北京林业大学学报
JOURNAL OF BEIJING FORESTRY UNIVERSITY

澜沧江中游东达山拉乌山植物群落垂直分布格局

黄文平 吴亚杰 王新杰 王雯煜 穆万鹏 周夕淙 徐凌

Vertical distribution patterns of plant communities in the Dongda Mountain-Lawu Mountain, middle reaches of the Lancang River of western China

Huang Wenping, Wu Yajie, Wang Xinjie, Wang Wenyu, Mu Wanpeng, Zhou Xicong, Xu Ling

引用本文:
黄文平, 吴亚杰, 王新杰, 王雯煜, 穆万鹏, 周夕淙, 徐凌. 澜沧江中游东达山拉乌山植物群落垂直分布格局[J]. 北京林业大学学报, 2026, 48(4):36–45. doi: 10.12171/j.1000–1522.20250452
Huang Wenping, Wu Yajie, Wang Xinjie, Wang Wenyu, Mu Wanpeng, Zhou Xicong, Xu Ling. Vertical distribution patterns of plant communities in the Dongda Mountain–Lawu Mountain, middle reaches of the Lancang River of western China[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2026, 48(4):36–45. doi: 10.12171/j.1000–1522.20250452

在线阅读 View online: https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20250452

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

现代气候、古气候和生境异质性对新疆不同生长型种子植物多样性的影响

Effects of current climate, paleoclimate and habitat heterogeneity on diversity of seed plants with different growth forms in Xinjiang of northwestern China

北京林业大学学报, 2025, 47(10): 1–10. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20250231

小陇山锐齿栎林木本植物物种丰富度与生产力关系研究

Relationship between tree species richness and productivity of *Quercus aliena* var. *acutiserrata* forest in Xiaolongshan Mountain, Gansu Province of northwestern China

北京林业大学学报, 2021, 43(11): 11–19. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20200192

城市森林结构与木本植物物种多样性的耦合关系

Coupling relationship between urban forest structure and woody plant species diversity: a case study of Beijing

北京林业大学学报, 2025, 47(7): 41–49. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20240434

大兴安岭双河保护区植物多样性和群落结构特征分析

Characteristics of plant diversity and community structure in Shuanghe Nature Reserve in Daxing’anling area of northeastern China

北京林业大学学报, 2021, 43(7): 79–87. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20200029

长白山典型天然林不同演替阶段物种多样性和结构多样性对生产力影响

Effects of species diversity and structural diversity on productivity in different succession stages of typical natural forest in Changbai Mountains of northeastern China

北京林业大学学报, 2021, 43(12): 1–8. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20210071

湖南栎类天然次生林大树对林下幼树物种多样性的影响

Impact of large trees in natural secondary *Quercus* forests on the species diversity of understory saplings in Hunan Province

北京林业大学学报, 2026, 48(2): 114–124. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20250243

DOI:10.12171/j.1000−1522.20250452

澜沧江中游东达山−拉乌山植物群落垂直分布格局

黄文平[1] 吴亚杰[2,3] 王新杰[1] 王雯煜[1] 穆万鹏[2] 周夕淙[1] 徐 凌[1]
（1. 北京林业大学林木资源高效生产全国重点实验室，北京 100083；2. 华能澜沧江水电股份有限公司，云南 昆明 650214；
3. 华能水电技术研发中心生态环保技术研究所，云南 昆明 650214）

摘要:【目的】阐明澜沧江中游东达山−拉乌山地区的植被垂直分布规律及物种多样性特征，并绘制植物群落分布示意图，为该区退化生态系统的修复提供科学依据。**【方法】**基于沿海拔梯度的野外样方调查，依据物种重要值及植被区系划分原则，划分主要植物群落类型；以群落组成、物种丰富度及 α 多样性为主要评价指标，分析植被垂直分布格局及其沿海拔梯度的响应规律。**【结果】**调查共记录维管植物 61 科、154 属、249 种，优势科为菊科、蔷薇科和豆科，生活型以多年生草本和灌木为主。东、西坡植被垂直带谱差异显著，共划分出 8 个垂直带，反映了横断山脉与华南植物亚区过渡的植被结构特征。不同生活型植物的多样性沿海拔梯度呈规律性分异：乔木层物种丰富度与 Shannon-Wiener 指数呈单峰格局，峰值位于亚高山暗针叶林带（约 3 850 m）；灌木层与草本层多样性也呈单峰分布，其峰值出现在水热条件更优的中海拔区域；乔木层 Pielou 均匀度指数随海拔升高持续降低，而灌木层与草本层则无一致趋势。**【结论】**本研究初步阐明了横断山区植物多样性的垂直格局，该结果可为当地退化生态系统的修复提供重要参考：一方面，有助于识别各海拔带植被修复的潜在目标群落与关键物种；另一方面，该研究可为不同海拔梯度的“乔木−灌木−草本”合理配置与近自然修复提供直接依据，从而支撑差异化、精细化的生态修复实践。

关键词：垂直带谱；物种丰富度；α 多样性；澜沧江中游
中图分类号：S718.5 **文献标志码：**A **文章编号：**1000−1522(2026)04−0036−10
引文格式：黄文平，吴亚杰，王新杰，等. 澜沧江中游东达山−拉乌山植物群落垂直分布格局［J］. 北京林业大学学报，2026，48(4)：36−45. Huang Wenping, Wu Yajie, Wang Xinjie, et al. Vertical distribution patterns of plant communities in the Dongda Mountain-Lawu Mountain, middle reaches of the Lancang River of western China［J］. Journal of Beijing Forestry University, 2026, 48(4): 36−45.

Vertical distribution patterns of plant communities in the Dongda Mountain-Lawu Mountain, middle reaches of the Lancang River of western China

Huang Wenping[1] Wu Yajie[2,3] Wang Xinjie[1] Wang Wenyu[1] Mu Wanpeng[2]
Zhou Xicong[1] Xu Ling[1]
(1. State Key Laboratory of Efficient Production of Forest Resources, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;
2. Huaneng Lancang River Hydropower Inc., Kunming 650214, Yunnan, China;
3. Huaneng Hydropower Technology R & D Center, Ecological and Environmental Technology Research Institute, Kunming 650214, Yunnan, China)

Abstract: ［**Objective**］ This paper elucidates the patterns of vertical vegetation distribution and the characteristics of species diversity in the Dongda Mountain-Lawu Mountain of middle reaches of the Lancang River of western China, aiming to construct a schematic map of plant community distribution,

