

西双版纳热带山地雨林的植物多样性研究

李宗善¹ 唐建维^{1*} 郑征¹ 李庆军¹ 罗成昆²
刘正安² 李自能² 段文勇² 郭贤明²

(1 中国科学院西双版纳热带植物园热带雨林生态系统定位研究站, 云南勐腊 666303)

(2 西双版纳国家级自然保护区管理局, 云南景洪 666300)

摘要 根据 6 块样地的调查资料, 分析了西双版纳热带山地雨林植物多样性特征。结果表明: 在 2 500 m² 的样地上, 西双版纳热带山地雨林群落共有植物物种 99 ~ 181 种。其中乔木层的物种丰富度 (S) 为 54 ~ 113, Shannon-Wiener 指数 (H') 为 1.648 7 ~ 4.049 1, Simpson 指数 (λ) 为 0.503 5 ~ 0.969 5, Pielou 均匀度指数 (J_{sw}) 为 0.413 3 ~ 0.854 9。灌木层的 S 为 35 ~ 89, H' 为 2.413 2 ~ 3.716 2, λ 为 0.762 7 ~ 0.958 2, J_{sw} 为 0.678 8 ~ 0.859 3。草本层的各指数值: S 为 31 ~ 65, H' 为 2.792 1 ~ 3.499 2, λ 为 0.902 0 ~ 0.938 2, J_{sw} 为 0.729 3 ~ 0.838 2。低海拔带上的山地雨林(号、号样地)的各指数值(H' 、 λ 、 J_{sw}) 在群落不同层次中均表现为草本层 > 灌木层 > 乔木层, 而物种丰富度在不同层次中无一定变化规律; 高海拔带上山地雨林(号、号、号、号样地)的物种丰富度和多样性指数(H' 、 λ) 表现为乔木层 > 灌木层 > 草本层, 而均匀度指数(J_{sw}) 在不同层次中则无一定变化趋势。高海拔带上的山地雨林乔木层和灌木层的物种丰富度、多样性和均匀度指数均明显高于低海拔带上的山地雨林, 这是由于前者所处生境较为优越。沿着海拔梯度, 群落乔木层的物种丰富度、多样性和均匀度指数均在中等海拔高度地带(约 1 200 ~ 1 220 m) 达到最高值, 这是由于中等海拔高度的山地雨林位于生境条件最为优越的沟谷地带, 而且与低地季节雨林毗邻, 热带雨林植物成分丰富。

关键词 植物多样性 热带山地雨林 西双版纳

A STUDY ON PLANT DIVERSITY OF TROPICAL MONTANE RAIN FORESTS IN XISHUANGBANNA, YUNNAN

LI Zong-Shan¹ TANG Jian-Wei^{1*} ZHENG Zheng¹ LI Qing-Jun¹ LUO Cheng-Kun² LIU Zheng-An²
LI Zi-Neng² DUAN Wen-Yong² and GUO Xian-Ming²

(1 Tropical Rainforest Ecosystem Station, Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Mengla, Yunnan 666303, China)

(2 Xishuangbanna Bureau of National Nature Reserve, Jinghong, Yunnan 666300, China)

Abstract Tropical montane rain forest (TMRF), one of the primary forest vegetation types in Xishuangbanna, occurs at lower altitude in the north (TMRF I) and higher altitude in the south (TMRF II). In order to understand the plant diversity characteristics of tropical montane rain forests in different zones, six permanent plots (50 m × 50 m) of tropical montane rain forest communities at different sites in Xishuangbanna were established, two of which were in the TMRF I and four in the TMRF II. The grid method (10 m × 10 m) was used to record all individuals with a DBH greater than 2.0 cm in each plot. Shrub and herb species were investigated in nine 5 m × 5 m and 2 m × 2 m sub-quadrats, respectively. Plant diversity indices of trees, shrubs, herbs, and three sub-tree layers, and changes in plant diversity indices of communities along the altitudinal gradient were analyzed. The results showed that the total number of plant species in the TMRF communities were 99 - 181, tree species richness (S) was 54 - 113, Shannon-Wiener diversity (H') was 1.648 7 - 4.049 1, Simpson index (λ) was 0.503 5 - 0.969 5 and Pielou's evenness index (J_{sw}) was 0.413 3 - 0.854 9. For shrubs, S was 35 - 89, H' was 2.413 2 - 3.716 2, λ was 0.762 7 - 0.958 2, and J_{sw} was 0.678 8 - 0.859 3. For the herbs, S was 31 - 65, H' was 2.792 1 - 3.499 2, λ was 0.902 0 - 0.938 2, and J_{sw} was 0.729 3 - 0.838 2. The diversity indices, H' , λ , and J_{sw} , were greatest in the herb layer followed by shrubs and then trees, whereas species richness showed no obvious differences in the TMRF I. For TMRF II, the species richness and diversity indices, H' and λ , were greatest in the tree layer followed by the

* 收稿日期: 2003-09-22 接受日期: 2004-05-24

基金项目: 国家科技部 2001 年度基础研究重大项目 (2001CCB00600) 和国家自然科学基金项目 (40075027、30170168)

野外调查工作得到了中国科学院西双版纳热带植物园热带雨林生态系统定位研究站工作人员以及思茅师范专科学校实习生的大力支持, 标本鉴定得到了中国科学院西双版纳热带植物园的陶国达先生、王洪先生以及赵崇奖先生的大力帮助, 在此对以上人员表示衷心的感谢

* 通讯作者 Author for correspondence E-mail: tangjw@xtbg.org.cn

shrub layer and then the herb layer, but the evenness index (J_{sw}) was not different among the three layers. The species richness, diversity indices and evenness index of the tree layer and shrub layer in TMRF II communities were higher than those in TMRF I communities, most likely due to the superior habitat of the TMRF II communities. Along the altitudinal gradient, all indices (S , H' , λ , J_{sw}) were greatest at the mid-altitudinal zone (about 1 200 - 1 220 m) for trees. This can be attributed to the fact that TMRF communities in the mid-altitudinal zone are situated in a ravine area and have the most favorable growing conditions among the six plots. Furthermore, these communities are very near to the seasonal rain forest at lower altitudes, and thus the tropical rain forest plants are very abundant at these altitudes.

