

# 1470~1949年贵州地区干湿序列的重建及其影响分析

盛叶子<sup>1</sup>, 曾蒙秀<sup>1\*</sup>, 彭海军<sup>2</sup>, 李雪<sup>3</sup>, 高洋<sup>4,5</sup>, 朱丽东<sup>1</sup>,  
李凤全<sup>1</sup>, 胡忠行<sup>1</sup>, 苏婕<sup>1</sup>, 余奕泓<sup>1</sup>

(1. 浙江师范大学地理与环境科学学院, 浙江 金华 321004; 2. 中国科学院地球化学研究所  
环境地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550081; 3. 贵州省生态气象和卫星遥感中心, 贵州 贵阳 550025;  
4. 贵州师范大学喀斯特研究院, 贵州 贵阳 550001; 5. 国家喀斯特石漠化防治工程技术研究中心, 贵州 贵阳 550001)

**摘要:** 贵州地区在小冰期的气候环境状况及其对人类活动的影响研究缺乏, 综合历史文献资料分析与地质记录的研究仍有待加强。基于1470~1949年贵州地区旱涝历史文献资料重建该区干湿变化序列, 然后运用互信息的相关分析方法对此序列进行检验, 再通过小波分析探究其干湿变化过程与周期。同时, 结合高分辨率石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 序列、海洋热状况和国家与地方政权的动荡情况, 讨论其控制因子及其对人类活动的影响。研究表明: (1) 贵州地区15世纪末期气候偏干, 16世纪整体较湿润, 在经历了17世纪前期的干旱期后, 从17世纪中期至20世纪前期为一个长期较稳定的湿润期, 与众多古环境研究记录较为吻合; (2) 小波分析表明干湿变化具有128~155年、32~55年、11~20年的周期, 反映其干湿变化主要受太阳活动控制; (3) 贵州地区湿润程度受南亚夏季风强度、ENSO、AMO等因素影响, 且对当地政治活动和地表生态环境产生了重要影响。

**关键词:** 贵州地区; 南亚季风; 干湿变化; 人类活动; 互信息; 小波分析

中图分类号: P468.0+23 文献标识码: A 文章编号: 1004-8227(2019)06-1354-11

DOI: 10.11870/cjlyzyyhj201906011

贵州地处云贵高原东侧, 水汽输送受南亚季风与东亚季风的共同影响<sup>[1]</sup>, 是研究亚洲季风演化及其效应的理想区域。16世纪中叶至19世纪中叶是小冰期(Little Ice Age)的鼎盛时期<sup>[2]</sup>, 该时段我国气候干湿变化异常, 以旱涝为主的自然灾害频发, 对农业生产与社会秩序造成严重影响<sup>[3-7]</sup>。

目前, 基于自然记录对贵州地区小冰期的环境状况研究仍然较少。一些研究基于洞穴沉积物<sup>[8,9]</sup>、草海沉积物<sup>[10]</sup>等载体重建了贵州小冰期气候环境, 为小冰期在中国西南地区的存在提供了直接证据, 并认为该区域在小冰期时的气候条件与中国其他地区存在差异。但是, 结合历史文献资料和地质记录的相关研究仍有待加强。有相对精确年份记载的历史文献资料蕴含着丰富的气候变化信息, 其中关于旱涝灾害的记载可经过适

当的统计分析和处理, 取得均一的序列以反映气候湿润状况的变化<sup>[11]</sup>。前人通过研究明清时期贵州自然灾害的时空分布及区域特征<sup>[12-14]</sup>, 认为自明代以来贵州自然灾害渐趋密集, 灾害分布既具有普遍性又具有地域差异。但迄今为止, 利用较全面的旱涝史料重建百年尺度、贵州区域范围内的湿润状况变化研究甚少, 且其干湿变化的受控机制及其对人类活动的影响有待深入探讨。

本文基于1470~1949年贵州地区较为全面的旱涝史料, 通过前人<sup>[15,16]</sup>提出的湿润指数法建立干湿序列, 并结合《中国近五百年旱涝等级分布图集》及其续补<sup>[17,18]</sup>中贵阳站的数据及自然记录进行可靠性检验, 利用滑动平均、小波分析等方法对其干湿变化趋势与变化周期进行分析, 并同时段的气候变化代用指标、太阳活动、厄尔尼诺与南方涛动(El Niño/Southern Oscillation, EN-

收稿日期: 2018-10-09; 修回日期: 2019-01-16

基金项目: 浙江省自然科学基金项目(LQ18D020002); 国家级大学生创新训练计划项目(201810345028); 国家自然科学基金项目(41773140); 贵州省科技计划项目(黔科合LH字[2016]7198号)

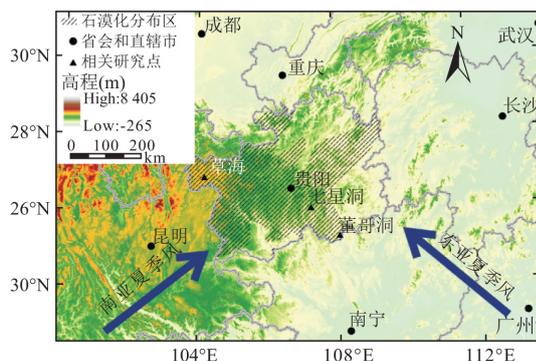
作者简介: 盛叶子(1998~), 女, 主要从事环境考古方面研究. E-mail: yezisheng0026@qq.com

\* 通讯作者 E-mail: mengxiuzeng@zjnu.edu.cn

SO) 及大西洋年代际振荡 (Atlantic multidecade oscillation, AMO) 记录、社会政治事件等的时间序列进行对比研究, 探讨该时期贵州地区干湿变化及对人类活动的影响。

## 1 研究区概况

贵州地处我国西南腹地(图1), 境内地势西高东低, 自中部向北、东、南三面倾斜, 山高坡陡, 地质构造复杂, 素有“八山一水一分田”之说。植被主要是以松属(*Pinus*) 和栎属(*Quercus*) 为主的混交林<sup>[19]</sup>。但喀斯特地貌表土脆弱, 加上人类活动的影响, 使原生森林植被多被破坏。如康熙《贵州通志序》记载“今黔田多石, 而维草其宅, 土多瘠而舟楫不通”<sup>[20]</sup>。贵州地区降水主要分布于4~10月, 其水汽主要来源于南亚季风和东亚季风携带<sup>[1]</sup>(图1), 受到西北太平洋副热带高压<sup>[21]</sup>和南亚高压<sup>[22]</sup>的影响。但由于大气环流变化及地形复杂等因素, 使气候多样性、不稳定性明显, 灾害性天气较多。旱涝灾害是贵州各种自然灾害中发生频率最多、危害最严重的灾害类型, 一般多发生于夏季。其中在明清时期洪灾的发生频率较旱灾的更高, 但是其影响范围较早灾的更小<sup>[13]</sup>。



注: 高程数据来自中国科学院资源环境科学数据中心, <http://www.resdc.cn/>; 石漠化分布数据来自喀斯特科学数据中心, <http://www.karstdata.cn/>。

图1 贵州地区地理位置、相关研究点及石漠化分布图  
Fig.1 Geographical locations of Guizhou region, distributions of related researches sites and rocky desertification area

