

文章编号: 1008-2786-(2008)5-553-07

# 元谋干热河谷近 50 a降水量时间序列的 DFA 分析

史凯<sup>1</sup>, 张斌<sup>2</sup>, 艾南山<sup>3</sup>, 刘刚才<sup>4</sup>, 张军<sup>2</sup>

(1. 吉首大学生物资源与环境科学学院, 湖南 吉首 416000; 2. 西华师范大学国土资源学院, 四川 南充 637002

3. 四川大学建筑与环境学院, 四川 成都 610065; 4. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

**摘 要:** 干热河谷是一类特殊的退化生态系统区域, 降水对河谷景观格局的变化起着十分重要的作用。基于消除趋势波动分析法 (DFA) 分析了元谋地区近 50 a 降雨量变化趋势, 同时也对 1978~2006 年进行了滑移分析。结果表明, 元谋地区年均降水量序列至少在 50 a 的时间尺度上具有微弱的 Hurst 效应, 即具有较弱的长期持续性及较强的随机性。区域植被覆盖率的变化能对该区域降雨量的动力学变化趋势做出有效的解释。

**关键词:** 消除趋势波动分析法; 干热河谷; 降雨量; 植被覆盖率

**中图分类号:** P426.6

**文献标识码:** A

特定区域降水量的变化除了大气环流这一背景性因素外, 还深受下垫面性质变化的影响, 而且在局部地区甚至具有非常显著的影响; 也在一定程度上反映了局部地区下垫面状况的改变。干热河谷是一类特殊的退化生态系统区域, 水资源在河谷景观演变中扮演着十分重要的角色, 是干热河谷生态系统的首要限制性因素。干热河谷气候具有典型的非地带性, 特殊的地形、下垫面性质对降水和气温具有重要影响。元谋干热河谷多年降水量的变化既是基于大气环流背景, 又与生态环境变化互为因果。对元谋多年降水量的时间序列变化趋势进行分析并探讨其与生态环境变化的因果关系, 可以为未来生态环境恢复和社会经济发展提供决策依据。

对区域降水量时间序列进行分析的传统方法多基于统计学原理。张耀存等<sup>[1]</sup>运用 Markov 链分析了我国东部几个地区代表测站逐日降水序列的统计学特征; 王永县等<sup>[2]</sup>用多元分析和随机序列等方法综合对中国大陆降水序列进行同步预测; 王子缘等<sup>[3]</sup>运用 X-11 方法对降水量时间序列进行预处理,

然后进行周期分析和自回归拟合; 许秀娟等<sup>[4]</sup>从统计学的角度对关中西部地区降水量的变化趋势进行了分析研究; 姜逢清等<sup>[5]</sup>利用非参数统计检验法分析了新疆北部地区近 40 a 降水序列的趋势。但统计学方法将各时期降水量看作是孤立的、彼此没有影响, 没有考虑到各时期的降水量存在非线性相互影响, 因而具有一定的局限性。为了克服此不足, 近年来已有学者应用混沌、分形等非线性方法对其进行了卓有成效的探索。Waymire<sup>[6]</sup>、Olsson<sup>[7]</sup>、Svensson<sup>[8]</sup>、Lin<sup>[9]</sup>、常福宣<sup>[10]</sup>等人计算了降雨在时空上分布的分形维数。Herath<sup>[11]</sup>指出多重分形技术可以帮助分析降雨趋势以便预测未来不利的影响。门宝辉等<sup>[12]</sup>、李国良等<sup>[13]</sup>通过计算降水序列的关联维、最小嵌入维、最大 Lyapunov 指数以及 Kolmogorov 熵等特征量研究降水时间序列的趋势。本研究中从构建元谋干热河谷年均降水量的二维相轨迹图入手, 运用消除趋势波动分析法 (DFA) 对 1956~2006 年降水量 (元谋县气象站) 的变化趋势进行滑动分析, 并探讨了其与植被覆盖变化的关系。

收稿日期 (Received date): 2008-01-04; 改回日期 (Accepted): 2008-04-05.

基金项目 (Foundation item): 国家支撑计划项目 (2006BAC01A11); 国家重点基础研究发展计划 (973) 项目 (2007CB407206) [Supported by Planning Projects of National Science and Technology of China (Grant No. 2006BAC01A11) and State Key Development Program for Basic Research of China (Grant No. 2007CB407206).]

