

明代陕西黄土高原中南部地区洪涝灾害

赵艳^{1,2}, 岳大鹏¹, 赵景波^{1,2}, 刘乐¹

(1.陕西师范大学 地理科学与旅游学院, 西安 710119; 2.中国科学院
地球环境研究所 黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710061)

摘要:为探寻陕西黄土高原地区洪涝发生规律,进而对该区的历史时期气候恢复及灾害预测防治提供帮助,搜集整理洪涝灾害历史文献记录,运用数理统计、小波分析等方法对陕西黄土高原中南部明代洪涝灾害等级、频次、周期和形成原因进行研究。结果表明:(1) 陕西黄土高原中南部在明代 277 年内共发生洪涝灾害 73 次,平均 3.78 年 1 次。轻度洪涝、中度洪涝、大洪涝、特大洪涝分别占发生总次数的 19.18%, 61.64%, 16.44% 和 2.74%, 以轻度洪涝和中度洪涝为主。(2) 可将明代陕西黄土高原中南部洪涝灾害划分成 6 个阶段,第 1 阶段到第 6 阶段分别在 1368—1427 年、1428—1487 年、1488—1517 年、1518—1567 年、1568—1587 年、1588—1644 年。第 1,3,5 阶段为洪涝少发期,第 2,4,6 阶段为洪涝多发期。明代洪涝发生频次总体上呈上升趋势,明代中后期频次显著高于早期。(3) 洪涝灾害季节分布多集中于夏秋两季。(4) 明代陕西黄土高原中南部洪涝灾害存在 4 a, 6 a, 20 a, 58 a 左右的发生周期。(5) 明代陕西黄土高原中南部洪涝灾害的发生是自然因素和人为因素共同影响的结果,其发生主要是对气候变暖湿和夏季风活动增强的响应。城市设施不完善、过度开垦等人为因素对洪涝灾害也产生一定影响。综上,该地区洪涝灾害变化阶段明显,主要受自然因素的波动控制,为加强对该区洪涝灾害的防治,亟待进行相关的监测和管理。

关键词:洪涝灾害; 发生周期; 小波分析; 明代; 黄土高原

中图分类号: P426.616

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2021)05-0187-09

Flood Disasters in the Central and Southern Loess Plateau of Shaanxi in Ming Dynasty

ZHAO Yan^{1,2}, YUE Dapeng¹, ZHAO Jingbo^{1,2}, LIU Le¹

(1.School of Geography and Tourism, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China; 2.State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710061, China)

Abstract: In order to explore the regularity of floods in the Loess Plateau of Shaanxi Province, and to provide help for the climate recovery and disaster prediction and prevention in the historical period of the region, this paper collected and sorted out the historical documents of floods, and used mathematical statistics, wavelet analysis and other methods to studied the flood disaster grade, frequency, cycle and causes in the central and southern part of Shaanxi Loess Plateau in the Ming Dynasty. Through the collection of relevant historical documents of flood disasters, mathematical statistics, wavelet analysis and other methods were used to study the flood disasters grade, frequency, cycle and cause of the Ming Dynasty in the central and southern Loess Plateau in Shaanxi. The results showed that: (1) the central and southern part of the Loess Plateau in Shaanxi experienced 73 floods in 277 years during the Ming Dynasty, with an average occurrence frequency of 3.78 years; mild floods, middle floods, great floods and serious floods accounted for 19.18%, 61.64%, 16.44%, and 2.74% of the total occurrences, respectively, and mild floods and middle floods were dominant; (2) it could be divided into six stages: 1368—1427, 1428—1487, 1488—1517, 1518—1567, 1568—1587 and 1588—1644; the first, third and fifth stages were the periods with less floods, and the second, fourth and sixth stages were the periods with frequent floods; the frequency and level of flood disasters in the middle and late Ming Dynasty were significantly higher than those in the early period; (3) the distribution of flood disasters was mostly concentrated in summer and autumn; (4) in the Ming Dynasty, the flood disasters in

收稿日期: 2020-10-14

修回日期: 2020-10-28

资助项目: 国家自然科学基金重点项目(41930641); 黄土与第四纪地质国家重点实验室开放基金课题(SKLLQG1934)

第一作者: 赵艳(1997—), 女, 湖北襄阳人, 硕士研究生, 研究方向为水土资源评价与规划。E-mail: zhaoy97@snnu.edu.cn

通信作者: 岳大鹏(1964—), 男, 陕西兴平人, 博士, 教授, 主要从事自然地理土壤侵蚀和土地资源与环境研究。E-mail: yuedp@snnu.edu.cn

the central and southern part of the Loess Plateau in Shaanxi had occurrence cycles of 4-year, 6-year, 20-year, and 58-year; (5) the occurrence of flood disasters in the central and southern Loess Plateau in the Ming Dynasty was the result of both natural and human factors; the warm and humid climate and the enhancement of summer monsoon activity were the main factors on flood disasters in Ming Dynasty in the study area, and the flood disasters were mainly the response to climate warming and humidity. The factors such as imperfect urban facilities and excessive reclamation also had some influence on the flood disasters. To sum up, the change stage of flood disasters in this area is obvious, which is mainly controlled by the fluctuation of natural factors. In order to strengthen the prevention and control of flood disasters in this area, relevant monitoring and management are urgently needed.

