

滇西北地区裸子植物多样性的地理分布格局 及其与区系分化之间的关系

冯建孟^{1*}, 朱有勇^{2, 3}

1. 大理学院生命科学与化学学院, 云南 大理 671000; 2. 云南农业大学农业生物多样性应用技术国家工程研究中心, 云南 昆明 650201;
3. 农业生物多样性和病虫害控制教育部重点实验室, 云南 昆明 650201

摘要: 研究利用大尺度的物种分布信息, 探讨了长江上游滇西北地区裸子植物多样性的地理分布格局及其与区系分化之间的关系。结果表明, 在属和种的水平上, 裸子植物的多样性从南到北呈递增趋势, 但在科的水平上无明显变化趋势。在科和属的水平上, 裸子植物的区系分化强度随着纬度的升高呈递增趋势。较高的裸子植物多样性和区系分化强度主要出现在北部地区。区系分化强度与表征地形复杂度的单位面积海拔高差之间存在显著的相关性。区系分化强度明显影响研究区域内裸子植物多样性的地理分布格局, 这可能与地质历史上滇西北地区地层的差异性抬升和地形格局有关。

关键词: 多样性; 地理分布格局; 区系分化; 裸子植物; 滇西北地区

中图分类号: Q948

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2010) 04-0830-06

自古生代泥盆纪以来, 裸子植物经历了从繁盛到没落的区系历史变迁^[1]。尽管如此, 该植物类群仍然占据了从热带低纬度地区到寒温带高纬度地区的广大生物地理空间, 在全球植被构成中具有十分重要的地位^[2]。可以说, 裸子植物的现代地理分布格局是过去漫长区系演化历史的反映。因此, 有关裸子植物多样性现代地理分布格局的研究对于理解该生物类群的区系起源及其进化、分化历史具有重要意义。过去关于中国裸子植物多样性地理分布格局的研究表明, 长江上游滇西北地区及其周边区域是中国裸子植物多样性的主要分布中心之一, 是中国裸子植物多样性保护的重要区域^[3-5]。同时, 有关全球裸子植物多样性分布格局的研究也表明, 包括滇西北地区在内的我国西南地区是全球裸子植物的 5 个特有分布中心之一^[6], 也是全球裸子植物多样性的重要分布中心之一^[7]。所以, 有关滇西北地区裸子植物多样性的地理分布格局及其成因的研究具有重要的保护生物学和生物地理学意义。过去的研究表明, 植物区系分化与植物多样性之间存在着密切的联系, 高强度的区系分化是某些地区拥有丰富植物多样性的重要因素之一^[5, 8-10]。但截至目前, 有关植物多样性地理分布格局与区系分化之间量化关系的专门性研究或验证还是比较少见。因此, 笔者以大尺度的物种分布信息为基础, 探讨了滇西北地区裸子植物物种多样性的地理分异格局及其与区系分化强度之间的关系。

1 研究区域概况

有关滇西北地区的基本概况见相关文献^[11], 本文不再赘述。

2 数据来源与方法

2.1 数据来源

本研究中裸子植物的物种分布信息主要提取自《云南植物志》(第 4 卷)^[12], 同时, 也参考了其他地方性植物志和自然保护区考察报告中的植物名录^[13-30]。地形数据根据相关文献^[31]获得, 其中, 分别获取了研究区域内 26 个县的最低海拔、最高海拔, 并由此获得各研究单元(县域)的海拔高差。

2.2 裸子植物物种多样性地理分布数据库的建立

通过源数据提取研究区域内每个裸子植物物种的分布信息及其所属分类地位(科、属), 将上述信息输入计算机系统, 通过 VB 编程, 获得以县(市、区)为单位的滇西北地区裸子植物地理分布数据库, 其中包含 26 个县(市、区)裸子植物的科数、属数和物种数。

