

清代 1644–1911 年期间珠江流域

旱涝灾害时空特征分析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，江苏南京 210044）

【摘要】：通过收集和整理 1644~1911 年珠江流域旱涝灾害历史文献资料，利用受灾县次划分旱涝等级法重建 268a 来的旱涝等级序列。并运用滑动平均、累积距平、EEMD、IDW 等方法分析旱涝序列的时空特征。结果表明：清代 1644~1911 年珠江流域旱涝灾害频发，且涝灾的频次略多于旱灾，可以将 1644~1911 年珠江流域旱涝灾害划分为 3 个偏早期和 2 个偏涝期，旱涝变化存在年际（准 2a、准 5a）、年代际（准 10a、准 24a 和准 54a）和准世纪际（准 134a）上的 3 类变化周期。清代珠江流域旱涝灾害的受灾县次比在空间上存在明显的差异性，总体上洪涝灾害多于干旱灾害。珠江流域各府（州）的干旱灾害空间分布不均匀，整体上由东向西递减，洪涝灾害的频次空间分布上具有区域相连性，主要集中广东、江西两省以及云南省中部地区。

【关键词】：旱涝灾害 珠江流域 时空特征 EEMD

【中图分类号】：P426.616

【文献标识码】：A

【文章编号】：1004-8227（2018）12-2867-11

DOI: 10.11870/cjlyzyyhj201812023

中国是具有悠久历史和文化传统的文明古国，拥有丰富的史料文献，历史气候相关信息记载丰富且连续性好，在开展历史气候研究领域里具有独特优势，即这些资料为重建中国历史气候状况及其演变过程提供了较大可能性^[1]。

纵观历史，无论是长序列（2179a）或短序列（581a），旱涝灾害的强度和频率都首屈一指^[2]。Peng 等^[3]致力于时空模式定量综合分析近 500a 内蒙古的气象灾害，发现其发生频率和强度普遍增加，近一个世纪旱涝灾害加速更为明显。Han 等^[4]将过去 560a 历史洪水/干旱指数序列（FD 指数序列）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。我国有部分学者基于历史资料，研究了近百年来我国旱涝的时间特征和变化趋势。万红莲等^[5]的研究发现宝鸡地区旱涝灾害具有较为明显的阶段性特征，1368~1644 年为偏旱阶段，1645~1804 年为旱涝灾害波动阶段，1805~1911 年为偏涝阶段，整体上呈现出干旱—湿润期的交替特征。王怀清等^[6]采用了 R/S 方法分析了年代际旱涝频次的 Hurst 指数，结果表明鄱阳湖流域及各子流域的年代际干旱频次的 Hurst 指数普遍在 0.7~0.8 之间，洪涝在 0.8~0.9 之间。万金红等^[7]建立西北区域综合旱涝指数模型，发现区域在 1470~2008 年间呈现出干旱频发的态势。赵玉等^[8]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。郭雪等^[9]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^[1]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 366a 存在 2 个由干旱转为雨涝期的气候

¹收稿日期:2018-04-13; 修回日期:2018-07-30

基金项目: 国家自然科学基金 (41271410)

作者简介: 鲁颖 (1994~), 女, 硕士研究生, 主要从事空间数据挖掘方面研究. E-mail: 503855582@qq.com

通讯作者 E-mail: bishuoben@163.com

突变点。冯建民等^[10]应用近 500a 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^[11]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 539a 的旱涝序列重建。

中国幅员辽阔,季风气候显著,降水分布不均匀,因此我国旱涝灾害在空间分布上也存在显著差异。Ye 等^[12]基于全球帕默尔干旱指数(The Palmer Drought Severity Index, PDSI)数据和来自中国的月降水量资料,研究发现春季 PDSI 的年代际空间分布是相似的,夏季和秋季的 PDSI 的区域差异明显,尤其是在秋天。Zhang 等^[13]的研究表明中国的大部分地区是由洪水加剧为主,相对而言,干旱灾害加剧的空间范围小于洪涝灾害加剧的空间范围。姚亚庆等^[14]的研究发现我国旱涝受灾面积和成灾面积在各区域影响程度不同:华东区、东北区和华中区旱涝并重,华北区和西北区主要以干旱为主,西南区主要以洪涝为主;洪涝最严重的是华东区,所占比例为 7.19%。郑景云等^[15]采用各级旱涝发生几率的比率差指标,研究了过去 2000a 百年尺度寒冷时段(440~540 年、780~920 年、1390~1460 年、1600~1700 年、1800~1900 年)和温暖时段(650~750 年、1000~1100 年、1190~1290 年、1900~2000 年)的中国东部旱涝格局。叶敏等^[16]的研究表明我国春季的 PDSI 的年代际空间分布特征与 PDSI 的年代际空间分布特征相似;夏季和秋季的 PDSI 的地区差异比较明显,尤其是秋季更为明显。

研究表明,珠江流域的气象干旱导致流域内径流减少,引发水文干旱^[17]。地域分布上,广东省位于干旱低脆弱区,云南、贵州、广西则位于干旱高脆弱区^[18];干旱在西部与北部发生概率更大^[19]。时间分布上,1951~2005 年珠江流域历经 3 个洪涝期与两个干旱期^[20];流域的干旱尺度正在缓慢扩大,轻旱增多^[21];流域内大部分地区春旱减缓但秋旱加重^[22]。研究认为冬季海温异常导致中纬度西风带扰动不足是广东地区冬半年连续干旱的原因^[23];当平均风向由东东南偏转 50° 至东东北时,珠江流域 11 月降水量与降水频次明显减少^[24];从大气环流场来看,中纬度西风带扰动不足,南支槽活动偏弱,导致冷暖空气对峙减少,可能造成珠三角地区冬半年干旱^[25]。以上研究结果指出,珠江流域近年来干旱事件多发,受灾范围扩大。近年来,虽有不少学者对珠江流域的旱涝灾害进行研究,但多数局限于近 50a 的短时间尺度,对于历史时期的研究甚少。

本文利用清代 1644-1911 年的历史文献资料对旱涝灾害进行分级,运用滑动平均、累积距平法分析旱涝序列的总体趋势特征;利用集合经验模态分解方法(Ensemble Empirical Mode Decomposition, EEMD)法探讨旱涝灾害不同时间尺度下的周期性,获取旱涝灾害年发生的周期特征。通过频次统计分析、反距离加权插值(Inverse Distance Weighted, IDW)等方法,统计珠江流域旱涝灾害年次以及年均受灾县次比,并分析旱涝等级序列的空间特征。

