分属63科197属296种; 个体数超过1,000株的常见物种有15个, 个体数小于20株的稀有物种有126个。科的区系分布型以热带成分为主, 占总科数的65.08%, 温带成分占17.46%。属的区系分布型以热带成分为主, 占总属数的88.32%, 温带成分占10.66%。该样地群落类型的形成主要受海拔和凹凸度这两个地形因子的影响, 500个20 m × 20 m的样方可以分为4个群丛, 分别为: (1)灰毛浆果楝 + 粗糠柴 – 假山萝 + 番龙眼群丛(*Cipadessa baccifera* + *Mallotus philippensis* – *Harpullia cupanioides* + *Pometia pinnata* Association); (2)长梗三宝木 + 腋球苳麻 – 顶果木 + 番龙眼群丛(*Trigonostemon thyrsoideus* + *Boehmeria glomerulifera* – *Acrocarpus fraxinifolius* + *Pometia pinnata* Association); (3)云南银柴 + 大果山香圆 – 湄公锥 + 普文楠群丛(*Aporosa yunnanensis* + *Turpinia pomifera* – *Castanopsis mekongensis* + *Phoebe puwenensis* Association); (4)歪叶榕 + 密花火筒树 – 毒药树 + 番龙眼群丛(*Ficus cyrtophylla* + *Leea compactiflora* – *Sladenia celastriifolia* + *Pometia pinnata* Association)。

关键词: 大型森林动态监测样地; 植物区系特征; 多元回归树; 群丛

施国杉, 刘峰, 陈典, 邓云, 林露湘 (2021) 云南纳板河热带季节雨林20 ha动态监测样地的树种组成与群落分类. 生物多样性, 29, 10–20. doi: 10.17520/biods.2020138.

Shi GS, Liu F, Chen D, Deng Y, Lin LX (2021) Species composition and community classification of the 20-ha tropical seasonal rainforest dynamics monitoring plot in the Naban River, Yunnan. Biodiversity Science, 29, 10–20. doi: 10.17520/biods.2020138.

Species composition and community classification of the 20-ha tropical seasonal rainforest dynamics monitoring plot in the Naban River, Yunnan

Guoshan Shi^{1,2}, Feng Liu³, Dian Chen³, Yun Deng^{1,2,4}, Luxiang Lin^{1,4*}

1 CAS Key Laboratory of Tropical Forest Ecology, Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Mengla, Yunnan 666303

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

3 Administration Bureau of Naban River Watershed National Nature Reserve, Jinghong, Yunnan 666100

4 National Forest Ecosystem Research Station at Xishuangbanna, Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Mengla, Yunnan 666303

ABSTRACT

Aims: The large forest dynamics monitoring plot is an important research platform for answering key questions in ecology, such as species coexistence and community succession. This study reported the tree species composition and community types of the 20-ha tropical seasonal rainforest dynamics monitoring plot in the Naban River, Yunnan, which will lay a foundation for the study on species coexistence mechanism for tropical seasonal rainforests, and provide

收稿日期: 2020-04-03; 接受日期: 2020-05-12

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFC0500202)和国家自然科学基金云南省联合基金(U1902203)

* 通讯作者 Author for correspondence. Email: linluxa@xtbg.ac.cn

scientific basis for the management and protection of tropical seasonal rainforests.

Methods: According to the protocol set forth by CTFs-ForestGEO, a 20-ha tropical seasonal rainforest dynamics monitoring plot was established by the Administration Bureau of the Naban River Watershed National Nature Reserve and the Xishuangbanna Tropical Botanical Garden of Chinese Academy of Sciences between 2016–2017. Here, we analyzed the species composition and classified community types for this large forest dynamics monitoring plot, where all free-standing woody plants with diameter at breast height (DBH) ≥ 1 cm were tagged, measured, and identified to the species level.

Results: There were 59,498 individuals with DBH ≥ 1 cm belonging to 296 species, 197 genera, and 63 families. There were 15 species designated as common with individuals numbering more than 1,000 and 126 rare species with fewer than 20 individuals in the plot. At the family level, tropical-associated families were dominant, accounting for 65.08% of the total family; temperate-associated families only accounted for 17.46% of the total family. At the genus level, the tropical-associated genera were dominant, accounting for 88.32% of the total genus; temperate genera only accounted for 10.66%. Elevation and convexity are the key topographical factors underlying the formation of community types in this plot. There were four distinct associations identified among 500 quadrates (20 m $\times$ 20 m) as follows: (1) *Cipadessa baccifera* + *Mallotus philippensis* – *Harpullia cupanioides* + *Pometia pinnata* Association; (2) *Trigonostemon thyrsoideus* + *Boehmeria glomerulifera* – *Acrocarpus fraxinifolius* + *Pometia pinnata* Association; (3) *Aporosa yunnanensis* + *Turpinia pomifera* – *Castanopsis mekongensis* + *Phoebe puwenensis* Association; (4) *Ficus cyrtophylla* + *Leea compactiflora* – *Sladenia celastriifolia* + *Pometia pinnata* Association.

Conclusions: The main vegetation type is tropical seasonal rainforest and the flora belongs to the type of tropical north edge in the 20-ha tropical seasonal rainforest dynamics monitoring plot in the Naban River, Yunnan. In the plot, there are four forest community types, on which the topography plays a key role.

Key words: large forest dynamics monitoring plot; floristic characteristics; multivariate regression trees; association

局域尺度上的物种共存是生物多样性研究领域的核心问题之一(储诚进等, 2017)。传统的物种共存理论认为生态位分化在物种共存过程中起着重要作用, 认为具有相同生态位的物种是不能长期稳定共存的, 而生态位分化能促进物种共存(张大勇, 2000)。然而, 热带雨林具有的高多样性的树种共存现象难以用传统的生态位理论来解释。中性理论认为群落内共存的物种既没有生态位分化也没有平均适合度差异(Bell, 2000; Hubbell, 2001), 弥补了传统生态位理论所忽视的问题(周淑荣和张大勇, 2006)。传统的调查方法难以解决物种共存研究中的取样问题, 最大的制约是无法获得空间上连续分布的群落组成样本, 而大型森林动态监测样地很好地解决了上述问题(Condit, 1998), 能够保证覆盖局域尺度群落组成中的大多数木本植物, 获取连续的空间分布数据, 为局域尺度树种共存研究提供了可靠的数据和研究平台(马克平, 2017)。

中国热带雨林发育面积最大的区域为云南南部的西双版纳地区(Cao et al, 2006)。西双版纳地区是在纬度和海拔都相对较高的条件下在某些局部区域形成了适合热带雨林发育的温暖湿润的小生境(Zhu, 2006), 本区的热带雨林通常分布于低丘沟

谷地段, 故呈现片断化分布的特征, 与热带山地常绿阔叶林(Zhu, 2006; 朱华等, 2015)常呈镶嵌分布的格局。西双版纳的热带雨林具有与赤道低地热带雨林几乎相同的群落结构、生态外貌特征, 是一种真正的热带雨林类型(朱华等, 2015)。西双版纳热带植物区系与东南亚热带植物区系具有很强的关联性, 是印度–马来西亚植物区系的北部边缘类型(Zhu, 2008)。西双版纳的热带雨林与东南亚低地热带雨林具有几乎相同的科和属。然而, 大多数热带科和属在西双版纳已经达到它们分布的最北界, 其分布中心大多在马来西亚, 典型的热带科属在西双版纳的物种丰富度相对较低(Zhu, 1997)。西双版纳的热带雨林远离赤道且处在一个相对较高的海拔范围内, 发生在热带雨林植被所要求的最少降水量和最低热量的极限条件下。因此, 在热带雨林生态学研究上, 西双版纳的热带雨林具有较高的研究价值与科学意义。