作者简介 (Biography): 史凯, 男, 生于 1980 年, 博士生。主要从事环境科学专业的相关研究。[Shi Kai, male, 1980-, Ph.D Candidate. Being engaged in mostly the research about environmental science.] E-mail: einbopln@163.com

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

## 1 研究区概况

元谋干热河谷位于云南省滇中高原北部,金沙江中游一级支流龙川江下游。地理位置介于  $101^{\circ}35' \sim 102^{\circ}06'E$ ,  $25^{\circ}23' \sim 26^{\circ}06'N$  之间。县域中部元谋盆地断陷盆地,海拔 980~1 400 m,龙川江由南向北纵贯盆地;东部山地高出盆地 1 200~1 400 m,由山顶至盆地间呈阶梯状下降;西部多山冈和丘陵,呈圆坦状山顶及平等排列的长垄状山脊,山顶高度一般 1 300~1 500 m;南部山地海拔 1 400~2 600 m;北部山地海拔 1 800 m 以上(图 1)。境内元谋组地层广泛分布,分为 4 段 28 层,为河流相、湖沼相或河流交替相沉积,层次表现为砂、粉砂、粘土、亚粘土及砂砾互层,岩性松散,易侵蚀。该区气候炎热,干湿季分明,年平均气温为  $21.9^{\circ}C$ ,最冷月(12月)月均温为  $14.9^{\circ}C$ ,最热月(5月)月均温为  $27.1^{\circ}C$ ;年平均降水量为 6 138 mm,雨季(5~10月)降水量占年降水量的 80% 以上;年均蒸发量为 3 640.5



图 1 元谋县 DEM 模型

Fig 1 The DEM map of Yuanmou County

mm,为年均降水量的 5.9 倍;年均相对湿度为 53%。海拔 1 600 m 以下主要生长稀树灌丛草原,草本占大部分,覆盖度 > 90%,灌木少而稀,乔木更少见;1 600 m 以上主要为灌丛草地,片状森林分布。区内地带性土壤为燥红土和红壤。由于特殊的自然地理条件和人类活动的干扰,干热河谷生态系统严重退化。

## 2 研究区域年均降水量的非线性动力学特征

图 2 显示了元谋年均降水量的二维相轨迹图,延迟时间分别为 1 a、2 a 和 3 a。从图 2 可见,这些轨迹的形状大致呈现出中心比较密集,而边缘较为稀疏的不规则运动方式,这说明支配元谋年均降水量的机制是非线性的,可能具有确定性混沌动力学特征。这与国内外学者对降水序列的研究是一致的。目前研究认为,降水干湿年份的出现并不表现为一种纯粹随机的事件,有可能存在 Hurst 效应<sup>[14]</sup>。同时这也说明,研究元谋年均降水量的变化趋势需要应用非线性动力学方法。

## 3 研究方法

DFA (detrended fluctuation analysis) 分析方法,即消除趋势波动分析法,是一种改进的随机步进的均方根分析方法,这种非线性动力学方法最初是由 Peng 等<sup>[15]</sup>在 1994 年提出的。近几年,该方法在广泛学科领域中得到了发展和应用,被证明是检测非平稳时间序列的长程相关特征的最重要、最可靠的工具之一<sup>[16]</sup>。从动力学角度讲,这种方法中变换的序列仍然残留有原序列的痕迹,与原序列保持相同的持久性或反持久性;同时,变换后能够滤除自身演化的趋势成分,剩下的离差序列主要是波动成分。因而,较其他分形分析方法,如谱分析和 R/S 分析而言,它具有两个优点:一是能够检测出包含于表面上看来不平稳的时间序列中内在的自相似性;二是能够避免检测出由于外在趋势而导致的明显的自相似性,即可消除人造非平稳时间序列中的伪相关现象。DFA 方法的具体算法如下:

