

哀牢山常绿阔叶林树种多样性 及空间分布格局

巩合德^{1,2*} 杨国平¹ 鲁志云¹ 刘玉洪¹

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 (中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 为了探究哀牢山中山湿性常绿阔叶林树种多样性特点及优势种群空间分布特征, 2008年, 中国科学院西双版纳热带植物园在哀牢山生态站附近的常绿阔叶林建立了一块6 ha的森林动态监测样地, 逐一测量并记录了样地中所有胸径(DBH)≥1 cm的树木的胸径, 并对其挂牌标记、鉴定和确定坐标位置。应用 Ripley's L-Function分析了样地内4个上层优势种的空间分布格局。结果表明, 样地内共有DBH≥1 cm的乔木12,131株, 隶属于25科49属68种。样地内硬壳柯(*Lithocarpus hancei*)的重要值最大, 其胸高断面面积也最大; 其次为变色锥(*Castanopsis wattii*); 排在第三位的为云南连蕊茶(*Camellia forrestii*), 有1,712个个体, 是样地内个体数量最多的树种。和同类型森林相比, 哀牢山中山湿性常绿阔叶林是多优种类型, 物种总数较少, 稀有种所占比例也较小。样地内4个上层优势种的小径级个体数量较多, 而大径级个体数量较少, 而且在空间上呈现互补特征。对样地中符合条件的26个树种(生活史期间的树木株数≥40株)的空间格局进行分析, 53个生长时期中有37个表现为集群分布, 表明在树种多样性维持方面, 密度制约机制可能不是主要原因, 生境异质性可能起着重要作用。

关键词: 树种多样性, 密度制约, 生境异质性, 集群分布

Diversity and spatial distribution patterns of trees in an evergreen broad-leaved forest in the Ailao Mountains, Yunnan

Hede Gong^{1,2*}, Guoping Yang¹, Zhiyun Lu¹, Yuhong Liu¹

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

2 Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

Abstract: All free-standing trees within a 6-ha plot with diameter at breast height (DBH)≥1 cm were tagged, mapped, measured and identified to species. The spatial distribution patterns of four dominant canopy tree species in the plot were analyzed using a point pattern analysis Ripley's L-function. A total of 12,131 free-standing individuals were recorded, including 68 species belonging to 49 genera and 25 families. *Lithocarpus hancei* had the highest basal area and the largest importance value. The second was *Castanopsis wattii*. *Camellia forrestii*, an understory tree species, ranked third in terms of importance value, although it showed the highest abundance (1,712 individuals). And this evergreen broad-leaved forest did not contain an obviously dominant species. The four dominant canopy species had a large number of seedlings and saplings and tended to be patchily distributed. We also examined the spatial distribution of 26 tree species with ≥40 individuals at each growth period (DBH ≥1 cm). Thirty-seven of 53 life history stages showed aggregated distribution pattern, suggesting that habitat heterogeneity may be more important than density dependence for regulating the population spatial structure of most tree species in the subtropical forest studied here.

Key words: tree species diversity, density dependence, habitat heterogeneity, aggregated distribution

收稿日期: 2010-12-20; 接受日期: 2011-03-23

基金项目: 中国科学院创新项目“哀牢山亚热带森林生态系统研究站强化建设项目”、国家自然科学基金青年科学基金项目(31000201)和云南省科技计划项目(2010CD111)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: gonghd@xtbg.ac.cn

常绿阔叶林是发育在亚热带气候条件下的一种顶级森林植被,它是全球亚热带大陆东岸湿润气候和季风气候条件下的产物(吴征镒, 1980)。由于常绿阔叶林在我国分布的区域正好处于人口稠密、工农业生产发展速度较快的地区,通过近半个世纪的经济开发,分布面积已经大大缩小,目前多数地区已被人为开垦利用,或已经被转换为城乡建设用地,森林分布格局多为片断化、斑块状。哀牢山自然保护区的常绿阔叶林面积达到504 km²,是我国亚热带常绿阔叶林面积最大的保护区之一(Young & Wang, 1989)。由于地处我国青藏高原东南侧以及云南亚热带与热带北缘的过渡区,热带、亚热带、温带(亚高山)区系成分在这里交错汇集,而且具有较多的特有成分,形成了生物多样性极为丰富和植物区系地理成分极为复杂的格局(邱学忠, 1998)。

