

文章编号: 1008 - 2786 - (2017)6 - 865 - 09

DOI:10.16089/j.cnki.1008-2786.000288

清代时期都江堰地区洪涝灾害与气候特征研究

侯雨乐¹, 赵景波^{2*}, 胡尧¹

(1. 阿坝师范学院, 四川 汶川 623002; 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, 陕西 西安 710061)

摘 要: 分析历史时期洪涝灾害对揭示古气候环境有重要科学价值。本研究通过对都江堰地区历史资料的整理分析, 运用数理统计和小波分析等研究方法, 探讨了该地区清代洪涝灾害的等级、频次、周期以及历史气候特征。结果表明, 在清代 268 年中共发生洪灾 62 次, 平均每 4.3 年发生一次, 从清代早期到晚期洪灾呈现波动增加趋势且有明显的阶段性: 1644—1679 年和 1790—1839 年是洪灾少发期, 1680—1789 年和 1840—1911 年是洪灾高发期。小波分析结果显示清代都江堰地区的洪灾明显地存在 4 a 左右短期振荡周期、23 a 左右的长期振荡周期, 清中晚期还存在一个约 8 a 的中振荡周期。清代该地区出现了 6 次降水增多事件, 分别发生于 1744—1746 年、1863—1868 年、1873—1875 年、1878—1881 年、1897—1902 年和 1906—1908 年, 集中于清代中后期。厄尔尼诺事件也是诱发本地区洪灾发生的一大因子。推断本地区发生特大洪灾和大洪灾年份的降水量显著增多, 年降水量约 1510 mm 或更多。

关键词: 洪涝灾害; 周期性; 降水增多事件; 清代; 都江堰市

中图分类号: P426.616

文献标志码: A

岷江上游地处川西高原向成都平原的过渡地带, 地形起伏大、气候多变, 水旱灾害频发, 是典型的环境脆弱区^[1]。都江堰市位于岷江出山口, 是岷江上中游的分界点, 5—7 月间的洪水历时长达 8—15 天^[2]。受到季风气候和局地气流影响, 汶川至都江堰一带属川西暴雨区, 易引发洪水。由都江堰向下进入成都平原, 因水网密布、河道泄洪能力较弱, 有时还会发生大面积漫溢, 也易于出现洪灾。洪灾对岷江流域和成都平原的危害极大, 岷江上中游的生态安全关乎到整个长江流域社会的健康发展^[3], 故历来受到学术界的高度重视。围绕岷江流

域旱涝灾害和生态环境的研究较多, 并取得了重要成果。学者^[4-6]对历史时期洪灾发生的特征、成因等进行了研究, 成果表明岷江流域洪灾主要集中在春夏季, 岷江灌县至新津段洪灾频繁且危害严重; 指出了降雨集中、气候变化异常及滥砍滥伐等人为破坏因素是洪灾频发的主因。这些成果为研究气候变化对洪灾的影响提供了借鉴素材。然而, 迄今为止对岷江流域沿江重点地区、岷江上游的洪灾研究、洪灾对气候变化的响应等问题的探讨还比较少见。本文对清代都江堰地区的洪涝灾害规律及气候变化特征等问题进行了有效研究, 科学分析了研究区域气

收稿日期 (Received date): 2016 - 12 - 20; 改回日期 (Accepted date): 2017 - 09 - 06

基金项目 (Foundation item): 阿坝师范学院校级科研项目岷江上游旱涝灾害研究 (ASB15 - 13) 项目; 四川省教育厅项目岷江上游旱涝灾害原因及治理探析 (16ZB0386); 黄土与第四纪地质国家重点实验室项目 (SKLLQG1428) [Drought and Flood Disasters of the Upper Reaches of Minjiang River from Project in Aba Teachers College Scientific Research. (ASB15 - 13); Drought and Flood Disasters of the Upper Reaches of Minjiang River from Project in Sichuan Province Department of Education. (16ZB0386); Project in State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, (SKLLQG1428)]

作者简介 (Biography): 侯雨乐 (1983 -), 男, 山西交城人, 讲师, 硕士, 研究方向: 区域自然地理。E-mail: 512570915@qq.com [Hou Yule (1983 -), male, born in Jiaocheng, Shanxi Province, Lecturer, master degree, research on regional physical geography. E-mail: 512570915@qq.com]

* 通信作者 (Corresponding author): 赵景波 (1953 -), 男, 山东滕州人, 教授, 博士生导师, 研究方向: 区域环境研究。E-mail: zhaojb@snnu.edu.cn [Zhao Jingbo (1953 -), male, born in Tengzhou Shandong Province, Professor, doctoral supervisor, research on regional environment. E-mail: zhaojb@snnu.edu.cn]

候变化下洪灾特点,为当代气候变化研究、岷江流域洪灾防治工作、水资源合理调配做出有益参考。

1 研究区概况

都江堰市古称灌县,以都江堰水利工程而得名,位于成都平原西北部,被誉为“天府之源”,是成都市下辖县级市(图 1)。都江堰市介于 $31^{\circ}44' \sim 31^{\circ}02'N$, $103^{\circ}25' \sim 103^{\circ}47'E$ 之间,辖 13 个镇、5 个街道、1 个乡,1 个省级经济技术开发区,面积 1208 km^2 ,境内地势西北高,东南低,山地丘陵面积占 65.8%,平坝面积占 34.2%,海拔 $592 \sim 4582 \text{ m}$,跨成都平原和龙门山地区两个自然地理区,素有“六山一水三分田”之说^[7]。全市常住人口为 65.79 万人。北部、西部山区人口密度小;东南部平原区人口密度大。本地属四川盆地中亚热带湿润气候区,四季分明,年均气温 15.2°C ,年降水量约 1243.8 mm ,降雨量年内分配不均,集中在 5—9 月。本地区历史上深受旱涝等气象灾害以及滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害所累。1933 年岷江上游发生大地震,山岩崩