Keywords: flood disaster; occurrence cycle; wavelet analysis; Ming Dynasty; Loess Plateau

自然灾害被定义为对人类造成财产损失和死亡的不利事件^[1],是当今学术界乃至世界人民普遍面临的难题之一,其影响严重制约经济、社会的可持续发展,甚至威胁人类生存^[2]。洪水和雨涝往往同时或连续发生在同一地区,统称为洪涝灾害,是我国危害严重的自然灾害之一^[3],其发生范围广、持续时间长、发生频率高的特点使其成为制约国民经济生产活动的一大灾害^[4]。对于洪涝灾害,前人做了大量的研究。吴先华等^[5]通过实地调研确定洪涝灾害发生后不同承灾体在不同淹没水深下的灾损率,然后通过问卷调研评估防灾减灾能力对不同承灾体灾损率曲线的影响,构建新的灾损率曲线。张桂香等^[6]基于 1961—2010 年长江中下游地区内 426 个气象站点的逐日降水数据,得出近 50 a 该区的农业洪涝灾害整体有增加的趋势,并呈现明显的江南多、江北少的分布特征的结论。黄河^[7]、张会^[8]、徐玉霞^[9]等从不同方面对洪涝风险评估进行了讨论。

陕西是我国暴雨多发地区之一^[10]。在明代,水灾是最重要的自然灾害之一,这一时期的水灾不仅在发生次数上处于前列,而且种类较多,造成了较严重的危害^[11]。陕西是我国东部季风区的组成部分,季风影响显著,风向与降水均依季节而有明显的交替^[12]。前人对陕西的洪涝灾害做了大量的研究,取得了一些重要的成果。张冲等^[13]研究发现,汉代渭河流域洪涝灾害的发生与气候的波动关系明显,轻度和中等涝灾主要受局部降水集中的影响显著,流域暴雨和大暴雨是汉代渭河流域发生大涝灾和特大涝灾主要原因。赵景波等^[14]在研究陕南地区洪涝灾害时,认为明代早期到晚期,洪水发生总体上呈波动上升趋势。刘晓清等^[15]运用频谱分析,发现清代泾河中游地区洪水发生具有周期性,其中 101 a 和 11 a 周期可以和太阳活动的周期相对应,3.4~2.2 a 周期则可能与热带海气耦合规律有关,说明太阳活动和低纬海洋大气活动对该地区洪涝灾害都有影响。刘引鸽等^[16]分析了渭河流域近 200 年来旱涝变化规律,认

为涝灾以夏秋季为主,且渭河流域旱涝具有长周期与短周期的变化特征,在近 200 年存在 5 个显著突变。但过去的研究多集中于关中地区,对于黄土高原地区历史时期的洪涝灾害研究相对较少。

由于自然和人为的原因,陕西黄土高原历史时期常发生洪涝灾害。洪涝灾害特别是洪水对水土流失的产生有重要影响,研究本地区的洪涝灾害对于治理水土流失有积极作用。目前没有关于陕西黄土高原中南部明代 277 a 来洪涝灾害发生的等级序列、频率、季节变化、发生周期等的系统分析。笔者通过查阅记录有明代陕西黄土高原中南部洪涝灾害的历史文献,整理出相关资料,对洪涝灾害的等级、频次、发生周期进行分析,探讨灾害发生的原因,以求为探寻本地区的洪涝发生规律、恢复历史时期气候和自然环境状况提供参考,进而对该区的洪涝灾害预测和防治提供帮助。

1 研究区概况和方法

陕西黄土高原位于陕西省的中北部,地理坐标位于北纬 $34^{\circ}10'$ — $39^{\circ}35'$,东经 $107^{\circ}30'$ — $111^{\circ}15'$ 。幅员南北长,东西窄。总面积 $89\,326.92\text{ km}^2$,占陕西省总面积的 43.2%。本区属干湿过渡的、以半干旱与半湿润为主的大陆性季风气候,地处我国东部季风区暖温带的偏西位。全区年平均气温约 $7\sim 12^{\circ}\text{C}$,纬度位置决定了全区的热量带以暖温带为主,具有冬冷夏热、冬夏温差大的温度特点。年平均降水量约 $300\sim 700\text{ mm}$ 。全区海拔高度一般在 $800\sim 1\,600\text{ m}$,地势西高东低,基本是由西北向东南倾斜^[17]。

本文主要研究陕西省内黄土高原中南部地区(图 1)。以延安市北界、北纬 $35^{\circ}21'$ 为划分界线,线以南的陕西黄土高原地区为研究区域。具体包括延安市所有区县、陇县、千阳县、麟游县、长武县、彬县、旬邑县、永寿县、淳化县、铜川市所有区县、白水县、澄城县、合阳县、韩城市,共计 29 个区县。

本文研究方法主要包括历史文献资料的收集与判读,数理统计, morlet 小波分析等方法。洪涝灾害时常

3.2 明代洪涝灾害时间变化与特点

3.2.1 洪涝灾害发生频次变化 为了更好地研究明代陕西黄土高原中南部地区洪涝灾害在时间上的变化,本文根据搜集到的数据,以 10 a 为单位,对明代(公元 1368—1644 年)洪涝灾害的发生频次进行了整理分析,并绘制研究区域的洪涝灾害频次变化图(图 3)。

在明代 277 a 中,陕西黄土高原中南部地区的洪涝灾害年为 73 次,平均每 3.78 a 发生一次。较严重的洪涝灾害年(大洪涝、特大洪涝)共有 14 次,平均每 19.71 a 就有一次较严重洪涝灾害发生。可将明代研究地区洪涝灾害划分为 6 个阶段。第一个阶段是公元 1368—1427 年,在这 60 a 内,记载共发生 5 次洪涝灾害,平均每 12 a 发生一次。第 2 个阶段是公元 1428—1487 年,共发生洪涝灾害 23 次,平均 2.6 a 发生一次,这 60 a 囊括了 1438—1447 年、1458—1467 年、1478—1487 年这 3 个发生过最高频次 5 次的 10 a 间隔,与第一阶段相比,灾害的频次和等级都有很大提升。第 3 个阶段是公元 1488—1517 年,共发生洪涝灾害 5 次,平均每 6 a 发生一次。第 4 个阶段是公元 1518—1567 年,50 a 间共发生 19 次洪涝灾害,平均每 2.63 a 发生一次。第 5 个阶段是公元 1568—1587 年,共发生洪涝灾害 2 次,平均每 10 a 发生一次。第 6 个阶段是公元 1588—1644 年,共发生洪涝灾害 19 次,平均每 3.15 a 发生一次。由此可知,第 1,3,5 阶段为洪涝灾害少发期,第 2,4,6 阶段为洪涝灾害多发期。

