

1736-1911年中国水灾多发区分布及空间迁移特征

萧凌波

(中国人民大学清史研究所, 北京 100872)

摘要:重建历史时期极端气候灾害的时空格局,对于认识当前和未来的灾害演变趋势,辨识灾害高风险区,更好地应对气候变化的挑战具有重要意义。本文基于《清史·灾赈志》中的历史水灾记录,以县级政区为单元,逐年提取了1736-1911年间中国境内的8582个水灾发生地点;利用核密度估计法对这一时期及3个特征时段(1736-1795、1796-1850和1851-1911年)的水灾空间分布特征进行分析,并结合风险理论框架讨论水灾多发区的分布及迁移的影响因素。主要结论如下:①1736-1911年水灾多发区主要集中在华北平原北部的海河、黄河下游,淮河下游,长江中下游三大平原及沿江地带,与现代分布格局存在一定差异;②华北平原北部是清代水灾最为集中的区域,这与当时华北平原降水偏多有关,而进入19世纪后,当地社会经济系统的高脆弱度也大大加重了灾情;特别是1855年黄河改道后,因政府应对不力,使得1851-1911年间鲁西北地区沿黄河下游河道出现一个条带状水灾多发区;③19世纪长江中下游地区水灾频次激增,其原因除梅雨变化导致的极端降水事件增多外,人类不合理的农业开发活动大量挤占湿地和水体,也在相当程度上增大了当地面对水灾时的物理暴露度。

关键词:气候变化;水灾;时空特征;核密度估计;灾害风险;中国

1 引言

当前全球气候变化背景下,与气象要素的极值变化相联系的极端灾害事件(如热浪、冷害、洪涝、干旱、风暴潮等)呈增多、加重趋势,给世界各国应对气候变化风险带来重大挑战(IPCC, 2012)。对极端灾害的高风险区进行识别与划分,并归纳其时空变迁规律,具有重要的科学和现实意义(秦大河, 2015; 吴绍洪等, 2017)。中国大部地区处在东亚季风影响范围之内,降水的时间、空间分布不均,导致极端旱涝灾害多发(丁一汇, 2013),特别是水灾,历史上广泛分布于各大主要江河流域,仅黄河就泛滥多达1500余次,对社会经济造成过深远影响(胡明思等, 1989; 邹逸麟等, 2013)。近年来,中国东部各大江河流域水灾频发,对社会经济发展和人民生命财产安全造成严重威胁。“以古为镜,可以知兴替”,在较长尺度上重建水灾的时空分布,对于认识当前水灾态势、预测未来发展趋势,识别相对高风险区,

从而更有效地应对气候变化的挑战,具有重要意义。

利用中国丰富的历史文献资料,分析历史时期水灾时空分布变化,并进行典型水灾案例过程重建,是一个具有中国特色的研究方向,众多来自地理学与灾害史研究领域的学者共同参与其中,取得了大量成果。随着新的历史文献的不断涌现和挖掘,研究的时空尺度也日益多元化。以正史为主要数据源的研究可在千年尺度上展开,甚至涵盖整个历史时期(Zheng et al, 2006),但受资料丰度所限,相应地对于重建结果的时空分辨率有所降低。以地方志为数据源的研究集中在过去500年时段,其中最具代表性的基础数据工作为《中国近五百年旱涝分布图集》(中央气象局气象科学研究所, 1981),在其出版以来的30多年间,许多重要的重建工作均以其为主要数据源(张德二等, 1994; 周寅康等, 1997; 朱亚芬, 2003)。近年出版的《中国三千年气象记录总集》(张德二, 2004)尽管时间跨度更大,但明清两朝就占据了全书篇幅的3/4以上,其中大部分记录

收稿日期:2017-09-04;修订日期:2017-11-16。

基金项目:国家自然科学基金项目(41501207, 41771572, 41701219)[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41501207, No.41771572, No.41701219]。