1 研究区与研究方法

1.1 研究区概况

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 20.23° N~30.08° N, 97.53° E~118.48° E 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。

珠江是我国第二大河流,第三长河流,年径流量 3492 多亿 m³,全长 2320km,流域面积约 44 万 km²,包括西江、北江和东江三大支流,珠江流域地处亚热带,北回归线横贯流域的中部,气候温和多雨,多年平均温度在 14~22℃:之间,多年平均降雨量 1200-2200mm,降雨量分布明显呈由东向西逐步减少,降雨年内分配不均,地区分布差异和年际变化大。

本文采用谭其骧主编的《中国历史地图集》中清宣统三年(1911 年)珠江流域的行政规划历史地图,对其进行矢量化等操作,得到清代珠江流域府(县)图,如图 1 所示。

1.2 研究方法



1. 2. 1 受灾县次划分旱涝等级法

本文采用郑景云^[26]已验证可靠性的受灾县次划分旱涝等级法,避免了利用旱涝灾害的描述确定旱涝灾害等级的人为主观判断的影响。利用逐年旱涝县次的距平百分率来表示某个地区旱涝县次大小,计算公式为:

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

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

式中: PD_i 为 PF_i 受旱和受涝县次的逐年距平百分比率; ND_i 和 NF_i 分别为逐年旱灾和涝灾县次数; ND 和 NF 分别为 ND_i 和 NF_i 的多年(1644~1911)平均值。

当受旱县次的距平百分率 PD_i 较大时,表示降水量偏少,旱灾灾情严重;当涝县次距平百分率 PF_i 大时,表示降水量偏多,涝灾灾情严重;当 PD_i 或 PF_i 小时,表示降水量接近多年平均值,旱涝灾害较少。将逐年的旱涝指数分为从 1 至 7 分的 7 级,用 I 来表示逐年旱涝灾害的程度与范围。 I 和 PD_i 及 PF_i 之间有以下关系:

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

1.2.2 集合经验模态分解方法 (EEMD)

集合经验模态分解方法^[27] (EEMD) 是近年来发展起来的一种时间上的局部自适应时间序列的多时间尺度分析技术, 比较适用于分析非平稳、非线性变化的时间序列。可将不同时间尺度上的波动从原始序列中逐级分离, 核心思想是在原始时间序列中加入高斯白噪声, 与原时间序列组为混合序列, 使得信号变化在不同时间尺度上连续, 改变不同时间尺度信号在极值点的特性。有很强的局地特性和提取非显著较弱信号的能力。此外, 结合白噪声自身为零均值噪声的特性, 在经过多次分解并取算术平均后, 所有噪声会因相互抵消而被消除, 在保留原序列蕴含信息的同时最大程度的克服了模态混合问题^[28]。考虑到在进行 EEMD 分解过程中会出现的边界问题和端点效应, 利用镜像延拓的办法将数据两端进行对称性延拓的处理, 以便有效地消除分解过程中可能产生的上下冲现象^[29]。因此, EEMD 方法目前在气候研究与预测方面已获得较为广泛的应用^[30~32]。

2 结果分析

2.1 时间序列特征

2.1.1 趋势特征

通过运用受灾县次划分旱涝等级法, 得到珠江流域逐年的区域旱涝指数 I, 建立了 1644~1911 年珠江流域旱涝等级序列, 如图 2 所示。

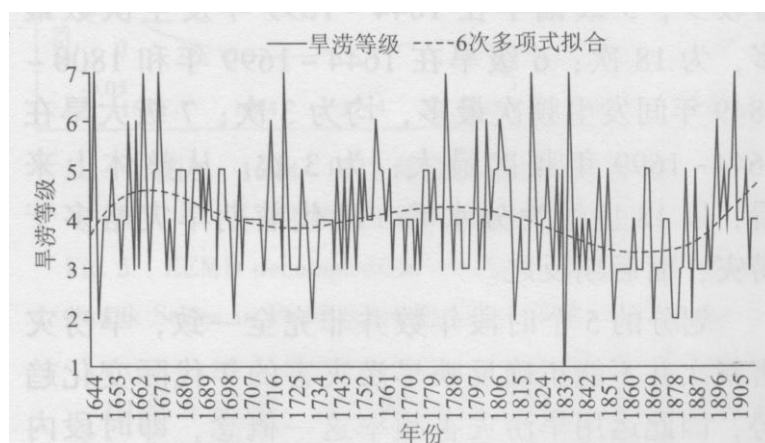


图 2 1644~1911 年珠江流域旱涝等级序列图

Fig. 2 Rank sequence diagram of drought/flood disasters in the Pearl River Basin during 1644-1911

由图 2 可知, 清代珠江流域旱涝灾害发生频繁, 旱灾和涝灾交替发生, 总体呈上升-下降-上升-下降的波动变化趋势。268a 间共发生旱涝灾害 174 年次, 占总年次的 64.93%。其中, 1 级大涝仅发生 1 次; 2 级涝发生 11 次, 占 4.1%, 平均 24.3a 发生一次; 3 级偏涝发生 83 次, 占 30.97%, 平均 3.23a 发生一次; 5 级偏旱发生 61 次, 占 22.76%, 平均 4.39a 发生一次; 6 级旱发生 10 次, 占 3.73%, 平均 26.8a 发生一次; 7 级大旱发生 8 次, 占 2.99%, 平均 33.5a 发生一次。由此可见, 清代 1644~1911 年珠江流域旱涝灾害频发, 且涝灾的频次略多于旱灾, 但大旱的年次明显多于大涝的年次。

以世纪为时间单位, 以 50a 为一个时段, 将整个清代 1644-1911 年 268a 分为 5 个时段, 分别为: 17 世纪后半叶 (1644~1699 年), 18 世纪前半叶 (1700~1749 年), 18 世纪后半叶 (1750~1799 年), 19 世纪前半叶 (1800~1849 年), 19 世纪后半叶至清

末（1850～1911 年），统计不同时段内不同程度旱涝灾害发生的频次和频率，如表 1 所示，以反映在 50a 尺度上旱涝灾害的年代际特征。

表 1 清代珠江流域旱涝灾害频次及频率分布表

Tab. 1 Frequency and frequency distribution of drought and flood in Pearl River Basin in Qing Dynasty

时段	等级	1 级大涝	2 级涝	3 级偏涝	4 级正常	5 级偏旱	6 级旱	7 级大旱
1644-1699	频次	0	i	10	21	18	3	3
	频率	0%	2%	18%	38%	32%	5%	5%
1700-1749	频次	0	2	16	24	6	1	1
	频率	0%	4%	32%	48%	12%	2%	2%
1750-1799	频次	0	0	11	24	12	2	1
	频率	0%	0%	22%	48%	24%	4%	2%
1800 ~ 1849	频次	1	2	19	12	11	3	2
	频率	2%	4%	38%	24%	22%	6%	4%
1850-1911	频次	0	6	27	13	14	1	1
	频率	0%	10%	44%	21%	23%	2%	2%
合计	频次	1	11	83	94	61	10	8
	频率	0%	4%	31%	35%	23%	4%	3%

注:旱涝灾害的频率=旱涝灾害的频次+时段总年数.