游承侠(1983)、钱洪强(1983)和 Young(1989, 1992, 1995)等先后对哀牢山中山湿性常绿阔叶林树种多样性进行了研究,何永涛等(2000)比较了哀牢山中山湿性常绿阔叶林和滇中地区半湿润常绿阔叶林及广东鼎湖山的亚热带常绿阔叶林的树种多样性特征,邱学忠(1998)研究了此类森林不同层次的多样性特征。这些研究显示,常绿阔叶林的物种多样性在群落水平上也存在着较大的变异,并且不同层次物种多样性的分布格局也具有较大的不确定性。这是否真实反映了这些森林类型树种的分布规律?目前还没有足够的数据和证据可以得出一个明确的结论。因为取样技术的不统一会导致不同的研究结果,其中样地面积大小也是影响研究结果的重要因素之一。2008年,中国科学院西双版纳热带植物园在哀牢山生态站附近的中山湿性常绿阔叶林建立了一块6 ha的森林动态监测样地,本文利用此样地的树种清查数据,对该地的物种多样性及优势种群的空间分布格局进行了分析,旨在全面认识哀牢山中山湿性常绿阔叶林树种多样性的特点以及优势种群在常绿阔叶林中的地位。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

研究区域位于哀牢山国家级自然保护区核心区的徐家坝地区,地理位置为24°32' N, 101°01' E,

海拔2,400–2,600 m。根据哀牢山森林生态系统研究站的资料,该区域年平均降雨量为1,931 mm,干湿季分明,雨季(5–10月)降雨量占年降雨量的85%,年平均蒸发量1,485 mm。年平均温度11.3℃,最热月(7月)气温为16.4℃,最冷月(1月)气温为5.4℃,无霜期200 d。成土母质由片岩、片麻岩和闪长岩组成,多发育为典型的黄棕壤,土壤肥沃,偏酸性(pH为4.4–4.9),土壤表面由凋落物层(厚度3–7 cm)覆盖,土壤有机碳、全氮和全磷含量分别为12.91%、0.52%和0.06%,土壤表面的C/N比为14.4, 30–50 cm深度C/N比为15.3 (Liu *et al.*, 2002)。

中山湿性常绿阔叶林主要由壳斗科、茶科、樟科和木兰科的树种组成,其中,壳斗科的硬壳柯(*Lithocarpus hancei*)、木果柯(*L. xylocarpus*)、变色锥(*Castanopsis wattii*),茶科的南洋木荷(*Schima noronhae*)、翅柄紫茎(*Stewartia pteropetiolata*)、云南连蕊茶(*Camellia forrestii*),樟科的黄心树(*Machilus gamblei*)、黄丹木姜子(*Litsea elongata*),木兰科的红花木莲(*Manglietia insignis*)、多花含笑(*Michelia floribunda*)是乔木层的主要优势种。此外,林中藤本植物和附生植物也相当发达,层间植物以木质大藤本为常见,附生植物以苔藓和蕨类植物为主,形成奇特的森林景观(邱学忠, 1998)。

1.2 调查方法

在研究区域的成熟林中建立1个6 ha(东西长200 m,南北长300 m)的永久固定样地(图1),建设技术按照美国史密森热带研究所的热带森林研究中心1980年在巴拿马 Barro Colorado Island建立50 ha样地的技术规范进行(Condit, 1995)。

样地的地理位置为101°01'34.7"–101°01'42.0" E, 24°32'9.9"–24°32'20.3" N,样地内最低海拔为2,488.2 m,最高海拔为2,537.8 m,相对高差为49.6 m。采用全站仪(Topcon GTS-336)将整个样地划分为150个20 m × 20 m的样方,记录并鉴定每个20 m × 20 m样方内的所有乔木,于高度1.3 m处漆上红漆,用测树钢围尺(205型)测量植物的胸径,并记录植物的编号、树种名称、树高、胸径、样区位置。整个样地以东西方向为X轴,南北方向为Y轴,用钢卷尺测量每株树木在5 m × 5 m小样方中的x, y坐标值,精确到0.1 m。树高在10 m 及以下的用标尺测量,大于10 m的估测,精确到0.1 m。

样地测量工作于2007年11月完成,野外调查工

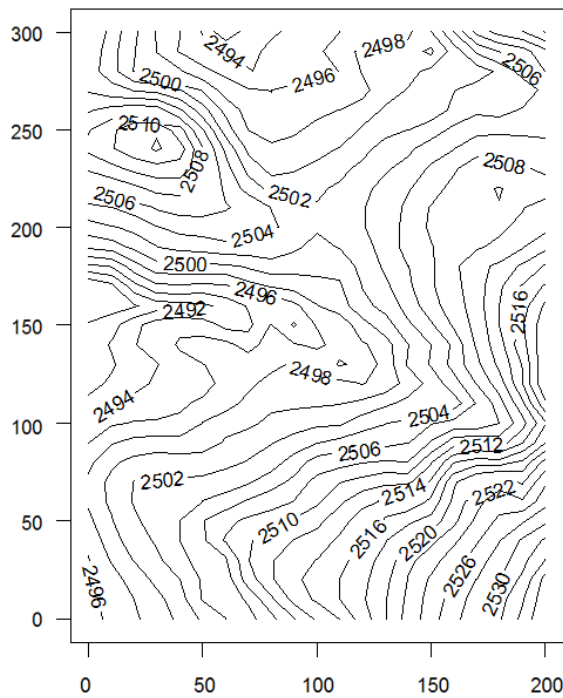


图1 哀牢山常绿阔叶林动态监测样地等高线图(等高线间距为10 m)