Key words Plant diversity, Tropical montane rain forest, Xishuangbanna

热带雨林是地球上的生物多样性中心,是最为复杂的森林生态系统,对人类社会的可持续发展有重大的意义和价值。但随着人类生产经济活动的不断扩大,热带森林正以惊人的速度消失,这也使得热带雨林生物多样性的物种组成、维持机制、保护措施等相关问题备受人们关注(Enrich & Wilson, 1991; 陈灵芝等,1997),并已成为国际上研究的热点,如关于热带雨林生物多样性维持机制的相关假说与理论的讨论(Connell, 1978; Wright, 2002),外界干扰因子如干旱对热带雨林生物多样性影响的分析(Potts, 2003),林窗动态与热带雨林生物多样性维持关系的探讨(Schnitzer & Carson, 2001),以及对热带雨林树种分布格局(Pitman *et al.*, 1999)和物种-面积、物种-个体数间关系的研究(Condit *et al.*, 1996)等。纵观当今国际上对热带森林生物多样性的研究,正在向长期性、大尺度、全球性的方向发展,在全球的热带地区,一系列长期定位观测的大尺度样地(大部分约 50 hm²)已经建立并开展了大量的观测和研究工作(Condit *et al.*, 1996; Harms *et al.*, 2001; Lieberman & Lieberman, 1996)。而在我国热带地区这种大样地、全方位的热带森林植物多样性的研究还非常缺乏。

山地雨林是我国热带山地垂直带上的一种植被代表类型,主要分布于海南岛和云南南部。它是热带雨林向亚热带森林过渡的一种湿润性森林,以热带性成分为主,并有亚热带成分混生,林下热带成分占有显著地位,其组成种类、外貌和结构仍具有热带雨林的各种基本特征,已较为逊色,但仍然属于热带雨林的范畴(吴征镒, 1980; 1987),具有重要的生物多样性保护和科研价值。西双版纳北部地区的热带山地雨林分布海拔较低,约为 850 ~ 1 000 m,具有季节雨林向北部普洱、思茅一带季风常绿阔叶林的过渡特征;而西双版纳南部地区的热带山地雨林大多分布在局部受逆温影响的山地,分布海拔较高,可上升到 1 500 ~ 1 800 m,具有季节雨林向低山季风常绿

阔叶林的过渡特征(金振洲等,1997)。在本次研究中分布在澜沧发展河乡的热带山地雨林由于受顺沟谷上升的逆温气候的影响,其分布范围已上升到 1 900 ~ 1 970 m。由于西双版纳的热带雨林是东南亚热带雨林的北缘类型,在纬度、温度和海拔都已到达了热带雨林分布的极限,且呈断续的小块片存在于生境条件比较优越的低丘和谷底的局部生境,与山地的季风常绿阔叶林和其它森林类型形成了交错镶嵌的分布格局(朱华等,2000)。然而随着人为干扰和破坏的不断加剧,热带山地雨林也因不断遭到破坏而导致分布面积不断缩小。山地雨林作为低地热带雨林在高海拔的一种变型,本身就具有分布范围狭窄和森林生态系统脆弱的特点,比季节雨林和季风常绿阔叶林更易受人为干扰和环境因子恶化的影响而发生退化。作为群落生态组织水平独特且可测定的植物多样性特征,能够反映群落的结构类型、组织水平、发展阶段、稳定程度、生境差异等(马克平,1994),因此对西双版纳的热带山地雨林开展群落植物多样性研究及其它的相关研究,为本地区热带山地雨林的生物多样性保护提供可靠的科学依据有着重要的实践价值和深远的现实意义。

纵观国内对热带雨林的研究,我国学者在海南岛开展的工作较多,如对热带山地雨林的植物物种多样性(安树青等,1999;胡玉佳等,2000;王峥峰等,1999;臧润国等,2001)、物种-个体的相互关系(余世孝等,2001)、森林循环和林隙更替(臧润国等,2002)以及植物物种关联度的研究(黄世能等,2000)等。而对西双版纳热带雨林的研究,主要集中在海拔较低的季节雨林、季雨林及与其有密切关系的次生植被,如对热带雨林的群落学调查(吴邦兴,1988;朱华等,1998a)、植物区系特征与亲缘关系(Zhu, 1997;朱华等,2001)、植被类型多样性和生态结构多样性特征(金振洲,1997;金振洲等,1997)和热带雨林树种多样性特征的比较分析(Cao & Zhang,1997),以及先锋群落的树种多样性、结构特征和演替规律(林露

湘等,2002;唐建维等,1997;1999;2003)、外界干扰因素对热带森林的植物多样性的影响(施济普等,2002),同时对热带雨林种群配置(苏文华,1997)和种群动态与稳定性(党承林等,1997a)也进行了探讨。但对西双版纳热带山地雨林开展的研究仅见其群落类型多样性以及生态结构多样性的初步探讨(金振洲等,1997)、勐宋地区山地雨林群落结构和区系成分的基础分析(王洪等,2001)以及普文地区山地雨林建群种种群动态的初步研究(党承林等,1997b)等。由此可见西双版纳的热带山地雨林还缺乏较为系统、深入的研究,而把西双版纳热带山地雨林作为整体研究对象,在其分布区域设置多个样地对其植物多样性特征进行全面、系统的研究还未见报道。

为较深入地掌握和了解西双版纳热带山地雨林的群落植物多样性特征及其随海拔梯度变化的规律,我们于2003年2~4月,在西双版纳的5个不同地点建立了6块山地雨林定位样地,其中低海拔带上的山地雨林2块,高海拔带上的山地雨林4块。本文仅对这6块样地的群落植物物种丰富度和植物多样性特征进行分析,以期对西双版纳地区热带山地雨林群落的植物多样性保护提供科学依据。并试图在以下方面进行探索:1)山地雨林群落的物种丰富度;2)山地雨林群落乔木层、灌木层和草本层的植物多样性特征以及乔木层组成的树种多样性特征;3)山地雨林群落的植物多样性特征随海拔梯度变化的规律。

1 研究地区概况

研究地点位于西双版纳傣族自治州(21°09'~22°36'N,99°58'~101°50'E)及其附近地区,该地区

与老挝、缅甸接壤,西、北、东三面与滇西南山原、山地相连,属于横断山系南端无量山脉和怒山山脉余脉的山原和山地(朱华等,2001)。该地区气候属西南热带季风气候,干、湿季节变化明显,一年可分干热、湿热和雾凉3季,3~5月为干热季,气温较高,雨量少;6~10月为雨季,气候湿热,85%的雨水集中于此时期;11月至次年2月为雾凉季,降雨量较少,但早晚浓雾弥漫,空气湿度较大,可弥补此时期降雨量的不足。该地区的年平均气温为20.5℃,年平均降雨量达1723.6mm。

2 研究方法

2.1 样地的建立及调查方法

为较全面地反映西双版纳热带山地雨林的植物多样性特征,在5个不同的地点选取了森林群落发育较好、结构完整,受人为和自然因素影响较小、坡度较平缓的山地雨林群落地段建立固定样地。根据朱华等(1998b)对西双版纳热带雨林的研究,群落的最适取样面积应为2500m²。在本次调查中每块样地的面积都设为2500m²(50m×50m),其中低海拔带上的山地雨林设置了2块样地,分布在普文(号样地)、关坪(号样地);高海拔带上的山地雨林设置了4块样地,分布在澜沧发展河乡(号样地、 号样地)、南贡山(号样地)和小腊公路48公里处(号样地)。每块样地均观测记录了坡向、坡度、坡位和海拔等生境因子。土壤为赤红壤或黄棕壤,土壤深厚,达1m以上。 号、 号样地的枯枝落叶层和腐殖质较厚,达5~10cm,林内湿度较大,树干上附生有较厚的苔藓层;其它4块样地的枯枝落叶层和腐殖质较薄,有部分裸露土壤,林内湿度较小。各样地的概况详见表1。

表1 西双版纳热带山地雨林样地基本特征
Table 1 The plot characteristics of tropical montane rain forest communities in Xishuangbanna

