

近200年来渭河流域干旱洪涝事件特征

刘引鸽, 胡浩楠, 周欢欢, 郑润禾, 龙 颜

(宝鸡文理学院 地理与环境学院, 陕西省灾害监测与机理模拟重点实验室, 陕西 宝鸡 721013)

摘 要:通过对渭河流域1813—2017年旱涝灾害资料的收集整理,重建旱涝等级以及指数序列,采用滑动t检验及小波分析等方法,分析了渭河流域近200年来旱涝变化规律。结果表明:近200年来渭河流域发生水旱灾害共111次,水灾和旱灾分别发生了55次和36次,同年水旱灾害交替出现20次,发生频率由高到低依次为:轻度旱灾>中度旱灾>轻度涝灾>旱涝交替>中度涝灾>重大涝灾及重大旱灾。旱涝灾害的发生具有明显的阶段性:1833—1880年、1914—1933年为中度和重大旱灾的多发期,1894—1910年、1933—1939年为中度和重大涝灾多发阶段。旱涝演变存在5~7年、10~11年、18~20年、60年和105~110年周期震荡。110年左右的周期震荡最强,为第一主周期,第二主周期为60年,第三主周期为20年,同时检验出旱涝有5个突变年,分别为1825年、1881年、1914年、1933年及1981年。空间分布上,渭南地区旱灾发生频率最高,天水 and 铜川次之,渭河源头处发生频率最低。西安、渭南涝灾发生频率最高,天水、宝鸡、咸阳次之,渭源和铜川涝灾发生频率最低。

关键词:气候学;旱涝序列;小波分析;渭河流域;变化特征

中图分类号:P467

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2019)04-0217-07

Characteristics of Drought and Flood Events in the Weihe River Basin in the Past 200 Years

LIU Yingge, HU Haonan, ZHOU Huanhuan, ZHENG Runhe, LONG Yan

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

Abstract: By collecting and sorting out the data of drought and flood disasters in Weihe River Basin from 1813 to 2017, and reconstructing the drought and flood index and exponential sequences, this paper uses the methods of indexing, moving average, moving t test and wavelet analysis to analyze the variation of drought and flood in Weihe River Basin in recent 200 years. The results showed that there were 111 events of floods and droughts in Weihe River Basin in the past 200 years, 55 events of floods and 36 events of droughts, respectively, and 20 events of floods and droughts occurred alternately in the same year. The frequency of floods and droughts decreased in the order: mild drought>moderate drought>mild flood>alternation of droughts and floods>moderate floods>major floods and droughts. The occurrence of drought and flood disasters had obvious stages, moderate and severe drought-prone periods occurred in the period of 1833—1880 and 1914—1933, moderate and severe flood-prone periods occurred in the period of 1894—1910 and 1933—1939. There were periodic shocks of 5~7 years, 10~11 years, 18~20 years, 60 years and 105~110 years in the evolution of drought and flood. The period oscillation around 110 years was the strongest, which was the first main period, the second main period was 60 years, and the third main period was 20 years. At the same time, five mutation years of drought and flood were detected, which occurred in 1825, 1881, 1914, 1933 and 1981, respectively. With respect to spatial distribution, the highest drought frequency was found in Guanzhong Basin, followed by Tianshui and Tongchuan, and the lowest on was found in the source of Weihe

收稿日期:2018-11-30

修回日期:2018-12-09

资助项目:国家自然科学基金“近200年来渭河流域气候变化水文效应及机制研究”(41771048);国家社会科学基金项目“西北地区能源开发利用生态效应综合测评与安全调控研究”(15XZZ012);陕西省教育厅计划项目“渭河流域灾害生态风险变化模式及适应研究”(13JS010);宝鸡文理学院重点项目“气候变化背景下区域环境变化模拟及响应研究”(ZK16061);宝鸡文理学院自然地理学陕西省重点学科资助项目

通信作者:刘引鸽(1965—),女,陕西兴平人,博士,教授,主要从事气候变化、资源环境管理及生态等方面研究。E-mail:yingeliu@163.com

River. The highest frequency of floods was observed in Xi'an and Weinan, followed by Tianshui, Baoji and Xianyang, and the lowest frequency was found in Weiyuan and Tongchuan.

Keywords: climatology; drought and flood sequence; wavelet analysis; Weihe River Basin; change characteristics

