

哀牢山植物多样性垂直分布格局^{*}

牛 跃¹，刘 洋¹，张 平²，高进波³

(1. 云南省农村科技服务中心，云南 昆明 650051; 2. 中国科学院西双版纳热带植物园，云南 昆明 650223;
3. 西南林学院，云南 昆明 650224)

摘要：以设于哀牢山各植物群的样地调查材料为依据，分析了哀牢山东、西坡不同海拔高度地带性植物群落乔木层林木的高、径垂直分布特征，植物群落生物多样性指数的垂直分布态势。结果表明：该山地植物群落乔木层和灌木层的植物物种多样性沿海拔梯度呈单峰型分布格局，以中山湿性常绿阔叶林乔木层林木的最大和平均树高、最大胸径值和物种多样性指数最大；而灌木层植物物种多样性指数最大值出现在中山湿性常绿阔叶林带下的季风常绿阔叶林和半湿性常绿阔叶林带内；而草本层植物的物种多样性指数则沿海拔梯度上升呈整体减小的趋势；累加其植物群落乔、灌、草 3 层植物的物种多样性指数，哀牢山东、西坡植物群落的 Shannon-Weiner 指数和物种丰富度最大值出现在海拔高度 2 000 m 左右。在相同海拔高度处，西坡植物群落的植物物种多样性高于东坡，季风常绿阔叶林的物种多样性大于半湿性常绿阔叶林，而山顶苔藓矮林的植物物种多样性最小。

关键词：哀牢山；植物多样性；垂直分布格局

中图分类号：S 718 文献标识码：A 文章编号：1672-8246 (2008) 04-0027-08

Vertical Distribution Patterns of Plant Species Diversity in Ailao Mountains

NIU Yue¹, LIU Yang¹, ZHANG Yiping², GAO Jinbo³

(1. Yunnan Rural Science and Technology Center, Kunming Yunnan 650051, P. R. China; 2. Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, CAS, Kunming Yunnan 650223, P. R. China; 3. Southwest Forestry College, Kunming Yunnan 650224, P. R. China)

Abstract Based on the data from sampling plots, the vertical distribution patterns of plant community and species diversity index in eastern and western Mt. Ailao were studied. The results showed that the distribution of species diversity of both tree layer and shrub layer was single peak pattern along altitude gradients. The biggest and average tree height, the biggest DBH of trees and species diversity in mid-montane moist evergreen broadleaved forest was the biggest. The highest value of species diversity of shrub layer occurred in the transit area of mid-montane moist evergreen broadleaved forest, monsoon evergreen forest and semi-moist evergreen broadleaved forest, and the species diversity of grass layer showed the decreasing tendency with the increase of altitude. The Shannon-Weiner index and maximum value of species richness of both eastern and western Mt. Ailao occurred in the altitude around 2000 m. The species diversity of western slope was higher than that of eastern slope, the species diversity of monsoon evergreen broadleaved forest was higher than semi-moist evergreen broadleaved forest, the minimum species diversity was observed in mountain mossy dwarf forest.

Key words Ailao mountains; plant diversity; vertical distribution pattern

探讨和解释区域尺度的物种多样性空间分布格局一直是生态学和生物地理学研究和争论的焦

^{*} 收稿日期：2008-07-25
基金项目：国家重点基础研究发展计划（973 项目）（2003CB415101），云南省自然科学基金重点项目（2003C0002Z）资助。
第一作者简介：牛 跃（1959-），男，云南昆明人，副研究员，硕士，主要从事农业、林业科技项目管理。
通讯作者简介：张一平（1957-），男，云南人，研究员，博士，主要从事生态气候和森林水文方面的研究。

点^[1~4]。有关物种多样性纬度梯度变化和物种与面积关系的研究, 已有大量的报导^[5~8]。而对物种多样性随海拔梯度变化的研究也逐渐引起人们的关注^[9~10]。物种多样性随海拔高度的升高而减小似乎已被人们广泛接受^[11]。这是由于人们认为海拔梯度可以认为是纬度梯度的缩影, 随海拔高度的升高 (温度递减), 物种多样性应该呈现单调递减的分布格局。正是由于这种直觉上的错误, 人们根据早期的少数研究结果 (例如生态学教科书上关于热带山地鸟类分布格局的研究结果^[12~13]) 便归结出物种多样性沿海拔梯度递减的一般规律, 随后的许多研究都引用了这一研究结果。Rahbek (1995) 在重新分析了已有的研究成果后表明: 尽管物种多样性倾向于随海拔高度的升高而减小, 然而物种多样性在低海拔地区维持在较高水平或有明显减小的研究结果各占有关研究结果的 50%。其与在纬度梯度上面积对于物种多样性格局的影响相同, 面积对于物种多样性沿海拔梯度的分布格局也有很大影响, 然而在很多研究中都没有考虑面积的影响。此外, 许多关于物种多样性垂直分布格局的研究仅局限于其整个海拔梯度的一部分, 由于中低海拔地区取样强度较小或是根本没有取到最低海拔高度的样, 而是通过差值回归的方法得出中低海拔地区的物种多样性, 由此可能掩盖了其单峰型的分布格局, 造成物种多样性沿海拔梯度单调递减的假象^[3 11 14]。在研究区域性的物种多样性垂直分布格