收稿日期: 2025−11−12 **修回日期:** 2026−01−02
基金项目: 澜沧江流域高寒区高陡边坡植被恢复及灌溉技术研究及示范项目 (HY2024/S36)。
第一作者: 黄文平。主要研究方向：森林资源监测与评估。Email: 2596782621@qq.com 地址：100083 北京市海淀区清华东路 35 号北京林业大学林学院。
责任作者: 王新杰，副教授。主要研究方向：森林结构与生长模型模拟。Email: xinjiew@bjfu.edu.cn 地址：同上。
本刊网址: https://j.bjfu.edu.cn; https://journal.bjfu.edu.cn

thereby providing scientific support for the restoration of degraded ecosystems in this area. [**Method**] Based on field surveys conducted along an altitudinal gradient, we classified the major plant community types using species importance values and the principles of vegetation floristic division. Community composition, species richness, and alpha diversity were selected as the main evaluation indicators to analyze the patterns of vertical vegetation distribution and their responses to elevational gradient. [**Result**] A total of 249 vascular plant species were recorded in the survey, belonging to 61 families and 154 genera. The dominant families were Asteraceae, Rosaceae, and Fabaceae, with perennial herbs and shrubs as dominant life forms. Significant differences were observed in vertical vegetation zonation between eastern and western slopes, and eight vertical belts were identified in total, which reflected the transitional characteristics of vegetation structure between the Hengduan Mountains of western China and the South China Floristic Subregion. The diversity of different plant life forms showed regular variations along altitudinal gradient: the species richness and Shannon-Wiener index of tree layer followed a unimodal pattern, peaking in the subalpine dark coniferous forest zone (around 3 850 m); the diversity of shrub and herb layers also exhibited a unimodal pattern, with peaks occurring in the middle-elevation areas with more favorable hydrothermal conditions; the Pielou evenness index of tree layer decreased continuously with increasing elevation, while no consistent variation trend was found for shrub and herb layers. [**Conclusion**] This study preliminarily clarifies the vertical patterns of plant diversity in the study area of the Hengduan Mountains. The results provide important references for restoration of degraded local ecosystems: on the one hand, they help identify potential target communities and key species for vegetation restoration at different elevations; on the other hand, this research offers a direct basis for rational configuration and near-natural restoration of tree-shrub-herb assemblages along different altitudinal gradients, thereby supporting differentiated and refined ecological restoration practices.

Key words: vertical zonation; species richness; α diversity; middle reaches of the Lancang River

澜沧江因青藏高原隆升而形成，是中国南北流向最长的河流，流经青海、西藏和云南 3 省区，纵跨 13 个纬度，落差达 6 500 m[1–2]。其中游东达山–拉乌山段位于横断山脉核心区和“三江并流”腹地，海拔高差显著，水热条件的垂直分异十分突出，发育了从干暖河谷到高山寒带的连续植物群落梯度，是全球生物多样性热点区域之一，具有重要保护价值[3–4]。植被作为生态系统主体，具有保持水土、调节气候、减缓温室效应及维持生态稳定等功能[5]。植被功能变化同时受内部（如土壤）和外部因素（如气候、人类活动）驱动，可作为环境变化与人类干扰的指示指标，并反馈于局部气候与生态平衡，相关研究对生态保护与土地利用策略制定具有重要参考价值[6–7]。

现有研究已从多角度对澜沧江中游区域的植物群落开展了初步探索。在植被分类方面，早期工作系统划分了该区域干旱河谷型荒漠植被，建立了多个群系与群丛[8]；左艳洁等[9]进一步运用 TWINSPAN 数量分类与排序方法，将河谷植物群落划分为若干类型，深化了对群落结构的理解。在特定类群研究方面，朱玉怀等[10]关注了杜鹃花属（*Rhododendron*）植物的物种多样性及其垂直分布格局，以及嵩草属（*Kobresia*）植物叶片形态与气孔对海拔梯度的适应性响应[11–12]。此外，余昱等[13]研究表明，澜沧江干暖河谷灌草丛的物种丰富度高于金沙江段，且禾本科（Poaceae）植物在两地均占优势地位。这些成果为认识区域植被提供了重要基础，但研究多局限于特定群落或类群的局部尺度，尚未在景观层面实现对植物群落格局的系统性整合，且在空间尺度与研究对象的覆盖上存在明显不足，多聚焦单一植被带或特定类群，缺乏对复杂地形梯度下植物群落整体分布格局及组成结构的系统分析。

这一认知缺口不仅限制了准确评估高海拔脆弱生态系统对气候变化及人为干扰的响应能力，也阻碍了对区域潜在生态退化风险的科学识别与预警。从机制层面而言，植被格局的形成与演变依赖于各类环境因子的综合作用，一般认为，影响山地植被垂直分布的环境因子主要包括地形、土壤、地表与植被状况以及干扰状况 4 类[14]，其中，地形因子发挥着基础性调控作用，其影响常通过乔木层主要种类的数量特征直接体现[15]。基于此，为弥补现有研究不足，系统揭示脆弱生态系统植物群落分布特征，本研究通过对东达山–拉乌山区域进行系统野外调查，重点分析物种组成、垂直带谱与生物多样性特征，阐明植物群落沿海拔梯度的分布规律；同时以地形梯度为

切入点，构建局部特征与整体格局的认知关联，揭示复杂地形下植物群落的构建机制，最终为澜沧江中游区域的生物多样性保护、生态修复与生态安全屏障构建提供科学依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

澜沧江中游地区（昌都至功果桥）呈现出高山与深邃峡谷相间分布的地貌特征，该段河流下切作用显著。本研究范围主要位于左贡县东达山–芒康县拉乌山区域（29°48′ ~ 30°17′N、97°43′ ~ 97°52′E），群落采样点分布见图 1。东达山垭口海拔约 5 130 m，属于藏东南高原温带半干旱气候区。两岸山体陡峭，坡度常大于 30°，滑坡、崩塌等地质灾害现象频发。该区域气候特征表现为气温年际变化幅度较小，年均温较低；最热月份平均气温亦低于 10 ℃。降水资源时空分布不均，雨季高度集中于夏季，而冬、春 2 季则呈现干旱寒冷的特点。气候垂直分异极为显著，自谷底至山顶依次出现干热、温凉、高寒的立体气候，谷底降水稀少、蒸发旺盛，山体上部寒冷干旱，低温冻融作用强烈。复杂的地貌地势和气候条件使得区域内的植被分布具有明显的垂直分异，植被类型包括高山流石滩稀疏植被带、高山草甸带、高寒灌丛草甸、亚高山暗针叶林、干热河谷灌丛等，生态系统脆弱但特色鲜明。

1.2 研究方法

1.2.1 野外调查

本研究于 2024 年 7—8 月及 2025 年 6—7 月 2 个生长季窗口期，在澜沧江中游地区东达山–拉乌山段沿海拔梯度对典型植物群落开展系统的野外样方调查。采用吴冬秀[16]的典型样方调查法，在调查区域内共布设了 32 个样地，包括 12 个乔木样地、16 个灌木样地和 4 个草本样地，共计 396 个样方。样地布设综合考虑了植被类型与海拔梯度，并在各海拔带内尽量控制坡位、坡向和土壤条件保持一致以降低环境变异对群落结构的影响。具体调查采用嵌套样方法进行。在每块 20 m × 20 m 的乔木样地内，均匀布设 4 个 5 m × 5 m 的灌木样方；每个灌木样方中再嵌套设置 4 个 1 m × 1 m 的草本样方。若样地内无乔木分布，则仅开展灌木与草本层调查；若乔木与灌木均缺失，则仅调查草本层。调查过程中，记录乔木、灌木样方内物种的名称、株数、高度、胸径（基径）、枝下高、盖度及东西、南北方向冠幅；草本样方记录物种名称、高度、株数与盖度。同时，采集各样地的海拔、坡度、坡向、坡位及 GPS 坐标等地理信息，相关数据详见表 1。对各调查样点的生境、典型植被及位置均拍照记录。现场鉴定参考《西藏植物志》[17]，并结合《横断山高山冰缘带种子植物》[18]植物名录辅助鉴定，最终植物正名参考中国植物志（网址：http://www.iplant.cn/frps）。