随着全球变化速度加快,气候变化研究成为国内外学者关注的焦点。历史气候、近百年气候变化研究是国际气候变率与可预报性计划的重要内容之一,尤其是历史时期及百年旱涝变化成为学者们研究的热点问题,并取得了一定研究成果,如采用古环境信息提取气候和水文要素资料对大兴安岭冬季的降水重建^[1-2],对扎曲河流域^[3]、新疆乌鲁木齐河山区流域^[4-5]、黑河流域^[6-7]、黄河一级支流湟水河及黄河上游^[8-10]、陕西关中周边^[11-13]等地区的气温、降水及径流重建,分析其变化特征。采用洞穴石笋的 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 对百年以来古气候和古环境重建以反映季风强弱、降雨和温度的变化^[14],采用沉积学及光释光测年对汉江、千河洪水事件对气候变化响应进行研究。这些研究主要针对东部地区、黄河流域以及新疆地区的气候要素序列重建,并研究其气候变化特征。近 60 a 来渭河流域降水量与径流量的变化及其水文要素对气候变化响应研究也取得了一定成果^[15-17]。但是渭河流域百年尺度的气候变化及其水文影响研究甚少。历史气候变化序列定量估计还处于发展探索阶段,如何融合多源数据以得到高质量、长序列的历史气象资料,重建高精度和高分辨率的区域干旱、洪水事件等资料序列,定量分析百年尺度区域气候变化及其对水文事件影响的时空变化格局,揭示过去气候变化特征及人类的响应机理,显得非常重要。渭河是黄河的最大支流,随着气候变暖以及人类活动影响,极端旱涝事件频率和强度增大,对该流域水资源和区域经济发展产生重大影响。为此,研究近 200 年来渭河流域旱涝事件的气候变化特征,为认识过去、现在与将来区域气候变化及预测,以及未来人类适应气候变化提供科学依据,对区域水资源规划管理及防灾减灾具有重要意义。

1 数据来源及方法

1.1 数据来源

渭河流域属暖温带半干旱气候区,受季风气候影响,降水及径流量季节变化明显,多年平均降水量 572 mm,径流量 75.7 亿 m^3 ,且时空分布不均,水旱灾害危害严重。渭河为黄河最大支流发源于甘肃省定西市渭源县,流经甘肃天水、陕西宝鸡、咸阳、西安和渭南等地,至渭南市潼关入黄河。因此,本研究选取具有代表性的渭河干流流域的 60 个县作为研究地区进行数据收集。1813—2017 年旱涝灾害历史文献

数据信息来源于该区域有记载的旱涝灾害记录,包括《陕西省志水利志》^[18]、《西北灾荒史》^[19]、《陇县志》^[20]、《中国气象灾害大典·甘肃卷》^[21]、《中国气象灾害大典·陕西卷》^[22]、《中国三千年气象记录总集》^[23]、《陕西历史自然灾害简要纪实》^[24]、《凤翔县志》^[25]、2000 年以后的数据来源于各市做出的气象观测资料、气候公报及当年的气候影响评价。

1.2 旱涝序列重建依据及方法

1.2.1 旱涝等级重建依据 通过历史文献记载,采用典型用语,参考《气象干旱等级》(GB/T 20481—2006)国家标准、《气象灾情收集上报调查和评估试行规定》、《中华人民共和国水利行业标准—洪涝灾情评估标准》(SL579—2012),借鉴标准化降水指标 SPI^[26-27],将定性的单站记载转化为定量的旱涝等级,重建旱涝等级序列,本文采用 7 级划分标准,具体标准见表 1。

1.2.2 旱涝指数序列重建方法 在界定灾害等级时,需要考虑单个站点水旱灾害程度,还要结合渭河沿岸地区实际情况,同时要考虑同一研究区多个站点都发生同一种灾害的情况。据此建立水旱灾害指数计算公式:

$$\sigma = \frac{1a + 2b + 3c + 4d + 5e + 6f + 7g}{\partial t}$$

式中: σ 代表旱涝指数; a, b, c 分别为研究区内重大水灾、中度水灾与轻度水灾的站点数; d 代表研究区内正常的站点数; e, f, g 分别为研究区内轻度旱灾、中度旱灾、重大旱灾的站点数; ∂ 为研究区内受灾站点个数; t 为正常无灾等级值。采用此公式计算 1813—2017 年旱涝指数,建立旱涝指数序列。

小波分析是一种具有时频多分辨功能的多尺度分析工具,适用于分析时间序列变化特性,因此,采用小波分析法判断旱涝周期。滑动 t 检验可以通过两组样本平均值是否有显著差异来判别是否存在突变,采用此方法检测旱涝突变特征。运用 Origin, Matlab, DPS, ArcGIS 等软件对数据进行处理,分析渭河流域的旱涝变化特征。

2 旱涝序列重建及变化特征

2.1 旱涝年变化序列重建及特征

根据旱涝灾害等级标准(表 1)建立了渭河流域旱涝等级序列(图 1)、旱涝指数序列(图 2)和旱涝年

统计(表 2)。可以看出,200 年来,渭河流域共发生水旱灾害 111 次,水灾和旱灾分别发生了 55 次和 36 次,其中发生最多的为轻度旱灾,平均每 7.1 年一遇,发生次数最少的为重大涝灾及重大旱灾,分别为平均每 28.6 年和 28.3 年一遇,同一年内水旱灾害交替出现计 20 次,平均 9.7 年一遇。1813—1833 年由涝转旱,尤其在 1833 年左右旱灾较严重。1880 年后曲线波动下降,在 1880 年出现最低,虽有旱灾但程度较小,表明这一时期逐渐由旱转涝。前 100 年渭河流域先旱后涝,而后 100 年表现为先涝后旱,尤其 1921 年、1937 年、1979 年水灾指数最大,自 1946 年后渭河流域旱灾发生频率逐渐增多。旱涝发生频率由高到低依次为:轻度旱灾>中度旱灾>轻度涝灾>旱涝交替>中度涝灾>重大涝灾及重大旱灾。1833—1880 年、1914—1933 年为中度和重大旱灾的多发期,1894—1910 年、1933—1939 年为中度和重大涝灾多发阶段。1964 年以后水旱交替显著,水灾旱灾短期

