

清代珠江流域旱涝灾害变化特征与 R/S 分析^①

鲁 颖, 毕硕本, 刘爱利, 赵 峰, 孙 力

南京信息工程大学 地理科学学院, 南京 210044

摘要: 在整理清代 1644—1911 年的历史文献资料的基础上, 统计了珠江流域以及各个子流域的旱涝灾害发生频次. 利用滑动平均、小波分析等方法研究了清代珠江流域的旱涝灾害演变趋势和周期; 通过 R/S 分析计算 Hurst 指数, 预测未来旱涝变化特征, 并通过近 50 年的气象降水资料计算的 SPI 指数对预测结果进行验证. 结果表明: 清代珠江流域洪涝灾害的频次整体高于干旱灾害的频次, 其中 1695 年、1860 年和 1894 年既发生了流域性干旱也发生了流域性洪涝; 旱涝频次的主要振荡周期为 32~34 a; 珠江流域未来的干旱、洪涝灾害整体变化将与过去的变化趋势一致, 且流域洪涝序列的 Hurst 指数比干旱序列的 Hurst 指数更为接近 1.0, 说明清代珠江流域洪涝序列的趋势延续性比干旱序列更强.

关 键 词: 珠江流域; 旱涝频次; R/S 分析; 清代

中图分类号: P954; X4

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2019)04-0064-07

全球气候变暖必将导致降水量的时空分布发生变化, 从而对水资源、生态系统状况和社会经济发展等产生深刻影响^[1]. 当今全球气候系统是过去环境自然变化的累积结果, 要了解气候当前特征和今后变化趋势, 须清楚气候从古至今的变化过程^[2]. 据史料记载, 我国在公元前 1766 年至公元 1937 年间曾发生各类自然灾害 5 258 次, 其中旱涝灾害次数所占比例达 41%, 是发生频率最高的自然灾害^[3]. 加强对历史时期旱涝灾害的研究, 有助于了解区域过去的环境变化, 对于现阶段的防灾减灾和精准预估旱涝灾害的未来发展态势有着重要的科学意义与应用价值^[4]. Han 等^[5]将过去 560 年历史洪水/干旱指数系列(FD 指数系列)用 Ward 的等级聚类分析聚类到洪旱特征区域, 提取具有代表性的 FD 指数序列, 分析其时间变异性; 赵玉等^[6]的研究表明兰州地区 500 余年旱涝演变存在 3 个显著干旱阶段 4 个显著洪涝阶段, 且旱多于涝, 旱涝序列存在年代际尺度和百年尺度的突变; 冯建民等^[7]应用近 500 年的旱涝史料和现代降水量资料, 对宁夏引黄灌区、中部干旱带和南部山区 3 个区域进行时段为百年的旱涝特征及演变趋势的诊断分析; 袁媛^[8]对陕西省历史时期旱涝等级进行了修订, 并对有降水量资料后的陕西省进行旱涝等级的计算, 最后进行了陕西省代表性站点 539 年的旱涝序列重建.

据统计, 旱涝灾害往往在流域湖泊等处频发^[9-13]. 郭雪等^[1]对我国东部地区包括华北地区、长江流域和华南地区等 100 多年的降水变化趋势和降水极端偏多和极端偏少年份的分布进行了分析; 张健等^[2]采用旱涝等级法与面积加权法重建了 1644—2009 年黄河中游旱涝等级序列, 发现过去 366 年存在 2 个由干旱转为雨涝期的气候突变点.

本文通过整理清代 1644—1911 年的历史文献资料(《中国三千年气象记录总集》^[14]、《中国气象灾害大典》^[15]、中国历史地图集^[16]等), 统计了珠江流域以及各个子流域的旱涝灾害发生频次(以年为单位). 利用

① 收稿日期: 2018-06-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(41271410).

作者简介: 鲁 颖(1994-), 女, 硕士研究生, 主要从事空间数据挖掘研究.

滑动平均、小波分析等方法研究了清代珠江流域的旱涝灾害演变趋势和周期;通过 R/S 分析计算 Hurst 指数,预测未来旱涝变化特征,并通过 1951—1999 年的气象观测资料(降水量)计算的标准化降水指数(Standardized Precipitation Index, SPI)对预测结果进行验证.