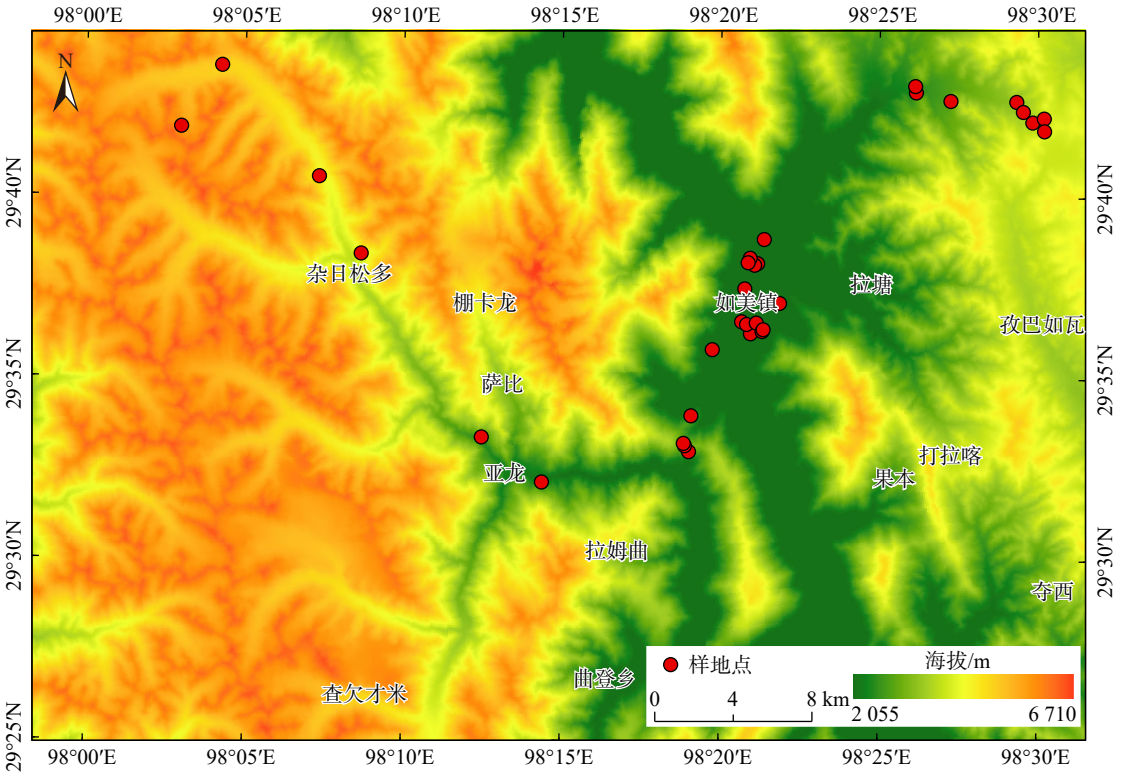


图 1 研究区调查样地分布示意图

Fig. 1 Schematic map of survey plot distribution in the study area

表 1　澜沧江中游东达山–拉乌山区域样地基本信息

Tab. 1　Basic information for sample plots in the Dongda Mountain-Lawu Mountain region in middle reaches of the Lancang River

样地号	经纬度		海拔/m	坡度/(°)	坡向/(°)	坡位	优势种
1	29°41′53″N	98°02′58″E	4 151	20	58	下部	sp1、sp2
2	29°43′34″N	98°04′15″E	4 704	6	315	下部	sp3、sp2
3	29°40′31″N	98°07′20″E	4 458	25	196	下部	sp3、sp2
4	29°38′24″N	98°08′40″E	4 204	31	158	中部	sp4、sp5
5	29°33′22″N	98°12′29″E	3 669	22	217	中部	sp1、sp6
6	29°32′08″N	98°14′24″E	3 522	18	14	上部	sp7、sp8
7	29°32′59″N	98°19′01″E	3 888	35	165	上部	sp1、sp9
8	29°33′09″N	98°18′54″E	3 881	18	345	上部	sp10、sp11
9	29°33′13″N	98°18′51″E	3 759	14	352	中部	Sp12、sp13
10	29°33′59″N	98°19′05″E	3 662	15	191	中部	sp1、sp14
11	29°35′48″N	98°19′45″E	2 917	46	102	下部	sp15
12	29°36′15″N	98°20′57″E	2 608	28	330	下部	sp16
13	29°36′34″N	98°20′40″E	2 740	35	22	中部	sp6、sp17
14	29°36′30″N	98°20′50″E	2 669	40	100	下部	sp18、sp15
15	29°36′32″N	98°21′08″E	2 644	58	263	中部	sp14
16	29°36′19″N	98°21′19″E	2 619	26	326	下部	sp16
17	29°36′22″N	98°21′21″E	2 603	25	312	下部	sp19、sp20
18	29°37′05″N	98°21′52″E	2 674	33	320	中部	sp14
19	29°37′29″N	98°20′46″E	2 738	40	77	下部	sp14、sp17
20	29°38′11″N	98°21′10″E	2 572	55	270	下部	sp18
21	29°38′08″N	98°21′04″E	2 619	45	288	中部	sp18、sp21
22	29°38′20″N	98°20′56″E	2 666	40	95	下部	sp18、sp21
23	29°38′12″N	98°20′52″E	2 692	47	98	下部	sp18、sp17
24	29°38′51″N	98°21′22″E	2 693	32	330	下部	sp22、sp23
25	29°42′54″N	98°26′09″E	3 574	13	311	下部	sp15、sp2
26	29°43′05″N	98°26′07″E	3 592	31	210	中部	sp24
27	29°42′40″N	98°27′14″E	3 722	35	256	中部	sp14、sp2
28	29°42′39″N	98°29′19″E	4 038	18	254	中部	sp1、sp2
29	29°42′23″N	98°29′32″E	4 080	15	313	中部	sp4、sp13
30	29°42′05″N	98°29′49″E	4 215	20	325	下部	sp4、sp13
31	29°42′12″N	98°30′11″E	4 303	18	231	上部	sp4、sp13
32	29°41′51″N	98°30′12″E	4 335	10	62	中部	sp13、sp2