内交替发生。

为了分析不同阶段渭河流域旱涝灾害发生频率,按 30 a 统计各类灾害情况(图 3)。可以看出,1874—1903 年、1934—1963 年段发生旱涝的频率较大,1844—1873 年、1964—1983 年发生旱涝的次数较少。而 1984—2000 年旱灾发生的频率最大,1874—1903 年涝灾发生次数最大,1813—1843 年旱涝交替发生的次数最多,1903 年后涝灾发生的次数逐渐减少,旱灾波动增加。

由中央气象局气象科学研究院主编的《中国近 500 年旱涝分布图集》^[28]可反映过去 500 年来我国旱涝灾害变化,作为代用指标参考被广泛引用。采用图集中西安站旱涝等级序列与重建的西安旱涝等级序列做 5 a 滑动平均处理(图 4)。对比分析发现,两曲线走向趋势较吻合,呈现波峰/波谷与波峰/波谷相对,有很高的拟合程度,表明本方法建立的旱涝序列比较符合实际。

表 1 旱涝灾害等级标准划分依据

等级	灾害	典型用语	主要现象	满足条件
1	重大涝灾	逃亡载道、淹毙、溺亡惨重、骨肉相食等	多地持续大雨导致房屋农田被淹,河水泛滥决堤,造成人畜溺亡,或饿殍载道等重大伤亡	(1) $Z \geq 5$ 个县市以上重度洪涝;(2) $Z \geq 4$ 个县市以上重度洪涝,至少一个县市轻度洪涝等
2	中度涝灾	春夏霖雨、山水陡发、秋大水、涨溢决坎等	持续阴雨造成水涝,突发山洪,河水决堤,破坏农田造成粮价飞涨,减产免税等	(1) 域内无重度洪涝,4 个县市中度洪涝,至少有一个县市轻度洪涝;(2) $Z \geq 4$ 个县市以上中度洪涝,其余县市无灾等
3	轻度涝灾	被水不至成灾、少民口粮、渭水涨等	居民房屋未受到破坏,对农作物和人们生产生活影响较小	(1) $Z \geq 4$ 个县市以上轻度洪涝,其余县市无灾;(2) 2~3 个县市中度洪涝,其余县市均为轻度洪涝或无灾等
4	正常	雨泽应期、雨水调匀等	该年风调雨顺,人们生产生活正常,无旱涝灾害记载	该年份全区域无水旱灾害记录或发生其他类型灾害
5	轻度旱灾	五至 7 月不雨、得雨稍迟、禾欠收等	雨水稍滞后或延期,作物欠收等轻微影响	(1) $Z \geq 4$ 个县市以上轻度干旱,其余县市无灾;(2) 2~3 个县市中度干旱,其余县市均为轻度干旱或无灾等
6	中度旱灾	自春不雨、青苗死绝、百姓饥乏、河尽涸	蝗灾瘟疫,连月无降水,造成粮价飞涨,河流干涸,群众迁徙等	(1) 区域内无重度干旱,4 个县市中度干旱,至少有一个县市轻度干旱;(2) $Z \geq 4$ 个县市以上中度干旱,其余县市无灾等
7	重大旱灾	颗粒无收、人多死、逃徙无算、饿殍遍野等	大范围跨季度持续无降水,赤地千里,颗粒无收,群众逃亡载道,甚至人相食等	(1) $Z \geq 5$ 个县市以上重度干旱;(2) $Z \geq 4$ 个县市以上重度干旱,至少一个县市轻度干旱

2.2 旱涝季节特征

根据统计,1813—2017 年史料水旱灾害无季节记载的年份共计 28 a,有明确记载的水旱灾发生年份共计 177 年(某年发生水灾、旱灾或该年水旱灾害均有记载),按照季节统计渭河旱涝(图 5)。可以看出,渭河流域夏季旱涝发生最多分别为 59,55 次,其次为秋季,冬季最少。发生频次依次为夏>秋>春>冬,连旱以春夏秋三季为主,连涝以夏秋两季为主,春夏

秋冬四季皆有旱灾发生了 2 次。旱涝的这种季节特征与季风气候的波动密切相关^[29-30]。渭河流域地处西北地区东部边缘,位于季风气候向大陆气候过渡地带,夏季风变化影响使夏季旱涝灾害发生较多。冬季受温带大陆气团影响,气候寒冷干燥,旱涝发生较少。春秋两季处在冬夏季风交替的过渡期,致使春季迅速升温,雨量减少,秋季降温迅速阴雨连绵,使得关中地区成为秋季连阴雨较多的地区之一。