塌横断岷江形成堰塞湖,后溃决,洪水进入都江堰市境,汪洋无际,死亡 5000 余人。2013 年 7 月 8 日到 10 日,都江堰市累计降雨量达到 920 mm ,中兴镇三溪村因持续大到暴雨发生特大型高位山体滑坡,导致 11 户村民的房屋被毁,死亡 18 人。

2 研究数据及预处理

清代洪涝灾害的研究资料主要来自于《中国近五百年旱涝分布图集》^[8]、《岷江志》^[9]、《清代长江流域西南国际河流洪涝档案史料》^[10]、《中国气象灾害大典·四川卷》^[11]等记载有关于岷江、都江堰地区洪灾史实的相关著作与地方志。再通过文献间的相互印证以保证所统计洪灾数据的准确性。后对数据进行数理统计和小波分析等计算。

为分析清代都江堰地区洪涝灾害发生的轻重程度,参照历史文献的定性描述、成灾情况、持续时间、受灾范围及受灾程度等方面为主要指标,并参考前人的研究成果^[12],特将都江堰市洪涝灾害划分为 4 个等级序列(表 1)。

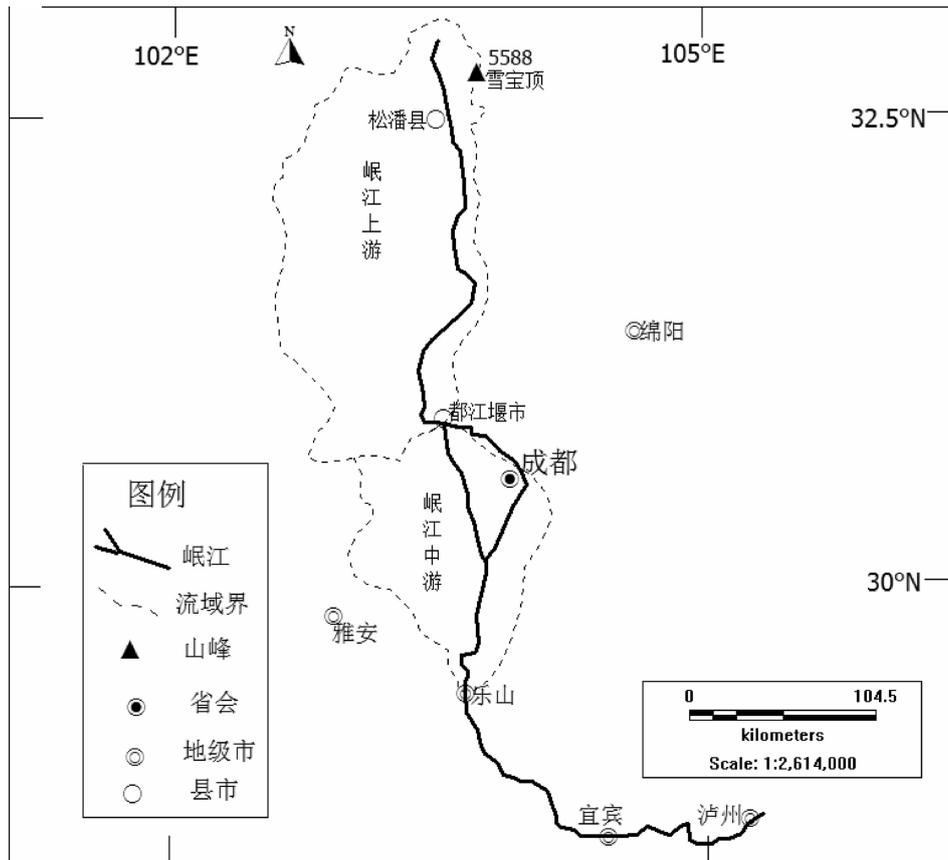


图 1 都江堰地区位置图

Fig. 1 Location of the Dujiangyan area

1897—1902 年本地连续 6 年都有洪灾记载,虽以中度洪灾为主,但因持续时间长,受灾严重。

3.3 洪灾的周期性

四川省洪灾在时间上有一定的重现期,且当一次特大洪灾到来后常伴随着一个连续的水灾活动期^[13]。小波分析方法可以对自然灾害时间序列数据进行系统深入解析,发现多重时间尺度上的周期

嵌套等复杂结构现象^[14]。Morlet 小波系数值的大小反映了它所对应时段的周期性强弱,模值越大则周期性越显著,反之不显著^[15]。利用这些特点做出了基于 MATLAB 小波分析下的清代洪灾周期图(图 4)。可由图 4 知,该区清代明显存在 4 a 左右短期振荡周期、23 a 左右的长期振荡周期。此外在清代中晚期还存在一个约 8 a 的中振荡周期,且周期信号特别