1 研究区与研究方法

1.1 研究区

本文选择的研究区为珠江流域,包括广东、广西、云南、贵州和江西 5 个省.该研究区界于北纬 20.23°—30.08°、东经 97.53°—118.48°之间,北靠南岭,南临南海,西部为云贵高原,中部丘陵、盆地相间,东南部为三角洲冲积平原,地势西北高,东南低.

本文侧重研究流域性的旱涝特征,因此根据水系分布将珠江流域分为 5 个子流域,从西到东依次为南盘江流域、红水河流域、西江流域、北江流域和东江流域.其中,南盘江、红水河和西江实为一条水系,可将南盘江和红水河视作西江的上游和中游.

1.2 研究方法

1) 小波分析.小波分析^[17]也称为多分辨率分析,是当前较为成熟的一种时频域局部变化分析的方法.传统的 Fourier 分析方法可以将时间域上无法分辨的信号清晰地描述出其频率特征,但存在着缺陷,即无法获得信号在任意时刻的频率特征.为此, J. Morlet^[18]提出了一种在时间域和频率域上具有多分辨率功能的小波分析方法,可以用来更好地研究时间序列的周期特征,它能够清晰地揭示出隐含在时间序列中的多种周期,还能够确定在不同时间尺度上的变化其所在的时间位置,充分揭示各种周期随时间变化的特征.

2) R/S(重标极差分析法)分析. R/S(Rescaled Range Analysis)是一种非线性科学预测方法,最早由 Hurst^[19]在总结尼罗河的多年水温观测资料时提出的一种分析方法.随后由 Mandelbrot 和 Wallis^[20-21]等从理论上对该方法进行了补充与完善,通常用于分析时间序列的分形特征和长期记忆过程^[22-23].

设时间序列 $\{\xi(t)\}$, $t = 1, 2, \cdots$, 对于任意正整数 $\tau \geq 1$, 其均值序列为:

$$(\xi)\tau = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^{\tau} \xi(t), \tau = 1, 2, \cdots$$

(1)

累积离差 $X(t)$ 、极差 $R(\tau)$ 、 $S(\tau)$ 分别为:

$$X(t, \tau) = \sum_u^t (\xi(u) - \xi(\tau)), (1 \leq t \leq \tau)$$

(2)

$$R(\tau) = \max X(t, \tau) - \min X(t, \tau)$$

(3)

$$S(\tau) = \frac{1}{\sqrt{\tau}} \sqrt{\sum_i^{\tau} \{\xi(i) - \xi(\tau)\}^2}$$

(4)

Hurst 经验关系式为:

$$(R(\tau)/S(\tau)) \propto (\tau)^H$$

(5)

式(5)中 H 即为时间序列 $\{\xi(t)\}$ 的 *Hurst* 指数,在使用 $\ln(R(\tau))/S(\tau)$ 和 $\ln(\tau)$ 所作的散点图上,用最小二乘法得到散点图的拟合直线,该直线的斜率即为 *Hurst* 指数.

3) SPI 指数. 根据 4 月至 9 月(珠江流域汛期)降水量观测资料,计算 *SPI* 指数.采用文献^[24]的干旱监测指标,将其“重旱”和“特重旱”合并为“重旱”.洪涝判定指标同干旱,只是其 *SPI* 值为正值.表 1 所示为基于器测降水量的旱涝等级判定指标.

表 1 流域旱涝等级 SPI 指数指标

类型	干旱指标	等级	类型	洪涝指标	等级
无旱	$-0.5 < SPI$	4	无涝	$SPI < 0.5$	4
轻旱	$-1.0 < SPI \leq -0.5$	5	轻涝	$0.5 \leq SPI < 1.0$	3
中旱	$-1.5 < SPI \leq -1.0$	6	中涝	$1.0 \leq SPI < 1.5$	2
重旱	$SPI \leq -1.5$	7	重涝	$SPI \geq 1.5$	1

2 结果分析

2.1 旱涝灾害变化趋势分析

统计清代 268 年间珠江流域全流域(各个子流域均出现旱/涝灾害)和各子流域的旱涝频次,并计算旱涝周期,结果如表 2 所示. 清代 1644—1911 年珠江流域总计出现流域性干旱 20 次,平均 13.4 a 发生一次干旱;出现流域性洪涝 39 次,平均 6.87 a 发生一次洪涝灾害. 珠江流域的各子流域发生旱涝灾害的频次不均,其中以北江为首,发生旱涝灾害的年次最多,1644—1911 年共发生干旱 186 次,平均周期为 1.44 a;发生涝灾 236 次,平均周期为 1.14 a. 东江、西江次之,红水河和南盘江发生旱涝灾害相对较少. 综合珠江全流域和各个子流域的统计结果,可以看出洪涝灾害的频次整体高于干旱灾害的频次.

