

# 玉龙雪山植物物种多样性和群落结构 沿海拔梯度的分布格局

冯建孟<sup>1</sup>, 王襄平<sup>1</sup>, 徐成东<sup>2</sup>, 杨元合<sup>1</sup>, 方精云<sup>1</sup>

(1 北京大学环境学院生态学系, 地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871;

2 云南大学生态学与地植物学研究所, 云南 昆明 650034)

**摘要:** 生物多样性沿海拔梯度的变化是多样性环境梯度格局研究中的一个热点问题。在对滇西北玉龙雪山 2 900 m~4 200 m 间沿海拔梯度进行的群落调查基础上, 对植物物种多样性和群落结构的垂直分异格局进行了分析。结果表明: 1) 在 16 个样地中共记录植物物种 261 种, 分属 78 科, 158 属, 其中木本植物 36 种, 灌木植物 71 种, 草本 154 种。2) 沿海拔梯度, 森林群落的最大树高、最大胸径、平均树高和平均胸径等群落结构指标均呈单峰分布格局。3) 随着海拔的升高, 木本和草本的物种丰富度, 先增加后下降; 而灌木层的物种丰富度随着海拔的上升呈明显下降格局。4) 木本层和灌木层的  $\beta$  多样性 (Cody 指数) 随海拔升高, 总体呈减小趋势, 而草本层  $\beta$  多样性显示出单峰分布的垂直格局。

**关键词:** 物种多样性; 海拔梯度; 玉龙雪山; 云南

**中图分类号:** Q948

**文献标识码:** A

植物物种多样性沿环境梯度的变化规律一直是生态学家十分关注的问题<sup>[1]</sup>。海拔梯度包含了温度、水分和光照条件等因素的综合影响<sup>[2]</sup>, 而且在海拔梯度上温度的变化速率要比在纬度梯度上快 1 000 倍<sup>[3]</sup>, 因此, 海拔梯度上的植物多样性格局成为植物生态学家的重要研究内容。一般认为, 物种多样性的海拔梯度格局与纬度格局相似, 即随着海拔的上升物种多样性降低<sup>[4]</sup>, 但也有研究表明随着海拔的升高, 物种多样性先增加, 后减少<sup>[5-6]</sup>, 即单峰分布格局。因此, 物种多样性的垂直格局在不同的山体可能有不同的表现。所以, 有必要对典型山体的物种多样性进行个案研究, 以便为阐明山地植物多样性的垂直分布格局积累基础资料<sup>[7]</sup>。

玉龙雪山所处的滇西北地区是我国三大特有种分化中心之一<sup>[8]</sup>, 也是中国 17 个生物多样性保护关键地区之一<sup>[9]</sup>。滇西北地区虽然仅占国土面积的 14%, 但拥有中国 20% 的高等植物, 共有高等植物

210 余科, 1 200 余属, 6 000 多种<sup>[10-11]</sup>, 因此, 滇西北地区在全国植物多样性研究中具有重要地位和价值。玉龙雪山是滇西北地区生物多样性的重点分布区域, 同时也是联系滇西北地区与滇中地区植被分布的重要过渡地区之一<sup>[12]</sup>, 而且由于玉龙雪山位于低纬度亚热带地区, 具较大的海拔梯度, 因此, 玉龙雪山同时也是山地植被垂直多样性分布格局研究的典型山体之一<sup>[12]</sup>。但截至目前, 有关玉龙雪山植物多样性, 尤其是植物多样性垂直梯度方面的研究报道并不多见。本研究通过沿海拔梯度设置样地, 研究玉龙雪山的群落类型、结构及其物种多样性垂直变化格局。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 研究区域概况

玉龙雪山位于滇西北丽江市境内, 其地理坐标

收稿日期 (Received date): 2005-09-12; 改回日期 (Accepted): 2005-12-01。

基金项目 (Foundation item): 国家自然科学基金项目 (49971002 和 39830050)。[Natural Science Foundation of China (No49971002 & 39830050).]