## 2 研究数据与方法

### 2.1 数据来源、湿润指数的建立及可靠性检验

由于明朝早期贵州地区仍欠发达, 1470年以

前有关旱涝记录极少, 难以反映真实湿润情况, 故本文根据《贵州历代自然灾害年表》<sup>[23]</sup>和《中国气象灾害大典: 贵州卷》<sup>[24]</sup>, 统计了1470~1949年贵州地区每5年的旱涝记录, 并对重复条目进行多次甄别、筛选后, 再查找其他资料加以确定。

为将定性的史料记录转化为定量的气候参数, 以反映气候偏干或偏湿的程度, 本文参照前人<sup>[15,16]</sup>提出的湿润指数概念, 采用下式计算该时间段的湿润指数:

$$I = 2 \times (F - D) \div (F + D) \quad (1)$$

式中:  $I$  为湿润指数;  $F$  和  $D$  分别表示洪涝和干旱时间的次数;  $I$  值越大代表研究区域气候越湿润;  $I$  值越小代表气候越干旱。此方法把旱涝的漏记、断缺和散失的情况看作有相同的随机性, 以此消除资料不均匀的弊病, 免去了对灾情文字描述的处理, 减少人为误差<sup>[25]</sup>。

为辨识该旱涝指数能否较好地反映研究时段贵州地区干湿变化情况, 本文先后用《中国近五百年旱涝等级分布图集》及其续补<sup>[17,18]</sup>中贵阳站点的旱涝等级数据、董哥洞石笋稳定氧同位素( $\delta^{18}O$ )数据<sup>[26]</sup>(图1)与其进行相关性分析, 以检验资料的可靠性以及该序列指示干湿变化的可行性。

由于上述数据离散、非线性且不服从正态分布, 故采用通用性较强的基于互信息 (Mutual information) 的相关分析方法<sup>[27]</sup>。互信息可用来度量两个随机变量  $X$ ,  $Y$  间的相互依赖程度。此前通过该方法有效判断长江上游径流待选预报因子 (输入变量) 与预报变量之间的相互关系, 证明基于互信息在非线形相关分析具有良好的通用性与均等性<sup>[28]</sup>。引入离散型随机向量  $(X, Y)$ , 其信息熵分别为  $H(X)$ 、 $H(Y)$ , 联合分布律为  $P(x_i, y_j)$ , 则互信息  $I(X, Y)$  可表示为:

$$I(X, Y) = H(X) + H(Y) - H(X|Y) \quad (2)$$

为了比较不同对变量之间的相关程度, 本文参照丁晶等<sup>[29]</sup>提出的广义相关系数  $R_g$  概念, 对互信息进行标准化处理, 并在 MATLAB 软件平台中完成计算。

### 2.2 时间序列分析

本文使用了滑动平均和小波分析两种时间序列分析方法。为消除湿润指数、南亚夏季风指数 (South Asian Summer Monsoon Index, SASMI) 中的随机起伏, 本文采用等权中心平滑法<sup>[30]</sup>以利用点

函数值表示其确定性变化规律。小波分析使用 Torrence 等<sup>[31]</sup>的方法,通过定量古生物学软件 PAST3<sup>[32]</sup>,对湿润指数序列进行 Morlet 小波变换和功率谱分析,并对其结果进行 95% 的红噪声检验,以提取其周期信号。Morlet 小波系数的实部能够反映该序列不同时间尺度的周期变化及在时间域中的分布,其变化趋势与信号的起伏基本一致; Morlet 小波系数的模值是不同时间尺度变化周期所对应的能量密度在时间域中分布的反映,模值愈大,表明其所对应时段或尺度的周期性就愈强<sup>[33]</sup>。

### 3 结果分析

#### 3.1 灾害统计结果及基于此的湿润指数可靠性检验

据历史文献统计,贵州地区在 1470 年以来的明清时期共发生洪灾 453 次、旱灾 354 次。基于互信息的湿润指数可靠性检验表明,重建的湿润指数序列与旱涝等级序列之间的相关系数  $R'_g = 0.479 2$ 、与董哥洞石笋(图 1)  $\delta^{18}O$  序列之间的相关系数  $R''_g = 0.791 4$ ; 与丁晶等<sup>[29]</sup>提供的广义相关系数的分位值表在 0.01 置信水平下的分位值  $R_g$  进行比较,得到  $R'_g$  与  $R''_g$  均大于  $R_g$ , 变量间广义相关,且相关性较强。因此,本研究建立的干湿序列较为可靠,能够指示区域的干湿变化。

#### 3.2 1470~1949 年贵州地区的干湿变化过程

为进一步表现贵州地区 1470~1949 年湿润程度变化,本文对湿润指数分别作 15、25 和 75 年的滑动平均(图 2)。总体而言,该时段贵州地区的气候以偏湿为主: 15 世纪末气候偏干,16 世纪较湿润; 在 17 世纪前期的偏干后,从 17 世纪中期至 20 世纪前期经历了一个长期较稳定的湿润期。

在十年至百年的时间尺度上,从 15 世纪末期至 16 世纪末期,贵州气候总体偏湿,与董哥洞(图 1、图 3)石笋  $\delta^{18}O$ <sup>[34]</sup>记录的湿润期一致,其中 1470~1500 年湿润指数整体处于低值并有增大趋势。16 世纪经历湿→干→湿 3 个阶段,其中干旱期为 1530~1560 年,偏干程度较大,对应于贵州草海(图 1)沉积物记录中的偏干期(1540~1570 年)<sup>[10]</sup>。17 世纪前期至 17 世纪中期,贵州总体较干旱,偏干程度比前一干旱期小; 17 世纪中期至 18 世纪后期,贵州总体偏湿,且 1725 年后偏

湿程度逐步下降,与董哥洞石笋记录的湿润期(1700~1800 年)<sup>[35]</sup>相一致。1800~1830 年经历短暂干旱期后,19 世纪至 20 世纪前期贵州总体湿润,湿润程度呈“M”型变化趋势,与旱涝等级序列相吻合(图 3),对应于南亚夏季风影响下的达索普冰芯记录中的高降水期<sup>[36]</sup>。1850~1900 年湿润指数偏低,与董哥洞石笋 1835~1900 年降水减少的半湿润期相吻合。此外,对比本文干湿序列与西南地区温度变化研究成果,发现 15 世纪末期的偏干期与王绍武等<sup>[37]</sup>提出的“小冰期”第三次寒冷阶段(1450~1510 年)对应; 而 17 世纪

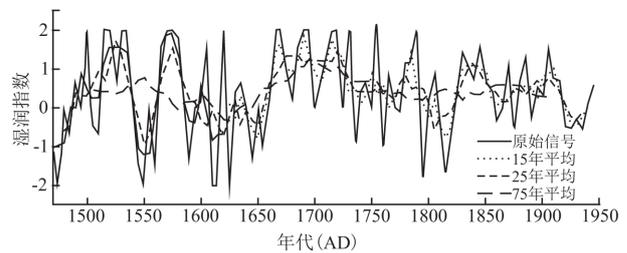


图 2 1470~1949 年贵州地区的湿润指数及其在不同时长的滑动平均

Fig. 2 Humidity index of Guizhou region during 1470~1949 with different time scales of moving average