Fig. 1 The topographic map of the evergreen broad-leaved forest dynamic plot in the Ailao Mountains (with 10 m contour intervals)

作于2008年4-5月完成。数据录入采用同一数据由不同人员录入的方法, 利用Excel Compare对两份数据进行比较, 从而最大限度提高录入数据的精确度。

1.3 数据分析

1.3.1 重要值的计算

乔木重要值 = (相对密度+相对频度+相对优势度)/3(孙儒泳等, 2002), 其中计算相对频度的总样方数为150个(20 m × 20 m)。

1.3.2 群落物种多样性的测定

多样性指数采用Shannon-Wiener指数(H)、Pielou均匀度指数(E)(Magurran, 1988)。

$$H = - \sum_{i=1}^s p_i \ln(p_i)$$

$$E = H/\ln S$$

其中 S 为总物种数, p_i 为属于物种 i 的个体在全部个体中占的比例。

1.3.3 种-面积曲线

从原始基准点开始分别选择面积1,200 m²、2,400 m²、3,600 m²、4,800 m²、6,000 m²……等为

单位, 逐渐扩大取样面积, 结合树种数量的增加过程, 绘制种-面积曲线(孙儒泳等, 2002)。根据种-面积曲线拟合相应方程(颜文洪和胡玉佳, 2004)。

1.3.4 乔木分层及生活史划分

根据乔木树种树高的最大值区分灌木层树种、乔木下层树种和乔木上层树种, 灌木层树种: 1.3 m ≤ 树高 < 5 m, 乔木下层树种: 5 m ≤ 树高 < 15 m, 乔木上层树种: 树高 ≥ 15 m(Zhu *et al.*, 2010)。乔木上层优势种由该层各树种的多度计算。

灌木层树种: (1) 幼树(saplings): 1 cm ≤ DBH < 1.5 cm; (2) 中树(poles): 1.5 cm ≤ DBH < 5 cm; (3) 成树(adults): DBH ≥ 5 cm。乔木下层树种: (1) 幼树: 1 cm ≤ DBH < 2.5 cm; (2) 中树: 2.5 cm ≤ DBH < 10 cm; (3) 成树: DBH ≥ 10 cm。乔木上层树种: (1) 幼树: 1 cm ≤ DBH < 5 cm; (2) 中树: 5 cm ≤ DBH < 30 cm; (3) 成树: DBH ≥ 30 cm。

1.3.5 优势种群空间分布格局

本文应用Ripley's K-Function的单种点格局分析法分析样地内优势树种的空间分布格局, 并用Monte-Carlo拟合检验计算上下包迹线(即置信区间), 拟合次数为99次, 得到的置信水平为99%(兰国玉等, 2008), 数据统计用R(2.7.2版本)软件(<http://r-user.org/>)。

2 结果

2.1 种-面积曲线及树种多样性

共记录了胸径 ≥ 1 cm的乔木个体12,131株, 平均每公顷有2,022株。共有68种(包括54个常绿阔叶树种、13个落叶阔叶树种和1个常绿针叶树种), 隶属于25科49属。

当样地面积从3,600 m²增加到4,800 m²时, 物种数增加了9种; 当面积从4,800 m²增加到6,000 m²时, 增加了4种; 但当面积从6,000 m²增加到7,200 m²时, 只增加了1种。要覆盖研究样地80%的树种, 需要的取样面积为9,600 m²。根据种-面积曲线拟合相应方程, 方程: $y = 10.614 \ln(x) - 46.133$ ($R^2 = 0.937$, $P < 0.001$), 拟合效果最好(图2)。在取基本面积为6,000 m², 得到群落的Shannon-Wiener指数为2.95 ± 0.11, Pielou均匀度指数为0.78 ± 0.02。

2.2 树种多度和优势种

样地内个体数量大于500的树种有6种, 仅占总种数的8.82%, 但个体数量占56.65%。个体数量最多

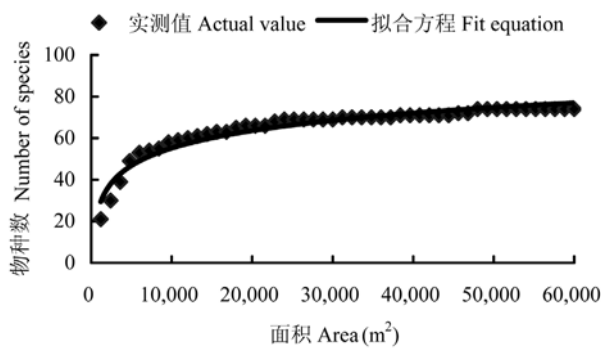


图2 哀牢山样地的种-面积曲线

Fig. 2 Species-area curve in the evergreen broad-leaved forest dynamic plot in the Ailao Mountains

