•编者按•

中国西南干旱河谷的植物多样性：区系和群落结构的空間分异与成因

沈泽昊*

(北京大学城市与环境学院生态学系, 地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871)

Plant diversity in the dry valleys of Southwest China: spatial deviation and determinants for flora and plant communities

Zehao Shen*

Department of Ecology, College of Urban and Environmental Sciences, Key Laboratory for Earth Surface Processes of the Ministry of Education, Peking University, Beijing 100871

中国西南干旱河谷基本分布在横断山区及其南延山系范围之内(张荣祖, 1992), 涉及怒江、澜沧江、元江、金沙江、南盘江、雅砻江、大渡河、岷江、白龙江(含支流白水江)等的上、中游干流及部分支流的下陷河谷段, 多呈南北或西北–东南走向, 海拔范围在500–2,500 m。这些生境相似的河段在地形上相对封闭, 且被高耸的山岭彼此阻隔, 相距数十至数百公里, 形成了横断山区特有的倒置生境孤岛群。西南干旱河谷生物多样性的研究意义在于它代表了中国热带和亚热带湿润季风气候控制的自然地理背景下具有隐域和残遗性质的半干旱–干旱植被和植物区系(吴征镒和王荷生, 1983), 这是青藏高原隆起、南亚–东亚季风加强所产生的诸多自然地理变迁结果之一(张新时, 1978; 郑度和杨勤业, 1985), 并与全球同纬度以干旱–半干旱气候主导的植被与植物区系背景相呼应(张荣祖, 1992; 金振洲, 2002; 吴征镒等, 2011)。

关于西南干旱河谷生态与环境的零星研究可追溯到20世纪初。建国以后, 《四川植被》(四川植被协作组, 1980)、《中国植被》(吴征镒, 1980)和《云南植被》(吴征镒, 1987)先后对干旱河谷植被特征和群落类型进行了整体性的梳理。1981–1984年期间, 中国科学院组织的横断山区科学考察针对干旱河

谷开展了自然地理综合研究, 从多学科角度考察分析了这一独特自然地理类型的结构与成因(张荣祖, 1992), 并从农业资源开发和土地利用的角度进行了整体评价和区划(杨勤业等, 1988)。20世纪80年代起, 元江、金沙江作为干热河谷的代表, 岷江作为干暖河谷的代表, 其植物区系、植物群落、土地利用、环境变化与自然灾害等方面得到了较为持久和深入的调查、监测和实验研究, 并取得了大量成果, 对其成因机制形成了更加深刻的认识(刘伦辉和张建华, 1988; 朱华, 1990; 金振洲和欧晓昆, 2000; 金振洲, 2002; 杨钦周, 2007)。但由于干旱河谷彼此隔离、环境恶劣、交通不便, 过去30年来的生物多样性研究主要集中于特定河流或特定对象, 所采用的研究方法不一, 缺少长期监测, 因此结果的可比性较差, 整体研究的数据基础较为薄弱。

迄今为止, 关于干旱河谷植物多样性的宏观格局与区域分异仍缺乏清晰的整体认识, 在区域生物多样性形成与维持机制方面还存在众多争议和不确定性。特别是以下问题尚无定论: (1)干旱河谷植被的分类地位、地带性与非地带性以及原生与次生性质如何? (2)干旱河谷植物区系的历史、地理、生态与进化成因对当前生物多样性的分布与构成有怎样的影响? (3)干旱河谷中物种分布的主导环境限

收稿日期: 2016-02-20; 接受日期: 2016-04-19

基金项目: 国家自然科学基金(41371190、31170449)和交通运输部西部交通建设科技项目(2008 318 799 17)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: shzh@urban.pku.edu.cn

制因子是什么? 植物物种对环境变化(包括气候变化和人类干扰)的敏感性如何? (4)在相对恶劣和脆弱的干旱河谷环境下, 为了维护干旱河谷的生态安全, 如何实现其独特生物多样性资源的保护与可持续利用?