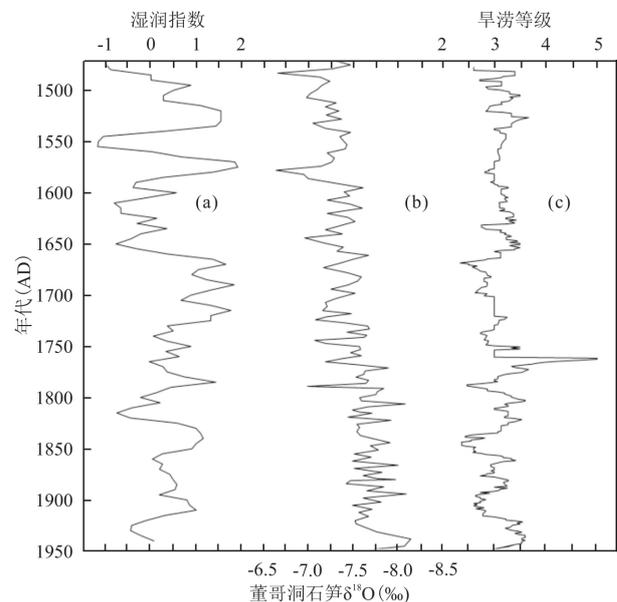


图 3 贵州地区干湿变化过程相关记录对比:

(a) 贵州干湿序列(15 年滑动平均); (b) 贵州董哥洞  $\delta^{18}O$ <sup>[26]</sup>; (c) 贵阳站旱涝等级<sup>[17,18]</sup>(15 年滑动平均)

Fig. 3 Comparison of relevant records of the humidity variation processes in Guizhou region: (a) Guizhou humidity index(15-year moving average); (b) speleothem isotopic records from Guizhou Dongge Cave; (c) drought and flood level of Guiyang station(15-year moving average)

中期至 18 世纪后期的湿润期则对应于古里雅冰芯记录的温暖期( 1691~1790 年)<sup>[38]</sup>, 表明贵州地区干湿变化与温度变化可能存在联系, 但其具体机制仍有待进一步研究。

### 4 讨论

#### 4.1 1470~1949 年贵州地区干湿变化周期

Morlet 小波分析的结果表明( 图 4), 贵州地区在 1470~1949 年的干湿程度主要存在 128~155 年、32~55 年、11~20 年三个尺度的变化周期。其中, 128~155 年周期与印度中部 Jhumar 洞石笋  $\delta^{18}O$  记录的周期一致( 132 年)<sup>[39]</sup>, 且与指示太阳活动变化的大气  $\Delta^{14}C$ ( 149、130 年)<sup>[40]</sup>、树轮<sup>14</sup>C 产率( 148 年)<sup>[41]</sup> 变化周期相对应; 32~55 年振荡周期在 16 世纪表现稳定, 分别有 1530 和 1570 年两个湿润中心以及 1550、1590 年两个干旱中心, 干湿变化的能量主要集中该时间尺度的演变上。此外, 该尺度与贵州 500 年旱涝序列( 32 年)<sup>[42]</sup>、云南昆明 1322~2013 年旱涝历史( 39 年)<sup>[43]</sup>、云南丽江程海沉积物化学组分记录( 50 年)<sup>[44]</sup> 所具有的周期一致; 11~20 年尺度在 1520、1620、1750 年左右较明显, 与贵州七星洞 QX-3 石笋  $\delta^{18}O$  序列<sup>[45]</sup>( 图 1) 的 14 年尺度周期和受南亚季风影响明显的昆明旱涝变化周期性分析结果

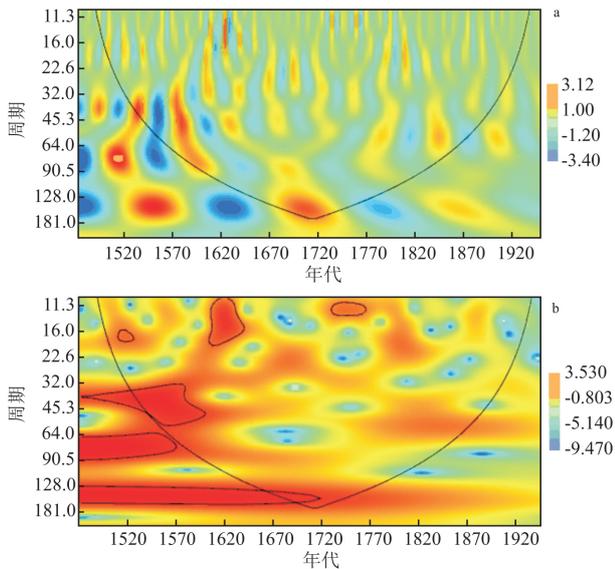


图 4 贵州地区 1470~1949 年湿润指数 Morlet 小波变换( a) 实部、( b) 模

Fig. 4 The ( a) real part and ( b) modules of the Morlet wavelet transform coefficients of Guizhou region humidity index during 1470~1949

( 11 年)<sup>[46]</sup>一致, 也同时对应于 11 年左右的太阳活动频繁周期<sup>[47]</sup>。以上 3 个不同尺度的周期反映出本文重建序列较为清晰地记录了太阳辐射强度、太阳活动变化的信息, 并对明清小冰期贵州地区的干湿变化表现良好; 此外, 南亚夏季风是该区域气候变化的重要影响因素。

#### 4.2 贵州地区 1470 年以来干湿变化的受控机制

贵州地区处于我国的典型季风区, 其干湿变化必然受到亚洲季风的影响。将本文重建的贵州地区干湿变化( 图 5a) 与南亚季风影响下的树轮重建的过去千年南亚夏季风指数( SASMI)<sup>[48]</sup>进行对比( 图 5b), 发现 16 世纪后期以来, 两者在长期趋势以及十到百年尺度上都有较好的一致性, 反映了在该时期贵州地区主要受南亚夏季风的控制。如 1600~1650 年, SASMI 整体较低的同时, 贵州出现明显的干旱特征; 17 世纪后期至 20 世纪末 SASMI 较强则对应于贵州地区一段相对稳定的湿润期; 20 世纪初 SASMI 减弱后, 干湿序列出现一个明显谷值。此外, 在 19 世纪两者都出现一致的“W”型相对波动特征。

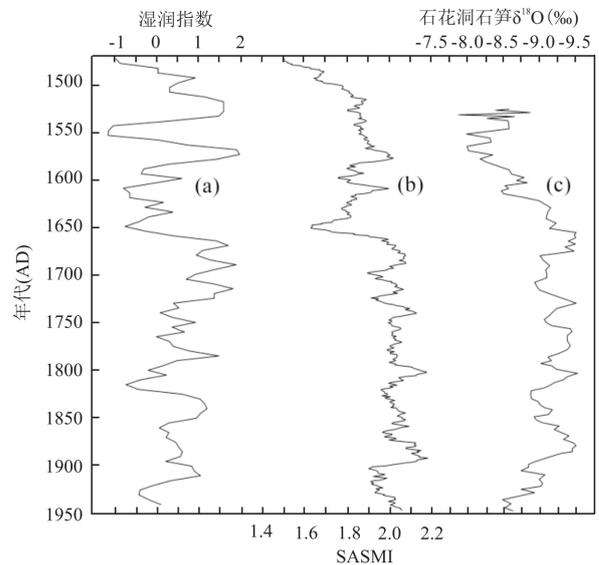


图 5 贵州地区干湿变化与亚洲季风相关记录对比: ( a) 贵州干湿序列( 15 年滑动平均); ( b) 南亚夏季风指数( SASMI)<sup>[48]</sup>( 11 年滑动平均); ( c) 北京石花洞  $\delta^{18}O$ <sup>[49]</sup>

Fig. 5 Comparison of the humidity variation in Guizhou region with the Asian monsoon records: ( a) Guizhou humidity index( 15-year moving average); ( b) reconstruction of the South Asian Summer Monsoon Index( SASMI, 11-year moving average); ( c) Beijing Shihua Cave