作者简介 (Biography): 冯建孟 (1971~), 男, 浙江慈溪人, 现为北京大学环境学院生态学系博士研究生, 主要从事植被生态学研究。[Feng Jianmeng born in Cixi County, Zhejiang Province in 1971, male, doctorate candidate, mainly engage in the research of vegetation ecology. E-mail: fjm@pku.edu.cn]

为北纬 27°10′~ 27°40′N, 100° 10′~ 100°20′E, 南北长约 35 km, 东西宽约 12 km。最高峰扇子陡 5 596 m, 相对高差 3 846 m<sup>[13]</sup>。据丽江气象站(距玉龙雪山 17 km 处)资料, 该区域年降水量 935 mm, 6~ 10 月为雨季, 这 5 个月的降水量为年降雨量的 90% 以上, 11 月至翌年 5 月为干季, 降雨量较少。年平均温度 12.79℃, 最热月 7 月, 月均温 17.9℃, 最冷月是 1 月, 月均温 5.9℃。总体上, 气温变化不剧, 四季温和无夏。玉龙雪山从低海拔至高海拔, 土壤类型依次为红壤(2 700~ 3 200 m), 山地生草灰化土(3 100~ 3 300 m), 腐殖质碳酸盐土(3 300~ 3 800 m)和高山草甸土(3 800~ 4 200 m)<sup>[12]</sup>。该地区植被在中国植被区划上属于滇中西北部高中山高原云南松林(*Pinus yunnanensis*)、丽江云杉(*Picea likiangensis*)、长苞冷杉(*Abies georgei*)林。森林由下而上主要为云南松林、丽江云杉林、大果红杉(*Larix potaninii*)林和冷杉林<sup>[8]</sup>。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置

本研究中海拔梯度上样地的设置, 主要考虑与国内大多数相关研究一致, 以利于结果的比较和交流(国内大多数相关研究的海拔分段间距是 50~ 100 m 左右<sup>[6, 7, 14- 17]</sup>)。本研究从海拔 2 900~ 4 200 m, 每隔海拔 50~ 100 m 设置一个 20 m × 30 m 的样地。从海拔 2 900~ 3 800 m, 共设置森林群落样地 12 个。森林群落样地面积为 20 m × 30 m, 由 6 个 10 m × 10 m 的邻接小样方组成, 随机选取其中一个用于调查灌木。按梅花取样法设置 5 个 2 m × 2 m

的小样方调查草本。海拔 3 800~ 4 200 m, 共设置高山灌丛和草甸群落样地 4 个。在所调查 16 个样地中, 共记录植物物种 261 种, 分属 78 科, 158 属, 其中木本植物 36 种, 灌木植物 71 种, 草本 154 种。样地基本信息见表 1。

1.2.2 调查内容

调查内容包括: (1) 样地基本信息, 包括经纬度、海拔、坡度、坡向与坡位等; (2) 对乔木层, 记录样地内所有胸围 ≥ 10 cm 的活立木的种名、胸围和树高。(3) 对灌木层样方, 调查记录灌木、幼树的物种名、基径、平均高度、多度、盖度, 主要树种幼树(苗)计数, 并记录整个样方出现的物种数和个体数。(4) 对草本层样方, 调查记录草本、灌木物种名、高度、多度和盖度, 并记录整个样方出现的物种数。

1.2.3 群落数量分类

利用等级聚类分析(Hierarchical Cluster Analysis)对样方进行了数量分类, 采用欧氏距离测度<sup>[18]</sup>和 Ward 最小方差法(Ward's Method)<sup>[19]</sup>, 以乔木层物种的重要值构建物种矩阵进行分析。其中重要值计算方法为:

$N =$  某一树种的胸高断面积之和/样方内所有树种胸高断面积之和

欧式距离测度计算公式为

$$D_{ij} = \sqrt{\sum (X_{ij} - X_{jk})^2} \quad (i = 1, 2, \dots, n, j, k = 1, 2, \dots, 31)$$

式中  $X_{ij}$ 、 $X_{jk}$  分别为第  $i$  种在第  $j, k$  个样地中的重要值。

表 1 玉龙雪山样地基本信息

Table 1 Plot characteristics on Mt. Yulong

样地编号	经 度	纬 度	海 拔	坡度 Slope	坡向
No.	Longitude(°)	Latitude(°)	Elevation(m)	gradient(°)	Exposure(°)
S1	E 100° 12' 28"	N 27° 06' 08"	4 200	50	309
S2	E 100° 12' 29"	N 27° 06' 10"	4 100	40	310
S3	E 100° 12' 32"	N 27° 06' 13"	4 000	35	310
S4	E 100° 12' 37"	N 27° 06' 17"	3 900	35	309
S5	E 100° 12' 43"	N 27° 06' 19"	3 800	15	292
S6	E 100° 12' 49"	N 27° 06' 22"	3 700	30	320
S7	E 100° 12' 56"	N 27° 06' 34"	3 600	17.5	260
S8	E 100° 13' 01"	N 27° 06' 39"	3 500	35	260
S9	E 100° 13' 12"	N 27° 06' 44"	3 400	25	0
S10	E 100° 13' 17"	N 27° 06' 48"	3 350	35	310
S11	E 100° 13' 34"	N 27° 06' 51"	3 300	17.5	40
S12	E 100° 14' 00"	N 27° 05' 44"	3 250	11	340
S13	E 100° 13' 54"	N 27° 08' 43"	3 200	3	200
S14	E 100° 15' 02"	N 27° 07' 24"	3 100	32.5	280
S15	E 100° 15' 22"	N 27° 07' 24"	3 000	20	285
S16	E 100° 14' 40"	N 27° 07' 37"	2 900	31	270

