

DOI:10.13718/j.cnki.xsxb.2018.10.012

1644—1911 年云贵地区旱涝灾害的 周期特征以及对太阳黑子活动的响应^①

蒋婷婷, 毕硕本, 鲁颖, 赵峰, 孙力

南京信息工程大学 地理与遥感学院, 南京 210044

摘要:为探究历史时期气候灾害特征及影响因子,建立了清代 1644—1911 年云贵地区的旱涝指数序列,采用滑动 t 检验和总体经验模态分解(EEMD)分析了清代云贵地区旱涝灾害的突变特征和多时间尺度周期性特征,研究表明:清代云贵地区旱涝指数整体较平稳,呈现先明显增加后减少,然后趋于平稳,清末又明显增加的趋势,旱涝指数序列具有多个跃变点,且具有显著的 2.8 a 和 6.6 a 年际周期,13.0 a 和 40.2 a 的年代际周期.由旱涝灾害年次和年均县次比的空间分布图发现,其具有同旱同涝的空间分布特征.由于 13.0 a 的周期与太阳黑子相对数序列的周期接近,故采用交叉小波分析着重探究了太阳黑子活动对云贵地区旱涝变化的影响,发现云贵地区旱涝指数序列同太阳黑子相对数序列在 3~6 a 的时间尺度具有强凝聚性共振周期.

关键词:云贵地区;旱涝;EEMD;交叉小波分析;太阳黑子

中图分类号: P467

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2018)10-0056-10

在全球气候变暖、气象灾害日益频发的今天,全球气候变化及其可持续发展的问题受到了社会各界的高度关注.在此背景下,研究历史时期旱涝灾害变化的规律,探究影响旱涝变化的因子,有助于摸清历史时期气候灾害的面貌及其变化特征,为现代气候灾害研究提供各种不同时空尺度的气候信息.中国拥有丰富的史料,从中探索气候变化的规律是我国在世界上独具优势的项目^[1].

国内外诸多学者对历史气候灾害进行过许多研究^[2-5],对旱涝变化和影响因子的研究以现代居多^[6-7],历史时期相对较少,且主要是基于现代观测数据的成因分析. Caroline 等^[8]认为澳大利亚东南部的干旱与印度洋偶极子和 ENSO(El Niño-Southern Oscillation)的共同影响有关;而 Findell 等^[9]指出温暖的太平洋和大西洋海温异常会导致干旱灾害的逆转和洪积增加.在我国对历史时期的旱涝灾害研究中,杨传国等^[10]对过去 500 年淮河流域的水旱时空分布特征及演变进行了分析;杨春瑰等^[11]发现川渝地区西旱东移趋势明显,近 20 年里干旱爆发频率上升,气候由湿向干转变等变化特征表明,该地区干旱在未来存在加强趋势;黎琮炜等^[12]利用广西 1961—2013 年 90 个气象观测站的日降水资料等对广西洪涝灾害时空分布特征及灾害成因进行了分析;李艳萍等^[13]基于明代河南地区旱灾史料发现,该地区旱灾集中于春夏,呈前期少、中后期多的特点;刘永林等^[14]对广东省 1960—2012 年旱涝灾害时空变化进行过研究,认为广东省年降水量呈上升趋势,存在 6 a,13 a,28 a 时间尺度的周期;刘静等^[15]对晋陕蒙毗邻区域汉代至民国洪涝灾害时空特

① 收稿日期:2018-03-22

基金项目:国家自然科学基金项目(41271410、41071253).

作者简介:蒋婷婷(1994-),女,硕士研究生,主要从事空间数据挖掘研究.

通信作者:毕硕本,博士,教授.

征进行过研究,发现该地区洪涝灾害频繁且呈波动上升趋势,灾害重心不断迁移。就云贵地区而言,苗春生等^[16]采用旋转正交经验函数(Rotated Empirical Orthogonal Function, REOF)、小波分析研究云南东部春季近 50 年旱涝变化;徐丹丹等^[17]计算了云贵喀斯特地区春、夏干旱强度指数,从而对春、夏干旱的时空分布规律进行分析;武文辉^[18]用 Morlet 小波分析对贵州近 500 年旱涝进行分析,发现其具有明显的 32 年长时间尺度和 10 年的较短时间尺度的周期变化;段旭等^[19]利用云南 1901—1997 年的降水量资料,研究了云南年、季旱涝时空变化特征,发现平均 10 a 中有 8 a 为干旱年,但 90 年代中期以后,干旱化趋势减弱并有向湿润化气候变化的趋势,且在较大时间尺度上,云南旱涝变化最显著;方兰^[20]对近 52 a 来云贵地区的旱涝趋势进行分析,总结出“3~5 年一小旱,8~10 年一大旱”和“20 年一大涝”的规律,且与厄尔尼诺和太阳活动有着密切的联系;刘东升^[21]研究了 1322—2013 年昆明的旱涝灾害,分析出其具有 4 a, 11 a, 39 a 3 个显著的周期性,且 1450—1899 年以涝灾为主;程雨春等^[22]采用频率统计、突变检验和小波分析等方法分析了我国西南地区近 500 a 的旱涝灾害时空变化特征,结果表明,西南地区旱涝灾害具有明显的年代际特征,且自 19 世纪以来,旱涝灾害逐渐增多,2~3 a 的短周期较为显著;葛全胜等^[23]认为太阳活动极小期,我国东部自南向北呈现“涝—旱—涝”格局,即长江流域偏旱,华南及华北偏涝;极大期与之相反。而 Liu 等^[24]的气候模拟诊断研究表明太阳辐射强迫变化通过海气耦合反馈机制影响了降水。以上研究在分析周期时多采用频率统计、小波分析,很少对影响因子进行分析。