北京石花洞(图 5c) 受南亚季风影响小, 其降水水汽主要来源于东亚夏季风, 从而其石笋  $\delta^{18}O$  值可较好地表现东亚夏季风强度变化<sup>[49]</sup>。对比石花洞石笋  $\delta^{18}O$  序列与本文干湿序列(图 5a) 发现, 在湿润指数出现明显谷值时,  $\delta^{18}O$  值为明显峰值, 两者呈现一定程度上的反相关关系, 但这一特征在 18 世纪前及 20 世纪后较不明显。此外, 主要受东亚季风影响的内蒙古包头地区的树轮记录<sup>[50]</sup> 中, 东亚夏季风的强盛时段(1742~1747、1765~1778、1800~1810、1814~1832、1852~1861、1870~1890、1914~1925、1943~1954 年) 与较弱时段(1748~1764、1779~1799、1811~1813、1833~1851、1862~1869、1891~1913、

1926~1942 年) 中绝大部分时段均与贵州干湿序列呈现反相关关系。这一特征吻合年际和年代际时间尺度下, 对东亚夏季风与南亚夏季风的强度变化反相关关系的众多研究<sup>[51~53]</sup>。

结合前人对南亚季风降水与 ENSO 循环的关系研究<sup>[54,55]</sup>, 进一步将本文重建的湿润指数(图 6a) 与基于北美树轮记录重建的 ENSO 变化序列<sup>[56]</sup>(图 6b) 进行对比, 发现两者的变化也具有较明显的同步性。可能反映了 ENSO 通过影响南亚季风强度, 对贵州干湿状况产生重要影响。其中在 El Niño 年南亚季风减弱, 贵州地区气候偏干; 而 La Niña 年南亚季风加强, 贵州地区气候偏湿。

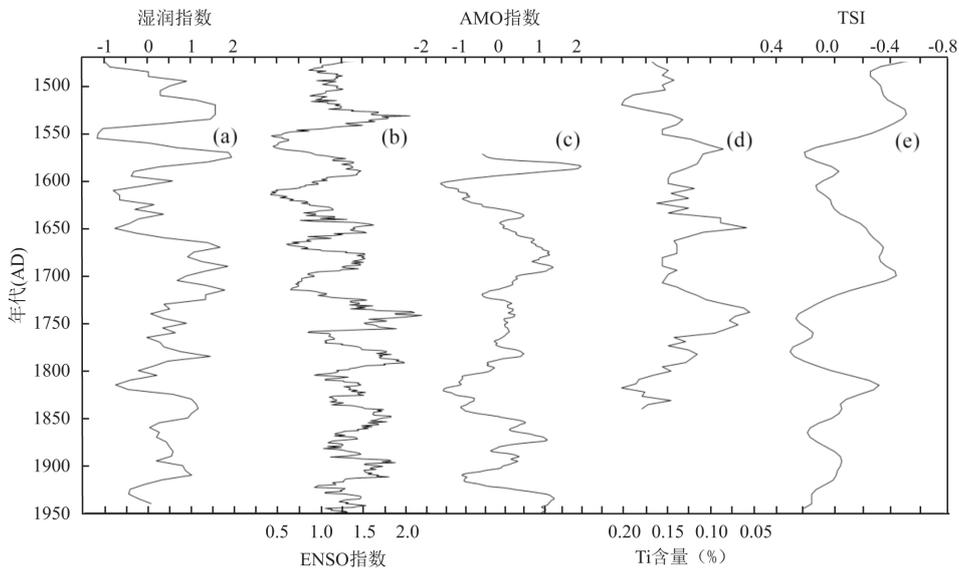


图 6 贵州地区干湿变化与大气/大洋环流变化及太阳活动相关记录对比: (a) 贵州干湿序列(15 年滑动平均); (b) 北美 ENSO 指数<sup>[56]</sup>; (c) 大西洋年代际振荡(AMO) 指数<sup>[57]</sup>; (d) Cariaco 盆地沉积物钛(Ti) 含量<sup>[58]</sup>; (e) 太阳总辐照度(TSI) <sup>[59]</sup>

Fig. 6 Comparison of the humidity variation in Guizhou region with atmospheric/oceanic circulation changes and solar activity records: (a) Guizhou humidity index(15~year moving average); (b) the reconstructed El Niño/Southern Oscillation(ENSO) Index; (c) Atlantic Multidecadal Oscillation(AMO) Index; (d) Titanium concentration in Cariaco Basin sediment; (e) the reconstructed total solar irradiance

大量研究也表明, 与温盐环流密切相关的 AMO 对维持全球气候系统能量平衡起着重要作用, 对南亚夏季风有重要影响<sup>[60~65]</sup>, 其中赤道辐合带(Intertropical Convergence Zone, ITCZ) 北移导致降水增加是可能影响机制之一<sup>[65]</sup>。对比 Gray 等<sup>[57]</sup> 基于树轮重建的 AMO 指数(图 6c)、能够反映 ITCZ 移动的 Cariaco 盆地 Ti 元素积累量变化(图 6d)<sup>[66]</sup> 和本文重建的干湿变化序列(图 6a), 发现 AMO 指数与干湿序列表现出很好的同步

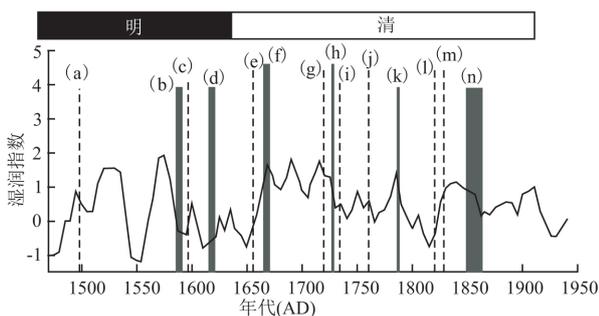
性, 各干湿期几乎一一对应, 表明 AMO 暖(正) 位相将加强南亚夏季风, 导致更多的降水; 但 Ti 含量与干湿序列仅在 17 世纪表现一致, 从 18 世纪后期开始, ITCZ 呈现北移趋势时, 湿润指数与 AMO 指数均显著下降(图 6a, c, d)。因此, AMO 对南亚夏季风的影响机制还有待进一步研究, 如需考虑到其对南亚地区对流层温度梯度的加强作用<sup>[60,62]</sup>。

太阳活动状况的变化引起太阳辐射能量增

强或减弱,也影响到大气环流和气候的相应变化。周期分析表明(图 4),贵州地区的干湿变化具明显的太阳活动变化周期。进一步对比太阳总辐照度(TSI)序列<sup>[59]</sup>(图 6e)与本文干湿序列(图 6a)发现,在 17~19 世纪期间,湿润指数与 TSI 呈现明显的反相变化关系(如 1525~1530、1680~1700 年,TSI 峰值与湿润指数谷值对应良好)。但 20 世纪以来,两者没有明显的相位关系。研究表明<sup>[67]</sup>,在小冰期至 1850 年期间,太阳活动对气候变化起着主要影响;但从 1900 年起,随着人类活动影响的增大,太阳活动的影响在减小。因此,贵州干湿变化与 TSI 在 20 世纪后缺乏一致性的原因可能与人类活动的增加有关。