表 2 1644—1911 年珠江流域各子流域旱涝频次

灾害频次	南盘江	红水河	西江	北江	东江	全流域
干旱频次/次	90	130	155	186	156	20
干旱周期/a	2.98	2.06	1.73	1.44	1.72	13.4
洪涝频次/次	172	152	198	236	198	39
洪涝周期/a	1.56	1.76	1.35	1.14	1.35	6.87

其中,珠江流域发生流域性旱/涝灾害的年份如表 3 所示,1695 年、1860 年、1894 年既发生了流域性干旱也发生了流域性洪涝,是重灾害年. 其他旱涝灾害年份与秦剑等人^[25]研究所给出的近 500 年云南省大旱年、大涝年的时间序列部分吻合或相近,一定程度上证明了本文的研究结论.

表 3 1644—1911 年珠江流域发生流域性干旱/旱涝灾害年份

年份	干旱年份	合计/a	洪涝年份	合计/a
1644—1700 年	1680 年,1682 年,1686 年,1687 年,1691 年,1695 年	6	1650 年,1661 年,1663 年,1672 年,1676 年,1678 年,1690 年,1695 年	8
1701—1750 年	1720 年,1721 年,1748 年	3	1714 年,1715 年,1727 年,1744 年,1750 年	5
1751—1800 年	1777 年,1781 年	2	1769 年,1773 年,1783 年,1784 年,1789 年,1792 年,1793 年,1794 年	8
1801—1850 年	1808 年,1817 年,1850 年	3	1812 年,1813 年,1818 年,1820 年,1828 年,1833 年,1839 年,1843 年,1848 年,1849 年	10
1851—1911 年	1851 年,1860 年,1866 年,1870 年,1894 年,1901 年	6	1853 年,1856 年,1860 年,1862 年,1864 年,1868 年,1873 年,1894 年	8

为了更加直观地反映清代珠江流域的旱涝变化特点,本文分别统计了 1644—1911 年旱灾和涝灾的发生频次并做了 5 次多项式拟合,如图 1 和图 2 所示. 从图 1 中线性趋势线可以看出,清代旱涝灾害的发生频次总体呈上升趋势;从 5 次多项式拟合可以看出,干旱灾害的年频次变化不大,整体先小幅下降然后缓慢上升最终趋于平缓. 图 2 反映出清代洪涝灾害的年频次前半段(1644—1760 年)变化较平缓,从 1760—1795 年呈缓慢下降趋势,然后上升直到 1885 年后又迅速下降.