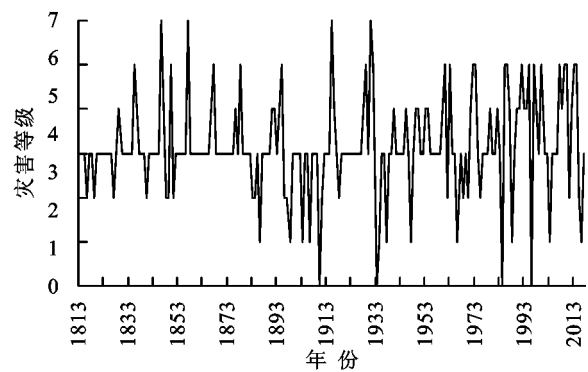


图 1 1813—2017 年渭河流域旱涝灾害等级序列

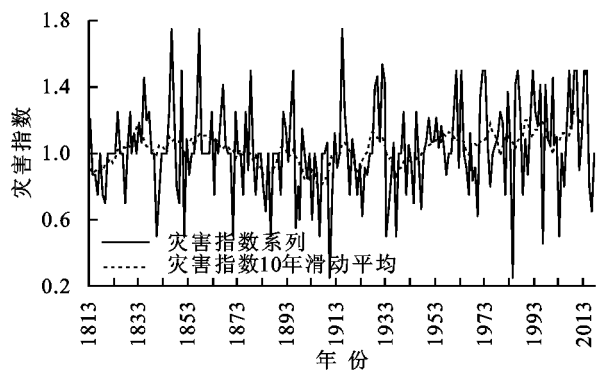


图 2 1813—2017 年渭河流域旱涝灾害指数序列

表 2 渭河流域地区旱涝灾害统计

级别	灾害	年份	次数							
1	重大涝灾	1910	1933	1984	1996					4
2	中度涝灾	1886	1898	1903	1906	1934	1937	1947	1966	11
		1988	2003	2016						
3	轻度涝灾	1816	1818	1819	1827	1840	1848	1849	1851	21
		1883	1884	1896	1897	1911	1918	1962	1968	
		1970	1975	2011	2015	2017				
5	轻度旱灾	1813	1829	1836	1847	1866	1876	1891	1892	29
		1894	1916	1928	1940	1945	1949	1950	1953	
		1954	1960	1971	1979	1982	1987	1990	1991	
		1993	1994	1998	2008	2012				
		1835	1850	1867	1878	1895	1929	1932	1961	22
6	中度旱灾	1963	1972	1973	1985	1986	1992	1995	1997	
		2000	2007	2009	2010	2013	2014			
7	重大旱灾	1846	1857	1915	1931					4
		1817	1820	1821	1826	1832	1854	1868	1869	20
	旱涝交替	1893	1901	1914	1920	1925	1951	1957	1964	
		1969	1981	2001	2002					

2.3 旱涝空间特征

图 6 为近 200 年渭河旱涝发生频数空间分布,可以看出,该区域内渭南旱灾发生频率最高,达 75 次,西安、咸阳旱灾发生频率均在 60 次以上,天水 and 铜川次之,频率在 40~60 次之间,而上游的渭源旱灾频率较低,仅发生了 13 次。涝灾以西安、渭南发生频率最高,分别为 43 次和 50 次,其次为天水、宝鸡、咸

阳,发生水灾次数介于 20~30 之间,渭源和铜川水灾发生频次较少,次数均在 10 次以下。有研究指出,近 200 年来人类活动直接和间接对径流造成影响,也使得径流量显著下降^[31-34],渭河流域潜在蒸发量增幅趋势明显^[35]。渭河流域水旱灾害在各地区分布不同,可能是渭河径流年内分配不均,年际丰枯震荡造成的。