#### 4.3 明清时期贵州旱涝灾害及干湿变化对人类活动的可能影响

气候变化不仅有鲜明的自然属性,还有非常重要的社会属性<sup>[4]</sup>。由以上分析可知,研究区的干湿程度在进入 20 世纪后,可能受到增强的人类活动的明显影响。在人地关系研究越来越受到重视的背景下,在其他时间段内,干湿变化与人类活动的关系也是本文尝试探讨的。其中在国家与地方政权的动荡情况方面,贵州地区明、清时期起义与反叛频发<sup>[68-70]</sup>(图 7),且发生时段绝大部分对应于本文重建的湿润指数谷值期或干湿变化幅度较大时期。



- (a) 以阿贾等领导的反抗; (b) 播州杨应龙反叛; (c) 以阿万等为首的起义; (d) 水西安邦彦反叛; (e) 水西安氏反叛; (f) 吴三桂反叛; (g) 黎平谬冲花苗起义; (h) 古州苗民起义; (i) 石金元起义; (j) 桐梓民变; (k) 乾嘉大起义; (l) 开泰县马绍汤等起义; (m) 以穆继贤等为领导的起义; (n) 咸同贵州各族农民起义

图 7 1470~1949 年贵州干湿序列(15 年滑动平均)及期间所发生的起义和反叛<sup>[68-70]</sup>

Fig. 7 Relationship between humidity index of Guizhou region (15-year moving average) and rebellions occurred during 1470-1949

在 17 世纪气候偏干且干湿波动较大的时期(图 7),贵州地区先后发生 5 次起义与反叛,同时人口曲折发展<sup>[71]</sup>、耕地有所减少<sup>[72]</sup>;而此后约半个世纪的相对湿润期内,SASMI 与 TSI 偏高(图 5b, 6e),光热与水分条件良好,社会环境和平稳定,人口增长迅速,农田水利得到前所未有的发展<sup>[71, 73]</sup>。1725 年偏湿程度下降后的百年内,贵州地区共发生 4 次起义与反叛,发生频率显著增加,同时人口与粮食的矛盾开始显现,贵州人口缓慢发展<sup>[71]</sup>,耕地开垦进程缓慢<sup>[72]</sup>。发生于 1854~1874 年间的咸同贵州各族农民起义为本文研究时段内持续时间最长的一次起义,贵州地方各族居民之间争夺生存空间的矛盾空前激烈,而这对应于本文重建的湿润指数偏低时期,当时的人口增加现状与耕地面积扩大需求严重失衡<sup>[74]</sup>。

以上反映了在平地少而山地多的地貌条件下,气候干旱程度的增强使贵州地区因人口增加所带来的粮食需求难以得到满足,人口数量和耕地面积随之也受到影响。而耕地面积除社会条件之外,还与当地土壤的成土母质相关。贵州石灰岩大面积分布,是喀斯特地貌分布最集中的省份,出现了极具地域特征的生态地质环境灾害—石漠化。前人对历史时期贵州石漠化状况的估算结果<sup>[75]</sup>表明,从明末清初至清末,贵州石漠化面积快速增加。这在一定程度上反映了大规模农业开发与人口增长在喀斯特地貌条件下具备较强的生态破坏性,山地景观沿“森林或灌丛→耕地→裸岩”方向演变<sup>[76]</sup>,旱涝灾害影响了地表状况(如土壤含水量、地表稳定性等),地表土壤不断流失殆尽直至下伏基岩大面积出露,从而使灾害事件更易发生并且其影响加剧。可见,在以农业社会为主体且地理环境易受自然灾害影响的贵州地区,气候湿润程度降低致使土地生产力下降、人地矛盾加剧,是引发国家与地方政权之间社会矛盾的重要原因。

## 5 结论

(1) 1470~1949 年间贵州地区气候总体偏湿,其中 1550 年左右及 17、19 世纪上半叶为湿润指数明显偏低期,17 世纪中期至 20 世纪前期经历显著的稳定湿润期;此外,具有 128~155 年、32~55 年、11~20 年 3 个尺度的干湿变化周期,与太阳辐射强度、太阳活动相关。本文重建的湿

润指数和贵州草海沉积物、董哥洞石笋记录及南亚夏季风影响下的其他地区研究成果有很好的对应关系,反映基于历史文献资料重建的干湿序列与地质记录之间有较好的一致性。

(2) 贵州地区小冰期干湿程度主要受南亚夏季风控制,而季风强度与 ENSO、AMO 等因素具有较好的相关性,进而影响着当地的干湿状况。其中 La Niña 年、AMO 暖(正)位相时南亚夏季风加强,降水增多,湿润指数越偏正。此外,该区域干湿序列也反映了明清时期南亚夏季风与东亚夏季风存在反相位关系。这在一定程度上反映了本文重建的贵州地区小冰期干湿程度变化真实地记录了当时的气候变化及其受控因素。

(3) 明清小冰期贵州地区旱涝灾害及干湿变化与人类活动密切相关,并影响到地表生态环境。气候干旱使贵州地区人口增加所带来的粮食需求难以得到满足,加之灾害频繁致使土地生产力降低,耕地面积减少,人地矛盾加剧,是引发社会动荡及农民起义的重要原因。

## 参考文献:

- [1] 张新主. 西南地区水汽输送特征分析 [D]. 长沙: 湖南师范大学, 2011.  
ZHANG X Z. Analysis on the feature of moisture flux over southwest China [D]. Changsha: Hunan Normal University, 2011.
- [2] MATTHES F E. Report of committee on glaciers [J]. *Eos Trans Agü*, 1939, 20(2): 518-523.
- [3] 易山明. 明朝灭亡与“小冰期” [J]. 华北水利水电大学学报(社会科学版), 2015(5): 145-148.  
YI S M. The demise of Ming dynasty and the Little Ice Age [J]. *Journal of North China University of Water Resources and Electric Power (Social Science Edition)*, 2015(5): 145-148.
- [4] 李忠明, 张映丽. 论明清易代与气候变化之关系 [J]. 学海, 2011(5): 159-163.  
LI Z M, ZHANG Y L. The relationship between changes of Ming and Qing dynasties and climate change [J]. *Academia Bimestrie*, 2011(5): 159-163.
- [5] 徐蕊. 明清时期中国大陆的气候变化 [J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2009, 30(6): 67-70.  
XU R. The climate of Chinese continent change in Ming and Qing dynasties [J]. *Journal of Capital Normal University (Natural Science Edition)*, 2009, 30(6): 67-70.
- [6] 曹罗丹, 李加林, 叶持跃, 等. 明清时期浙江沿海自然灾害的时空分异特征 [J]. 地理研究, 2014, 33(9): 1778-1790.  
CAO L D, LI J L, YE C Y, et al. Spatial-temporal variations in natural disasters of the coastal regions in Zhejiang Province during Ming and Qing dynasties [J]. *Geographical Research*, 2014, 33(9): 1778-1790.
- [7] 唐国华, 胡振鹏. 气候变化背景下鄱阳湖流域历史水旱灾害变化特征 [J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(8): 1274-1283.  
TANG G H, HU Z P. Change characteristics of historical flood and drought disasters in Poyang Lake Basin with a view to climate change [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2017, 26(8): 1274-1283.
- [8] 覃嘉铭, 袁道先, 林玉石, 等. 公元 8 世纪以来贵州荔波石笋高分辨率的气候变化记录 [J]. 中国岩溶, 2008, 27(3): 266-272.  
QIN J M, YUAN D X, LIN Y S, et al. High resolution stalagmite records of climate change since 800a A. D. in Libo, Guizhou [J]. *Carsologica Sinica*, 2008, 27(3): 266-272.
- [9] 赵成, 王北荣, 陶凯, 等. 贵州龙泉洞石笋在距今 1600 至 250 年间的古气候古环境重建 [J]. 自然杂志, 2004, 26(4): 209-214.  
ZHAO C, WANG B R, TAO K, et al. Reconstruction of the paleoclimate and paleoenvironment of a stalagmite from Longquan Cave, Guizhou between 1600~250 a [J]. *Chinese Journal of Nature*, 2004, 26(4): 209-214.
- [10] 朱正杰, 陈敬安, 曾艳. 草海地区过去 500 年来古温度重建: 来自沉积物纤维素结合碳酸盐氧同位素的证据 [J]. 中国科学: 地球科学, 2014(2): 250-258.  
ZHU Z J, CHEN J A, ZENG Y. Paleotemperature variations at Lake Caohai, southwestern China, during the past 500 years: evidence from combined  $\delta^{18}O$  analysis of cellulose and carbonates [J]. *Science China: Earth Sciences*, 2014(2): 250-258.
- [11] 龚高法编. 历史时期气候变化研究方法 [M]. 北京: 科学出版社, 1983.  
GONG G F. Research methods on climate change in historical periods [M]. Beijing: Science Press, 1983.
- [12] 蒋庆丰, 游珍, 徐刚. 贵州历史自然灾害的时空分布规律及综合区划 [J]. 地域研究与开发, 2002(1): 84-88.  
JIANG Q F, YOU Z, XU G. Laws of time-space distribution of historical natural disasters in Guizhou and its comprehensive regionalization [J]. *Areal Research and Development*, 2002(1): 84-88.
- [13] 严奇岩. 明清贵州水旱灾害的时空分布及区域特征 [J]. 中国农史, 2009, 28(4): 54-62.  
YAN Q Y. Spatial and temporal distribution and regional characteristics of flood and drought disasters in Guizhou during the Ming and Qing dynasties [J]. *Agricultural History of China*, 2009, 28(4): 54-62.
- [14] 周承, 彭法. 明代贵州自然灾害特征及其成因研究 [J]. 农业考古, 2013(4): 121-126.  
ZHOU C, PENG F. A study on the characteristics and causes of natural disasters in Guizhou in Ming dynasty [J]. *Agricultural Archaeology*, 2013(4): 121-126.
- [15] 郑斯中. 我国东南地区近两千年气候湿润状况的变化