在2009–2014年期间, 我们先后对怒江、澜沧江、金沙江、元江、南盘江、雅砻江、大渡河、岷江、白龙江(含支流白水江)干旱河谷进行了为期5年的植被调查, 总计行程1.2万公里。共调查了270个干旱河谷样点的725个群落样方, 和273个沿海拔梯度设置的样方, 前后采集并鉴定植物标本约1.5万号; 同时整理了金振洲和欧晓昆(2000)、金振洲(2002)、欧晓昆等(2006)、朱鑫鑫(2014)等滇、川干旱河谷专著中的植被样方信息, 共获得了1,635个10 m × 10 m植物群落样方数据, 包括186科1,016属2,794种(含种下等级)维管束植物在西南9大流域干旱河谷中的分布信息。这份详实的调查数据, 使本专辑得以首次从物种、群落和植物区系等层次出发, 对我国西南横断山区干旱河谷植物多样性的整体格局、空间分异及环境与地理成因进行全面系统的研究。

本专辑包括10篇针对干旱河谷全域和特定区域的生物多样性研究论文和2篇研究综述。在全域性研究中, 综合本次研究的实地植被调查结果和历史文献数据, 对9大江河干旱河谷的维管束植物区系进行了科、属构成特征与地理分异的数量分析(刘晔等, 2016c); 首次对西南干旱河谷全域的植被进行了群落分类, 并结合气候、地形、地理位置等进行了植被空间分异的环境和空间因素影响解析(刘晔等, 2016a)。在局域研究部分, 我们分别对怒江河谷的乡土植物与入侵植物多样性(许玥等, 2016)、元江干热河谷灌草丛群落的beta多样性地理格局(李新辉等, 2016)、元江干热河谷灌草丛植物群落与土壤种子库的联系(张志明等, 2016)、金沙江干旱河谷的植物群落结构分异与环境、空间解释(刘晔等, 2016c)、金沙江上游干旱河谷植被的结构与组成(李云琴等, 2016)、雅砻江和大渡河干旱河谷植物群落的植物群落多样性与群落构建的影响因子(韩杰等, 2016)进行了分析。在此基础上, 进一步比较分析了滇西北三江并流地区怒江、澜沧江和金沙江流域的6条植被垂直样带上植物丰富度与构成的差异及其主导影响因子(杨阳等, 2016); 另外, 针对代表性的

干旱河谷特有植物清香木(*Pistacia weinmannifolia*), 运用Maxent模型分析了该物种分布的限制性环境因子, 以及在过去和未来气候变化情景下其分布的变化(应凌霄等, 2016)。最后, 本专辑对云南干旱河谷的环境、植被、植物区系的主要问题及其研究历史进行了综述(杨济达等, 2016); 并在文献和部分数据分析的基础上, 阐述了西南干旱河谷自然环境与植物多样性的总体特征, 当前环境变化对生物多样性的影响, 并提出了生物多样性保护与可持续利用的思路与对策(沈泽昊等, 2016)。

综合看来, 本专辑为西南干旱河谷植物多样性的构成特征和地理分异提供了如下新的信息: (1)干旱河谷植物区系显示了强烈的热带亲缘和温带区系的后期影响, 以及突出的中国–喜马拉雅成分和一定的地中海–中亚残遗成分, 中国特有属比例偏低; 植物区系具有西南–东北方向的梯度变化, 怒江–澜沧江–元江与长江上游各支流之间的区系分离反映了流域地貌发育对河谷植物区系联系的显著影响(刘晔等, 2016a)。(2)干旱河谷植被类型与结构仍存在明显的区域分异, 低温和降水季节性的限制作用明显。稀树草丛、肉质灌丛是干热河谷的典型类型; 落叶小叶灌丛、常绿灌丛和常绿硬叶林是干暖河谷的优势类型; 暖性针叶林和落叶灌丛在干温河谷占优势(刘晔等, 2016b); (3)干旱河谷植物物种丰富度具有以大尺度分异为主的空间格局, 地理隔离效应明显高于环境异质性的影响(杨阳等, 2016; 韩杰等, 2016); 干旱河谷是入侵植物分布广泛而丰富的地区(许玥等, 2016); (4)干旱河谷的部分典型成分(如清香木)在冰期–间冰期可能呈现以东进–西退为主的分布区变化, 可以印证“glacial out-of-Hengduan Mts.”的观点(Fan et al, 2013), 干旱河谷可能是这些区系成分在当前气候下的避难所(应凌霄等, 2016)。