植被分类一直都是生态学研究领域中充满争议的问题之一(李博, 1993), 也是最基本的学科(吴征镒, 1980)。由于植被本身的复杂性, 群落“连续性”和“间断性”理论的争论, 至今也无法形成一个统一的植被分类标准(宋永昌等, 2017)。植被分类主

要有两条途径: 植物区系组成和生态-外貌分类(宋永昌, 2004)。目前对群落进行数量分类的技术已经非常成熟, 能准确、客观地揭示植物群落与环境之间的关系(张峰和张金屯, 2000)。多元回归树(multivariate regression trees, MRT)作为一种先进的群落排序方法被广泛应用于大型森林动态监测样地的群落数量分类研究, 并能很好地解释群落与环境的关系(赖江山等, 2010; 黄甫昭等, 2014; 张文静等, 2015; 李帅锋等, 2020)。在大型森林动态监测样地中的群落分类实践, 既可以考虑群落在形成过程中的连续性, 也可同时兼顾由于环境因子作用造成的植被间断分布现象(van der Maarel & Franklin, 2013)。

本研究以云南纳板河热带季节雨林20 ha动态监测样地的第一次清查数据为基础, 分析其物种组成和区系特征, 并重点对该样地进行群落数量分类, 为进一步基于该样地探讨热带季节雨林的物种共存机制奠定基础, 并为当地森林植被的管理与保护提供决策依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

纳板河流域国家级自然保护区(22°04′–22°17′ N, 100°32′–100°44′ E)地处云南省西双版纳傣族自治州中北部, 景洪市与勐海县接壤地带, 面积为26,600 ha。该保护区以纳板河流域为主体, 分为核心区、缓冲区和试验区, 主要保护对象为热带生态系统和野生动植物(刘峰和杨树华, 2015)。气候属热带季风气候, 干季和湿季明显, 年降水量达到1,100–1,600 mm, 年均温18–22°C, 年日照时数为1,800–2,100 h, 热量条件充足(云南省环境保护局和西双版纳纳板河流域国家级自然保护区管理所, 2006)。保护区内自然条件复杂且地形起伏大, 地势呈现西北高东南低, 海拔范围539–2,304 m(刘峰等, 2008), 海拔高差达1,765 m。涵盖热带雨林、热带季雨林和常绿阔叶林等8种植被类型, 生物资源丰富, 生物多样性高(云南省环境保护局和西双版纳纳板河流域国家级自然保护区管理所, 2006)。

1.2 样地概况及调查方法

纳板河流域国家级自然保护区管理局与中国科学院西双版纳热带植物园合作, 于2016–2017年间在保护区内建立了云南纳板河热带季节雨林

图1 云南纳板河热带季节雨林20 ha动态监测样地三维地形图

Fig. 1 Topographic map of the 20-ha tropical seasonal rainforest dynamics monitoring plot in the Naban River, Yunnan

20 ha动态监测样地(简称为纳板河大样地)。纳板河大样地原点位于22°14′ N, 100°36′ E(附录1), 东北方向(X轴)长400 m, 西北方向(Y轴)宽500 m。样地最高海拔为1,043.0 m, 最低为821.4 m(附录2)。有两条支沟由高到低并入一条位于低处的主沟, 呈现山脊和沟谷交错分布的复杂地形特征(图1)。

参照美国史密森热带森林科学中心(CTFS-ForestGEO)的大型森林动态监测样地建设技术标准(Condit, 1998), 用全站仪将纳板河大样地划分为500个20 m × 20 m的样方, 用水泥桩固定其四角, 以10 m × 10 m为基本单元, 测定其4个顶点的海拔高度。每个20 m × 20 m的样方再分成16个5 m × 5 m的小样方, 对小样方内所有DBH ≥ 1 cm的独立生长的木本植物个体进行挂牌标记, 记录其物种、胸径、坐标、生长状态等信息。

1.3 数据分析

1.3.1 物种重要值

基于物种相对多度和相对胸高断面积来计算物种在每个20 m × 20 m样方和整个大样地中的重要值:

$$\text{重要值} = (\text{相对多度} + \text{相对胸高断面积})/2 \quad (1)$$

1.3.2 植物区系

参照《中国被子植物科属综论》(吴征镒等, 2003)和《种子植物分布区类型及其起源和分化》(吴征镒等, 2006)对纳板河大样地中的木本植物进行科、属区系类型的划分。根据第一次清查数据确定样地内物种的科、属, 一一查证其对应的分布区类型, 分析各个分布区类型所占的比例。

1.3.3 多元回归树

多元回归树通过对样方的物种组成数据和环境数据的重复分割实现对样方的分组, 最终结果以回归树的形式来显示(De'Ath, 2002)。利用二歧式的分割方法, 将500个样方逐步分割为同质的类群, 每次划分都根据某一个环境因子的最佳划分值来完成, 形成两个节点。重复此过程, 不断形成新的节点, 直到不能再进行分割或是结果满足要求, 形成一个完整的树(Vayssières et al, 2000; 曹铭昌等, 2005; 赖江山等, 2010)。多元回归树的最佳划分原则是使得同节点内部的差异尽量最小, 而节点间的差异最大。与无约束聚类一样, 每个聚类都可以定义为一个集合类型。因多元回归树存在自变量和因变量, 故可利用交叉验证对节点进行剪枝, 得到最佳的回归树。在剪枝规则中最著名的就是1-SD规则, 它能同时兼顾树的大小和误差大小(De'Ath, 2002), 在此范围内选取最小的树来反映样地中群落分类的结果(谢益辉, 2007)。

本文采用多元回归树对纳板河大样地进行群落数量分类, 因变量为每个物种在每个样方中的重要值, 以20 m × 20 m样方为研究单元, 形成物种-样方的重要值矩阵。自变量用每个20 m × 20 m样方的4个地形因子数据: 海拔、凹凸度、坡度、坡向。样方的海拔为样方四个顶点海拔的平均值。样方的凹凸度是样方的海拔减去与该样方相接的8个样方海拔的平均值, 处在边缘的样方则选择相邻的5个样方来进行计算。凹凸度的正负值表示样方相对于其相邻样方的位置高低, 例如山脊上的样方凹凸度通常较大, 而沟谷里的样方凹凸度通常较小。样方4个顶点中的任意3个构成的不同平面与样方投影水平面夹角的平均值为样方的坡度。上述地形因子的计算均参照大型森林动态监测样地的常用方法(Harms et al, 2001; Valencia et al, 2004)。

多元回归树分析采用R version 3.5.0 (R Core Team, 2018)软件中的mvpart程序包完成(De'Ath, 2006)。

1.3.4 群落分类修正和群丛命名

考虑到群落在空间上的分布是连续的, 需要对多元回归树的群落分类结果进行修正, 以使群落分类呈连续性(赖江山等, 2010)。因此对大样地群落分类结果中不连续分布的样方进行修正: 如果一个样方与周围分布的8个样方均不属于同一个群丛, 则