对于一个所需研究的时间序列  $\{x_i, i = 1, 2, \dots, N\}$ , 其中  $N$  是序列的长度,首先对原始序列中的数据进行积分

$$y(k) = \sum_{i=1}^k x_i - \bar{x} \quad (k=1, 2, \dots, N)$$

式中  $\bar{x}$  为原始序列的平均值。

其次将积分信号等间隔地分成长度为  $n$  的数

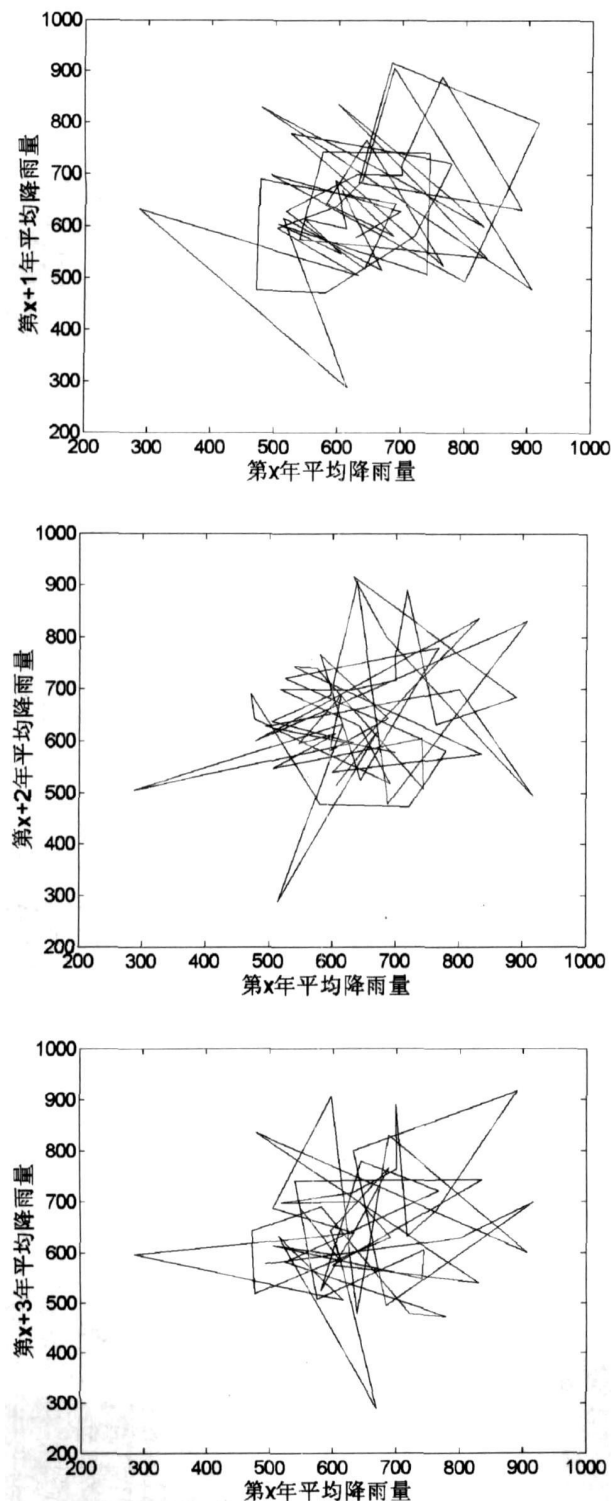


图 2 元谋年均降水量二维相轨迹图

Fig 2 Phase type from field data of precipitation time series in Yuanmou

Dry-hot Basin over the last 50 years in 2D phase space

据段。在每一小段里, 利用最小二乘法进行直线拟合, 得到最小平方直线, 作为这一段数据的局部趋势。所有最小平方直线组合在一起, 成为趋势信号  $y_n(k)$ , ( $k=1, 2, \dots, N$ )。

然后对于给定的  $n$ , 用积分信号减去趋势信号, 得到波动信号, 具体如下

$$F(n) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N [y(k) - y_n(k)]^2}$$

最后, 取不同的尺度  $n$ , 重复上述两步, 得到不同尺度  $n$  下的  $F(n)$ 。通常情况下,  $F(n)$  都会随着  $n$  增加而增大。在双对数坐标下做出  $\lg n \sim \lg(F(n))$  曲线, 如果满足线性关系, 则存在幂律关系  $F(n) \propto n^\alpha$ 。此时进行直线拟合, 所得到的斜率  $\alpha$  即为自相似性参数, 即 DFA 指数。

$\alpha$  可以表明所分析的时间序列是否具有分形性质:  $\alpha = 0.5$  时, 表示研究的时间序列不存在长期相关性, 任意时刻的值与前一时刻的值无关, 即序列是随机的为白噪声。当  $\alpha$  不等于  $0.5$  时, 意味着时间序列中存在长期相关性, 时间序列的观测值之间不是独立的, 每个观测值都带着它之前所发生的所有事件的“记忆”, 具体情况还可以进一步区分如下:  $0.5 < \alpha < 1$  时, 表明时间序列中存在持久的、长时程幂律形式的相关性, 即过去检测的值若呈增加(减小)的趋势, 未来检测的值也将呈现相同的趋势。 $\alpha$  越接近  $1$  这种持久性的行为就越强; 若  $0 < \alpha < 0.5$  则意味着序列具有反持久性的长期幂律相关性, 说明时间序列在前一个期间呈现增加(减小)的趋势, 则在后一个期间可能存在相反的趋势,  $\alpha$  越接近  $0$  这种反持久性的行为就越强; 当  $\alpha = 1$  时, 序列为  $1/f$  噪声; 当  $\alpha > 1$  时, 表明序列中相关性存在但不是幂律关系形式; 而当  $\alpha = 1.5$  时, 则时间序列则为布朗噪声。