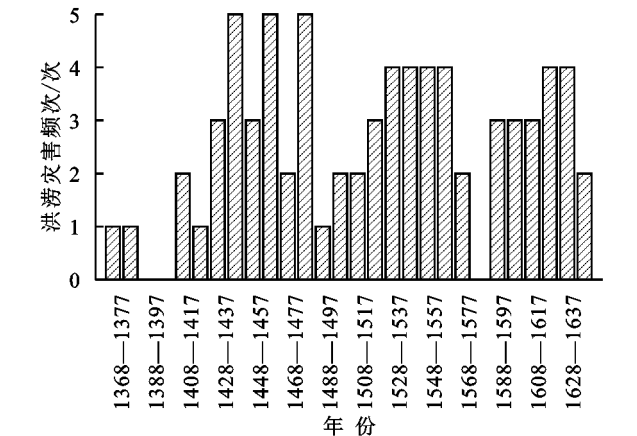


图 3 明代洪涝灾害频次变化

可将公元 1368—1427 年作为明代早期,1428—1644 年作为明代中期和晚期。在明代早期,值得特别注意的是,1388—1407 年的连续 20 a 间,陕西黄土高原中南部地区没有发生洪涝灾害,而剩下的 40 a 里,洪涝灾害的发生频次也不多,大多数 10 a 单位为 1 次,这可能表明在明代早期,研究区域的气候是比较干旱的。在中后期,仅 1578—1587 年未发生洪涝灾害,其他的 10 a 单位中均有灾害发生,最高频次为 5 次,分别是 1438—1447 年、1458—1467 年、1478—1487 年。发

生频次等于或超过 3 次的 10 a 单位在后 217 年中占了 150 年,说明明代中后期洪水发生频次要明显多于前期。明代中后期发生 2 a 连涝 15 次,3 a 连涝 2 次,4 a 连涝 1 次,而前期仅有 1 次 2 a 连涝,说明在中后期灾害有加剧的趋势。总体来看,研究区域明代早期是洪涝灾害低发期,中后期是洪涝灾害高发期。

为了深入了解研究区域明代洪涝灾害的变化特点,计算出每 10 a 研究区域洪涝灾害发生频次的距平值,并根据计算结果绘制成图(图 4)。

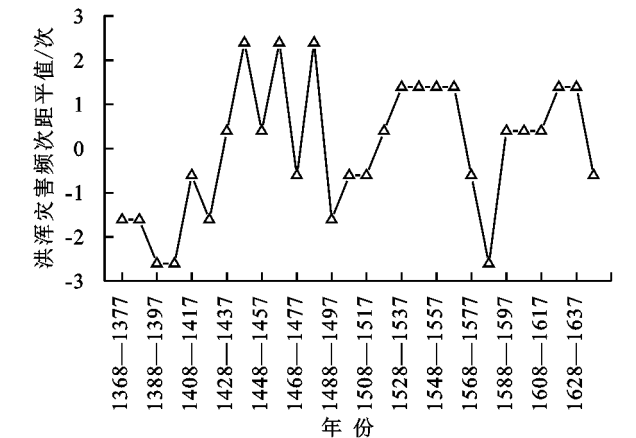


图 4 明代每 10 a 洪涝灾害频次距平值变化

由图 4 可以非常直观地观察到,第 1,3,5 阶段距平值均为负值,第 2,4,6 阶段距平值几乎都为正值。而在明代早期(公元 1368—1427 年),距平值均为负值,表明洪涝灾害发生频次低于平均值,次数较少,为洪涝灾害低发期。中后期(公元 1428—1644 年),正值次数明显多于负值,距平值以正值为主,说明在明代中后期洪涝灾害发生频次比较高,明显高于早期,为洪涝灾害高发期。

3.2.2 最小二乘法对洪涝灾害发生频次的拟合 根据研究内容,研究地区明代洪涝灾害的特点还需进行进一步的揭示。应用最小二乘法意义下的多项式的拟合,绘制经 5 次多项式拟合的陕西黄土高原中南部明代洪涝灾害变化图(图 5),可以更加清楚地看到研究区域明代洪涝灾害频次在 10 a 尺度下的变化特点。采用多项式拟合的方法不仅能够反映灾害的变化趋势,还能够分辨出灾害变化的阶段性。

据图 5 显示,趋势线在明代早期(1368—1427 年)呈现上升的状态,在第 2 阶段(1428—1487 年)曲线达到最大值,之后曲线虽有相对轻微下滑和上升的阶段,但总体上仍处于平稳的状态,进一步说明了陕西黄土高原中南部在明代中后期灾害发生频次要显著高于前期。

3.2.3 洪涝灾害季节变化 根据历史文献纪录,整理洪涝灾害发生年份里的月份信息,绘制出图 6。有

时间记载的共 53 a,其中有 15 a 笼统的记载了季节(其中 3 a 记载夏秋皆涝),38 个年份详细到月。明代陕西黄土高原中南部地区洪涝灾害季节分布特点十分显著,呈现出不均等的趋势。

