昆明学院学报　2018，40（6）：72～76　ISSN 1674－5639　CN 53－1211/G4
Journal of Kunming University

基于植物群落谱系结构分析的金沙江干热河谷植被恢复研究

彭声静[1]，张永福[1]，欧晓昆[2]
（1. 昆明学院 农学院，云南 昆明 650214；2. 云南大学 生态学与环境学院，云南 昆明 650091）

摘要：在金沙江干热河谷选择5个典型区段，开展样方调查．总结151个100 m^2（10 m×10 m）样方数据，发现群落净谱系亲缘关系指数结构发散，而净最近种间亲缘关系指数却呈现相反的结果．说明该区域植物群落脆弱且不稳定，群落中少数物种的丧失极有可能造成不可逆转的生态系统改变，而且物种竞争在群落构建中尤为关键．因此，在金沙江干热河谷植被恢复工作中，应注意对原有物种的保护与利用，且不应采取引进新物种的方式．

关键词：金沙江干热河谷；群落形成机制；谱系发散；种间竞争；生态脆弱；原生植被保护
中图分类号：Q145⁺.2　**文献标识码**：A　**文章编号**：1674－5639（2018）06－0072－05
DOI：10.14091/j.cnki.kmxyxb.2018.06.014

Study on Vegetation Restoration Based on Phylogenetic Structure of Plant Communities in Jinshajing Dry-hot Valley

PENG Shengjing[1], ZHANG Yongfu[1], OU Xiaokun[2]
(1. College of Agriculture, Kunming University, Kunming, Yunnan, China 650214;
2. Faculty of Ecology and Environmental Science, Yunnan University, Kunming, Yunnan, China 650091)

Abstract: Five typical sections in the Jinshajiang dry-hot valley in Yunnan Province, China were selected as the research object to analyze the data from 151 plots with the size of 100 m^2 (10 m×10 m). The results showed that the majority of individual plant communities were phylogenetically over-dispersed based on the net relatedness index (NRI), yet the nearest taxon index (NTI) revealed the different features, which means that the plant communities are frangible and unstable. The loss of some species among them is likely to change ecosystem irreversibly and the species competition plays the important role in forming biocoenosis. Thus, the protection and application of the indigenous species should get more attention during the process of the vegetation restoration projects in the Jinshajiang dry-hot valley. Meanwhile, it's not acceptable to introduce new species from other places.

Key words: Jinshajing dry-hot valley; formation mechanism; phylogenetically over-dispersed; interspecies competition; ecological frangibility; indigenous plants protection

干热河谷是镶嵌在亚热带湿润与半湿润背景中的河谷型干旱区域，也是我国一类特殊的生态系统[1]，其气候、植被、土壤等都具有鲜明的特殊性[2]．自20世纪50年代以来，由于自然和人为的双重影响，导致干热河谷地区的生态环境不断恶化，从而引起了从学术界到民众的广泛关注[3]．如：金沙江干热河谷典型区段的森林覆盖率低于1%；土壤退化严重，荒漠化、沙漠化、干旱化、变性化等发生率为46.4%～100%；水土流失面积达13.5万 km^2，已严重威胁到长江下游的生态安全[4]．因此，近30年来学者们陆续开展了一系列关于干热河谷生态恢复的基础理论和工程技术研究[5-6]，其中，人工造林成为干热河谷植被恢复的主要措施．然而造林成效不佳，常常是“种树不见树，造林不见林”[7]．尽管后期的研究探讨了环境因子对植被恢复的影响[8]，分析了不同树种的

收稿日期：2018－04－12
基金项目：昆明学院科研资助项目“都市型现代农业与传统旱作农耕的生态水足迹比较研究”（XJL14019）．
作者简介：彭声静（1981—），女，云南昆明人，讲师，博士，主要从事生态系统生态学研究．

环境适应性和筛选标准[9-10]，但始终只是建立在主观认识和现象描述上，而未能深入地从群落构建机制与物种生态适应过程为干热河谷植被恢复提供有力的理论支持[11].

作为一种新的研究方法，群落谱系结构（Phylogenetic structure）将生态学与进化学的有关理论结合到一起，并以群落中物种间亲缘关系所呈现的格局反映群落构建和植被变化中的生态过程[12-13]. 鉴于目前对干热河谷物种共存机制及环境适应过程的理解不够深入，导致该区域植被恢复成效不显著. 因此，本研究选取金沙江流域典型干热河谷区域，利用群落谱系结构相关方法，拟探讨：1）干热河谷植物群落谱系结构变化规律；2）这一变化背后的生态学过程是怎样的；3）所呈现的植物群落构建机制对植被恢复有怎样的启示.