局时, 需要满足两个条件: (1) 研究点必须跨地区的整个海拔梯度; (2) 研究点需要合理分布在该区域整个海拔梯度上, 并包含所有的生物类群^[11]。基于以上考虑, 本项研究采用样地调查法, 并依据其调查材料分析哀牢山地区不同坡向植物多样性的垂直分布格局, 在研究中保持每个海拔梯度的取样面积一致, 并涵盖其整个海拔梯度的所有植被类型。

1 哀牢山植被的垂直分布概况

哀牢山纵贯云南中部, 位于我国云贵高原、横断山地和青藏高原三大自然地理区域的结合部, 是滇中高原与滇西纵谷区的地理分界线^[15]。作为云南亚热带北部与亚热带南部过渡区域的哀牢山, 成为了多种生物区系地理成分东西交汇、南北过渡的荟萃之地, 分布着我国目前面积最大 (34 483 km²) 以云南特有植物物种为优势的亚热带常绿阔叶林, 保存着处于原始状态、完整而稳定的亚热带山地森林生态系统。该区域因同时受低纬和高纬季风环流的影响, 除形成固有的山地垂直气候特征外, 而因山脉走向 (西北 - 东南) 与其环流风系 (东北和西南季风) 近垂直相交而派生出显著的坡向气候效应, 从而形成了在其森林植被垂直分布上的坡向分异状态^[15]。哀牢山西坡及东坡不同植被类型的垂直分布状况如表 1所示。

表 1 哀牢山西坡及东坡的植被类型垂直带谱

Tab 1 Spectrum of vertical zones of eastern and western Mt Ailao

西坡		东坡	
植被类型	海拔高度 /m	植被类型	海拔高度 /m
苔藓矮林	2 700~ 3 000	苔藓矮林	2 700~ 3 000
中山湿性常绿阔叶林	2 200~ 2 800	中山湿性常绿阔叶林	2 400~ 2 800
思茅松林季风常绿阔叶林	1 200~ 2 200	云南松林半湿性常绿阔叶林	1 200~ 2 400
		干热河谷稀树灌草丛	600~ 1 200

注: 表中数据为 1988年哀牢山自然保护区综合考察团调查所得。思茅松 *Pinus kesiya* var. *langbianensis* 云南松 *P. yunnanensis*

2 研究方法

在哀牢山的东、西坡沿海拔梯度由河谷至山顶, 依其地带性植被类型进行设样调查。东、西坡及山顶共设置 10个海拔梯度, 每个海拔梯度在其±50m 范围内设立 5个 20 m × 30 m (600 m²) 的

调查样地。选设的样地尽量远离因受人为和自然干扰而产生的迹地和大型林窗, 在相同海拔梯度内, 尽量选取坡度和坡向相近的样地。利用 GPS 确定每个样地的位置、经度、纬度和海拔高度, 记录样地的坡度、坡向、植物群落的高度和林冠盖度。样地的自然背景信息如表 2所示。

表 2 哀牢山东坡、西坡及山顶所设样地的自然背景
Tab.2 Site conditions of eastern, western Mt Ailao and top of mountain

坡向	项目	样地 1	样地 2	样地 3	样地 4	样地 5
西坡	植被类型	季风常绿阔叶林				
	海拔高度 /m	1 221	1 244	1 256	1 268	1 298
	坡度 /°	25	30	20	25	35
	植被类型	季风常绿阔叶林				
	海拔高度 /m	1 696	1 644	1 654	1 620	1 648
	坡度 /°	35	30	25	35	30
	植被类型	季风常绿阔叶林				
	海拔高度 /m	2 014	1 032	1 968	1 966	1974
	坡度 /°	20	25	30	25	30
	植被类型	中山湿性常绿阔叶林				
	海拔高度 /m	2 480	2 472	2 496	2 520	2 534
	坡度 /°	25	30	35	40	30
山顶	植被类型	苔藓矮林				
	海拔高度 /m	2 725	2 730	2 733	2 750	2 766
	坡度 /°	40	35	30	35	40
	植被类型	干热河谷稀树灌草丛				
	海拔高度 /m	970	994	999	998	983
	坡度 /°	15	20	25	30	25
	植被类型	干热河谷稀树灌草丛				
	海拔高度 /m	1 104	1 084	1 058	1 057	1 030
	坡度 /°	30	25	20	35	25
	植被类型	半湿性常绿阔叶林				
	海拔高度 /m	1 465	1 514	1 472	1 499	1 521
	坡度 /°	35	40	30	35	35
东坡	植被类型	半湿性常绿阔叶林				
	海拔高度 /m	1 883	1 894	1 856	1 928	1 948
	坡度 /°	30	35	45	40	30
	植被类型	中山湿性常绿阔叶林				
	海拔高度 /m	2 458	2 521	2 492	2 531	2 450
	坡度 /°	30	35	40	25	30