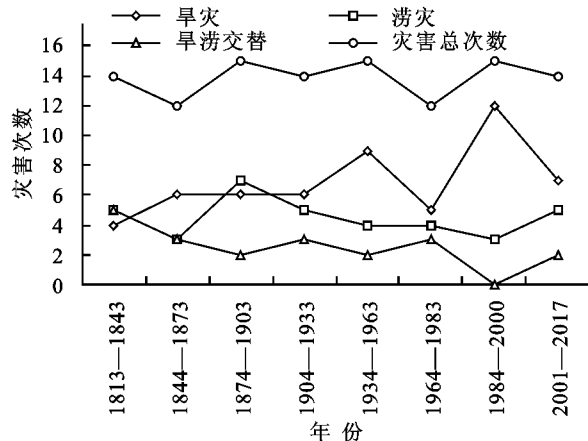


图 3 渭河流域各阶段旱涝发生频次

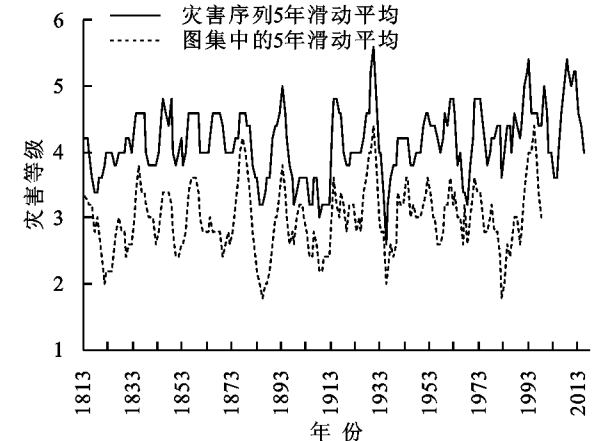


图 4 图集西安站点旱涝等级序列与渭河流域地区旱涝序列对比

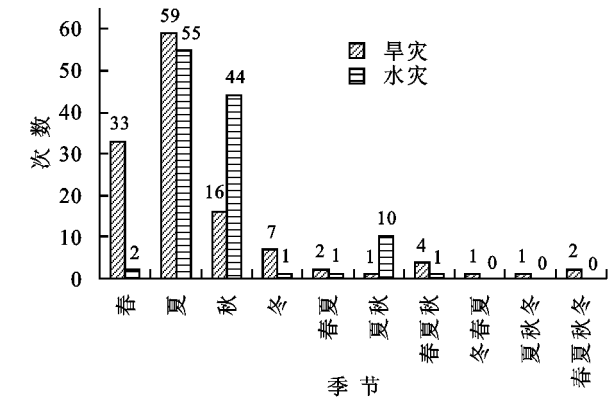


图 5 渭河流域旱涝季节变化

2.4 旱涝周期及突变

运用 MATLAB 对旱涝序列进行小波分析(图 7),从小波实部图可以看出,大多正负值中心均分布于 25 a 频域下方,说明渭河水旱灾害周期变化以中

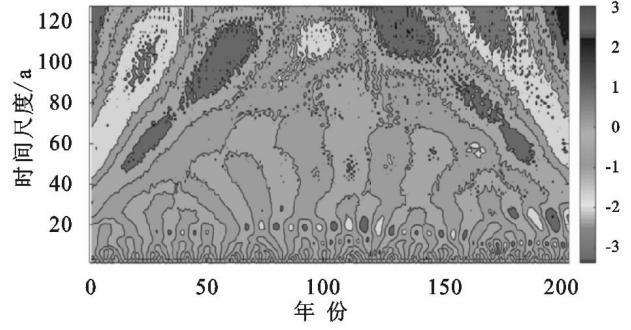


图 7 近 200 年来渭河流域旱涝小波分析实部及方差

为了分析渭河流域旱涝主要周期阶段的变化特征,分别选择 20 a,60 a,105 a 时间尺度,并在百年周期下进行旱涝灾害突变对比分析。根据方差检验结果,给出小波系数(图 8)。可以看出,1813—1900 年的近 100 年中,在 100 年时间尺度上经历了 1 个周期水—旱变化,其中 1819—1853 年为水灾阶段,1853—1889 年为旱灾阶段。在 60 年尺度上共经历了 2 个周期水—旱变化,1827—1847 年、1871—1890 年为旱灾阶段,1813—1827 年、1847—1870 年为水灾阶段。在 20 年时间尺度上共经历 7.5 个周期水—旱变化:1813—1816 年、1820—1825 年、1832—1837 年、1844—1850 年、1855—1860 年、1863—1870 年、1876—1881 年、1889—1895 年为旱灾阶段,其余为水灾阶段。

1900—2017 年的 100 年中,在 105 年尺度上经历了 1.25 个周期的水—旱变化,大致分布为 1930—1969 年、2008—2017 年两个旱灾阶段和 1900—1929 年、1970—2007 年两个水灾阶段。在 60 年尺度上共经历了 3 个周期水—旱变化:1911—1930 年、1950—1967 年、1985—2004 年为旱灾阶段,1900—1911 年、

可以用来确定水旱灾害序列的主周期,反映出峰值分别在 5~7 a,10~11 a,18~20 a,60 a 和 105~110 a 出现,在 110 a 处左右的周期震荡最强,为第一主周期,第二主周期 60 a,第三主周期 20 a。尤其是主周期与太阳活动周期^[36]关系密切。有研究^[37]提出黄河中游旱涝变化存在 20~35 a,60~80 a,110~120 a 等特征,说明渭河流域与黄河中游洪涝灾害变化的步调基本一致。