## 4 结果分析与讨论

### 4.1 年均降水量 DFA 指数计算

为了了解元谋年均降水量的长程相关特征, 我们首先分析了该地区年均降水量序列 (1956~2006 年) 的  $\lg n \sim \lg(F(n))$  结构特征。从图 3 中可以看出,  $\lg n \sim \lg(F(n))$  在整个时序区间内都呈现较好的线性关系, 这表明元谋的年均降水量变化具有分形特征, 其标度不变区间至少在 50 a 以上。拟合计算得到其 DFA 指数为  $0.58$  这表明元谋地区年均降水

量序列至少在 50 a 的时间尺度上具有微弱的 Hurst 效应, 即具有较弱的长期持续性及较强的随机性。

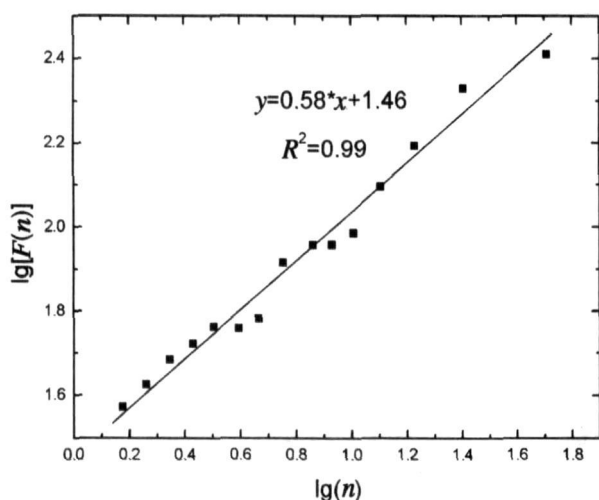


图 3 元谋年均降水量序列 (1956~2006) DFA 分析

Fig 3 DFA of precipitation time series (1956~2006)  
in Yuanmou Dry-hot Basin

#### 4.2 年均降水量 DFA 指数的时间变化特征

为了讨论不同年份元谋年均降水量的 DFA 指数的时间变化特征, 我们采用如下的方法: 首先以 1956~1977 年的数据作为初始窗口 (长度为 22), 计算其 DFA 指数。然后以该初始窗口为基础, 增加 1978 年的数据, 此时窗口的长度为 23 再次计算其 DFA 指数。若此时 DFA 指数数值出现变化, 由于初始窗口不变, 故可以认为这主要是由于计算窗口中加入的 1978 年年均降水量导致。以此类推, 这样的滑动计算就可以得到从 1978~2006 年的 DFA 指数随时间的变化图。这也就反映了元谋从 1978~2006 年年均降水量长期持续特征的变化。

为了考察年均降水量长期持续特征的意义, 我们首先需要了解初始窗口 (1956~1977 年) 中年均降水量的变化趋势。图 4 中对初始窗口的变化趋势进行一阶线性拟合, 发现从 1956~1977 年元谋年均降水量具有微弱的增加趋势。因此, 在 1978~2006 年的 DFA 指数的变化图中, 如果某年滑动窗口的 DFA 指数  $> 0.5$  则表示未来的年均降水量可能出现维持初始窗口的这种微弱增长趋势; 而如果某年滑动窗口的 DFA 指数  $< 0.5$  则表示未来的年均降水量可能出现减少的趋势。

图 5 滑动计算了从 1978~2006 年元谋年均降水量的 DFA 指数的变化。整体看来, 各年元谋年均降水量序列的 DFA 指数都在 0.5 左右 (对应于白噪

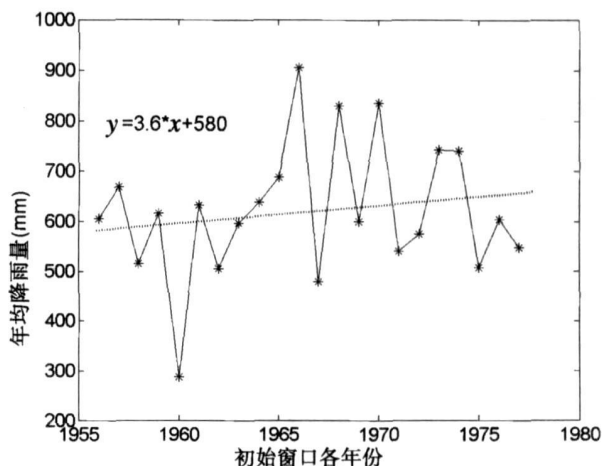


图 4 初始窗口年均降水量变化趋势

Fig 4 The variation trend of precipitation series in the original window (1956~1977)