2.3 裸子植物物种多样性的分析

为了消除面积对物种多样性地理分布格局的明显影响, 本研究利用单位面积的物种多样性, 即物种密度, 用于表征物种多样性。物种密度计算公式如下:

$$\text{物种密度(Species density)} = S/\ln(A)^{[32]}$$

其中: S 为物种丰富度, A 为面积。

2.4 裸子植物区系分化强度的分析

本研究采用种数/属数和属数/科数表征区系分化强度, 这两个指标分别表征了在属和科的水平上,

基金项目: 国家 973 计划资助项目(2006CB100200)

作者简介: 冯建孟(1971 年生), 副教授, 博士, 目前主要从事云南植物多样性的研究。E-mail: jianmeng@la.hz.zj.cn。*通讯作者。

收稿日期: 2010-02-24

植物区系的分化强度^[9]。

2.5 植物区系分化强度与地形复杂度的关系

本研究采用二元相关分析的方法，分别探讨各研究单元单位面积的海拔高差与科、属水平上的区系分化强度之间的关系。

2.6 裸子植物物种多样性的地理分布格局与区系分化强度的关系

本研究采用二元相关分析的方法，以县(市、区)为单位，探讨了物种多样性地理分布格局与区系分化强度之间的关系。

3 研究结果

3.1 不同分类阶元裸子植物多样性的地理分布格局

从图 1 可以看出，无论是在经度梯度上，还是在纬度梯度上，裸子植物科的多样性在滇西北地区均无明显变化趋势。从图 1 也可以看出，属的多

样性在经度梯度上无明显变化趋势，但在纬度梯度上变化趋势明显($P<0.01$)，并随着纬度的升高呈明显递增趋势。同时，图 1 也表明，物种多样性在纬度梯度上表现出明显的变化趋势($P<0.01$)，较为丰富的物种多样性主要集中在研究区域北部地区，如德钦、中甸和维西等地区，其物种丰富度均在 30 种以上；而研究区域南部地区的物种多样性则相对较低，如位于南部地区的昌宁县、腾冲县、保山市和巍山彝族回族自治县，其物种多样性均在 10 种以下，远小于研究区域的北部地区。

3.2 裸子植物区系分化强度的地理分布格局

从图 2 可以看出，在科的水平上，植物区系分化的强度从南到北呈递增趋势($P<0.01$)。在地形复杂、物种多样性丰富的北部地区，裸子植物科表现出较强的区系分化能力，如位于北部地区的维西、