根据周围样方所属群丛的比例大小进行修正; 若该样方处在样地边缘, 则根据其周围的5个或3个样方所属群丛的比例大小进行修正。

参考宋永昌(2001)关于群丛定义的修订和中国常绿阔叶林的群丛命名(宋永昌, 2004; 宋永昌等, 2013), 以及赖江山等(2010)、黄甫昭等(2014)、孙小伟等(2018)结合群落排序与群丛命名在大型森林动态监测样地上的群丛划分实践, 采用以乔木上层优势种为主、灌木或小乔木标志种为辅的命名原则。作为主体的前两个优势乔木种放在群丛名称的最后, 指示值最大的两个灌木或小乔木物种作为标志种放在群丛名称的前面。乔木上层的优势种与灌木或小乔木的标志种之间用“-”连接, 两个优势乔木种之间用“+”连接, 优势度高的排在后面, 灌木或小乔木的标志种之间用“+”连接, 指示值高的排在后面。物种指示值(Dufrène & Legendre, 1997)采用R version 3.5.0软件labdsv程序包中的indval函数计算(Roberts, 2006), 指示值最大值为1, 表示物种在群丛中的指示作用最大。

2 结果

2.1 物种组成

纳板河大样地中DBH ≥ 1 cm的独立生长的木本植物共有59,498株, 分属63科197属296种。个体数 ≥ 1,000的常见树种有番龙眼(*Pometia pinnata*)、假山萝(*Harpullia cupanioides*)、普文楠(*Phoebe puwenensis*)等15种, 占总株数的56.31%。有126种的个体数不超过20株, 占总物种数的42.57%, 其中有34种仅有1株, 包括白颜树(*Gironniera subaequalis*)、多花白头树(*Garuga floribunda* var. *gamblei*)、北碚榕(*Ficus beipeiensis*)、瑞丽润楠(*Machilus shweliensis*)等。纳板河大样地中重要值最大的树种为番龙眼, 其次为假山萝、普文楠和粗糠柴(*Machilus philippensis*) (表1)。重要值前20位的物种其个体数占样地总个体数的53.88%。

2.2 植物区系特征

对纳板河大样地的木本植物进行科、属植物区系类型的分析发现, 科的区系分布型中泛热带分布型占比最高, 为49.21%; 其次为世界分布型, 占比17.46%; 北温带分布型12.70%。总的来说, 科的区系分布型以热带成分为主, 占总科数的65.08%, 温带成分仅占17.46%。在属的区系分布型中, 热带亚

洲分布型占总属数的29.95%;其次为泛热带分布型,占比22.34%;紧随其后的是旧世界热带分布型和热带亚洲至大洋洲分布型。总体而言,属的区系分布型以热带成分为主,占总属数的88.32%,温带成分仅占10.66%(表2)。

2.3 群落分类

通过多元回归树分析,纳板河大样地的500个20 m × 20 m样方可分为4类,分别为低海拔(海拔 < 912.7 m)与高凹凸度(凹凸度 ≥ -0.91 m)的群丛1(139个样方)、低海拔(海拔 < 912.7 m)与低凹凸度(凹凸度 < -0.91 m)的群丛2(101个样方)、高海拔(海拔 ≥ 912.7 m)与高凹凸度(凹凸度 ≥ -2.41 m)的群丛3(221个样方)、高海拔(海拔 ≥ 912.7 m)与低凹凸度(凹凸度 < -2.41 m)群丛4(39个样方)。依据群丛修正的方法进行修订后,上述4类群落的样方数分别为141个、99个、223个和37个(图2, 图3)。

2.4 群丛命名和各群丛的特征

按照本研究的群丛命名方法,依据纳板河大样

地4类群落的优势种(附录3)和指示种(附录4)对其进行命名。四个群丛的物种组成特征如下:

(1)群丛1: 灰毛浆果楝(*Cipadessa baccifera*) + 粗糠柴 – 假山萝 + 番龙眼群丛。该群丛分布在低海拔(830.2–912.7 m)邻近沟谷的山坡和山脊上(图3),包含242个物种,分属59科168属。乔木上层优势种为番龙眼、假山萝,灌木或小乔木的标志种为粗糠柴和灰毛浆果楝。植物区系以热带成分的科和属为主(分别占64.41%和90.48%),温带成分的科和属占16.95%和8.33%。

(2)群丛2: 长梗三宝木(*Trigonostemon thyrsoideus*) + 腋球苳麻(*Boehmeria glomerulifera*) – 顶果木(*Acrocarpus fraxinifolius*) + 番龙眼群丛。该群丛分布在较低海拔(821.4–912.7 m)的沟谷区域(图3),包含196个物种,分属52科138属。乔木上层优势种为番龙眼和顶果木,灌木或小乔木的标志种为腋球苳麻和长梗三宝木。植物区系以热带成分的科和属为主(分别占71.15%和91.30%),温带成分的

表1 云南纳板河热带雨林20 ha动态监测样地木本植物重要值前20位的物种

Table 1 Species with the top 20 importance values in the 20-ha tropical seasonal rainforest dynamics monitoring plot in the Naban River, Yunnan

排序 Rank	物种 Species	个体数 No. of individuals	相对多度 Relative abundance (%)	相对胸高断面面积 Relative basal area (%)	重要值 Importance values (%)
1	番龙眼 <i>Pometia pinnata</i>	4,193	7.04	7.77	7.41
2	假山萝 <i>Harpullia cupanioides</i>	3,756	6.31	1.82	4.07
3	普文楠 <i>Phoebe puwenensis</i>	2,868	4.82	2.76	3.79
4	粗糠柴 <i>Mallotus philippensis</i>	2,718	4.57	1.66	3.12
5	肉实树 <i>Sarcosperma laurinum</i>	2,255	3.79	2.04	2.91
6	湄公锥 <i>Castanopsis mekongensis</i>	588	0.99	4.33	2.66
7	西南木荷 <i>Schima wallichii</i>	217	0.37	4.87	2.62
8	歪叶榕 <i>Ficus cyrtophylla</i>	1,823	3.06	1.85	2.46
9	腋球苳麻 <i>Boehmeria glomerulifera</i>	2,411	4.05	0.27	2.16
10	密花火筒树 <i>Lee acompactiflora</i>	2,399	4.03	0.15	2.09
11	泥柯 <i>Lithocarpus fenestratus</i>	1,041	1.75	2.14	1.94
12	大果山香圆 <i>Turpinia pomifera</i>	1,423	2.39	1.37	1.88
13	顶果木 <i>Acrocarpus fraxinifolius</i>	53	0.09	3.64	1.87
14	阔叶蒲桃 <i>Syzygium megacarpum</i>	1,585	2.66	1.02	1.84
15	千果榄仁 <i>Terminalia myriocarpa</i>	27	0.05	3.50	1.77
16	滇南新乌檀 <i>Neonauclea tsaiana</i>	574	0.96	2.53	1.75
17	白花羊蹄甲 <i>Bauhinia acuminata</i>	458	0.77	2.27	1.52
18	云南野独活 <i>Milusa tenuistipitata</i>	1,665	2.80	0.16	1.48
19	望谟崖摩 <i>Aglaiia lawii</i>	1,414	2.38	0.49	1.43
20	糙叶树 <i>Aphananthe aspera</i>	587	0.99	1.87	1.43
总计 Total		32,055	50.87	46.51	50.20