声)波动, 显示出较强的随机性和较弱的持续性。降水持续特征的不显著, 说明有关当地年均降水量的预测必须慎重, 这也与降水混沌系统的“随机性态”、“长期不可预测”等特征是一致的。除此之外, 从图 5 中我们还可以看出一些重要的规律, 即整体上看滑动窗口的 DFA 指数呈现出先波动性下降, 后又逐步增大的“U”型结构, 其中最低谷在 1995 年。自 1978~1995 年, 滑动窗口的 DFA 指数整体呈现波动性下降的趋势, 从较弱的长期持续特征 ( $\alpha > 0.5$ ) 转变为较弱的反持续特征 ( $\alpha < 0.5$ )。这表明从 1978~1995 年元谋年均降水量在动力学上增加趋势持续减弱, 以致成为减少趋势。动力学上导致年均降水量出现减少趋势特征的年份至少有 15 a 左

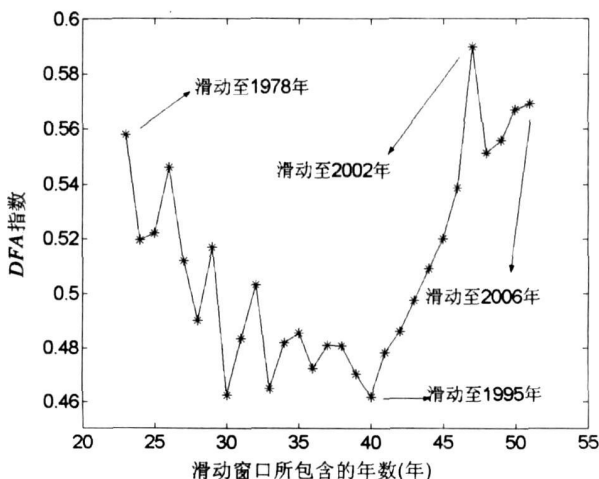


图 5 滑动窗口 DFA 分析结果变化曲线

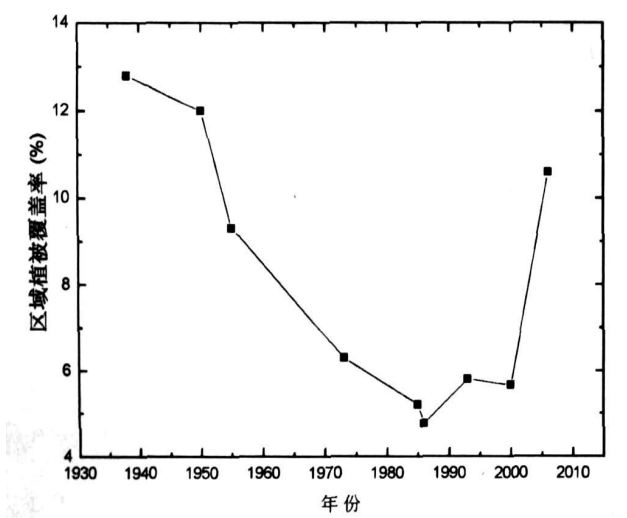
Fig 5 The DFA exponent spectra of moving series from 1978 to 2006

右 (1983~1998 年)。但从 1995~2006 年, 滑移窗口的 DFA 指数显著的逐年上升, 元谋年均降水量的减少趋势得到了抑制, 逐步又从较弱的反持续特征 (年均降水量的减少趋势) 转变为较强的长期持续特征 (年均降水量的增加趋势)。

#### 4.3 DFA 曲线变化原因分析

目前关于降水与下垫面覆被变化的关系已有学者给予研究。李震<sup>[17]</sup>和李春晖<sup>[18]</sup>等人的研究表明植被指数变化与降水变化具有很好的正相关关系; 夏虹等<sup>[19]</sup>认为植被覆盖变化率反映了植被生长速率, 其大小影响植被对降水变化的响应程度。郭建侠等<sup>[20]</sup>通过模拟植被改进与降雨敏感性的关系, 结果表明陕北植被改善后能够使区域性平均降水量增加, 并探讨了植被治理对降水变化的机理。

元谋县自 1950 年代以来平均气温及最冷月均温明显下降, 与此同时年蒸发量明显减少, 相对温度增加, 年日照时数及年均风速下降, 这些与全球气候变暖的趋势相背离, 反映出元谋干热河谷的气候具有典型的局地性, 与特殊的地形和下垫面性状改变具有密切的关系<sup>[21]</sup>。对于该地区降水的年际变化, 地形是不变要素, 故下垫面的变化成为具有重要影响的因素。元谋干热河谷植被的变化与年降水量的变化具有很强的相关性, 而植被影响降水量的变化本身存在一定的时间上的延迟 (“时滞”), 由此, 可以根据当地植被的变化来较好的解释图 5 中出现的 U 形曲线 (图 6)。