的为云南连蕊茶, 随后依次为云南越桔(*Vaccinium duclouxii*)、多花山矾(*Symplocos ramosissima*)、山矾(*S. sumuntia*)、硬壳柯和变色锥。样地内个体数量仅有1株的有6种, 占树种总数的8.82%, 根据Hubbell和Foster(1986)关于稀有种的定义, 平均每公顷个体数少于1的树种为稀有种, 样地内的稀有种有17种, 占25.00%。

硬壳柯的重要值最大, 有953个个体, 胸高断面积为13.25 m²/ha, 是样地内胸高断面积最大的树种; 其次为变色锥; 排在第三位的为云南连蕊茶, 有1,712个个体, 也是样地内个体数量最多的树种, 其胸高断面积为0.49 m²/ha(表1)。

2.3 属的分布区类型

根据吴征镒等(2006)属的分布区类型的划分, 样地内有热带成分的属有23个, 而温带属性的属有22个(表2)。

2.4 树种的径级分布

样地内DBH ≥1 cm的树木的总胸高断面积为48.22 m²/ha。从径级结构可以看出, DBH ≤10 cm的个体数量较多(图3), 占总个体数量的68.84%, DBH >10 cm的个体比例为31.16%, 样地内乔木最大胸径为213.4 cm(木果柯)。林冠层树种重要值在前4位的树种依次为: 硬壳柯、变色锥、木果柯和南洋木荷。

2.5 上层优势种空间分布格局

用点格局的K-Function分析了4个上层优势树种在不同生长时期的分布格局的变化规律, 结果(图4)表明, 硬壳柯的幼树和成树均表现明显的随机分布, 而中龄树和整个种群则变现为集群分布; 变色锥幼树表现随机分布, 中树、成树和整个种群则主要表现集群分布; 木果柯中树、成树和整个种群都表现集群分布(幼树仅26棵); 南洋木荷幼树表现随机分布, 中树、成树和整个种群则表现明显的集群分布(图4)。

对样地符合条件的26个树种(生活史期间的树木株数 ≥40株)的空间格局进行分析(表3), 23个树种的幼树有13种表现集群分布, 21个树种的中树有

表1 哀牢山常绿阔叶林动态监测样地重要值在前10位的树种

Table 1 Top ten tree species with the highest importance values in the evergreen broad-leaved forest dynamic plot in the Ailao Mountains

	种名 Species	个体数 Number	相对密度 Relative density	相对频度 Relative frequency	胸高断面积 Basal area (m ² /ha)	相对优势度 Relative dominance	重要值 Importance value
1	硬壳柯 <i>Lithocarpus hancei</i>	953	7.86	5.01	13.25	27.48	13.45
2	变色锥 <i>Castanopsis wattii</i>	541	4.46	4.75	7.74	16.06	8.42
3	云南连蕊茶 <i>Camellia forrestii</i>	1,712	14.11	5.19	0.49	1.02	6.77
4	云南越桔 <i>Vaccinium duclouxii</i>	1,355	11.17	4.48	1.48	3.06	6.24
5	木果柯 <i>Lithocarpus xylocarpus</i>	242	1.99	3.70	5.83	12.10	5.93
6	多花山矾 <i>Symplocos ramosissima</i>	1,198	9.88	4.52	0.89	1.84	5.41
7	山矾 <i>S. sumuntia</i>	1,113	9.17	4.97	0.70	1.46	5.20
8	南洋木荷 <i>Schima noronhae</i>	179	1.48	3.29	3.53	7.31	4.03
9	滇润楠 <i>Machilus yunnanensis</i>	390	3.21	4.97	1.63	3.38	3.86
10	珊瑚冬青 <i>Ilex corallina</i>	389	3.21	3.62	1.75	3.62	3.48
合计	Total	12,131	100	100	48.22	100	100