表2 云南纳板河热带雨林20 ha动态监测样地木本植物科属的分布区类型统计
Table 2 Areal-types at family and genus levels of the woody flora in the 20-ha tropical seasonal rainforest dynamics monitoring plot in the Naban River, Yunnan

分布区类型 Areal-types	科数 No. of family (%)	属数 No. of genus (%)
1 世界分布 Widespread	11 (17.46)	—
2 泛热带 Pantropic	31 (49.21)	44 (22.34)
3 东亚(热带、亚热带)及热带南美间断 East Asia (Tropical & Subtropical) & Tropical South America Disjuncted	5 (7.94)	14 (7.11)
4 旧世界热带 Old World Tropic	—	22 (11.17)
5 热带亚洲至大洋洲 Tropic Asia to Tropic Australasia	1 (1.59)	27 (13.71)
6 热带亚洲至热带非洲 Tropic Asia to Tropic Africa	2 (3.17)	8 (4.06)
7 热带亚洲 Tropic Asia (Indo-Malesia)	2 (3.17)	59 (29.95)
热带成分小计 Sub-total tropic elements (2–7)	41 (65.08)	174 (88.32)
8 北温带 North Temperate	8 (12.70)	11 (5.58)
9 东亚和南美间断 East Asia and North America Disjuncted	2 (3.17)	6 (3.05)
10 地中海, 西亚至中亚 Mediterranean, West Asia to Central Asia	1 (1.59)	1 (0.51)
11 东亚 East Asia	—	3 (1.52)
温带成分小计 Sub-total temperate elements (8–11)	11 (17.46)	21 (10.66)
12 未知 Unknown	—	2 (1.02)
总计 Total	63 (100.00)	197 (100.00)

科和属占12.00%和9.00%。

(3)群丛3: 云南银柴(*Aporosa yunnanensis*) + 大果山香圆(*Turpinia pomifera*) – 湄公锥(*Castanopsis mekongensis*) + 普文楠群丛。该群丛在样地中分布于较高海拔(912.8–1043.0 m)的山脊和山坡上(图3), 包含253个物种, 分属59科167属。乔木上层优势种为普文楠和湄公锥, 灌木或小乔木的标志种为大果香山圆和云南银柴。植物区系以热带成分的科和属为主(分别占64.41%和88.02%), 温带成分的科和属占16.95%和10.78%。

(4)群丛4: 歪叶榕(*Ficus cyrtophylla*) + 密花火筒树(*Leea compactiflora*) – 毒药树(*Sladenia celastrifolia*) + 番龙眼群丛。该群丛在样地中分布于较高海拔(914.3–1004.1 m)的沟谷区域(图3), 包含172个物种, 分属51科121属, 乔木上层优势种为番龙眼和毒药树, 灌木或小乔木的标志种为密花火筒树和歪叶榕。植物区系以热带成分的科和属为主(分别占64.71%和90.08%), 温带成分的科和属占17.65%和9.22%。

图2 云南纳板河热带季节雨林20 ha动态监测样地多元回归分析树状图(500个20 m × 20 m样方)
Fig. 2 Multivariate regression tree of the 20-ha tropical seasonal rainforest dynamics monitoring plot in the Naban River, Yunnan (500 quadrates of 20 m × 20 m)

图3 云南纳板河热带季节雨林20 ha动态监测样地4个群丛的样方分布图。1–4分别表示群丛1–4。

Fig. 3 Quadrats distribution map for the four associations of the 20-ha tropical seasonal rainforest dynamics monitoring plot in the Naban River, Yunnan. 1–4, Association 1–4.

3 讨论

西双版纳地区无论是地理还是气候上都已位于热带亚洲的北缘区域, 其水热条件已经处于热带雨林分布的极限(Cao et al, 2006)。西双版纳地区先期已经建成一块热带季节雨林20 ha动态监测样地(简称版纳大样地), 该样地海拔709.3–869.1 m, 最优势树种为龙脑香科的望天树(*Parashorea chinensis*) (Cao et al, 2008; 兰国玉等, 2008)。纳板河大样地海拔821.4–1,043.0 m, 最优势树种为无患子科的番龙眼。望天树林和番龙眼林均为西双版纳热带季节雨林中典型的沟谷雨林类型(朱华等, 2015)。纳板河大样地的物种数和个体数均远小于版纳大样地, 说明随着纬度和海拔升高, 热带季节雨林的物种丰富度和个体密度呈现下降趋势。从海拔分布范围、优势种、物种丰富度等方面来看, 纳板河大样地是版纳大样地很好的补充, 共同构成西双版纳热带季节雨林生态学研究的重要平台。

从纳板河大样地的植物区系组成特征来看, 热带成分占优势, 热带性质明显。在热带成分的属中,

热带亚洲分布型最多, 显示了强烈的热带亚洲亲缘关系, 具有热带亚洲或者印度–马来西亚植物区系的特点(Zhu, 2008)。样地内的植物区系虽然以热带成分的科占优势, 但以主产热带分布区亦延伸至亚热带甚至温带的科或主产亚热带的科为主, 典型热带的科较少, 并且缺乏热带核心地区分布的完全热带的科属。该植物区系虽然以热带亚洲分布属为主体, 但典型热带的科属在西双版纳的分布已是热带的北界, 故植物区系具有明显的热带边缘性质(朱华, 2017)。与版纳大样地相比(兰国玉等, 2013), 纳板河大样地的纬度和海拔均更高, 因而热带成分的科和属相应减少, 而温带成分的科和属相应增加, 体现了纳板河大样地的热带性质相对减弱的特征。

基于群落排序的数量分类能够同时考虑群落的物种组成及其与环境因子的关系, 将群落数量分类与群丛命名相结合, 是实现植物群落自然分类的常用做法(赖江山等, 2010; 黄甫昭等, 2014; 孙小伟等, 2018; 李帅锋等, 2020)。群丛作为植被分类的基本单位, 其划分依据一直颇具争议。因植被本身的复杂性, 对于群丛的概念和划分依据存在不同的理解, 这就导致了在植被分类实践中对群丛划分和命名所采用的原则和依据各不相同, 没有统一的标准(吴征镒, 1980; 吴征镒和朱彦丞, 1987; 宋永昌, 2004)。目前, 普遍比较接受的群丛的定义是“层片结构相同, 优势层片优势种相同, 种类组成大体一致, 并具有相同特征种组或标志种组的群落联合”(宋永昌, 2004)。对群丛的命名通常采用以该群丛中优势层片的优势种为主、能够指示该群丛及其特定环境特征的标志种为辅的方法(宋永昌, 2004)。纳板河大样地4类群丛分别占据4类不同的生境(图2, 图3), 并各自具有不同的指示种(附录4)。纳板河大样地划分的4类群丛中有3类的最优势种均为番龙眼, 而次优势种则各不同(附录3), 因此采用两个乔木上层的优势种作为该样地群丛命名的主体是合适的。物种对某个群丛的指示值越高说明其在该群丛中的密度高于其他群丛, 且在该群丛中分布比较均匀。各个群丛的指示种通常具有唯一性(附录4), 以指示值高的物种为标志种作为优势种的辅助参与群丛命名可以保证不会出现群丛命名重复的情况, 即能够保证群丛命名的唯一性。纳板河大样地中群丛1、2、4的优势度最大的物种均为番龙眼(附录3)。这3个群丛应属热带季节雨林植被亚型下的沟谷雨