1.2.4 α多样性测度方法

物种丰富度指数:

$$S = \text{出现在样地内的物种数} \tag{1}$$

1.2.5 β多样性测度方法

Cody 指数: 
$$\beta_c = \frac{g(H) + l(H)}{2}^{[20]} \tag{2}$$

式中  $g(H)$  为沿生境梯度 ( $H$ ) 增加的物种数,  $l(H)$  为沿生境梯度 ( $H$ ) 丢失的物种数。

2 研究结果

2.1 群落分类

玉龙雪山植被以森林为主, 沿海拔梯度表现出明显的垂直分布格局。以聚类分析对玉龙雪山的森林样方进行分类的结果表明 (图 1), 森林植被可以分为 4 个群落类型, 即: 云南松林群落、丽江云杉林群落、大果红杉林群落和冷杉林群落。第一级划分出云南松林群落和较高海拔的冷杉林群落; 第二级划分, 主要针对冷杉林进行划分, 续分出丽江云杉林群落和大果红杉-长苞冷杉林群落; 第三级划分出大果红杉林群落和长苞冷杉林群落。由图 1 可以看出, 聚类结果中样方的顺序与其所处海拔基本一致, 表明在海拔梯度上群落的物种组成发生有规律的变化。

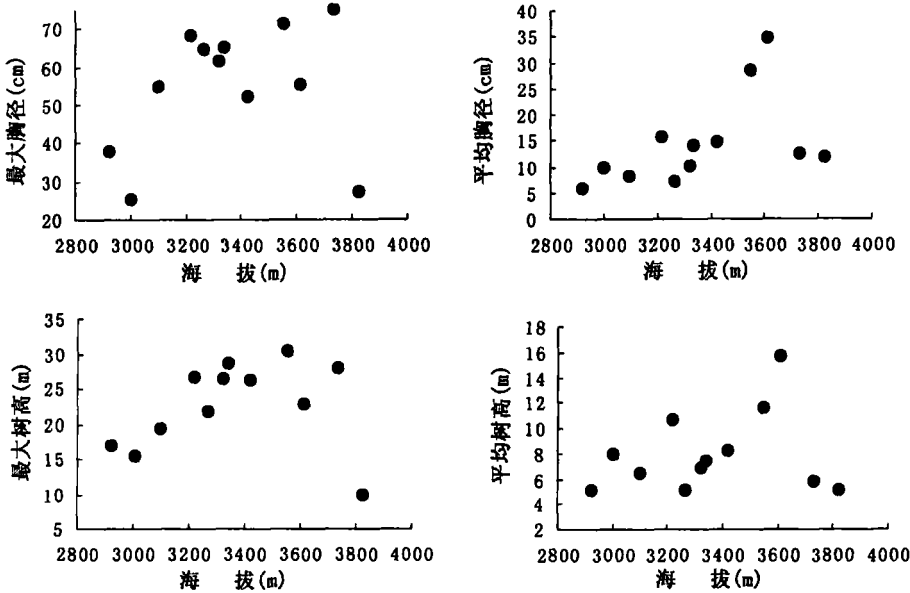


图 2 群落结构特征在海拔梯度上的变化格局

Fig 2 The altitudinal patterns of community structure on Mt. Yulong

从图 3 可以看出, 阔叶树主要分布在海拔 3 500 m 以下, 这可能与较高海拔的低温限制了阔叶树的

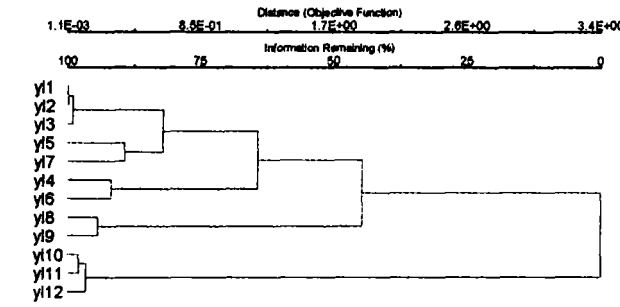


图 1 森林群落样方的聚类分析 (框内数字表示样方号)  
Fig 1 Cluster Analysis classification of the community in Mt. Yulong