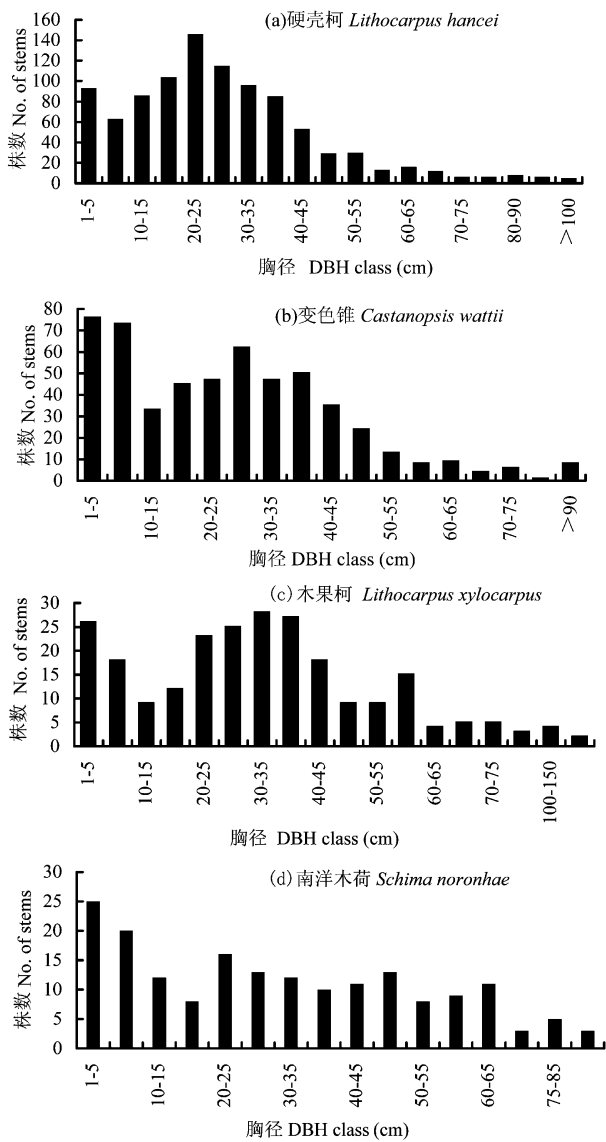


图3 4个林冠层优势种的径级分布
Fig. 3 DBH distribution of four dominant canopy species in the evergreen broad-leaved forest dynamic plot in the Ailao Mountains

18种表现集群分布, 9个树种的成树有6种表现集群分布(表3)。随着径级增加, 只有2个树种的集群程度随径级增大而降低。

3 讨论

3.1 树种丰富度和优势种

虽然云南连蕊茶在样地内个体数量最多, 但由于其处于群落林冠的下层, 多为小乔木, 径级较小,

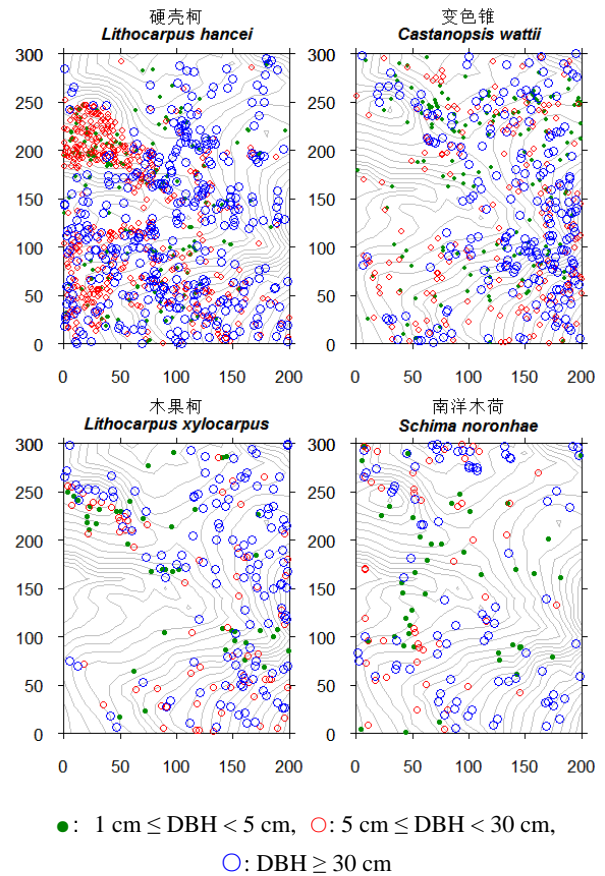


图4 Ripley's K-Function的单种点格局分析4个林冠层优势种不同生长期时的空间分布格局
Fig. 4 Spatial distribution maps of four dominant canopy species in the evergreen broad-leaved forest dynamic plot in the Ailao Mountains analyzed by using a point pattern analysis Ripley's K-Function.