样地号 Plot No.						
地点 Site	普文 Puwen	关坪 Guanping	澜沧 Lancang	澜沧 Lancang	南贡山 Nangongshan	48公里 48 km
	22°25.705'N 100°05.470'E	22°13.645'N 100°53.280'E	22°24.195'N 100°11.954'E	22°23.542'N 100°12.022'E	21°37.969'N 101°27.735'E	21°58.413'N 101°09.654'E
海拔 Elevation (m)	955	970	1900	1950~1970	1325~1345	1200~1220
坡向 Aspect	EN5	NE40	NE15	NE40	NE40	NE5
坡度 Slope (°)	25~30	5~10	5~10	25~30	15~20	35
坡位 Position	中下 Middle-lower	中 Middle	下 Lower	上 Upper	中 Middle	中 Middle
土壤类型 Soil type	赤红壤 Lateritic red soil	赤红壤 Lateritic red soil	黄棕壤 Yellow-brown soil	黄棕壤 Yellow-brown soil	赤红壤 Lateritic red soil	赤红壤 Lateritic red soil

调查时每块样地均被划分为 25 个 10 m × 10 m 的样方,对样方内胸径大于等于 2.0 cm 以上的乔木个体进行每木调查,测量记录植物名称、胸径、高度、冠幅等,并挂牌、标号,同时把每株个体的位置按比例绘制在坐标图上。在样地纵横两个方向上每隔 1 个 10 m × 10 m 的样方设置 1 个 5 m × 5 m 的小样方(乔木层样方的右下角)共 9 个进行灌木层种类的调查,对样方中胸径小于等于 2.0 cm、高度大于等于 1.0 m 的植株个体观测记录其植物名称、基径、高度、冠幅等,并挂牌、标号。草本层种类的调查则在每个灌木层样方的右下角设置 1 个 2 m × 2 m 的小样方,对样方中高度小于等于 1 m 的植株个体测量记录植物名称、高度、盖度、株(丛)数等,在本次调查中未对样地内的附生植物做相关统计。

2.2 分析方法

根据物种多样性测度指数应用的广泛程度以及对群落物种多样性状况的反映能力,本文选取以下 4 种多样性指数来测度和分析群落物种多样性特征(马克平,1994;马克平等,1995)。公式分别为:

- (1) 物种丰富度: S
- (2) Shannon-Wiener 指数: $H' = - \sum_{i=1}^S (\frac{N_i}{N}) \ln(\frac{N_i}{N})$
- (3) Simpson 指数: $\lambda = 1 - \sum_{i=1}^S \frac{N_i(N_i - 1)}{N(N - 1)}$
- (4) Pielou 均匀度指数: $J_{sw} = \frac{H'}{\ln(S)}$

式中, S 为样地中的物种总数; N 为 S 个物种全部植株个体总数; N_i 为第 i 个物种的植株个体数。

3 结果与分析

3.1 群落的物种丰富度

根据野外各个样地群落调查资料的整理分析,6 块样地的植物种类组成如表 2 所示。西双版纳山地雨林群落维管束植物物种为 99~181 种,其中乔木物种为 56~137 种,灌木物种为 5~9 种,草本物种为 12~21 种,藤本物种为 2~15 种,蕨类物种为 3~

8 种。这表明乔木物种数在群落的物种组成中占绝对优势,而灌木种类非常贫乏,草本物种明显要比灌木物种丰富。这是因为灌木层绝大多数植株为乔木层的幼年植株,而真正的灌木种类很少;草本层中草本植物物种较为丰富,而且乔木幼苗的优势地位已经显著下降。另外群落中都有较为丰富的藤本植物和有一定数量的蕨类植物。

3.2 植物群落各层次的物种多样性

植物生长型是表征群落外貌特征和垂直结构的重要指标(马克平等,1995),本文选取最重要的 3 个类型即乔木、灌木和草本作为研究对象,对其多样性进行分析,从空间结构意义来讲,这也是植物群落 3 个最主要的层次。本次调查的样地群落乔木层大致可分为上、中、下 3 个层次,乔木上层高度在 20 m 以上,胸径在 30 cm 以上;乔木中层高度在 10~20 m 之间,胸径在 10~30 cm 之间;乔木下层高度在 2~10 m 之间,胸径在 2~10 cm 之间。

表 3 显示了西双版纳热带山地雨林群落各个层次的物种多样性组成。从中可知:低海拔带上的山地雨林群落(号、 号样地)不同层次的多样性和均匀度指数均表现为草本层 > 灌木层 > 乔木层;而物种丰富度在各层次中则未体现出一定的规律性, 号样地表现为乔木层 > 草本层 > 灌木层,而 号样地则表现为草本层 > 乔木层 > 灌木层。这两块样地乔木层 Shannon-Wiener 指数(H')、Simpson 指数(λ)和 Pielou 均匀度指数(J_{sw})均明显低于灌木层和草本层,这是因为乔木层的优势物种突出,大大降低了各物种间的均匀度。如 号样地乔木层个体数在 10 株以上的物种仅为 5 种,而窄序崖豆树(*Millettia leptobotrya*)在群落中又占有绝对优势,其个体数达 459,占乔木总个体数的 70.18%,这使其各多样性指数(H' 、 λ 、 J_{sw})在所有样地中均达到了最低水平,指数值仅分别为 1.648 7、0.503 5、0.413 3; 号样地乔木层个体数在 10 株以上的物种仅为 7 种,其中窄序崖豆树和睫毛粗叶木

表 2 西双版纳热带山地雨林群落的植物物种组成
Table 2 The plant species composition of tropical montane rain forest communities in Xishuangbanna

样地号 Plot No.	物种总数 No. of species	乔木种数 No. of tree	灌木种数 No. of shrub	草本种数 No. of herb	藤本种数 No. of liana	蕨类种数 No. of fern
	99	56	6	21	10	6
	127	87	5	16	15	4
	106	73	7	12	9	5
	103	69	6	15	5	8
	138	88	9	18	10	3
	181	137	8	20	11	5

表 3 西双版纳热带山地雨林群落各层次的物种丰富度、多样性、均匀度指数
Table 3 Species richness , diversity and evenness indices of different layers in the tropical montane rain forest communities in Xishuangbanna

