

明清时期宝鸡地区旱涝灾害链及其对气候变化的响应

万红莲^{1,2}, 宋海龙², 朱婵婵², 张 咪²

(1. 宝鸡文理学院灾害监测与机理模拟陕西省重点实验室, 陕西 宝鸡 721013;

2. 宝鸡文理学院地理与环境学院, 陕西 宝鸡 721013)

摘要: 通过对明清时期宝鸡地区旱涝灾害资料的统计和整理, 利用滑动平均、累积距平及小波分析等方法探讨分析了1368-1911年宝鸡地区旱涝灾害链及其对气候变化的响应。结果表明: ① 1368-1911年, 宝鸡地区共发生297次旱涝灾害事件, 其中旱灾和涝灾分别发生191次和106次, 占旱涝灾害发生总次数的64.31%和35.69%。② 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。旱涝灾害在时间尺度上大致存在70年、110年和170年左右3个振荡周期, 与太阳黑子活动周期相对应。③ 旱涝灾害具有显著的空间差异性特征。渭河流域以北、以东地区既是旱灾的多发区, 也是涝灾的多发区。④ 明清时期宝鸡地区旱涝灾害链的相继发生是对全球气候变化的响应。18世纪60年代以来, 全球气候环境变化导致极端旱涝灾害事件频繁发生。

关键词: 宝鸡地区; 旱涝灾害链; 气候变化; 时空分布; 小波分析

DOI: 10.11821/dlxb201701003

在气候变暖大背景下, 气候变化产生的问题越来越受到社会各界的重视^[1-4]。中国地处亚洲东部, 季风强弱的变化直接影响着全国各地旱涝灾害的分布和变化。近年来, 极端气候事件的出现加剧了旱涝灾害的频繁发生。因此, 认识气候变化规律、减轻旱涝灾害对区域发展的影响及人类对全球气候变化的响应逐渐成为学术界研究的热点和焦点问题^[5-8]。旱涝灾害是中国历朝历代发生最为频繁的两种自然灾害^[9], 给区域社会经济、农业生产及人民生命财产安全带来了重大影响。中国历史文化底蕴深厚, 自有文字记录以来, 就有关于自然灾害的记载, 其中, 有关旱涝灾害连续而丰富的历史文献记载为研究区域历史旱涝灾害、重建历史气候演变过程提供了可能^[10-15]。随着社会经济的发展, 旱涝灾害已经成为阻碍经济发展的重要因素之一, 故对旱涝灾害的研究也成为区域防灾减灾的重点。

目前, 学术界对历史时期旱涝灾害的研究取得了较多成果^[16-19]。周旗^[5, 20]对过去1500年宝鸡地区旱涝灾害的时空分布特征和规律分析, 认为宝鸡地区农业旱涝灾害与全球气

收稿日期: 2016-07-25; 修订日期: 2016-10-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(41371497); 陕西省科技计划项目(2016KTCL03-17); 宝鸡文理学院自然地理学陕西省重点学科基金项目; 陕西省教育厅重点实验室项目(15JS008); 宝鸡市科技计划项目(14SFGG-2); 宝鸡文理学院重点项目(ZK16031) [**Foundation:** National Natural Science Foundation of China, No.41371497; Science Planning Subject of Shaanxi Province, No.2016KTCL03-17; Fundamental Research Funds for Key Subject Physical Geography of Baoji University of Arts and Sciences; Key Laboratory Foundation of Education Department of Shaanxi Province, No.15JS008; Science and Technology Project of Baoji City, No.14SFGG-2; Key Project of Baoji University of Arts and Sciences, No.ZK16031]

作者简介: 万红莲(1969-), 女, 陕西麟游人, 博士, 教授, 硕士生导师, 中国地理学会会员(S110004099M), 主要从事资源开发与环境变迁、历史时期的灾害等方面的研究和教学工作。E-mail: hyhm2006@163.com

候变化相对应，区域旱涝灾害的发生是对环境变化的响应；万红莲等^[21-22]研究发现近1400年宝鸡地区洪涝灾害的发生主要是地理位置、气候异常波动和人类活动等因素共同作用的结果，并给区域社会经济的发展产生了很大影响。这些研究结论和大尺度范围内对旱涝灾害的研究成果^[14-18]大致相同，均对旱涝灾害及其影响等方面做了分析，但目前鲜有文献探讨区域旱涝灾害链及其对全球气候变化的响应过程。

因此，以明清时期旱涝灾害资料为基础，结合近年国内对百年至千年尺度旱涝灾害与全球气候冷暖变化的对应关系研究成果^[23-25]，以“灾害链”为切入点，总结宝鸡地区1368-1911年旱涝灾害的时空分布格局及其周期变化规律，探讨区域旱涝灾害链对气候变化的响应过程，以期为该地区的旱涝灾害预测及开展防涝抗旱减灾活动提供参考依据。

1 研究区概况

宝鸡地处关中西部地区，位于106°18'E~108°03'E、33°35'N~35°06'N，东西长156.6 km，南北宽160.6 km，目前辖3区9县，人口约376.33万人（2015年底）。宝鸡南依秦岭、北靠北山、西有关山、中部渭河平原，属于黄土高原西南部的残垣区。南部秦岭山脉为中国南北方的分界线，北部为黄土塬腹地，区内地质构造复杂，地形地貌差异明显，山、川、原兼备，以山地、丘陵为主。宝鸡属于暖温带半湿润气候区，区域气候变化受青藏高原、祁连山脉和秦岭阻挡，在东亚季风、青藏高原及西太平洋副高压等共同作用下，区域降水时空分布差异较大，年平均降水量在590~900 mm之间^[26]。受气候环境、地形特点和区域地质构造等自然因素的影响，宝鸡地区自然灾害频发，其中旱涝灾害是宝鸡的主要自然灾害。

2 数据来源与方法

数据来源于《宝鸡市水旱灾害史料》^[27]、《中国三千年气象记录总集》^[28]、《中国气象灾害大典·陕西卷》^[29]、及宝鸡志、凤翔志等地方志，借鉴《中国近五百年旱涝分布图集》^[30]和《中国西北地区近500年旱涝分布图集（1470-2008）》^[31]中对宝鸡地区已有旱涝灾害等级的划分，参考《气象干旱等级》（GB/T20481-2006）国家标准和《中华人民共和国水利行业标准——洪涝灾情评估标准》（SL579-2012）等文件，遵循等级划分标准（表1）将旱涝灾害划分为特大涝灾（旱灾）、严重涝灾（旱灾）、轻度涝灾（旱灾）和正常等7个等级^[4, 31]。利用统计分析软件、ArcGIS及Matlab软件对数据处理分析，探讨