作者简介:萧凌波(1982-),男,湖北天门人,博士,讲师,主要研究方向为历史时期气候变化及其影响,E-mail: xlingbo1@163.com。

引用格式:萧凌波. 2018. 1736-1911年中国水灾多发区的分布及其空间迁移特征[J]. 地理科学进展, 37(4): 495-503. [Xiao L B. 2018. Spatio-temporal distribution of high flood risk areas in China, 1736-1911[J]. Progress in Geography, 37(3): 495-503.]. DOI: 10.18306/dlkxjz.2018.04.005

也是源自方志,因此以之为基础的研究也常集中于过去500年时段,特别是清代(陈家其等,2006;张琨佳等,2015),其空间分辨率一般可以达到县级政区。使用清代政府气象、灾害相关档案(如雨雪分寸)的重建成果具有较高的精度,时段集中在1736-1911年之间(因雨雪奏报制度成熟于乾隆在位期间,在此之后的档案资料较为完整)(郑景云等,2005,2016)。使用私人笔记、日记材料的则仅限于个别案例重建,时空跨度受限(晏朝强等,2011;成赛男等,2014)。

就空间尺度而言,宏观分布规律的探讨一般集中在全国和流域尺度,多侧重于探讨一个较长时间段的总体分布状况。如朱亚芬(2003)利用REOF方法对过去500年中国北方的旱涝变化进行了分区,并给出了各个区域阶段性旱涝特征;张琨佳等(2015)分析了中国清代水灾的总体空间格局,指出水灾主要集中在长江中下游、黄河下游及其他富水区。对于水灾分布特征在不同时段的差异及其成因的进一步探讨很有必要。王静爱等(2001)对于18世纪中期以来不同时段的水灾格局重建已经进行了有益的尝试,不过文中将1736-1911年(清中后期)作为一个特征时段进行处理,还有待于进一步细分。此外,对于水灾的指标量化方法,以及对灾害空间分布进行呈现的技术手段等方面,也都有深化研究的空间。

本文拟以一套多源历史灾害记录集《清史·灾赈志》及与之配套的清代《灾赈资料长编》为数据基础,以县级政区为单元,逐年统计清代中后期(1736-1911年间)中国境内水灾发生地,基于核密度估计法呈现水灾总体空间分布特征及其在3个不同时段的差异;在此基础上,结合风险理论分析框架,进一步探讨当时水灾多发区分布及迁移的影响因素。

2 数据与方法

2.1 历史水灾数据源

本文用于重建1736-1911年水灾空间分布的历史水灾数据主要来自《清史·灾赈志》及同时编纂的清代历朝《灾赈资料长编》。《清史·灾赈志》为2002年启动、现已进入收官阶段的国家清史纂修工程五大部类(通纪、典志、传记、史表、图录)中的“典志”之

一(马大正,2009)。其继承了二十四史中“五行志(灾异志)”的传统并加以创新,分为“灾情篇”“官赈篇”“仓储篇”和“民赈篇”4个部分,其中灾情篇“以时间为经,以灾种为纬,对持续时间长、面积广或后果严重的自然灾害进行排比”,“旨在描叙清代自然灾害的总体面貌、演变过程及其对社会的影响”^①。《灾赈资料长编》^②则为编纂《灾赈志》过程中从史料中提取的逐年灾害和荒政记录汇编,特点为涵盖了多源数据(档案、方志、私人文献),特别是大量收录了档案中官员上报朝廷的灾情汇总及朝廷蠲赈措施所涉及的受灾地区信息。在编纂《灾赈志》中的灾情部分时,对长编中的信息进行了筛选和概括,将自然灾害分为7个主要类别:地震、风灾、旱灾、蝗灾、冷害、水灾和疫灾,以不同皇帝在位时期为时段,逐年概述各地灾情。

选用这套资料主要考虑的是其对档案和地方志两大历史灾害数据源进行了综合处理,特别是以地方官员上报朝廷的灾情档案对方志中的受灾地点进行了补充和订正。由于清代规定“报灾”(达到政府蠲免赋税、赈济钱粮标准的灾害)标准为“成灾五分”(即减产50%)以上(李向军,1995),这就保证了收入《灾赈志》中的灾害是以一个相对统一的标准(灾情严重程度)筛选出来的,方志记载中常见的不够标准的轻灾已经剔除。同时,考虑到灾害档案的丰富程度,本文将研究时段确定为1736-1911年。