1　材料与方法

1.1　区域概况

金沙江中下游海拔 1 600 m 以下的沿岸河谷区域是我国横断山区干热河谷集中分布地带[14]. 其形成是由地面抬升和河谷深切共同造成. 因此，金沙江干热河谷区域地势陡峭，山高谷深，焚风效应显著. 其年均温为 20 ~ 23℃，≥10℃ 的积温高达 7 800 ~ 8 800℃，且年降雨量仅有 600 ~ 800 mm，年蒸发量在 2 600 ~ 3 800 mm 之间，蒸发量是降水量的 3 ~ 6 倍. 干湿季分明，旱季长达 7 个月，旱季降雨仅占全年降水的 10.0% ~ 22.2%. 区域内以燥红土为主，另分布有褐红壤、赤红壤、紫色土等[2].

金沙江干热河谷区域内的植被以稀树灌木草丛为主，由大量草本植物，特别是旱生禾草类植物和散落的灌木及乔木构成. 群落特征种主要有：扭黄茅（*Heteropogon contortus*）、孔颖草（*Bothriochloa pertusa*）、双花草（*Dichanthium annulatum*）、明油子（*Dodonaea angustifolia*）、灰毛木蓝（*Indigofera cinerascens*）、余甘子（*Phyllanthus emblica*）、木棉（*Bombax malabartca*）、滇榄仁（*Terminalia franchetii*）等[1].

1.2　野外调查

野外调查分别于 2008 年 9 月 ~ 11 月和 2009 年 9 月 ~ 11 月，在云南省境内的金沙江河段开展. 采用分层随机抽样法（Stratified random），先顺江而下选择 5 个干热河谷典型区段，其分别位于永胜县、宾川县、元谋县（2 段）和巧家县. 再根据 2006 年基于 TM 卫星影像完成的 1∶20 万云南植被图，按干热河谷植被在各区段所占比例，利用 ArcGIS 软件随机抽样模块确定不同区段的调查样地数量和具体位置. 在实际调查工作中，考虑到植被图精度的影响，每个区段的实际调查样地数量为上述抽样结果的 1.5 倍，最后共完成了 151 个样地.

野外群落调查样地面积设置为 100 m^2（10 m × 10 m）. 样地选择时尽量避开道路和居民点. 调查中记录样地经纬度、海拔、坡度和坡向，以及每个样地中出现的植物物种名称. 对野外无法确定的物种，通过采集标本后再进行室内鉴定.

1.3　谱系树构建

参照 *Flora of China*[15]，对每个样地中出现的植物物种名称进行了对照和修订. 利用植物谱系库在线软件 Phylocom 4.1[16] 对 151 个样地中全部 224 个物种的信息进行分析. 通过软件基础数据库被子植物分类系统 III（APG III），生成输入物种所构成的谱系树. 再使用软件 Phylocom 提供的算法 BLADJ，计算出谱系树中每一个分化节点所发生的时间. 该算法利用分子及化石定年数据[17]，先将已知分化时间的节点固定，再对所有未知节点采用平均方法处理. 计算所得的分枝长度代表连续两次物种分化间隔的时间（单位以百万年记），相较将谱系树中的枝长设置为 1 更为可靠[18]. 群落间的谱系结构能被由此方法建立的谱系树区分.

1.4　选择谱系指数

净谱系亲缘关系指数（Net relatedness index，NRI）和净最近种间亲缘关系指数（Net nearest taxa index，NTI）分别被计算和用来描述金沙江干热河谷中物种形成的谱系结构. 其中，NRI 侧重从整体上描述群落中物种形成的谱系结构，NTI 则侧重从谱系树枝节点衡量群落中物种的谱系结构[12]. 这两个指数都是通过分析样方群落内物种在系统进化树的位置，计算物种间的谱系距离，并利用随机模型（零群落）中谱系距离的标准差对观察值进行标准化后获得. 其计算公式如下：

$$NRI_{sample} = -1 \times \frac{MPD_{sample} - MPD_{rndsample}}{SD(MPD_{rndsample})};$$

$$NTI_{sample} = -1 \times \frac{MNPD_{sample} - MNPD_{rndsample}}{SD(MNPD_{rndsample})}.$$

式中：MPD_{sample}（Means phylogenetic distance）为观测样地分类单元间平均谱系距离；$MPD_{rndsample}$为由随机过程产生的零群落的分类单元间平均谱系距离；$MNPD_{sample}$（Mean Nearest Phylogenetic Distance）为观测样地分类单元的平均相邻谱系距离；$MNPD_{rndsample}$为由随机过程产生的零群落的分类单元的平均相邻谱系距离；SD 为标准偏差. 若计算所得指数值 NRI_{sample} 和 NTI_{sample} 大于零，则说明观测样方中物种间谱系距离短，群落谱系结构上呈聚集；反之，若指数值小于零，则说明观测样方中物种间谱系距离长，群落谱系结构上呈发散；若指数值等于零，则说明群落谱系结构呈随机态.