本文以高分辨率历史文献记录复原云贵地区清代旱涝指数序列,并对其趋势、突变特征、多时间尺度的周期特征进行分析,并用交叉小波探究太阳黑子与旱涝指数序列变化的关系,通过对灾害变化影响因子的探讨来充分认识灾害发生发展规律。

1 资料与研究方法

1.1 资料

本文所确定的云贵地区的研究区范围为清代云南省和贵州省,包括 37 府(直隶厅、直隶州)、66 厅(州)和 64 县。研究区位于中国西南部,属亚热带地区,高原山地居多,河川纵横,受季风和地形、大气环流等影响,降水分布不均匀,气象灾害频发。本文采用复旦大学“中国历史地理信息系统”重建的清代 1911 年精细化到县的数字地图中的云贵地区部分作为研究区概况图(图 1),其中黑体地名为清代府(州)名,其它地名为现代地级市名。

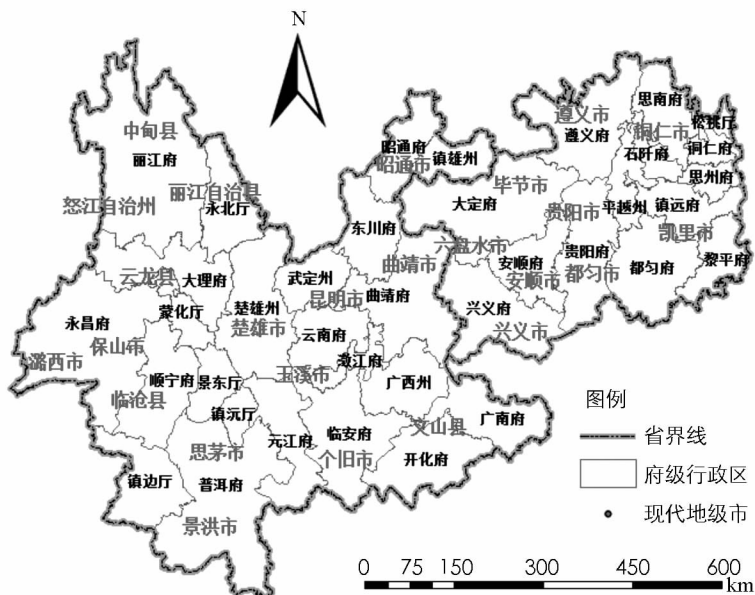


图 1 研究区概况图

本文所用资料主要来源于张德二^[25]编著的《中国三千年气象记录总集》，辅以《中国气象灾害大典》^[26]云南卷和贵州卷作为考证和补充。本文所选史料从 1644 年(顺治元年)到 1911 年(宣统三年)，共 268 年。

1.2 研究方法

1.2.1 旱涝指数的确立

本文利用郑景云等^[27]提出的用逐年旱涝县次的距平百分率来表示一个地区旱涝县次大小的计算方法，重建清代云贵地区旱涝指数序列。

$$PD_i = \frac{ND_i - ND}{ND} \times 100\% (i = 1644 - 1911) \quad (1)$$

$$PF_i = \frac{NF_i - NF}{NF} \times 100\% (i = 1644 - 1911) \quad (2)$$

式中： PD_i ， PF_i 分别为旱灾县次的逐年距平百分率和涝灾县次的逐年距平百分率； ND_i 和 NF_i 分别为逐年旱灾县次数和涝灾县次数， ND 和 NF 分别为 ND_i 和 NF_i 的多年(1644—1911 年)均值。下文用 I 表示逐年旱涝指数，分 7 级表示逐年旱情、雨情的范围和程度^[27]：

$PD_i \gg 200\%$	$I = 7$ 大旱
$200\% > PD_i \gg 0$	$I = 6$ 旱
$0 > PD_i \gg -90\%$	$I = 5$ 偏旱
$PD_i < -90\%$ 或 $PF_i < -90\%$	$I = 4$ 正常
$0 > PF_i \geq -90\%$	$I = 3$ 偏涝
$200\% > PF_i \geq 0$	$I = 2$ 涝
$PF_i \geq 200\%$	$I = 1$ 大涝

PD_i 值大表示该地区降水偏少， PF_i 值大表示该地区降水偏多；当 PD_i 或 PF_i 值小时，表明该地区降水接近于多年均值；若该年旱涝同时出现，则比较 PD_i 和 PF_i ，以其值较大者来确定旱涝指数，且旱涝指数降低一级处理。

1.2.2 总体经验模态分解(EEMD)

Empirical Mode Decomposition(EMD)能将复杂信号分解为一系列固有模态函数(Intrinsic Mode Function, IMF)的子信号，但 EMD 会出现模态混叠现象。为克服模态混叠，Wu 和 Huang^[28]提出总体经验模态分解(EEMD)，利用高斯白噪声频谱均匀分布的统计特性，向原始信号中加入不同的白噪声，使得信号在不同尺度上具有连续性，但该方法不具有完备性，增加了计算成本。

1.2.3 滑动平均法

滑动 t 检验^[29]通过考察 2 组样本均值的差异是否显著来检验突变。其基本思想是把一气候序列中 2 段子序列均值有无显著性差异看做来自 2 个总体均值有无显著差异的问题来检验。若 2 段子序列的均值差异超过了一定的显著性水平，则认为有突变发生。

样本量为 n 的序列 x 的滑动平均序列为：

$$\bar{x}_j = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_{i+j-1} \quad (j = 1, \dots, n - k + 1) \quad (3)$$

式中： K 为滑动长度。经过滑动平均，削弱了序列中短于滑动长度的周期，显现出变化趋势。

1.2.4 交叉小波变换

交叉小波变换^[30]是一种将小波变换和交叉谱分析结合的方法，可从多时间尺度研究 2 序列时间域和频率域中的相互关系。

定义 2 个时间序列 X 和 Y ，设 $W_n^x(s)$ 和 $W_n^y(s)$ 分别为 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 和 $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ 的连续小波变换，则它们的交叉小波变换为

$$W_n^{xy}(s) = W_n^x(s)W_n^{y*}(s) \quad (4)$$

其中 $W_n^{y*}(s)$ 表示 $W_n^y(s)$ 的复共轭, s 为时滞(也称为时移). 交叉小波功率谱可定义为 $|W_n^{xy}(s)|$, 功率谱值越大, 相关性越显著. 采用与红噪声谱作比较的方法来对交叉小波功率谱进行检验.