注：sp1. 高山栎 *Quercus semecarpifolia*；sp2. 芒苞草 *Acanthochlamys bracteata*；sp3. 雪层杜鹃 *Rhododendron nivale*；sp4. 川西云杉 *Picea likiangensis* var . *rubescens*；sp5. 栎叶杜鹃 *Rhododendron phaeochrysum*；sp6. 头花香薷 *Elsholtzia capituligera*；sp7. 大果圆柏 *Juniperus tibetica*；sp8. 岷谷木蓝 *Indigofera lenticellata*；sp9. 鬼箭锦鸡儿 *Caragana jubata*；sp10. 山杨 *Populus davidiana*；sp11. 樱花杜鹃 *Rhododendron cerasinum*；sp12. 高山松 *Pinus densata*；sp13. 多色杜鹃 *Rhododendron rupicola*；sp14. 白刺花 *Sophora davidii*；sp15. 灰岩木蓝 *Indigofera calcicola*；sp16. 云南土沉香 *Excoecaria acerifolia*；sp17. 小画眉草 *Eragrostis minor*；sp18. 小蓝雪花 *Ceratostigma minus*；sp19. 小叶灰毛蕨 *Caryopteris minor*；sp20. 两头毛 *Incarvillea arguta*；sp21. 灰毛蕨 *Caryopteris forrestii*；sp22. 矮探春 *Chrysojasminum humile*；sp23. 三点金 *Grona triflora*；sp24. 矛叶荩草 *Arthraxon prionodes*。

1.2.2　重要值及物种多样性

（1）重要值计算

重要值能够综合反映单个物种在植物群落中的作用和地位[19]。本研究采用重要值对群落内乔木、灌木及草本植物的优势度进行定量评价。其中，乔木层重要值计算公式如下[20]。乔木层重要值 =（相对多度 + 相对频度 + 相对优势度）/3 × 100%。对于灌木层与草本层，则采用如下公式计算。灌木或草本层重

要值 =（相对多度 + 相对高度 + 相对盖度）/3 × 100%。

（2）物种多样性计算

群落内的物种多样性基于 α 多样性指数进行分析，而对物种丰富度的评估则基于物种丰富度指数[21]。采用 Shannon-Wiener 指数和 Simpson 指数反映群落物种多样性程度[22]。群落中物种分布的均匀性程度通过 Pielou 均匀度指数进行量化评估[23]。所有指数均在 R 语言[24]中借助 vegan[25]程序包计算获得。

物种丰富度（*S*）为保证可比性，所有调查样方均设置为相等面积，因此以样方中记录到的物种实际计数作为丰富度指标。

Simpson 指数（*D*）

$$D = 1 - \sum_{i=1}^{N} P_i^2 \tag{1}$$

Shannon-Wiener 指数（*H′*）用于衡量物种多样性。

$$H' = -\sum_{i=1}^{N} P_i \ln P_i \tag{2}$$

式中：P_i 为第 i 物种的相对多度，其值由该物种的个体数（N_i）与群落总个体数（N）的比值计算得出。

Pielou 均匀度指数（*E*）

$$E = \frac{H'}{\ln S} \tag{3}$$

1.2.3 垂直带谱绘制

基于野外调查数据，计算各样地中乔木、灌木和草本层的重要值，并依据植物群落分类与命名原则，结合生境特征以及各层优势种和建群种，对各样地群丛进行命名（同一层优势种间以“+”连接，不同层之间以“–”连接）。在此基础上，绘制了该区域的植物群落垂直分布示意图。

1.2.4 群落分布特征

整理样地内出现的所有植物，检索《Flora of China》统计科、属、种的组成。按照《中国植被》[26]，所有物种依据生活型进行分类，具体包括乔木、灌木、木质藤本、多年生草本和 1 年生草本。科、属地理成分的确定主要参考《中国维管植物科属志》[27]以及吴征镒等[28–30]对植物区系的研究资料。

在绘制垂直带谱时，首先依据生活型对植物进行分类，通过计算各样地中各生活型下植物的重要值并排序，将重要值最高的物种确定为该生活型的优势种，次高者作为次优势种。在此基础上，参照《中国的植被》[31]与《西藏植被》[32]提出的植被区系划分原则，结合野外实地调查与相关文献，系统分析植物群落的垂直分布格局。进一步根据各优势种在全部样地中的实际分布范围，确定主要植物群落类型的海拔分布上限与下限，从而划分山体植物群落的分布范围，并绘制反映研究区植被的垂直分布示意图。

运用 Adobe Lightroom Classic 对样地植物照片进行系统管理与预处理，辅助后续植物物种鉴定与数量统计；使用 R 语言中 vegan 包整理观测数据并计算群落的 α 多样性指数。采用 IBM SPSS Statistics 26 进行统计分析，包括单因素方差分析、Pearson 相关性分析及线性回归分析。为进一步明确不同处理或分组条件下（如不同海拔梯度、不同生境类型等）群落多样性指数的差异，在方差分析显著的基础上，采用最小显著差异法（LSD）进行事后多重比较，以检验不同生活型群落的多样性指数在 $\alpha = 0.05$ 水平上的差异显著性。此外，借助 R 语言中 ggplot2 包绘制 α 多样性随海拔变化的散点图，并利用其拟合二者之间的数学关系模型，以直观揭示其变化趋势。

2 结果与分析

2.1 物种组成

根据澜沧江中游东达山–拉乌山区域野外调查统计（表 2），调查区域共发现植物 249 种，隶属于 61 科 154 属。其中以菊科（Asteraceae）、蔷薇科（Rosaceae）和豆科（Fabaceae）植物最多，共 82 种（占物种总数的 32.93%），其次是禾本科（Poaceae）19 种（7.63%），毛茛科（Ranunculaceae）植物 13 种（5.22%）。从生活型来看，多年生草本 151 种，灌木 41 种，1 年生草本 37 种，蕨类 9 种，乔木 6 种，木质藤本 5 种，多年生草本和灌木居多。科分布区类型以世界分布为主，共 32 科，占总科数的 52.20%；北温带分布次之，计 16 科；泛热带分布位居第 3，共 10 科。

2.2 垂直带谱

最终绘制的东达山–拉乌山地区的植物群落垂直分布示意图共包含 9 个带（图 2）。东达山–拉乌山地区西坡自如美镇起：海拔 2 600 ~ 3 083 m 为小蓝雪花（*Ceratostigma minus*）+ 白刺花（*Sophora davidii*）–小画眉草（*Eragrostis minor*）+ 早熟禾（*Poa annua*）山地灌丛带；海拔 3 083 ~ 3 592 m 为大果圆柏（*Juniperus tibetica*）–岷谷木蓝（*Indigofera lenticellata*）+ 川滇野丁香（*Leptodermis pilosa*）–虎尾草（*Chloris virgata*）山地灌丛带；海拔 3 592 ~ 3 933 m 为高山栎（*Quercus semecarpifolia*）–白刺花 + 樱花杜鹃（*Rhododendron cerasinum*）–黄茅（*Heteropogon contortus*）山地森林带；海拔 3 933 ~ 4 331 m 为川西云杉（*Picea likiangensis* var. *rubescens*）–栎叶杜鹃（*Rhododendron phaeochrysum*）+ 雪层杜鹃（*Rhododendron nivale*）–小画眉草山地森林带；海拔 4 331 ~ 5 130 m 为雪层杜鹃–芒苞草（*Acanthochlamys bracteata*）山地草甸带。