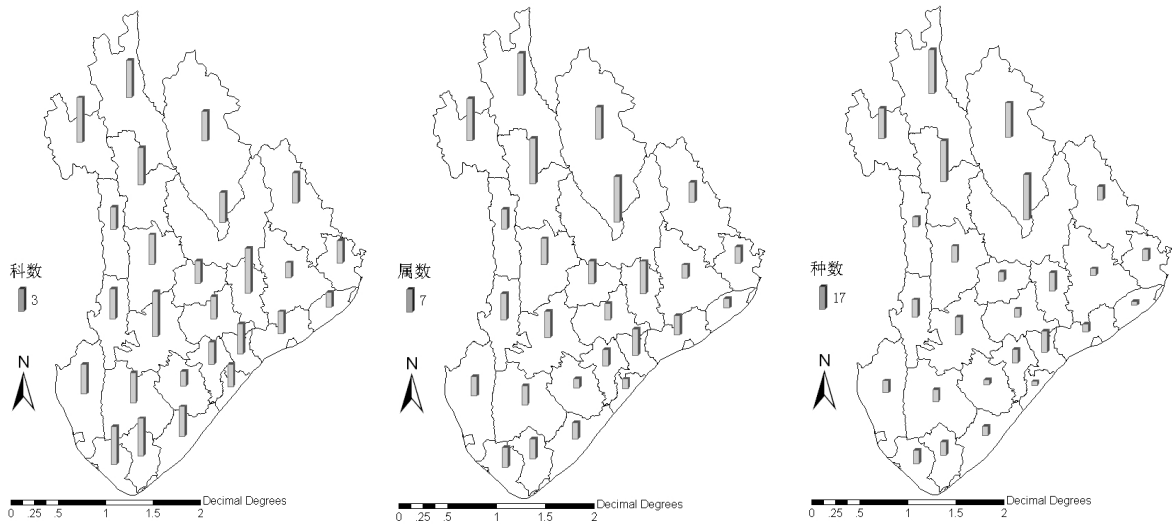


图 1 滇西北地区裸子植物科、属、种多样性的地理分布格局

Fig.1 Geographical patterns of diversity of families, genera and species of Gymnosperms in Northwest Yunnan

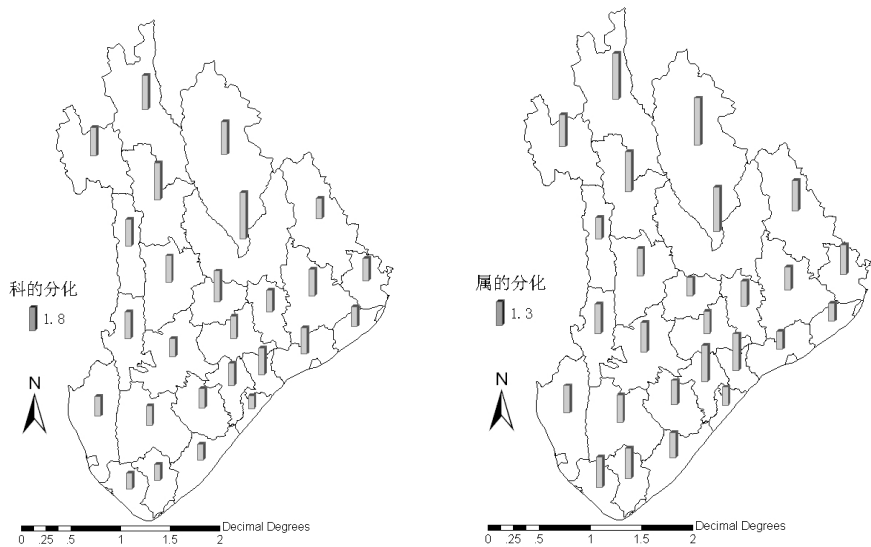


图 2 科、属层次上植物区系分化强度的地理分布格局

Fig.2 Geographical patterns of flora differentiation at levels of families and genera

中甸和德钦,其分化强度均在2.5以上;而裸子植物物种多样性较为贫乏,地形相对单一的南部地区,科的分化强度一般均在2以下。从图2也可以发现,在属的水平上,区系的分化强度也表现出相似的变化趋势,即区系分化强度较大区域主要集中在物种多样性丰富、地形复杂的北部区域,而在南部地区,裸子植物属的区系分化能力则相对较弱。

3.3 裸子植物区系分化强度与地形复杂度的关系

从图3可以看出,表征地形复杂度的单位面积海拔高差在纬度梯度上,从南到北呈明显递增趋势,也就是说研究区域北部地区的地形复杂度明显高于南部地区。从图4、5可以看出,无论在科的水平,还是在属的水平上,区系分化强度与地形之间均存在显著的相关性($P<0.01$)。这暗示着,地形复杂度的增加可能利于裸子植物区系的分化。同时结合图3,我们可以看出,从南到北地形复杂度的增加,也可能导致在科和属的水平上,区系分化强度随着纬度的升高均呈递增趋势,即较高的区系分化强度主要出现在研究区域北部地区,而区系分化强度的低值则主要出现在研究区域南部地区。