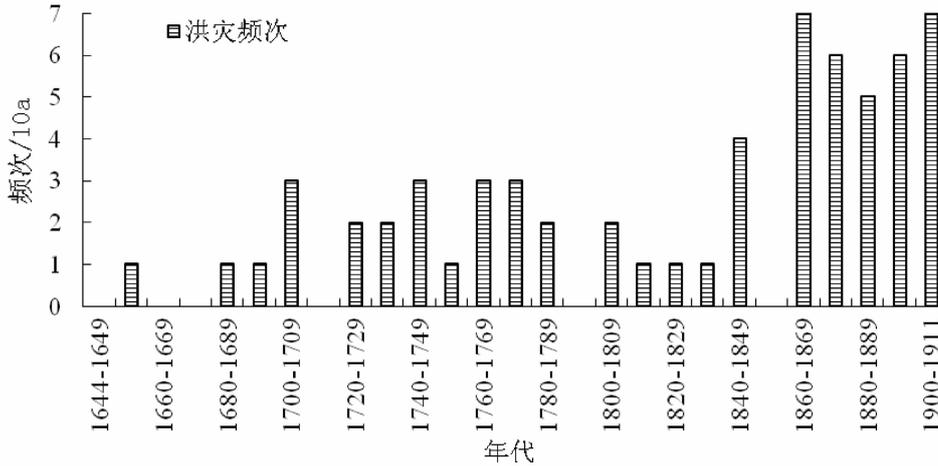


图 3 清代都江堰市洪灾等级序列

Fig. 3 The time series of flood disasters in Dujiangyan city during Qing Dynasty

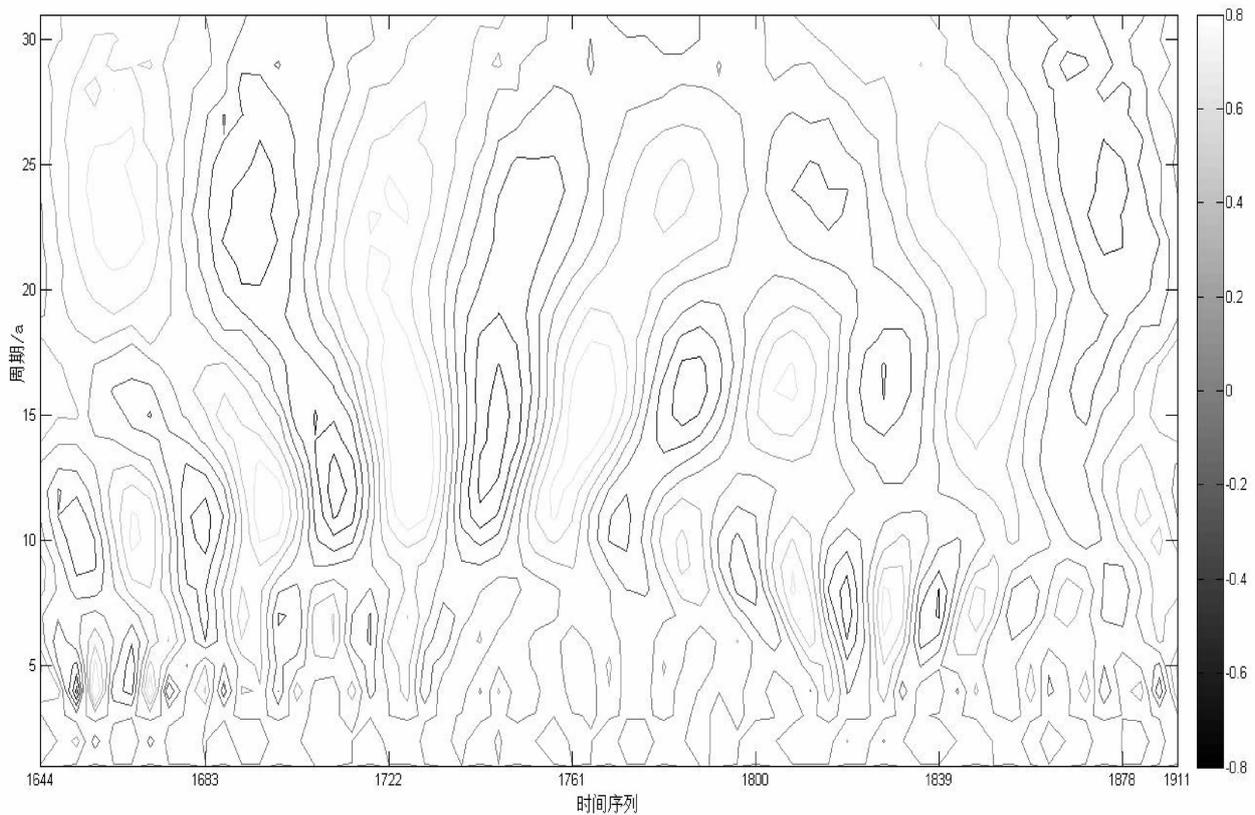


图 4 小波分析显示的洪灾周期

Fig. 4 Period change of flood disasters after wavelet analysis

明显,反映出该时期洪灾频率高。据张强^[16]研究, ENSO 事件的主周期主要为 5.67 a、3.78 a 和 10.46 a,洪灾常紧跟在厄尔尼诺事件之后发生。本地区清代的洪灾周期与 ENSO 周期呈现出显著的相关性。