2.2 数据处理

本文对水灾原始信息的提取立足于《清史·灾赈志》,空间统计单元为县级政区(包括县、州、厅),时间统计单元为年。对于带有确切时间、空间信息的记录,如“(乾隆十六年)直隶开州、长垣大灾,东明水深三四尺,阔四十余里,庐舍田禾一望泽国”,直接提取。对于概述性文字,如“(乾隆)三十五年,山东章邱(丘)等三十州县卫水灾”,依据《灾赈资料长编》中的原始记录(摘录自《清实录·高宗实录》第868卷“乾隆三十五年九月乙巳”条)对省略的地点进行补充。

对于获得的水灾信息,进一步进行时空订正。时间信息的较订做了一定简化处理,即原始的年号纪年除明确带有日期信息者,均直接转换为公历年(如上述乾隆十三年即换算为1748年)。考虑到水灾基本发生于作物生长季(春季至秋季),因农历与

①引自《清史·灾赈志》,目前该书已经定稿,待《清史》各卷汇齐后一起出版。

②内部资料,存于中国人民大学清史研究所。

公历不完全重叠造成的误差影响可以忽略。根据《清代政区沿革综表》(牛平汉, 1990), 提取清代县治对应的今地名信息, 并录入经纬度坐标, 用于空间成图。

最终从《清史·灾赈志》中提取到的水灾共计8582县次(1年1县遭受水灾1次, 定义为1县次), 据此建立逐年水灾频次数列。相比于利用《中国三千年气象记录总集》(资料主要来自地方志)获得的水灾记录(1644-1911年共计19009条)(张琨佳等, 2015)年均频次偏少(48.8县次/年, 后者为70.9县次/年), 这是《灾赈志》编纂者综合史料剔除部分轻灾的结果。考虑到收入《灾赈志》中的灾害均已经具有一定严重性(达到政府救助标准), 本文不再对灾情进行分级处理, 在重建水灾时空分布时将受灾县次视为等权重。

2.3 核密度估计法

本文将清代水灾发生地抽象为点模式, 这样水灾多发区便可以视为在一定时空范围内点的高度集聚, 采用空间分析中常用的一种非参数估计方法——核密度估计法来刻画水灾集中区。该方法以特定要素点的位置为中心, 将该点的属性分布在指定阈值范围内(半径为 h 的圆), 在中心位置处密度最大, 随距离衰减, 到极限距离处密度为0, 网格中心 x 处的核密度为窗口范围内的密度之和(王法辉, 2009):

$$f(x) = \frac{1}{nh^d} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad (1)$$

式中: $K(\cdot)$ 为核密度方程, n 为阈值范围内的点数, d 为数据的维数, $x-x_i$ 为估计点 x 到样本 x_i 处的距离。利用 ArcGIS 10.2 软件中的核密度分析组件, 并以自然间断点分级法, 将水灾发生频次的核密度值由低到高分级为5级, 直观地呈现 1736-1911 年及进

一步细分的3个特征时段中国境内的水灾多发区空间分布特征。

3 结果与分析

3.1 水灾频次数列

1736-1911 年间逐年水灾频次数列如图 1 所示。就整个序列而言, 并未呈现显著的趋势性, 但在不同的时间段存在不同的波动特征。其中, 18 世纪水灾相对少发, 从 18 世纪末开始, 水灾频次呈波动上升趋势, 并出现 1823、1848-1849 这样的峰值时段; 进入 19 世纪后半叶, 则呈现剧烈动荡特征, 几个极端涝灾频发的时段之间, 夹杂着几个大旱时段(如 1850s、1876-1878 年)。

根据这一阶段性变化特点, 进一步将 1736-1911 年划分为长度相近的 3 个时段, 分别为: 1736-1795 年(乾隆年间), 1796-1850 年(嘉庆、道光年间)和 1851-1911 年(咸丰至宣统年间), 对比分析不同时段的水灾空间分布特征。在整个清代, 这 3 个时段也分别对应清朝的鼎盛期、转折期和衰亡期, 不同阶段的社会经济发展状况, 对于水灾多发区的分布和迁移, 也可能产生一定的影响。