每一样地按乔木层、灌木层和草本层划分其群落层次，分别设立样方进行调查、统计。

乔木层的样方面积即其样地面积为 20 m × 30 m (600 m²)，依据山地坡面走向，沿坡面水平方向取 30 m，垂直坡面方向取 20 m。调查 DBH (胸径) ≥ 2 cm 的所有乔木植株，记录其种类、树高、干高、胸围和基围，并估测冠幅。

灌木层的样方，设于样地中央面积 10 m × 10 m (100 m²)；调查 DBH (胸径) < 2 cm 的木本植物，包括乔木的幼苗和幼树，记录其种类、高度和株 (丛) 数。

草本层的样方面积为 1 m × 1 m (1 m²)，每一样地所设的样方数为 5 个，分设于样地的 4 角和中

心。调查包括草质藤本和蕨类植物在内的草本植物，记录其种类、高度、株 (丛) 数和盖度。

依据样地调查材料采用丰富度指数、Shannon - Weiner 指数、Simpson 优势度指数、Pielou 均匀度指数，比较和评价其不同植物群落间物种多样性的差异^[16~17]。

物种丰富度 S = 样地内的植物物种总数

重要值 $P_i = (\text{相对多度} + \text{相对频度} + \text{相对优势度}) / 3$

Shannon - Weiner 指数: $H' = - \sum_{i=1}^s (P_i \ln P_i)$

Simpson (优势度) 指数: $D = 1 - \sum_{i=1}^s P_i^2$

Pielou (均匀度) 指数: $E = H' / \ln S$

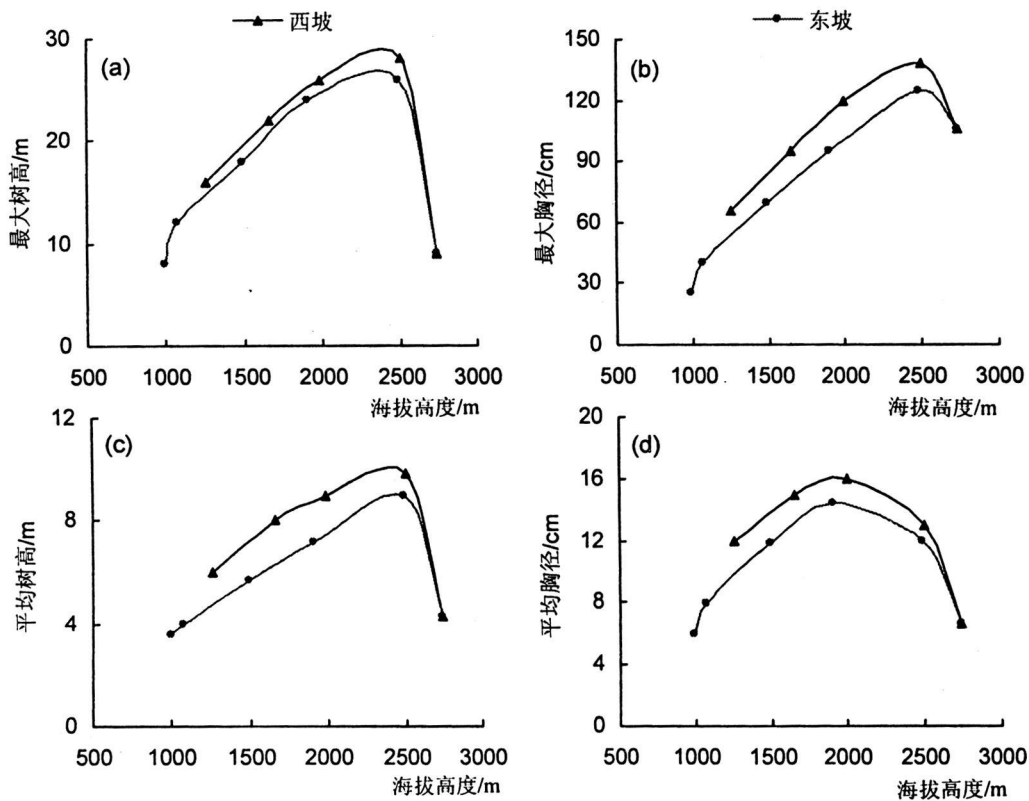


图 1 哀牢山植物群落乔木层林木的高、径垂直分布状态
(a) 最大树高 (b) 最大胸径 (c) 平均树高 (d) 平均胸径