样地号 Plot No.	层次 Layer	植株数 No. of individuals	物种数 No. of species	多样性指数 Diversity indices		均匀度指数 Evenness indices
				H'	λ	J_{sw}
	乔木 Tree	654	54	1.648 7	0.503 5	0.413 3
	上层 Upper layer	22	14	2.539 4	0.913 2	0.962 2
	中层 Middle layer	124	28	1.789 0	0.595 6	0.536 9
	下层 Lower layer	508	36	1.352 6	0.439 3	0.377 4
	灌木 Shrub	186	35	2.413 2	0.762 7	0.678 8
	草本 Herb	360	44	2.978 8	0.920 8	0.787 2
	乔木 Tree	746	59	2.180 8	0.776 9	0.534 8
	上层 Upper layer	27	9	1.479 4	0.622 8	0.677 3
	中层 Middle layer	119	30	2.527 2	0.820 4	0.743 0
	下层 Lower layer	600	41	1.823 5	0.727 9	0.491 0
	灌木 Shrub	180	41	2.806 6	0.870 0	0.755 8
	草本 Herb	180	65	3.499 2	0.937 3	0.838 2
	乔木 Tree	641	69	3.595 4	0.958 8	0.849 1
	上层 Upper layer	39	16	2.577 7	0.912 6	0.929 7
	中层 Middle layer	119	38	3.187 4	0.940 0	0.876 2
	下层 Lower layer	483	60	3.518 9	0.955 2	0.859 5
	灌木 Shrub	471	64	3.573 8	0.958 2	0.859 3
	草本 Herb	325	50	3.262 4	0.938 2	0.833 9
	乔木 Tree	776	74	3.626 7	0.960 6	0.842 6
	上层 Upper layer	21	13	2.491 5	0.911 6	0.971 4
	中层 Middle layer	124	40	3.343 8	0.952 4	0.906 5
	下层 Lower layer	631	70	3.548 1	0.956 1	0.835 1
	灌木 Shrub	342	40	2.890 3	0.915 9	0.783 5
	草本 Herb	370	33	2.824 6	0.908 3	0.807 8
	乔木 Tree	544	93	3.758 7	0.958 1	0.829 3
	上层 Upper layer	26	13	2.357 7	0.884 6	0.919 2
	中层 Middle layer	81	34	3.162 6	0.938 0	0.896 9
	下层 Lower layer	437	83	3.663 7	0.952 3	0.829 1
	灌木 Shrub	338	55	3.243 2	0.933 1	0.809 3
	草本 Herb	331	31	2.803 8	0.919 3	0.816 5
	乔木 Tree	583	113	4.049 1	0.969 5	0.854 9
	上层 Upper layer	14	9	2.106 6	0.867 3	0.958 7
	中层 Middle layer	99	38	3.307 8	0.950 9	0.909 3
	下层 Lower layer	470	103	3.927 4	0.964 1	0.847 4
	灌木 Shrub	274	89	3.716 2	0.941 4	0.827 9
	草本 Herb	335	46	2.792 1	0.902 0	0.729 3

(*Lasianthus hookeri* var. *dunniana*)的个体数分别多达 260、220 ,分别占总个体数的 34. 85 %、29. 49 % ,优势物种也比较明显 ,这使其各多样性指数 (H' 、 λ 、 J_{sw}) 也较低 ,指数值分别为 2. 180 8、0. 776 9、0. 534 8。而灌木层中的优势物种多为乔木层树种的幼苗 ,但是物种优势度与乔木层相比有所下降 ,因而其物种多样性和均匀度指数有所上升。草本层物种较为丰富 ,虽含有一部分乔木层树种的幼苗 ,但已不占优势地位 , 号样地较为常见的种类有山壳骨 (*Pseuderanthemum palatiferum*)、爱地草 (*Geophila herbacea*) 和黄花胡椒 (*Piper flaviflorum*) ,个体数分别为 59、50、

30; 号样地较为常见的草本种类有柃叶 (*Phrynium capitatum*)、半肉穗胡椒 (*Piper semi-immersum*) 和毛九节 (*Psychotria pillifera*) ,个体数仅分别为 20、9、6 ,除这些常见物种外 ,草本层中其它物种多度大多在 1 ~ 5 株之间。由此可见 ,这两块样地草本层物种分布较为均匀 ,无明显的优势物种存在 ,因而各多样性指数 (H' 、 λ 、 J_{sw}) 在群落各层次中达到了最高值 ,指数值分别为 2. 978 8 ~ 3. 499 2、0. 920 8 ~ 0. 937 3、0. 787 2 ~ 0. 838 2。

高海拔带上山地雨林群落(号、号、号、号样地) 不同层次间的物种丰富度、Shannon- Wiener

指数和 Simpson 指数均呈现出乔木层 > 灌木层 > 草本层的趋势; Pielou 均匀度指数在群落各层次间则无一定的规律可循, 在 号样地中表现为灌木层 > 乔木层 > 草本层, 在 号、 号样地中表现为乔木层 > 草本层 > 灌木层, 在 号样地中则表现为乔木层 > 灌木层 > 草本层。这 4 块样地的群落乔木层的多样性和均匀度指数要高于灌木层和草本层, 这是因为乔木层的物种丰富度在各层次中最高, 而且物种间多度分布较为均匀, 无明显的优势物种存在。其中 号样地群落乔木层物种最为丰富, 达到了 113 种, 个体数在 10 株以上的物种达 14 种, 多度较大的物种有普文楠 (*Phoebe puwenensis*)、披针叶楠 (*Phoebe lanceolata*)、粗丝木 (*Gomphandra tetrandra*), 个体数仅分别为 52、44、37, 可见物种间分布非常均匀, 而仅有 1、2 株个体的树种达 58 种, 占总树种数的 51.32%, 这使其各多样性指数 (H' 、 λ 、 J_{sw}) 在所有样地中最高, 指数值分别为 4.049 1、0.969 5、0.854 9。 号、 号、 号样地乔木层个体数在 10 以上物种数分别达 12、22、20, 1、2 株个体的树种数分别达 23、24、45; 各样地乔木层也没有明显的优势物种, 其中 号样地多度较大的物种有疏花臀果木 (*Pygeum laxiflorum*)、粗壮琼楠 (*Beilschmiedia robusta*)、单叶泡花树 (*Meliosma simplicifolia*), 号样地较占优势的物种有杯状栲 (*Castanopsis calathiformis*)、母猪果 (*Helicia nilagirica*)、刺栲 (*Castanopsis hystrix*), 号样地较占优势的物种有湄公栲 (*Castanopsis mekongensis*)、椴叶山麻杆 (*Alchornea tiliifolia*)、红梗润楠 (*Machilus rufipes*), 这些物种的个体数都在 50 ~ 70 左右, 相互之间多度差异较小。可见这 3 块样地乔木层物种间分布也较为均匀, 因而各多样性指数 (H' 、 λ 、 J_{sw}) 也达到了较高的水平, 指数值分别为 3.595 4 ~ 3.758 7、0.958 1 ~ 0.960 6、0.807 8 ~ 0.849 1。 号样地灌木层和草本层物种丰富度仅略低于乔木层, 而且各物种间多度分布非常均匀, 各多样性指数 (H' 、 λ 、 J_{sw}) 的数值分别达 3.3、0.94、0.84 左右, 基本上与乔木层处于同一水平上。 号、 号、 号样地灌木层和草本层物种丰富度则要明显小于乔木层, 大多数植株是乔木层树种的幼苗, 而且其中一部分物种还占有一定的优势, 因而各多样性指数与乔木层相比均明显偏低。

从群落乔木不同层次的植物多样性特征来看: 低海拔带上山地雨林群落乔木各层次的物种丰富度的大小顺序为乔木下层 > 乔木中层 > 乔木上层; 而多样性和均匀度指数则无一定的变化规律, 其中