小波相干谱可以量度 2 序列时频范围内局部相关的密切程度, 在交叉小波功率谱中的能量低值区在相干谱中可能对应显著相关性. 时间序列 X, Y 的交叉小波相干谱为:

$$R_n^2(s) = \frac{|S(s^{-1}W_n^{xy}(s))|^2}{S(s^{-1}|W_n^x(s)|^2) \cdot S(s^{-1}|W_n^y(s)|^2)} \quad (5)$$

式中: S 表示平滑函数. 交叉小波相干谱的检验采用蒙特卡罗检验法, 只标出了 $R_n^2(s) \geq 0.5$ 的相位差箭头.

2 清代云贵地区旱涝指数序列重建与分析

2.1 旱涝指数序列的恢复

郑景云等^[27]的旱涝指数确立方法恢复了云贵地区清代旱涝指数序列, 在清代 268 年里, 共有涝年 149 年, 旱年 70 年, 正常年份 49 年. 其中大旱 2 年, 旱 23 年, 偏旱 45 年, 偏涝 113 年, 涝 34 年, 大涝 2 年.

图 2 为 1644—1911 年云贵地区旱涝指数序列图, 其中实线是该序列的 8 次拟合多项式. 由该图可以看出, 清代云贵地区旱涝指数整体较平稳, 呈现先明显增加后减少, 然后趋于平稳, 清末又明显增加的趋势.

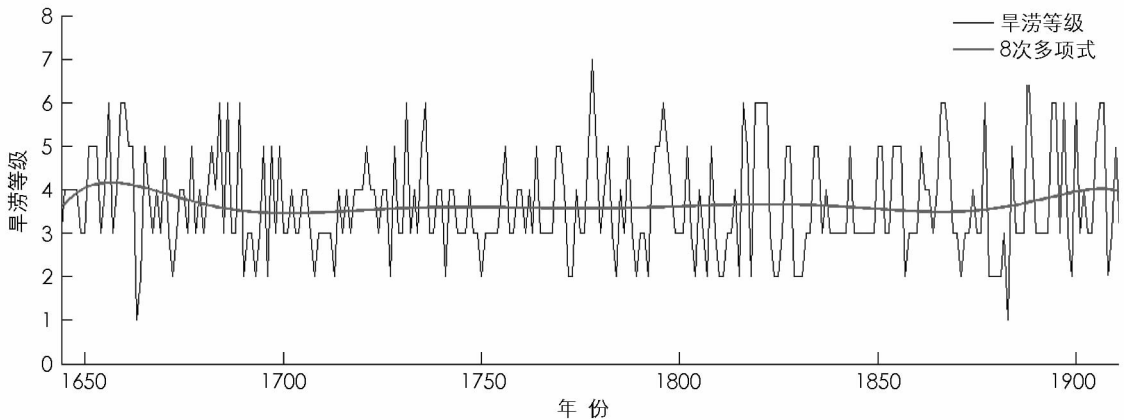


图 2 1644—1911 年云贵地区旱涝指数序列及其 8 次多项式拟合曲线

2.2 旱涝指数序列的周期变化

为研究云贵地区清代旱涝的周期性规律, 采用总体经验模态分解(EEMD)对云贵地区清代旱涝指数序列进行分解, 得到 7 个周期性不同的固有模态函数 IMF 及一个趋势分量 RES(Residuals). 由图 3 可以看出, 云贵地区旱涝指数序列有多时间尺度的周期特征, 从高频 IMF1 到低频 IMF7 分别体现了原始序列的局部变化特征. RES 趋势分量可以反映旱涝指数在清代整个时期的变化趋势.

IMF 各分量的振幅大小代表相应周期的强弱程度, 振幅偏大(小), 代表相应时间尺度的周期在该时段偏强(弱). EEMD 分析发现其存在 2.8, 6.6, 13.0, 34.0, 40.2, 88.4, 221.0 a 的周期. 采用皮尔逊相关分析计算各分量与旱涝指数原始序列的相关系数, 其值分别为 0.756, 0.327, 0.147, 0.156, 0.014 和 0.004, 由此可看出, 各 IMF 分量在相应时间尺度上所表征旱涝变化的显著程度. IMF1 与原旱涝指数序列的相关系数为 0.756, 其变化特征同原始序列有较高的相似性. 而 IMF7 的相关系数低于 0.05, 且 IMF6 和 IMF7 的方差贡献率约等于 0, 说明其变化特征与原始序列无关.

为验证分量是否有物理意义, 对各分量进行显著性检验(图 4). 纵坐标值越高说明分量所包含能量越多, 2 条线分别为置信度 0.05 和 0.1 的临界线. 如果点落在临界线之上表示该分量通过了该显著性水平的检验, 具有物理意义, 否则包含较多白噪声. IMF4 和 IMF6 未通过显著性检验, 说明 IMF4 和 IMF6 分量包含较多的白噪声成分, 其对应的周期变化不显著, 而 IMF1 和 IMF2 通过了 90% 的显著性检验, IMF3 和

IMF5 则通过了 95% 显著性检验, IMF7 没有显示在置信检验中, 与皮尔逊相关分析计算结果相符. 由此可见, 清代云贵地区旱涝灾害等级序列具有显著的 2.8 a 和 6.6 a 年际周期, 13.0 a 和 40.2 a 的年代际周期.