注: 1986 年以前的数据源于《元谋县林业志》; 1993 年以来的数据根据有林地面积计算

图 6 1938~2000 年元谋县森林覆盖率变化

Fig 6 Vegetation coverage change in Yuanmou from 1938 to 2000

近 50 a 来人类活动对元谋干热河谷生态系统植被变化的影响非常显著。1954 年以前, 人们对水源林、风景林、坟山林等的管理较严, 对山上的灌木林也注意保护。元谋热坝区及其相邻地带虽属光山秃岭, 但草灌覆盖度仍在 90% 以上。但自 1950 年代以来的火灾、病虫害, 尤其是人为破坏使得植被受到严重破坏。从 1952~1995 年间, 发生火灾 385 起, 受害面积 25 305 hm<sup>2</sup>, 成灾面积 5 695 hm<sup>2</sup>。1958 年开始的“大跃进”大炼铜, 在火焰山、沙沟箐建筑土炉, 近千人砍伐姜驿祭牛山、卡莫万松山林木烧炭炼铜。砍伐林木虽无准确数据记载, 但所到之处, 伐桩累累, 炭坑 (窑) 满山。为了工业大跃进, 农村青壮年大批外调, 筑铁路、挖公路、运煤炭、拓运河、烧砖瓦、炼钢铁。留下老、弱、妇、幼忙于农业生产, 时值燃料缺乏, 全县人民就餐的公共“食堂”就近砍伐风景林、水源林、坟山林作燃料, 使大量乡土树木被毁。1977 年再次发生大规模的砍伐, 致使祭牛山、画匠大尖山、新发瓦房山、那治房后山、班果山、羊街松林坡、临川坝等地区的树木, 被砍伐殆尽。就连 1966 年、1967 年飞机播种造林的法旦房后山、新华空连山等地区的云南松中幼林都难以幸存。加上历年人口的增长, 1954~1984 年, 人口从 71 708 人增至 173 119 人, 所需木料剧增。1985 年全县消耗木料 170 715 m<sup>3</sup>, 而生长量仅 22 640 m<sup>3</sup>, 消耗量大于生长量的 7.54 倍。由于生活习惯、产业结构、交通延伸以及煤炭供应不足等原因, 使残存树木屡遭砍伐, 残存森林逐步消失。至 1983 年, 凉山公社的乱砍滥伐现象依然十分严重, 坝区 5 个社镇的群众生产、生活用材及主要燃料都集中在凉山砍伐; 每天有 500 匹骡马至凉山运柴, 预计毁林 0.3 hm<sup>2</sup> 左右。据 1973 年调查, 元谋县域森林覆盖率已由 1950 年的 12.0% 降到 6.3%, 至 1985 年森林覆盖率下降至历史最低点约 5.2%, 灌木覆盖率仅存 10.5%。据笔者对元谋热区所宜林基地周边村社的入户调查, 1960 年代末基地内估计有攀枝花大树百余株, 而今仅存 9 株; 当年的宜林河水清量大, 从不断流, 而今经常断流, 即使有水流时也流量小且浑浊。所以, 从 1950~1980 年代的植被破坏使干热河谷下垫面性质发生重大改变, 但由于植被影响降水量的变化本身存在一定时滞, 从而导致 1990 年代中期以前 DFA 曲线整体存在下降趋势 (1995 年达到最低谷), 年均降水量的长期动力学行为呈减少之势。

但是从 1980 年代以来, 由于《森林法》的颁布实施、长防工程、退耕还林政策的实行, 元谋县政府和相关职能部门积极贯彻落实上级有关法规制度, 坚决制止乱砍滥伐林木和毁林开荒, 对木材采取依法严管的政策; 加上相关管理和执法机构的成立, 使得元谋县的林业管理走了良性发展的道路; 加之国家和地方政策大力开展生态环境治理、水土流失综合治理、农村能源建设、恢复植被, 使得干热河谷的植被覆盖率有了一定的提高。到 1993 年森林和灌木林的覆盖率分别上升到 58% 和 47.1%, 至 2006 年全县森林覆盖率 10.6%。植被的恢复对当地降水变化的效应也在 1990 年代中期后开始显现。滑动窗口滑移至 1995 年时, DFA 指数的下降趋势得到有效遏制, 故降雨在动力学上减弱的趋势也得到一定的遏制。1990 年代至今降水量的动力学持续特征逐步表现为持续增加趋势, 尽管这种持续增加的幅度很微弱。目前基于对生态恢复治理的乐观前景, 降水量未来的增长趋势应得以持续, 所以将对未来干热河谷的生态环境恢复、农业生产、景观变化等产生一定程度的有利影响。