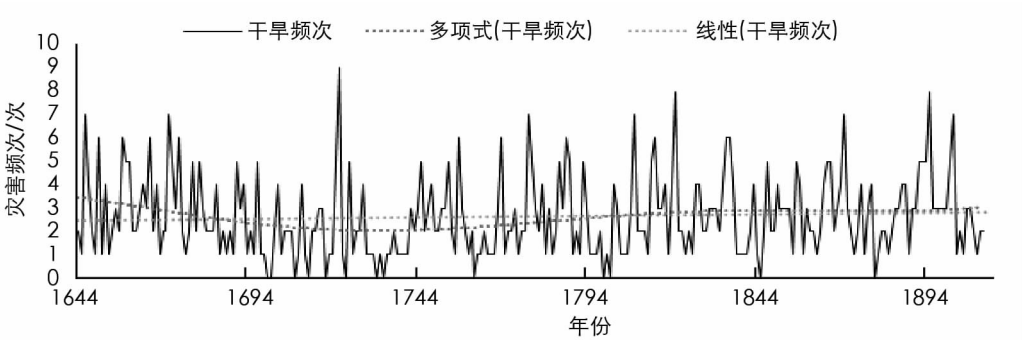


图 1 清代珠江流域干旱频次

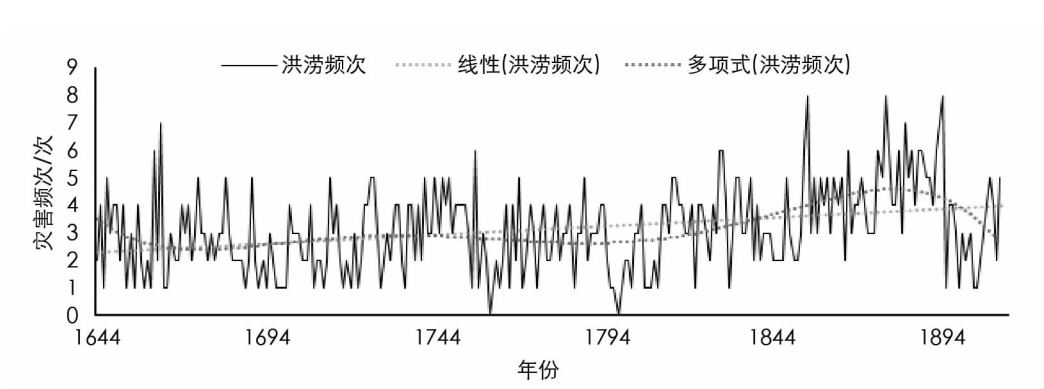


图 2 清代珠江流域洪涝频次

分别用旱涝灾害的频次计算 10 年滑动平均值, 得到图 3. 从图中不难发现, 除去 1730—1754 年和 1853—1898 年 2 个时间段, 旱涝灾害的滑动平均曲线趋势基本相同. 将 2 条曲线做相关性分析, 得到干旱和洪涝灾害 10 年滑动平均值的相关系数为 0.15, 并通过了显著水平为 0.05 的显著性检验. 代表两者呈正相关, 即旱灾频次增加的同时涝灾频次也会相应增加.

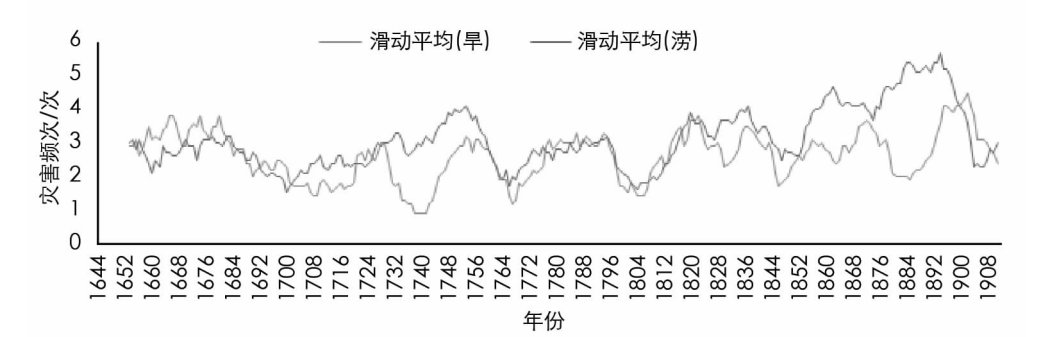


图 3 清代珠江流域旱涝灾害 10 年滑动平均

2.2 旱涝频次周期特征分析

利用 Morlet 小波分析对珠江流域年旱涝频次序列进行处理分析, 得到频率与时间的序列关系图(图 4, 图 5). 图中的符号反映的是振荡的相位, 而正负中心值表示的是在不同时间尺度上, 其振幅所对应的最大值. 1644—1911 年珠江流域年旱涝频次序列在多重时间尺度的时频分布情况可以发现, 该时段珠江流域干旱频次周期变化特征比较明显的时间尺度为 6~7 a、29~32 a, 其中 6~7 a 特征时间尺度的变化周期相对比较有全域性, 29~32 a 尺度的周期变化在 1710—1800 年之间较为明显. 而清代洪涝频次周期变化特征比较明显的时间尺度为 2~3 a、6~7 a、18~22 a、33~36 a 以及 68~72 a, 其中 2~3 a 和 18~22 a 的时间尺度分布范围较广, 相对具有全域性, 33~36 a 的振荡周期在 1790—1810 年之间较为显著.