表 2　澜沧江中游东达山–拉乌山区域物种组成统计

Tab. 2　Statistics on species composition in the Dongda Mountain-Lawu Mountain region of middle reaches of the Lancang River

项目	分类	数量	占比/%
基本概况	总物种数	249	100
	总科数	61	100
	总属数	154	100
优势科	菊科 Asteraceae	35	14.06
	蔷薇科 Rosaceae	24	9.64
	豆科 Leguminosae	23	9.24
	禾本科 Poaceae	19	7.63
	毛茛科 Ranunculaceae	13	5.22
生活型	多年生草本	151	60.64
	灌木	41	16.47
	1年生草本	37	14.86
	蕨类	9	3.61
	乔木	6	2.41
	木质藤本	5	2.01
分布区类型	世界分布	32	52.22
	北温带分布	16	26.23
	泛热带分布	10	16.39

注：优势种及生活型的数量和占比均以物种数统计，分布区类型的数量和占比均以科数统计。

东坡自如美镇起：海拔 2 600 ~ 2 738 m 为小蓝雪花 + 灰毛莎（*Caryopteris forrestii*）–黑麦草（*Lolium perenne*）+ 珊瑚苣苔（*Corallodiscus lanuginosus*）山地灌丛带；海拔 2 738 ~ 3 388 m 为高山栎–白刺花 + 矮探春（*Chrysojasminum humile*）–早熟禾 + 芒苞草山地灌丛带；海拔 3 388 ~ 4 209 m 为川西云杉–多色杜鹃（*Rhododendron rupicola*）–芒苞草山地森林带；海拔 4 209 ~ 4 338 m 为多色杜鹃–芒苞草 + 圆穗蓼（*Bistorta macrophylla*）山地草甸带。

2.3　物种多样性的垂直变化格局

2.3.1　澜沧江中游植物群落物种丰富度随海拔梯度的变化

在 32 个调查样地中，共记录到 249 种维管植物。其中包括草本植物 202 种、灌木 41 种和乔木 6 种。海拔梯度对不同生活型植物的物种多样性影响显著，其响应模式与变化格局因生活型不同而呈现明显差异。图 3 显示，乔木的物种丰富度随海拔梯度升高总体上呈先上升后下降的趋势，并在海拔 3 850 m 左右达到峰值。结合垂直分布示意图分析可知，该海拔带以亚高山暗针叶林为特征，表明中海拔区域具有更高的物种丰富度。灌木层物种丰富度亦随海拔升高呈先升高后降低的单峰变化趋势。随着海拔升高，干暖河谷的水分条件改善，灌木种类增多；然而，当海拔超过 3 450 m 后，温度降低和降水减少使灌木丰富度逐渐下降。在海拔约 3 600 m 处，以高山栎和川西云杉为优势种的乔木群落中，灌木层的物种丰富度较高。草本层物种丰富度随海拔升高呈先升高后降低的单峰分布格局。

2.3.2　澜沧江中游植物群落 α 多样性随海拔梯度的变化

α 多样性是反映群落丰富度与均匀度的综合指标。Simpson 指数取决于样方内物种数量及其均匀

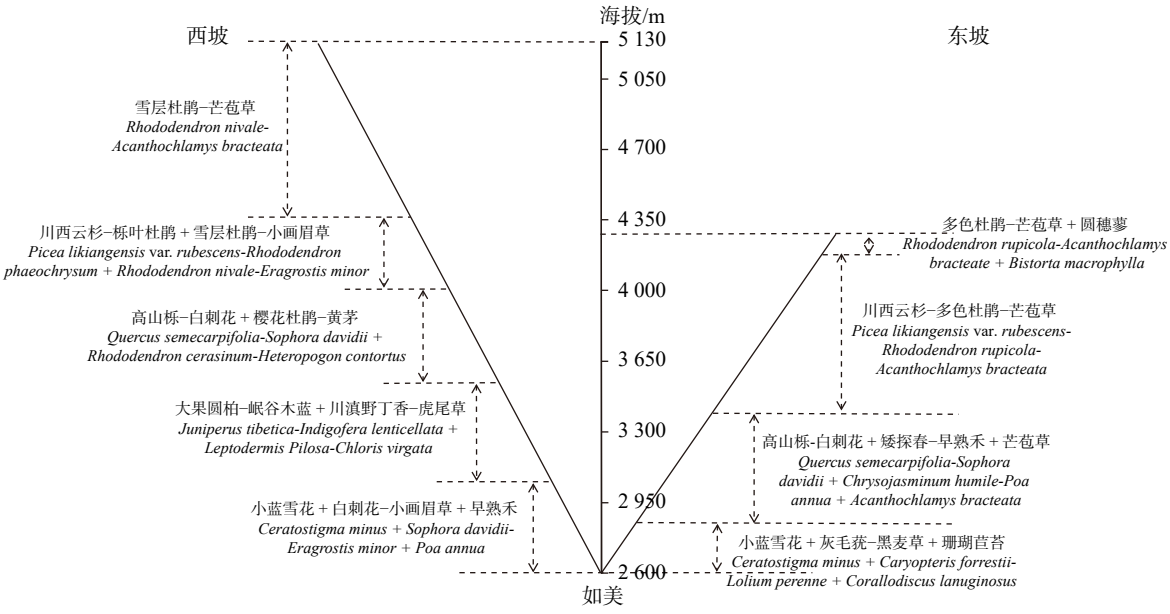


图 2　澜沧江中游东达山–拉乌山区域植物群落垂直分布示意图

Fig. 2　Schematic diagram illustrating vertical distribution of vegetation in the Dongda Mountain-Lawu Mountain region in middle reaches of the Lancang River