Fig. 1 A ltitudinal patterns of community characteristics

3 结果与分析

3.1 哀牢山植物群落乔木层林木高、径的垂直分布特征

哀牢山西坡、东坡各海拔梯度地带性植被类型植物群落乔木层林木的最大树高、平均树高、最大胸径和平均胸径垂直分布状况如图 1 所示。其植物群落乔木层林木的树高和胸径随海拔高度的升高均呈现先增大后减小的“单峰型”分布格局^[11]。西坡各植被类型乔木层林木最大树高、最大胸径和平均树高沿海拔梯度的变化趋势为中山湿性常绿阔叶林 > 季风常绿阔叶林 > (山顶) 苔藓矮林, 而东坡各植被类型乔木层林木最大树高、最大胸径和平均树高沿海拔梯度的整体变化趋势为中山湿性常绿阔叶林 > 半湿性常绿阔叶林 > 干热河谷稀树灌草丛 > (山顶) 苔藓矮林。东、西坡植物群落乔木层的上

述 3 个参数均在中山湿性常绿阔叶林中达到最大, 西坡的最大值分别为 28 m、138 cm 和 9.8 m, 东坡的最大值分别为 26 m、125 cm 和 9 m (图 1a 图 1b 图 1c)。而东、西坡不同植物群落乔木层平均胸径的最大值均出现在中山湿性常绿阔叶林带以下, 即季风常绿阔叶林带 (16 cm) 和半湿性常绿阔叶林带 (14.4 cm) 中 (图 1d)。本项研究所设各植物群落乔木层林木的起测胸径较小, 为 2 cm, 在中山湿性常绿阔叶林中除分布着很多高大的乔木外, 由于林内气候湿润, 其林下分布着相当多的小径级乔木, 因此乔木层的平均胸径有所下降。对比东、西坡相近海拔高度不同植被类型的乔木层其各参数数值的大小发现, 西坡各植物群落的乔木层林木树高和胸径显著高于东坡, 即季风常绿阔叶林 > 半湿性常绿阔叶林, 即使对于东、西坡均有分布的中山湿性常绿阔叶林而言仍然有此变化趋势。