从表 1 可知，从不同等级的统计频次来看，1 级大涝仅有一次，在 1800～1849 年之间；2 级涝在 1850～1911 年发生次数最多，为 6 次；3 级偏涝同样在 1850～1911 年发生频次最多，为 27 次；4 级正常在 1700～1749 年和 1750～1799 年间的频次最多，皆为 24 次，说明该时段内旱涝灾害较少；5 级偏早在 1644～1699 年发生次数最多，为 18 次；6 级早在 1644～1699 年和 1800～1849 年间发生频次最多，均为 3 次；7 级大早在 1644～1699 年频次最大，为 3 次。从整体上来看，以 18 世纪为分水岭，清代前期旱灾略多于涝灾，而后期反之。

划分的 5 个时段年数并非完全一致，旱涝灾害频次并不能正确反映旱涝灾害的年代际变化趋势，因此运用旱涝灾害频率这一概念，即时段内旱涝灾害发生的比率，以解决 5 个时段内年数不等的问题。为了更直观地反映 50a 尺度的清代珠江流域旱涝灾害的分布特征及变化趋势特征，依据表 1 的统计结果，绘制出旱涝灾害频率直方图和 4 次多项式拟合曲线，如图 3 所示。

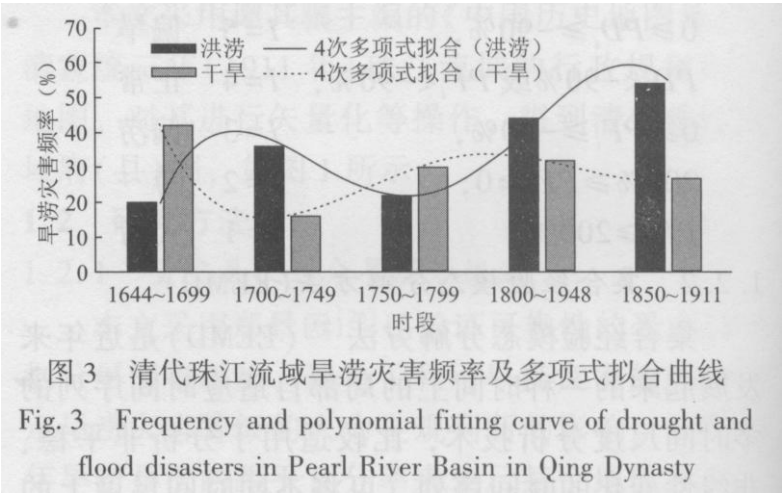


图 3 清代珠江流域旱涝灾害频率及多项式拟合曲线
Fig. 3 Frequency and polynomial fitting curve of drought and flood disasters in Pearl River Basin in Qing Dynasty

图 3 显示, 珠江流域旱涝灾害在清代 268a 间存在明显的波动。其中, 洪涝灾害的 4 次多项式拟合方程为: $y = -4.75x^4 + 58.5x^3 - 247.25x^2 + 419.5x - 206$, 呈现上升-下降-上升的变化趋势; 干旱灾害的 4 次多项式拟合方程为: $y = 2.375x^4 - 32.417x^3 + 155.13x^2 + 217$, 呈现下降-上升-下降的变化趋势。总体看来, 不同时段内旱、涝灾害频率虽有差异, 但除 1644~1699 年和 1750~1799 年外, 其他时段涝灾频率均高于旱灾频率。

为了进一步探究清代珠江流域旱涝灾害的整体变化趋势, 深入了解珠江流域旱涝灾害的阶段性特征, 绘制清代珠江流域旱涝灾害 11a 滑动平均和累计距平曲线, 如图 4 所示。由珠江流域 1644~1911 年旱涝灾害 11a 滑动平均曲线可以看出, 珠江流域 1644~1911 年间旱涝灾害大致经历了 5 个阶段: 1644~1700 年旱涝虽有波动, 总体上以旱灾为主; 1700~1740 年主要以涝灾为主, 连涝频繁, 涝灾的频次和等级远远高于旱灾; 1740~1820 年以旱灾发生为主, 旱涝交替出现; 1820~1896 年以涝灾为主; 1900~1911 年曲线迅速上升, 说明旱灾明显增加。而累计距平曲线显示, 1644~1815 年曲线呈波动上升趋势, 说明该时段内旱灾一直持续发生, 其中 1644~1692 曲线上升速度快, 说明珠江流域在该时段内以大旱连旱为主; 1692~1815 曲线波动上升, 坡度较缓, 表明该时段内旱灾略有增加, 频次和等级均不高; 1815 年出现一个明显的拐点, 随后曲线呈下降趋势, 该时段内以涝灾为主, 一直持续到 1895 年; 1895~1911 年曲线急速上升, 表明该时段内旱灾显著增加。

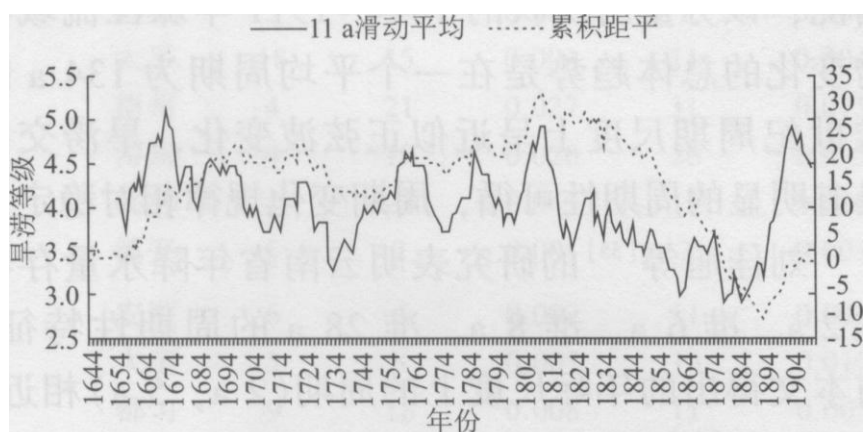


图 4 清代珠江流域旱涝灾害 11a 滑动平均和累计距平曲线图

Fig. 4 11a moving average and cumulative anomaly curve of drought and flood disasters in the Pearl River Basin in Qing Dynasty