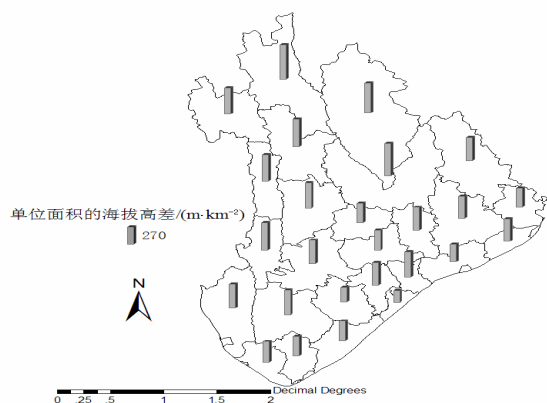


图3 单位面积的海拔高差的地理分布格局

Fig.3 Geographical patterns of altitudinal variation against area

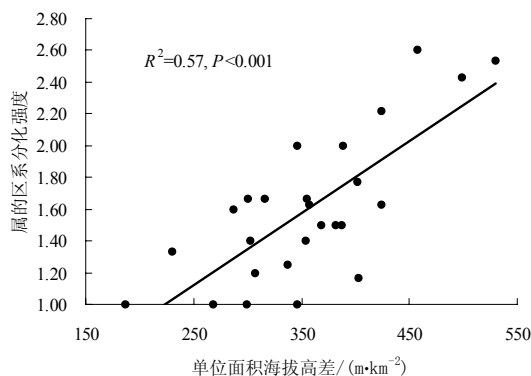


图4 单位面积海拔高差与属的区系分化强度之间的关系

Fig.4 Correlation between altitudinal variation against area and flora differentiation of genera

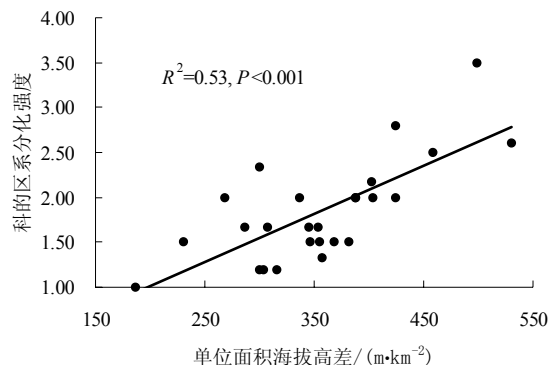


图5 单位面积海拔高差与科的区系分化强度之间的关系

Fig.5 Correlation between altitudinal variation against area and flora differentiation of families

3.4 裸子植物物种多样性地理分布格局与区系分化强度的关系

从图6可以看出,科的区系分化强度与物种多样性之间存在着密切的联系,即随着裸子植物科的区系分化能力的增加,物种多样性呈递增趋势;从图7也可以看出,在属的水平上,属的区系分化强

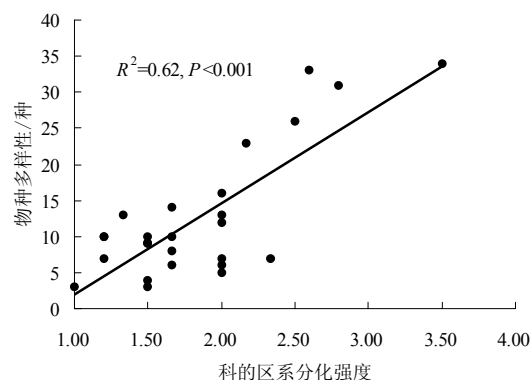


图6 科的区系分化强度与物种多样性之间的关系

Fig.6 Correlation between species diversity and flora differentiation of families