本系列研究侧重从植物区系和植物群落组成等方面, 对我国西南干旱河谷的植物多样性格局进行初步分析描述和成因探讨。未来有待进一步从以下3个方面作深入研究: (1)扩充物种分布信息和群落调查样本, 完善植物区系和植物群落结构与分异的概念体系; (2)加强植物功能属性、谱系结构和高精度干旱河谷环境空间数据库的建设, 开展干旱河谷植物群落构建的生物地理、进化与适应的机理研究; (3)根据干旱河谷植物分布、环境适应及其对自

然与非自然干扰的响应, 研究这类独特生物多样性资源的有效保护与合理利用对策。

致谢: 在本项研究2009–2014年的野外植被调查中, 我们先后得到成都理工大学园林系研究生段士中、褚延梅、杨健, 中国科学院昆明植物研究所的杨扬, 交通部科学院的陈学平、王云, 云南省公路交通规划设计研究院的房锐、姜睿等的大力支持和帮助。中国科学院武汉植物园赵子恩高工、云南迪庆州党校潘发生教授帮助鉴定了大部分植物标本, 在此一并致以衷心感谢! 特别感谢为本专辑研究提供大力支持的方精云院士、孙航研究员、彭培好教授和陈济丁研究员! 匿名审稿人、责任编辑的建设性意见对提高本专辑的学术质量帮助甚大, 主编马克平研究员对本专辑的出版给予了很大鼓励和帮助, 在此谨致谢忱! 最后, 我们愿将这本专辑特别敬献给长期从事我国西南干旱河谷生物多样性研究的老一辈科学家, 和正在从事干旱河谷生态保护与可持续发展研究的同行们。