另外，在谱系指数计算中，随机零群落的模拟选用独立交换算法（Independent swap）[19]，共模拟 999 次. 该算法可以生成样地物种交换矩阵，产生的矩阵和原始矩阵具有相同的行和列，保证了模拟群落中物种数量不变.

1.5 数据分析

为探讨金沙江干热河谷流域群落构建机制，研究采用两种分析：1）对每个 10 m×10 m 样方的 NRI 和 NTI 指数进行计算，分别按不同取样河段和整个流域对结果进行统计，以反映流域内群落的谱系结构规律；2）对流域内不同取样河段的 NRI 和 NTI 指数差异性进行 Kruskal-Wallis 检验，以反映不同取样段间的谱系结构差异. 该检验方法的优点是对检验假设的要求较低，且可以保证损失较少的统计检验力[20]. 使用的统计工具软件为 R[21].

2 结果与分析

2.1 流域植被群落的谱系结构

在对金沙江干热河谷植物群落谱系结构的分析中（表 1）发现整个流域 151 个调查样地中 63.7% 的 NRI 值为负，呈现为发散格局；与之相反的是 79.5% 的 NTI 值为正，呈现为聚集格局. 而 5 个取样段分别呈现出的规律与整体规律基本一致，即 NRI 值多为负，NTI 多为正.

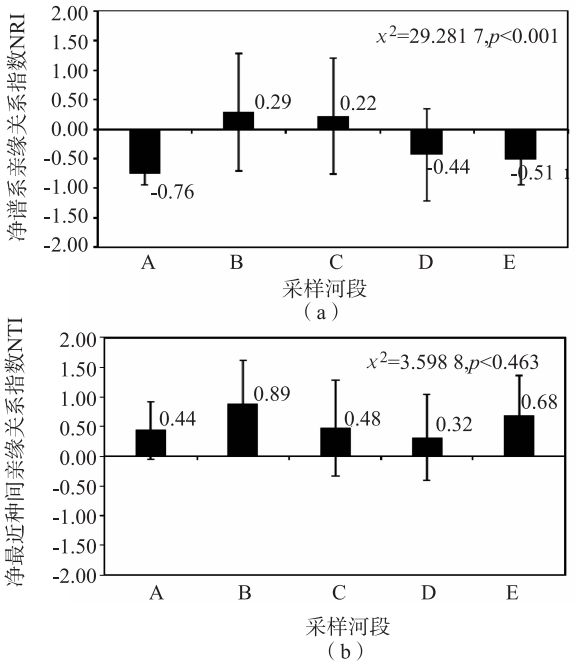
表 1 基于 NRI 和 NTI 的群落物种亲缘关系比例特征

河流	取样位置	随机/%	发散/%	聚集/%	样地数目	指数
JSJ	A	0.0	100.0	0.0	9	NRI
JSJ	B	0.0	50.0	50.0	10	
JSJ	C	0.0	54.8	45.2	31	
JSJ	D	0.0	77.8	22.2	36	
JSJ	E	0.0	91.0	9.0	65	
JSJ	Whole	0.0	63.7	36.3	151	
JSJ	A	0.0	22.2	77.8	9	NTI
JSJ	B	0.0	20.0	80.0	10	
JSJ	C	0.0	22.6	77.4	31	
JSJ	D	0.0	30.6	69.4	36	
JSJ	E	0.0	13.8	86.2	65	
JSJ	Whole	0.0	20.5	79.5	151	

注：表中的 JSJ 表示金沙江，与之对应的 A，B，C，D 及 E 分别表示顺江而下的采样位置，即永胜（A）、宾川（B）、元谋 1（C）、元谋 2（D）和巧家（E），whole 表示整个河谷.

2.2 各河段群落谱系结构差异

河谷内各取样段的平均谱系距离对比发现（图 1），NRI 的平均值在各取样段间差异有统计学意义（$\chi^2 = 29.2817$，$p < 0.001$），所呈现出的趋势并不相同，有正值也有负值；虽 NTI 的平均值在各取样段间差异无统计学意义（$\chi^2 = 3.5988$，$p = 0.463$），都为正值，但是数据离散程度较高.