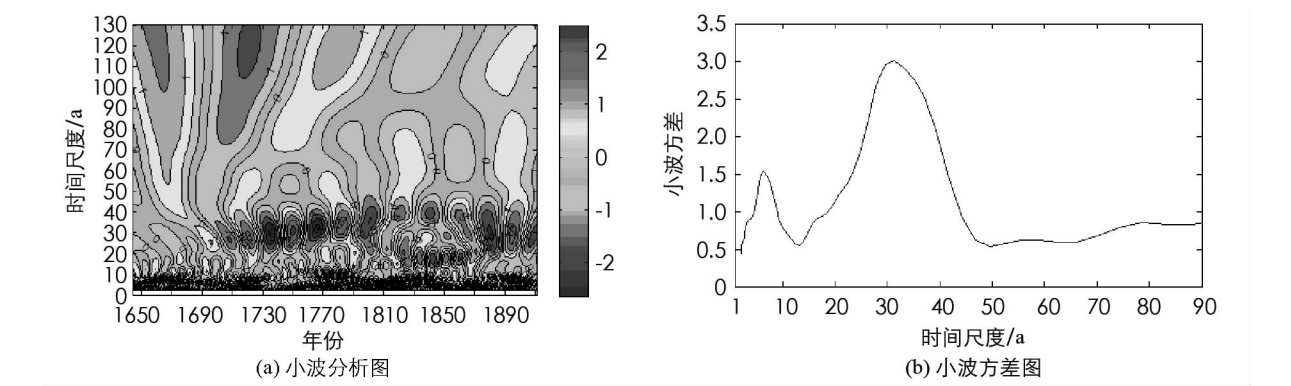


图 4 清代珠江流域干旱频次小波分析图

小波方差图是以小波变换原理为基础, 确定小波信号中存在的主要时间尺度, 以此来确定序列对应的主周期. 由图 4 中的小波方差图可见, 方差曲线有 2 个峰值, 对应着 7 a 和 32 a 左右的主周期, 而方差值最

高的为 32 a 尺度,说明清代珠江流域干旱灾害在 32 a 尺度的周期振荡最强. 从图 5 的小波方差图可知, 2 a, 7 a, 12 a, 22 a, 34 a 和 71 a 均存在振荡周期, 而 34 a 对应的小波方差值最高, 因此洪涝灾害的主周期是 34 a.

综合比较旱涝灾害的小波分析图可发现, 两者在 7 a、32~34 a 的时间尺度上均存在振荡周期, 具有一定相关性. 刘佳旭等^[26]的研究表明, 云南近 61 年的年降水量存在准 2 a、准 6 a、准 8 a、准 18 a、准 28 a 的周期性特征, 且以准 28 a 为主周期, 与本文结论相近.

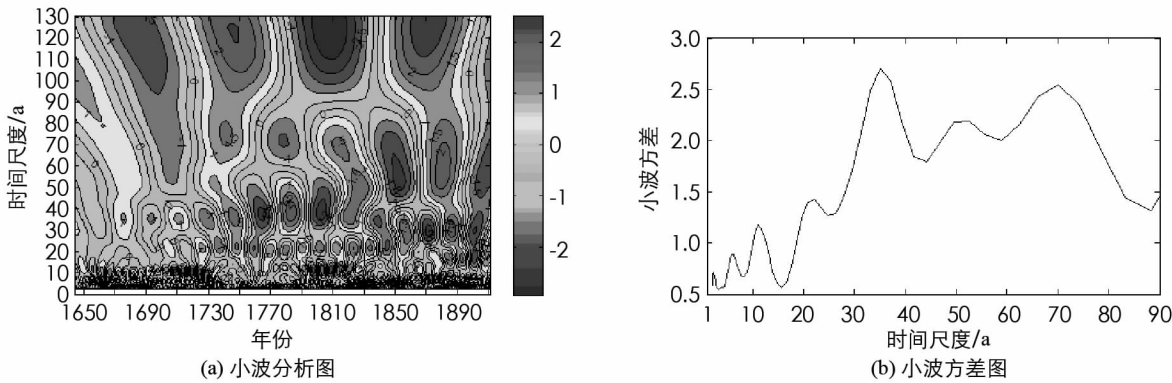


图 5 清代珠江流域洪涝频次小波分析图

2.3 旱涝灾害 R/S 分析

根据 R/S 理论, 若 $0.5 < Hurst$ 指数 < 1 , 表明时间序列具有长期相关的特征, 即过程具有持续性; 若 $Hurst$ 指数等于 0.5, 表示序列具有随机性; 若 $0 < Hurst$ 指数 < 0.5 , 表明时间序列具有长期相关性, 但将来的总体趋势与过去相反, 即过程具有反持续性^[27]. 由图 6 可知, 清代珠江流域的干旱、洪涝频次序列的 $Hurst$ 指数分别为 0.645 6 和 0.821 6, 均大于 0.5, 表明时间序列具有长期相关的持续性特征. 而两者的决定系数分别是 0.980 2 和 0.985 7, 经 t 检验, $p < 0.001$, 说明回归方程线性性质明显, 所以计算的 $Hurst$ 指数有效.