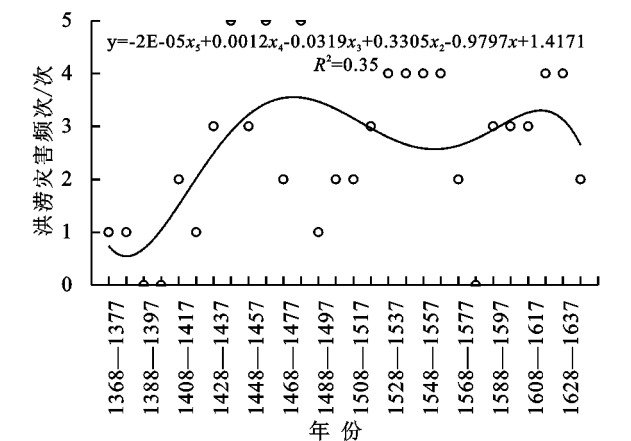


图5 经5次多项式拟合的明代洪涝灾害变化

由图 6 可知,该区明代洪涝灾害在农历 2 月、3 月、11 月发生次数为 0 月、1 月、10 月仅 1 次,12 月 2 次,总体来说冬春洪涝灾害次数较少,发生频率低。农历 6 月、7 月、8 月为灾害集中发生月,频次均为 8 次或以上,这 3 个月次数占总频次的 65.79%,说明该区夏秋洪涝灾害较为严重。

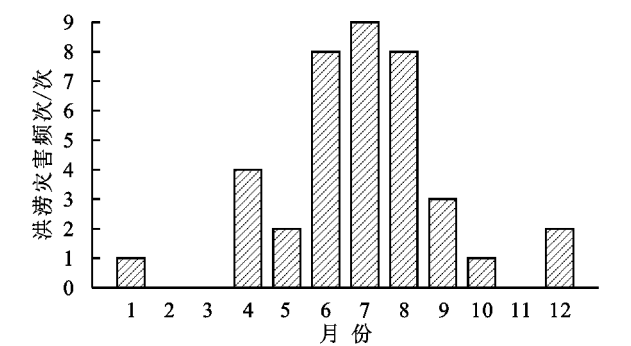


图6 明代洪涝灾害月频次变化

将 2 月、3 月、4 月归为春季,5 月、6 月、7 月归为夏季,以此类推,将 38 个月份数据分别归入不同季

节,再加上之前 18 个季节数据,得到表 1。表 1 中夏秋灾害次数占总次数的比例高达 85.71%,再次印证了夏秋洪涝灾害严重,是明代该区洪涝灾害最集中的季节这一结论。

表 1 明代洪涝灾害的季节分布

季节	频次
春	5
夏	21
秋	27
冬	3

3.2.4 洪涝灾害发生的周期特点 应用 Matlab 软件,利用 morlet 小波分析方法对明代陕西黄土高原中南部洪涝灾害进行分析,得到相应的小波变换等值线(图 7)和小波方差(图 8)。小波转换系数为负值,说明周期不显著,在图中表现为虚线;小波转换系数为正值,则周期较为显著,在图中表现为实线^[23]。

由图 7 可看出,在 15 a 以下尺度,周期震荡剧烈,有多个震荡核,无明显的规律。随着时间尺度的增加,周期震荡趋于平缓,规律比较清晰,在 15~30 a 周期上震荡显著。该时期 60 a 以上大尺度上周期变化不明显。从图 8 中可以清晰地观察到明代陕西黄土高原中南部地区存在年际周期和代际周期的变化。图 8 中存在 4 个峰值,分别对应准 4 a、6 a 的年际周期,20 a、58 a 的代际周期,说明该区明代洪涝灾害有 4 a 左右的短周期,6 a 左右的中周期,20 a 左右的长周期,58 a 左右的更长周期。其中 20 a 周期小波信号最强,上方差值最大,代表该区明代洪涝灾害的第一主周期为准 20 a,第二主周期为准 58 a。另外,从图 7 中还能看出 1644 年后 58 a 左右的长期振荡周期等值线并未闭合,表明明末以后在该周期上的洪涝灾害仍有发生的趋势,说明这一时期仍处于灾害发生较多的阶段。

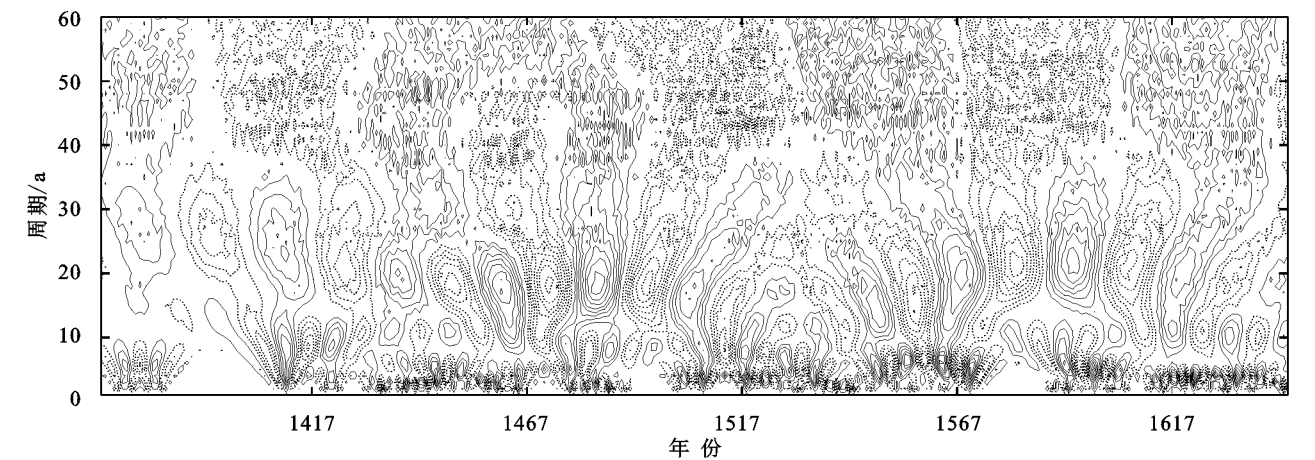


图7 明代洪涝灾害小波变换等值线

4 讨论

4.1 明代洪涝灾害的类型

洪涝灾害的发生主要与降水量有关,年降水量的增多和分配不均都会引发洪涝灾害。参考以往的研究,可将研究地区明代涝灾害根据表现形式分为降雨型和河流决溢型洪涝灾害^[11],其中降雨型又可分为年降水量增多型和年降水量分布不均型,具体如下。