林群系组的番龙眼 + 千果榄仁 (*Terminalia myriocarpa*) 林群系(朱华等, 2015)。其中, 群丛2具有最强的沟谷雨林性质, 在样地中为典型的低海拔沟谷分布类型。对应地, 群丛3在样地中为典型的高海拔山坡和山脊分布类型(图3), 最大的两个优势种为普文楠和湄公锥, 该群丛应属热带山地(低山)常绿阔叶林植被型(朱华等, 2015)。然而, 番龙眼在群丛3中的优势程度排到了第四(附录3), 说明该群丛实际上仍具有部分热带季节雨林性质, 其分布的海拔带(912.8–1043.0 m)正处于热带季节雨林向热带山地(低山)常绿阔叶林过渡的交错带上(朱华, 2018)。因此, 纳板河大样地的主体植被类型为热带季节雨林, 并和该地区热带山地(低山)常绿阔叶林相衔接。

地形因子是导致生境空间异质性的重要驱动因子(方精云等, 2004)。纳板河大样地的海拔高差达 221.6 m, 呈现山脊和沟谷交错分布的地形特征, 复杂的地形使得样地内水分条件在空间分布上不均匀。沟谷中水分条件好, 生境湿润, 物种组成更偏向喜湿的树种, 分布有番龙眼、千果榄仁、顶果木等西双版纳热带雨林常见的树种。山脊或山坡与沟谷相比水分条件较差, 物种组成偏向耐旱的树种。番龙眼分布于海拔 912.7 m 以下的群丛1和2中, 均为最优势树种; 随着海拔升高, 番龙眼的优势度逐渐降低, 在海拔 912.7 m 以上的群丛3中, 最优势的树种变成了该地区偏干生境中常见的普文楠和湄公锥, 而在海拔 912.7 m 以上、凹凸度小于 -2.41 m 的群丛4中, 番龙眼仍为最优势树种(附录3)。可见环境的空间异质性导致具有生境偏好的树种的空间分布具有一定的不连续性, 形成了可量化识别的群落类型。然而, 生境的变化常常是渐变的, 群落的树种组成通常不存在非此即彼的界限, 而是沿着海拔和凹凸度进行连续的变化, 间断只是相对的。海拔的变化会影响水分和热量的分布(贺金生和陈伟烈, 1997), 水热条件的改变会影响土壤中有机物质的分布, 进一步影响植被分布(黄甫昭等, 2014)。此外, 凹凸度也会影响降水留存时间(Abrams et al, 1986, Engelbrecht et al, 2005), 凹凸度大利于水分留存, 生境中可利用的水分就会增加(刘海丰等, 2012), 从而影响群落物种组成。在同一海拔梯度带, 受到凹凸度的影响, 各个群丛的物种组成和植物区系成分存在明显差异。可以说, 纳板河大样地的地形变化是其群落类型的重要驱动力。

纳板河大样地以番龙眼这一在热带亚洲地区广泛分布的冠层树种为最优势种, 植物区系组成具有典型的热带北缘特征, 主体植被类型为热带季节雨林, 样地中群落类型的形成主要来源于地形因子中的海拔和凹凸度变化。由于该样地位于纳板河流域国家自然保护区内, 人为干扰少, 能够很好地反映该地区热带季节雨林的特征, 并和该地区热带山地(低山)常绿阔叶林相衔接, 作为版纳大样地的姊妹样地, 将共同作为西双版纳热带季节雨林生态学研究的重要平台。

致谢: 感谢纳板河流域国家级自然保护区管理局提供样地建设经费及给予的各种帮助和支持; 感谢刘光辉、马郎、马玖、沈永振、胡涛等所有参与样地建设的工作人员; 感谢谭运洪、周仕顺和张文富在物种鉴定方面给予的帮助; 感谢李汶霏帮助完成数据输入和校对工作。

ORCID

邓云 <https://orcid.org/0000-0001-9781-143X>
林露湘 <https://orcid.org/0000-0003-2727-0871>

参考文献

- Abrams MD, Knapp AK, Hulbert LC (1986) A ten-year record of aboveground biomass in a Kansas tallgrass prairie: Effects of fire and topographic position. *American Journal of Botany*, 73, 1509–1515.
- Bell G (2000) The distribution of abundance in neutral communities. *The American Naturalist*, 155, 606–617.
- Bureau of Environmental Protection of Yunnan, Administration Bureau of Nabanhe National Nature Reserve (2006) Naban River Watershed National Nature Reserve of Xishuangbanna. Yunnan Science and Technology Press, Kunming. (in Chinese) [云南省环境保护局, 西双版纳纳板河流域国家级自然保护区管理所 (2006) 西双版纳纳板河流域国家级自然保护区. 云南科技出版社, 昆明.]
- Cao MC, Zhou GS, Weng ES (2005) Application and comparison of generalized models and classification and regression tree in simulating tree species distribution. *Acta Ecologica Sinica*, 25, 2031–2040. (in Chinese with English abstract) [曹铭昌, 周广胜, 翁恩生 (2005) 广义模型及分类回归树在物种分布模拟中的应用与比较. *生态学报*, 25, 2031–2040.]
- Cao M, Zou XM, Warren M, Zhu H (2006) Tropical forests of Xishuangbanna, China. *Biotropica*, 38, 306–309.
- Cao M, Zhu H, Wang H, Lan GY, Hu YH, Zhou SS, Deng XB, Cui JY (2008) Xishuangbanna Tropical Seasonal Rainforest

Dynamics Plot: Tree Distribution Maps, Diameter Tables and Species Documentation. Yunnan Science and Technology Press, Kunming.