4 气候致灾因子讨论

4.1 洪涝灾害与降水变化

明清小冰期不仅以寒冷气候为特征,也表现出极端气候频发,洪涝和干旱等灾害均会发生。洪涝灾害主要是由年降水量增多、季节降水强度大、降水量分配不均等自然因素引起^[17]。葛全胜等人^[18]研究表明太阳活动异常期与我国旱涝格局有明显的相关性,太阳活动强时,季风区降水总体增多。太阳活动较弱时,长江中下游易发生干旱。其中太阳活动高值期 G3(1756—1787 年),四川盆地偏涝,而都江堰地区记载的洪灾有 8 次;高值期 G4(1845—1873 年),我国东部普遍偏涝,本地洪灾发生 11 次;在蒙德尔极小期(1645—1715 年)西北、江南及东南偏旱,本地仅记载 6 次;道顿极小期(1795—1823 年)长江流域偏旱,本地发生洪灾 3 次。可认为太阳活动异常也是导致洪灾的诱因。ENSO 事件对我国东部降水也有直接影响,汶林科等^[19]通过对 1951—2009 年间 5—9 月降水量的相关分析表明,在厄尔尼诺发生年长江中游地区的极端降水偏多,可能发生洪涝灾害。

1) 年降水量增加引起的洪水

(特)大洪灾主要是由于当地雨季降水时间长、

集中引起,年降水突增也会造成大洪灾的出现^[20]。勾晓华等人^[21]利用横断山地区的川滇冷杉重建了近 500 年的树轮宽度年表,恢复了该地区 1549—2006 年的降水变化历史,对青藏高原东南部有较好的指示效果。结果显示在重建的降水序列中持续时间较长的干旱时期有:1597—1656,1662—1697,1742—1776,1798—1825,1861—1896 年;持续时间较长的湿润时期有:1568—1596,1698—1741,1777—1797,1826—1860,1927—1949 年;4 个极端湿润年份(1846,1847,1731,1788 年)。本区在这些极端湿润年份或次年都有洪灾发生,有较好的一致性。现代洪涝年降水量的变化可为确定历史时期洪灾发生的原因提供可信依据。1960—2009 年成都地区年均降水在 707.94 ~ 1388.23 mm 区间^[22]。通过中国气象数据网提供的资料查询可知,都江堰市降水量的年际变化较大(图 5)。从 1955 年到 2015 年的 61 年间,年均降水量为 1182.1 mm。其中 2013 年降水量最多,高达 1968.2 mm,1974 年降水量最少,仅 713.1 mm。2013、1978、1981、1966、1967、1990、1961、1963、1959、1960、1958、1962、1995 和 1976 年的降水量显著偏多,其正距平值都在 200 mm 以上,多雨年多发生在 20 世纪 60 年代。参照《中国气象灾害大典·四川卷》^[11]等资料对现代洪涝年的描述,可确定在以上年份都江堰地区都发生了(大)暴雨洪涝灾害,这 14 个洪涝年的年均降水量约 1510 mm。如,1961 年 6 月 23—29 日,都江堰、成都地区出现了持续 7 天的暴雨天气过程,岷江发生特大洪水,本年降水量也高达 1475.2 mm。1981

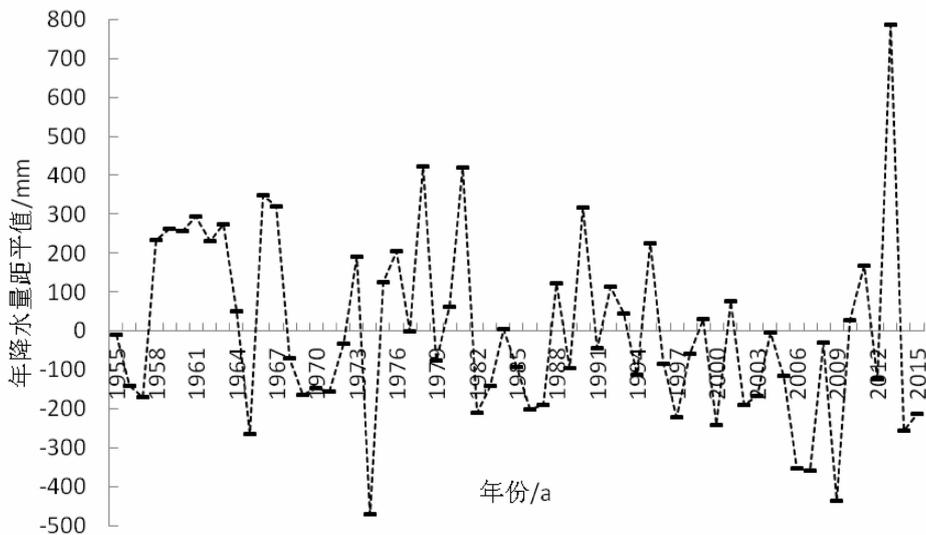


图 5 1955—2015 年都江堰市年降水量的距平值变化

Fig. 5 Anomaly variation of annual precipitation of Dujiangyan city during 1955—2015

年夏季西太平洋副高偏强,位置偏北且西伸,致使四川大部降水较频繁,全年降水达 1602.3 mm;在 6 月下旬至 8 月底,大范围的强降水过程有 8 次,都江堰市日降水量超过 100 mm,暴雨区主要集中在岷江、沱江等中上游流域,发生严重暴雨洪涝灾害。2013 年是都江堰市 60 年来降水最多的一年,“7·8”特大暴雨造成蒲阳镇、胥家镇、经开区等地受到不同程度灾害,日降雨量最高达 386 mm。