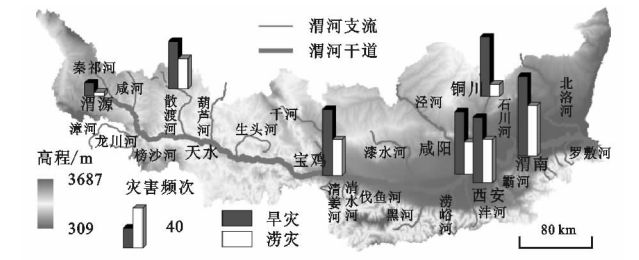
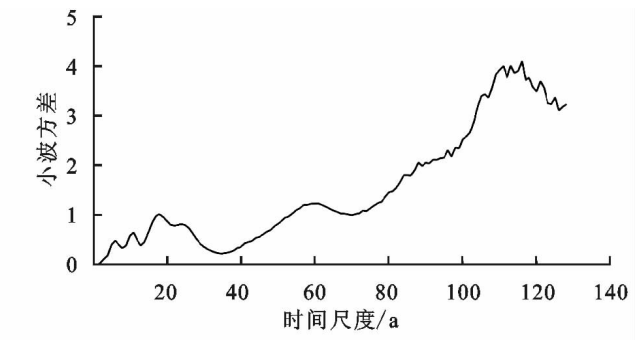


图 6 渭河流域地区水旱灾害空间分布



1931—1949 年、2004—2017 年为水灾阶段。在 20 年时间尺度上共经历了 10 个周期水—旱变化:1902—1908 年、1914—1920 年、1927—1933 年、1939—1945 年、1951—1954 年、1959—1965 年、1971—1977 年、1982—1988 年、1994—2001 年、2008—2015 年为旱灾阶段,其余为水灾阶段。随时间尺度缩小,水旱灾害突变显得频繁,波动频率会增大。

使用 DPS 数据处理系统对近 200 年来渭河流域地区水旱灾害数据进行滑动 t 检验,达到 95%置信水平以上,分析渭河流域旱涝突变特征。由(图 9A)可以看出,在前 100 年尺度(1813—1900)有 5 个突变点,分别是 1825 年、1826 年、1979 年、1880 年及 1881 年,共 3 个突变年代。由图 9B 也可以看出,在后 100 多年尺度(1901—2017),也存在 5 个突变点,分别是 1913 年、1914 年、1915 年、1933 年及 1982 年,3 个年代发生突变。结合图 8 分析,可得到较为可信的突变年份,分别为 1825 年(旱→涝)、1881 年(旱→涝)、1914 年(涝→旱)、1933 年(旱→涝)、1982 年(涝→旱)。突变的发生与气候环境变化可能相关。