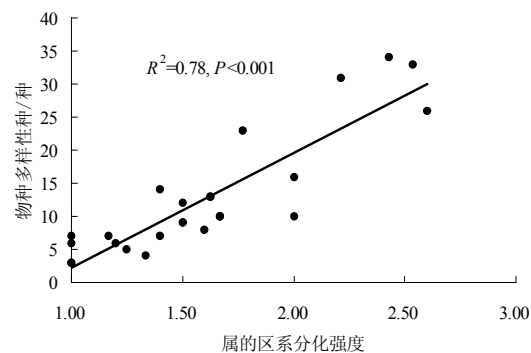


图7 属的区系分化强度与物种多样性之间的关系

Fig.7 Correlation between species diversity and flora differentiation of genera

度与物种多样性之间也存在着显著的相关性。这意味着,无论是在科的水平,还是在属的水平上,区系分化能力的增加,均可能有利于研究区域内裸子植物物种丰富度的提高。

4 讨论

本研究利用滇西北地区大尺度的物种地理分布信息,结合地形分析,探讨了研究区域内裸子植物多样性的地理分布格局及其与区系分化强度的关系。研究表明,研究区域内裸子植物多样性在地理空间上表现出明显的变化趋势。裸子植物多样性的高值主要出现在研究区域北部地区,这意味着从保护生物学角度来看,相对南部地区,拥有更丰富裸子植物多样性的北部地区可能更值得保护和关注。研究结果也表明,滇西北地区裸子植物的物种多样性与区系分化强度之间存在密切的联系。这暗示着滇西北地区裸子植物多样性之所以表现出南低北高的地理分布格局,可能与研究区域内裸子植物的区系分化格局有关;这一结果可能有助于人们更好地理解滇西北地区丰富的裸子植物多样性及其地理分布格局的成因,并为更加科学、合理地保护研究区域内丰富的裸子植物多样性提供了重要的理论依据。

研究结果表明,区系分化强度与裸子植物物种多样性之间存在着显著的相关性。而且,由南到北区系分化强度的增加,可能导致了研究区域内裸子植物的多样性随着纬度的升高呈增加趋势。这可能与研究区域内裸子植物区系所经历的地质历史变迁和地层的差异性抬升有关。从地质历史来看,裸子植物起源于古生代后期,并逐渐在云南地区植被构成中占据主导地位,在中生代三叠纪和侏罗纪达到繁盛时期,并广布云南地区全境^[33]。但在第三纪末第四纪初,喜马拉雅山的抬升和青藏高原的隆起,使滇西北地区的地层发生显著隆起,气候环境出现剧烈变迁,占主导地位的温暖湿润气候环境逐渐被温凉环境所取代,与此相一致的是,裸子植物为适应环境变化,出现了适应温凉环境的种系分化,这促进了耐寒的裸子植物区系成分,如松、杉、柏科植物在这一地区的集中分化和发展^[33]。但在地层抬升进程中,地层的抬升幅度并不均一。总体上,较大的地层抬升幅度主要出现在研究区域北部地区,而南部地区地层的抬升幅度相对较小^[5,33]。与此相一致的是,裸子植物区系分化强度的高值主要出现在研究区域北部地区,而南部地区的区系分化强度相对较弱,这在一定程度上导致了裸子植物的物种丰富度从南到北呈递增趋势。

研究结果也表明,滇西北地区裸子植物的区系分化强度与表征地形复杂度的海拔高差之间存

在密切的联系,而区系分化强度进而又影响着物种多样性的地理分布格局。这可能暗示着区系分化强度之所以影响物种多样性的地理分布格局,可能与复杂地形所带来的复杂生境效应有关。复杂的生境,如巨大的山体或河谷,可能造成生物地理上的隔离,导致生物类群间无法进行遗传信息的正常交流,这可能在一定程度上导致了包括裸子植物在内的生物类群的独立进化和分化,并进而形成新的物种^[34-35]。滇西北地区位于三江并流核心地区,境内分布着金沙江、澜沧江和怒江等巨大峡谷,同时也分布着高黎贡山、怒山和云岭等高大山体,地形极为复杂。从地形的整体格局来看,从南到北,由上述巨大山体和峡谷所造成的海拔高差呈递增趋势,这意味着由复杂地形引起的生物地理隔离效应呈增强趋势,因此,裸子植物类群的独立进化和分化趋势亦可能呈明显增加趋势,因此,裸子植物的物种多样性从南到北呈明显增加趋势,高值主要出现在北部地区。同时,这也暗示着,既然复杂的地形可能促进裸子植物区系的分化,进而拥有较为丰富的裸子植物多样性,那么地形复杂,海拔高差巨大的山体,可能是裸子植物多样性富集的重要地区,在裸子植物多样性保护实践中可能更值得重点关注。