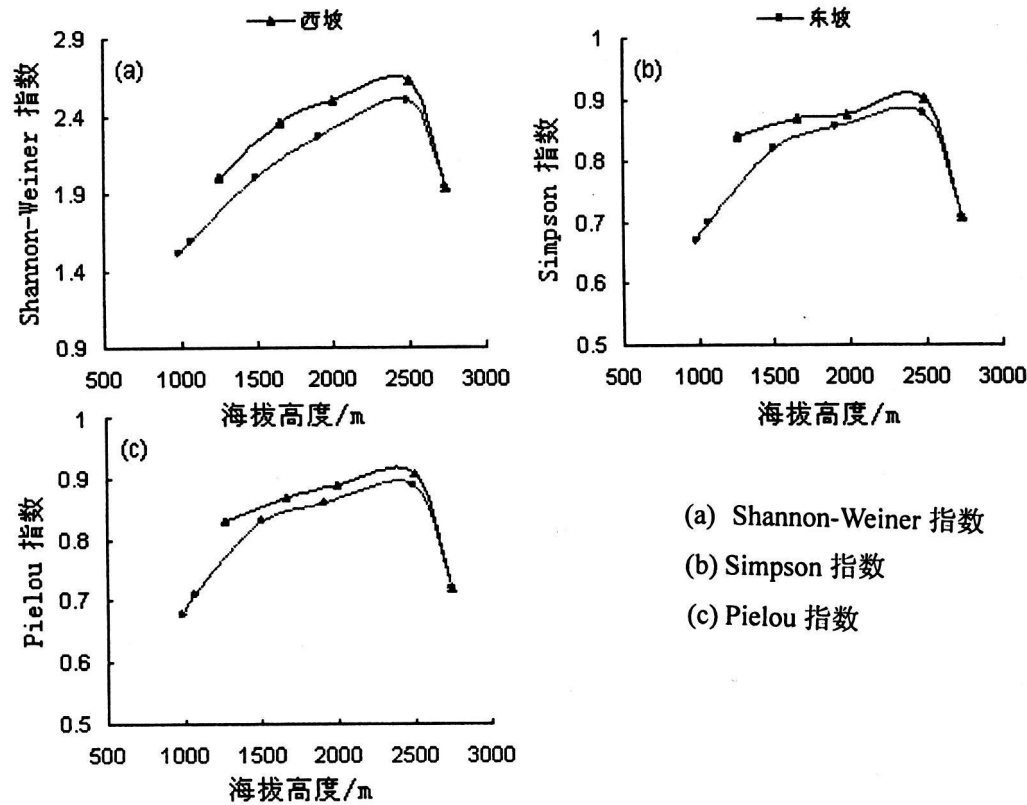


图 2 哀牢山植物群落乔木层林木各生物多样性指数的垂直分布状态

Fig. 2 A ltiitudinal patterns of species in tree layers

3. 2 哀牢山植物群落生物多样性指数的垂直分布状态

哀牢山植物群落乔木层林木的 Shannon-Weiner 指数、Simpson 优势度指数和 Pielou 均匀度指数的垂直分布状况如图 2 所示。可见，乔木层林木的生物多样性指数呈现先增大后减小的变化趋势，其最大值出现在中山湿性常绿阔叶林中，体现了“中度膨胀”的垂直分布格局。植物群落乔木层林木的 Shannon-Weiner 指数沿海拔梯度的分布格局，在西坡为中山湿性常绿阔叶林 (2.63) > 季风常绿阔叶林 (2.49 2.35 2.02) > (山顶) 苔藓矮林 (1.94)，而在东坡的变化趋势为中山湿性常绿阔叶林 (2.50) > 半湿性常绿阔叶林 (2.25 2.01) > (山顶) 苔藓矮林 (1.94) > 干热河谷稀树灌草丛 (1.58 1.50)。由中山湿性常绿阔叶林向 (山顶) 苔藓矮林转化的过程中，乔木层林木的生物多样性指数迅速减小；在西坡由中山湿性常绿阔叶林向季风常绿阔叶林的转换过程中以及东坡由中山湿性常绿阔叶林向半湿性常绿阔叶林和干热河谷稀树灌草丛的转化过程中乔木层林木

的生物多样性指数缓慢递减，以干热河谷稀树灌草丛乔木层林木的生物多样性指数最小。在相近海拔高度状态下，处于西坡植物群落乔木层林木的生物多样性指数显著高于东坡，其间，季风常绿阔叶林高于半湿性常绿阔叶林。

哀牢山植物群落灌木层植物的 Shannon-Weiner 指数最大值出现的位置有别于乔木层林木。其东、西坡的最大值均出现在中山湿性常绿阔叶林林带以下，即半湿性常绿阔叶林和季风常绿阔叶林带中，这是由于在中山湿性常绿阔叶林和 (山顶) 苔藓矮林的灌木层内均存在明显的箭竹 (*Pseudosasa japonica*) 层片，箭竹占据了其灌木层的绝对优势，因而导致灌木层植物的生物多样性指数在这两类植被类型中有所下降 (图 3a)。植物群落灌木层植物该指数在西坡的变化趋势为季风常绿阔叶林 (2.37 2.25 1.80) > 中山湿性常绿阔叶林 (1.50) > (山顶) 苔藓矮林 (0.62)；东坡的变化趋势为半湿性常绿阔叶林 (2.02 1.68) > 中山湿性常绿阔叶林 (1.39) > 干热河谷稀树灌草丛 (1.29 1.25) > (山顶) 苔藓矮林 (0.62)。在