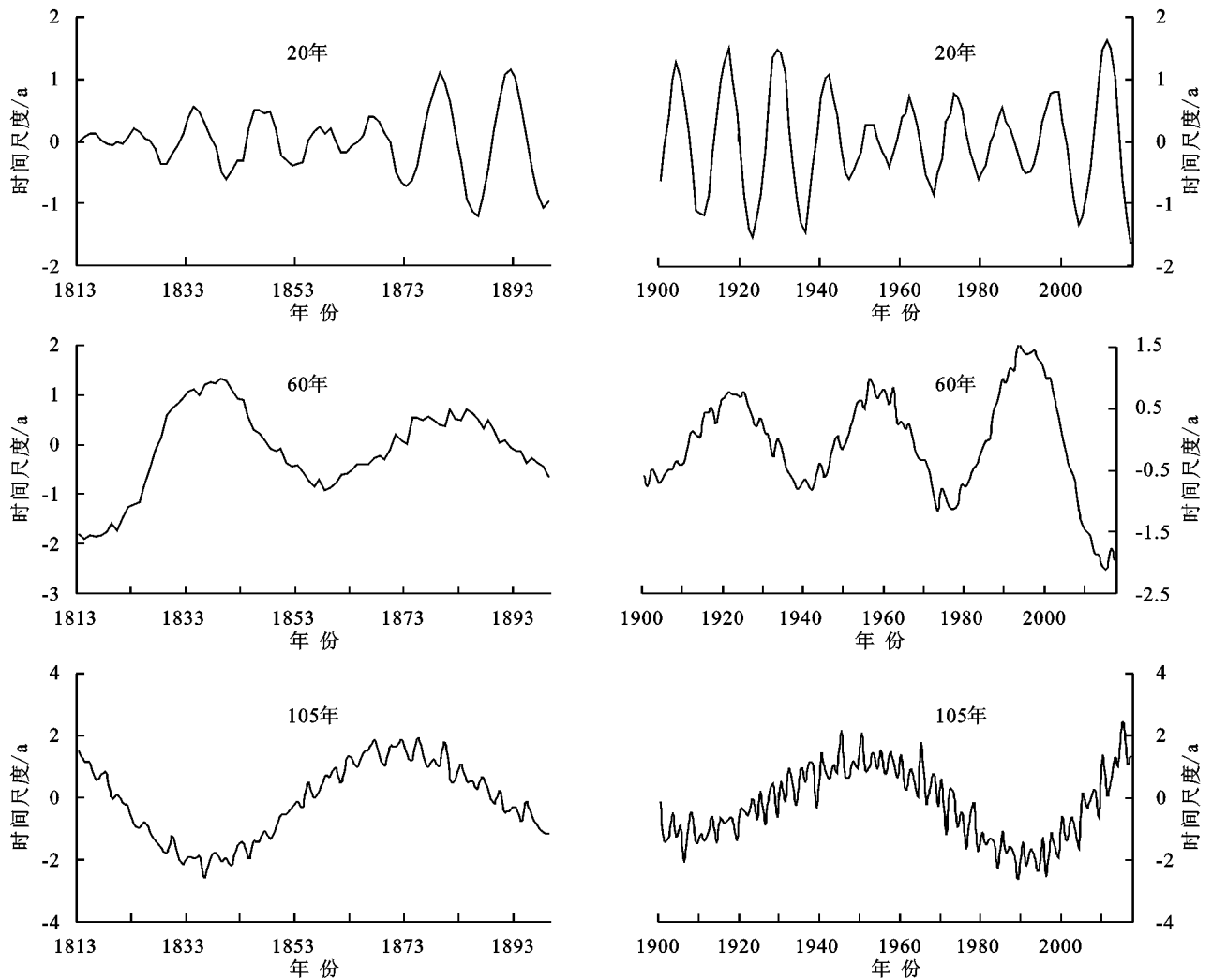


图 8 近 200 年渭河流域旱涝不同尺度小波系数

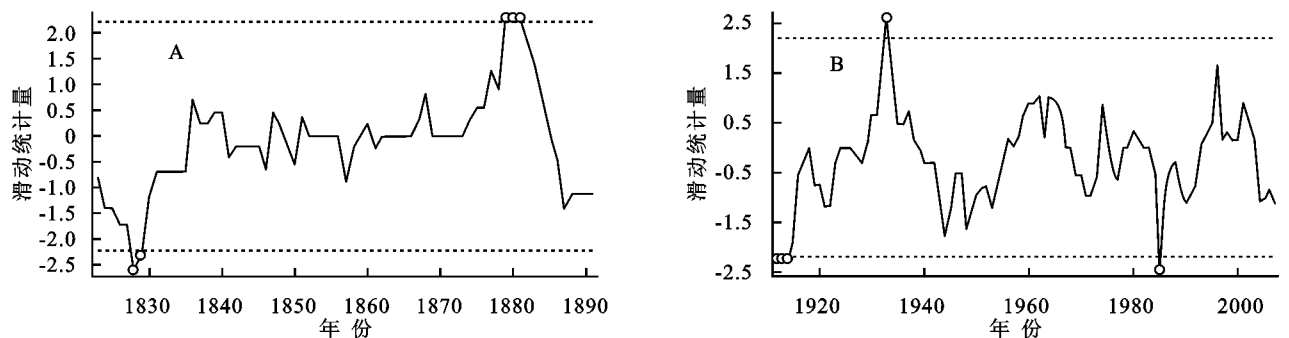


图 9 1813—2017 年渭河流域地区旱涝突变滑动 t 检验

3 结论

(1) 渭河旱涝灾害表现出年季变化特征和阶段性特征。19 世纪 80 年代以偏涝为主,19 世纪后以偏旱为主。1860—1890 年、2000—2017 年涝灾有上升趋势,1964—2000 年旱灾有上升趋势,水旱交替近 200 年来有下降趋势。水旱灾害发生频率最高的是轻度旱灾,发生频率最低的是重大水灾及重大旱灾。旱灾以夏季为主,涝灾以夏秋为主,春夏秋连旱多发。

(2) 渭河流域旱涝具有长周期与短周期的变化特征。震荡最强的周期为 110 a,且中小周期震动明显,在百年尺度、60 a 尺度以及 20 a 尺度的旱涝周期不同。旱涝也具有突变性,在近 200 年存在 5 个显著突变年份。

(3) 渭河流域旱涝空间差异明显。在空间分布上,近 200 年以来渭河流域下游的渭南地区旱灾和涝灾发生频率最高,上游的渭源地区旱灾频率最小,中游的西安、宝鸡旱涝灾发生频率居中,其他区域旱涝发生频率相对较少。

参考文献:

- [1] Bradley R S. High resolution record of past climate from monsoon Asia, the last 2000 years and beyond, recommendations for research[R]. Pages Workshop Report, Series 93-1, 1993, 1-24.
- [2] 吕姗姗, 王晓春. 大兴安岭北部阿里河樟子松年轮气候响应及冬季降水重建[J]. 东北师大学报: 自然科学版, 2014, 42(2): 110-116.
- [3] 李媛媛, 秦宁生, 时兴合, 等. 近714年扎曲河流域径流量的重建和变化特征[J]. 高原气象, 2015, 34(4): 1065-1073.
- [4] 李江风, 袁玉江, 由希尧. 乌鲁木齐河山区流域360年径流量的重建[J]. 第四纪研究, 1997(2): 36-43.
- [5] 袁玉江, 李江风. 天山乌鲁木齐河源450a冬季温度序列的重建与分析[J]. 冰川冻土, 1999, 21(1): 64-70.
- [6] 喻树龙, 袁玉江, 龚原. 奎屯河近379a9月径流量的重建与特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(7): 115-119.
- [7] 康兴成, 程国栋, 康尔泗, 等. 利用树轮资料重建黑河近千年来出山口径流量[J]. 中国科学: D辑, 2002, 32(8): 675-685.
- [8] 王亚军, 陈发虎, 勾晓华. 黑河230a以来3—6月径流的变化[J]. 冰川冻土, 2004, 26(2): 202-206.
- [9] 刘禹, 杨银科, 蔡秋芳, 等. 以树木年轮宽度资料重建湟水河过去248年来6—7月份河流径流量[J]. 干旱区资源与环境, 2006, 20(6): 69-73.
- [10] 勾晓华, 邓洋, 陈发虎, 等. 黄河上游过去1234年流量的树轮重建与变化特征分[J]. 科学通报, 2010, 55(4): 176-183.
- [11] 刘禹, 吴祥定, 邵雪梅, 等. 树轮密度、稳定C同位素对过去近100a陕西黄陵季节气温与降水的恢复[J]. 中国科学D辑, 1997, 27(3): 271-276.
- [12] 刘洪滨, 邵雪梅, 黄磊. 中国陕西关中及周边地区近500年来初夏干燥指数序列的重建[J]. 第四纪研究, 2002, 22(3): 220-229.
- [13] 蔡秋芳, 刘禹, 杨银科, 等. 陕西黄龙树轮年表的建立及其2—3月降水记录[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2005, 25(2): 133-139.
- [14] Liangcheng Tan, Yanjun Cai, Zhisheng An Lawrence Edwards, et al. Centennial-to decadal-scale monsoon precipitation variability in the semi-humid region, northern China during the last 1860 years: Records from stalagmites in Huangye Cave[J]. The Holocene, 2010, 21(2): 287-296.
- [15] 朱悦璐, 畅建霞. 基于气候模式与水文模型结合的渭河径流预测[J]. 西安理工大学学报, 2015, 31(4): 400-407.
- [16] 郝春洋, 贾仰文, 王浩. 气象水文模型耦合研究及其在渭河流域的应用[J]. 水利学报, 2012, 43(9): 1042-1049.
- [17] 姚正学, 杨军, 刘迪. 1956—2005年渭河流域降水与径流的变化特征[J]. 人民黄河, 2016, 38(1): 12-18.
- [18] 陕西省地方志编纂委员会. 陕西省志水利志(第十三卷)[M]. 西安: 陕西人民出版社, 1999.
- [19] 袁林. 西北灾荒史[M]. 兰州: 甘肃人民出版社, 1994.
- [20] 陕西省陇县地方志编纂委员会. 陇县志[M]. 西安: 陕西人民出版社, 1993.
- [21] 温克刚, 董安祥. 中国气象灾害大典: 甘肃卷[M]. 北京: 气象出版社, 2005.
- [22] 温克刚, 翟佑安. 中国气象灾害大典: 陕西卷[M]. 北京: 气象出版社, 2005.
- [23] 张德二. 中国三千年气象记录总集[M]. 南京: 凤凰出版社, 2004.
- [24] 陕西历史自然灾害简要纪实编委会. 陕西历史自然灾害简要纪实[M]. 北京: 气象出版社, 2002.
- [25] 陕西省凤翔县地方志编纂委员会. 凤翔县志[M]. 西安: 陕西人民出版社, 1991.
- [26] 叶柏松等, 赵成义, 姜逢清, 等. 近300a来塔里木河流域旱涝灾害特征分析[J]. 冰川冻土, 2014, 36(1): 173-182.
- [27] 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): 13-21.
- [28] 中央气象局气象科学研究所. 中国近500年旱涝分布图集[M]. 北京: 地图出版社, 1981.
- [29] 李艳芳, 赵景波. 近200年来关中地区洪涝灾害研究[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(4): 96-99.
- [30] 郭瑞, 查小春. 泾河流域1470—1979年旱涝灾害变化规律分析[J]. 陕西师范大学学报: 自然科学版, 2009, 37(3): 90-95.
- [31] 郭永强. 我国季风区若干河流万年尺度稀遇洪水事件水文恢复研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2017: 103-105.
- [32] He H, Zhang Q, Zhou J, et al. Coupling climate change with hydrological dynamic in Qinling Mountains, China[J]. Climatic Change, 2009, 94(3): 409-427.
- [33] 孙悦, 李栋梁, 朱拥军. 渭河径流变化及其对气候变化与人类活动的响应研究进展[J]. 干旱气象, 2013, 31(2): 396-405.
- [34] 冯星, 郭建青, 孙东永, 等. 近55a渭河流域气候变化[J]. 干旱区地理, 2018, 41(4): 718-725.
- [35] Y G Liu, S X Wang, Y Wang and H N Hu. Evaluation of potential evapotranspiration in the Weihe River Basin based on statistical downscaling[J]. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 2018, 191(1): 1-7. doi:10.1088/1755-1315/191/1/012025.
- [36] 徐振韬, 蒋蔚窈. 中国古代太阳黑子研究与现代应用[M]. 南京: 南京大学出版社, 1990.
- [37] 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): 1579-1596.