- [A]//中央气象局研究所. 气候变迁和超长期预报文集 [C]. 北京: 科学出版社, 1977: 29-32.  
ZHENG S Z. Humidity variation in southeast China in recent two thousand years [A]//China meteorological administration. Anthology of climate change and super long term forecast [C]. Beijing: Science Press, 1977: 29-32.
- [16] ZHANG Q, CHEN J, BECKER S. Flood/drought change of last millennium in the Yangtze delta and its possible connections with Tibetan climatic changes [J]. *Global and Planetary Change*, 2007, 57(3-4): 213-221.
- [17] 中央气象局气象科学研究所. 中国近五百年旱涝分布图集 [M]. 北京: 地图出版社, 1981.  
Chinese academy of meteorological sciences. Maps of drought and flood distribution in China in recent five hundred years [M]. Beijing: Sinomap press, 1981.
- [18] 张德二, 刘传志. 《中国近五百年旱涝分布图集》续补(1980-1992年) [J]. *气象*, 1993(11): 41-45.  
ZHANG D E, LIU C Z. A supplement to "maps of drought and flood distribution in China in recent five hundred years" (1980-1992) [J]. *Meteorological Monthly*, 1993(11): 41-45.
- [19] 陈佩英, 周启承. 贵州威宁 15000 年来的古环境——南屯泥炭层剖面研究 [J]. *贵州地质*, 1991(2): 47-60.  
CHEN P Y, ZHOU Q C. Palaeoenvironment from 15000a. B. P. to the present in Weining County, Guizhou: A study of Nantun peat-bed section [J]. *Geology of Guizhou*, 1991(2): 47-60.
- [20] 韩昭庆. 雍正王朝在贵州的开发对贵州石漠化的影响 [J]. *复旦学报(社会科学版)*, 2006(2): 120-127.  
HAN S Q. Exploitation of Guizhou Province during the Yongzheng reign-period and its effect on the rock-desertification in this area [J]. *Fudan Journal (Social Sciences)*, 2006(2): 120-127.
- [21] 罗喜平. 大气环流因子在贵州夏季旱涝形成中的作用 [J]. *贵州气象*, 2003(5): 12-14.  
LUO X P. The role of atmospheric circulation factor in the formation of drought and flood in Guizhou in summer [J]. *Mid-low Latitude Mountain Meteorology*, 2003(5): 12-14.
- [22] 杜银, 谢志清. 中国西南地区夏季降水的年际变化及与南亚高压的关系 [J]. *高原山地气象研究*, 2002, 22(4): 8-13.  
DU Y, XIE Z Q. The interannual variation of summer precipitation in southwest China and its relationship with South Asian high pressure [J]. *Plateau and Mountain Meteorology Research*, 2002, 22(4): 8-13.
- [23] 贵州省图书馆. 贵州历代自然灾害年表 [M]. 贵州: 贵州人民出版社, 1981.  
Guizhou Library. Chronology of natural disasters in Guizhou [M]. Guizhou: Guizhou People's Publishing House, 1981.
- [24] 《中国气象灾害大典》编委会. 中国气象灾害大典 贵州卷 [M]. 北京: 气象出版社, 2006.  
Editor's committee of China meteorological disaster ceremony. Guizhou volume of China meteorological disaster ceremony [M]. Beijing: China Meteorological, 2006.
- [25] 许协江. 我国利用历史文献研究气候变化的进展 [J]. *气象科技*, 1988(2): 52-57.  
XU X J. Progress of researches on climate change using historical documents in China [J]. *Meteorological Science and Technology*, 1988(2): 52-57.
- [26] WANG Y, CHENG H, EDWARDS R L, et al. The Holocene Asian monsoon: links to solar changes and North Atlantic climate [J]. *Science*, 2005, 308(5723): 854-857.
- [27] 梁吉业, 冯晨娇, 宋鹏. 大数据相关分析综述 [J]. *计算机学报*, 2016, 39(1): 1-18.  
LIANG J Y, FENG C J, SONG P. A survey on correlation analysis of big data [J]. *Chinese Journal of Computers*, 2016, 39(1): 1-18.
- [28] 龚伟, 杨大文. 水文变量高维非线性相关分析与水文模型结构不确定性评估 [J]. *水力发电学报*, 2013, 32(5): 13-20.  
GONG W, YANG D W. High-dimensional nonlinear correlation analysis of hydrological variables and model structure uncertainty qualification [J]. *Journal of Hydroelectric Engineering*, 2013, 32(5): 13-20.
- [29] 丁晶, 王文圣, 赵永龙. 以互信息为基础的广义相关系数 [J]. *四川大学学报(工程科学版)*, 2002, 34(3): 1-5.  
DING J, WANG W S, ZHAO Y L. General correlation coefficient between variables based on mutual information [J]. *Journal Of Sichuan University (Engineering Science Edition)*, 2002, 34(3): 1-5.
- [30] 裴益轩, 郭民. 滑动平均法的基本原理及应用 [J]. *火炮发射与控制学报*, 2001(1): 21-23.  
PEI Y X, GUO M. The fundamental principle and application of sliding average method [J]. *Journal of Gun Launch & Control*, 2001(1): 21-23.
- [31] TORRENCE C, COMPO G P. A practical guide to wavelet analysis [J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1998(No. 1): 61.
- [32] 黄冰, HARPER D A T, HAMMER. 定量古生物学软件 PAST 及其常用功能 [J]. *古生物学报*, 2013(2): 161-181.  
HUANG B, HARPER D A T, HAMMER. Introduction to Past, a comprehensive statistics software package for paleontological data analysis [J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 2013(2): 161-181.
- [33] 尤卫红. 气候变化的多尺度诊断分析和预测的多种技术方法研究 [M]. 北京: 气象出版社, 1998.  
YOU W H. Studies on multi-scale diagnostic analysis and prediction of climate change. [M]. Beijing: China Meteorological Press, 1998.
- [34] 张美良, 程海, 林玉石, 等. 贵州荔波地区 2000 年来石笋高分辨率的气候记录 [J]. *沉积学报*, 2006, 24(3): 339-348.  
ZHANG M L, CHENG H, LIN Y S, et al. High-resolution climatic record from a stalagmite in the past 2000 years in Libo,