表1 旱涝灾害等级划分标准
Tab. 1 The grade division standard of drought and flood disasters

灾害等级	灾害类型	判断标准
1	特大涝灾	表现为持续时间长、涉及范围广，特别是给当地人民群众的生产生活带来极其严重影响，并造成人员伤亡的洪涝灾害。
2	严重涝灾	受灾范围较广，主要涉及到农田被淹、淫雨害稼、减产免税及房舍冲毁等洪涝事件。
3	轻度涝灾	对当地人们生活、农作物以及社会经济发展有影响或者影响不大的洪灾灾害。
4	正常	无旱涝灾害记载。
5	轻度旱灾	旱灾对于播种有影响，农作物减产歉收，普遍饥谨，粮价飞涨等。
6	严重旱灾	此类旱灾造成民大饥，蝗虫四起，大疫，食树皮草根，粮价飞涨，民迁徙等，甚至出现死伤事件。
7	特大旱灾	旱灾范围波及较广，出现颗粒无收，人民赤贫，市场无物，人因饥饿难耐以至于人相食，卖妻卖子或者交换互相食之，饿殍载道，死伤无数。

明清时期宝鸡地区旱涝灾害链及其对气候变化的响应。

3 结果分析

3.1 旱涝灾害的等级变化特征

统计结果（图1，表2）表明：1368-1911年，宝鸡地区共发生297次旱涝灾害事件，其中旱灾和涝灾分别发生191次和106次，分别占旱涝灾害发生总次数的64.31%和35.69%。在旱涝灾害的等级划分中，1级特大涝灾共发生31次，占旱涝灾害发生次数的5.7%；2级严重涝灾发生39次，占旱涝灾害发生次数的7.17%；3级轻度涝灾发生36次，占旱涝灾害发生次数的6.62%；4级正常年份次数247次，占总年数的45.4%；5级轻度旱灾发生68次，占旱涝灾害发生次数的12.5%；6级严重旱灾发生101次，占旱涝灾害发生次数的18.57%；7级特大旱灾发生22次，占旱涝灾害发生次数的4.04%。整体上看，明清时期宝鸡地区的旱灾次数多于涝灾次数，气候相对偏旱。在旱涝灾害的等级中，存在着连续性旱涝灾害的分布特征，即大旱之后必有大涝，大涝之后必有大旱，呈现旱涝灾害链相互交替出现的现象。

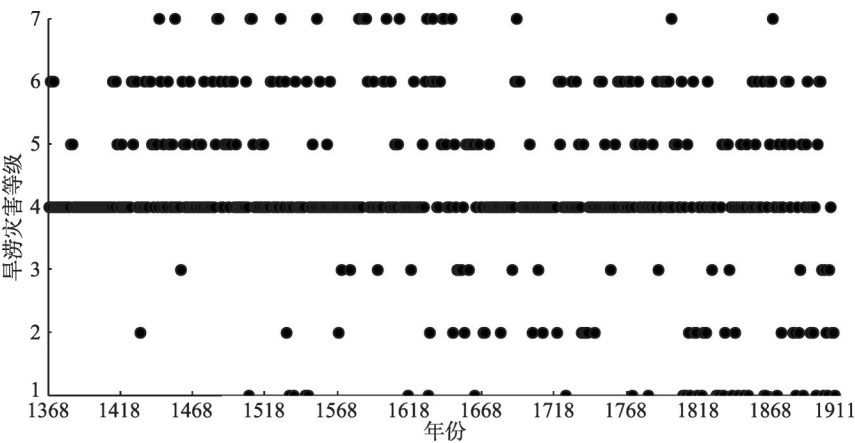


图1 1368-1911年宝鸡地区旱涝灾害等级变化序列
Fig. 1 The drought and flood grade sequence changes in Baoji region from 1368 to 1911

3.2 旱涝灾害的年际变化特征

以50年为单位统计明清时期宝鸡地区旱涝灾害的年际变化特征（表2）。明清时期宝鸡地区共发生297次旱涝灾害，平均每1.83年发生1次，在中后期发生频次较高，整体上呈现出增加的趋势。在不同阶段旱涝灾害发生频次有所变化，具体为：1368-1670年及1721-1820年以干旱灾害为主；1821-1911年以洪涝灾害为主；1671-1720年旱涝灾害发生频次基本持平。

对宝鸡地区1368-1911年旱涝灾害等级累积距平，并做11年滑动平均，以突显太阳活动平均11年的周期震荡（图2）。从图2中看出，宝鸡地区旱涝灾害具有较为明显的阶段性特征，1368-1644年为上升阶段，期间可细分为1368-1530年与1581-1644年快速上升阶段和1531-1580年缓慢上升阶段，表明了该时期旱灾比涝灾发生的频率要高；1645-1804年为旱涝灾害波动阶段，表明了宝鸡地区该时期气候变化极不稳定，旱涝灾害发生异常；1805-1911年为下降阶段，又可分为1805-1853年与1868-1911年快速下降阶段和1854-1867年基本持平阶段，表明了该时期涝灾比旱灾的发生频率要高。整体上看，明清

表2 宝鸡地区544年旱涝灾害发生频次、频率表
Tab. 2 The drought and flood grade frequency of Baoji region in 544 years

年份	频次 (频率/%)	级别						
		1级 特大涝灾	2级 严重涝灾	3级 轻度涝灾	4级 正常	5级 轻度旱灾	6级 严重旱灾	7级 特大旱灾
		频次 (频率/%)	频次 (频率/%)	频次 (频率/%)	频次 (频率/%)	频次 (频率/%)	频次 (频率/%)	频次 (频率/%)
1368-1420年	8(2.69)	0(0)	0(0)	0(0)	45(84.91)	4(7.55)	4(7.55)	0(0)
1421-1470年	29(9.76)	0(0)	3(6)	3(6)	21(42)	11(22)	10(20)	2(4)
1471-1520年	25(8.42)	1(2)	2(4)	0(0)	25(50)	10(20)	8(16)	4(8)
1521-1570年	22(7.41)	4(8)	2(4)	1(2)	28(56)	2(4)	11(22)	2(4)
1571-1620年	23(7.71)	1(2)	1(2)	4(2)	27(54)	1(2)	9 (18)	7(14)
1621-1670年	40(13.47)	1(2)	5(10)	9(18)	10(20)	5(10)	16(32)	4(8)
1671-1720年	16(5.39)	0(0)	5(10)	2(4)	34(68)	2(4)	6(12)	1(2)
1721-1770年	23(7.74)	2(4)	4(8)	1(2)	27(54)	7(14)	9(18)	0(0)
1771-1820年	35(11.78)	7(14)	5(10)	1(2)	15(30)	9(18)	13(26)	0(0)
1821-1870年	36(12.12)	7(14)	3(6)	7(14)	14(28)	10(20)	8(16)	1(2)
1870-1911年	40(13.47)	8(19.51)	9(21.95)	8(19.51)	1(2.44)	7(17.07)	7(17.07)	1(2.44)
544年合计	297(100)	31(5.7)	39(7.17)	36(6.62)	247(45.4)	68(12.5)	101(18.57)	22(4.04)