除 1815 年和 1895 年为明显的拐点外, 1700、1716、1720、1850、1788、1835 和 1870 等也是较为明显的拐点。根据 11a 滑动平均和累计距平的结果, 可以将清代 1644~1911 年珠江流域旱涝灾害划分为 3 个偏旱期(1644~1705、1752~1817 和 1899~1911) 和 2 个偏涝期(1706~1751 和 1818~1898)。秦剑等^[33]给出的云南省近 500a 的大旱年(1648、1665、1689; 1861, 1867)和大涝年(1707, 1713, 1726 等)均包含在本文得出的偏旱/涝期内。

2.1.2 周期特征

在了解 268a 间旱涝变化基本时间特征基础上, 利用集合经验模态分解方法, 对旱涝灾害等级时间序列进行了多时间尺度特征分析。集合分解过程采用的扰动白噪声与原始信号的信噪比为 0.2, 集合样本数为 100。得到 6 个不同时间尺度和波动幅度的固有模态函数 IMF (Intrinsic mode function) 分量及反映信号总体变化趋势的趋势项分量 RES, 如图 5 所示。

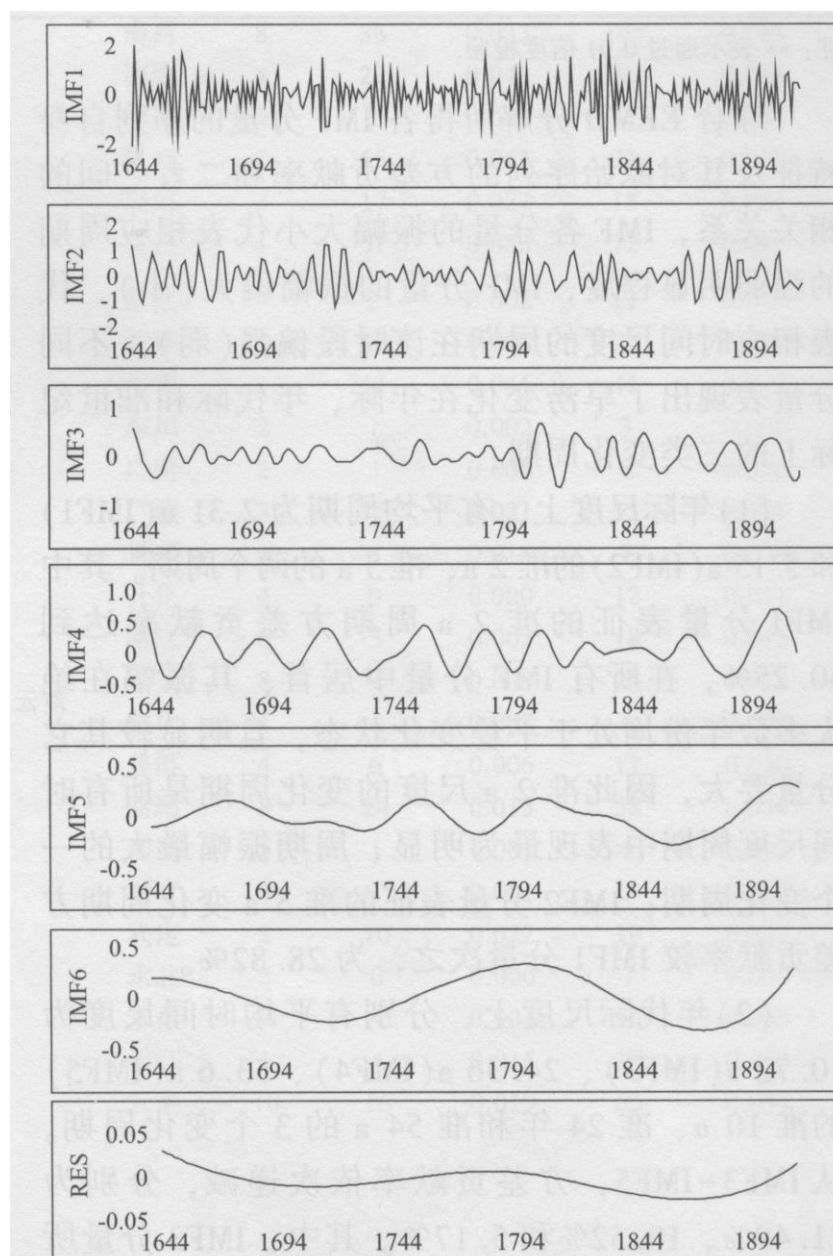


图 5 1644~1911 年珠江流域旱涝等级
序列的 EEMD 分解结果

Fig. 5 EEMD decomposition results of drought and flood
rank Series in Pearl River Basin in 1644-1911 years

由图 5 可知,从 IMF1 到 IMF6,各分量依次包含从高频到低频上分解信号的不同频率,充分说明在 268a 时间里,珠江流域地区的旱涝灾害等级变化存在多个时间尺度特征,各个时间尺度均体现了旱涝变化在不同时间尺度上的局部变化特征。趋势项 RES 分量则是用来体现旱涝变化随时间演变的总体趋势特征,正值代表偏旱,负值代表偏涝。各个 IMF 分量自身均存在相对稳定的变化准周期,在不同时段内,不同时间尺度准周期振荡强弱的变化随时间不同呈非线性变化。计算各个 IMF 分量的平均周期,并求其信号波动频率与振幅对原时间序列总体特征变化的方差贡献率。同时采用皮尔逊相关系数法得出各个 IMF 分量与原始序列的相关系数并检验其显著性(表 2)。由此可看出各 IMF 分量在相应时间尺度上表征的旱涝变化情况的显著程度。

表 2 EEMD 分解各 IMF 分量的平均周期及其与原始序列的相关系数、方差贡献率

Tab. 2 Average period of each IMF component and its correlation coefficient with the orieinal seauence and the variance contribution rate

	IMF1	IMF2	IMF3	IMF4	IMF5	IMF6	RES
周期 (a)	2. 31	5. 15	10. 72	24. 36	53. 6	134	
相关系数	0. 674**	0. 565 **	0. 337**	0. 357**	0. 295 **	0. 239**	0. 26 **
方差贡献率 (%)	30. 25	28. 82	21. 49	10. 52	5. 17	3. 50	0. 24

注: **表示通过 0. 01 信度检验.