年降水量增多引发的洪涝灾害很常见。此类型灾害主要是由于长时间的降水和暴雨造成的。本区受到东亚季风的影响,在某些年份,东亚季风发生异常活动,输送了比寻常年份更多的水汽到本区,造成年降水量的增加。表现为降水过程持续时间长,致使河水泛涨,淹没庐舍,庄稼受损,人畜伤亡等情况发生,影响范围较大。如文献记载,公元1456年,“延安等处久雨,坏各营寨城垣”。公元1460年,“邠州长武雨水连绵,秋收无望,人民缺食,受灾35县”。

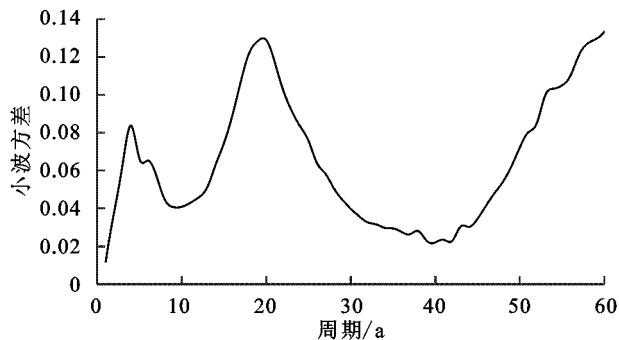


图8 明代洪涝灾害小波方差

年降水量分布不均引发的洪涝灾害。这类灾害主要由于短暂时间内出现的大暴雨造成的。这种情况下年降水量没有显著增加,但年内降水量分布不均匀,呈现异常集中的状态。这种洪涝灾害发生过程持续时间短,影响范围较小,造成的灾害规模也较小,一般是暴雨型洪水。如公元1616年,淳化县,“夏6月,大雨如注五、六日,云阳漂没七十余村”。

河流决溢型洪涝灾害。主要是由于暴雨、凌汛等原因造成的河水泛涨,致使河水决堤、溢出,造成洪涝灾害。如公元1445年,延安,“夏,大雨,鄜州河水泛涨,决本州城垣一隅,败官民舍庐”。公元1562年,富县范围内大雨致使洛水泛涨,“冲开外城百余丈,水突至西山坡下,官民房宇漂没无存,沿洛一带川地高者漂没禾稼,卑者水崩石压,不堪耕种”。

4.2 明代洪涝灾害与气候变化

从明代起,对于气候的研究进入方志时期,地方志对于一个地区的气候提供了很可靠的历史资料。明清时期对于灾害的记录与其他历史时期相比,要更

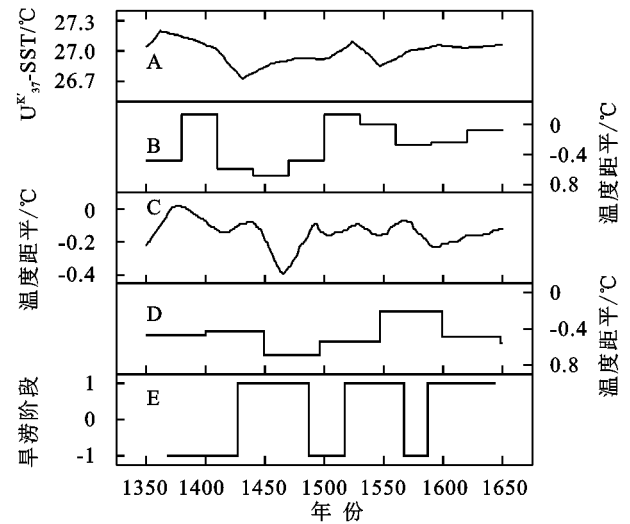
加的完整,可信度也有提升。赵景波等^[14]对陕南地区洪灾的研究,认为可将明代该地区洪灾分为3个阶段,1369—1435年为洪灾贫发阶段,1436—1550年为洪灾多发阶段,1551—1644年为洪灾较少阶段,洪灾发生次数总体呈上升趋势。阴雷鹏等^[24]研究发现,在泾河流域,明代早期70 a内发生洪涝灾害较少,中期发生洪水较频繁,后期又相对较少但仍多于早期。任世芳等^[25]通过坎德尔秩次相关检验和滑动平均两种趋势分析方法分析了明代汾河流域洪涝灾害发展趋势,认为在整个研究期洪涝灾害的发展有上升趋势,明代中后期尤其显著,相对严重。这与本文认为明代早期为洪水少发期,中后期频次显著高于早期,整体呈上升趋势的结论基本一致,说明研究地区明代洪涝灾害发生特点的研究结果是比较可信的。

洪涝灾害的发生是以气候条件为背景的。为了了解明代陕西黄土高原中南部地区洪涝灾害多发期的气候状况,将洪涝灾害阶段变化与其他的气候曲线^[26-33]进行对比(图9,图10),可以揭示研究区洪涝灾害多发阶段的气候冷暖与干湿状态。