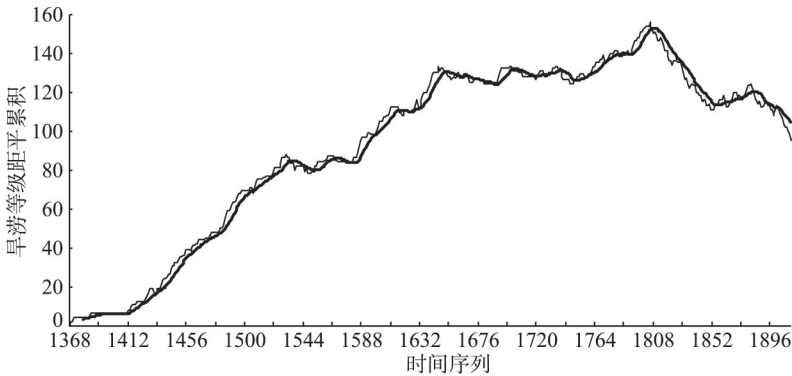


图2 明清时期宝鸡地区旱涝灾害等级距平序列
Fig. 2 The anomaly series of drought and flood grades in Baoji region during the Ming and Qing dynasties

时期宝鸡地区旱涝灾害波动较为明显，大致呈现出干早期—湿润期的交替特征，旱灾集中出现在中前期阶段，涝灾集中出现在后期阶段。

3.3 旱涝灾害的季节变化特征

采用中国农历历法划分季节，即春季1-3月（公历3-5月），夏季4-6月（公历6-8月），秋季7-9月（公历9-11月），冬季10-12月（公历12月-次年2月）。资料统计没有具体季节记录的旱涝灾害有87次，有具体季节记载的共发生210次（其中，旱灾发生128次，涝灾发生82次）。

宝鸡地区旱涝灾害主要以单季旱涝灾害为主，同时也有双连季、三连季甚至四季旱涝灾害的发生（图3）。旱涝灾害中以旱灾为主，单季是旱灾的多发期，而其以夏季最多，统计共发生41次；在双季旱中以夏秋连旱为主，共发生20次，同时也出现三连季和四季全旱的情况。洪涝灾害以单季涝灾为主，秋季是涝灾的频发期，共发生35次；双季涝中以夏秋连涝居多，共发生9次。在历史资料中没有出现三季及四季连涝的记载。由以上分析可知，明清时期宝鸡地区旱涝灾害的年内季节变化集中于夏、秋及夏秋连季，

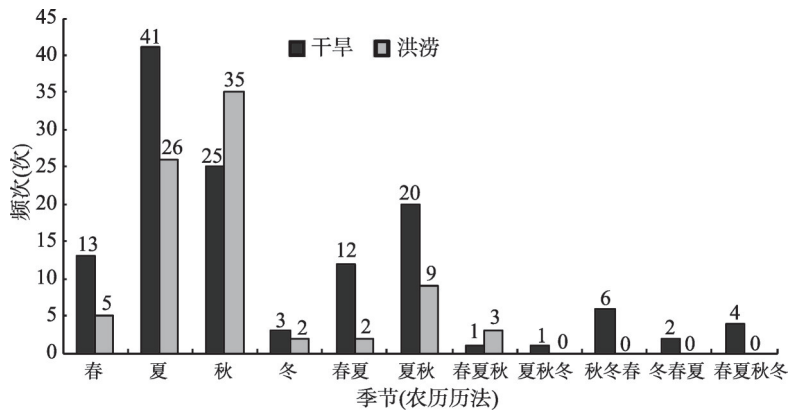


图3 明清时期宝鸡地区旱涝灾害的季节分布

Fig. 3 The seasonal distribution of drought and flood disasters in Baoji region during the Ming and Qing dynasties

旱涝灾害的这种季节性分布与夏季风的活动有关^[32]。宝鸡地处内陆季风边缘区,夏季受东亚季风、印度低压及西太平洋副高压的共同作用,温热多雨和炎热干燥的天气交替出现;冬季受青藏高原及内蒙古高压影响,天气较为寒冷干燥;春、秋季节则处于冬、夏季风过渡阶段,降水极不稳定,这是造成宝鸡地区旱涝灾害集中于夏、秋季节的主要原因,也使宝鸡地区年平均降水量介于590~900 mm之间。

3.4 旱涝灾害的空间变化特征

宝鸡市辖3区(统称“宝鸡”)9县(由于太白县于1961年建县,所以统计资料中未涉及太白县)^[21-33],通过对旱涝灾害逐次统计,结果表明明清时期宝鸡地区旱涝灾害在各县区分布不同(图4)。

以县域来统计旱涝灾害的分布情况,明清时期宝鸡地区旱灾以扶风县最多(51

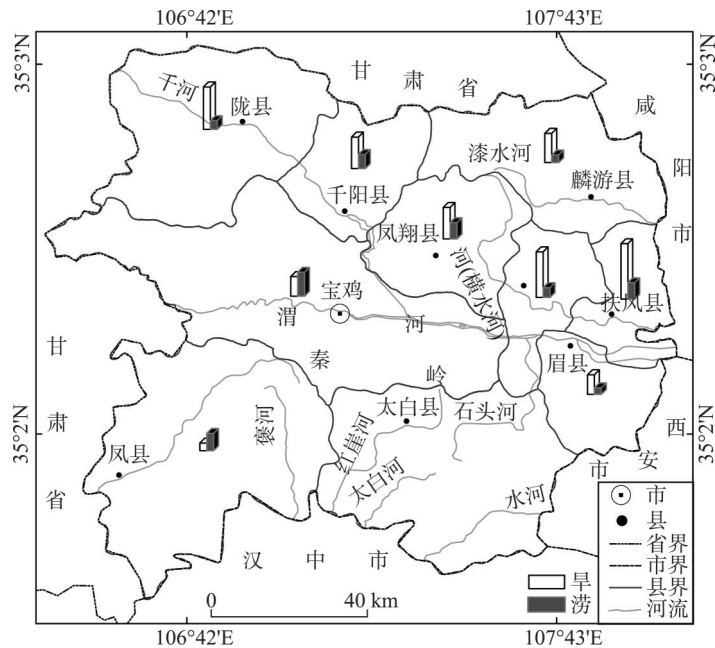


图4 明清时期宝鸡地区旱涝灾害空间分布

Fig. 4 The spatial distribution of drought and flood disasters in Baoji region during the Ming and Qing dynasties