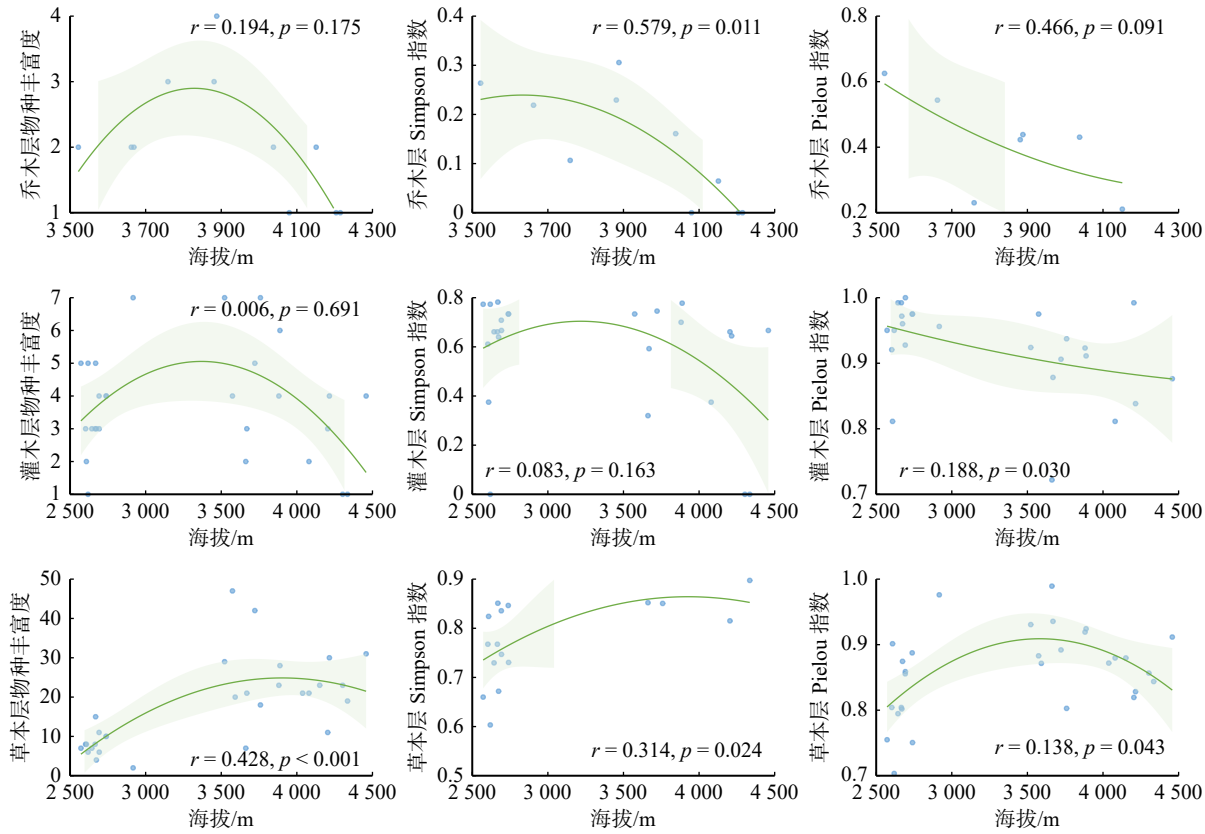


图 3 不同生活型植物 α 多样性随海拔梯度的变化格局

Fig. 3 Altitudinal changing patterns of α diversity in plants of different life forms

度，而 Pielou 均匀度指数则用于衡量物种多度分布的均匀性。从不同生活型植物 α 多样性随海拔梯度的变化情况（图 3）可以看出，乔木树种的 α 多样性随海拔升高逐渐降低。Simpson 指数从川西云杉−大果圆柏混交林的最高值 0.3 下降至川西云杉纯林的 0；在海拔 3 660 m 处的高山栎群落中，其优势度最高，随后随海拔升高逐渐下降，多样性逐渐升高。灌木层植物的 α 多样性以 Simpson 指数衡量，沿海拔梯度呈单峰格局，即随海拔升高先增至峰值后逐渐下降，与海拔呈显著相关性。草本层的 α 多样性沿海拔梯度呈先升高后下降的变化趋势。

3 讨 论

本研究对澜沧江中游东达山−拉乌山区域植物群落的调查共记录维管植物 249 种，隶属 61 科 154 属，以菊科、蔷薇科和豆科为主。沿海拔梯度（2 600~5 130 m），植被类型呈现从中亚热带到寒带的垂直分布格局，可划分为 9 个群落类型。物种丰富度及 α、β 多样性指数沿海拔均呈单峰分布格局，整体符合“中间地带效应”，但在中海拔段波动显著，反映出山地生境异质性及植被类型的交错替代特征。该单峰分布格局与经典的海拔梯度理论中“物种多样性随海拔升高而递减”的模式有所不同[33]。后者虽在热带与温带湿润山区乃至部分干旱区山地（如美国 Santa Catalina 山脉和 Great Smoky 山脉）广泛存在[34]，但多出现在环境梯度连续且干扰较均一的情形下。本研究中物种丰富度于中海拔达到峰值，与全球多个山地研究结果一致[35]，说明区域尺度上的物种分布不仅受海拔控制，还受到局地气候、土壤及干扰历史的深刻影响。类似地，在西藏亚高山森林的研究也发现，地上植被的物种丰富度随海拔升高呈“先增后降”的趋势，且 Margalef 丰富度指数、Shannon 多样性指数和 Simpson 多样性指数均表现出相同的单峰变化规律[36]，进一步印证了中海拔过渡带在维系区域植物多样性中的关键作用。

从机制上看，该单峰格局可归因于海拔驱动的水热组合变化及其对物种过滤作用的梯级调控。低海拔干旱河谷段（< 3 000 m）因高温干旱、土壤贫瘠及长期人为干扰，仅少数耐逆物种能够存续；高海拔区域（> 4 000 m）则因低温、强风及生长季缩短等严酷条件限制了物种定殖；中海拔地区作为生态过渡带，水热组合较为优越且人类干扰较轻，因而形成物种多样性峰值区。不同生活型植物对海拔梯度的响应亦存在差异。草本植物丰富度呈单峰格局，主要受水分有效性调控：低海拔降水不足限制湿生草本分布，中海拔降水增加促使种类增多，高海拔低温再

度成为限制因子，仅耐寒耐旱草本得以留存。该模式与全球多个生态系统的观测结果相符[35]。值得注意的是，在西藏亚高山森林的研究中同样发现，多年生草本植物的比例随海拔升高而增加，表现出对高海拔环境的较强适应性[36]，这与本文观测到的草本层物种组成沿海拔的生态替代规律高度一致。乔木层物种丰富度也呈先增后减趋势，但 Pielou 均匀度指数随海拔升高显著下降，说明高海拔群落逐渐由少数优势乔木主导，反映环境过滤作用增强。灌木丰富度变化更为复杂，均未完全符合 Rapoport 海拔法则[37−40]。相较之下，灌木层与草本层的均匀度沿海拔无显著变化，提示其物种组成更受种间竞争、共生关系等生物相互作用调控，对环境梯度的响应相对间接[41]。不同生活型多样性的分异特征在其他山地生态系统中亦有体现。例如，在大兴安岭双河保护区的研究显示，群落多样性呈现草本层 > 乔木层 > 灌木层的格局，且均匀度指数维持在 0.53 ~ 0.73[42]，反映出不同生长型对局域生境条件的差异化响应，也为理解本文中生活型间多样性变化模式的成因提供了有价值的比较背景。上述结果揭示了环境过滤与生物互作在驱动该区域植物群落海拔分布格局中的协同作用。后续研究可进一步引入功能性状和系统发育多样性分析，从物种共存机制的角度深入解析群落构建过程；同时，在全球气候变化背景下，应加强长期定位观测，以揭示生物多样性对温度上升和降水格局改变的响应规律，从而为澜沧江中游山地生态系统的生物多样性保护与适应性管理提供更坚实的科学依据。