由此分析, 我们发现元谋干热河谷地区下垫面植被的变化可以较好的解释图 5 中出现的 U 形曲线。同时我们也认识到, 当地植被影响降水量的变化本身存在的时滞大约有十余年, 这也说明当地植被的变化需要一段时间才能带来一定的生态影响。这是我们进行植被恢复工作所必须有所认识的。

## 5 结论

水资源作为元谋干热河谷首要的生态限制因子, 降水增加的趋势一方面反映了生态环境综合治理的效果, 另一方面又反作用于生态环境, 有利于退化生态系统的恢复, 尤其是植被的恢复。本文基于分析非平稳时间序列长期持续性的 DFA 方法对元谋地区 50 a 降雨量特征分析表明, 元谋地区年均降水量序列至少在 50 a 的时间尺度上具有微弱的 Hurst 效应, 即具有较弱的长期持续性及较强的随机性。同时我们发现, 1978~2006 年元谋年均降水量 DFA 指数的滑动变化, 表现为从较弱的长期持续特征转变为较弱的反持续特征, 又逐步转变为较弱的长期持续特征。这一“U”型变化可用当地植被覆盖率变动加以解释。这也说明元谋干热河谷的气候具有典型的局地性, 其年均降雨量的长期动力学行为

与当地特殊的地形和下垫面植被的改变具有密切关系。

## 参考文献 ( references )

- [1] Zhang Yaoun, Ding Yuguo. Statistical characteristics of daily rainfall series at five representative stations in eastern China [J]. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 1990, 13(2): 194~204 [张耀存, 丁裕国. 我国东部地区几个代表测站逐日降水序列统计分布特征 [J]. 南京气象学院学报, 1990 13(2): 194~204]
- [2] Wang Yongxian, Zhan Yuhui and Zhang Shaohong. Clustering analysis and prediction for precipitation time series [J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 1994, (11): 67~71 [王永县, 詹一辉, 张少. 降水时间序列的聚类分析和预测 [J]. 系统工程理论与实践, 1994 (11): 67~71]
- [3] Wang Ziyuan, Cai Xianru. An approach to the delimitation of drought/flood during flood seasons and the application of X-11 assay to the precipitation sequence [J]. *Scientia Meteorologica Sinica*, 1996, 16(2): 151~157 [王子缘, 蔡娴茹. 汛期旱涝划分的探讨和降水序列 X-11 方法应用 [J]. 气象科学, 1996, 16(2): 151~157]
- [4] Xu Xiujuan, Jiang Jun, Jia Zhikuan, et al. An analysis of annual precipitation during past 70 years in western Guanzhong [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2001, 19(4): 110~114 [许秀娟, 蒋骏, 贾志宽, 等. 关中西部近 70 年降水序列的分析 [J]. 干旱地区农业研究, 2001, 19(4): 110~114]
- [5] Jiang Fengqing, Zhu Cheng, Hu Ruji. Trend Analysis of Precipitation over Northern Xinjiang for the Period 1961~1997 [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2002, 22(6): 669~672 [姜逢清, 朱诚, 胡汝驥. 1960~1997 年新疆北部降水序列的趋势探测 [J]. 地理科学, 2002, 22(6): 669~672]
- [6] Wayne E. Scaling limits and self-similarity in precipitation fields [J]. *Water Resource Research*, 1985, 21(8): 1272~1281
- [7] Olsson J, Niemczynowicz J, Berndtsson R. Fractal analysis of high resolution rainfall time series [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1993, 98(12): 23265~23274
- [8] Svensson C, Olsson J, Berndtsson R. Multifractal properties of daily rainfall in two different climates [J]. *Water Resource Research*, 1996, 32(8): 2463~2472
- [9] Lin Shuchen, Liu Changling, Lee Tzongyeong. Fractal of rainfall and identification of temporal scaling law [J]. *Fractals*, 1997, 7(2): 123~131
- [10] Chang Fuxuan, Ding Jing, Yao Jian. Scaling property of the rainfall variation in relation with duration [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2002, 11(1): 79~83 [常福宣, 丁晶, 姚建. 降雨随历时变化标度性质的探讨 [J]. 长江流域资源与环境, 2002, 11(1): 79~83]
- [11] Herath S, Ratnayake U. Monitoring rainfall trends to predict adverse impacts—a case study from Sri Lanka (1964~1993) [J]. *Global Environmental Change*, 2004, 14: 71~79
- [12] Men Baohui, Zhao Xiejing, Liang Chuan. Chaos analysis on precipitation time series in Sichuan middle region of Yangtze River up-