相近海拔高度状态下，处于西坡植物群落灌木层植物的生物多样性指数显著高于东坡，这与东、西坡

植物群落乔木层林木生物多样性指数间的差异相同。

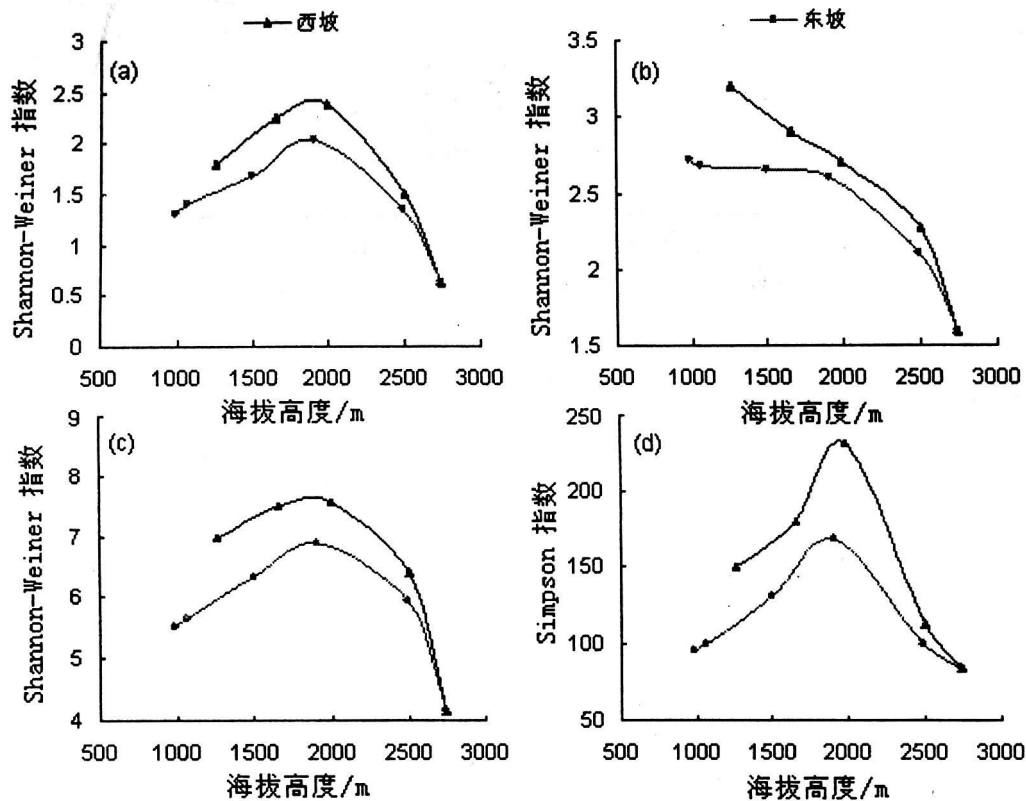


图 3 哀牢山植物群落物种多样性指数的垂直分布状态
(a) 灌木层 (b) 草本层 (c) 乔、灌、草三层之和 (d) 物种丰富度
Fig. 3 Altitudinal patterns of species diversity

哀牢山植物群落草本层植物的 Shannon-Weiner 指数呈现出随海拔高度的升高而减小的变化趋势，同样体现出西坡高、东坡低的分布格局 (图 3b)。其西坡的变化趋势为季风常绿阔叶林 (3.20 2.92 2.71) > 中山湿性常绿阔叶林 (2.26) > (山顶) 苔藓矮林 (1.59)，东坡的变化趋势为干热河谷稀树灌草丛 (2.72 2.68) > 半湿性常绿阔叶林 (2.65 2.50) > 中山湿性常绿阔叶林 (2.10) > (山顶) 苔藓矮林 (1.59)。

哀牢山植物群落乔、灌、草三层植物的生物多样性指数与物种丰富度的累加值表明：其植物群落植物的整体生物多样性指数和物种丰富度沿海拔梯度均呈现出先增后减的“单峰型”分布格局，体现其生物多样性沿海拔梯度“中度膨胀”的变化态势。西坡的变化趋势为季风常绿阔叶林 (7.57 7.50 7.00 232 181 152) > 中山湿性常绿阔

叶林 (6.39 112) > (山顶) 苔藓矮林 (4.16 84)，东坡的变化趋势为半湿性常绿阔叶林 (6.78 6.33 168 130) > 中山湿性常绿阔叶林 (5.99 105) > 干热河谷稀树灌草丛 (5.55 5.47 99 95) > (山顶) 苔藓矮林 (4.16 84)。两坡向植物群落乔、灌、草植物的 Shannon-Weiner 指数及 S (物种丰富度) 的最大值均出现在中山湿性常绿阔叶林林带以下，即季风常绿阔叶林和半湿性常绿阔叶林之中 (图 3c 图 3d)。

4 讨论与结论

本项研究得出，哀牢山植物群落乔木层林木的生物多样性指数最大值出现在中山湿性常绿阔叶林中；灌木层植物的生物多样性指数的最大值出现在中山湿性常绿阔叶林林带之下的半湿性常绿阔叶林