2.2 群落结构

在本研究中, 群落特征主要通过最大树高、最大胸径、平均树高和平均胸径等 4 个指标进行分析。从图 2 可以看出, 随着海拔升高, 最大树高、最大胸径、平均树高和平均胸径等指标均总体上呈先增加后下降的趋势, 即单峰分布格局。最大树高和最大胸径在海拔 3 200~ 3 700 m 间均呈较高的分布值, 两者分别在海拔 3 500 m 和 3 700 m 附近达到各自的最大值 (分别为 30.4 和 75.1 cm)。而平均树高和平均胸径均在海拔 3 600 m 左右达到峰值, 随后急剧下降。

分布有关。总体来看, 在整个海拔梯度上, 阔叶树的重要值比重始终远低于针叶树, 表明玉龙雪山植物

群落构成以针叶林为主, 与以前的植被研究比较一致<sup>[8 12 13]</sup>。图 4 是样地内建群种(在森林样方中, 重要值至少有一次为最大的树种)重要值百分比沿海拔梯度的变化格局, 可以看出, 云南松主要分布在海拔 < 3 100 m, 并且占明显优势(占重要值 80% 以上)。丽江云杉主要分布在海拔 3 100~3 400 m 间, 在海拔 3 200~3 300 m 间占较大的优势。大果红杉在海拔 3 300~3 500 m 间占比较大的优势。长苞冷杉分布在海拔 3 200~3 800 m 之间, 并且在海拔梯度上, 重要值的比重总体呈增加趋势, 在海拔 > 3 500 m, 长苞冷杉的重要值占绝对的优势。

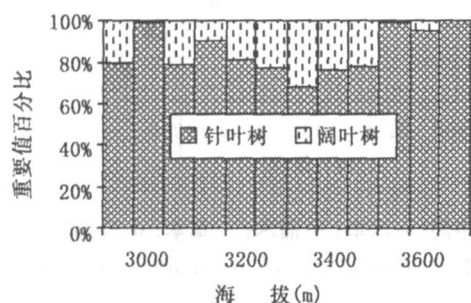


图 3 不同生活型木本重要值百分比沿海拔梯度的变化

Fig 3 The altitudinal patterns of IV percentage in different life forms at Mt Yulong

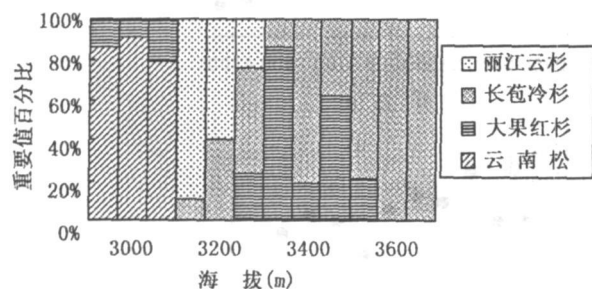


图 4 主要建群种重要值百分比沿海拔梯度的变化

Fig 4 The altitudinal patterns of IV percentages in constructive species at Mt Yulong

### 2.3 $\alpha$ 多样性

本研究中  $\alpha$  多样性的测度采用物种丰富度来表示, 该指数是表示物种多样性最客观、最真实的指标<sup>[4]</sup>。图 5a 5b 5c 分别表示了木本、灌木和草本三种不同生活型和样方内记载的全部物种数在海拔梯度上的分布格局。可以看出, 总体上, 木本的物种丰富度指数大致呈单峰分布格局, 这可能与低海拔地区的人为干扰有关。而灌木层的物种丰富度大致随着海拔的上升呈明显下降趋势, 尤其在海拔 3 300

m 以上。草本层的物种丰富度在海拔梯度上呈明显的单峰格局, 在海拔 3 600 m 左右达到峰值。从图 5d 可以看出, 全部物种的丰富度总体上也呈单峰分布, 这是上述三种不同生活型植物丰富度在海拔梯度上叠加而成。

### 2.4 $\beta$ 多样性

本研究中  $\beta$  多样性采用 Cody 指数来测度, 从图 6a 6b 可以看出, 木本和灌木的  $\beta$  多样性在海拔梯度上大致呈线性下降趋势, 表明随着海拔的增加, 群落间物种交换逐渐减少。这可能与海拔梯度上热量的递减有关, 即热量的递减导致物种丰富度的减少, 进而引起群落间物种交换量 (Cody 指数) 的减少。同时, 这也说明对木本和灌木而言, 随着海拔的升高, 群落间的生境差异呈减小趋势。从图 6c 可以看出, 草本的  $\beta$  多样性在海拔梯度上, 总体呈单峰分布格局, 说明对草本植物而言, 群落间生境的差异性在中海拔最高, 并导致在该海拔区域, 群落间草本物种组成差异在中海拔较大, 而在低海拔和高海拔区域差异较小。这一格局与其丰富度的海拔分布格局比较一致。