- Guizhou Province [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2006, 24(3): 339-348.
- [35] 张美良,朱晓燕,程海,等. 贵州荔波 1200 年来石笋高分辨率的古气候环境记录 [J]. *地球学报*, 2009, 30(6): 831-840.
- ZHANG M L, ZHU X Y, CHENG H, et al. High resolution paleoenvironment record of stalagmite in Libo, Guizhou [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2009, 30(6): 831-840.
- [36] 姚檀栋,段克勤,田立德,等. 达索普冰芯积累量记录和过去 400a 来印度夏季风降水变化 [J]. *中国科学: 地球科学*, 2000, 30(6): 619-627.
- YAO T D, DUAN K Q, TIAN L D, et al. Dathoup ice core accumulation record and the precipitation change of India summer monsoon during the past 400a [J]. *Scientia Sinica(Terrae)*, 2000, 30(6): 619-627.
- [37] 王绍武,叶瑾琳,龚道溢. 中国小冰期的气候 [J]. *第四纪研究*, 1998, 18(1): 54-64.
- WANG S W, YE J L, GONG D Y. Climate in China during the Little Ice Age [J]. *Quaternary Sciences*, 1998, 18(1): 54-64.
- [38] 姚檀栋,杨梅学,康兴成. 从古里雅冰芯与祁连山树轮记录看过去 2000 年气候变化 [J]. *第四纪研究*, 2001, 21(6): 514-519.
- YAO T D, YANG M X, KANG X C. Comparative study of the climate changes in the past 2000 years by using ice core and tree ring records [J]. *Quaternary Sciences*, 2001, 21(6): 514-519.
- [39] 余小霞. 近千年印度季风的多尺度分析 [D]. 南京: 南京师范大学, 2013.
- YU X X. Multiscale analysis of Indian monsoon over the past thousand years [D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2013.
- [40] DAMON P E, PERISTYKH A N. Radiocarbon calibration and application to geophysics, solar physics, and astrophysics [J]. *Radiocarbon*, 2016, 42(1): 137-150.
- [41] 殷自强,刘冬雁,庞重光,等. 全新世气候变化与太阳活动百千年尺度周期分析 [J]. *中国海洋大学学报: 自然科学版*, 2017, 47(7): 112-120.
- YIN Z Q, LIU D Y, PANG C G, et al. The centennial to millennial-scale cycles analysis of Holocene climatic variability and solar activity [J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2017, 47(7): 112-120.
- [42] 武文辉. 贵州 500 年旱涝分析及趋势预测 [J]. *贵州气象*, 1999(3): 15-20.
- WU W H. Analysis and trend forecast of drought and flood in Guizhou in 500 years [J]. *Mid-low Latitude Mountain Meteorology*, 1999(3): 15-20.
- [43] 刘东升,张虎才. 昆明 1322 年至 2013 年旱涝历史的重建 [J]. *云南地理环境研究*, 2015, 27(6): 8-14.
- LIU D S, ZHANG H C. Reconstruction the historical drought and flood disasters from 1322 to 2013 AD in Kunming [J]. *Yunnan Geographic Environment Research*, 2015, 27(6): 8-14.
- [44] 陈敬安,万国江,黄荣贵. 程海近代气候变化的化学记录 [J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2000, 20(1): 39-42.
- CHEN J A, WAN G J, HUANG R G. Recent climatic changes and the chemical records in Chenghai lake [J]. *Marine Geology&Quaternary Geology*, 2000, 20(1): 39-42.
- [45] 马乐,蔡演军,秦世江. 贵州七星洞石笋记录的最近 2300 年气候和环境变化 [J]. *地球环境学报*, 2015, 6(3): 135-144.
- MA L, CAI Y J, QIN S J. A high resolution paleoclimate record of the last 2300 years in stalagmite QX-3 from the Qixing Cave, Guizhou Province [J]. *Journal of Earth Environment*, 2015, 6(3): 135-144.
- [46] 严华生,谢应齐,赵筱青,等. 昆明近 300 年的旱涝变化规律 [J]. *热带气象学报*, 1998(2): 119-125.
- YAN H S, XIE Y Q, ZHAO X Q, et al. Evolution law of dryness and wetness of Kunming in recent 300 years [J]. *Journal of Tropical Meteorology*, 1998(2): 119-125.
- [47] 占腊生,何娟美,叶艺林,等. 太阳活动周期的小波分析 [J]. *天文学报*, 2006, 47(2): 166-174.
- ZHAN L S, HE J M, YE Y L, et al. Periodicity analysis of solar activity by wavelet analyzing method [J]. *Acta Astronomica Sinica*, 2006, 47(2): 166-174.
- [48] SHI F, LI J, WILSON R J. A tree-ring reconstruction of the South Asian summer monsoon index over the past millennium [J]. *Sci Rep*, 2014, 46739.
- [49] KU T L, LI H C. Speleothems as high-resolution paleoenvironment archives: records from northeastern China [J]. *Indian Academy of Sciences Proceedings Earth & Planetary Sciences*, 1998, 107(4): 321-330.
- [50] 刘禹,蔡秋芳,马利民,等. 树轮降水记录及东亚夏季风强弱变化——以内蒙古包头地区为例 [J]. *地学前缘*, 2001, 8(1): 91-97.
- LIU Y, CAI Q F, MA L M, et al. Tree ring precipitation records from Baotou and the East Asia summer monsoon variations for the last 254 years [J]. *Earth Science Frontiers*, 2001, 8(1): 91-97.
- [51] SUN S Q, YING M. Subtropical high anomalies over the western Pacific and its relations to the Asian monsoon and SST anomaly [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 1999, 16(4): 559-568.
- [52] ZHANG R H. Relations of water vapor transport from Indian monsoon with that over East Asia and the summer rainfall in China [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2001, 18(5): 1005-1017.
- [53] WANG B, CLEMENS S C, LIU P. Contrasting the Indian and East Asian monsoons: implications on geologic timescales [J]. *Marine Geology*, 2003, 201(1): 5-21.
- [54] 陶诗言. 亚洲冬夏季风对 ENSO 事件的响应 [J]. *大气科学*, 1998, 22(4): 399-407.
- TAO S Y. Response of the Asian winter and summer monsoon to ENSO events [J]. *Scientia Atmospherica Sinica*, 1998, 22