号样地乔木各层次的多样性和均匀度指数的大小顺序为乔木上层 > 乔木中层 > 乔木下层, 号样地乔木各层次的多样性指数的大小顺序为乔木中层 > 乔木下层 > 乔木上层, 均匀度指数则表现为乔木中层 > 乔木上层 > 乔木下层。 号样地乔木上层的多样性和均匀度指数 (H' 、 λ 、 J_{sw}) 数值分别达 2.539 4、0.913 2、0.962 2, 不仅要远远大于乔木中、下层, 甚至接近或高于高海拔带上山地雨林的乔木上层相应指数。这是因为 号样地乔木上层中 1、2 株个体的树种有 12 种, 占物种总数的 85.71%, 其余 2 种为小果栲 (*Castanopsis fleuryi*) 和山韶子 (*Nephelium chryseum*), 个体数目也仅有 3 株, 可见物种间多度分布相当均匀, 因而各指数值较高; 而乔木中层、下层则优势物种较为明显, 如窄序崖豆树在中层、下层的个体数分别为 78、379, 占所在层次个体总数的 62.90%、74.61%, 使这两个层次的多样性和均匀度指数明显下降。 号样地乔木上层的多样性和均匀度指数 (H' 、 λ 、 J_{sw}) 数值仅分别为 1.479 4、0.622 8、0.677 3, 在 6 块样地中达到了最低水平, 这是因为本层物种数仅为 9 种, 且山白兰 (*Paramichelia baillonii*) 又占有绝对优势, 个体数达 16, 相对多度为 59.26%, 其它均为 1、2 株个体的树种, 大大降低了各物种间的均匀性; 乔木下层中的窄序崖豆树、睫毛粗叶木、披针叶楠个体数分别达 211、219、70, 其它物种的个体数都很少, 使得物种间分布很不均匀, 因而多样性和均匀度指数也偏低; 乔木中层物种较为丰富且物种间多度分布均匀, 多度较大的窄序崖豆树、披针叶楠的植株个体数仅分别为 47、12, 远没有乔木上层和下层的物种优势度明显, 因而本层次的多样性和均匀度指数最高。

高海拔带上山地雨林群落乔木各层次的各种植物多样性特征表现出一定的变化规律性, 其中物种丰富度和多样性指数均表现为乔木下层 > 乔木中层 > 乔木上层, 均匀度指数则表现为乔木上层 > 乔木中层 > 乔木下层。这 4 块样地的乔木上层的均匀度指数都在 0.90 以上, 明显高于乔木中、下层, 这是因为其没有明显的优势种, 物种间多度比较平均, 特别是 号样地的乔木上层除了滇马蹄果 (*Protium yunnanense*) 有个体数为 3 外, 其余都为 1、2 株个体的树种, 使其均匀度指数达 0.971 4, 在所有样地中最高。4 块样地的乔木下层物种要比乔木中、上层丰富得多, 而多样性指数又对物种丰富度比较敏感, 因此乔木下层的多样性指数要高于乔木上层和中层; 但乔木下层的优势种与乔木上层和中层

相比又十分明显,如 号样地的疏花臀果木, 号样地的母猪果、杯状栲、三桠苦 (*Evodia lepta*), 号样地的湄公栲、椴叶山麻杆、红梗润楠, 号样地的普文楠、粗丝木,这些物种的多度都较大,大大降低了物种间的均匀度,而使乔木下层均匀度又低于乔木上层和中层。

从表 3 中还可以看出:高海拔带上山地雨林群落(号、 号、 号、 号样地)乔木层、灌木层的物种丰富度,多样性和均匀度指数均明显大于低海拔带上山地雨林(号、 号样地),尤以乔木层更加突出,其次是灌木层;而两种海拔带上山地雨林草本层的各指数值没有明显差异。另外,高海拔带上山地雨林群落的乔木中层、下层的物种丰富度以及多样性和均匀度指数均要明显大于低海拔带上的山地雨林乔木中、下层,尤以乔木下层表现得最为突出,其次是乔木中层;而两种海拔带上山地雨林乔木上层的各指数值没有明显差异。

由以上分析可知:西双版纳热带山地雨林群落乔木层的物种丰富度(S)为 54~113,Shannon-Wiener 指数(H')为 1.648 7~4.049 1,Simpson 指数(λ)为 0.503 5~0.969 5,Pielou 均匀度指数(J_{sw})为 0.413 3~0.854 9。灌木层的 S 为 35~89, H' 为 2.413 2~3.716 2, λ 为 0.762 7~0.958 2, J_{sw} 为 0.678 8~0.859 3。草本层的各种指数值为: S 为 31~65, H' 为 2.792 1~3.499 2, λ 为 0.902 0~0.938 2, J_{sw} 为 0.729 3~0.838 2。

3.3 群落植物多样性特征随海拔梯度的变化规律

山地植被群落植物多样性随海拔高度的变化规律一直是生态学家关注的问题,一般认为在群落物种多样性的空间分布格局中,物种多样性随海拔梯度变化是极为显著的(马克平等,1995)。本次调查着重探讨山地雨林群落乔木层、灌木层、草本层的植物多样性特征随海拔梯度的变化规律。

群落乔木层的物种丰富度(S)和 Shannon-Wiener 指数(H')随海拔的升高呈现出先上升后下降的趋势(表 4),在中等海拔高度 号样地(海拔为 1 200~1 220 m)处达到最大值,其中 S 为 113、 H' 为 4.049 1;而在海拔较低的 号、 号样地(海拔为 950~975 m)以及海拔较高的 号、 号样地(海拔为 1 900~2 000 m)指数值较低。Simpson 指数和 Pielou 均匀度指数则随着海拔的升高首先快速上升,也是在 号样地处达到最高值,指数值分别为 0.969 5、0.854 9,后呈波浪式缓慢地下降。灌木层的物种丰富度、多样性和均匀度指数随海拔梯度的

变化,分别在中等海拔 号样地(海拔为 1 200~1 220 m)和较高海拔 号地(海拔为 1 900 m)处指数值达到了较高的水平,而在其它样地中指数值较低。草本层植物多样性特征随海拔梯度的变化也呈现出一致的变化趋势:物种丰富度、多样性和均匀度指数在较低海拔 号样地(海拔为 975 m)和较高海拔 号样地(海拔为 1 900 m)处达到了较高的水平,而在其它样地中指数值较低。从表 4 中还可以看出:乔木层的物种丰富度、多样性和均匀度指数随海拔梯度变化幅度最大,灌木层各种指数值的变化幅度与乔木层相比已经明显减小,而草本层各种指数值的变化幅度最小。