和季风常绿阔叶林内, 出现位置低于乔木层; 而草本层植物的生物多样性指数则沿海拔梯度整体呈现递减的趋势。与 Bhattara 和 Vetaas 对喜马拉雅山脉植物群落的研究结果相同^[18]。这是由于不同生活型植物 (乔木、灌木、草本) 对环境 (温、湿) 状况的响应不同, 随着环境要素沿海拔梯度的变化和配置不同, 其不同生活型植物的物种多样性垂直分布格局有所差异^[18-19]。与乔木层林木物种多样性不同, 灌木层和草本层植物的物种多样性不仅与其分布区的大环境相关, 还受乔木层的盖度、物种组成以及林下的小环境的影响, 随着乔木层林木盖度沿海拔梯度的逐步增大, 灌木层和草本层植物物种多样性受到了一定程度的制约, 由此造成了不同生活型植物物种多样性垂直分布格局间的差异。

哀牢山地区植物物种多样性在东坡、西坡均呈现先增大后减小的变化趋势, 即中间海拔高度地带的物种多样性最高, 符合物种多样性沿海拔梯度的“中度膨胀”分布规律, 并未呈现单调递减的垂直分布状态。总体上, 在相近海拔高度的状况下, 西坡植物群落的乔木层林木的树高、径级、物种丰富度和生物多样性指数高于东坡。多种假说被用来解释生物多样性的空间格局, 但大多缺乏普适性^[20]。然而, 对大尺度影响生物多样性格局的解释最终可以归结为历史和气候两个方面, 二者的区别在于, 前者侧重于从生物地理学角度研究生物类群的特有性, 而后者侧重于从生态学角度对区域物种丰富度的探讨^[4]。“能量 - 生物多样性理论”认为物种丰富度格局由环境可利用能量所决定^[21]。O'Brien 在关于南非植物物种丰富度格局的研究中发现, 水热动态是决定植物物种丰富度格局的主要因素, 并建立了“水分 - 能量动态”模型用来预测植物物种丰富度的分布格局^[22-24]。本项研究得出植物物种多样性在垂直分布上以中间海拔高度带最高, 其生态学意义在于高海拔地带温度较低, 构成了植物分布的限制因子。而在低海拔地带温度较高, 降雨较少, 过多的水分通过蒸发所耗散, 造成了水热状况的失衡, 水分构成了植物分布的限制因子。因此, 在温、湿状况理想的中间海拔高度带容纳了最多的植物物种。从气候因素而言, 西北 - 东南走向的哀牢山与西南季风近垂直相交, 西南季风带来的暖湿气流在其山地的迎风坡面 (西坡) 形成了充沛的降雨, 其降雨量是随海拔高度的升高而增加, 在西坡的山地上部形成云雾带, 此独特的气候环境蕴育了植物物种丰富、林木茂密的中山湿性常绿阔叶

林。而在山顶极端气候环境下则形成了山顶苔藓矮林, 其林木变得弯曲、矮小, 在低温和强风等极端的气候条件形成了较低的物种多样性。西南暖湿气流翻越哀牢山山体后在背风坡 (东坡) 具有显著的“焚风效应”, 呈现干热的气候特征, 导致了干热河谷植被的形成和较低的物种多样性。西坡暖湿的气候较东坡干热的气候更有利于物种的生存, 从而形成了其植物物种多样性西高东低的分布格局。

本项研究以设于哀牢山各植物群落样地的调查材料为依据, 探讨了哀牢山东坡、西坡不同海拔高度地带性植物群落乔木层林木的高、径垂直分布特征, 植物群落生物多样性指数的垂直分布态势, 主要结论如下:

(1) 哀牢山植物群落乔木层林木的树高和胸径沿海拔梯度均呈现先增大后减小的分布格局, 其最大树高、平均树高和最大胸径的最大值均出现在中山湿性常绿阔叶林带中, 而平均胸径最大值出现在中山湿性常绿阔叶林林带下的半湿性常绿阔叶林和季风常绿阔叶林内。在其相近海拔高度, 西坡植物群落乔木层林木的树高和胸径显著高于东坡, 而季风常绿阔叶林林木的树高和胸径高于或大于半湿性常绿阔叶林。

(2) 哀牢山植物群落乔木层和灌木层的植物物种多样性沿海拔梯度同样呈现出单峰型的分布格局, 对于乔木层林木物种多样性指数而言, 最大值出现在中山湿性常绿阔叶林中, 山顶苔藓矮林和干热河谷稀树灌草丛较小, 其中以干热河谷稀树灌草丛的植物物种多样性指数最小。而灌木层植物物种多样性指数最大值出现在中山湿性常绿阔叶林林带以下的半湿性常绿阔叶林和季风常绿阔叶林带内。草本层植物物种多样性则沿海拔梯度上升而呈现整体减小的趋势。