从图9中可以看出,在1400—1500年,南海海温曲线、中国东部、西部温度曲线、北半球温度曲线都显示出了比较强烈的温度下降,除了这样一次明显的气温下降之外,其他时间段温度都处于相对温暖的状态,虽有轻微波动,但变化不大。洪涝灾害多发的1518—1567年、1588—1644年处于较暖的时期,1428—1487年则相对较冷。图10中的曲线反映的是明代的干湿状况。在1518—1567年、1588—1644年,陕西湿润指数、西北旱涝阶段、华山降水量、古里雅冰芯,积累量这四条曲线均显示这两个阶段气候较为湿润,特别是在古里雅冰芯曲线中,1550年前后是冰芯积累的最大值,反映出这个阶段的降水最为丰沛。在1428—1487年,冰芯积累量也有一个大幅度增长的阶段,表明此阶段气候较为湿润。综合以上分析,对研究区洪涝灾害多发的3个阶段气候变化状况进行汇总,得到表2。

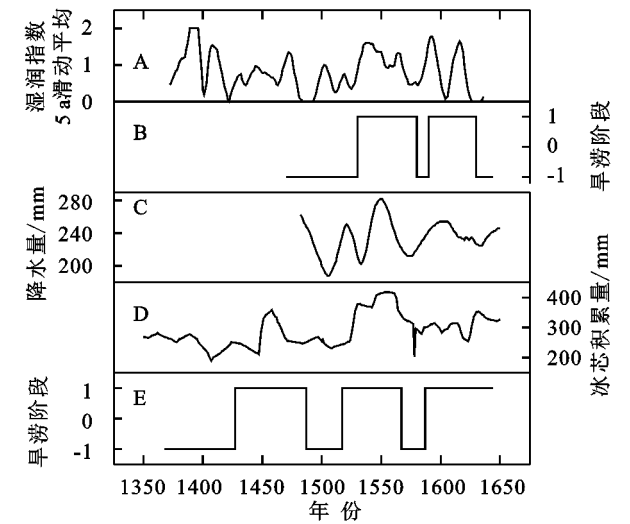
由表2我们可以发现,在洪涝灾害多发的3个阶段中,1518—1567年、1588—1644年都是暖湿气候,有利于洪涝灾害的发生。而1428—1487年为冷湿气候,对于低温和洪涝之间的关系,前人也有相关研究。毕硕本等^[34]研究华南地区时发现低温灾害和洪涝多发地区具有一致性。李长安等^[35]研究发现,气候寒冷时洪水发生频率比较高。但这是否说明低温对洪涝灾害的发生有一定的促进作用,还不能下定论,低温对于洪涝灾害的影响程度还需进行更深入的研究。总体来说,洪涝灾害发

生阶段大部分都处于暖湿阶段,湿润的气候对于洪涝灾害的产生有促进作用,也表明该区明代洪涝灾害的发生主要是对气候变暖湿的响应。



注:A.根据岩芯恢复的南海海面温度序列^[26];B.中国东部冬半年温度序列^[27];C.重建的北半球温度序列^[28];D.中国西部温度序列^[29];E.陕西黄土高原中南部明代洪涝灾害多发阶段。

图9 明代洪涝灾害发生阶段与其他温度记录对比



注:A.明代陕西省湿润指数5 a滑动平均^[30];B.中国西北地区东部旱涝阶段^[31];C.华山1468—1644年4—6月降水量重建^[32];D.古里雅冰川积累量记录^[33];E.陕西黄土高原中南部明代洪涝灾害多发阶段。

图10 明代洪涝灾害发生阶段与其他降水记录对比

表2 明代气候变化状况与洪涝灾害频次对照表

年代	持续 时间/a	气候 冷暖	气候 干湿	洪涝灾害 频次
1428—1487	60	冷	湿	23
1518—1567	50	暖	湿	19
1588—1644	57	暖	湿	19

4.3 夏季风对明代洪涝灾害的影响

研究区是季风气候区,其降水分布格局主要受东亚夏季风环流活动控制。陕西黄土高原中南部地区降水主要集中在夏秋季,其水汽由东亚夏季风从热带

洋面带来。王宝鉴等^[36]研究认为东亚夏季风对我国降水的影响主要位于100°E以东的地区。强夏季风年,陕西黄土高原中南部所在的夏季风影响区汛期降水偏多。张强等^[37]认为,总体上,西北地区东部汛期降水主要受东亚夏季风控制,如果东亚夏季风比较强,会导致西风比较弱,从而西北地区东部降水增加。西太平洋副热带高压是东亚夏季风环流系统的重要成员,副高脊西北侧的西南气流是把南方水汽向北输送的重要通道。王雅琦等^[38]研究发现,影响西北地区东部夏季降水的主要因素是西太副高,在多雨年,由于西太副高偏强偏西,强度是少雨年的6倍,有利于该地区降水。在多数年份里,副热带高压从7月上旬开始影响陕南、关中,7月中旬以后加强西伸北抬影响陕北,在与西风带的低值系统的共同作用下产生大范围的暴雨和造成严重的洪涝灾害。运用旱涝等级和海平面气压等数据重建东亚夏季海平面气压场,可得出16世纪中期到17世纪初东亚夏季风偏强的结论^[39],在这个时间段内,陕西黄土高原中南部处于明代中后期的洪涝灾害多发期。而重建的东亚夏季风指数具有6 a,20 a,60 a左右的显著周期,与研究区域洪涝灾害的周期具有一致性。研究区洪涝灾害在东亚夏季风强盛时期频发,说明研究区域洪涝灾害多发生于东亚夏季风活动加强的阶段。

前文研究发现,在明代,研究区域夏秋洪涝灾害严重,是明代该区洪涝灾害最集中的季节,而夏秋正是该区夏季风强盛时期。夏季风活动弱的冬春季,洪涝灾害发生频次远少于夏秋季。因此,研究区域受东亚夏季风的影响降水多集中于夏秋季,而夏秋季节降水集中的特性可能是易发生洪涝灾害的直接原因。