次), 其次为岐山县和陇县, 分别达 42 次和 39 次, 而位于秦岭以南的凤县旱灾次数最少, 只发生 7 次; 涝灾则以宝鸡居多, 达 22 次, 其次为凤县 (16 次), 涝灾次数最少的眉县仅发生 6 次。从整个宝鸡地区来看, 明清时期旱灾集中分布在秦岭以北地区, 具有北多南少的分布特点, 在渭河流域以北的千河和漆水河流域 6 县是旱灾的多发区, 也是整个宝鸡地区旱灾的频发区, 占旱灾发生总次数的 86.91%; 而涝灾则集中在渭河流域以南及宝鸡以东各县, 其中宝鸡、凤县、扶风和凤翔是涝灾的多发区, 占涝灾发生次数的 64.15%。由此看出, 渭河流域以北、以东的地区, 即渭河、千河和漆水河流域中下游既是旱灾的多发区, 也是涝灾的多发区。

3.5 旱涝灾害的周期变化特征

利用 Matlab 软件对明清时期宝鸡地区 544 年旱涝灾害等级序列进行小波分析 (图 5), 并对旱涝灾害周期做相关分析。小波分析实部图 (图 5a) 显示, 明清时期宝鸡地区旱涝灾害在时间尺度上呈现出明显的交替性特征, 大旱之后存在大涝的现象, 同样在大涝之后也必有大旱的发生, 但整体上以偏旱为主, 与竺可桢^[11]和朱士光等^[34]认为明清时期中国气候偏旱, 处于“明清小冰期”的研究结论相符; 小波方差图 (图 5b) 显示, 旱涝灾害在 60~80 年、95~115 年及 160~180 年附近存在 3 个振荡周期, 其中在 160~180 年附近的振荡周期最为强烈, 且旱涝灾害在 160~180 年附近与李艳芳等^[35]研究的西北地区旱涝灾害存在 168 年周期基本一致, 同时与徐振韬等^[36]对太阳黑子活动平均周期存在 5.5 年、11 年、17 年、80 年及 178 年的研究相对应, 表明了明清时期宝鸡地区旱涝灾害与太阳活动周期有着密切关系。

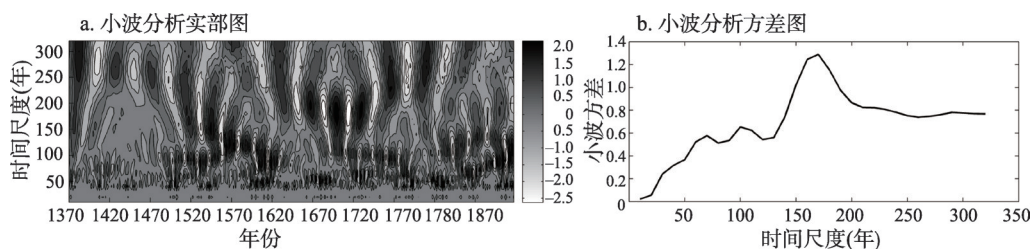


图 5 明清时期宝鸡地区旱涝灾害小波分析实部图与小波方差图

Fig. 5 The real wavelet analysis and wavelet variance analysis of drought and flood disasters in Baoji region during the Ming and Qing dynasties

4 宝鸡地区旱涝灾害链对气候变化的响应

4.1 明清时期宝鸡地区旱涝灾害链的变化

1987 年, 中国地震学家郭增建首次提出“灾害链”是指“一系列灾害相继发生的现象”^[37], 随后灾害链逐渐被推广和应用于其他灾害领域。旱涝灾害链是指在旱灾与涝灾发生过程中相互交替的一种现象, 它是区域孕灾环境、致灾因子和承灾体共同作用的结果。旱涝灾害链的交替发生不仅给区域农业生产带来了损失, 而且严重影响了区域社会经济的发展, 甚至造成社会动荡和人员伤亡。宝鸡地处季风气候边缘区, 季风气候不稳定性易造成区域在温度和降水方面产生差异, 进而引起区域气候发生变化^[38]。水热组合中冷干暖湿的变化主要受季风气候变化的影响, 在夏季风活动较强的年份, 区内降水明显增多; 反之, 区内降水减少。明清时期宝鸡地区旱涝灾害链在时间尺度上存在明显的交替特征, 1644 年之前以旱灾为主, 1645-1804 年旱涝灾害发生频次基本持平, 1805-

1911年则以涝灾为主。在旱涝灾害发生过程中,虽然具有阶段性,但旱(涝)灾发生前(后)必有涝(旱)灾的出现,如史料记载1632-1635年和1638-1642年宝鸡地区普遍发生大旱,期间出现“饥民流亡载道,人相食”的现象,在旱灾发生前的1630-1631年和旱灾发生后的1647-1655年之间发生过大涝,也出现过“阴雨伤禾,人相食”现象。而且,从表象看,旱涝灾害链是一种客观存在的现象,但实际上旱涝灾害发生过程中的能量守恒、能量转化传递与再分配是旱涝灾害链存在的主要原因^[37]。