综合 EEMD 分解所得各 IMF 分量的序列自身特征及其对原始序列的方差贡献率和二者之间的相关关系, IMF 各分量的振幅大小代表相应周期的强弱明显程度, IMF 分量的振幅偏大(小), 代表相应时间尺度的周期在该时段偏强(弱)。不同分量表现出了旱涝变化在年际、年代际和准世纪际上的三类变化周期:

(1) 年际尺度上, 有平均周期为 2. 31a(IMF1)和 5. 15a(IMF2)的准 2a、准 5a 的两个周期。其中 IMF1 分量表征的准 2a 周期方差贡献率达到 30. 25%, 在所有 IMF 分量中居首, 其振幅在绝大多数年份均处于平稳变化状态, 且明显较其它分量要大, 因此准 2a 尺度的变化周期是所有时间尺度周期中表现最为明显、周期振幅最大的一个变化周期; IMF2 分量表征的准 5a 变化周期方差贡献率较 IMF1 分量次之, 为 28. 82%。

(2) 年代际尺度上, 分别有平均时间尺度为 10. 72a(IMF3)、24. 36a(IMF4)、53. 6a(IMF5)的准 10a、准 24 年和准 54a 的 3 个变化周期。从 IMF3-IMF5, 方差贡献率依次递减, 分别为 21. 49%、10. 52%和 5. 17%。其中, IMF3 分量所表征的是准 10 年周期, 振幅在整个时段表现明显, 且其强弱变化趋势和平稳状态与 IMF1 分量极为相似, 仅在个别时段(1722~1744 年)上相对偏弱; IMF4 分量所表征的准 25a 变化周期与原始序列的相关性最为显著, 并且具有全域性, 除在 1824~1864 年振幅相对较小, 其余 228a 中振荡明显, 周期规律显著; 方差贡献率最小的 IMF5 分量所表征的准 50a 周期的振幅则在接近研究时段 3/4(1674~1887)的时间里表现明显。

(3) IMF6 分量所表征的是一个平均周期为 134a 的准世纪际变化周期, 从其与原始序列的相关系数(0. 26)来看, 是具有较好表征能力的 IMF 分量。结合趋势项 RES 观察二者变化趋势, 发现除在振幅大小上有明显差异外, 二者的总体的位相有较高一致性, 对于已经逐渐接近趋势项 RES 的 IMF 分量, 可以将其二者整合在一起反映旱涝灾害在整个研究时段中的变化趋势^[34]。由此, 该周期尺度所表征的旱涝灾害的周期变化情况具有总体性, 可大致反映整个时段的干湿变化情况, 该分量所反映的 1644~1911 年珠江流域旱涝变化的总体趋势是在一个平均周期为 134a 的准世纪周期尺度上呈近似正弦波变化, 旱涝交替具有明显的周期性可循, 周期变化规律相对稳定。

刘佳旭等^[35]的研究表明云南省年降水量存在准 2a、准 6a、准 8a、准 28a 的周期性特征, 与本文得出的年际尺度上的周期(2a, 5a)相近。薛积彬等^[36]曾用广东 1480~1939 年的水旱记录建立过 5 分辨率的湿润指数序列, 认为广东湿润指数在该时期存在 6~8a, 11~13a, 15a, 25a 等周期, 由于分辨率和研究方法的不同, 与本文结果虽然存在一定的差别, 但总体与本文 5a、11a、24a 周期较接近。伍红雨等^[37]利用华南 110 个站点 1961~2008 年的器测资料探究过华南暴雨的周期性特征, 发现暴雨日数存在 2~3a 和 3~4a 左右的变化周期, 这与本文的 2a 周期接近。

2. 2 空间分布特征

建立“年均旱灾县次比”指标, 其计算公式为: 以一定时期内某个府(州)累计发生旱灾、涝灾县数÷该时间段历经年数÷该府(州)所具有的县数。这一指标不仅反映了一定时期内各府(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。

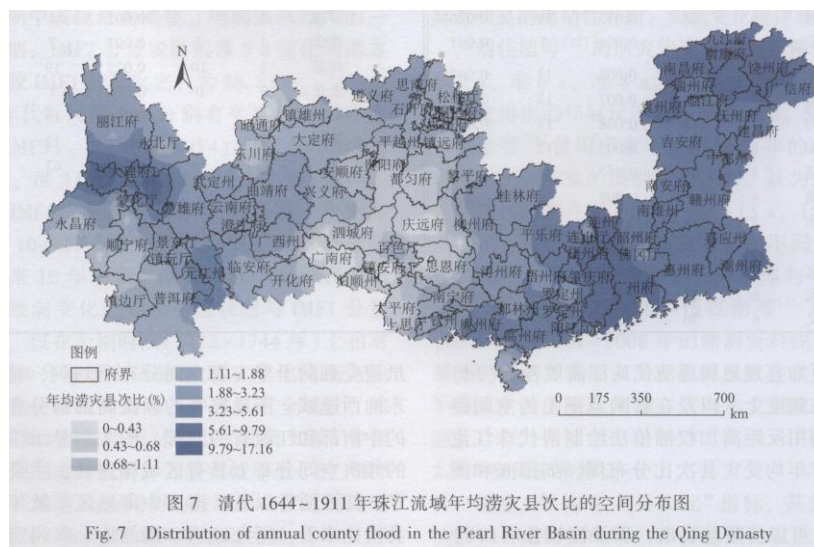
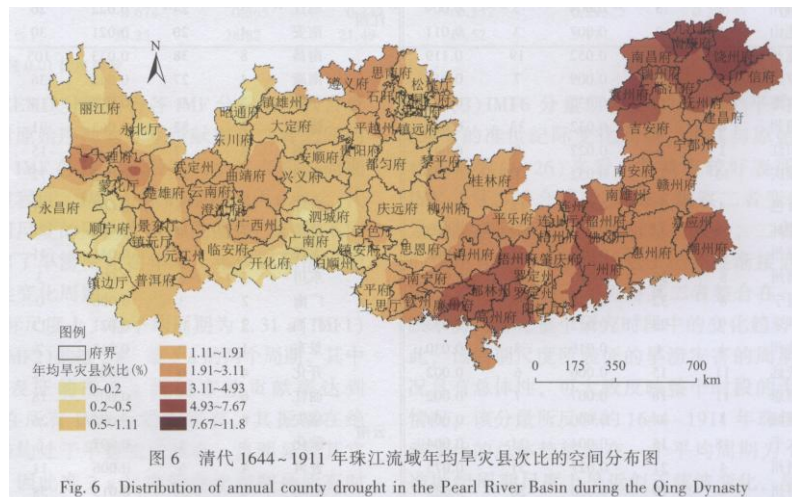
表 3 清代珠江流域各府（州）旱涝灾害年次、年均旱涝灾害县次比分布表