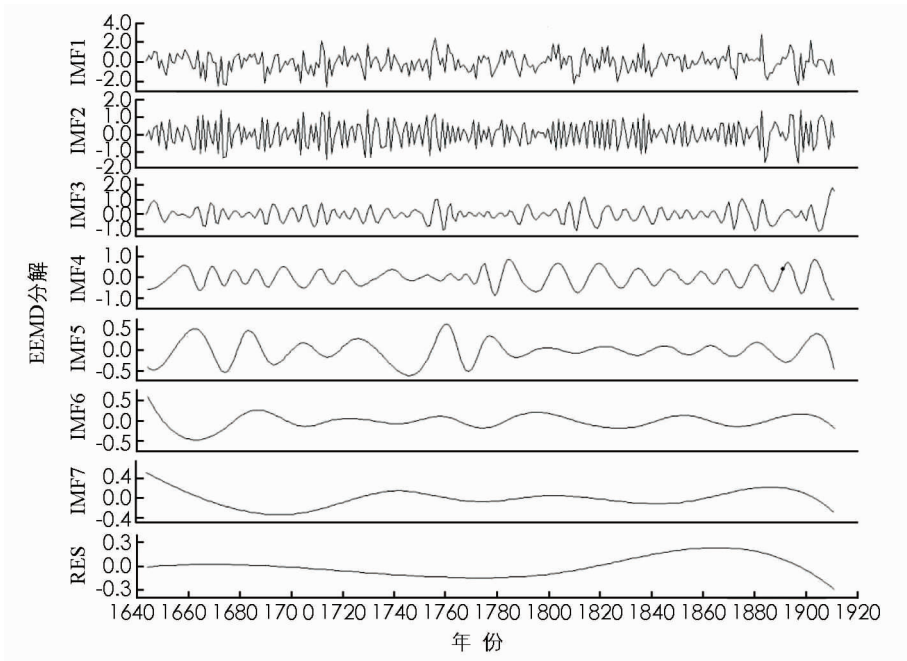


图 3 1644—1911 年云贵地区旱涝指数序列 EEMD 分解

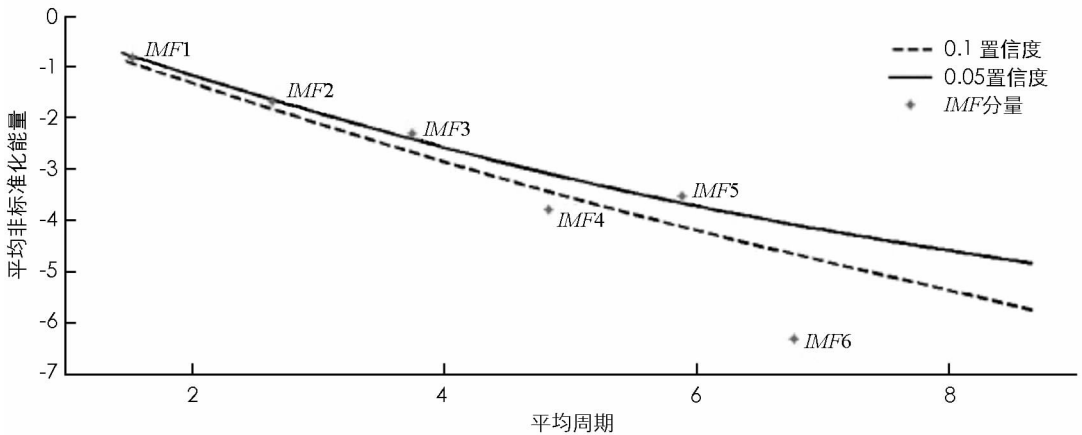


图 4 1644—1911 年云贵地区旱涝指数序列各分量信号显著性检验

程建刚等^[31]统计发现, 云南平均 2.3 a 会发生 1 次干旱; 苗春生等^[16]对近 53 a 云南东部春季旱涝分析发现存在准 14 a 周期; 武文辉^[18]用小波分析对贵州 500 年的旱涝进行分析, 发现旱涝序列具有明显的 32 a 长时间尺度和 10 a 较短时间尺度的周期变化. 这些研究与本文的 2.8, 13.0, 40.2 a 的周期都有较高的一致性, 存在差别的原因在于研究地区、时间范围和研究方法的不同. 本文发现清代云贵地区旱涝序列的周期中, 2.8 a 和 6.6 a 周期可能与 ENSO 相联系, 13.0 a 可能与太阳活动有关, 40.2 a 周期则是布吕克纳周期的反映.

2.3 旱涝指数序列的突变特征

本文采用滑动 t 检验来分析云贵地区旱涝指数序列气候跃变特征, 分别取样本量 $n=10$ 与 $n=30$ 作为子序列的长度, 显著性水平取 $\alpha=0.05$ 计算滑动统计量 t 序列的值, 得到如图 5 所示的结果. $n=10$ 时, 突变参考点或突变区间数为 12 个(图 5a), 在该时间尺度上旱涝跃变比较频繁; $n=30$ 时, 突变参考点或突变区数为 1 个(图 5b), 在 30 a 尺度上旱涝间突变明显减少.