4.2 宝鸡地区旱涝灾害链与气候冷暖变化的关系

据葛全胜、郑景云、方修琦等^[39-45]研究,过去2000以来区域尺度下温度和干湿变化对降水有很大影响,尤其是明清时期,北半球已经进入寒冷阶段,但受区域位置、地理环境和季风的共同作用,中国气候表现出不稳定的变化状态,进而使该时期在全国范围内出现旱涝交替发生的现象。其中,中国东部地区明显寒冷,西部地区的寒冷程度却不明显^[43],在这种大背景下不同的小区域内气候变化又呈现出不同特点^[44];自祁连山东段、柴达木盆地东沿至秦岭西侧地区,14世纪、16世纪后半叶至17世纪初、18世纪后半叶气候湿润,其他时段气候干旱,最干旱的时段出现在15世纪和17世纪后期至18世纪初^[46-48]。朱士光等^[34]对历史时期关中地区气候变化研究认为,关中地区在14世纪后半叶以及16世纪初至70年代、18世纪及19世纪前半叶气温较为暖和,15世纪后半叶、16世纪80年代至17世纪30年代、17世纪后半叶及19世纪后半叶气候颇为寒冷。14世纪后半叶至20世纪初,全球气候处于“小冰期”阶段,此时中国气候也比较干冷^[11, 34],尽管在小尺度范围内这种变化有所差异,但区域在气候温暖期降水较多,在气候寒冷期降水较少,而在气候异常波动阶段往往是极端气象灾害频发时期^[11, 34, 43-45],与《中国近五百年旱涝分布图集》^[30]和《中国西北地区近500年旱涝分布图集(1470-2008)》^[31]中记录的1470年以来中国及关中地区旱涝等级变化基本一致。

在这种气候变化背景下,利用统计数据对明清时期宝鸡地区旱涝灾害等级做11年滑动平均(图6),发现与关中地区旱涝等级的变化有很好的对应关系。从旱涝等级的滑动平均看,上升曲线表示旱灾发生次数较多,下降曲线表示涝灾发生次数较多,在正常年份以上表示偏旱,在正常年份以下表示偏涝。16世纪之前、16世纪末至17世纪前半叶、18世纪后半叶,旱灾发生次数较多且整体上偏旱,表明了该时期宝鸡地区气候较为寒冷干燥;16世纪、17世纪后半叶至18世纪前半叶、19世纪以后涝灾发生次数较多且整体偏涝,表明了该时期宝鸡地区气候相对温暖湿润,这与宝鸡地区旱涝灾害时空分布特征基本一致。宝鸡地区旱涝灾害链的发生与关中地区的气候总体变化大致相同,同时与明清时期全球气候变化基本同向,但不完全同步,这与宝鸡地区所处的区域位置及地理环境相关。受西太平洋副高压、青藏高原高压及内蒙古高压的共同作用,同时在季风气候强弱变化的情况下,区域旱涝灾害表现

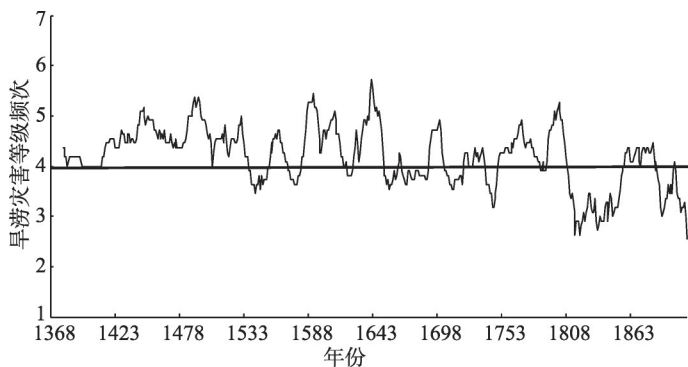


图6 明清时期宝鸡地区旱涝灾害等级11年滑动平均

Fig. 6 The 11 years moving average of drought and flood disaster grades in Baoji region during the Ming and Qing dynasties

出不稳定的变化状态,并呈链状发生。在上述的每个阶段内,区域的旱涝灾害与气温在较小尺度上还存在一些波动,旱涝灾害取决于区域降水量及降水的集中程度,而降水量受区域气温高低影响极大^[34]。倘若气候较为暖湿,受区域气候波动影响,在降水较为集中的情况下,也会导致区域性旱涝灾害的发生。

5 讨论

任振球^[49]研究指出,中国气候的周期变化不仅与九星地心会聚对地球产生的引力有关,而且与“拉马德雷”现象引发的北半球气温变化周期振荡相一致。“拉马德雷”现象与灾害链的发生密切相关,分别以“暖位相”和“冷位相”两种形式交替出现在太平洋上空,其与“厄尔尼诺”和“拉尼娜”现象相遇时,会加剧灾害链的发生^[50]。“拉马德雷”现象对中国气候的周期变化产生很大影响,当然也对宝鸡的气候周期变化产生了影响。另外,宝鸡地区复杂的地形地貌和夏季风加剧了区内气候的变化,进而影响明清时期宝鸡地区旱涝灾害相互交替,甚至形成灾害链,但这种旱涝灾害链并未与全球气候变化完全同步,而是在小尺度内呈现出波动状态。旱涝灾害链的阶段特征表明了宝鸡地区旱涝灾害链的相继发生是对全球气候变化的响应过程。

明清时期宝鸡地区旱涝灾害在时间尺度上存在70年、110年和170年左右3个振荡周期,与太阳黑子活动周期相对应^[36],也与竺可桢^[11]、葛全胜等^[24, 46]、郑景云等^[51]等的研究结果基本一致,即研究认为过去几千年以来中国气候变化在气候温暖期降水较多,区域偏涝;在气候寒冷期降水较少,区域偏旱。在区域背景差异下,虽然降水在小尺度范围内存在一些波动,但其空间分布出现了南部多于北部,东部多于西部,使旱涝灾害在区内出现不均匀的分布状态,与季风在区内活动规律基本相同,表明了宝鸡地区旱涝灾害链的发生与全球气候变化有很好的对应关系。18世纪60年代以来,受工业革命的影响,人类活动导致全球环境严重污染,全球气候不断变暖,气候环境变化无常,极端旱涝灾害事件频繁发生。

6 结论

(1) 1368-1911年,宝鸡地区共发生297次旱涝灾害事件,其中旱灾和涝灾分别发生191次和106次,占旱涝灾害发生总次数的64.31%和35.69%。明清时期宝鸡地区的旱灾次数多于涝灾次数,气候相对偏旱。在旱涝灾害的等级中,存在着连续性旱涝灾害的分布特征,呈现旱涝灾害链相互交替出现的现象。

(2) 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。旱涝灾害在时间尺度上大致存在70年、110年和170年左右3个振荡周期,与太阳黑子活动周期相对应,同时与全球气候变化过程基本同向。在旱涝灾害中以单季旱涝灾害为主,同时也有双连季、三连季甚至四季旱涝灾害的发生。