参考文献

- Cooperating Group for Vegetation of Sichuan (1980) Vegetation of Sichuan. Sichuan People's Publishing House, Chengdu. (in Chinese) [四川植被协作组 (1980) 四川植被. 四川人民出版社, 成都.]
- Fan DM, Yue JP, Nie ZL, Li ZM, Comes HP, Sun H (2013) Phylogeography of *Sophora davidii* (Leguminosae) across the 'Tanaka-Kaiyong Line', an important phytogeographic boundary in Southwest China. *Molecular Ecology*, 22, 4270–4288.
- Han J, Shen ZH, Shi SL, Peng PH (2016) Comparison of plant species diversity and composition between dry valleys of Yalong River and Dadu River: evaluating the effects of climate, topography and space. *Biodiversity Science*, 24, 421–430. (in Chinese with English abstract) [韩杰, 沈泽昊, 石松林, 彭培好 (2016) 雅砻江和大渡河干旱河谷植物物种多样性比较: 气候、地形与空间的影响. 生物多样性, 24, 421–430.]
- Jin ZZ (2002) Floristic Features of Dry-hot and Dry-warm Valleys, Yunnan and Sichuan. Yunnan Science & Technology Press, Kunming. (in Chinese) [金振洲 (2002) 滇川干热河谷与干暖河谷植物区系特征. 云南科技出版社, 昆明.]
- Jin ZZ, Ou XK (2000) Yuanjiang, Nujiang, Jinshajiang, Lancangjiang Vegetation of Dry Valley. Yunnan University Press & Yunnan Science and Technology Press, Kunming. (in Chinese) [金振洲, 欧晓昆 (2000) 元江、怒江、金沙江、澜沧江干热河谷植被. 云南大学出版社和云南科技出版社, 昆明.]
- Li XH, Liu YH, Liu Y, Xu Y, Yang Y, Shen ZH (2016) Impacts of geographical distances and environmental differences on the beta diversity of plant communities in the dry-hot valley of the Yuanjiang River. *Biodiversity Science*, 24, 399–406. (in Chinese with English abstract) [李新辉, 刘延虹, 刘晔, 许玥, 杨阳, 沈泽昊 (2016) 地理距离及环境差异对云南元江干热河谷植物群落beta多样性的影响. 生物多样性, 24, 399–406.]
- Li YQ, Du F, Wang J, Li RN, Liu Y (2016) Desert vegetation in dry valleys of the upstream of Jinsha River. *Biodiversity Science*, 24, 488–493. (in Chinese with English abstract) [李云琴, 杜凡, 汪健, 李瑞年, 刘洋 (2016) 金沙江上游干旱河谷植被. 生物多样性, 24, 489–494.]
- Liu LH, Zhang JH (1988) A study on the dry valleys in Yunnan. *Tropical Geography*, 8, 355–362. (in Chinese) [刘伦辉, 张建华 (1988) 云南干旱河谷特点与治理途径. 热带地理, 8, 355–362.]
- Liu Y, Li P, Xu Y, Shi SL, Ying LX, Zhang WJ, Peng PH, Shen ZH (2016a) Quantitative classification and ordination for plant communities in dry valleys of Southwest China. *Biodiversity Science*, 24, 378–388. (in Chinese with English abstract) [刘晔, 李鹏, 许玥, 石松林, 应凌霄, 张婉君, 彭培好, 沈泽昊 (2016a) 中国西南干旱河谷植物群落的数量分类和排序分析. 生物多样性, 24, 378–388.]
- Liu Y, Xu Y, Shi SL, Peng PH, Shen ZH (2016b) Quantitative classification and environmental interpretations for the structural differentiation of the plant communities in the dry valley of Jinshajiang River. *Biodiversity Science*, 24, 407–420. (in Chinese with English abstract) [刘晔, 许玥, 石松林, 彭培好, 沈泽昊 (2016b) 金沙江干旱河谷植物群落的数量分类及其结构分异的环境解释. 生物多样性, 24, 407–420.]
- Liu Y, Zhu XX, Shen ZH, Sun H (2016c) Flora compositions and spatial differentiations of vegetation in dry valleys of Southwest China. *Biodiversity Science*, 24, 367–377. (in Chinese with English abstract) [刘晔, 朱鑫鑫, 沈泽昊, 孙航 (2016c) 中国西南干旱河谷植被的区系地理成分与空间分异. 生物多样性, 24, 367–377.]
- Ou XK, Zhang ZM, Wang CY, Wu YC (2006) Vegetation of Meri Snow Mountain. Science Press, Beijing. (in Chinese) [欧晓昆, 张志明, 王崇云, 吴玉成 (2006) 梅里雪山植被研究. 科学出版社, 北京.]
- Shen ZH, Zhang ZM, Hu JM, Han J, Yang JD, Ying LX (2016) Protection and utilization of plant biodiversity resources in dry valleys of Southwest China. *Biodiversity Science*, 24, 475–488. (in Chinese with English abstract) [沈泽昊, 张志明, 胡金明, 韩杰, 杨济达, 应凌霄 (2016) 西南干旱河谷植物多样性资源的保护与利用. 生物多样性, 24, 475–488.]
- Wu ZY (1980) Vegetation of China. Science Press, Beijing. (in Chinese) [吴征镒 (1980) 中国植被. 科学出版社, 北京.]
- Wu ZY (1987) Vegetation of Yunnan. Science Press, Beijing. (in Chinese) [吴征镒 (1987) 云南植被. 科学出版社, 北