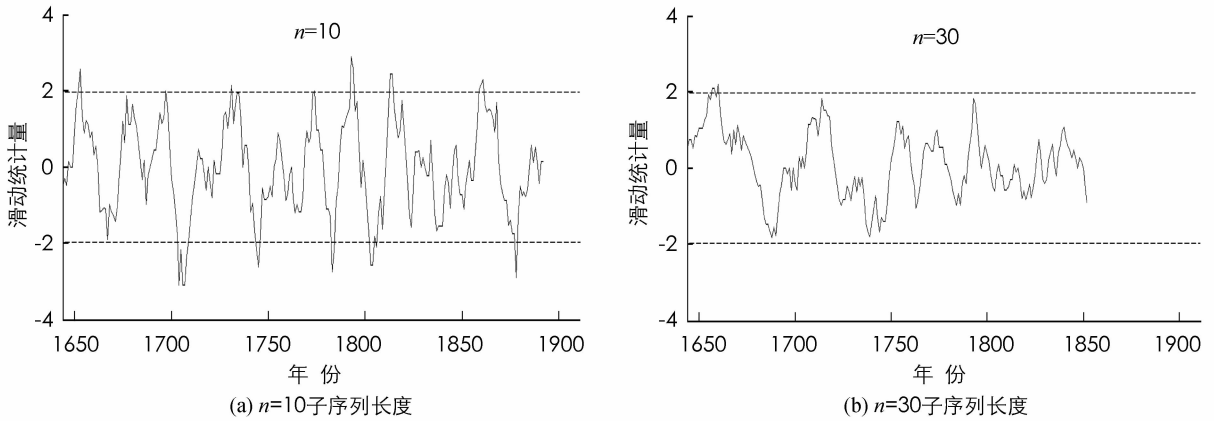


图 5 1644—1911 年云贵地区旱涝等级序列的突变检验

表 1 为旱涝跃变参考年表.

表 1 1644—1911 年云贵地区旱涝指数序列跃变参考点年表

跃变参考点	<i>n</i>	跃变参考点	<i>n</i>
1653 年	10	1793 年	10
1697 年	10	1803 年	10
1704 年	10	1813 年	10
1731 年	10	1861 年	10
1745 年	10	1878 年	10
1774 年	10	1660 年	30
1783 年	10		

3 清代云贵地区旱涝灾害的空间特征

3.1 清代云贵地区旱涝灾害年次的空间差异

根据历史旱涝灾害的史料记载,对清代云贵地区各府(州)的干旱和洪涝灾害发生的年次、周期和频率进行统计,并绘制出清代云贵地区干旱和洪涝灾害的年次空间分布图,如图 6 和图 7 所示.

图 6 和图 7 可以清楚地看出,云贵地区旱涝年次有显著的相关性,具有同旱同涝的分布特征,即涝灾年次多的府(州),旱灾发生的年次也较多.

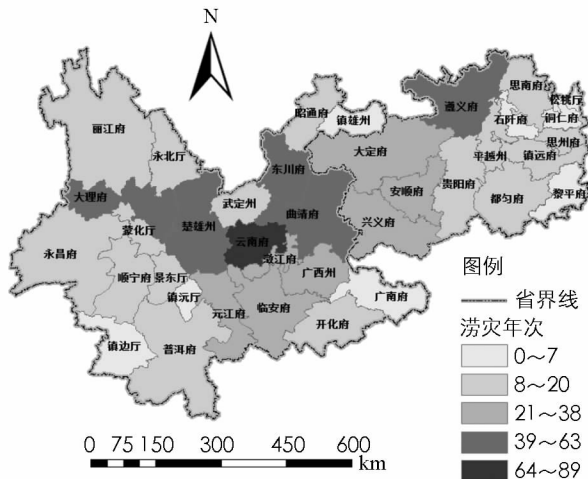


图 6 1644—1911 年云贵地区洪涝灾害年次的空间分布图

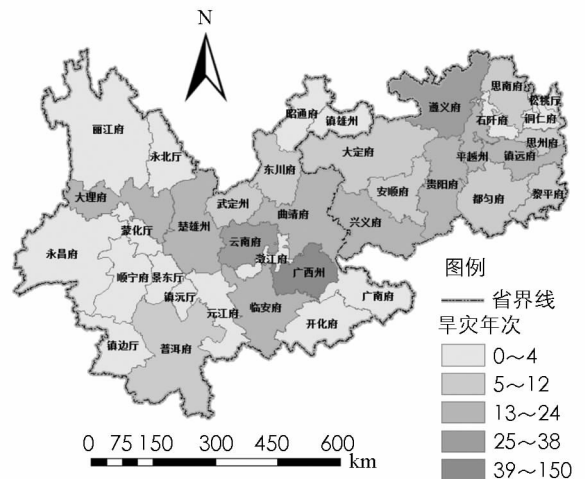


图 7 1644—1911 年云贵地区干旱灾害年次的空间分布图

3.2 清代云贵地区旱涝灾害年均县次比的空间差异

由于“旱涝灾害年次”仅反映旱涝灾害发生的频繁程度,且各府州所管辖的县数不一,累计旱灾频次必定受到县数的影响,因此建立“年均旱灾县数比”,其计算公式为:以某个时间内某个府(州)累计旱灾、涝灾县数÷该时段的年数÷该府(州)所有的县数。例如,清代 1644—1911 年共计 268 年,东川府涝灾累计发生县数为 54 次,按照 1911 年云南省东川府所辖县为 2 个,那么得到东川府年均旱灾县次比为 $54 \div 268 \div 2 = 0.101$ 。这一指标不仅能反映一定时期内各府(州)干旱灾害发生的频率,也能反映干旱灾害影响的空间范围。将旱涝灾县次比数据建立数据库,用 ARCGIS 展示出来,如图 8 和图 9 所示。

分别对比图 6、图 8 和图 7、图 9,可以看出它们呈现出相似的空间分布特征,但又有部分差异。就洪涝灾害年次来看,云南的东川府、云南府和贵州的遵义府最高;而就年均旱灾县次比来看,云南的东川府、元江府和贵州的遵义府、平越州相对较高。由此可见,云南的东川府和贵州的遵义府是清代云贵地区涝灾最为频繁,且影响范围最广的府,元江府和平越州虽涝灾年次并不高,但年均涝灾县次比却很高,说明其涝灾频繁度不高,但每次涝灾的影响范围很广泛;就干旱灾害的年次而言,云南的云南府、广西州和贵州的遵义府最高,但只有遵义府的年均旱灾县次比较高,其他 2 个府都降低了一个等级,说明这 2 府的旱灾虽发生次数相对频繁,但其影响的范围相对比较集中,反而平越州的年均旱灾县次比较高,说明其旱灾的影响较为广泛。