2)年内降水量分配不均、季节降水强度大造成的洪水

有些年份即使降水量没有显著变化,但由于季节降水集中、强度大、持续时间较长,特别是在夏秋和春季都有可能引发洪灾。1999 年都江堰降水并未明显增多,8 月 14—16 日川西出现暴雨天气过程,都江堰市日最大降水量达 132.6 mm,农作物绝收近 500 hm²。2000 年都江堰降水偏少,年降水距平值为 -240.5 mm,但 7 月 16—17 日普降暴雨,近万人受灾。一般性洪灾应多与降水季节分配不均有关。

4.2 厄尔尼诺事件对洪灾的影响以及降水增多事件

李栋梁等人^[23]研究认为在历史时期的厄尔尼诺事件发生年时长江流域最易涝。张冲^[24]、李双林

等^[25]通过对长江流域近 60 年来气象资料的整理,分析了 ENSO 事件对长江流域气候的影响,结果表明 ENSO 事件与旱涝灾害存在明显的相关性,且长江两次全流域性特大洪涝灾害都发生在厄尔尼诺事件向强拉尼娜事件转换年;1998、2010 年夏季长江流域的特大洪灾都是在厄尔尼诺事件的次年发生。根据王绍武^[26]对近 500 年来厄尔尼诺事件的数据恢复,编制出清代厄尔尼诺事件与都江堰市洪灾的发生年份对比表(表 2),得出在厄尔尼诺事件发生年或者次年发生了 22 次不同程度的洪灾,尤其在清晚期(1840—1911 年)两者关联性更为明显。厄尔尼诺事件发生时,本地区当年或次年降水量大增的概率较高。

利用 SPSS 软件中的 Pearson 相关分析来做出厄尔尼诺事件与本地洪灾的关系表,如表 3 所示,相关系数达 0.429,两者存在正向显著相关性。

明清时期正处于竺可桢先生^[27]提出的长达 500 多年第四个寒冷期。明清小冰期又可划分出若干次振幅较小的冷暖波动,约 4 次冷期和 3 次暖期^[28]。小冰期盛期是我国气象灾害群发阶段,水灾接连不断,1840 年后全国涝灾明显增多。黄忠恕^[29]分析了近千年来长江流域气候干湿变化规律,提出了清代发生的 4 个小洪涝期:1649—1670 年、

表 2 清代厄尔尼诺事件与都江堰市洪灾的发生年份对比

Tab. 2 El Niño events and flood disaster occurring year in Dujiangyan city during Qing Dynasty

年代	El Niño 发生年	洪灾发生年	年代	El Niño 发生年	洪灾发生年
1640	1646	-	1770	1775—1776	1776
1650	1650;1652—1653	-	1780	1782—1783;1785—1786	-
1660	1660—1661;1667	-	1790	1791—1792	-
1670	1671	-	1800	1803—1804;1806—1807	1803;1806
1680	1680—1681;1684	1682	1810	1814—1815;1817	-
1690	1691—1692;1695—1696	1692	1820	1820—1821;1824—1825;1828	1826
1700	1700—1701;1704—1705;1707	1704;1706	1830	1832—1833;1837—1838	1832
1710	1710;1714	-	1840	1844—1845	1846
1720	1720—1721;1725—1726;1728—1729	1727—1728	1850	1855;1858	-
1730	-	-	1860	1864;1868	1864;1868
1740	1740;1746—1747	1746	1870	1877—1878	1978—1879
1750	1754—1755;1758—1759	-	1880	1880—1881;1884—1885;1888	1880—1881;1889—1890
1760	1763;1765—1766;1769—1770	1766	1890	1891;1896—1897;1899—1900	1897—1900
			1900	1902;1904—1905	1900—1902;1904;1906

注:厄尔尼诺数据资料来源于王绍武先生的论文《近 500 年的厄尔尼诺事件》。“-”表示无洪灾记录。

表3 厄尔尼诺事件与洪灾的相关性

Tab.3 Correlation between El Niño events and flood disasters

		厄尔尼诺发生次数	洪灾发生次数
厄尔尼诺 发生次数	Pearson 相关性	1	0.429*
	显著性(双侧)		0.026
	N	27	27
洪灾 发生次数	Pearson 相关性	0.429*	1
	显著性(双侧)	0.026	
	N	27	27

*. 在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

1705—1769年、1822—1870年和1896—1917年。在后三个小洪涝期,都江堰地区的洪灾频次都较往年多。而且在小洪涝期和小干旱期的气候转换过渡期,洪灾数量也偏多,这是由于气候波动,降水变率增大^[30]。引发降水增多、洪灾的因素很多,但 ENSO 事件是区域年际气候变化的重要标志,往往会引发旱涝灾害,厄尔尼诺现象与降水多寡联系密切。李栋梁先生^[31]分析了历史上厄尔尼诺事件与旱涝的关系,表明在厄尔尼诺年西南多数地区易涝,也反映出历史旱涝的分布与近代降水相似,即在厄尔尼诺年表现为“北旱南涝”。袁媛等人^[32]通过对 1948—2011 年降水资料的研究进一步揭示了东亚冬季风异常与厄尔尼诺事件的联系,也证明了厄尔尼诺是导致南方冬季降水偏多的一个重要外强迫因子。王伟等人^[33]利用西南地区 1951—2008 年夏季降水资料与厄尔尼诺现象的对比分析得出,厄尔尼诺事件发生后,四川中、西部地区夏季降水明显偏多。根据本文的数据资料可以得出本地区降水量在厄尔尼诺现象发生后可能会比往年增多而引发洪灾。根据历史资料及研究结果^[34]可知,大气候事件对某地区洪灾的发生起到了决定作用。据以上分析,本文提出把连续 3 年或多于 3 年发生大洪灾的极端气候阶段确定为降水增多事件。根据小洪涝期和历史洪灾记载确定,清代都江堰地区这样的降水增多事件分别出现在 1744—1746 年、1863—1868 年、1873—1875 年、1878—1881 年、1897—1902 年和 1906—1908 年,主要分布于清代中后期。