图中A，B，C，D及E分别表示顺江而下的采样位置，即永胜(A)、宾川(B)、元谋1(C)、元谋2(D)和巧家(E).

图1　不同取样位置NRI和NTI分布情况及区域比较

3　讨论与结论

3.1　金沙江干热河谷群落谱系结构

金沙江干热河谷植物群落谱系结构特征较复杂．研究发现，衡量群落谱系距离的两个指数之间表现出几乎完全相反的结果．净谱系亲缘关系指数（NRI）在整条河谷及各取样河段中都呈现出谱系距离为发散的样地比例大于谱系距离为聚集的样地比例．群落谱系结构总体表现为发散，表明当前群落构建中存在使亲缘关系较近物种不能共存的生态过程[12]．相反，净最近种间亲缘关系指数（NTI）在整条河谷及各取样河段中都呈现出谱系距离为发散的样地比例小于谱系距离为聚集的样地比例，表明在干热河谷植物群落的构建过程中，还可能存在一种或几种其他过程，使亲缘关系较近的物种共存于同一群落中[12]．

虽然这两个指数的侧重点不同，我们在表面上可以直接解释两种过程同时存在．但这与已有的一些在热带雨林和其他原生植被中进行的研究结果相矛盾[22-23]，这些研究都发现 NRI 和 NTI 会呈现出一致的格局．相似的结果仅在 Potter[24] 报道美国东南部森林区群落谱系结构时出现，NRI 指数呈现离散而 NTI 指数呈现聚集，该文作者指出两个指数的不一致可能与植被的稳定健康程度有关系，并推断如果一个群落内的物种在整个谱系树上表现为离散，而在谱系树枝节点表现为聚集，那么这个群落可能含有一些易受胁迫影响的物种，群落在丧失这些物种后，就变得极其脆弱，生态系统的功能明显下降．这一推论从群落谱系结构的角度验证了干热河谷植被易受破坏且恢复困难的事实[7]．

3.2　区域植被恢复启示

作为我国西南重要的生态脆弱区，干热河谷的恢复历来都受到关注．但干热河谷植被形成原因一直存在争议．有学者认为干热河谷的原生植被是热带或亚热带季雨林[25]，在相对较少的降雨和较高的蒸发及长期的人为干扰破坏是这一区域植被演变为半萨瓦纳植被的主要原因[26]，然而一直以来该假说没有得到实验数据或长期野外研究的支持．本研究从金沙江干热河谷植物群落谱系结构的角度对该假说给予了野外调查证据，但实际情况究竟如何，还需要控制实验来验证．基于此，采取引入新物种的方式进行植被恢复将对当地干热河谷原有的植物群落产生不良的影响．

金沙江干热河谷谱系距离衡量指数间不一致的结果从群落谱系的角度说明了对原有物种保护的重要性，也支持了沈有信等人[27]提出的利用现有地表植被和土壤种子库进行恢复的论证．因为虽然不同的恢复方式和土地利用变化及干扰会给地表植被和土壤种子库带来不良影响，但改变后的地表和土壤种子库还是会保留原有植被的一些特征，只要恢复的方式得当，还是很有可能将河谷植被重新恢复起来的．

这一推论在实际的研究和开发利用工作中非常重要．如果正如 NRI 和 NTI 表现出不一致的推断，那么目前应该加快对干热河谷区域残存植被的研究，深入了解物种的生物生态学特性、物种之间的相互作用及对干扰的响应机制，增加对这一特有植被类型的保护，并采用科学、理论充分支持的恢复方法逐步恢复植被，最终保持区域的生态功能稳定．

综上所述，在本研究中我们从群落谱系结构的角度，通过探讨了干热河谷植物群落构建的生态过程．虽然净谱系亲缘关系指数 NRI 和净最近种间亲缘关系指数 NTI 值出现了不一致的情况，但从另一方面说明了金沙江干热河谷植物群落形成过程的复杂性和干热河谷生态系统的脆弱性．基于净谱系亲缘关系指数，竞争在干热河谷植物群落构建中发

挥了重要作用，其他还可能与正相互作用、物种性状特征进化及动物啃食和人类活动有关. 因此，对干热河谷开展植被恢复应注意对原有物种的保护与利用，而不要采取引进新物种的方式.

[参考文献]

[1] 金振洲. 滇川干热河谷与干暖河谷植物区系特征 [M]. 昆明：云南大学科技出版社，2002.