根据上述结论可判断, 珠江流域未来的干旱、洪涝灾害整体变化将与过去的变化趋势一致, 且流域洪涝序列的 $Hurst$ 指数比干旱序列的 $Hurst$ 指数更为接近 1.0, 说明清代珠江流域洪涝序列的趋势延续性比干旱序列更强. 王怀清等^[27]研究鄱阳湖流域近千年的旱涝变化并做了 R/S 分析, 得出的结论与本文相似. 郑太辉等^[28]通过比较 1961—2010 年江西省年及四个季节的降雨量、平均相对湿度与 $RDIst$ 值, 发现江西省总体从偏旱向偏涝转变.

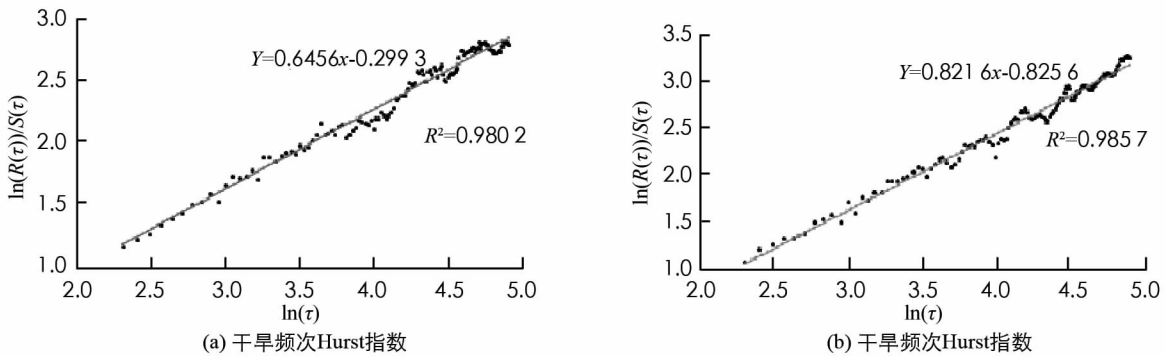


图 6 清代 268 年珠江流域旱涝频次 Hurst 指数

为便于验证 R/S 分析预测, 采用郑景云^[29]已验证可靠性的受灾县次划分旱涝等级法将逐年的旱涝指数分为从 1 至 7 的 7 级, 与 SPI 指数指标(表 1)一一对应, 如图 7 所示. 经相关性分析, 该旱涝等级序列与干旱、洪涝频次序列的相关指数分别为 0.369 和 -0.435 , 且通过置信水平 0.01 的显著性检验.

图 7 由 2 部分数据构成, 第一部分是根据清代 1644—1911 年的历史文献资料对旱涝灾害的等级划分, 第二部分是根据 1951—1999 年的气象观测降水量计算的 SPI 指数等级. 从线性趋势线可以看出旱涝等级整体呈下降趋势, 即由偏旱转为偏涝, 这与清代珠江流域洪涝序列的趋势延续性比干旱序列更强的结论一

致; 从 5 次多项式拟合的曲线可以发现, 旱涝等级整体波动较为平缓, 以上升—下降—上升的趋势向前推进, 这与珠江流域未来的干旱、洪涝灾害整体变化将与过去的变化趋势一致结论一致。