(3) 明清时期宝鸡地区旱涝灾害具有显著的空间差异性特征。旱灾集中分布在秦岭以北地区,具有北多南少的分布特点;涝灾则集中在渭河流域以南及宝鸡以东各县;渭河流域以北、以东地区,即渭河、千河和漆水河流域中下游既是旱灾的多发区,也是涝灾的多发区。

(4) 明清时期宝鸡地区旱涝灾害链与全球气候变化有很好的对应关系,它是对全球

气候变化的响应过程。18 世纪 60 年代以来, 在人类活动的影响下, 全球气候环境恶化导致极端旱涝灾害事件频繁发生。

参考文献(References)

- [1] Zhao Yu, Mu Xingmin, Jiang Chong. Analysis on the variation of drought & flood grades from 1470 to 2008 in Lanzhou area. *Research of Soil and Water Conservation*, 2014, 21(1): 132-136, 141. [赵玉, 穆兴民, 蒋冲. 兰州地区 500 余年来旱涝变化规律分析. *水土保持研究*, 2014, 21(1): 132-136, 141.]
- [2] Ye Baisong, Zhao Chengyi, Jiang Fengqing, et al. Characteristics of the flood and drought disasters in the Tarim River Basin in recent 300 years. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2014, 36(1): 173-182. [叶柏松, 赵成义, 姜逢清, 等. 近 300 年来塔里木河流域旱涝灾害特征分析. *冰川冻土*, 2014, 36(1): 173-182.]
- [3] Bi Shuoben, Qian Yujun, Chen Changchun, et al. Characteristics and comparative analysis of reconstructed drought/flood grade sequence in the eastern Northwest China from 1470 to 1912. *Arid Land Geography*, 2016, 39(1): 12-21. [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. *干旱区地理*, 2016, 39(1): 12-21.]
- [4] Xu Xiaoyu, Zhu Jiwei, Xie Jiancang, et al. Analysis of spatial and temporal distribution characteristics and evolution trend of drought and flood disasters from 1470 to 2012 in Shaanxi Province. *Journal of Xi'an University of Technology*, 2015, 31(2): 231-237. [徐小钰, 朱记伟, 解建仓, 等. 陕西省 1470-2012 年旱涝灾害时空分布特征及演变趋势分析. *西安理工大学学报*, 2015, 31(2): 231-237.]
- [5] Zhou Qi. Analysis on the correspondence between the agricultural disasters caused by droughts and water loggings in Baoji and the climate change in East China during the past 1500 years. *Arid Zone Research*, 2003, 20(2): 123-126. [周旗. 过去 1500 年宝鸡地区农业旱涝灾害与全国冷暖对应分析. *干旱区研究*, 2003, 20(2): 123-126.]
- [6] Wang Jinhong, Lv Juan, Liu Heping, et al. Drought-flood variation characteristics and trends in arid northwestern China during 1470-2008. *Advances in Water Science*, 2014, 25(5): 625-631. [王金红, 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. *水科学进展*, 2014, 25(5): 625-631.]
- [7] Jia Tiefei, Shi Wenyu, Zheng Xinyou, et al. The flood and drought disasters of the Chaohu Lake Basin in the past 600 years. *Scientia Geographica Sinica*, 2012, 32(1): 66-73. [贾铁飞, 施汶好, 郑辛酉, 等. 近 600 年来巢湖流域旱涝灾害研究. *地理科学*, 2012, 32(1): 66-73.]
- [8] Li Xiaogang, Li Min. Analysis of change law of drought and flood disasters from 1430 to 2000 in Shangluo. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2016, 28(2): 101-105, 111. [李晓刚, 李敏. 商洛地区 1430-2000 年旱涝灾害规律分析. *江西农业学报*, 2016, 28(2): 101-105, 111.]
- [9] Zhang Kunjia, Yang Shuai, Su Yun. A comparison of spatial and temporal distribution of flood and drought in Ming and Qing Dynasty. *Journal of Earth Environment*, 2014, 5(6): 385-391. [张琨佳, 杨帅, 苏筠. 明清时期我国水、旱灾害时空演变特点的对比分析. *地球环境学报*, 2014, 5(6): 385-391.]
- [10] Yang Ling, Zha Xiaochun. Change law of drought and flood disasters in Qianhe Basin from 1470 to 2009. *Arid Land Geography*, 2012, 35(1): 133-138. [杨凌, 查小春. 千河流域近 540a 来旱涝灾害变化规律研究. *干旱区地理*, 2012, 35(1): 133-138.]
- [11] Zhu Kezhen. The primary study of climate changes in China since the past 5 ka. *Science in China (Series B)*, 1973(2): 169-189. [竺可桢. 中国近五千年来气候变迁的初步研究. *中国科学(B 辑)*, 1973(2): 169-189.]
- [12] Zheng Jingyun, Zhang Peiyuan, Zhou Yufu. During historical times by using the number of drought/flood counties. *Geographical Research*, 1993, 12(3): 1-9. [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. *地理研究*, 1993, 12(3): 1-9.]
- [13] Bradley R S. High resolution record of past climate from monsoon Asia, the last 2000 years and beyond, recommendations for research. *PAGES Workshop Report, Series 93-1*, 1993: 1-24.
- [14] Xu Xinchuang, Ge Quansheng, Zheng Jingyun, et al. Reconstruction and comparative analysis of dry/wet series in last 500 years in Hubei Province. *Geographical Research*, 2010, 29(6): 1045-1055. [徐新创, 葛全胜, 郑景云, 等. 湖北省近 500 年区域干湿序列重建及其比较分析. *地理研究*, 2010, 29(6): 1045-1055.]
- [15] Zhang Jian, Man Zhimin, Xiao Weiwei, et al. Research on sequence reconstruction and characteristics diagnosis of droughts and floods in the Middle Yellow River since the Qing Dynasty (1644-2009). *Geographical Research*, 2013, 32(9): 1579-1590. [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. *地理研究*, 2013, 32(9): 1579-1590.]