4.4 人为原因

4.4.1 防洪排水设施建设不完备 排水不畅的城市在经历强降雨之后往往会形成水灾。明代的排水系统较之前代已有极大改善和发展,以北京城的排水系统建设最为完备。然而,即使是明代北京城这样科学完备的排水系统,在遇到强降雨时也难免雨涝成灾,如1425年,“闰7月,京师大雨,坏正阳、齐化、顺成等门城垣”。1544年,“6月,京师大雨,平地水数尺”^[11]。这样的历史文献纪录还有很多,不在此赘述。其他城市的排水系统自是不可与北京城相比,在遭遇强降雨时情况只会更糟。

在研究地区,历史记录如1534年的富县,“大水入城,东门至大什字街,水深三尺许”。1545年的澄城县,“去县四十里大雨如注,顷刻水深三尺”。1547

年的千阳县,“嘉靖二十六年6月二十五日晚子时至次日午,大雨,千、晖二水涨发,冲毁县城,知县张涵全家溺死,民漂死者无计”。除了这些记录,还有地方志中对于城市建设的描述,提取关于防洪、排水系统的信息可发现,研究区域的系统建设非常不完备。延安市志^[40]中记载,明清时,为防洪修筑过一些河堤,因年久失修毁坏殆尽,而在中华人民共和国成立之前,过去民间只有些简陋的防汛措施,如拨水沟、打水窖、筑软埝、修鱼鳞坑等。铜川市志^[41]多次提到明代曾修筑城墙、石堤,组织修建防水灾所用的瓮城门,但屡修屡被冲毁,在大雨来临之时所起作用也有限。由此可见,不完备的城市防洪系统对洪水的抵御能力极其有限,排水系统的不通畅反而会造成水灾的发生。

4.4.2 过度开垦 明代初期,农业生产遭到破坏,统治者为了恢复经济,推行民众垦荒的政策,同时大兴“屯田”以解决军队给养问题。洪武四年,陕西初定,明王朝便诏陕西等地屯田。同时,由于有利可图,商屯也得到了发展^[42]。伴随着休养生息的政策,到明孝宗弘治年间(1488—1505年),延安府已有69万余人。人口增长,导致土地开拓的范围和深度更广,军、民、商集聚开荒种地,蔚然成风。开荒所及,无处不到,不仅河谷川地没有弃地,甚至陡峭崖坡也在开垦之列,达到了阡陌交错在万山丛中的景象^[17]。在黄土丘陵地区,像这样地滥垦滥伐,势必造成严重的水土流失。地表裸露,缺少植被,遭遇强降雨必将引发严重的洪涝灾害。

4.4.3 救灾不力 明代的救灾系统虽比较完备,有报灾、勘灾、形成灾害决议的救灾程序,还有蠲免、赈济、以工代赈等救灾措施,但在救灾过程中也存在相当多的弊端,导致救灾的效果不理想。如前文所提到的救灾程序,非常的复杂繁琐,大大降低了救灾效率,常常本年度出现灾情,往往等到下一年或几年后才能得到蠲免的命令。在研究区域,1462年、1476年、1477年等年份都发生过这样的情况^[10,20]。同时,官员虚报、瞒报的现象严重,给救灾带来了严重的阻碍。明代后期,政治腐败,各项制度不断地废弛,到了明末,这些制度和政策只是名存实亡,救灾系统不仅瘫痪,而且成为一些官员敛财的重要手段。救灾不力往往会错失最佳救灾时机,使小灾变大灾,加剧洪涝灾害的等级和对社会的影响。

5 结论

(1) 在明代的277 a内,陕西黄土高原中南部地

区共发生73次洪涝灾害,平均每3.78 a发生1次。可分为轻度洪涝、中度洪涝、大洪涝、特大洪涝4个等级,分别占发生总次数的19.18%,61.64%,16.44%和2.74%,以轻度洪涝和中度洪涝为主,洪涝灾害在明代中后期有加剧的趋势。

(2) 可将明代陕西黄土高原中南部洪涝灾害划分成6个阶段。第1阶段是公元1368—1427年,共发生5次洪涝灾害,平均每12 a发生1次。第2阶段是公元1428—1487年,共发生洪涝灾害23次,平均2.6 a发生1次。第3阶段是公元1488—1517年,共发生洪涝灾害5次,平均每6 a发生1次。第4阶段是公元1518—1567年,共发生19次洪涝灾害,平均每2.63 a发生1次。第5阶段是公元1568—1587年,共发生洪涝灾害2次,平均每10 a发生1次。第6个阶段是公元1588—1644年,共发生洪涝灾害19次,平均每3.15 a发生1次。第1,3,5阶段为洪涝灾害少发期,第2,4,6阶段为洪涝灾害多发期。洪涝发生频次总体上呈上升趋势,明代中后期频次显著高于早期。

(3) 洪涝灾害季节分布不均的特征明显,多集中于夏秋两季,农历6月、7月、8月灾害频次最高。

(4) 据小波分析的结果可知,明代陕西黄土高原中南部地区洪涝灾害有4 a的短周期,6 a左右的中周期,20 a左右的长周期,58 a左右的更长周期。其中,20 a周期为第一主周期。

(5) 明代陕西黄土高原中南部洪涝灾害的发生是自然因素和人为因素共同影响的结果。气候暖湿时期和夏季风活动强盛期利于洪涝灾害发生,研究区明代洪涝灾害的发生主要是对气候变暖湿和夏季风活动增强的响应。城市设施不完善、过度开垦等人为因素对洪涝灾害的产生也有一定影响。

参考文献:

- [1] Zhang S D, Zhang D D. Population-influenced spatio-temporal pattern of natural disaster and social crisis in China, AD1-1910[J]. Science China(Earth Sciences), 2019,62(7):1138-1150.
- [2] 赵映慧,郭晶鹏,毛克彪,等.1949—2015年中国典型自然灾害及粮食灾损特征[J].地理学报,2017,72(7):1261-1276.
- [3] 苗茜,谢志清,曾燕,等.基于统计-FloodArea模型的平原水网区致灾临界雨量研究[J].自然资源学报,2018,33(9):1563-1574.
- [4] 熊俊楠,龚颖,刘志奇,等.基于灰色理论的西藏暴雨洪涝预测[J].冰川冻土,2019,41(2):457-469.