而硬壳柯处于群落林冠的上层, 径级较大, 因而对群落的影响要远大于云南连蕊茶。哀牢山常绿阔叶林群落为多优种类型, 优势树种不明显, 不同于鼎湖山亚热带常绿阔叶林(叶万辉等, 2008)和古田山中亚热带常绿阔叶林(祝燕等, 2008), 后者均有明显的优势树种; 另外本森林群落的稀有种比例(25.00%)也明显低于鼎湖山亚热带常绿阔叶林(52.38%)和古田山中亚热带常绿阔叶林(37.10%)。从哀牢山常绿阔叶林样地种-面积关系看, 随着取样面积增加, 树种数量同步增加, 但树种数量先迅速增加后趋于稳定, 到样地面积为6 ha时, 树种数量变化趋于平缓, 说明以6 ha作为样地研究尺度对研究哀牢山中山湿性常绿阔叶林具有一定代表性和完整性。按照种-面积曲线方程拟合, 在样地面积

表2 哀牢山常绿阔叶林动态监测样地木本植物地理成分分析统计

Table 2 Distribution patterns of seed plants in the evergreen broad-leaved forest dynamic plot in the Ailao Mountains

分布区类型 Areal-types	属数 No. of genera	%
1 世界广布 Cosmopolitan	1	—
2 泛热带 Pantropic	5	10.42
3 东亚(热带、亚热带)及热带南美间断 Tropical and Subtropical East Asia and (South) Tropical America disjuncted	6	12.50
4 热带亚洲至热带大洋洲分布 Tropical Asia to Tropical Australasia	1	2.08
5 热带亚洲至热带非洲 Tropical Asia to Tropical Africa	1	2.08
6 热带亚洲(热带东南亚至印度—马来, 太平洋诸岛) Tropical Asia (Tropical South-east Asia + Indo-Malaya + Tropical South and Southwest)	10	20.83
热带成分(2–6) Tropical elements (2–6)	23	47.91
7 北温带 North temperature	14	29.17
8 东亚及北美间断 East Asia and North America disjuncted	7	14.59
9 旧世界温带分部 Old World Temperate	1	2.08
温带成分(7–9) Temperate elements (7–9)	22	45.84
10 东亚 East Asia	3	6.25
合计 Total	49	100.00

表3 26个树种不同生长时期的空间分布

Table 3 Spatial distribution patterns of 26 tree species in different growth periods

生长时期 Growth period	集群分布 Aggregated distribution	随机分布 Random dis- tribution	均匀分布 Uniform distribution
幼树 Seedling	13	10	0
中树 Sapling	18	3	0
成树 Adult	6	3	0

为20 ha时, 仅有80个树种, 也远少于鼎湖山南亚热带常绿阔叶林(210种)和古田山中亚热带常绿阔叶林(159种)。这说明哀牢山中山湿性常绿阔叶林与鼎湖山南亚热带常绿阔叶林和古田山中亚热带常绿阔叶林的树种多样性有很大不同, 其原因还有待进一步研究。以往的研究结果表明, 哀牢山常绿阔叶林乔木树种主要由壳斗科、茶科、樟科及木兰科组成(中国科学院昆明分院生态研究室, 1983; 邱学忠, 1998), 但本研究中重要值前10位的树种主要是壳斗科、樟科、茶科、越桔科和山矾科的植物, 并没有木兰科树种, 这可能与以前的研究取样面积较小有关系。

3.2 属的分布区类型

从样地中群落看, 研究区域森林类型是典型的亚热带常绿阔叶林, 从树种属的分布区类型看, 哀牢山常绿阔叶林与热带区系和温带区系均有较密

切的联系, 反映出样地内植物区系由热带向温带过渡的性质(表2)。

3.3 树种的径级分布

径级结构是植物群落稳定性和生长发育状况的重要指标(叶万辉等, 2008)。样地内DBH ≥ 1 cm的树木的总胸高断面积为48.22 m²/ha, 大于鼎湖山南亚热带常绿阔叶林的30.17 m²/ha(叶万辉等, 2008)和古田山中亚热带常绿阔叶林的36.9 m²/ha(祝燕等, 2008), 这反映了研究样地森林的原始性。DBH > 10 cm的个体比例为31.16%, 也远大于鼎湖山南亚热带常绿阔叶林的16.42%(叶万辉等, 2008)。重要值前4位上层树种的中小径级个体数量较多, 而大径级个体数量较少, 表明4个树种有足够数量的幼苗和幼树, 也表明该森林群落处于相对稳定状态(图3)。

3.4 树种空间分布格局及密度制约机制

林冠层优势树种不同生长时期空间分布格局没有规律(图4), 这是各树种在不同微环境条件下生长、存活以及竞争影响的结果(Frelich *et al.*, 1993), 也是由于每个树种各个生长时期不同微环境条件造成的(Manabe *et al.*, 2000); 空间分布格局随尺度变化不大, 说明尺度并不是制约该样地树种空间分布格局的关键因子。但相比较而言, 从整个种群来看, 4个林冠层优势种都表现了比较明显的集群分布特征, 说明了优势种群与集群分布的高度相关性(汤孟平等, 2006)。样地内分析的26个树种, 53个生