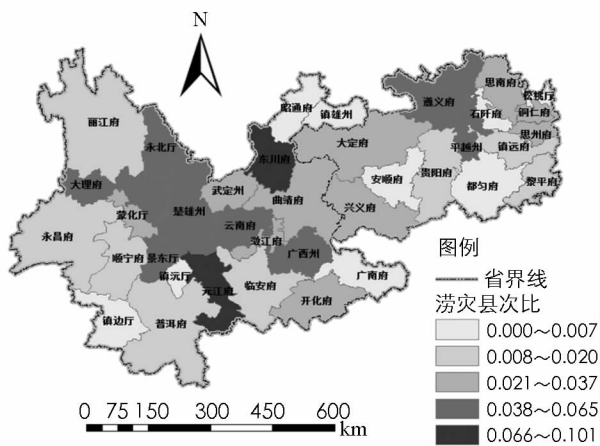


图 8 1644—1911 年云贵地区
洪涝灾害年均县次比的空间分布图

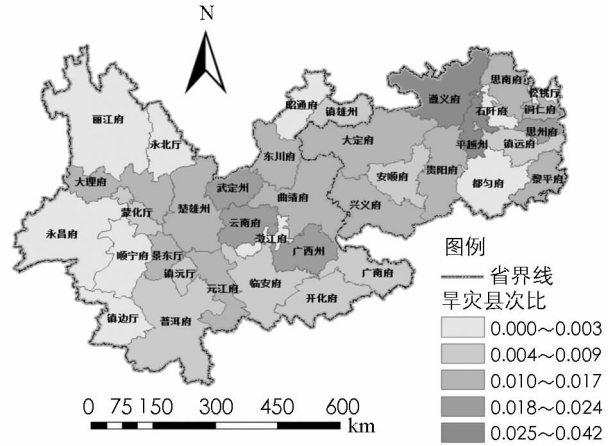


图 9 1644—1911 年云贵地区
干旱灾害年均县次比的空间分布图

4 清代云贵旱涝指数与太阳黑子活动关系

旱涝可能受多种因素影响,其中太阳黑子活动对气候变化的影响是当今的热点问题^[32-35]。太阳为地球提供着光和热,它既是地球气候系统基本的能量源,也是空间天气扰动的源头,对地球气候有着重要影响^[36]。太阳黑子指太阳的光球表面有时出现一些暗的区域,它是磁场聚集的地方。太阳黑子相对数是太阳活动最具代表性的特征之一,其变化具有准 11 a 的周期,与本文研究的旱涝指数具有 13.0 a 的周期接近,故对太阳黑子相对数序列和云贵旱涝指数序列进行交叉小波分析。太阳黑子记录从 1700 年开始,采用 1700—1911 年太阳黑子相对数序列,得到交叉小波功率谱和交叉小波相干谱(图 10,图 11)。

箭头方向水平向右表示 2 序列 X, Y 同位相,说明两者为正相关关系;水平向左表示反相位,二者相差 1/2 周期,两者负相关;垂直向下表示 X 比 Y 超前 1/4 周期;垂直向上表示 X 比 Y 超前 3/4 周期。

从图 10 交叉小波功率谱可以看出,太阳黑子相对数和广东旱涝指数存在 6~16 a 共振周期,同时这与本文发现云贵旱涝指数序列有 6.6 a 和 13.0 a 周期吻合。在 1760—1790 年相位差箭头都是斜向右下,说明太阳黑子相对数序列超前云贵旱涝指数 1/8 个周期;在 1790—1825 年之间,相位差箭头水平向上或斜向左

上, 说明太阳黑子相对数序列比云贵旱涝指数序列超前 $5/8 \sim 3/4$ 个周期; 1850—1900 年相位差箭头大多是斜向左上, 说明太阳黑子相对数序列比云贵旱涝指数序列超前 $5/8$ 个周期。