## 3 讨论

过去的研究表明, 人为干扰是影响物种多样性分布格局的重要因素之一, 并且低海拔地区一般受到更为强烈的人为干扰, 因此该假说经常被用于解释垂直梯度上物种多样性单峰分布格局的形成<sup>[21]</sup>。唐志尧 (2004) 认为秦岭牛背梁木本植物物种多样性的单峰分布格局可能与低海拔区域的人为干扰有关<sup>[4]</sup>; 郑成洋 (2004) 在武夷山的研究也提出了相似的看法<sup>[16]</sup>。本研究结果表明, 玉龙雪山低海拔区域主要是受人为干扰后形成的次生云南松林群落, 该区域原生的常绿阔叶林大部分已经因人为砍伐、火烧、放牧和旅游开发, 被云南松林代替, 说明玉龙雪山低海拔区域受到强烈的人为干扰<sup>[12 13]</sup>, 因此, 我们认为玉龙雪山木本的单峰分布格局可能与低海拔区域的人为干扰有关, 即人为干扰导致低海拔区域  $\alpha$  多样性降低, 形成单峰分布格局。同时我们发现玉龙雪山森林群落的最大树高、最大胸径、平均树高和平均胸径等群落结构指标均呈单峰分布格局, 这也可能与低海拔区域的人为干扰有关。

由于影响草本植物分布的因素较多, 草本植物多样性随海拔变化的关系比较复杂<sup>[21]</sup>。群落盖度

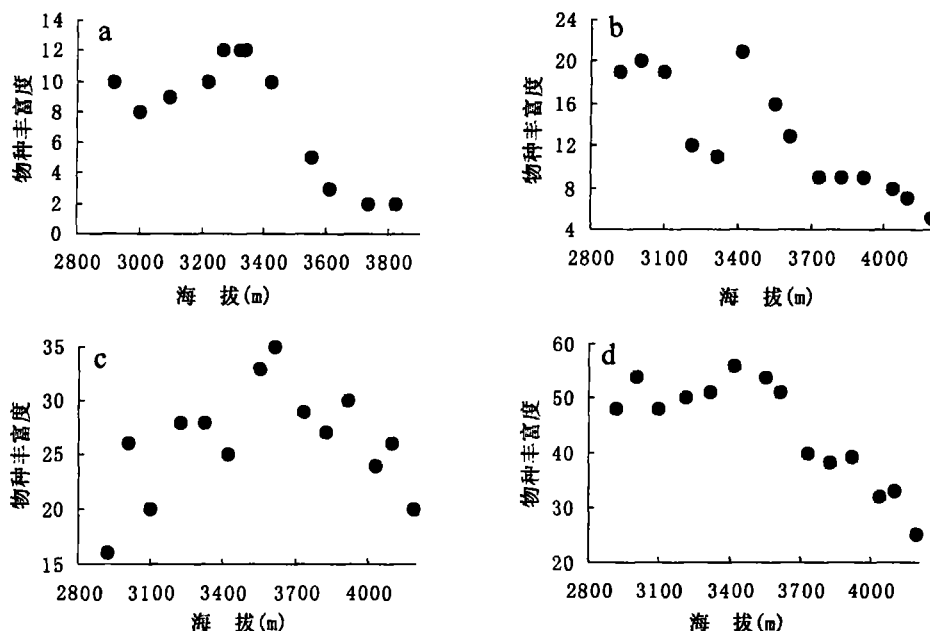


图 5 不同生活型植物物种丰富度指数在海拔梯度上的变化格局 (a 木本; b 灌木; c 草本; d 全部)

Fig 5 Changes in species richness of different life forms along an altitudinal gradient (a wood; b shrub; c herb; d all)