长时期中共有37个表现出集群分布(占总数的69.81%), 因此可以认为哀牢山常绿阔叶林大多数树种的幼苗和母树均表现为集群分布, 这和以前在鼎湖山常绿阔叶林的研究一致(Li *et al.*, 2009), 研究样地内树种的生活史时期也可能是影响树种空间分布格局的重要因素。

对样地内26个树种不同生长时期进行空间分布格局分析发现, 只有2个树种表现出随径级增大, 树种由集群分布转而表现为随机分布, 样地内并没有树种表现出均匀分布, 表明研究样地密度制约机制表现并不明显, 可能是其他机制(生境异质性和林窗干扰等)在起主要作用, 但Zhu等(2010)对古田山中亚热带常绿阔叶林24 ha样地研究后认为, 密度制约机制对大多数树种的空间分布有调节作用。

3.5 林冠层优势种空间分布特征

哀牢山常绿阔叶林林冠层优势种在空间上呈现互补特征, 如硬壳柯和变色锥(图4), 这与叶万辉等(2008)的研究结果一致, 这可能是种间竞争作用的结果; 但同一树种不同径级之间的空间分布并未发现明显的互补, 这和叶万辉等(2008)的研究结果不相同。有的优势种表现出明显的生境偏好, 表明生态位分化机制在研究样地森林群落生物多样性维持中可能有重要作用(祝燕等, 2008)。

致谢: 中国科学院西双版纳热带植物园哀牢山生态站为本研究提供了基本的研究条件和经费支持, 景东自然保护区给予了大量的支持。从研究设计、执行、数据录入、数据处理及文章撰写, 曹敏研究员都付出甚多, 在此表示深深感谢。哀牢山站张一平站长为本项目开展创造了很多条件, 林露湘副研究员在做图过程中帮助甚多, 胡跃华博士在数据录入和处理中给予了大量帮助, 中国热带农业科学院兰国玉博士和中科院沈阳应用生态研究所王绪高副研究员在数据处理和分析过程中给予了非常重要的指点, 李达文、杞金华、罗鑫和罗成昌等参加了野外调查工作, 另外本研究还得到杨文争、柏增和、李新德、周玲和鲁海的大力帮助, 在此一并表示感谢。

参考文献

Cao GX (操国兴), Zhong ZC (钟章成), Liu Y (刘芸), Xie DT (谢德体) (2003) The study of distribution pattern of *Cammellia rosthorniana* population in Jinyun Mountain. *Journal of Biology* (生物学杂志), **20**(1), 10–12. (in Chinese with English abstract)

- Condit R (1995) Research in large, long-term tropical forest plots. *Trends in Ecology and Evolution*, **10**, 18–22.
- Da LJ (达良俊), Yang YC (杨永川), Song YC (宋永昌) (2004) Population structure and regeneration types of dominant species in an evergreen broadleaved forest in Tiantong National Forest Park, Zhejiang Province, eastern China. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), **28**, 376–384. (in Chinese with English abstract)
- Frelich LE, Calcote RR, Davis MB, Pastor J (1993) Patch formation and maintenance in an old-growth hemlock-hardwood forest. *Ecology*, **74**, 513–527.
- He YT (何永涛), Cao M (曹敏), Tang Y (唐勇), Yang GP (杨国平) (2000) A comparative study on tree species diversity of evergreen broad-leaved forest, central Yunnan. *Journal of Mountain Science* (山地学报), **18**, 322–328. (in Chinese with English abstract)
- Hubbell SP, Foster RB (1986) Commonness and rarity in a tropical forest: implications for tropical tree conservation. In: *Conservation Biology: Science of Scarcity and Diversity* (ed. Soulé M), pp. 205–231. Sinauer Press, Sunderland, UK.
- Laboratory of Ecology, Kunming Branch, Chinese Academy of Sciences (中国科学院昆明分院生态研究室) (1983) A general account on the forest ecosystems in Xujiaba of the Ailao Mts. In: *Research of Forest Ecosystem on Ailao Mountains, Yunnan* (云南哀牢山森林生态系统研究) (ed. Wu ZY (吴征镒)), pp. 1–8. Yunnan Science and Technology Press, Kunming. (in Chinese)
- Lan GY (兰国玉), Hu YH (胡跃华), Cao M (曹敏), Zhu H (朱华), Wang H (王洪), Zhou SS (周仕顺), Deng XB (邓晓保), Cui JY (崔景云), Huang JG (黄建国), Liu LY (刘林云), Xu HL (许海龙), Song JP (宋军平), He YC (何有才) (2008) Establishment of Xishuangbanna tropical forest dynamics plot: species compositions and spatial distribution patterns. *Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), **32**, 287–298. (in Chinese with English abstract)
- Li L, Huang ZL, Ye WH, Cao HL, Wei SG, Wang ZG, Lian JY, Sun IF, Ma KP, He FL (2009) Spatial distributions of tree species in a subtropical forest of China. *Oikos*, **118**, 495–502.
- Liu WY, Fox JED, Xu ZF (2002) Biomass and nutrient accumulation in montane evergreen broad-leaved forest (*Lithocarpus xylocarpus* type) in Ailao Mountains, SW China. *Forest Ecology and Management*, **158**, 223–235.
- Magurran AE (1988) *Ecological Diversity and Its Measurement*. Croon Helm Limited, London.
- Manabe T, Nishimura N, Miura M, Yamamoto S (2000) Population structure and spatial patterns for trees in a temperate old-growth evergreen broad-leaved forest in Japan. *Plant Ecology*, **151**, 181–197.
- Qian HQ (钱洪强) (1983) The analysis of structure of evergreen broad-leaf forest in Xujiaba region in Ailao Mts. In: *Research of Forest Ecosystem on Ailao Mountains, Yunnan* (云南哀牢山森林生态系统研究) (ed. Wu ZY (吴征镒)),