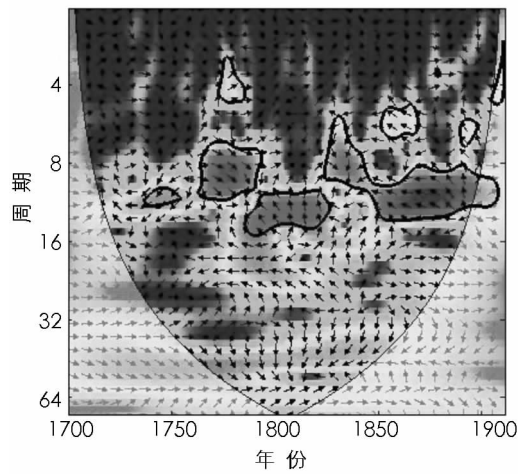


图 10 1700—1911 年太阳黑子相对数
与云贵旱涝指数交叉小波功率谱

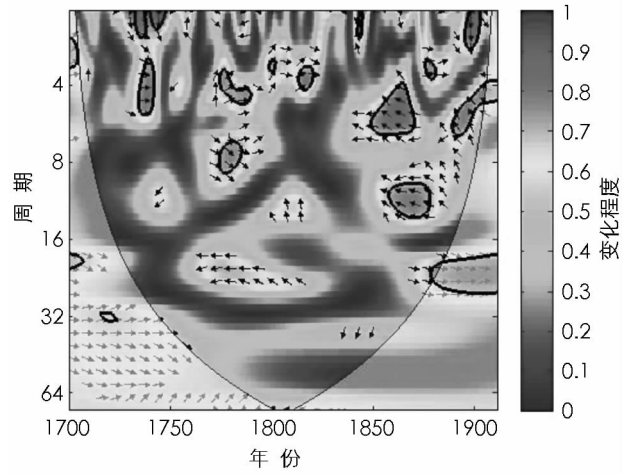


图 11 1700—1911 年太阳黑子相对数
与云贵旱涝指数交叉小波相干谱

图 11 为云贵旱涝指数序列的交叉小波相干谱, 太阳黑子相对数和云贵旱涝指数在 1725—1750 年间有 $0 \sim 2$ a, $3 \sim 6$ a 尺度的强凝聚性共振周期, 在 $0 \sim 2$ a 尺度上箭头斜向右下, 太阳黑子相对数序列超前云贵旱涝指数 $1/8$ 个周期; 在 $3 \sim 6$ a 尺度箭头主要水平向右, 二者具有共同周期. 在 1775—1790 年间有 $3 \sim 5$ a, $7 \sim 9$ a 尺度的强凝聚性共振周期, 在 $3 \sim 5$ a 尺度上箭头斜向右上, 太阳黑子相对数序列超前云贵旱涝指数 $7/8$ 个周期; 在 $7 \sim 9$ a 尺度箭头斜向右下, 太阳黑子相对数序列超前云贵旱涝指数 $1/8$ 个周期. 在 1835—1875 年间, 有 $4 \sim 7$ a, $9 \sim 15$ a 尺度的强凝聚性共振周期, 在这 2 个尺度上箭头均斜向左上, 太阳黑子相对数序列超前云贵旱涝指数 $5/8$ 个周期. 由此可见, 太阳黑子相对数会在不同时间尺度对旱涝变化产生影响, 二者具有多个共同周期, 但也存在不一致的情况, 这是由于旱涝变化的影响因素较多, 非单一因素作用的结果。

5 结 论

本文通过清代云贵地区的旱涝文献数据重建了清代云贵地区的旱涝指数序列, 并用 EEMD、滑动 t 检验和交叉小波等多种方法对其时空特征和成因机制进行探讨分析。

1) 多项式拟合发现清代云贵地区旱涝指数整体较平稳, 呈现先明显增加后减少, 然后趋于平稳, 清末又明显增加的趋势。

2) 采用滑动 t 检验对其突变特征进行分析, $n=10$ 时, 突变参考点或突变区间数为 12, 在该时间尺度上旱涝跃变比较频繁; $n=30$ 时, 突变参考点或突变区数为 1。

3) 用总体经验模态分解分析了序列的多时间尺度的周期性特征, 计算结果表明清代云贵地区旱涝灾害等级序列具有显著的 2.8 a 和 6.6 a 年际周期, 13.0 a 和 40.2 a 的年代际周期。

4) 清代云贵地区旱涝灾害年次和年均县次比呈现出相似的空间分布特征, 但又有部分差异, 且具有明显的同旱同涝的分布特征。

5) 用交叉小波分析了太阳黑子相对数同云贵地区旱涝指数变化的相关性, 发现其与云贵地区旱涝指数具有较好的相关关系. 太阳黑子相对数序列同旱涝指数序列在多个时间域具有强凝聚性共振周期, 且在 1725—1750 年在 $3 \sim 6$ a 尺度上具有共同周期。

对于云贵地区的旱涝灾害, 还有诸多方面值得研究分析. 比如云贵地区不同区域不同季节的变化趋势; 旱涝变化的其他因素, 比如厄尔尼诺、北极涛动等对旱涝变化的影响等需要进一步研究。

参考文献:

- [1] 周书灿. 20 世纪中国历史气候研究述论 [J]. 史学理论研究, 2007(4): 127—136.
- [2] YI L, YU H J, XU X Y, et al. Exploratory Precipitation in North-Central China During the Past Four Centuries [J]. Acta Geologica Sinica, 2010, 84(1): 223—229.
- [3] 任朝霞, 陆玉麒, 杨达源. 近 2000 年黑河流域旱涝变化研究 [J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(4): 90—93.
- [4] TAN L C, CAI Y J, CHENG H, et al. Summer Monsoon Precipitation Variations in Central China Over the Past 750 Years Derived From a High-Resolution Absolute-Dated Stalagmite [J]. Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology, 2009, 280(4): 432—439.
- [5] WOO S K, KYUNG A K, KYUNG C, et al. Historic Vegetation and Environmental Changes since the 15th Century in the Korean Peninsula [J]. Quaternary International, 2016, 392: 25—36.
- [6] 李震坤, 孙国武, 信 飞. 2011 年 5、6 月长江中下游旱涝转折的大气低频特征及其预报 [J]. 热带气象学报, 2014, 30(1): 194—200.
- [7] 董 金, 徐海明. 长江中下游旱涝急转年多尺度低频振荡特征及其对旱涝急转的影响 [J]. 热带气象学报, 2014, 30(4): 707—718.
- [8] CAROLINE C U, ALEXANDER S G, et al. Indian and Pacific Ocean Influences on Southeast Australian Drought and Soil Moisture [J]. Journal of Climate, 2011, 24(5): 1313—1336.
- [9] FINDELL K L, DELWORTH T L. Impact of Common Sea Surface Temperature Anomalies on Global Drought and Pluvial Frequency [J]. Journal of Climate, 2010, 23(3): 485—503.
- [10] 杨传国, 陈 喜, 张润润, 等. 淮河流域近 500 年洪旱事件演变特征分析 [J]. 水科学进展, 2014, 25(4): 503—510.
- [11] 杨春瑰, 张楚瑶. 川渝地区近 50 年干旱特征及该地区产业结构变动研究 [J]. 中国科技论文, 2015, 10(3): 342—347.
- [12] 黎琮炜, 覃卫坚, 高安宁. 1961—2013 年广西洪涝灾害时空分布特征及成因 [J]. 气象研究与应用, 2015, 36(1): 80—85.
- [13] 李艳萍, 陈昌春, 张余庆, 等. 明代河南地区干旱灾害的时空特征分析 [J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(5): 174—179.
- [14] 刘永林, 延军平. 广东省旱涝灾害时空变化特征研究 [J]. 水土保持通报, 2015, 35(2): 263—268.
- [15] 刘 静, 殷淑燕, 李慧芳. 晋陕蒙毗邻区域历史洪涝灾害时空特征研究 [J]. 云南大学学报(自然科学版), 2016, 38(6): 903—911.
- [16] 苗春生, 赵文宁, 王坚红, 等. 近 53 a 云南东部春季旱涝及其环流距平波列影响 [J]. 干旱区研究, 2014, 31(2): 250—260.
- [17] 徐丹丹, 谷晓平, 吴俊铭. 云贵喀斯特地区干旱时空分布规律研究 [J]. 贵州气象, 2006, 30(2): 9—11.
- [18] 武文辉. 贵州 500 年旱涝分析及趋势预测 [J]. 贵州气象, 1999, 23(3): 15—20.
- [19] 段 旭, 尤卫红, 郑建萌. 云南旱涝特征 [J]. 高原气象, 2000, 19(1): 84—90.
- [20] 方 兰. 云贵地区旱涝变化时空结构及趋势判断 [D]. 西安: 陕西师范大学, 2013.
- [21] 刘东升. 昆明 1322 年至 2013 年旱涝灾害研究 [D]. 昆明: 云南师范大学, 2015.
- [22] 程雨春, 杨传国, 刘 帆, 等. 我国西南地区近 500 年旱涝事件时空演变特征 [J]. 人民长江, 2015, 46(11): 6—24.
- [23] 葛全胜, 刘路路, 郑景云, 等. 过去千年太阳活动异常期的中国东部旱涝格局 [J]. 地理学报, 2016, 71(5): 707—717.
- [24] LIU J, WANG B, CANE M A, et al. Divergent Global Precipitation Changes Induced by Natural Versus Anthropogenic Forcing [J]. Nature, 2013, 493(7434): 656—659.
- [25] 张德二. 中国三千年气象记录总集 [M]. 南京: 凤凰出版社/江苏教育出版社, 2004.
- [26] 温克刚. 中国气象灾害大典 [M]. 北京: 气象出版社, 2007.
- [27] 郑景云, 张丕远, 周玉孚. 利用旱涝县次建立历史时期旱涝指数序列的试验 [J]. 地理研究, 1993, 12(3): 1—9.
- [28] WU Z H, HUANG N E. Ensemble Empirical Mode Decomposition: A Noise Assisted Data Analysis Method [J]. Advances in Adaptive Data Analysis, 2009, 1(1): 1—41.

- [29] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术 [M]. 北京: 气象出版社, 1999.
- [30] 余丹丹, 张 韧, 洪 梅, 等. 基于交叉小波与小波相干的西太平洋副高与东亚夏季风系统的关联性分析 [J]. 南京气象学院学报, 2007, 30(6), 755—769.
- [31] 程建刚, 晏红明, 严华生, 等. 云南重大气候灾害特征和成因分析 [M]. 北京: 气象出版社, 2009: 1—11.
- [32] 张小玲, 琚建华, 王三杉. El Nino 对云南初夏降水的影响 [J]. 热带气象学报, 1995, 15(2): 169—176.
- [33] 窦睿音, 延军平. 关中平原太阳黑子活动周期与旱涝灾害的相关性分析 [J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(8): 76—82.
- [34] 王璐璐, 延军平, 韩晓敏. 环渤海地区旱涝灾害与太阳黑子活动、ENSO 关系的统计研究 [J]. 中山大学学报(自然科学版), 2016, 55(1): 123—130.
- [35] WASKO C, SHARMA A. Correction to “Effect of Solar Variability on Atmospheric Moisture Storage” [J]. Geophysical Research Letters, 2009, 36(3): 441—451.
- [36] JAGER C D. Solar Forcing of Climate [J]. Surveys in Geophysics, 2012, 33(3/4): 445—451.

Periodic Characteristics of Drought and Flood in Multiple Time Scales and Response to Sunspot Activity in Yunnan-Guizhou Area from 1644 to 1911

JIANG Ting-ting, BI Shuo-ben,
LU Ying, ZHAO Feng, SUN Li

School of Geography and Remote Sensing, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China

Abstract: With the increasing global climate change, the drought and flood disasters events of our country intensified in recent years, so it is necessary to study the characteristics and influencing factors of climate disasters during the historical period. In this paper, the drought and flood index series of Yunnan-Guizhou area from 1644-1911 was established. Sliding t-test was used to find the mutation points and Ensemble Empirical Mode Decomposition(EEMD) was used to analysis the periodicity of the sequence on different timescales. The results show that the drought and flood index in the Yunnan-Guizhou area is relatively stable which shows a significant decreased after increased and then leveled off, and the last significant increase trend. Drought and flood index sequence has multiple transition points and has the inter-annual scale period of 2.8a, 6.6a, inter-decadal scale period of 13.0a and 40.0a. According to the spatial distribution maps and the average annual ratio of county maps of drought and flood disasters, it has been found that the drought and flood disasters have the same spatial distribution characteristics. Because of its 13.0a period are close to those of sunspot, we used cross wavelet transform to analyze the influence of sunspot activity on the variation of drought and flood in Yunnan-Guizhou area. It is found that the sequence of drought and flood index in Yunnan-Guizhou area has strong cohesive resonance period at 3-6a time scales with the sunspot relative number sequence.

Key words: Yunnan-Guizhou area; drought and flood; EEMD; cross wavelet analysis; sunspot