4 结论与讨论

1) 低海拔带上的山地雨林乔木层、灌木层以及乔木中层、下层的物种丰富度、多样性和均匀度指数均明显低于高海拔带上的山地雨林相应层次,出现这种植物多样性特征的原因是因为低海拔带上的山地雨林分布于西双版纳的北部地区,温度和热量都较低,水湿条件也不是十分优越,使得群落中少数物种充分发展,而致使群落乔木层和灌木层的物种优势度十分明显;而草本层由于受乔木层和灌木层荫蔽,使外界不利因素的影响大大减弱,局部小生境比较优越,许多热带雨林林下成分大量出现,而且物种间的植株数目较为均匀,因而多样性指数和均匀度又较高。高海拔带上的山地雨林乔木层、灌木层以及乔木中层、下层的各指数值与低海拔带上山地雨林相比均偏高,这是因为高海拔带上的山地雨林分布于西双版纳南部山地,温度较高,水湿条件较好,生境条件比低海拔带上的山地雨林要更加优越,生境条件优越则多样性指数就高,这可能是一个普遍的规律(彭少麟等,1983;朱守谦,1987)。其群落不同层次的物种丰富度和多样性指数也呈现出基本一致的规律,表现为乔木层 > 灌木层 > 草本层,黄建辉等(1997)在中国地带性森林群落物种多样性的比较研究中也指出热带地区群落的乔木层的物种丰富度和多样性为最高。群落乔木各层的植物多样性也呈现出一致的变化趋势,物种丰富度与多样性指数表现为乔木下层 > 乔木中层 > 乔木上层,可见乔木下层的物种丰富度和多样性指数均显著大于乔木中、上层,彭少麟等(1983)、朱守谦(1987)和曹铁如等(1997)在亚热带常绿阔叶林植物多样性研究中指出群落的乔木下层的物种丰富度和多样性要高于乔木上层,这可能是亚热带森林生态系统的普遍规

表 4 西双版纳热带山地雨林群落乔木层、灌木层、草本层植物多样性特征随海拔梯度的变化
Table 4 The variation of plant diversity characteristics of tree, shrub and herb layers in tropical montane rainforest communities with altitudinal gradient in Xishuangbanna

层次 Layer	海拔 (m) Altitude	样地号 Plot No.	植株数 No. of individuals	物种数 No. of species	多样性指数 Diversity indices		均匀度指数 Evenness indices
					H'	λ	J_{sw}
乔木层 Tree	955		654	54	1.648 7	0.503 5	0.413 3
	970		746	59	2.180 8	0.776 9	0.534 8
	1 200 ~ 1 220		583	113	4.049 1	0.969 5	0.854 9
	1 325 ~ 1 345		544	93	3.758 7	0.958 1	0.829 3
	1 900		641	69	3.595 4	0.958 8	0.849 1
	1 950 ~ 1 970		776	74	3.626 7	0.960 6	0.842 6
灌木层 Shrub	955		186	35	2.413 2	0.762 7	0.678 8
	970		180	41	2.806 6	0.870 0	0.755 8
	1 200 ~ 1 220		274	89	3.716 2	0.941 4	0.827 9
	1 325 ~ 1 345		338	55	3.243 2	0.933 1	0.809 3
	1 900		471	64	3.573 8	0.958 2	0.859 3
	1 950 ~ 1 970		342	40	2.890 3	0.915 9	0.783 5
草本层 Herb	955		360	44	2.978 8	0.920 8	0.787 2
	970		180	65	3.499 2	0.937 3	0.838 2
	1 200 ~ 1 220		335	46	2.792 1	0.902 0	0.729 3
	1 325 ~ 1 345		331	31	2.803 8	0.919 3	0.816 5
	1 900		325	50	3.262 4	0.938 2	0.833 9
	1 950 ~ 1 970		370	33	2.824 6	0.908 3	0.807 8

律,这种多样性特征与本次研究结果是相一致的。均匀度指数则表现为乔木上层 > 乔木中层 > 乔木下层,乔木上层拥有最高的均匀度,这说明了其中优势物种不明显,物种间多度趋于均匀,种间相互竞争减少并且发展了复杂的相互关系,种群配置更为合理,向着互利共存的方向发展。从各个方面的植物多样性特征都可以看出,高海拔带上的山地雨林群落是一种发育较为成熟的热带山地雨林。

2) 西双版纳的热带山地雨林群落乔木层的物种丰富度、多样性和均匀度指数均在中等海拔高度地带(海拔为 1 200 ~ 1 220 m)达到最高值,这种现象即称为“中间高度膨胀(Mid-altitude bulge)”现象,国内外许多研究也得出了这种植物物种多样性随海拔梯度的变化规律(谢晋阳等,1994;奚为民,1997;Whittaker, 1960)。其中的原因是中等海拔高度地带的山地雨林分布于西双版纳南部地区沟谷地带,温度、水湿条件以及其它生境因子在所有调查样地中最为优越;而且中等海拔带上的山地雨林与低地季节雨林间的距离较近,这使得山地雨林群落中的季节雨林成分十分丰富,这便大大增加了群落的物种丰富度。

3) 西双版纳山地雨林群落的植物多样性特征与其它地区的森林群落相比(表 5),低海拔带上山

地雨林的 Shannon-Wiener 指数和 Pielou 均匀度指数的平均值仅高于生境比较恶劣的西双版纳石灰山季雨林,而低于广东鼎湖山常绿阔叶林和西双版纳的季风常绿阔叶林。高海拔带上的山地雨林的 Shannon-Wiener 指数和 Pielou 均匀度指数的平均值要明显高于西双版纳季风常绿阔叶林和广东鼎湖山亚热带常绿阔叶林,而且与西双版纳低地的热带季节雨林的指数值已十分接近。高海拔带上山地雨林的 Shannon-Wiener 指数的平均值要低于低纬度地区巴西、哥斯达黎加以及马来半岛的热带雨林,也要低于海南岛的热带山地雨林。低纬度地区热带雨林的 Shannon-Wiener 指数较高,说明其生境比山地雨林更为优越,物种也远比山地雨林丰富;海南岛热带山地雨林的物种是十分丰富的,其物种丰富度以及 Shannon-Wiener 指数甚至高于海南岛、西双版纳的低地雨林(朱华等,2002)。虽然,各种不同地区热带森林的 Shannon-Wiener 指数之间有着很大的差异,但是 Pielou 均匀度指数均较高,都明显地大于亚热带常绿阔叶林和西双版纳季风常绿阔叶林,而且指数值在不同地区热带雨林之间的差异较小,这说明了这些森林群落的物种优势度都很小。

4) 虽然本项研究较全面地反映了西双版纳热带山地雨林群落的植物多样性特征,但因受各种条

表5 西双版纳热带山地雨林群落植物多样性和均匀度指数与其它森林群落的比较
Table 5 Comparisons of tree species diversity and evenness indices between tropical montane rain forests in Xishuangbanna and the other forest communities