5 结论

利用历史文献资料与当代都江堰市降水等资料,对采集数据进行数理计算和分析,从洪涝灾害等级、分布规律及成因等角度分析了清代都江堰地区

洪涝灾害的变化特征,得出以下认识:

1)清代都江堰地区的洪涝灾害共计 62 次,平均每 4.3 年就有一次发生。从清代早期到晚期,洪灾呈现出波动增加的趋势且有明显的阶段性。1644—1679 年和 1790—1839 年是洪灾少发期,1680—1789 年和 1840—1911 年是洪灾高发期,尤其在清代晚期发生频率最高。其中,轻度洪灾发生 11 次,占洪灾总数的 17.7%;中度洪灾发生 37 次,占 59.7%;大洪灾 10 次,占 16.1%;特大洪灾 4 次,占 6.5%。中度及以上洪灾比例高达 82.3%,显示该区清代洪灾严重。

2)清代都江堰地区洪灾明显地存在 4a 左右短期振荡周期、23a 左右的长期振荡周期。清代中晚期还存在一个约 8a 中振荡周期,洪灾频率高。洪灾周期的确定为现代防灾减灾工作提供了科学依据。

3)清代都江堰地区的降水增多事件发生了 6 次,分别出现在 1744—1746 年、1863—1868 年、1873—1875 年、1878—1881 年、1897—1902 年和 1906—1908 年。集中于清代中后期。推断发生特大洪灾和大洪灾年的降水量显著增多,年降水量约 1510 mm 或更多。厄尔尼诺事件与本地洪灾有明显相关性,厄尔尼诺发生时,本地区当年或次年降水量大增的概率较高。

参考文献(References)

- [1] 秦嘉励,杨万勤,张健. 岷江上游典型生态系统水源涵养量及价值评估[J]. 应用与环境生物学报, 2009, 15(4): 453 - 458. [QIN Jiali, YANG Wanqin, ZHANG Jian. Assessment of Ecosystem Water Conservation Value in the Upper Minjiang River [J]. Journal of Applied and Environmental Biology, 2009, 15(4): 453 - 458.]
- [2] 杨斌,詹金凤,李茂娇. 岷江上游流域环境脆弱性评价[J]. 国土资源遥感, 2014, 26(4): 138 - 144. [YANG B, ZHAN JF, LI M J. Evaluation of environmental vulnerability in the upper reaches of the Minjiang River [J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2014, 26(4): 138 - 144.]
- [3] 张继飞,邓伟,朱昌丽,等. 岷江上游生态系统服务与居民福祉的空间关联及其动态特征[J]. 山地学报, 2017, 35(3): 388 - 398. [ZHANG Jifei, DENG Wei, ZHU Changli, et al. Spatial Relationship and Its Dynamic Features of Ecosystem Services and Human Wellbeing in the Upper Reaches of Minjiang River [J]. Mountain Research, 2017, 35(3): 388 - 398.]
- [4] 张萍. 明清时期岷江流域水旱灾害初步研究[D]. 重庆:西南大学, 2014: 16 - 31. [ZHANG Ping. Preliminary study of drought during the Ming and Qing Dynasties on Minjiang River Basin [D]. Chongqing: Southwestern University, 2014: 16 - 31.]
- [5] 刘兴亮,苏春江,徐云. 岷江上游水资源问题及可持续利用[J]. 水土保持研究, 2006, 13(3): 189 - 192. [LIU Xingliang, SU