- Chu CJ, Wang YS, Liu Y, Jiang L, He FL (2017) Advances in species coexistence theory. *Biodiversity Science*, 25, 345–354. (in Chinese with English abstract) [储诚进, 王酉石, 刘宇, 蒋林, 何芳良 (2017) 物种共存理论研究进展. 生物多样性, 25, 345–354.]
- Condit R (1998) Tropical Forest Census Plots: Methods and Results from Barro Colorado Island, Panama and Comparison with Other Plots. Springer, Berlin.
- De'Ath G (2002) Multivariate regression trees: A new technique for modeling species–environment relationships. *Ecology*, 83, 1105–1117.
- De'Ath G (2006) mvpart: Multivariate partitioning. R package version 1.2–4. <http://cran.r-project.org/>. (accessed on 2019-07-15)
- Dufrêne M, Legendre P (1997) Species assemblages and indicator species: The need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*, 67, 345–366.
- Engelbrecht BMJ, Kursar TA, Tyree MT (2005) Drought effects on seedling survival in a tropical moist forest. *Trees*, 19, 312–321.
- Fang JY, Shen ZH, Cui HT (2004) Ecological characteristics of mountains and research issues of mountain ecology. *Biodiversity Science*, 12, 10–19. (in Chinese with English abstract) [方精云, 沈泽昊, 崔海亭 (2004) 试论山地的生态特征及山地生态学的研究内容. 生物多样性, 12, 10–19.]
- Harms KE, Condit R, Hubbell SP, Foster RB (2001) Habitat associations of trees and shrubs in a 50-ha neotropical forest plot. *Journal of Ecology*, 89, 947–959.
- He JS, Chen WL (1997) A review of gradient changes in species diversity of land plant communities. *Acta Ecologica Sinica*, 17, 91–99. (in Chinese with English abstract) [贺金生, 陈伟烈 (1997) 陆地植物群落物种多样性的梯度变化特征. 生态学报, 17, 91–99.]
- Huang FZ, Wang B, Ding T, Xiang WS, Li XK, Zhou AP (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, 157–166. (in Chinese with English abstract) [黄甫昭, 王斌, 丁涛, 向悟生, 李先琨, 周爱萍 (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, 157–166.]
- Hubbell SP (2001) The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography. Princeton University Press, Princeton.
- Lai JS, Mi XC, Ren HB, Ma KP (2010) Numerical classification of associations in subtropical evergreen broad-leaved forest based on multivariate regression trees—A case study of 24 hm² Gutianshan forest plot in China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 34, 761–769. (in Chinese with English abstract) [赖江山, 米湘成, 任海保, 马克平 (2010) 基于多元回归树的常绿阔叶林群丛数量分类——以古田山24公顷森林样地为例. 植物生态学报, 34, 761–769.]
- Lan GY, Hu YH, Cao M, Zhu H, Wang H, Zhou SS, Deng XB, Cui JY, Huang JG, Liu LY, Xu HL, Song JP, He YC (2008) Establishment of Xishuangbanna tropical forest dynamics plot: Species compositions and spatial distribution patterns. *Journal of Plant Ecology (Chinese Version)*, 32, 287–298. (in Chinese with English abstract) [兰国玉, 胡跃华, 曹敏, 朱华, 王洪, 周仕顺, 邓晓保, 崔景云, 黄建国, 刘林云, 许海龙, 宋军平, 何有才 (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. 植物生态学报, 32, 287–298.]
- Lan GY, Zhu H, Cao M (2013) Floristic composition of tropical seasonal rain forests in Xishuangbanna. *Journal of Northwest Forestry University*, 28(1), 33–38. (in Chinese with English abstract) [兰国玉, 朱华, 曹敏 (2013) 西双版纳热带季节雨林树种的区系组成成分分析. 西北林学院学报, 28(1), 33–38.]
- Li B (1993) General Ecology. Inner Mongolia University Press, Huhhot. (in Chinese) [李博 (1993) 普通生态学. 内蒙古大学出版社, 呼和浩特.]
- Li SF, Lang XD, Huang XB, Wang YH, Liu WD, Xu CH, Su JR (2020) Association classification of a 30 hm² dynamics plot in the monsoon broad-leaved evergreen forest in Puer, Yunnan Province. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 44, 236–247. (in Chinese with English abstract) [李帅锋, 郎学东, 黄小波, 王艳红, 刘万德, 徐崇华, 苏建荣 (2020) 云南普洱30 hm²季风常绿阔叶林动态监测样地群丛数量分类. 植物生态学报, 44, 236–247.]
- Liu F, Tao GD, Wang DS (2008) Investigation on the alien invasive plants in Nabanhe Nature Reserve and precautionary measures. *Forest Inventory and Planning*, 33(6), 112–114, 117. (in Chinese with English abstract) [刘峰, 陶国达, 王东升 (2008) 纳板河自然保护区外来入侵植物状况调查及防范对策. 林业调查规划, 33(6), 112–114, 117.]
- Liu F, Yang SH (2015) A Comprehensive Scientific Investigation of the Naban River Watershed National Nature Reserve. Yunnan Science and Technology Press, Kunming. (in Chinese) [刘峰, 杨树华 (2015) 纳板河流域国家级自然保护区综合科学考察报告. 云南科技出版社, 昆明.]
- Liu HF, Xue DY, Sang WG (2012) Effect of topographic factors on the relationship between species richness and aboveground biomass in a warm temperate forest. *Ecology and Environmental Sciences*, 21, 1403–1407. (in Chinese with English abstract) [刘海丰, 薛达元, 桑卫国 (2012) 地形因子对暖温带森林群落物种丰富度–地上生物量关系的影响. 生态环境学报, 21, 1403–1407.]
- Ma KP (2017) Forest dynamics plot is a crosscutting research platform for biodiversity science. *Biodiversity Science*, 25,