[2] 何永彬，卢培泽，朱彤. 横断山：云南高原干热河谷形成原因研究 [J]. 资源科学，2000，22 (5)：69 - 72.

[3] 杨济达，张志明，沈泽昊，等. 云南干热河谷植被与环境研究进展 [J]. 生物多样性，2016，24 (4)：462 - 474.

[4] 杨万勤，王开运，宋光煜，等. 金沙江干热河谷典型区生态安全问题探析 [J]. 中国生态农业学报，2002 (3)：116 - 118.

[5] 张金盈，徐云，苏春江，等. 金沙江干热河谷植被恢复研究进展 [J]. 水土保持研究，2005 (6)：105 - 108.

[6] 方海东，段昌群，潘志贤，等. 金沙江干热河谷生态恢复研究进展及展望 [J]. 三峡环境与生态，2009，2 (1)：5 - 9.

[7] 柴宗新，范建容. 金沙江干热河谷植被恢复的思考 [J]. 山地学报，2001 (4)：381 - 384.

[8] 郎南军. 云南干热河谷退化生态系统植被恢复影响因子研究 [D]. 北京：北京林业大学，2005.

[9] 李昆，张春华，崔永忠，等. 金沙江干热河谷区退耕还林适宜造林树种筛选研究 [J]. 林业科学研究，2004 (5)：555 - 563.

[10] 段爱国，张建国，张俊佩，等. 干热河谷主要植被恢复树种水分利用效率动态分析 [J]. 北京林业大学学报，2010，32 (6)：13 - 19.

[11] MOSELEY R K，TANG Y. Vegetation dynamics in the dry valley of Yunnan China during the last 150 years：implications for ecological restoration [J]. Journal of Plant Ecology，2006，30：713 - 722.

[12] WEBB C O，ACKERLY D D，MCPEEK M A，et al. Phylogenies and community ecology [J]. Annual Review of Ecology，Evolution，and Systematics，2002，33：475 - 505.

[13] 牛红玉，王峥峰，练琚愉，等. 群落构建研究的新进展：进化和生态相结合的群落谱系结构研究 [J]. 生物多样性，2011，19 (3)：275 - 283.

[14] 张荣祖. 横断山区干旱河谷 [M]. 北京：科学出版社，1992.

[15] 吴征镒. 中国植物志 [M]. 英文版. 北京：科学出版社，2014.

[16] WEBB C O，ACKERLY D D，KEMBEL S W. Phylocom：oftware for the analysis of phylogenetic community structure and trait evolution [J]. Bioinformatics，2008，24：2098 - 2100.

[17] WIKSTRÖM N，SAVOLAINEN V，CHASE M W. Evolution of the angiosperms：calibrating the family tree [J]. Proceedings of the Royal Society B：Biological Sciences，2001，268：2211 - 2220.

[18] 黄建雄，郑凤英，米湘成. 不同尺度上环境因子对常绿阔叶林群落的谱系结构的影响 [J]. 植物生态学报，2010，34 (3)：309 - 315.

[19] GOTELLI N，ENTSMINGER G. Swap algorithms in null model analysis [J]. Ecology，2003，84：532 - 535.

[20] QUINN G，KEOUGH M. Experimental design and data analysis for biologists [M]. Cambridge：Cambridge University Press，2002.

[21] R Development Core Team. R：A language and environment for statistical computing [EB/OL]. [2018 - 03 - 08]. http：//www. R - project. org.

[22] KEMBEL S W，HUBBEL S P. The phylogenetic structure of a neotropical forest tree community [J]. Ecology，2006，87：86 - 99.

[23] SWENSON N G，ENQUIST B J，PITHER J，et al. The problem and promise of scale dependency in community phylogenetics [J]. Ecology，2006，87：2418 - 2424.

[24] POTTER K M. From genes to ecosystems：measuring evolutionary diversity and community structure with Forest Inventory and Analysis (FIA) data [EB/OL]. [2018 - 03 - 10]. http：//www. fia. fs. fed. us/symposium/proceedings.

[25] 许再富，陶国达，禹平华，等. 元江干热河谷山地五百年来植被变迁探讨 [J]. 云南植物研究，1985 (4)：403 - 412.

[26] 金振洲，欧晓昆. 干热河谷植被 [M]. 昆明：云南大学出版社，2000.

[27] 沈有信，刘文耀，张彦东. 东川干热退化山地不同植被恢复方式对物种组成与土壤种子库的影响 [J]. 生态学报，2003 (7)：1454 - 1460.