- [16] Yuan Yuan, Huang Shaoni, Guo Chunyan, et al. The reconstruction and trend study of Shaanxi province's drought and floods grade in recent 500 years. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2015, 33(5): 232-236, 244. [袁媛, 黄少妮, 郭春燕, 等. 近 500 年陕西旱涝序列重建与趋势分析. *干旱地区农业研究*, 2015, 33(5): 232-236, 244.]
- [17] Pei Lin, Yan Zhongwei, Yang Hui. Multidecadal variability of dry/wet patterns in eastern China and their relationship with the Pacific decadal oscillation in the last 413 years. *Chinese Science Bulletin*, 2015, 60(1): 97-108. [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. *科学通报*, 2015, 60(1): 97-108.]
- [18] Ge Quansheng, Liu Lulu, Zheng Jingyun, et al. Spatial patterns of drought/flood over eastern China in the periods of anomalous solar activity during the past millennium. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(5): 707-717. [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. *地理学报*, 2016, 71(5): 707-717.]
- [19] Li Xiliang, Liu Wei, Feng Yang, et al. Change laws of drought and flood disasters in Shijiazhuang region in recent 545 years. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2016, 30(5): 156-161. [李喜亮, 刘伟, 冯洋, 等. 近 545 年石家庄地区旱涝变化规律研究. *干旱区资源与环境*, 2016, 30(5): 156-161.]
- [20] Zhou Qi. Agriculture response to environmental change in West Guanzhong Plain during the past 1500 years. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2003, 17(5): 26-29. [周旗. 过去 1500 年关中西部农业对环境变化的响应: 旱涝灾害. *干旱区资源与环境*, 2003, 17(5): 26-29.]
- [21] Wan Honglian, Zhou Qi, Fan Weihuan, et al. Flood disasters in the Baoji region during the period of AD 600-2000. *Arid Zone Research*, 2013, 30(4): 697-704. [万红莲, 周旗, 樊维翰, 等. 公元 600-2000 年宝鸡地区洪涝灾害发生规律. *干旱区研究*, 2013, 30(4): 697-704.]
- [22] Wan Honglian. Flood disaster and its social impacts in Baoji area during the past 1400 years. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2014, 28(4): 79-82. [万红莲. 宝鸡地区近 1400a 洪涝灾害及其影响. *干旱区资源与环境*, 2014, 28(4): 79-82.]
- [23] Hao Zhixin, Zheng Jingyun, Ge Quansheng, et al. Spatial patterns of precipitation anomalies for 30-yr warm periods in China during the past 2000 years. *Acta Meteorologica Sinica*, 2012, 26(3): 278-288.
- [24] Ge Quansheng, Liu Jian, Fang Xiuqi, et al. General characteristics of temperature change and centennial warm periods during the past 2000 years. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(5): 579-592. [葛全胜, 刘健, 方修琦, 等. 过去 2000 年冷暖变化的基本特征与主要暖期. *地理学报*, 2013, 68(5): 579-592.]
- [25] Zheng Jingyun, Hao Zhixin, Zhang Xuezheng, et al. Drought/flood spatial patterns in centennial cold and warm periods of the past 2000 years over eastern China. *Science Bulletin*, 2014, 59(30): 2964-2971. [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. *科学通报*, 2014, 59(30): 2964-2971.]
- [26] Baoji Local Chronicles Compilation Committee. *Baoji Zhi (First Volume)*. Xi'an: Sanqin Press, 1998. [宝鸡市地方志编纂委员会. *宝鸡市志(上)*. 西安: 三秦出版社, 1998.]
- [27] Water Conservancy Newsroom. *The historical inundation and drought of Baoji*, 1985. [宝鸡市水利志编辑室. *宝鸡市水旱灾害史料*, 1985.]
- [28] Zhang De'er. *A Compendium of Chinese Meteorological Records of the Last 3000 Years*. Nanjing: Jiangsu Education Press, 2000. [张德二. *中国三千年气象记录总集*. 南京: 江苏教育出版社, 2000.]
- [29] Wen Kegang, Zai Youan. *Encyclopedia of China's Meteorological Disasters: Shaanxi Volume*. Beijing: China Meteorological Press, 2005. [温克刚, 翟佑安. *中国气象灾害大典: 陕西卷*. 北京: 气象出版社, 2005.]
- [30] Central Meteorological Administration, Chinese Academy of Meteorological Sciences. *Yearly Charts of Dryness/Wetness in China for the Last 500 Years Period*. Beijing: Cartographic Publishing House, 1981. [中央气象局气象科学研究院. *中国近五百年旱涝分布图集*. 北京: 地图出版社, 1981.]
- [31] Bai Huzhi, Dong Anxiang, Zheng Guangfen, et al. *The Atlas of Drought and Flood Distribution over Northwest China in Past 500 Years: 1470-2008*. Beijing: China Meteorological Press, 2010. [白虎志, 董安祥, 郑广芬, 等. *中国西北地区近 500 年旱涝分布图集: 1470-2008*. 北京: 气象出版社, 2010.]
- [32] Zhu Shengzhong. Spatial and temporal distributions of floods and droughts in Liangshan in Ming and Qing dynasties. *Geographical Research*, 2012, 31(1): 23-33. [朱圣钟. 明清时期凉山地区水旱灾害时空分布特征. *地理研究*, 2012, 31(1): 23-33.]
- [33] Wan Honglian, Liu Dongyue, Song Hailong. Earthquake disasters and its spatial and temporal distribution characteristics of Baoji in history period. *Journal of Baoji University of Arts and Sciences (Natural Science Edition)*, 2016, 36(3): 1-5. [万红莲, 刘东玥, 宋海龙. 历史时期宝鸡地区地震灾害的时空分布特征. *宝鸡文理学院学报(自然科学版)*, 2016, 36(3): 1-5.]
- [34] Zhu Shiguang, Wang Yuanlin, Hu Lingui. Study on climate variations in the region of Guanzhong in the historical