- 227–228. (in Chinese) [马克平 (2017) 森林动态大样地是生物多样性科学综合研究平台. 生物多样性, 25, 227–228.]
- R Core Team (2018) R: A Language and Environment for Statistical Computing, Version 3.5.0. <https://www.r-project.org/>. (accessed on 2019-04-23)
- Roberts DW (2006) Labdsv: Laboratory for dynamic synthetic vegetation phenology. R package version 1.2-2. <http://cran.r-project.org/>. (accessed on 2019-08-15)
- Song YC (2001) Vegetation Ecology, 2nd edn. Higher Education Press, Beijing. (in Chinese) [宋永昌 (2001) 植被生态学(第二版). 高等教育出版社, 北京.]
- Song YC (2004) Tentative classification scheme of evergreen broad-leaved forests of China. *Acta Phytocologica Sinica*, 28, 435–448. (in Chinese with English abstract) [宋永昌 (2004) 中国常绿阔叶林分类试行方案. 植物生态学报, 28, 435–448.]
- Song YC, Wang XH, Yan ER (2013) Evergreen Broad-leaved Forest in China: Classification, Ecology, Conservation. Science Press, Beijing. (in Chinese) [宋永昌, 王希华, 阎恩荣 (2013) 中国常绿阔叶林: 分类、生态、保育. 科学出版社, 北京.]
- Song YC, Yan ER, Song K (2017) An update of the vegetation classification in China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 41, 269–278. (in Chinese with English abstract) [宋永昌, 阎恩荣, 宋坤 (2017) 再议中国常绿阔叶林分类试行方案. 植物生态学报, 41, 269–278.]
- Sun XW, Yang QS, Liu HM, Wang XH (2018) Classification of plant associations based on a 20 hm² dynamics plot of evergreen broad-leaved forest in Mt. Tiantong, Zhejiang, China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 42, 550–561. (in Chinese with English abstract) [孙小伟, 杨庆松, 刘何铭, 王希华 (2018) 基于浙江天童20 hm²常绿阔叶林动态监测样地的群丛划分. 植物生态学报, 42, 550–561.]
- van der Maarel E, Franklin J (2013) Vegetation Ecology, 2nd edn. John Wiley & Sons, Chichester.
- Valencia R, Foster RB, Villa G, Condit R, Svenning JC, Hernández C, Romoleroux K, Losos E, Magård E, Balslev H (2004) Tree species distributions and local habitat variation in the Amazon: Large forest plot in eastern Ecuador. *Journal of Ecology*, 92, 214–229.
- Vayssières MP, Plant RE, Allen-Diaz BH (2000) Classification trees: An alternative non-parametric approach for predicting species distributions. *Journal of Vegetation Science*, 11, 679–694.
- Wu ZY (1980) Vegetation of China. Science Press, Beijing. (in Chinese) [吴征镒 (1980) 中国植被. 科学出版社, 北京.]
- Wu ZY, Lu AM, Tang YC, Chen ZD, Li DZ (2003) The Families and Genera of Angiosperms in China: A Comprehensive Analysis. Science Press, Beijing. (in Chinese) [吴征镒, 路安民, 汤彦承, 陈之端, 李德铎 (2003) 中国被子植物科属综论. 科学出版社, 北京.]
- Wu ZY, Zhou ZK, Sun H, Peng H (2006) The Areal Types of Seed Plants and Their Origin and Differentiation. Yunnan Science and Technology Press, Kunming. (in Chinese) [吴征镒, 周浙昆, 孙航, 彭华 (2006) 种子植物分布区类型及其起源和分化. 云南科技出版社, 昆明.]
- Wu ZY, Zhu YC (1987) Vegetation of Yunnan. Science Press, Beijing. (in Chinese) [吴征镒, 朱彦丞 (1987) 云南植被. 科学出版社, 北京.]
- Xie YH (2007) The application of the classification and regression tree based on the package rpart in R-language. *Statistics & Information Forum*, 22(5), 67–70. (in Chinese with English abstract) [谢益辉 (2007) 基于R软件rpart包的分类与回归树的应用. 统计与信息论坛, 22(5), 67–70.]
- Zhang DY (2000) Researches on Theoretical Ecology. Higher Education Press, Beijing. (in Chinese) [张大勇 (2000) 理论生态学研究. 高等教育出版社, 北京.]
- Zhang F, Zhang JT (2000) Research progress of numerical classification and ordination of vegetation in China. *Journal of Shanxi University (Natural Science Edition)*, 23, 278–282. (in Chinese with English abstract) [张峰, 张金屯 (2000) 我国植被数量分类和排序研究进展. 山西大学学报(自然科学版), 23, 278–282.]
- Zhang WJ, Zhang QD, Wang J, Feng F, Bi RC (2015) A comparison of multivariate regression tree and two-way indicator species analysis in plant community classification. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 39, 586–592. (in Chinese with English abstract) [张文静, 张钦弟, 王晶, 冯飞, 毕润成 (2015) 多元回归树与双向指示种分析在群落分类中的应用比较. 植物生态学报, 39, 586–592.]
- Zhou SR, Zhang DY (2006) Neutral theory in community ecology. *Journal of Plant Ecology (Chinese Version)*, 30, 868–877. (in Chinese with English abstract) [周淑荣, 张大勇 (2006) 群落生态学的中性理论. 植物生态学报, 30, 868–877.]
- Zhu H (1997) Ecological and biogeographical studies on the tropical rain forest of south Yunnan, SW China with a special reference to its relation with rain forests of tropical Asia. *Journal of Biogeography*, 24, 647–662.
- Zhu H (2006) Forest vegetation of Xishuangbanna, South China. *Forestry Studies in China*, 8, 1–58.
- Zhu H (2008) The tropical flora of southern Yunnan, China, and its biogeographical affinities. *Annual Missouri Botanical Garden*, 95, 661–680.
- Zhu H (2017) Tropical flora of southern China. *Biodiversity Science*, 25, 204–217. (in Chinese with English abstract) [朱华 (2017) 中国南部热带植物区系. 生物多样性, 25, 204–217.]
- Zhu H (2018) A sketch for classification of tropical forest vegetation in Yunnan. *Guihaia*, 38, 984–1004. (in Chinese with English abstract) [朱华 (2018) 云南热带森林植被分类纲要. 广西植物, 38, 984–1004.]
- Zhu H, Wang H, Li BG, Zhou SS, Zhang JH (2015) Studies on

the forest vegetation of Xishuangbanna. Plant Science Journal, 33, 641–726. (in Chinese with English abstract) [朱华, 王洪, 李保贵, 周仕顺, 张建侯 (2015) 西双版纳森

林植被研究. 植物科学学报, 33, 641–726.]

(责任编辑: 王希华 责任编辑: 黄祥忠)

附录 Supplementary Material

附录1 云南纳板河热带季节雨林20 ha动态监测样地无人机航拍正射影像

Appendix 1 The drone-derived orthoimage of the 20-ha tropical seasonal rainforest dynamics monitoring plot in the Naban River, Yunnan

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2020138-1.pdf>

附录2 云南纳板河热带季节雨林20 ha动态监测样地等高线图

Appendix 2 The contour map of the 20-ha tropical seasonal rainforest dynamics monitoring plot in the Naban River, Yunnan

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2020138-2.pdf>

附录3 云南纳板河热带季节雨林20 ha动态监测样地4类群丛内重要值排前10位的物种

Appendix 3 The 10 species with top importance values for each of the four associations in the 20-ha tropical seasonal rainforest dynamics monitoring plot in the Naban River, Yunnan

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2020138-3.pdf>

附录4 云南纳板河热带季节雨林20 ha动态监测样地4类群丛内指示值排前10位的物种

Appendix 4 The 10 species with top indicator values for each of the four associations in the 20-ha tropical seasonal rainforest dynamics monitoring plot in the Naban River, Yunnan

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2020138-4.pdf>

施国杉, 刘峰, 陈典, 邓云, 林露湘 (2021) 云南纳板河热带季节雨林 20 ha 动态监测样地的树种组成与群落分类. 生物多样性, 29 (1): 10–20. <http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2020138>

Legend 图例

Plot boundary 样地边界

附录1 云南纳板河热带季节雨林20 ha动态监测样地无人机航拍正射影像
Appendix 1 The drone-derived orthoimage of the 20-ha tropical seasonal rainforest dynamics monitoring plot in the Naban River, Yunnan

施国杉, 刘峰, 陈典, 邓云, 林露湘 (2021) 云南纳板河热带季节雨林 20 ha 动态监测样地的树种组成与群落分类. 生物多样性, 29 (1): 10–20. <http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2020138>

附录2 云南纳板河热带季节雨林20 ha动态监测样地等高线图
Appendix 2 The contour map of the 20-ha tropical seasonal rainforest dynamics monitoring plot in the Naban River, Yunnan

施国杉, 刘峰, 陈典, 邓云, 林露湘 (2021) 云南纳板河热带季节雨林 20 ha 动态监测样地的树种组成与群落分类. 生物多样性, 29 (1): 10–20. <http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2020138>

附录3 云南纳板河热带季节雨林20 ha动态监测样地4类群丛内重要值排前10位的物种

Appendix 3 The 10 species with top importance values for each of the four associations in the 20-ha tropical seasonal rainforest dynamics monitoring plot in the Naban River, Yunnan