5 结论

本研究利用大尺度的物种分布信息,探讨了长江上游滇西北地区裸子植物多样性的地理分布格局及其与区系分化之间的关系。主要结论如下。

- 1) 在属和种的水平上,裸子植物的多样性从南到北呈递增趋势,但在科的水平上无明显变化趋势;
- 2) 在科和属的水平上,裸子植物的区系分化强度随着纬度的升高呈递增趋势;
- 3) 较高的裸子植物多样性和区系分化强度主要出现在北部地区;
- 4) 区系分化强度与表征地形复杂度的单位面积海拔高差之间存在显著的相关性;
- 5) 区系分化强度明显影响研究区域内裸子植物多样性的地理分布格局,这可能与地质历史上滇西北地区地层的差异性抬升和地形格局有关。

参考文献:

- [1] CRANE P R, LIDGARD S. Angiosperm diversification and paleolatitudinal gradients in cretaceous floristic diversity[J]. Science, 1989, 246: 675-678.
- [2] FARJÓN A. World Checklist and Bibliography of Conifers[M]. England: Royal Botanic Gardens, 2001.
- [3] 应俊生. 中国裸子植物分布区的研究(1): 松科植物的地理分布[J]. 植物分类学报, 1989, 27: 27-38.
- YING Junsheng. On the distribution area of gymnosperm in China(1):