4　结　　论

本研究表明，澜沧江中游东达山–拉乌山区域共记录维管植物 249 种，隶属于 61 科 154 属，以菊科、蔷薇科和豆科为主。多年生草本和灌木为主要生活型。东西坡植物群落垂直分异显著，西坡为如美−东达山 5 条垂直带，东坡为如美−拉乌山 4 条垂直带，共划分出 9 条垂直带。东西坡带谱结构差异明显，反映出该区域从中亚热带到寒带的植被垂直分布格局。

植物的 a 多样性沿海拔梯度呈规律性变化，具体表现为乔木层的物种丰富度与 Simpson 指数均随海拔上升呈单峰格局，即先增加后降低，但在亚高山暗针叶林带约（3 850 m）出现峰值；灌木层与草本层的物种丰富度和 α 多样性均表现为典型的单峰格局，其峰值集中出现在中海拔区域。Pielou 均匀度指数在乔木层中沿海拔上升呈递减趋势，而在灌木层和草本层中则未表现出显著的变化规律。

本研究初步揭示了该区域植物群落组成、分布及其多样性沿海拔梯度的变化特征，为理解横断山区植物多样性的垂直格局提供了基础。上述结果对当地退化生态系统的修复具有重要参考价值：一方面有助于识别不同海拔带植被恢复的潜在目标群落与关键物种；另一方面可为各海拔梯度下“乔木–灌木–草本”的合理配置与近自然修复提供科学依据，从而支持基于海拔分异的差异化、精细化生态修复实践。未来研究可进一步结合环境因子分析，深入探讨影响该区域植物群落分布的内在驱动机制，识别关键限制因子，为研究区的植被恢复与生态系统管理提供更坚实的理论支撑。

参　考　文　献

[1] 明庆忠, 史正涛. 三江并流区干热河谷成因新探析 [J]. 中国沙漠, 2007, 1(1): 99−104.
Ming Q Z, Shi Z T. New insights into the formation of arid-hot valleys in the three parallel rivers region [J]. Chinese Desert, 2007, 1(1): 99−104.

[2] 李亚飞, 刘高焕. 澜沧江流域植被覆盖变化特征及其与气候因子的关系 [J]. 资源科学, 2012, 34(7): 1214−1221.
Li Y F, Liu G H. Characteristics of vegetation cover change in the Lancang River Basin and its relationship with climatic factors [J]. Resources Science, 2012, 34(7): 1214−1221.

[3] 范娜, 谢高地, 张昌顺, 等. 2001 年至 2010 年澜沧江流域植被覆盖动态变化分析 [J]. 资源科学, 2012, 34(7): 1222−1231.
Fan N, Xie G D, Zhang C S, et al. Analysis of vegetation cover dynamics in the Lancang River Basin from 2001 to 2010 [J]. Resources Science, 2012, 34(7): 1222−1231.

[4] 陈龙, 谢高地, 张昌顺, 等. 澜沧江流域典型生态功能及其分区 [J]. 资源科学, 2013, 35(4): 816−823.
Chen L, Xie G D, Zhan C S, et al. Typical ecological functions and their zoning in the Lancang River Basin [J]. Resources Science, 2013, 35(4): 816−823.

[5] 孙红雨, 王长耀, 牛铮, 等. 中国地表植被覆盖变化及其与气候因子关系: 基于 NOAA 时间序列数据分析 [J]. 遥感学报, 1998, 1(3): 204−210.
Sun H Y, Wang C Y, Niu Z, et al. Changes in China’s surface vegetation cover and its relationship with climatic factors: analysis based on NOAA time series data [J]. Journal of Remote Sensing, 1998, 1(3): 204−210.

[6] 张莲芝, 李 明, 吴正方, 等. 基于 SPOT NDVI 的中国东北地表植被覆盖动态变化及其机理研究 [J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(1): 171−175.
Zhang L Z, Li M, Wu Z F, et al. Research on dynamic changes and mechanisms of surface vegetation cover in Northeast China based on SPOT NDVI [J]. Resources and Environment in Arid Areas, 2011, 25(1): 171−175.

[7] 王桂钢, 周可法, 孙莉, 等. 近 10a 新疆地区植被动态与 R/S 分析 [J]. 遥感技术与应用, 2010, 25(1): 84−90.
Wang G G, Zhou K F, Sun L, et al. Vegetation dynamics and R/S

analysis in Xinjiang over the past 10 years [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2010, 25(1): 84−90.

[8] 汪健. 澜沧江中游干旱河谷荒漠植被研究 [D]. 昆明: 西南林业大学, 2013.
Wang J. A study on the desert vegetation in the arid valley of the middle reaches of the Lancang River[D]. Kunming: Southwest Forestry University, 2013.

[9] 左艳洁, 成国标, 王崇云, 等. 澜沧江中上游河谷植被的群落数量分类和谱系结构 [J]. 生态学杂志, 2021, 40(9): 2665−2677.
Zuo Y J, Shu G B, Wang C Y, et al. Quantitative classification and phylogenetic structure of valley vegetation in the middle and upper reaches of Lancang River [J]. Chinese Journal of Ecology, 2021, 40(9): 2665−2677.

[10] 朱玉怀, 张大才, 李双智. 西藏东达山 3 种嵩草属植物气孔特征沿海拔的变化 [J]. 西北植物学报, 2017, 37(4): 728−736.
Zhu Y H, Zhang D C, Li S Z. Variation of stomatal characteristics with altitude for three *Kobresia* species in Dongda Mountain, Tibet [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2017, 37(4): 728−736.

[11] 孙晓红, 杨春娇, 张大才. 西藏东达山 3 种嵩草属植物叶片解剖结构的比较 [J]. 西南林业大学学报 (自然科学), 2019, 39(5): 58−65.
Sun X H, Yang C J, Zhang D C. Comparative study on leaf anatomical structures of three *Kobresia* species in Dongda Mountain [J]. Journal of Southwest Forestry University (Natural Science Edition), 2019, 39(5): 58−65.

[12] 格桑, 和鑫明, 杨莹, 等. 云南白马雪山国家级自然保护区杜鹃花属植物区系特征与垂直分布格局 [J]. 植物资源与环境学报, 2025, 34(2): 72−81.
Ge S, He X M, Yang Y, et al. Floristic characteristics and vertical distribution pattern of rhododendron in Baima Snow Mountain National Nature Reserve of Yunnan, China [J]. Journal of Plant Resources and Environment, 2025, 34(2): 72−81.

[13] 余昱. 金沙江、澜沧江干暖河谷灌草丛群落特征研究 [D].昆明：云南大学, 2018.
Yu Y. Study on community characteristics of thicket in the dry-warm valleys of Jinsha River and Lancang River[D]. Kunming: Yunnan University, 2018.

[14] 王敏, 周才平. 山地植物群落数量分类和排序研究进展 [J]. 南京林业大学学报 (自然科学版), 2011, 35(4): 126−130.
Wang M, Zhou C P. Advances in quantitative classification and ordination of mountain plant communities [J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2011, 35(4): 126−130.