- Chunjiang, XU Yun. Water Resource Problem and Sustainable Utilization in the Upper Reaches of Minjiang Rive[J]. Research of Soil and Water Conservation. 2006, **13**(3):189 - 192.]
- [6] 邓绍辉. 建国以来四川洪涝灾害的特点及对策[J]. 四川师范大学学报(社会科学版), 2001, **28**(5):96 - 104. [DENG Shaohui. Flood Features in Sichuan Since 1949 and Measures[J]. Journal of Sichuan Normal University(Social Sciences Edition). 2001, **28**(5):96 - 104.]
- [7] 李喆,何政伟. 地震前后都江堰市土地利用动态变化研究[J]. 四川师范大学学报(自然科版), 2012, **35**(3):412 - 416. [LI Zhe, HE Zhengwei, XU Hui-xi. The Research of Land Use Dynamic Change before and after the Earthquake in Dujiangyan City [J]. Journal of Sichuan Normal University(Natural Science), 2012, **35**(3):412 - 416.]
- [8] 中央气象局气象科学研究所. 中国近五百年旱涝分布图集[M]. 北京: 新华书店, 1981: 10 - 39. [Central Meteorological Bureau. Atlas of flood and drought distribution nearly five hundred years in China. [M]. Beijing: Xinhua Bookstore, 1981:10 - 39.]
- [9] 冯广宏. 岷江志[M]. 成都: 四川省水利电力厅, 1990:125 - 146. [FENG Guanghong. Minjiangzhi[M]. Chengdu: Sichuan Provincial Water Conservancy and electric power department, 1990: 125 - 146.]
- [10] 水利电力部水管司科技司. 清代长江流域西南国际河流洪涝档案史料[M]. 北京: 中华书局, 1991: 30 - 126. [Department of water resources division. Records of flood records of international rivers in Southwest China during the Qing Dynasty [M]. Beijing: Zhong Hua Book Company, 1991:30 - 126.]
- [11] 詹兆渝. 中国气象灾害大典·四川卷[M]. 北京: 气象出版社, 2006: 8 - 35. [Zhan zhaoyu. Meteorological disasters. Chinese-Sichuan roll ceremony [M] Beijing: Meteorological Press, 2006: 8 - 35.]
- [12] 苏慧慧, 查小春. 清代时期汾河中游地区洪涝灾害研究[J]. 干旱区资源与环境, 2010, **24**(1):90 - 94. [SU Huihui, ZHA Xiaochun. Study on flood disasters reaches in the middle of Fenhe river during Qing Dynasty[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2010, **24**(1):90 - 94.]
- [13] 韩庆玉. 四川洪灾及其特性浅析[J]. 四川水利, 1996, **17**(3):18 - 22. [HAN Qingyu. Flood disaster and its characteristics in Sichuan[J]. Sichuan Water Resources, 1996, **17**(3):18 - 22.]
- [14] 孙金岭, 何元庆, 何则, 等. 基于 Morlet 小波的清代民国河西走廊洪涝灾害与气候变化研究[J]. 干旱区资源与环境, 2016, **30**(1):60 - 65. [SUN Jinling, HE Yuanqing, HE Ze, et al. Study on the flood disasters and climate changes in the Hexi Corridor during Qing dynasty and the Republic of China[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2016, **30**(1):60 - 65.]
- [15] 王兴梅, 张勃, 王海军, 等. 石羊河流域近 50 年最高最低气温变化分析[J]. 干旱区地理, 2010, **33**(6):880 - 889. [WANG Xingmei, ZHANG Bo, WANG Hajun, et al. Maximum and minimum temperature changes in Shiyang River Basin in the last 50 years[J]. Rid Land Geography, 2010, **33**(6):880 - 889.]
- [16] 张强, 姜彤, 吴宜进. ENSO 事件对长江上游 1470 - 2003 年旱涝灾害影响分析[J]. 冰川冻土, 2004, **26**(6):691 - 697. [ZHANG Qiang, JIANG Tong, WU Yijin. Impact of ENSO Events on Flood/Drought Disasters of Upper Yangtze River during 1470 - 2003[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2004, **26**(6):691 - 697.]
- [17] 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, **31**(1):344 - 348. [ZHAO jingbo, ZHOU yue, LI ruyi, et al. Characteristics of Flood Disaster and Climate Events In Western Ordos Plateau in Qing Dynasy[J]. Bulletin of soil and Water Conservation, 2015, **31**(1):344 - 348.]
- [18] 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[J]. 地理学报, 2016, **71**(5):707 - 717. [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[J]. Acta Geographical Sinica, 2016, **71**(5):707 - 717.]
- [19] 汶林科, 崔鹏, 杨红娟, 等. ENSO 与长江流域中游地区雨季极端降水的关系[J]. 山地学报, 2011, **29**(3):299 - 305. [WEN Linke, CUI Peng, YANG Hongjuan, et al. The Relationship between ENSO and the Precipitation Extremes along the Middle Reaches of Yangtze River during the Monsoon Season[J]. Mountain Research, 2011, **29**(3):299 - 305.]
- [20] 殷淑燕, 王海燕, 黄春长, 等. 陕南汉江上游历史洪水灾害与气候变化[J]. 干旱区研究, 2010, **27**(4):522 - 528. [YIN Shuyan, WANG Haiyan, HUANG Chunchang, et al. Study on historical flood disasters and climate change in the upper reaches of the Hanjiang River[J], 2010, **27**(4):522 - 528.]
- [21] 勾晓华, 杨涛, 高琳琳, 等. 树轮记录的青藏高原东南部过去 457 年降水变化历史[J]. 科学通报, 2013, **58**(11):978 - 985. [GOU X H, YANG T, GAO L L, et al. A 457-year reconstruction of precipitation in the southeastern Qinghai-Tibet Plateau [J]. Chinese Science Bulletin, 2013, **58**(11):978 - 985.]
- [22] 李昕翼, 肖国杰, 白爱娟, 等. 成都地区降水时空分布变化[J]. 气象科技, 2011, **39**(4):417 - 422. [Li Xinyi, Xiao Guojie, Bai Aijuan, et al. Temporal-spatial distribution of precipitation in Chengdu[J], 2011, **39**(4):417 - 422.]
- [23] 李栋梁, 姚辉. 1470 - 1997 年中国旱涝与厄尔尼诺事件[J]. 干旱区地理, 1991, **14**(2):48 - 52. [LI Dongliang, YAO Hui. Chinese drought \ flood disasters and El Nino events during 1470 - 1997[J]. Arid area of Geography, 1991, **14**(2):48 - 52.]
- [24] 张冲, 赵景波. 厄尔尼诺/拉尼娜事件对长江流域气候的影响研究[J]. 水土保持通报, 2011, **31**(3):1 - 8. [ZHANG Chong, ZHAO Jingbo. Effects of El Niño-Southern Oscillation Events on Climate in Yangtze River Basin[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2011, **31**(3):1 - 8.]
- [25] 王钦, 李双林, 付建建. 1998 和 2010 年夏季降水异常成因的对比分析: 兼论两类不同厄尔尼诺事件的影响[J]. 气象学报, 2012, **70**(6):1207 - 1222. [WANG Qin, LI shuanglin, FU Jianjian. On the formation of anomalous summer precipitation in the years of 2010 and 1998: A comparisons of the El Nino cases' s impact between modoki and typical El Nino cases. Acta meteorological sinaica, 2012, **70**(6):1207 - 1222.]
- [26] 王绍武. 近 500 年的厄尔尼诺事件[J]. 气象, 1989, **15**(4):15 - 21. [WANG Shaowu. El Nino events in recent 500 years[J].]