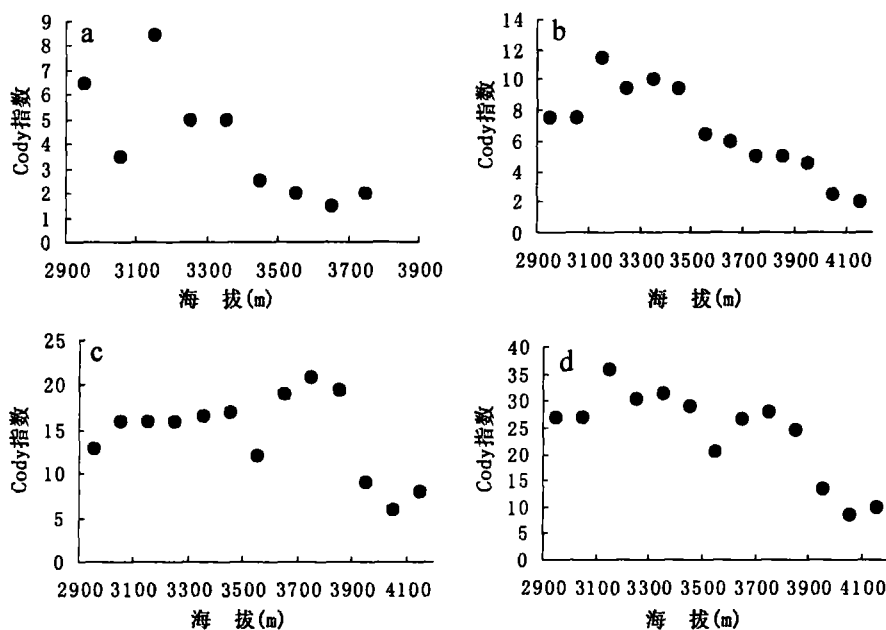


图 6 Cody 指数在海拔梯度上的变化格局 (a 木本; b 灌木; c 草本; d 全部)

Fig 6 Changes in Cody index of different life forms along an altitudinal gradient (a wood; b shrub; c herb; d all)

是影响草本获得光照(能量)的主要因子, 因此是影响草本植物多样性随海拔变化的重要因素<sup>[23]</sup>。本研究结果表明, 玉龙雪山草本  $\alpha$  多样性在海拔梯度上大致呈单峰分布格局, 我们发现在海拔 3 600 m 以下, 各样地内的草本物种数与立木密度呈明显负相关(图 7) ( $R^2 = 0.83$ ,  $P < 0.01$ ), 这意味着随着海拔的升高, 立木密度减少(图 7), 导致群落盖度的减

少, 光照的增加, 从而引起草本植物多样性的增加, 而在海拔 3 600 m 以上, 草本丰富度的递减趋势可能与高海拔区域的能量限制了某些非耐寒草本物种的分布有关。

本研究结果表明, 玉龙雪山植物物种丰富度(含木本、灌木和草本)随着海拔的升高, 先上升后下降。其中低海拔区域较低的多样性水平可能主要

由于干扰对原始植被的破坏所导致, 因此, 原生森林植被的保护和恢复对生物多样性的保护和维持具有重要意义。同时, 表现生产力的群落结构指标也表明, 平均胸径、平均树高、平均树高和平均树高均呈单峰分布格局, 即在低海拔区域均表现为相对较低水平, 并可能与低海拔区域的人为干扰有关。因此, 低海拔区域原始森林的保护可能对森林生产力的维持与增长具有重要意义。

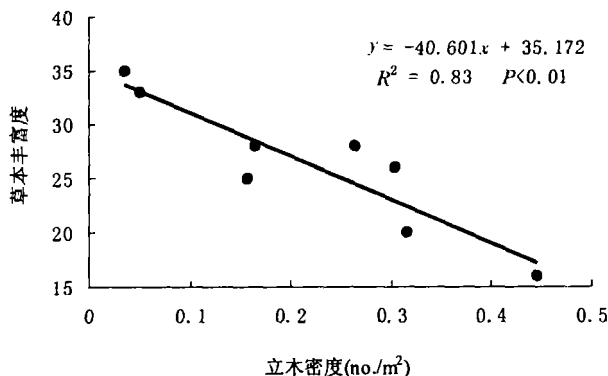


图 7 草本丰富度与立木密度的关系

Fig 7 Correlation between richness of herb and tree density

## 4 小结

1 本次调查在 16 个样地中共记录植物物种 261 种, 分属 78 科, 158 属, 其中木本植物 36 种, 灌木植物 71 种, 草本 154 种。随着海拔升高, 森林群落类型依次为云南松林、丽江云杉林、大果红杉林和长苞冷杉林。