Tab. 3 Frequency of drought/flood disasters and an index about county in the Pearl River Basin during the Qing Dynasty

省份	府名	县数	旱灾 年次	年均旱灾 县次比	涝灾 年次	年均涝灾 县次比	省份	府名	县数	旱灾 年次	年均旱灾 县次比	涝灾 年次	年均涝灾 县次比
广东	潮州	9	85	0.058	66	0.068	江西	抚州	6	30	0.033	46	0.044
	佛冈	1	1	0.004	2	0.011		赣州	9	25	0.017	54	0.035
	高州	6	53	0.058	89	0.070		广信	7	39	0.049	62	0.048
	广州	14	76	0.040	85	0.079		吉安	10	36	0.029	62	0.040
	惠州	10	35	0.018	48	0.034		建昌	5	17	0.019	17	0.019
	嘉应	4	36	0.036	27	0.046		九江	6	85	0.118	90	0.114
	雷州	3	3	0.004	5	0.009		临江	5	24	0.022	26	0.023
	连山	1	2	0.007	3	0.011		南安	4	20	0.021	30	0.038
	连州	1	14	0.052	19	0.119		南昌	8	38	0.033	105	0.088
	罗定	2	5	0.009	7	0.015		南康	4	27	0.042	36	0.048
	南雄	1	10	0.037	11	0.045		宁都	2	7	0.013	17	0.034
	韶州	6	38	0.032	33	0.031		饶州	7	55	0.063	91	0.098
	阳江	1	6	0.022	8	0.041		瑞州	3	17	0.027	15	0.021
	肇庆	13	73	0.032	118	0.078		袁州	4	57	0.083	72	0.089
	百色	4	23	0.021	18	0.020		澄江	4	2	0.002	11	0.010
	桂林	10	37	0.017	19	0.025		楚雄	7	13	0.008	27	0.017
	廉州	2	30	0.060	25	0.062		大理	1	11	0.041	41	0.172
	柳州	8	28	0.020	45	0.027		东川	2	1	0.002	3	0.006
	南宁	8	32	0.024	29	0.017		广南	2	3	0.006	0	0.000
广西	平乐	9	23	0.012	43	0.033	云南	广西	3	15	0.021	13	0.021
	钦州	1	4	0.019	8	0.030		景东	1	3	0.015	7	0.026
	庆远	11	15	0.006	6	0.002		开化	4	0	0.000	12	0.011
	思恩	11	18	0.007	7	0.002		丽江	6	3	0.002	18	0.015
	泗城	3	0	0.000	1	0.004		临安	8	9	0.005	26	0.014
	太平	18	15	0.004	11	0.004		蒙化	1	1	0.007	6	0.022
	梧州	4	21	0.027	31	0.075		普洱	4	6	0.006	11	0.010
	浔州	4	19	0.026	26	0.035		曲靖	8	24	0.015	58	0.034
	郁林	4	28	0.045	19	0.026		邵通	5	1	0.001	4	0.003
	镇安	5	2	0.001	2	0.001		顺宁	4	1	0.001	7	0.007
贵州	安顺	6	4	0.002	11	0.007		武定	2	10	0.022	19	0.022
	大定	5	8	0.007	13	0.010		永北	3	0	0.000	7	0.009
	都匀	9	18	0.008	11	0.005		永昌	14	4	0.001	16	0.005
	贵阳	8	14	0.007	12	0.006		元江	1	4	0.015	17	0.063
	平越	4	12	0.017	11	0.013		云南	10	16	0.019	63	0.034
	思南	4	6	0.008	13	0.013							
	思州	3	2	0.004	9	0.012							
	铜仁	1	5	0.019	7	0.026							
	兴义	5	11	0.009	16	0.014							
	镇远	6	14	0.011	11	0.008							

为了更加直观地展现清代珠江流域各府（州）旱涝灾害在频度上，以及在影响范围上的空间差异，因此利用反距离加权插值法绘制清代珠江流域旱涝灾害年均受灾县次比分布图，如图 6 和图 7 所示。

从图 6 可以清楚地看出，珠江流域各府（州）虽遭受到的干旱灾害空间分布不均匀，整体上由东向西递减。干旱灾害的频次高的部分在广东省的中南部和江西省的北部。图 7 则显示洪涝灾害的频次空间分布上具有区域相连性，主要集中在广东、江西两省以及云南省中部地区。就年均旱灾县次比来看，则九江府、饶州府、袁州府、廉州府最高，由此可见，九江府是清代珠江流域旱灾最为频繁，且影响范围最广的府（州）。饶州府、袁州府、廉州府虽旱灾年次并不高，但年均旱灾县次比却很高，说明其旱灾频繁度不高，但每次旱灾的影响范围很广泛。图 7 则显示，这 4 个府（州）的年均涝灾县次比相应的降低了 1~2 个等级，可见这 4 府（州）的涝灾发生次数相对频发，但其影响的范围相对比较集中，并不是特别的广。大理和连州府虽旱灾年次并不高，而年均涝灾县次比却相对较高，说明其涝灾并不频繁，但每次涝灾都有较为广泛的影响。由此可见，有些府（州）旱涝灾害的年次较为频繁，但发生的范围相对集中；反之，部分府（州）旱涝灾害发生频次数较低，但旱涝灾害的影响区域却很广。刘佳旭等^[35]发现云南的洪涝易发地区涉及 3 州 2 市，依次为怒江州、大理州、文山州、普洱市及邵通市。云贵地区整体上趋于干旱，在云南与贵州交界处，偏旱现象较为严重，仅在云南省北部出现偏湿现象^[38]。由 3.1 节的阐述和表 3 以及图 6、图 7 可见，清代珠江流域不仅在时间特征上洪涝灾害多于干旱灾害，在空间分布上亦是如此。这与 Zhang 等^[13]的研究结论相同。



3 结论与展望

本文收集整理了清朝 268 年的旱涝灾害资料,通过受灾县次划分旱涝等级法对旱涝灾害进行分级(7 级),重建珠江流域 1644-1911 年的旱涝灾害等级序列。运用滑动平均、累积距平、EEMD、IDW 等方法分析了清代珠江流域旱涝灾害的时空特征。所得结论如下:

(1) 时间序列特征:清代 1644~1911 年珠江流域旱涝灾害频发,且涝灾的频次略多于旱灾,但大旱的年次明显多于大涝的年次。从整体上来看,以 18 世纪为分水岭,清代前期旱灾略多于涝灾,而后期反之。根据 11a 滑动平均和累计距平的结果,可以将清代 1644~1911 年珠江流域旱涝灾害划分为 3 个偏旱期(1644~1705、1752~1817 和 1899~1911)和 2 个偏涝期(1706~1751 和 1818~1898)。旱涝变化存在年际(准 2a、准 5a)、年代际(准 10a、准 24 年和准 54a)和准世纪际(准 134a)上的 3 类变化周期。

(2) 空间分布特征:清代珠江流域旱涝灾害的县次比在空间上存在明显的差异性,总体上洪涝灾害多于干旱灾害。珠江流域各府(州)虽遭受到的干旱灾害空间分布不均匀,整体上由东向西递减。干旱灾害的频次高的部分在广东省的中南部和江西省的北部;洪涝灾害的频次空间分布上具有区域联接性,主要集中广东、江西两省以及云南省中部地区。就年均旱灾县次比来看,九江府、饶州府、袁州府、廉州府最高;九江府、饶州府、南昌府和肇庆府则处于涝灾的高发区。

鉴于历史文献资料的局限性,虽然对收集的史料进行了对比考证和标准化处理,但是对常年无记载年份或记载有冲突的年份未进行逐一考证,且由于历史资料语言较晦涩,等级的划分带有一些主观性和不确定性,如何更准确从历史资料中提取信息,是下一步工作的重点。

参考文献:

[1] 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(09): 1579-1590.

ZHANG J, MAN Z M, XIAO W W, et al. Research on sequence reconstruction and characteristics diagnosis of droughts and floods in the Middle Yellow River since the Qing Dynasty (1644-2009) [J], Geographical Research, 2013, 32(09): 1579-1590.

[2] 冯焱. 历史上水旱灾害及其影响[J], 防灾减灾, 1995(5): 5-10.

FENG Y. Influence of flood and drought disasters in history[J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 1995(5): 5-10.

[3] PENG Y, SONG J Y, CUI T T, et al. Temporal-spatial variability of atmospheric and hydrological natural disasters during recent 500 years in Inner Mongolia, China [J]. Natural Hazards, 2017, 98(1): 441-456.

[4] 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.

[5] 万红莲,宋海龙,朱婵婵,等. 明清时期宝鸡地区旱涝灾害链及其对气候变化的响应[J]. 地理学报, 2017, 72(01): 27-38.

WAN H L, SONG H L, ZHU C C, et al. Drought and flood disaster chain and its response to climate change in Baoji

region during the Ming and Qing dynasties[J] • Acta Geographica Sinica, 2017, 72(01) : 27-38.

[6] 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[门].长江流域资源与环境,2015,24(07):1214-1220.

WANG H Q, YIN J M, KONG P, et al. Variation of drought and flood over the last millennium in Poyang Lake Basin by R/S analysis[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2015, 24(07) : 1214-1220.

[7] 万金红,吕娟,刘和平,等.1470~2008年中国西北干旱地区旱涝变化特征分析U].水科学进展,2014,25(05):625-631.

WAN J H, LV J, LIU H P, et al. Drought-flood variation characteristics and trends in arid Northwestern China during 1470-2008 [J]. Advances in Water Science, 2014, 25(05): 625-631.

[8] 赵玉,穆兴民,蒋冲.兰州地区500余年来旱涝变化规律分析[门].水土保持研究,2014,21(01):132-136,141.

ZHAO Y, MU X M, JIANG C. Analysis on the variation of drought&flood grades from 1470 to 2008 in Lanzhou area [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2014, 21(01): 132-136, 141.

[9] 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(03):476-481.

GUO X, WANG Z W, YU S B, et al. Precipitation and variations of extreme drought/flood events in the eastern China in the 20th Century [J] . Arid Meteorology, 2013, 31(03): 476-481.

[10] 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(07):69-74.

FENG JM, LIANG X, ZHEN GF, et al. Division and diagnostic analysis of drought and flood in Ningxia for the last 540 years[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2011, 25(07): 69-74.

[11] 袁媛.1470~2008年陕西省旱涝序列重建与研究[A].中国气象学会:2010:4.

YUAN A. Reconstruction and study of drought and flood sequence in Shaanxi Province in 1470 - 2008 years [A]. China Meteorological Society: 2010: 4.

[12] YE M, QIAN Z H, WU Y P, et al. Spatiotemporal evolution of the droughts and floods over China [J]. Acta Physica Sinica, 2013, 62(13).

[13] ZHANG X Y, CONG Z T. Trends of precipitation intensity and frequency in hydrological regions of China from 1956 to 2005 [J]. Global and Planetary Change, 2014, 117: 40-51.

[14] 杨晓静,左德鹏,徐宗学.基于标准化降水指数的云南省近55年旱涝演变特征[门].资源科学,2014,36(03):473-480.

YANG X J, ZUO P D, XU Z X. Characteristics of droughts and floods analyzed using the standardized precipitation index in Yunnan province during the past 55 years [J]. Resources Science, 2014, 36(03) : 473-480.

-
- [15] 郑景云, 郝志新, 张学珍, 等. 中国东部过去 2000 年百年 冷暖的旱涝格局[J]. 科学通报, 2014, 59(30) : 2964– 2971.
- ZHENG J Y, HAO Z X, ZHANG X Z, et al. Drought/flood spatial patterns in centennial cold and warm periods of the past 2000 years over eastern China [J]. Chinese Science Bulletin, 2014, 59(30) : 2964–2971.
- [16] 叶敏, 钱忠华, 吴永萍. 中国旱涝时空分布特征分析[J]. 物理学报, 2013, 62(13) : 573–585.
- YE M, QIAN Z H, WU Y P. Spatiotemporal evolution of the droughts and floods over China [J]. Acta Physica Sinica, 2013, 62(13) : 573–585.
- [17] 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.
- [18] 王鸾, 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.
- WANG Y, WANG J, YAO Y B, et al. Evaluation of drought vulnerability in southern China based on principal component analysis[J]. Ecology and Environment, 2014, 23(12) : 1897 –1904.
- [19] 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.
- YANG S, YU Z G, SU Y. Spatial pattern of meteorological drought in China(1951–2011) [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2014, 28(10) : 54–60.
- [20] 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.
- WANG Z W, ZHAI P M, WU Y L. Analysis on drought variation over 10 hydrological regions in China during 1951 – 2005 [J]. Plateau Meteorology, 2007, 26(4) : 874–880.
- [21] 陈少勇, 贺红梅, 吴芳蓉, 等. 中国西南和华南地区春旱 的气候变化特征[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(9): 138–143.
- CHEN S Y, HE H M, WU F R, et al. Climate change characteristics of the spring drought in southwest-south China [J] • Journal of Arid Land Resources and Environment, 2015, 29 (9) : 138–143.
- [22] 范伶俐, 张福颖, 胡祯祥, 等. 近 50 a 华南干湿状态的时空特征[J]. 大气科学学报, 2013, 36(1) : 29–36.
- FAN L L, ZHANG F Y, HU Z X, et al. Spatial and temporal features of dry and wet states in South China in recent 50 years [J]. Transactions of Atmospheric Sciences, 2013 , 36 (1): 29–36.
- [23] 纪忠萍, 温晶, 方一川, 等. 近 50 年广东冬半年降水的 变化及连旱成因[J]. 热带气象学报, 2009, 25(1) : 29– 36.
- JI Z P, WEN J, FANG Y C, et al. Variation of precipitation during winter half – year and cause of continuous drought in Guangdong during the past 50 years [J]. Journal of Tropical Meteorology, 2009, 25(1) : 29–36.