- the geographical distribution of Pinaceae[J]. *Acta Phytotaxonomica Sinica*, 1989, 27: 27-38.
- [4] 应俊生. 中国裸子植物分布图集[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2004.
- YING Junsheng. Album of Gymnosperm in China[M]. Beijing: Science and Technology Press of China, 2004.
- [5] 李果, 沈泽昊, 应俊生, 等. 中国裸子植物物种丰富度空间格局与多样性中心[J]. *生物多样性*, 2009, 17(3): 272-279.
- LI Guo, SHEN Zehao, YING Junsheng, et al. The spatial pattern of species richness and diversity centers of gymnosperm in China[J]. *Biodiversity Science*, 2009, 17(3): 272-279.
- [6] CONTRERAS-MEDINA R, MORTON J J, VEGA I L. Biogeographic methods identify gymnosperm biodiversity hotspots[J]. *Naturwissenschaften*, 2001, 88: 427-430.
- [7] MUTKE J, BARTHOLOTT W. Patterns of vascular plant diversity at continental to global scales[J]. *Biologische Skrifter*, 2005, 55: 521-531.
- [8] LI X W, WALKER D. The plant geography of Yunnan province, Southwest China[J]. *Journal of Biogeography*, 1986, 13: 367-397.
- [9] 沈泽昊, 胡会峰, 周宇, 等. 神农架南坡植物群落多样性的海拔梯度格局[J]. *生物多样性*, 2004, 12(1): 99-107.
- SHEN Zehao, HU Hui Feng, ZHOU Yu, et al. Altitudinal patterns of plant species diversity on the southern slope of Mt. Shennongjia, Hubei, China[J]. *Biodiversity Science*, 2004, 12(1): 99-107.
- [10] YANG Y M, TIAN K, HAO J M. Biodiversity and biodiversity conservation in Yunnan, China[J]. *Biodiversity and Conservation*, 2004, 13: 813-826.
- [11] 冯建孟, 董晓东, 徐成东, 等. 取样尺度效应对滇西北地区种子植物物种多样性纬度分布格局的影响[J]. *生物多样性*, 2009, 17(3): 266-271.
- FENG Jianmeng, DONG Xiaodong, XU Chengdong, et al. Effects of sampling scale on latitudinal patterns of species diversity in seed plants in northwestern Yunnan, China[J]. *Biodiversity Science*, 2009, 17(3): 266-271.
- [12] 中国科学院昆明植物研究所. 云南植物志[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- Kunming Institute of Botany, The Chinese Academy of Sciences. *Flora of Yunnan*[M]. Beijing: Science Press, 2006.
- [13] 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, 1985: 3-78.
- Organization of Scientific Investigation of Ailao Mountain Nature Reserve. *Scientific Reports of Ailao Mountain Nature Reserve*[M]. Kunming: Yunnan Nationality Press, 1985: 3-78.
- [14] 李恒. 独龙江地区植物[M]. 昆明: 云南科技出版社, 1993: 1-205.
- LI Heng. *Flora of Drung River Area*[M]. Kunming: Yunnan Science & Technology Press, 1993: 1-205.
- [15] 段诚忠. 苍山植物科学考察[M]. 昆明: 云南科技出版社, 1995: 50-70.
- DUAN Chengzhong. *Scientific Investigation of Plant on Cangshan Mountain*[M]. Kunming: Yunnan Science & Technology Press, 1995: 50-70.
- [16] 李延辉. 西双版纳高等植物名录[M]. 昆明: 云南民族出版社, 1996: 1-155.
- LI Yanhui. *Lists of Senior Plants in Xishuangbanna*[M]. Kunming: Yunnan Nationality Press, 1996: 1-155.
- [17] 谢培信. 楚雄彝族自治州生物资源科学考察报告集《种子植物名录》[M]. 昆明: 云南科技出版社, 1996: 1-300.
- XIE Peixin. *Scientific Reports of Biological Resources in Chuxiong prefecture*[M]. Kunming: Yunnan Science & Technology Press, 1996: 1-300.
- [18] 李恒, 郭辉军, 刀志灵. 高黎贡山植物[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 1-300.
- LI Heng, GUO Huijun, DAO Zhiling. *Flora of Gaoligong Mountains*[M]. Beijing: Science Press, 2000: 1-300.
- [19] 许建初. 云南金平分水岭自然保护区综合科学考察报告集[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2002: 20-95.
- XU Jianchu. *Scientific Reports of Jingping Watershed Nature Reserve in Yunnan*[M]. Kunming: Yunnan Science & Technology Press, 2002: 20-95.
- [20] 李宏伟. 白马雪山国家级自然保护区[M]. 昆明: 云南民族出版社, 2003: 3-107.
- LI Hongwei. *Baima Mountain National Nature Reserve*[M]. Kunming: Yunnan Nationality Press, 2003: 3-107.
- [21] 许建初. 云南绿春黄连山自然保护区[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2003: 5-39.
- XU Jianchu. *Huanglianshan Nature Reserve in Yunnan*[M]. Kunming: Yunnan Science & Technology Press, 2003: 5-39.
- [22] 税玉民. 滇东南红河地区种子植物[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2003: 1-568.
- SHUI Yumin. *Seed Plants in Honghe Region in Southeast Yunnan*[M]. Kunming: Yunnan Science & Technology Press, 2003: 1-568.
- [23] 杨宇明, 杜凡. 南滚河国家级自然保护区[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2004: 12-200.
- YANG Yuming, DU Fan. *Nangun River National Nature Reserve in China*[M]. Kunming: Yunnan Science & Technology Press, 2004: 12-200.
- [24] 喻庆国. 无量山国家级自然保护区[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2004: 3-129.
- YU Qingguo. *Wuliangshan National Nature Reserve*[M]. Kunming: Yunnan Science & Technology Press, 2004: 3-129.
- [25] 昆明市林业局. 云南轿子山自然保护区[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2006: 31-209.
- Forestry Bureau Of Kunming. *Sedan Chair Mountain Nature Reserve*[M]. Kunming: Yunnan Science & Technology Press, 2006: 31-209.
- [26] 彭明春. 云南药山自然保护区生物多样性及保护研究[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- PENG Mingchun. *Biodiversity and Its Protection of Yao Mountain in Yunnan, China*[M]. Beijing: Science Press, 2006.
- [27] 欧晓昆, 张志明, 王崇云, 等. 梅里雪山植被研究[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 1-209.
- OU Xiaokun, ZHANG Zhiming, WANG Chongyun, et al. *Vegetation Research in Meili Mountain*[M]. Beijing: Science Press, 2006: 1-209.
- [28] 杨宇明, 杜凡. 云南铜壁关自然保护区科学考察研究[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2006: 1-198.
- YANG Yuming, DU Fan. *Scientific Reports on Tongbiguan Nature Reserve in Yunnan*[M]. Kunming: Yunnan Science & Technology Press, 2006: 1-198.
- [29] 喻庆国, 钱德仁. 小黑山自然保护区[M]. 昆明: 云南科技出版社,