2 随着海拔升高, 森林群落的最大树高、最大胸径、平均树高和平均胸径均呈单峰分布格局。

3 木本层和草本层的物种丰富度指数大致呈单峰分布格局。而灌木层的物种丰富度随着海拔的上升呈明显下降趋势。

4 木本层和灌木层的  $\beta$  多样性在海拔梯度上大致呈线性下降趋势, 草本层的  $\beta$  多样性在海拔梯度上, 总体呈单峰分布格局。

## 参考文献 (References)

- [1] Kratochvil A. Biodiversity in Ecosystems same principles [M]. Dordrecht Kluwer Academic Publishers 1999. 5~ 38
- [2] Gaston K. J. Global patterns in biodiversity [J]. *Nature*, 2000 405: 220~ 226
- [3] Walker A. H. Vegetation of the Earth [M]. New York Springer 1979 1~ 35
- [4] Tang Zhiyao, Ke Jinhua. Altitudinal patterns of plant species diversity in Mt. Nishanling, Qinling mountains [J]. *Biodiversity Science*

- 2004 12(1): 108~ 114[唐志尧, 柯金虎. 秦岭牛背梁植物物种多样性垂直分布格局 [J]. 生物多样性, 2004, 12(1): 108~ 114]
- [5] Rahbek C. The relationship among area, elevation, and regional species richness in neotropical birds [J]. *American Naturalist* 1997, 149: 875~ 902
- [6] Wang Guohong. Species diversity of plant community along an altitudinal gradient in the middle section of northern slopes of Qilian Mountain, Zhangye Gansu, China [J]. *Biodiversity Science*, 2002, 10(1): 7~ 14 [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, 10(1): 7~ 14]
- [7] Zhao Shuqing, Fang Jingyun, Zong Zhanjiang et al. Composition structure and species diversity of plant communities along an altitudinal gradient on the northern slope of Mt. Changbai, Northeast China [J]. *Biodiversity Science*, 2004, 12(1): 164~ 173 [赵淑清, 方精云, 宗占江, 等. 长白山北坡植物群落组成、结构及物种多样性的垂直分布 [J]. 生物多样性, 2004, 12(1): 164~ 173]
- [8] Wu Zhengyi, Zhu Yancheng. Vegetation in Yunnan [M]. Beijing Science Press 1987. 600~ 721 [吴征镒, 朱彦丞. 云南植被 [M]. 北京: 科学出版社, 1987, 600~ 721]
- [9] Zhao Shuqing, Fang Jingyun, Lei Guangchun. Global 200: an approach to setting large-scale biodiversity conservation priorities [J]. *Biodiversity Science*, 2000, 8(4): 435~ 440 [赵淑清, 方精云, 雷光春. 全球 200: 确定大尺度生物多样性优先保护的一种方法 [J]. 生物多样性, 2000, 8(4): 435~ 440]
- [10] Guo Huijun, Long Chunlin. Biodiversity in Yunnan [M]. Kunming Yunnan Press of Science & Technology 1998. 1~ 232 [郭辉军, 龙春林. 云南的生物多样性 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 1998. 1~ 232]
- [11] Li Xiwen. Floristic statistics and analyses of seed plants from China [J]. *Acta Botanica Yunnanica*, 1996, 18(4): 363~ 384 [李锡文. 中国种子植物区系统计分析 [J]. 云南植物研究, 1996, 18(4): 363~ 384]
- [12] Qu Zhongxiang, Zhu Yancheng. A survey of plant community in Yulong Shan, Lijiang, Yunnan [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Yunnanensis*, 1957, 4: 1~ 180 [曲仲湘, 朱彦丞. 云南丽江玉龙山植被调查专号 [J]. 云南大学学报 (自然科学), 1957, 4: 1~ 180]
- [13] Wang Baorong, Zhu Xiang, Yang Shuhua. Application of RS technique to the study of vegetation mapping in Yulong Mountain, Lijiang, Yunnan [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2001, 20(suppl): 39~ 41 [王宝荣, 朱翔, 杨树华. 云南丽江玉龙雪山遥感植被制图 [J]. 生态学杂志, 2001, 20(增刊): 39~ 41]
- [14] Liu Zhengli, Zhen Chengyang, Fang Jingyun. Changes in plant species diversity along an elevation gradient on Mt. Xiaowutai, Hebei, China [J]. *Biodiversity Science*, 2004, 12(1): 137~ 145 [刘增力, 郑成洋, 方精云. 河北五台山北坡植物物种多样性的垂直梯度变化 [J]. 生物多样性, 2004, 12(1): 137~ 145]
- [15] Shen Zehao, Fang Jingyun. Patterns of biodiversity along the vertical vegetation spectrum of the east aspect of Gongga Mountain [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001, 25(6): 721~ 732 [沈泽昊, 方精云. 贡嘎山东坡植被垂直带谱的物种多样性格局分析 [J]. 植物生态学报, 2001, 25(6): 721~ 732]
- [16] Zheng Chengyang, Liu Zhengli, Fang Jingyun. Tree species diversity along altitudinal gradient on southeastern slopes of Mt. Huanggang, Wuyi Mountains, Fujian, China [J]. *Biodiversity Science*, 2004, 12