- Meteorology, 1989, **15**(4):15-21.]
- [27] 竺可桢. 中国五千年来气候变迁的初步研究[J]. 中国科学, 1973, **16**(2):226-230. [ZHU Kezhen. A preliminary study on climate change in China for five thousand years [J]. Chinese science, 1973, **16**(2):226-230.]
- [28] 徐蕊. 明清时期中国大陆的气候变化[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2009, **30**(6):67-71. [Xu Rui. The Climate of Chinese Continent Change in Ming and Qing Dynasty [J]. Journal of Capital Normal University (Natural Science Edition), 2009, **30**(6):67-71.]
- [29] 黄忠恕. 长江流域历史水旱灾害分析[J]. 人民长江, 2003, **34**(2):1-3. [HUANG Zhongshu. The analysis of historical flood and drought disasters in the Yangtze River Basin [J]. Yangtze River, 2003, **34**(2):1-3.]
- [30] 靳俊芳, 殷淑燕, 王学佳. 汉江上游北宋时期洪水事件的沉积记录 and 文献记录对比[J]. 山地学报, 2016, **34**(3):266-273. [JIN Junfang, YIN Shuyan, WANG Xuejia. Comparison of Extraordinary Flood Events Reflected Selected by Sediments with Historical Documents in the Upper Reaches of the Hanjiang River during the Chinese Northern Song Dynasty (950—1050 A. D. [J], Mountain Research, 2016, **34**(3):266-273.]
- [31] 姚辉, 李栋梁. 厄尔尼诺事件与中国降水及历史旱涝[J]. 应用气象学报, 1992, **3**(2):228-235. [YAO Hui, LI Dongliang. The Relationship between El Nino Events and the Rainfall, Historical Drought and Water Logging in China [J]. Journal of Applied Meteorological Science, 1992, **3**(2):228-235.]
- [32] 袁媛, 李崇银, 杨崧. 与厄尔尼诺和拉尼娜相联系的中国南方冬季降水的年代际异常特征[J]. 气象学报, 2014, **72**(2):237-255. [YUAN Yuan, LI Chongyin, YANG Song. Decadal Anomalies of Winter Precipitation over Southern China in association with El Nino and LA Nina [J] Acta Meteorological Sinica, 2014, **72**(2):237-255.]
- [33] 王伟, 冯爽. 西南地区夏季旱涝与厄尔尼诺(拉尼娜)的关系分析[J]. 成都信息工程学院学报, 2012, **27**(4):412-416. [WANG Wei, FENG Shuang. The Correlation Analysis between Summer Droughts & Floods in the Southwest and ENSO [J]. Journal of Chengdu University of Information Technology, 2012, **27**(4):412-416.]
- [34] 丁文荣. 西南地区极端降水的时空变化特征[J]. 长江流域资源与环境, 2014, **23**(7):1071-1079. [DING Wenrong. Spatial and Temporal Variability of the Extreme Daily Precipitation in Southwest China [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2014, **23**(7):1071-1079.]

Flood Disasters Events and Associated Climate in Dujiangyan City during Qing Dynasty

HOU Yule¹, ZHAO Jingbo^{2*}, HU Yao¹

(1. *Aba Teachers College, Wenchuan, Sichuan 623002, China*; 2. *Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Xi'an 710061, China*)

Abstract: By examining historical data of Dujiangyan region, this research conducted statistical analysis and wavelet transform to retrieve the ancient flood information in Qing Dynasty, including the grading, frequency and periodicity of flooding as well as climate pattern. Results showed that flooding occurrences amounted to 62 for the whole 268 years of the Qing dynasty, once every 4.3 years, and from early Qing dynasty to the late, flooding occurred with a fluctuated increase trend and obvious periodic pattern: a period of less flooding during 1644-1679 and 1790-1839, and at high risk of flooding for 1680-1789 and 1840-1911. Flooding in Dujiangyan region in Qing dynasty obviously existed a short period of 4a and long-term oscillated period of 23a. Besides, there was an 8a in the middle and late Qing dynasty. There were 6 incremental precipitation period in the region during Qing dynasty, occurred in 1744-1746, 1863-1868, 1873-1875, 1878-1881, 1897-1902 and 1906-1908 years, respectively, concentrated in the middle and late Qing dynasty. El Nino event was also a major factor inducing flood disasters. It referred to a significant increment of rainfall in the year of catastrophic flood and great flood, with an estimation of precipitation about 1510 mm or more.

Key Words: Flood disaster; Periodicity; Increased precipitation events; Qing Dynasty; Dujiangyan City