- 京.]
- Wu ZY, Sun H, Zhou ZK, Li DZ, Peng H (2011) Floristics of Seed Plants from China. Science Press, Beijing. (in Chinese) [吴征镒, 孙航, 周浙昆, 李德铎, 彭华 (2011) 中国种子植物区系地理. 科学出版社, 北京.]
- Wu ZY, Wang HS (1983) Chinese Physical Geography. Science Press, Beijing. (in Chinese) [吴征镒, 王荷生 (1983) 中国自然地理. 科学出版社, 北京.]
- Xu Y, Li P, Liu Y, Zhang WJ, Qin SY, Shen ZH (2016) Spatial patterns and determinants of species richness of alien and native plants in the Nujiang River valley. *Biodiversity Science*, 24, 389–398. (in Chinese with English abstract) [许玥, 李鹏, 刘晔, 张婉君, 秦思雨, 沈泽昊 (2016) 怒江河谷入侵植物与乡土植物丰富度的分布格局与影响因子. 生物多样性, 24, 389–398.]
- Yang JD, Zhang ZM, Shen ZH, Ou XK, Geng YP, Yang MY (2016) Review of research on the vegetation and environment of dry-hot valleys in Yunnan. *Biodiversity Science*, 24, 462–474. (in Chinese with English abstract) [杨济达, 张志明, 沈泽昊, 欧晓昆, 耿宇鹏, 杨明玉 (2016) 云南干热河谷植被与环境研究进展. 生物多样性, 24, 462–474.]
- Yang QY, Zheng D, Liu YH (1988) Physical-geographic feature and economic development of the dry valleys in the Hengduan Mountains, Southwest China. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2(2), 17–24. (in Chinese with English abstract) [杨勤业, 郑度, 刘燕华 (1988) 横断山区干旱河谷的自然特点及其开发利用. 干旱区资源与环境, 2(2), 17–24.]
- Yang QZ (2007) Study on the arid-valley scrubs in the upper reaches of Minjiang River. *Journal of Mountain Science*, 25, 1–32. (in Chinese with English abstract) [杨钦周 (2007) 岷江上游干旱河谷灌丛研究. 山地学报, 25, 1–32.]
- Yang Y, Han J, Liu Y, Zhongyong C, Shi SL, Sina C, Xu Y, Ying LX, Zhang WJ, Shen ZH (2016) A comparison of the altitudinal patterns in plant species diversity within the dry valleys of the Three Parallel Rivers Region, northwestern Yunnan. *Biodiversity Science*, 24, 440–452. (in Chinese with English abstract) [杨阳, 韩杰, 刘晔, 忠永茨仁, 石松林, 斯那此里, 许玥, 应凌霄, 张婉君, 沈泽昊 (2016) 三江并流地区干旱河谷植物物种多样性海拔梯度格局比较. 生物多样性, 24, 440–452.]
- Ying LX, Liu Y, Chen ST, Shen ZH (2016) Simulation of the potential range of *Pistacia weinmannifolia* in Southwest China with climate change based on the maximum-entropy (Maxent) model. *Biodiversity Science*, 24, 453–461. (in Chinese with English abstract) [应凌霄, 刘晔, 陈绍田, 沈泽昊 (2016) 气候变化情景下基于最大熵模型的中国西南地区清香木潜在分布格局模拟. 生物多样性, 24, 453–461.]
- Zhang RZ (1992) The Dry Valleys of the Hengduan Mountains Region. Science Press, Beijing. (in Chinese) [张荣祖 (1992) 横断山区干旱河谷. 科学出版社, 北京.]
- Zhang XS (1978) Qinghai-Xizang (Tibetan) Plateau and Vegetation in China: The Characteristics of Chinese Vegetation Geography Linked with the Effects of the Plateau on Atmospheric Cycling. Annual Proceedings of the Botanical Society of China in 1978, Urumqi, China. (in Chinese?) [张新时 (1978) 青藏高原与中国植被: 与高原对大气环流的作用相联系的中国植被地理分布特征. 中国植物学会1978年年会论文, 乌鲁木齐.]
- Zhang ZM, Shen R, Zhang JL, Xu Q, Luo Y, Yu QC, Zhang QX, Ou XK (2016) Comparisons of species composition between soil seed banks and aboveground plant communities in the dry-hot valley of the Yuanjiang River. *Biodiversity Science*, 24, 431–439. (in Chinese with English abstract) [张志明, 沈蕊, 张建利, 徐倩, 罗园, 遇翹楚, 张秋霞, 欧晓昆 (2016) 元江流域干热河谷灌草丛土壤种子库与地上植物群落的物种组成比较. 生物多样性, 24, 431–439.]
- Zheng D, Yang QY (1985) Some problems on the altitudinal belts in southeastern Qinghai-Xizang (Tibetan) Plateau. *Acta Geographica Sinica*, 40, 60–69. (in Chinese) [郑度, 杨勤业 (1985) 青藏高原东南部山地垂直自然带的几个问题. 地理学报, 40, 60–69.]
- Zhu H (1990) A study on the thorny succulent shrubs in the dry-hot valley of Yuanjiang County. *Acta Botanica Yunnanica*, 12, 301–310. (in Chinese with English abstract) [朱华 (1990) 元江干热河谷的肉质多刺灌丛研究. 云南植物研究, 12, 301–310.]
- Zhu XX (2014) The Flora of Seed Plants in Three Rivers Valley of SW China. PhD dissertation, Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Kunming. (in Chinese with English abstract) [朱鑫鑫 (2014) 华西南三江河谷种子植物区系研究. 博士学位论文, 中国科学院昆明植物研究所, 昆明.]