[15] 沈泽昊, 张新时. 三峡大老岭地区森林植被的空间格局分析及其地形解释 [J]. 植物学报, 2000，42(10): 1089−1095.
Shen Z H, Zhang X S. Spatial pattern analysis of forest vegetation in the Dalaoling Region of the Three Gorges Area and its topographic interpretation [J]. Acta Botanica Sinica, 2000, 42(10): 1089−1095.

[16] 吴冬秀. 陆地生态系统生物观测规范 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2007.
Wu D X. Specifications for biological monitoring of terrestrial ecosystems[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2007.

[17] 吴征镒. 西藏植物志：2 卷 [M]. 北京: 科学出版社, 1985.
Wu Z Y. Flora of Tibet: Vol. 2[M]. Beijing: Science Press, 1985.

[18] 徐波, 李志敏, 孙航. 横断山高山冰缘带种子植物 [M]. 北京: 科学出版社, 2013.
Xu B, Li Z M, Sun H. Seed plants of the alpine periglacial zone in the Hengduan Mountains[M]. Beijing: Science Press, 2013.

[19] Curtis J T, McIntosh R P. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin [J]. Ecology, 1951, 32: 476−496.

[20] 孙儒泳, 李博, 诸葛阳, 等. 普通生态学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1993.
Sun R Y, Li B, Zhuge Y, et al . General ecology[M]. Beijing: Higher Education Press, 1993.

[21] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 Ⅰα 多样性的测度方法 (下)[J]. 生物多样性, 1994, 1(4): 231−239.
Ma K P, Liu Y M. Methods for measuring biological community diversity (I): methods for measuring α diversity (part II) [J]. Biodiversity Science, 1994, 1(4): 231−239.

[22] Anne E. Magurran, measuring richness and evenness [J]. Trends in Ecology & Evolution, 1998, 13(4): 165−166.

[23] 马克平, 刘灿然, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法: IIβ 多样性的测度方法 [J]. 生物多样性, 1995, 3(1): 38−43.
Ma K P, Liu C R, Liu Y M. Methods for measuring biological community diversity: IIβ diversity measurement methods [J]. Biodiversity Science, 1995, 3(1): 38−43.

[24] R Core Team. R: a language and environment for statistical computing [Z]. Viena: R Foundation for Statistical Computing, 2024. https://www.R-project.org/.

[25] Oksanen J, Simpson G, Blanchet F, et al. Vegan: community ecology R package version 2.7-1[CP/OL]. https://CRAN.R-project.org/package=vegan.

[26] 吴征镒. 中国植被 [M]. 北京: 科学出版社, 1980.
Wu Z Y. Vegetation of China[M]. Beijing: Science Press, 1980.

[27] 李德铢. 中国维管植物科属志 [M]. 北京: 科学出版社, 2020.
Li D Z. Flora of China: family and genus descriptions of vascular plants[M]. Beijing: Science Press, 2020.

[28] 吴征镒. 中国种子植物属的分布区类型 [J]. 云南植物研究, 1991, 13(增刊 IV)：1−139.
Wu Z Y. Distribution types of Chinese seed plant genera[J]. Yunnan Botanical Research, 1991, 13(Suppl. IV): 1−139.

[29] 吴征镒, 周浙昆, 李德铢, 等. 世界种子植物科的分布区类型系统 [J]. 云南植物研究, 2003, 1(3): 245−257.
Wu Z Y, Zhou Z K, Li D Z, et al. Systematics of distribution types for families of world seed plants [J]. Yunnan Botanical Research, 2003, 1(3): 245−257.

[30] 吴征镒.《世界种子植物科的分布区类型系统》的修订 [J]. 云南植物研究, 2003, 1(5): 535−538.
Wu Z Y. Revision of the system of distribution area types for families of world seed plants [J]. Yunnan Botanical Research,

2003, 1(5): 535−538.

[31] 侯学煜. 中国的植被 [M]. 北京: 人民教育出版社, 1960: 210−212.
Hou X Y. Vegetation of China[M]. Beijing: People's Education Press, 1960: 210−212.

[32] 中国科学院青藏高原综合科学考察队. 西藏植被 [M]. 北京: 科学出版社, 1988.
Comprehensive Scientific Expedition Team of the Tibetan Plateau, Chinese Academy of Sciences. Tibetan vegetation[M]. Beijing: Science Press, 1988.

[33] 刘秉儒. 生物多样性的海拔分布格局研究及进展 [J]. 生态环境学报, 2021, 30(2): 438−444.
Liu B R. Research and progress on the altitudinal distribution patterns of biodiversity [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2021, 30(2): 438−444.

[34] 唐志尧, 方精云. 植物物种多样性的垂直分布格局 [J]. 生物多样性, 2004, 12(1): 20−28.
Tang Z Y, Fang J Y. A review on the elevational patterns of plant species diversity [J]. Biodiversity Science, 2004, 12(1): 20−28.

[35] Wilson J B, Lee W G, Mark A F. Species diversity in relation to ultramafic substrate and to altitude in southwestern New Zealand [J]. Plant Ecology, 1990, 86(1): 15−20.

[36] 邓炜展, 张艳, 王彬, 等. 西藏亚高山森林土壤种子库与地上植被群落的海拔梯度分异特征 [J]. 北京林业大学学报, 2026, 48(1): 119−128.
Deng W Z, Zhang Y, Wang B, et al. Altitudinal gradient differentiation characteristics of soil seed banks and aboveground vegetation communities in subalpine forests of Tibet [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2026, 48(1): 119−128.

[37] Rapoport E H. Areography: geographical strategies of species[M]. Oxford: Pergamon Press, 1982.

[38] Stevens G C. The latitudinal gradient in geographical range: how so many species coexist in the tropics [J]. American Naturalist, 1989, 133(2): 240−256.

[39] Pausas J G, Austin M P. Patterns of plant species richness in relation to different environments: an appraisal [J]. Journal of Vegetation Science, 2001, 12: 153−166.

[40] 李漫淑, 吴晓晴, 周银佳, 等. 长白山维管植物海拔梯度上种域格局及 Rapoport 法则的检验 [J]. 应用生态学报, 2024, 35(12): 3329−3338.
Li M S, Wu X Q, Zhou Y J, et al. Species range patterns of vascular plants along an elevational gradient in Changbai Mountain and the test of rapoport's rule [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2024, 35(12): 3329−3338.

[41] 王国宏. 祁连山北坡中段植物群落多样性的垂直分布格局 [J]. 生物多样性, 2002, 1(1): 7−14.
Wang G H. Vertical distribution patterns of plant community diversity in the middle section of the northern slope of the Qilian Mountains [J]. Biodiversity Science, 2002, 1(1): 7−14.

[42] 张喜亭, 张建宇, 李斯雯, 等. 大兴安岭双河保护区植物多样性和群落结构特征分析 [J]. 北京林业大学学报, 2021, 43(7): 79−81.
Zhang X T, Zhang J Y, Li S W, et al. Analysis of plant diversity and community structure characteristics in the Shuanghe Nature Reserve of the Greater Khingan Mountains [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2021, 43(7): 79−81.

（责任编辑　范　娟　李　契
责任编委　臧润国）