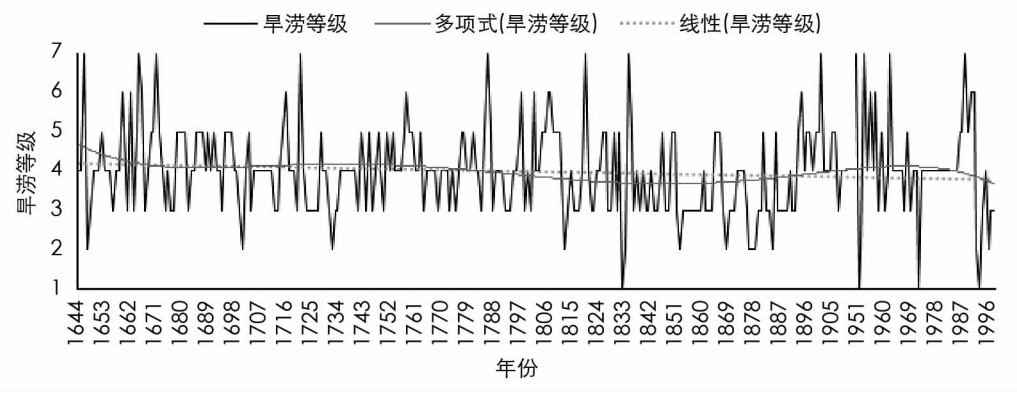


图 7 1644—1999 珠江流域旱涝等级序列

3 结论与展望

本文通过整理清代 1644—1911 年的历史文献资料, 统计了珠江流域以及各个子流域的旱涝灾害发生频次. 利用滑动平均、小波分析等方法研究了清代珠江流域的旱涝灾害演变趋势和周期; 通过 R/S 分析计算 *Hurst* 指数, 预测未来旱涝变化特征, 并通过近 50 年的气象降水资料计算的 *SPI* 指数对预测结果进行验证. 结论如下:

1) 综合珠江全流域和各个子流域的统计结果, 可以看出洪涝灾害的频次整体高于干旱灾害的频次. 其中, 1695 年、1860 年和 1894 年既发生了流域性干旱也发生了流域性洪涝, 是重灾害年. 干旱、洪涝频次序列呈正相关, 即旱灾频次增加的同时涝灾频次也会相应增加.

2) 清代珠江流域干旱频次周期变化特征比较明显的时间尺度为 6~7 a、29~32 a, 32 a 为其主要振荡周期; 洪涝频次周期变化特征比较明显的时间尺度为 2~3 a、6~7 a、18~22 a、33~36 a 以及 68~72 a, 其中 34 a 是主周期.

3) 清代珠江流域的干旱、洪涝频次序列的 *Hurst* 指数分别为 0.645 6 和 0.821 6, 由此判断珠江流域未来的干旱、洪涝灾害整体变化将与过去的变化趋势一致, 且流域洪涝序列的 *Hurst* 指数比干旱序列的 *Hurst* 指数更为接近 1.0, 说明清代珠江流域洪涝序列的趋势延续性比干旱序列更强.

本文主要研究了清代珠江流域旱涝灾害的变化趋势以及周期特征, 对于旱涝灾害在珠江流域的形成机制未做探讨, 这也是本文下一步研究的重点.

参考文献:

[1] 郭 雪, 王志伟, 俞胜彬, 等. 20 世纪我国东部地区的降水及极端旱涝事件变化规律 [J]. 干旱气象, 2013, 31(3): 476-481.

[2] 张 健, 满志敏, 肖薇薇, 等. 1644—2009 年黄河中游旱涝序列重建与特征诊断 [J]. 地理研究, 2013, 32(9): 1579-1590.

[3] 黄荣辉, 周连童. 我国重大气候灾害特征形成机理和预测研究 [J]. 自然灾害学报, 2002, 11(1): 1-9.

[4] 毕硕本, 钱育君, 陈昌春, 等. 1470—1912 年西北东部地区旱涝等级重建序列的特征及对比分析 [J]. 干旱区地理, 2016, 39(1): 12-21.

[5] HAN Y, WANG S X, ZHOU Y, et al. Temporal and Spatial Variability of Flood/Drought in China during the Last 530 years [J]. Disaster Advances, 2012, 5: 1760-1765.

[6] 赵 玉, 穆兴民, 蒋 冲. 兰州地区 500 余年来旱涝变化规律分析 [J]. 水土保持研究, 2014, 21(1): 132-136, 141.

[7] 冯建民, 梁 旭, 郑广芬, 等. 540 年来宁夏旱涝分区及演变趋势的诊断分析 [J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(7): 69-74.

[8] 袁 媛. 1470—2008 年陕西省旱涝序列重建与研究 [C]//第 27 届中国气象学会年会干旱半干旱区地气相互作用分会场论文集. 北京, 2010.

[9] 姚章民, 钱 燕. 珠江重点区域干旱特征指标的初步分析研究 [J]. 人民珠江, 2007, 28(5): 7-8.