- (1): 63~ 74[ 郑成洋, 刘增力, 方精云. 福建黄岗山东南坡和西北坡乔木物种多样性及群落特征的垂直变化 [ J]. 生物多样性, 2004, 12( 1): 63~ 74]
- [ 17] Zhu Biao, Chen Anping, Liu Zengli *et al.* Changes in floristic composition, community structure, and tree species diversity of plant communities along altitudinal gradients on Mt Mao'er, Guangxi, China[ J]. *Biodiversity Science*, 2004, 12( 1): 44~ 52[ 朱彪, 陈安平, 刘增力等. 广西猫儿山植物群落物种组成、群落结构及树种多样性的垂直分布格局 [ J]. 生物多样性, 2004, 12( 1): 44~ 52]
- [ 18] Goodall DW. Objective methods for classification of vegetation, An essay in the use of factor analysis[ J]. *Aust J Bot*, 1954, 2: 304~ 324
- [ 19] Goodall DW, Johnson RW. Nonlinear ordination in several dimensions: A maximum likelihood approach[ J]. *Vegetation*, 1982, 48: 197~ 208
- [ 20] Magurran A. E. *Ecological Diversity and its Measurement*[ M]. New Jersey: Princeton University Press, 1988: 3~ 100
- [ 21] Sanders N. J. Elevational gradients in ant species richness: area geometry and Rapoport's rule[ J]. *Ecography*, 2002, 25: 25~ 32
- [ 22] Tang Zhiyao, Fang Jingyun. A review on the elevational patterns of plant species diversity[ J]. *Biodiversity Science*, 2004, 12( 1): 20~ 28[ 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]
- [ 23] Dolezal J. and Sutek M. Altitudinal changes in composition and structure of mountain-temperate vegetation: a case study from the Western Carpathians[ J]. *Plant Ecology*, 2002, 158: 201~ 221

## Altitudinal Patterns of Plant Species Diversity and Community Structure on Yulong Mountains, Yunnan, China

FENG Jiameng<sup>1</sup>, WANG Xiangping<sup>1</sup>, XU Chengdong<sup>2</sup>, YANG Yuanhe<sup>1</sup>, FANG Jingyun<sup>1</sup>

(1 Department of Ecology and Key Laboratory for Earth Surface Processes of the Ministry of Education, Peking University, Beijing 100871, China;

2 Institute of Ecology and Geobotany, Yunnan University, Kunming 650034, China)

**Abstract** The changing pattern of plant diversity along the environment gradients was the important topic in ecology. Because the elevational gradients comprised the combining effects of temperature, moisture and sunlight *et al.*, and the changing of temperature in elevational gradients was 1 000 times faster than that of latitude gradients, therefore, the pattern of plant diversity on elevational gradients was the hotspot in plant ecology. It was often thought that the changing of plant diversity on elevational gradient shared similar patterns with that of latitude gradients. In other words, plant diversity decreased with the increase of elevation. But other studies found that plant diversity increased first and then decreased at reaching their maximum, showing a unimodal pattern against elevation. So it may indicated the patterns were different in different mountains and it was necessary to make some case studies in typical mountains to reveal some rules on the elevational patterns of plant diversity. Yulong mountain was located in the northwest part of Yunnan province, and was the core region of plant diversity, linking the plant distribution between the northwest part and central part of Yunnan. And great elevation gradient was found in Yulong mountain, although it was in the region with low latitude, so it was a model to make a case study on the elevational pattern of plant diversity. However, until now, there was little research on the plant diversity there. In this study, we analyzed changes in species diversity of plant communities on Mt Yulong using data from 16 plots, which were mainly investigated along an altitudinal gradient at 100 m intervals, through cluster analysis, community structure, diversity index. Major results were summarized as follows: A total of 261 species were recorded, including 36 tree species, 71 shrub species and 152 herb species from 158 genera in 78 families. With the increase of altitude, the forest communities were *Pinus yunnanensis* forest, *Picea likiangensis* forest, *Larix potaninii* forest and *Abies georgei* forest. The maximum height, maximum DBH, mean height and mean DBH of trees all showed an increasing pattern, and then a decreasing pattern with the increase of elevation. The species richness of trees and herbs reached their peaks near the mid-altitude, while the species richness decreased with the increase of elevation. From low to high elevation, species turnover (Cody index) of trees and shrubs decreased. The species turnover of herbs reached its peaks near mid-altitude, which was paralleled its patterns of species richness.

**Key words** species diversity; altitudinal gradient; Yulong Mountains; Yunnan