- (4): 399-407.
- [55] SHUKLA J, PAOLINO D A. The southern oscillation and long-range forecasting of the summer monsoon rainfall over India [J]. *Mon Wea Rew*, 1983, 111(9): 1830.
- [56] LI J, XIE S P, COOK E R, et al. Interdecadal modulation of El Nino amplitude during the past millennium [J]. *Nature Climate Change*, 2011, 1(2): 114-118.
- [57] GRAY S T, GRAUMLICH L J, BETANCOURT J L, et al. A tree-ring based reconstruction of the Atlantic Multidecadal Oscillation since 1567 A. D [J]. *Geophysical Research Letters*, 2004, 31(12): 261-268.
- [58] HAUG G H, HUGHEN K A, SIGMAN D M, et al. Southward migration of the intertropical convergence zone through the Holocene [J]. *Science*, 2001, 293(5533): 1304-1308.
- [59] STEINHILBER F, BEER J, FR HLICH C. Total solar irradiance during the Holocene [J]. *Geophysical Research Letters*, 2009, 36(19): 308-308.
- [60] FENG S, HU Q. How the North Atlantic Multidecadal Oscillation may have influenced the Indian summer monsoon during the past two millennia [J]. *Geophysical Research Letters*, 2008, 35(1): 548-562.
- [61] GOSWAMI B N, MADHUSOODANAN M S, NEEMA C P, et al. A physical mechanism for North Atlantic SST influence on the Indian summer monsoon [J]. *Geophysical Research Letters*, 2006, 33(2): GL024803.
- [62] LI S, PERLWITZ J, QUAN X, et al. Modelling the influence of North Atlantic multidecadal warmth on the Indian summer rainfall [J]. *Geophysical Research Letters*, 2008, 35(5): -.
- [63] LU R, DONG B, DING H. Impact of the Atlantic Multidecadal Oscillation on the Asian summer monsoon [J]. *Geophysical Research Letters*, 2006, 33(24): 194-199.
- [64] RAJEEVAN M, SRIDHAR L. Inter-annual relationship between Atlantic sea surface temperature anomalies and Indian summer monsoon [J]. *Geophysical Research Letters*, 2008, 35(21): 21704.
- [65] ZHANG R, DELWORTH T L. Impact of Atlantic Multidecadal Oscillations on India/Sahel rainfall and Atlantic hurricanes [J]. *Geophysical Research Letters*, 2006, 33(17): 123-154.
- [66] JIA G, BAI Y, YANG X, et al. Biogeochemical evidence of Holocene East Asian summer and winter monsoon variability from a tropical maar lake in southern China [J]. *Quaternary Science Reviews*, 2015, 11151-61.
- [67] LEAN J, RIND D. Evaluating sun-climate relationships since the Little Ice Age [J]. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 1999, 61(1-2): 25-36.
- [68] 贵州图史编委会. 贵州图史: 600年贵州大事记 [M]. 贵州大学出版社, 2013.
- Guizhou Pictures and history editorial committee. The pictures and history of Guizhou: a history of events in Guizhou in 600 years. Guizhou University Press, 2013.
- [69] 刘 钊. 清代苗族起义原因散论 [J]. *贵州文史丛刊*, 1993(2): 27-33.
- LIU Z. Reasons for the uprising of Miao in Qing dynasty [J]. *Guizhou Culture and History*, 1993(2): 27-33.
- [70] 贺永田. 近代贵州灾害述论 [J]. *长江论坛*, 2011(6): 61-68.
- HE Y T. Discussion on modern disaster in Guizhou [J]. *Yangtze Tribune*, 2011(6): 61-68.
- [71] 杨 斌. 清代前期贵州人口资料辨析 [J]. *中国人口科学*, 1996(4): 50-54.
- YANG B. Analysis of Guizhou population data in the early Qing dynasty [J]. *Chinese Journal of Population Science*, 1996(4): 50-54.
- [72] 张祥光. 明清贵州人口的发展对社会经济的影响 [J]. *贵州师范大学学报(社会科学版)*, 1998(3): 21-25.
- ZHANG X G. The impact of population development of Guizhou in Ming and Qing dynasties on social economy [J]. *Journal of Guizhou Normal University(Social Sciences)*, 1998(3): 21-25.
- [73] 沈德富. 清代贵州农田水利研究 [D]. 昆明: 云南大学, 2012.
- SHEN D F. Study on Guizhou irrigation and water conservancy in Qing dynasty [D]. Kunming: Yunnan University, 2012.
- [74] 林建曾. 重新审视咸同贵州各族农民起义——主要以号军起义为例 [J]. *贵州社会科学*, 2005(4): 153-156.
- LIN J Z. Re-examining the peasant uprising of all nationalities in Guizhou during Xiantong period: Taking the army uprising as an example [J]. *Social Sciences in Guizhou*, 2005(4): 153-156.
- [75] 程安云, 王世杰, 李阳兵, 等. 贵州省喀斯特石漠化历史演变过程研究及其意义 [J]. *水土保持通报*, 2010, 30(2): 15-23.
- CHENG A Y, WANG S J, LI Y B, et al. Evolution history of karst rocky desertification and its significance in Guizhou Province [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2010, 30(2): 15-23.
- [76] 李阳兵, 王世杰, 容 丽. 关于中国西南石漠化的若干问题 [J]. *长江流域资源与环境*, 2003, 12(6): 593-598.
- LI Y B, WANG S J, RONG L. Problems of karst rocky desertification in southwest China [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2003, 12(6): 593-598.

## Reconstruction and Analysis of Dry/ Wet Series in Guizhou Area in 1470–1949

SHENG Ye-zi<sup>1</sup>, ZENG Meng-xiu<sup>1</sup>, PENG Hai-jun<sup>2</sup>, LI Xue<sup>3</sup>, GAO Yang<sup>4,5</sup>,  
ZHU Li-dong<sup>1</sup>, LI Feng-quan<sup>1</sup>, HU Zhong-xing<sup>1</sup>, SU Jie<sup>1</sup>, YU Yi-hong<sup>1</sup>

(1. College of Geography and Environmental Science, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China;

2. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Guiyang 550081, China;

3. Guizhou Ecological Meteorology and Satellite Remote Sensing Center, Guiyang 550025, China;

4. School of Karst Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China;

5. State Engineering Technology Institute for Karst desertification control, Guiyang 550001, China)

**Abstract:** The historical data of drought and flood contain comprehensive and reliable environmental information, which records the frequent occurrence of natural disasters in China during the Little Ice Age. However, researches on the climatic and environmental conditions and their impacts on human activities in Guizhou region which use these data are few reported. This paper collated and analyzed the historical data of drought and flood in the area of Guizhou from 1470 to 1949, verifying by correlation analysis based on mutual information, exploring the humidity variation processes and cycles by sliding average method and wavelet analysis, discussing its controlled mechanism and the influence on human activities compared with the high-resolution stalagmite  $\delta^{18}\text{O}$  sequence, ocean thermal condition and the relationship between central and local governments. Results showed that (1) the climatic condition in Guizhou was dry in the late 15th century, while in the 16th century it was wet. After the dry period in the early 17th century, Guizhou experienced a long and stable wet period which was from the mid-17th century to the early 20th century. These results correspond well with copious records. (2) The humidity variation had periods of about 128 ~ 155 years, 32 ~ 55 years and 11 ~ 20 years, reflecting that they are primarily controlled by solar radiation intensity and solar activity. (3) The humidity variation was affected by the intensity of the South Asian summer monsoon, ENSO and AMO as well as solar radiation, which also had profound impacts on political activities and other human activities during Ming and Qing Dynasty.

**Key words:** Guizhou region; South Asian monsoon; humidity variation; human activities; mutual information; wavelet analysis