- period. *Quaternary Sciences*, 1998(1): 1-11. [朱士光, 王元林, 呼林贵. 历史时期关中地区气候变化的初步研究. 第四纪研究, 1998(1): 1-11.]
- [35] Li Yanfang, Zhao Jingbo. The research on the flooding disaster in Guanzhong in recent 200 years. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2008, 22(4): 96-99. [李艳芳, 赵景波. 近200年来关中地区洪涝灾害研究. 干旱区资源与环境, 2008, 22(4): 96-99.]
- [36] Xu Zhentao, Jiang Yaotiao. *Research and Modern Applications of the Sunspot in Ancient China*. Nanjing: Nanjing University Press, 1990. [徐振韬, 蒋窈窕. 中国古代太阳黑子研究与现代应用. 南京: 南京大学出版社, 1990.]
- [37] Guo Zengjian, Guo Anning, Zhou Kexing. *Geophysical Disaster Chain*. Xi'an: Xi'an Map Publishing House, 2007. [郭增建, 郭安宁, 周可兴. 地球物理灾害链. 西安: 西安地图出版社, 2007.]
- [38] Fang Xiuqi, Su Yun, Yin Jun, et al. Transmission of climate change impacts from temperature change to grain harvests, famines and peasant uprisings in the historical China. *Scientia Sinica (Terrae)*, 2015, 45(6): 831-842. [方修琦, 苏筠, 尹君, 等. 冷暖—丰歉—饥荒—农民起义: 基于粮食安全的历史气候变化影响在中国社会系统中的传递. 中国科学: 地球科学, 2015, 45(6): 831-842.]
- [39] Ge Quansheng, Liu Haolong, Zheng Jingyun, et al. The climate change and social development over the last two millennia in China. *Chinese Journal of Nature*, 2013, 35(1): 9-21. [葛全胜, 刘浩龙, 郑景云, 等. 中国过去2000年气候变化与社会发展. 自然杂志, 2013, 35(1): 9-21.]
- [40] Ge Quansheng, Fang Xiuqi, Zheng Jingyun. Learning from the historical impacts of climatic change in China. *Advances in Earth Science*, 2014, 29(1): 23-29. [葛全胜, 方修琦, 郑景云. 中国历史时期气候变化影响及其应对的启示. 地球科学进展, 2014, 29(1): 23-29.]
- [41] Ge Quansheng, Zheng Jingyun, Hao Zhixin, et al. General characteristics of climate changes during the past 2000 years in China. *Scientia Sinica (Terrae)*, 2012, 42(6): 934-942. [葛全胜, 郑景云, 郝志新, 等. 过去2000年中国气候变化的若干重要特征. 中国科学: 地球科学, 2012, 42(6): 934-942.]
- [42] Ge Quansheng, Zheng Jingyun, Hao Zhixin. PAGES synthesis study on climate change in Asia over the last 2000 years: Progresses and perspectives. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(3): 355-363. [葛全胜, 郑景云, 郝志新. 过去2000年亚洲气候变化(PAGES-Asia2k)集成研究进展及展望. 地理学报, 2015, 70(3): 355-363.]
- [43] Zheng Jingyun, Wang Shaowu. Assessment on climate change in China for the last 2000 years. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(1): 21-31. [郑景云, 王绍武. 中国过去2000年气候变化的评估. 地理学报, 2005, 60(1): 21-31.]
- [44] Zheng Jingyun, Shao Xuemei, Hao Zhixin, et al. An overview of research on climate change in China during the past 2000 years. *Geographical Research*, 2010, 29(9): 1561-1570. [郑景云, 邵雪梅, 郝志新, 等. 过去2000年中国气候变化研究. 地理研究, 2010, 29(9): 1561-1570.]
- [45] Fang Xiuqi, Zheng Jingyun, Ge Quansheng. Historical climate change impact-response processes under the framework of food security in China. *Scientia Geographica Sinica*, 2014, 34(11): 1291-1298. [方修琦, 郑景云, 葛全胜. 粮食安全视角下中国历史气候变化影响与响应的过程与机理. 地理科学, 2014, 34(11): 1291-1298.]
- [46] Ge Quansheng, Zheng Jingyun, Hao Zhixin, et al. State-of-the-arts in the study of climate change over China for the past 2000 years. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(9): 1248-1258. [葛全胜, 郑景云, 郝志新, 等. 过去2000年中国气候变化研究的新进展. 地理学报, 2014, 69(9): 1248-1258.]
- [47] Zhang P Z, Cheng H, Edwards R, et al. A test of climate, sun, and culture relationships from an 1810-year Chinese cave record. *Science*, 2008, 322(5903): 940-942.
- [48] Yang B, Qin C, Wang J L, et al. A 3500-year tree-ring record of annual precipitation on the northeastern Tibetan Plateau. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2014, 111(8): 2903-2908.
- [49] Ren Zhenqiu. Climate anomalies and astronomy nearly five thousand years of China. *Agricultural Archaeology*, 1986, (1): 298-303. [任振球. 中国近五千年来气候的异常期及其天文成因. 农业考古, 1986(1): 298-303.]
- [50] Yang Xuexiang. Disaster chain rules can't be ignored. *Geography Teaching*, 2008(5): 1-4. [杨学祥. 灾害链规律不容忽视. 地理教学, 2008(5): 1-4.]
- [51] Zheng Jingyun, Hao Zhixin, Fang Xiuqi, et al. Changing characteristics of extreme climate events during past 2000 years in China. *Advances in Earth Science*, 2014, 33(1): 3-12. [郑景云, 郝志新, 方修琦, 等. 中国过去2000年极端气候事件变化的若干特征. 地理科学进展, 2014, 33(1): 3-12.]

Drought and flood disaster chain and its response to climate change in Baoji region during the Ming and Qing dynasties

WAN Honglian^{1,2}, SONG Hailong², ZHU Chanchan², ZHANG Mi²

(1. Key Laboratory of Disaster Monitoring and Mechanism Simulation of Shaanxi Province, Baoji University of Arts and Sciences, Baoji 721013, Shaanxi, China; 2. College of Geography and Environment, Baoji University of Arts and Sciences, Baoji 721013, Shaanxi, China)

Abstract: In this paper, the literatures about the drought and flood disasters in Baoji region during the Ming and Qing dynasties were collected and sorted. The drought and flood disaster chains were discussed, while the response to climate change in Baoji region during 1368-1911 years was analyzed by using the accumulative anomaly method, moving average method and wavelet analysis and so on. The results showed that 297 events of drought and flood disasters occurred in Baoji during 1368-1911, while drought occurred 191 times and flood 106 times, accounting for 64.31% and 35.69%, respectively. There were obvious stage characteristics for drought and flood disasters, with drought episodes mainly observed from 1368 to 1644, while during 1645-1804 a fluctuant phase emerged, and the period 1805-1911 experienced drought episodes, presenting the alternating drought-wet period on the whole. Meanwhile there were three periods (70a, 110a and 170a) of oscillation on time scale of drought and flood existence, which had relationship with sunspot activity cycle. Drought and flood disasters had obvious variations in space; the northern and eastern parts of the Weihe river basin were prone to drought and flood. The occurrence of drought and flood disaster chains was a response to global climate change during the Ming and Qing dynasties in Baoji. Since the 1760s, the global climate deterioration has led to frequent extreme drought and flood disaster events.

Keywords: Baoji region; drought and flood disaster chains; climate change; spatial temporal distribution characteristics; wavelet analysis