- [5] 吴先华,周蕾,高歌,等.考虑防灾减灾能力的洪涝灾害灾损率曲线构建:以里下河地区的李中镇为例[J].地理科学进展,2016,35(2):223-231.
- [6] 张桂香,霍治国,吴立,等.1961—2010年长江中下游地区农业洪涝灾害时空变化[J].地理研究,2015,34(6):1097-1108.
- [7] 黄河,范一大,杨思全,等.基于多智能体的洪涝风险动态评估理论模型[J].地理研究,2015,34(10):1875-1886.
- [8] 张会,李铖,程炯,等.基于“H-E-V”框架的城市洪涝风险评估研究进展[J].地理科学进展,2019,38(2):175-190.
- [9] 徐玉霞,许小明,马楠.县域尺度下的陕西省洪涝灾害风险评估及区划[J].干旱区地理,2018,41(2):306-313.
- [10] 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.
- [11] 袁祖亮.中国灾害通史·明代卷[M].郑州:郑州大学出版社,2009.
- [12] 聂树人.陕西自然地理[M].西安:陕西人民出版社,1981.
- [13] 张冲,赵景波,张淑源.渭河流域汉代洪涝灾害研究[J].地理科学,2011,31(9):1151-1156.
- [14] 赵景波,马莉.明代陕南地区洪涝灾害研究[J].地球科学与环境学报,2009,31(2):207-211.
- [15] 刘晓清,赵景波,于学峰.清代泾河中游地区洪涝灾害研究[J].地理科学,2007,27(3):445-448.
- [16] 刘引鸽,胡浩楠,周欢欢,等.近200年来渭河流域干旱洪涝事件特征[J].水土保持研究,2019,26(4):217-223.
- [17] 陕西省地方志编纂委员会.陕西省志·黄土高原志[M].西安:陕西人民出版社,1995.
- [18] 赵景波,周岳,李如意,等.鄂尔多斯高原西部清代洪涝灾害与气候事件特征[J].水土保持通报,2015,35(1):344-348.
- [19] 张德二.中国三千年气象记录总集[M].南京:江苏教育出版社,2004.
- [20] 袁林.西北灾荒史[M].兰州:甘肃人民出版社,1994.
- [21] 陕西省地方志编纂委员会.陕西省志·气象志[M].北京:气象出版社,2001.
- [22] 王寿森.陕西历史自然灾害简要纪实[M].北京:气象出版社,2002.
- [23] 马晓华,赵景波,温震军.鄂尔多斯高原西南部清代霜雪灾害研究[J].冰川冻土,2017,39(3):498-504.
- [24] 阴雷鹏,赵景波.明代泾河流域洪涝灾害研究[J].干旱区资源与环境,2008,22(8):56-60.
- [25] 任世芳.明代汾河流域洪涝灾害发展趋势研究[J].人民黄河,2020,42(8):36-39,44.
- [26] Kong D M, Wei G J, Chen M T, et al. Northern South China Sea SST changes over the last two millennia and possible linkage with solar irradiance[J]. Quaternary International, 2017,459:29-34.
- [27] 葛全胜,郑景云,方修琦,等.过去2000年中国东部冬半年温度变化[J].第四纪研究,2002,22(2):166-173.
- [28] Mann M E, Bradley R S, Hughes M K. Northern hemisphere temperatures during the past millennium: Inferences, uncertainties, and limitations [J]. Geographical Research Letters, 1997,26(6):759-762.
- [29] Wang S W, Gong D Y, Zhu J H. Twentieth-century climatic warming in China in the context of the Holocene[J]. the Holocene, 2001,11(3):313-321.
- [30] 殷淑燕,徐潇悦,党群.陕西省明代水旱灾害与干湿特征[J].干旱区资源与环境,2020,34(1):115-122.
- [31] 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.
- [32] Chen F, Zhang R B, Wang H Q, et al. Updated precipitation reconstruction (AD1482-2012) for Huashan, north-central China[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2016,123(3/4):723-732.
- [33] 施雅风,姚檀栋,杨保.近2000年古里雅冰芯10 a尺度的气候变化及其与中国东部文献记录的比较[J].中国科学:地球科学,1999,29(S1):79-86.
- [34] 毕硕本,鲁颖,武玮婷,等.清代华南地区低温灾害与旱涝灾害的相关性分析[J].热带气象学报,2018,34(6):733-744.
- [35] 李长安,黄俊华,张玉芬,等.黄河上游末次冰盛期古洪水事件的初步研究[J].地球科学,2002,27(4):456-458.
- [36] 王宝鉴,李栋梁,黄玉霞,等.东亚夏季风异常与西北东部汛期降水的关系分析[J].冰川冻土,2004,26(5):563-568.
- [37] 张强,林婧婧,刘维成,等.西北地区东部与西部汛期降水跷跷板变化现象及其形成机制[J].中国科学:地球科学,2019,49(12):2064-2078.
- [38] 王雅琦,冯娟,李建平,等.西北地区东部夏季降水年际变化特征及其与环流的关系[J].高原气象,2020,39(2):290-300.
- [39] 李茜,魏凤英,李栋梁.近540 a东亚夏季海平面气压场的重建及其与数值模拟的比较[J].中国沙漠,2012,32(4):1017-1024.
- [40] 延安市志编纂委员会.延安市志[M].西安:陕西人民出版社,1994.
- [41] 张立.铜川市志[M].西安:陕西师范大学出版社,1997.
- [42] 方钢.明初陕西农业的恢复与发展[J].陕西学前师范学院学报,2016,32(6):32-35.