群丛 Association	物种 Species	重要值 Importance values (%)	生长型 Growth form
群丛 1	番龙眼 <i>Pometia pinnata</i>	8.60	乔木
	假山萝 <i>Harpullia cupanioides</i>	5.02	乔木
	粗糠柴 <i>Mallotus philippensis</i>	4.63	灌木或小乔木
	肉实树 <i>Sarcosperma laurinum</i>	2.91	乔木
	糙叶树 <i>Aphananthe aspera</i>	2.57	乔木
	歪叶榕 <i>Ficus cyrtophylla</i>	2.48	灌木或小乔木
	滇南新乌檀 <i>Neonauclea tsaiana</i>	2.35	乔木
	密花火筒树 <i>Leea compactiflora</i>	2.33	灌木
	望谟崖摩 <i>Aglaia lawii</i>	2.24	乔木
	云南野独活 <i>Miliosatan uistipitata</i>	2.24	乔木
群丛 2	番龙眼 <i>Pometia pinnata</i>	11.73	乔木
	顶果木 <i>Acrocarpus fraxinifolius</i>	5.73	乔木
	阔叶蒲桃 <i>Syzygium megacarpum</i>	5.66	乔木
	腋球苎麻 <i>Boehmeria glomerulifera</i>	5.65	灌木或小乔木
	千果榄仁 <i>Terminalia myriocarpa</i>	4.61	乔木
	滇南新乌檀 <i>Neonauclea tsaiana</i>	3.61	乔木
	歪叶榕 <i>Ficus cyrtophylla</i>	3.40	灌木或小乔木
	云南风吹楠 <i>Horsfieldia prainii</i>	3.22	乔木
	云南野独活 <i>Miliosatan uistipitata</i>	2.85	乔木
	八宝树 <i>Duabanga grandiflora</i>	2.81	乔木
群丛 3	普文楠 <i>Phoebe puwenensis</i>	6.44	乔木
	湄公锥 <i>Castanopsis mekongensis</i>	5.15	乔木
	西南木荷 <i>Schima wallichii</i>	5.11	乔木
	番龙眼 <i>Pometia pinnata</i>	4.49	乔木
	假山萝 <i>Harpullia cupanioides</i>	3.96	乔木
	肉实树 <i>Sarcosperma laurinum</i>	3.87	乔木
	粗糠柴 <i>Mallotus philippensis</i>	3.55	灌木或乔木
	大果山香圆 <i>Turpinia pomifera</i>	2.88	灌木或乔木
	云南银柴 <i>Aporosa yunnanensis</i>	2.85	小乔木
	白花羊蹄甲 <i>Bauhinia acuminata</i>	2.30	灌木或小乔木
群丛 4	番龙眼 <i>Pometia pinnata</i>	5.83	乔木
	密花火筒树 <i>Leea compactiflora</i>	5.77	灌木
	歪叶榕 <i>Ficus cyrtophylla</i>	4.77	灌木或小乔木
	毒药树 <i>Sladenia celastriifolia</i>	4.63	乔木
	假山萝 <i>Harpullia cupanioides</i>	3.82	乔木
	腋球苎麻 <i>Boehmeria glomerulifera</i>	3.17	灌木或小乔木
	普文楠 <i>Phoebe puwenensis</i>	2.96	乔木
	阔叶蒲桃 <i>Syzygium megacarpum</i>	2.90	乔木
	千果榄仁 <i>Terminalia myriocarpa</i>	2.87	乔木
	长柄油丹 <i>Alseodaphne petiolaris</i>	2.81	乔木

施国杉, 刘峰, 陈典, 邓云, 林露湘 (2021) 云南纳板河热带季节雨林 20 ha 动态监测样地的树种组成与群落分类. 生物多样性, 29 (1): 10–20. <http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2020138>

附录4 云南纳板河热带季节雨林20 ha动态监测样地4类群丛内指示值排前10位的物种

Appendix 4 The 10 species with top indicator values for each of the four associations in the 20-ha tropical seasonal rainforest dynamics monitoring plot in the Nabai River, Yunnan

群丛 Association	物种 Species	指示值 Indicator values	生长型 Growth form	P
群丛 1	粗糠柴 <i>Mallotus philippensis</i>	0.41	灌木或小乔木	0.001***
	糙叶树 <i>Aphananthe aspera</i>	0.38	乔木	0.001***
	望谟崖摩 <i>Aglaia lawii</i>	0.38	乔木	0.001***
	假山萝 <i>Harpullia cupanioides</i>	0.36	乔木	0.001***
	灰毛浆果楝 <i>Cipadessa baccifera</i>	0.35	灌木或小乔木	0.001***
	番龙眼 <i>Pometia pinnata</i>	0.35	乔木	0.001***
	微毛布惊 <i>Vitex quinata</i> var. <i>puberula</i>	0.35	乔木	0.008**
	火烧花 <i>Mayodendron igneum</i>	0.24	乔木	0.001***
	披针叶楠 <i>Phoebe lanceolata</i>	0.23	乔木	0.014
	云树 <i>Garcinia cowa</i>	0.21	乔木	0.003**
群丛 2	阔叶蒲桃 <i>Syzygium megacarpum</i>	0.49	乔木	0.001***
	腋球苧麻 <i>Boehmeria glomerulifera</i>	0.39	灌木或小乔木	0.001***
	云南银钩花 <i>Mitrephora wangii</i>	0.34	乔木	0.001***
	红光树 <i>Knema furfuracea</i>	0.34	乔木	0.001***
	长梗三宝木 <i>Trigonostemon thyrsoideus</i>	0.32	灌木或小乔木	0.001***
	云南野独活 <i>Miliosatan uistipitata</i>	0.32	乔木	0.001***
	棒柄花 <i>Cleidion brevipetiolatum</i>	0.31	乔木	0.001***
	滇南新乌檀 <i>Neonauclea tsaiana</i>	0.31	乔木	0.001***
	云南风吹楠 <i>Horsfieldia prainii</i>	0.30	乔木	0.004**
	大叶风吹楠 <i>Horsfieldia kingii</i>	0.28	乔木	0.001***
群丛 3	普文楠 <i>Phoebe puwenensis</i>	0.58	乔木	0.001***
	泥柯 <i>Lithocarpus fenestratus</i>	0.56	乔木	0.001***
	湄公锥 <i>Castanopsis mekongensis</i>	0.56	乔木	0.001***
	大果山香圆 <i>Turpinia pomifera</i>	0.55	灌木或小乔木	0.001***
	云南银柴 <i>Aporosa yunnanensis</i>	0.55	小乔木	0.001***
	肉实树 <i>Sarcosperma laurinum</i>	0.38	乔木	0.001***
	白穗柯 <i>Lithocarpus craibianus</i>	0.37	乔木	0.001***
	大叶刺篱木 <i>Flacourtia rukam</i>	0.35	乔木	0.001***
	毛叶油丹 <i>Alseodaphne andersonii</i>	0.34	乔木	0.001***
	西南木荷 <i>Schima wallichii</i>	0.31	乔木	0.001***
群丛 4	密花火筒树 <i>Leea compactiflora</i>	0.41	灌木	0.001***
	歪叶榕 <i>Ficus cyrtophylla</i>	0.38	灌木或小乔木	0.001***
	窄序崖豆藤 <i>Millettia leptobotrya</i>	0.30	乔木	0.001***
	蜡质水东哥 <i>Saurauia cerea</i>	0.30	乔木	0.001***
	红紫麻 <i>Oreocnide rubescens</i>	0.29	灌木或小乔木	0.001***
	毒药树 <i>Sladenia celastrifolia</i>	0.29	乔木	0.001***
	长柄油丹 <i>Alseodaphne petiolaris</i>	0.26	乔木	0.009***
	大果榕 <i>Ficus auriculata</i>	0.25	乔木	0.001***
	水同木 <i>Ficus fistulosa</i>	0.22	乔木	0.001***
	棒果榕 <i>Ficus subincisa</i>	0.22	灌木或小乔木	0.001***

P 值由置换检验得到: **, $P \leq 0.01$; ***, $P \leq 0.001$ 。