- pp. 118–150. Yunnan Science and Technology Press, Kunming. (in Chinese)
- Qiu XZ (邱学忠) (1998) *Study on the Forest Ecosystem in Ailao Mountains, Yunnan, China* (哀牢山森林生态系统研究), pp. 12–27. Yunnan Science and Technology Press, Kunming. (in Chinese)
- Sun RY (孙儒泳), Li QF (李庆芬), Niu CJ (牛翠娟), Lou AR (娄安如) (2002) *Basic Ecology* (基础生态学), pp. 140–143. Higher Education Press, Beijing. (in Chinese)
- Tang MP (汤孟平), Zhou GM (周国模), Shi YJ (施拥军), Chen YG (陈永刚), Wu YQ (吴亚琪), Zhao MS (赵明水) (2006) Study of dominant plant populations and their spatial patterns in evergreen broadleaved forest in Tianmu Mountain, China. *Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), **30**, 743–752. (in Chinese with English abstract)
- Wu ZY (吴征镒) (1980) *Vegetation of China* (中国植被), pp. 306–356. Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Wu ZY (吴征镒), Zhou ZK (周浙昆), Sun H (孙航), Li DZ (李德铎), Peng H (彭华) (2006) *The Areal-Types of Seed Plants and Their Origin and Differentiation* (种子植物分布区类型及其起源和分化), pp. 146–451. Yunnan Science and Technology Press, Kunming. (in Chinese)
- Yan WH (颜文洪), Hu YJ (胡玉佳) (2004) Minimum sampling area and species diversity of coastal *Vatica hainanensis* forest in Shimei Bay, Hainan Island. *Biodiversity Science* (生物多样性), **12**, 245–251. (in Chinese with English abstract)
- Ye WH (叶万辉), Cao HL (曹洪麟), Huang ZL (黄忠良), Lian JY (练据愉), Wang ZG (王志高), Li L (李林), Wei SG (魏识广), Wang ZM (王章明) (2008) Community structure of a 20 hm² lower subtropical evergreen broadleaved forest plot in Dinghushan, China. *Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), **32**, 274–286. (in Chinese with English abstract)
- You CX (游承侠) (1983) Classification of vegetation in Xujiaba region in Ailao Mts. In: *Research of Forest Ecosystem on Ailao Mountains, Yunnan* (云南哀牢山森林生态系统研究) (ed. Wu ZY (吴征镒)), pp. 74–117. Yunnan Science and Technology Press, Kunming. (in Chinese)
- Young SS, Carpenter C, Wang ZJ (1992) A study of the structure and composition of an old growth and secondary broad-leaved forest in the Ailao Mountains of Yunnan, China. *Mountain Research and Development*, **12**, 269–284.
- Young SS, Herwitz SR (1995) Floristic diversity and co-occurrences in a subtropical broad-leaved forest and two contrasting regrowth stands in central-west Yunnan Province, China. *Vegetatio*, **119**, 1–13.
- Young SS, Wang ZJ (1989) Comparison of secondary and primary forest in the Ailao Shan region of Yunnan, China. *Forest Ecology and Management*, **28**, 281–300.
- Zhu Y (祝燕), Zhao GF (赵谷风), Zhang LW (张俐文), Shen GC (沈国春), Mi XC (米湘成), Ren HB (任海保), Yu MJ (于明坚), Chen JH (陈建华), Chen SW (陈声文), Fang T (方腾), Ma KP (马克平) (2008) Community composition and structure of Gutianshan forest dynamic plot in a mid-subtropical evergreen broad-leaved forest, East China. *Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), **32**, 262–273. (in Chinese with English abstract)
- Zhu Y, Mi XC, Ren HB, Ma KP (2010) Density dependence is prevalent in a heterogeneous subtropical forest. *Oikos*, **119**, 109–119.

(责任编辑: 王希华 责任编辑: 时意专)