- stream reaches [J]. *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*, 2004, 21(1): 43~46 [门宝辉, 赵燮京, 梁川. 长江上中游川中地区降水时间序列的混沌分析 [J]. 长江科学院院报, 2004, 21(1): 43~46]
- [13] LiGuoliang, FuQiang, FengYan, *et al*. Analysis of monthly precipitation time series in Sanjiang plain based on chaos [J]. *Mathematics in Practice and Theory*, 2007, 37(6): 76~81 [李国良, 付强, 冯艳, 等. 基于混沌的三江平原月降水时间序列分析 [J]. 数学的实践与认识, 2007, 37(6): 76~81]
- [14] Mandelbrot B B, Wallis J R. Some long-run properties of geographical records [J]. *Water Resource Research*, 1996, 5(2): 321~340
- [15] Peng C K, Bulkyrev S V, Havlin S, *et al*. Mosaic organization of DNA nucleotides [J]. *Physical Review E*, 1994, 49: 1685~1689
- [16] Ivanova K, Ausloos M. Application of the detrended fluctuation analysis (DFA) method for describing cloud breaking [J]. *Physica A*, 1999, 274: 349~354
- [17] Li Zhen, Yan Fuli, Fan Xingtiao. The variability of NDVI over northwest china and its relation to temperature and precipitation [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2005, (3): 8~13 [李震, 阎福礼, 范湘涛. 中国西北地区 NDVI 变化及其与温度和降水的关系 [J]. 遥感学报, 2005, (3): 8~13]
- [18] Li Chunhui, Yang Zhifeng. Spatio-temporal changes of NDVI and their relations with precipitation and runoff in the Yellow River Basin [J]. *Geographical Research*, 2004, 23(6): 753~759 [李春晖, 杨志峰. 黄河流域 NDVI 时空变化及其与降水、径流关系 [J]. 地理研究, 2004, 23(6): 753~759]
- [19] Xia Hong, Fan Jinlong, Wu Jianjun. Responses of vegetation in ecotone of North Yishan Mountain area to precipitation [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(5): 639~644 [夏虹, 范锦龙, 武建军. 阴山北麓农牧交错带植被变化对降水的响应 [J]. 生态学杂志, 2007, 26(5): 639~644]
- [20] Guo Jianxia, Du Jiwen, Zheng Youfei. Numerical simulation of influence of different vegetation schemes on local precipitation in northern shaanxi region [J]. *Plateau Meteorology*, 2005, 24(6): 994~1001 [郭建侠, 杜继稳, 郑有飞. 陕北生态治理对当地降水影响的数值模拟 [J]. 高原气象, 2005, 24(6): 994~1001]
- [21] Qi Shuhua, Wang Jianbin. The primary analysis of climatic environmental variation in Yuamou Dry-hot Basin [J]. *Journal of Meteorological Research and Application*, 2007, 28(S2): 125~127 [起树华, 王建彬. 元谋干热河谷气候生态环境变化的初步分析 [J]. 气象研究与应用, 2007, 28(S2): 125~127]

## Detrended Fluctuation Analysis of Precipitation Time Series in Yuamou Dry-hot Basin over the Last 50 Years

SHI Kai<sup>1</sup>, ZHANG Bin<sup>2</sup>, AI Nanshan<sup>3</sup>, LU Gangcai<sup>4</sup>, ZHANG Jun<sup>2</sup>

(1. College of Biology and Environmental Sciences, Jishou University, Jishou 416000 Hunan, China;

2. Land and Resources College, China West Normal University, Nanchong 637002, Sichuan, China;

3. School of Architecture and Environment, Sichuan University, Chengdu 610065, Sichuan, China;

4. Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu 610041, Sichuan, China)

**Abstract** The dry-hot valley is a special kind of degradation ecosystem region, the precipitation is a key factor to its landscape change. Based on the method of Detrended Fluctuation Analysis (DFA), the authors analyzed the variation trends of precipitation time series in Yuamou Dry-hot Basin over the last 50 years. At the same time, the DFA exponent spectra of moving series from 1978 to 2006 were analyzed. The results shows that precipitation time series in Yuamou Dry-hot Basin, which has obvious Hurst effect, has relative weak persistence and relative strong randomness. Vegetation coverage change in the dry-hot valley can explain the temporal evolution dynamics of precipitation shown by the DFA exponent spectra of moving series from 1978 to 2006 in Yuamou Dry-hot Basin.

**Key words** Detrended fluctuation analysis; Dry-hot basin; precipitation; vegetation coverage