[10] FISCHER T, GEMMER M, SU B, et al. Long-Term Meteorological and Hydrological Dryness and Wetness Conditions

- in the PRB, South China [J]. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 2012, 9: 10525-10562.
- [11] 王 莺, 王 静, 姚玉璧, 等. 基于主成分分析的中国南方干旱脆弱性评价 [J]. *生态环境学报*, 2014, 23(12): 1897-1904.
- [12] 杨 帅, 于志岗, 苏 筠. 中国气象干旱的空间格局特征(1951—2011) [J]. *干旱区资源与环境*, 2014, 28(10): 54-60.
- [13] 王志伟, 翟盘茂, 武永利. 近 55 年来中国 10 大水文区域干旱化分析 [J]. *高原气象*, 2007, 26(4): 874-880.
- [14] 张德二. 中国近三千年气象记录总集(全四册) [M]. 南京: 凤凰出版社, 2005.
- [15] 温克刚, 杨年珠. 中国气象灾害大典——广西卷 [M]. 北京: 气象出版社, 2008.
- [16] 谭其骧. 简明中国历史地图集 [M]. 北京: 中国地图出版社, 1991.
- [17] 符淙斌, 王 强. 气候突变的定义和检测方法 [J]. *大气科学*, 1992, 16(4): 482-493.
- [18] GROSSELMANN A, MORLET J, PAUL T. Transforms Associated to Square Integrable Group Representations [J]. I; General results. *Journal of Mathematical Physica*, 1985, 26(10): 2473-2479.
- [19] HURST H E. Long-Term Storage of Reservoirs [J]. *Trans Am Soc Civ Eng*, 1951, 116: 772-785.
- [20] MANDELBROT B B, WALLIS J R. Some Long-Run Properties of Geophysical Records [J]. *Water Resources Res.*, 1969, 5(2): 321-340.
- [21] MANDELBROT B B, WALLIS J R. Robustness of the Rescaled Range R/S in the Measurement of Noncyclic Long-Run Statistical Dependence [J]. *Water Resources Res*, 1969, 5(5): 967-988.
- [22] DEMETRIS KOUTSOYIANNIS. Climate Change, the Hurst Phenomenon, and Hydrological Statistics [J]. *Hydrological Sciences Journal*, 2003, 48(1): 3-24.
- [23] 陈彦光. 基于 Matlab 的地理数据分析 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2012.
- [24] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局发布. 气象干旱等级(GB/T20481—2006) [S]. 中国标准出版社, 2006.
- [25] 秦 剑, 解明恩, 刘 瑜, 等. 云南气象灾害总论 [M]. 北京: 气象出版社, 2000: 34-40, 57-62.
- [26] 刘佳旭, 李丽娟, 李九一, 等. 1954—2014 年云南省降水变化特征与潜在的旱涝区域响应 [J/OL]. *地球信息科学学报*, 2016, 18(8): 1077-1086.
- [27] 王怀清, 殷剑敏, 孔 萍, 等. 鄱阳湖流域千年旱涝变化特点及 R/S 分析 [J]. *长江流域资源与环境*, 2015, 24(7): 1214-1220.
- [28] 郑太辉, 陈晓安, 杨 洁. 近 50a 江西省旱、涝变化趋势及驱动因素研究 [J]. *长江流域资源与环境*, 2016, 25(4): 664-670.
- [29] 郑景云, 张丕远, 周玉孚, 等. 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.

Characteristics and R/S Analysis of Drought/Flood Disasters in Pearl River Basin during Qing Dynasty

LU Ying, BI Shuo-ben, LIU Ai-li, ZHAO Feng, SUN li

School of Geographical Sciences, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China

Abstract: Through sorting out the historical documents and data of the Qing Dynasty from 1644 to 1911, the frequency of drought and flood disasters in the Pearl River Basin and various sub basins have been calculated. The trend and cycle of drought and flood disasters in the Pearl River Basin in Qing Dynasty have been studied by means of moving average and wavelet analysis. The Hurst index has been calculated by R/S analysis to predict the characteristics of drought and flood in the future, and the prediction results are verified by the SPI index calculated by the meteorological precipitation data in the last 50 years. The results show that the frequency of flood disasters in the Pearl River Basin during the Qing Dynasty is higher than the frequency of drought disasters. In 1695, 1860 and 1894, there was basin drought and basin flood. The main oscillation period of the frequency of drought and flood is in 32—34a. The overall changes of drought and flood disasters in the Pearl River Basin will be in accordance with the past trends, and the Hurst index of the flood sequence of the river basin is closer to 1 than the Hurst index of the drought sequence, indicating that the trend continuity of the flood sequence is stronger than that of the drought sequence.

Key words: Pearl River Basin; frequency of drought/flood; R/S analysis; the Qing Dynasty

责任编辑 胡 杨