- 2006: 1-211.
- YU Qingguo, QIAN Deren. Xiaoheishan Nature Reserve[M]. Kunming: Yunnan Science & Technology Press, 2006: 1-211.
- [30] 杨宇明, 田昆, 和世钧. 中国文山国家级自然保护区科学考察研究[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 1-273.
- YANG Yuming, TIAN Kun, HE Shijun. Science Reports of Wenshan National Reserve in China[M]. Beijing: Science Press, 2008: 1-273.
- [31] 赵鼎汉. 云南省地图[M]. 北京: 中国地图出版社, 1999: 2-180.
- ZHAO Dinhan. Album of Yunnan Province[M]. Beijing: Sinomap Press, 1999: 2-180.
- [32] QIAN H. Large-scale biogeographic patterns of vascular plant richness in North America: an analysis at the genera level[J]. Journal of Biogeography, 1998, 25: 829-836.
- [33] 《云南植被》编写组. 云南植被[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 1-200.
- Editor Board of Vegetation of Yunnan. Vegetation of Yunnan[M]. Beijing: Science Press, 1987: 1-200.
- [34] 曾昭璇. 植被的地形分化论-以华南植被为例[J]. 华南师范大学学报: 自然科学版, 1981, 2: 88-102.
- ZENG Zhaoxuan. Differentiation of vegetation types-a physiographical approach[J]. Journal of South China Normal University: Natural Science, 1981, 2: 88-102.
- [35] 李博. 生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 1-19.
- LI Bo. Ecology[M]. Beijing: High Education Press, 2000: 1-19.

Geographical patterns of diversity of Gymnosperms in northwest Yunnan and their correlation with flora differentiation

FENG Jianmeng¹, ZHU Youyong^{2,3}

1. Department of Life Science and Chemistry, Dali University, Dali 671000, China;

2. The National Center for Agricultural Biodiversity in Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;

3. Ministry of Education Key Laboratory of Agricultural Biodiversity for Plant Disease Management, Kunming 650201, China

Abstract: In this paper, geographical patterns of diversity of Gymnosperms in Northwest Yunnan and their correlation with flora differentiation were investigated based on flora data-sets in large scale. The results showed that richness at the levels of species and genera increased with the increase of latitude, but no obvious trend was observed at the level of families. Increasing trends of flora differentiation of genera and families were observed on the latitude gradient. The higher richness and stronger flora differentiation were mainly observed in the northern part of the studied area. There was strong correlation between flora differentiation and altitudinal variation against area. Flora differentiation strongly shaped the geographical patterns of diversity of Gymnosperms, which was consistent to the topographical patterns and the unevenness of stratum lifting in geological history of the study area.

Key words: Diversity; geographical patterns; flora differentiation; Gymnosperms; Northwest Yunnan