(3) 乔、灌、草三层植物的 Shannon-Weiner 指数和物种丰富度的累加数值表明: 哀牢山植物群落的多样性指数和物种丰富度最大值出现在海拔高度 2 000 m 左右, 位于中山湿性常绿阔叶林与季风常绿阔叶林和半湿性常绿阔叶林的过渡区, 并非呈现海拔梯度单调递减的分布格局。

(4) 在哀牢山, 相近海拔高度处西坡植物群落的生物多样性指数以及物种丰富度显著高于东坡。其季风常绿阔叶林的 Shannon-Weiner 指数和物种丰富度显著高于半湿性常绿阔叶林, 山顶苔藓矮林的 Shannon-Weiner 指数和物种丰富度最小。

参考文献:

- [1] Pianka E R. Latitudinal gradients in species diversity: a review of concepts[J]. *American Naturalist* 1966(100): 33-46
- [2] Huston M A. *Biological diversity* [M]. Cambridge UK: Cambridge University Press 1994
- [3] Lomolino V M. Elevation gradients of species density: historical and prospective views[J]. *Global Ecology and Biogeography* 2001(10): 3-13
- [4] Whittaker R J, Willis K J and Field R. Scale and species richness: towards a general hierarchical theory of species diversity[J]. *Journal of Biogeography*, 2001(28): 453-470
- [5] Stevens G C. The latitudinal gradient in geographical range: how so many species coexist in the tropics[J]. *American Naturalist* 1989(133): 240-256
- [6] Rohde K. Latitudinal gradients in species diversity: the search for the primary cause[J]. *Oikos* 1992(65): 514-527
- [7] Kerr J T. Weak links: 'Rapoport's rule' and large scale species richness patterns[J]. *Global Ecology and Biogeography* 1999(8): 47-54
- [8] Rahbek C. The relationship among area, elevation and regional species richness in neotropical birds[J]. *American Naturalists* 1997(149): 875-902
- [9] Bhattarai K R and Vetaas O R. Do fern and fern-allies show a similar response along the ecological gradient in the Himalayas[J]. *Bulletin Department of Plant Resources* 2005(26): 24-29
- [10] Carpenter C. The environmental control of plant species density on a Himalayan elevation gradient[J]. *Journal of Biogeography* 2005(32): 999-1018
- [11] Rahbek C. The elevational gradient of species richness: a uniform pattern[J]. *Ecography* 1995(18): 200-205
- [12] Kikkawa J and Williams E E. Altitude distribution of land birds in New Guinea[J]. *Search* 1971(2): 64-65
- [13] Terborgh J. Bird species diversity on an Andean elevation gradient[J]. *Ecology* 1977(58): 1007-1019
- [14] Rahbek C. The role of spatial scale and the perception of large-scale species-richness patterns[J]. *Ecology Letters* 2005(8): 224-239
- [15] 哀牢山自然保护区综合考察团. 哀牢山自然保护区综合考察报告集 [M]. 昆明: 云南民族出版社, 1988
- [16] Magurran A E. *Ecological Diversity and its Measurement* [M]. New Jersey: Princeton University Press, 1988
- [17] 马克平. 生物多样性研究的原理与方法 [M]. 北京: 科技出版社, 1994
- [18] Bhattarai K R and Vetaas O R. Variation in plant species richness of different life forms along a subtropical elevation gradient in the Himalayas, east Nepal[J]. *Global Ecology and Biogeography* 2003(12): 327-340
- [19] Gynnes J A and Beam H. Elevational species richness patterns for vascular plants on Mount Kinabalu, Borneo [J]. *Journal of Biogeography* 2006(33): 1838-1849
- [20] Hawkins B A, Field R, Cornell H V, et al. Energy, water and broad-scale geographic patterns of species richness [J]. *Ecology* 2003(84): 3105-3117
- [21] Wright D H. Species-energy theory: an extension of species-area theory[J]. *Oikos* 1983(41): 496-506
- [22] O'Brien E M. Climatic gradients in woody plant species richness: towards an explanation based on analysis of southern Africa's woody flora [J]. *Journal of Biogeography* 1993(20): 181-198
- [23] O'Brien E M. Water-energy dynamics, climate and prediction of woody plant species richness: an interim general model [J]. *Journal of Biogeography* 1998(25): 379-398
- [24] O'Brien E M, Field R, Whittaker R J. Climatic gradients in woody plant (tree and shrub) diversity: water-energy dynamics, residual variation and topography [J]. *Oikos* 2000(89): 588-600
- [25] 史富强, 袁莲珍. 开远市原生植被类型的垂直分布状况调查 [J]. *西部林业科学*, 2007, 36(3): 50-55
- [26] 李宏伟. 西双版纳扩建自然保护区的植物组成多样性特征 [J]. *西部林业科学*, 2005, 34(3): 35-39