-
- [24] FISCHER T, GEMMER M, LIU L, et al. Trends in monthly temperature and precipitation extremes in the PRB, South China (1961–2007) [J] • Advances in Climate Change Research, 2010, 1(2) : 63–70.
- [25] 朱铁才, 林文实, 叶坤辉, 等. 珠三角地区近 38 年冬半年 降水量变化特征及干旱成因分析[J]. 中山大学学报: 自然 科学版, 2011, 50(4) : 144–147.
- ZHU T C, LIN W S, YE K H, et al. Precipitation variations and drought causes in the cold half of the year in the Pearl River Delta Region during the past 38 Years [J]. Acta Scientiarum Maturalium Universitatis Sunyatseni, 2011, 50 (4) : 144 – 147.
- [26] 郑景云, 张丕远, 周玉孚. 利用旱涝县建立历史时期旱 涝指数序列的试验[J]. 地理研究, 1993, 12(3): 1–9.
- ZHENG J Y, ZHANG P Y, ZHOU Y F. A new approach of re-constructing the dryness/wetness index eries in China during ^historical times by using the number of drought/flood counties [J]. Geographical Research, 1993, 12(3) : 1–9.
- [27] 王文, 任冉, 李耀辉. 基于 EEMD 的黄河中上游夏季 降水预报方法的研究[J]. 气象科学, 2014. 34(3): 261– 266.
- WANG W, REN R, LI Y H. Summer rainfall prediction in the upper and middle reaches of the Yellow River with EEMD meth-od [J]. Journal of the Meteorological Sciences, 2014. 34(3): 261–266.
- [28] 陈略, 訾艳阳, 何正嘉, 等. 总体平均经验模式分解与 1.5 维谱方法的研究[J]. 西安交通大学学报, 2009. 43 (5) : 94–98.
- CHEN L, ZI Y Y, HE Z J, et al. Research and application of ensemble empirical mode decomposition principle and 1. 5 di-mension spectrum method[J] • Journal of Xi'an Jiaotong Univer-sity, 2009. 43(5) : 94–98.
- [29] 孙银凤, 陆宝宏. 基于 EEMD 的南京市降水特征分析[J]. 中国农村水利水电, 2013(3) : 5–9.
- SUN Y F, LU B H. The characteristic analysis of precipitation in Nanjing based on EEMD method [J]. China Rural Water and Hydropower, 2013(3) : 5–9.
- [30] 裴琳, 严中伟, 杨辉. 400 多年来中国东部旱涝型变 化与太平洋年代际振荡关系[J]. 科学通报, 2015(01).
- PEI L, YAN Z W, YANG H. Multidecadal variability of dry/ wet patterns in eastern China and their relationship with the Pacific Decadal Oscillation in the last 413 years[J]. Chinese Science Bulletin, 2015(01).
- [31] 李慧群, 付遵涛. 基于 EEMD 的中国地区 1956—2005 年日 照变化的趋势分析[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2012 (3) : 393–398.
- LI H Q, FU Z T. Sunshine duration ’ s trend behavior based on EEMD over China in 1956–2005 [J]. Acta Scientiarum Natura- lium Universitatis Pekinensis, 2012(3) : 393–398.
- [32] 王兵, 胡娅敏, 等. 小波分析和 EEMD 方法在广州气温 及降水的多尺度分析中的差异分析[J]. 热带气象学报, 2014. 30(4) : 769–776.

WANG B, HU Y M, et al. Study on the difference between wavelet analysis and EEMD in multi - scale decomposition of temperature and precipitation of Guangdong [J] . Journal of Tropical Meteorology, 2014. 30(4) : 769-776.

[33] 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.

QIN J, XIE M E, LIU Y, et al. General theory of meteorological disasters in Yunnan [M]. Beijing: Meteorology Press, 2000: 34-40, 57-62.

[34] 朱亚芬. 530 年来中国东部旱涝分区及北方旱涝演变[J]. 地理学报, 2003. 58(z1) : 100-107.

ZHU Y F. The regional division of dryness/wetness over eastern China and variation of dryness/wetness in northern China during the last 530 years [J]. Acta Geographica Sinica, 2003. 58 (z1) : 100-107.

[35] 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]. 地球信息科学学报, 2016, 18(08) : 1077-1086.

LIU J X, LI L J, LI J Y, et al. Characteristics of precipitation variation and potential drought-flood regional responses in Yun-nan province from 1954 to 2014 [J]. Geo-Information Science (Geo-Inf Sci), 2016, 18(08) : 1077-1086.

[36] 薛积彬, 钟巍. 历史时期广东地区旱涝灾害与气候变化 关系[J]. 地理与地理信息科学, 2005, 21(5): 75-79. XUE J B, ZHONG W. Relationship between drought/flood disasters and climate change in Guangdong during the historical period [J] . Geography and Geo - information Science, 2005 , 21 (5) : 75-79.

[37] 伍红雨, 杜尧东, 秦鹏. 华南暴雨的气候特征及变化[J]. 气象, 2011, 37(10) : 1262-1269.

WU H Y, DU Y D, QIN P. Climatic characteristics and changes of Rainstorm in Southern China[J] . Meteorological Monthly, 2011, 37(10) : 1262-1269.

[38] 芦佳玉, 延军平, 王文静, 等. 云贵地区气象旱涝的气候 响应特征[J]. 浙江大学学报(理学版), 2017, 44(01): 97-105.

LU J Y, YAN P J, WANG W J, et al. Drought-flood response characteristics to the climate in Yun-Gui area [J]. Journal of Zhejiang University(Science Edition) , 2017, 44(01) : 97- 105.