序号 Order	群落名称 Community	地点 Location	海拔 Altitude (m)	面积 Area (m ²)	胸径 (DBH) Diameter at breast height (cm)	植株数 No. of individuals	物种数 No. of species	多样性指数 Diversity indices	均匀度指数 Evenness indices	引用文献 References cited
								<i>H'</i>	<i>J_{sw}</i>	
1	热带雨林 TRF	哥斯达黎加 Costarica	300	10 000	≥10	551	149	4. 508	0. 901	Lieberman & Lieberman , 1996
2	热带雨林 TRF	巴西 Brazil		35 000	≥10	1 420	178	6. 21		安树青等 , 1999
3	热带雨林 TRF	马来半岛北部 Northern Malay , Peninsula		1 600	≥4. 5	118	59	4. 52		
4	热带雨林 TRF	西双版纳 Xishuangbanna	660	2 500	≥10	257	77	3. 888	0. 996	Cao & Zhang , 1997
5	山地雨林 TMRF	海南五指山 Wuzhi Mountain , Hainan	820 ~ 870	5 000	≥5	671	117	5. 900	0. 859	安树青等 , 1999
6	山地雨林 TMRF	海南吊罗山 Diaoluo Mountain Hainan	900 ~ 980	5 000	≥5	632	118	4. 195	0. 880	王峥嵘等 , 1999
7	山地雨林 TMRF	西双版纳 Xishuangbanna	955 ~ 970	2 500	≥2	700	57	1. 914 7	0. 474 1	本次调查 This investigation
8	山地雨林 TMRF	西双版纳 Xishuangbanna	1 210 ~ 1 970	2 500	≥2	634	93	3. 811 5	0. 842 3	
9	石灰山季雨林 MFL	西双版纳 Xishuangbanna	750	400	≥3	150	19	1. 664	0. 565	Cao & Zhang , 1997
10	常绿阔叶林 EBLF	西双版纳 Xishuangbanna	1 050	1 200	≥5	164	29	2. 802	0. 832	
11	常绿阔叶林 EBLF	广东鼎湖山 Dinghu Mountain Guangdong	250	1 200				2. 241	0. 576	彭少麟等 , 1983

TRF : Tropical rain forest TMRF : Tiopical montane rain forest TMRF : Tiopical montane rain forest at lower altitude TMRF : Tropical montane rain forest at higher altitude MFL : Monsoon forest over limestone EBLF : Evergreen broad-leaved forest

件及因素的限制和影响(如经费、人力和时间等),在同一海拔地带所建立的样地数量仍略显不足,如能在同一海拔地带建立 3 块相等面积的样地,将会更加全面、系统地反映西双版纳热带山地雨林群落的植物多样性特征及其随海拔高度变化的规律。

参 考 文 献

An, S. Q. (安树青), X. L. Zhu (朱学雷), Z. F. Wang (王峥嵘), D. G. Campbell, G. Q. Li (李国旗) & X. L. Chen (陈兴龙). 1999. The plant species diversity in a tropical montane rain forest on Wuzhi Mountain, Hainan. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **19**: 803 ~ 809. (in Chinese with English abstract)

Cao, M. & J. H. Zhang. 1997. Tree species diversity of tropical forest vegetation in Xishuangbanna, SW China. *Biodiversity and Conservation*, **6**: 995 ~ 1006.

Cao, T. R. (曹铁如), C. J. Qi (祁承经) & X. L. Yu (喻勋林). 1997. Studies on species diversity of *Fagus lucida* commu-

nities on the Badagongshan Moutain, Hunan. *Chinese Biodiversity* (生物多样性), **5**: 112 ~ 120. (in Chinese with English abstract)

Chen, L. Z. (陈灵芝) & Y. Q. Qian (钱迎倩). 1997. Frontiers in biodiversity science. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **17**: 565 ~ 572. (in Chinese with English abstract)

Condit, R., S. Hubbell, J. LaFrnkie, T. Sukumar, N. Manokaran, R. Foster & P. Ashton. 1996. Species-area and species-individual relationships for tropical trees: a comparison of three 50 hm² plots. *Journal of Ecology*, **84**: 549 ~ 562.

Connell, J. H. 1978. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science*, **199**: 1302 ~ 1310.

Dang, C. L. (党承林) & B. R. Wang (王宝荣). 1997a. The relationship between tree population dynamics and stability in Menyang Biosphere Reserve of Xishuangbanna. *Acta Botanica Yunnanica* (云南植物研究), (Suppl.) : 77 ~ 82. (in Chinese with English abstract)

Dang, C. L. (党承林) & W. Qian (钱韦). 1997b. A study on the population dynamics of constructive species of the tropical

- montane rain forest in Xishuangbanna. *Acta Botanica Yunnanica* (云南植物研究), (Suppl.): 83 ~ 91. (in Chinese with English abstract)
- Ehrlich, P. R. & E. O. Wilson. 1991. Biodiversity studies: science and policy. *Science*, **253**: 758 ~ 762.
- Harms, K., R. Condit, S. P. Hubbell & R. B. Foster. 2001. Habitat association of trees and shrubs in a 50-hm² neotropical forest plot. *Journal of Ecology*, **89**: 947 ~ 959.
- Hu, Y. J. (胡玉佳) & X. Q. Ding (丁小球). 2000. A study on the plant species diversity of tropical natural forest in Bawangling, Hainan Island. *Chinese Biodiversity* (生物多样性), **8**: 370 ~ 377. (in Chinese with English abstract)
- Huang, J. H. (黄建辉), X. M. Gao (高贤明), K. P. Ma (马克平) & L. Z. Chen (陈灵芝). 1997. A comparative study on species diversity in zonal forest communities. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **17**: 611 ~ 618. (in Chinese with English abstract)
- Huang, S. N. (黄世能), Y. D. Li (李意德), T. S. Luo (骆士寿) & B. S. Wang (王伯荪). 2000. Dynamics of associations between tree species in a secondary tropical montane rain forest at Jianfengling on Hainan Island. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), **24**: 569 ~ 574. (in Chinese with English abstract)
- Jin, Z. Z. (金振洲). 1997. The diversity features of the ecological structures of plant species component in the tropical rain forest of Xishuangbanna, Yunnan. *Acta Botanica Yunnanica* (云南植物研究), (Suppl.): 31 ~ 57. (in Chinese with English abstract)
- Jin, Z. Z. (金振洲) & X. K. Ou (欧晓昆). 1997. The diversity features of plant community types in the tropical rain forest vegetation of Xishuangbanna. *Acta Botanica Yunnanica* (云南植物研究), (Suppl.): 1 ~ 30. (in Chinese with English abstract)
- Lieberman, D. & M. Lieberman. 1996. Tropical forest structure and composition on a large scale altitudinal gradient in Costa Rica. *Journal of Ecology*, **84**: 137 ~ 152.
- Lin, L. X. (林露湘), M. Cao (曹敏), Y. Tang (唐勇), X. H. Fu (付先惠) & J. H. Zhang (张建侯). 2002. Tree species diversity in abandoned swidden fields of Xishuangbanna, SW China. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), **26**: 216 ~ 222. (in Chinese with English abstract)
- Ma, K. P. (马克平), J. H. Huang (黄建辉), S. L. Yu (于顺利) & L. Z. Chen (陈灵芝). 1995. Plant community diversity in Dongling Mountain, Beijing, China. Species richness, evenness and species diversities. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **15**: 268 ~ 277. (in Chinese with English abstract)
- Ma, K. P. (马克平). 1994. The measurement of community diversity. In: Qian, Y. Q. (钱迎倩) & K. P. Ma (马克平) eds. *Principles and methodologies of biodiversity studies*. Beijing: China Science and Technology Press. 141 ~ 165. (in Chinese)
- Peng, S. L. (彭少麟) & Z. H. Chen (陈章和). 1983. Species diversity of sub-tropical forest communities in Guangdong. *Ecological Science* (生态科学), **1**: 98 ~ 103. (in Chinese with English abstract)
- Pitman, S. L., J. Terborgh, M. R. Sklman & P. V. Nunez. 1999. Tree species distributions in an upper Amazonian forest. *Ecology*, **80**: 2651 ~ 2661.
- Potts, M. D. 2003. Drought in a Bornean everwet rain forest. *Journal of Ecology*, **91**: 467 ~ 474.
- Schnitzer, S. & W. P. Carson. 2001. Treefall gaps and the maintenance of species diversity in a tropical forest. *Ecology*, **82**: 913 ~ 919.
- Shi, J. P. (施济普) & H. Zhu (朱华). 2002. Effects of three main disturbance manners on the plant diversity of the tropical forest in Xishuangbanna. *Guihaia* (广西植物), **22**: 129 ~ 135. (in Chinese with English abstract)
- Su, W. H. (苏文华). 1997. Study on the composition of tree population of *Pometia tomentosa* community in the tropical seasonal rain forest of Xishuangbanna. *Acta Botanica Yunnanica* (云南植物研究), (Suppl.): 97 ~ 107. (in Chinese with English abstract)
- Tang, J. W. (唐建维), J. H. Zhang (张建侯), Q. S. Song (宋启示) & Z. L. Feng (冯志立). 1997. Analysis on the characteristics of *Millettia leptobotrya* community in Xishuangbanna. *Guihaia* (广西植物), **17**: 338 ~ 344. (in Chinese with English abstract)
- Tang, J. W. (唐建维), J. H. Zhang (张建侯), Q. S. Song (宋启示) & Z. L. Feng (冯志立). 1999. Community analysis on secondary tropical vegetations in Xishuangbanna. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **10**: 135 ~ 139. (in Chinese with English abstract)
- Tang, J. W. (唐建维), J. P. Shi (施济普), G. M. Zhang (张光明), K. J. Bai (白坤甲), X. M. Guo (郭贤明), S. Z. Zhu (朱胜忠), W. G. Duan (段文贵), J. P. Song (宋军平), J. H. Dao (刀建红) & J. G. Huang (黄建国). 2003. Successional dynamics and structure characteristics of pioneer *Musa acuminata* Colla communities in Xishuangbanna, Yunnan. *Chinese Biodiversity* (生物多样性), **11**: 37 ~ 46. (in Chinese with English abstract)
- Wang, H. (王洪), H. Zhu (朱华) & B. G. Li (李保贵). 2001. The community study of tropical montane rain forest in Mengsong, Xishuangbanna. *Guihaia* (广西植物), **21**: 303 ~ 314. (in Chinese with English abstract)
- Wang, Z. F. (王峥嵘), S. Q. An (安树青), D. G. Campell, X. B. Yang (杨小波) & X. L. Zhu (朱学雷). 1999. Biodiversity of the montane rain forest in Diaoluo Mountain, Hainan. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **19**: 61 ~ 67. (in Chinese with English abstract)
- Whittaker, R. H. 1960. Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California. *Ecological Monographs*, **30**: 279 ~ 338.
- Wright, S. J. 2002. Plant diversity in tropical forests: a review of mechanism of species coexistence. *Oecologia*, **130**: 1 ~ 14.
- Wu, B. X. (吴邦兴). 1988. The features of physiognomy and structure of the seasonal rainforest in Xishuangbanna of Yunnan. *Acta Botanica Yunnanica* (云南植物研究), **10**: 1 ~ 10. (in Chinese with English abstract)
- Wu, Z. Y. (吴征镒). 1980. Vegetation of China. Beijing: Science Press. 889 ~ 916. (in Chinese)
- Wu, Z. Y. (吴征镒). 1987. Vegetation of Yunnan. Beijing: Science Press. 97 ~ 192. (in Chinese)
- Xi, W. M. (奚为民). 1997. Study on species diversity of forest in Wuling Mountain Natural Reserve. *Chinese Biodiversity* (生物

- 多样性), 5: 121 ~ 125. (in Chinese with English abstract)
- Xie, J. Y. (谢晋阳) & L. Z. Chen (陈灵芝). 1994. Species diversity characteristics of deciduous forests in the warm temperate zone of North China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 14: 337 ~ 344. (in Chinese with English abstract)
- Yu, S. X. (余世孝), R. G. Zang (臧润国) & Y. X. Jiang (蒋有绪). 2001. Species richness-abundance relationships in four tropical forests on altitudinal gradient in Bawangling Nature Reserve, Hainan. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 25: 291 ~ 297. (in Chinese with English abstract)
- Zang, R. G. (臧润国), Y. X. Jiang (蒋有绪) & S. X. Yu (余世孝). 2002. The forest cycle and tree species diversity dynamics in a tropical montane rain forest of Hainan Island, South China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 22: 24 ~ 32. (in Chinese with English abstract)
- Zang, R. G. (臧润国), Y. C. Yang (杨彦承) & Y. X. Jiang (蒋有绪). 2001. Community structure and tree species diversity characteristics in a tropical montane rain forest in Bawangling Nature Reserve, Hainan Island. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 25: 270 ~ 275. (in Chinese with English abstract)
- Zhu, H. 1997. Ecological and biogeographical studies of 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. (朱华), Z. F. Xu (许再富), H. Wang (王洪), B. G. Li (李保贵) & B. Y. Long (龙碧云). 2000. Effects of fragmentation on the structure, species composition and diversity of tropical rain forest in Xishuangbanna, Yunnan. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 24: 560 ~ 568. (in Chinese with English abstract)
- Zhu, H. (朱华), Y. H. Li (李延辉), Z. F. Xu (许再富), H. Wang (王洪) & B. G. Li (李保贵). 2001. Characteristics and affinity of the flora of Xishuangbanna, SW China. *Guihaia* (广西植物), 21: 127 ~ 136. (in Chinese with English abstract)
- Zhu, H. (朱华) & H. X. Zhou (周虹霞). 2002. A comparative study on the tropical rain forests in Xishuangbanna and Hainan. *Acta Botanica Yunnanica* (云南植物研究), 24: 1 ~ 13. (in Chinese with English abstract)
- Zhu, H. (朱华), H. Wang (王洪), B. G. Li (李保贵) & Z. F. Xu (许再富). 1998a. Research on the tropical seasonal rainforest of Xishuangbanna, South Yunnan. *Guihaia* (广西植物), 18: 371 ~ 384. (in Chinese with English abstract)
- Zhu, H. (朱华), H. Wang (王洪), B. G. Li (李保贵) & Z. F. Xu (许再富). 1998b. Species diversity of primary tropical rain forest of South Yunnan of China with special reference to sampling area. *Chinese Biodiversity* (生物多样性), 6: 241 ~ 247. (in Chinese with English abstract)
- Zhu, S. Q. (朱守谦). 1987. A preliminary study of the species diversity of part of the forest communities in Guizhou. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica* (植物生态学与地植物学丛刊), 11: 286 ~ 295. (in Chinese with English abstract)

责任编辑: 彭少麟 责任编辑: 刘丽娟