3.2 水灾空间分布特征

1736-1911 年间中国境内水灾的空间分布总体特征如图 2 所示。水灾多发区集中在几条主要河流的中下游。其中 3 级以上的多发区除珠江三角洲等零星区块外, 在中国东中部地区基本连成一片, 涵盖了海—滦河、黄河、淮河、长江中下游广大区域; 4 级以上多发区在长江流域主要集中在太湖以东以南, 而在华北平原则集中在海河、黄河下游; 特别是在海河水系下游, 即河北中部、天津市附近, 形成了一个极端高值聚集区(5 级多发区)。

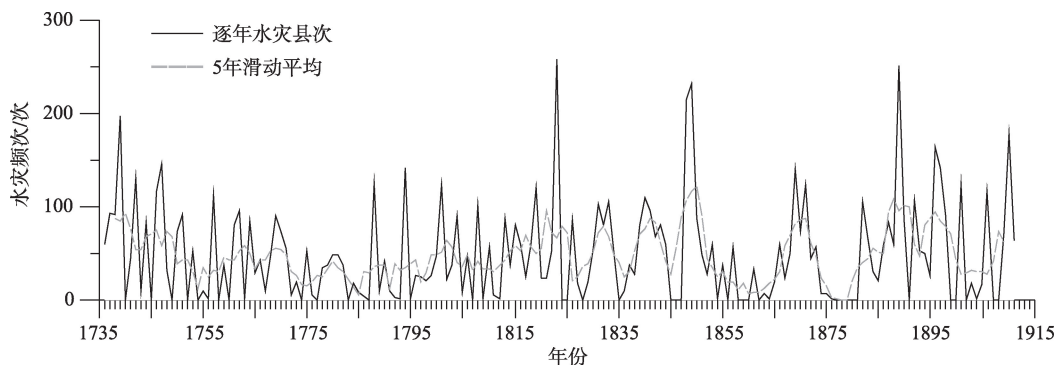


图1 1736-1911年中国水灾频次数列

Fig.1 Frequency series of floods in China, 1736-1911

与基于水利部历史水灾案例摘录重建的1736-1911年中国水灾县次空间格局(王静爱等, 2001)相比, 本文识别出的灾害极端多发区(华北平原北部)与次一级的多发区(长江中下游及淮河下游)与其大体一致, 不过该文识别出的另一个高值区(甘肃河西走廊以东)在图2中并不显著。与基于方志水灾资料重建的清代(1644-1911)水灾县次空间分布相比(张琨佳等, 2015), 其4个水灾高发区域(黄河下游、海河、淮河、长江中下游)亦与本文有很好的对应。

清代水灾多发区的空间格局与现代存在一定差异, 张行南等(2000)划分的7个洪水高危险区(辽河中下游、海河北部平原、鲁北徒骇—马颊河地区、鲁西及卫河下游、淮北及里下河地区、长江中游湖区及沿江带、珠江三角洲)多数可与图2中的4、5级多发区对比, 但辽河中下游和珠江三角洲并不在清代水灾多发区之列; 同时, 清代水灾多发的黄河下游干流沿岸, 现代风险级别则已调低。而在吴绍洪等(2017)预测的2021-2050年洪涝危险性空间格局图中, 高危险区尽管也主要分布于东部, 但其重心相比清代已经显著南移, 长江中下游山地丘陵区 and 东南沿海一带的洪涝高危险区的范围大为扩展。

3.3 不同特征时段的空间分布特征

3.3.1 1736-1795年

乾隆年间(1736-1795), 中国境内发生水灾2639县次, 年均44.0县次, 低于序列平均值(48.8), 是一个水灾相对少发时段。如图3所示, 这一时段的水灾多发区在空间上显得非常集中, 成都平原、珠江三角洲、长江中下游平原和沿江带形成了几个并不明显的高值区(2-3级), 4级以上的水灾多发区全部位于黄淮海平原范围内, 并出现河北平原中部、冀鲁豫交界及鲁西北等几个极端多发区(5级)。

3.3.2 1796-1850年

嘉道年间(1796-1850)水灾频次显著上升, 总计发生3084县次, 年均56.1县次, 大大高于序列平均值。同时, 水灾多发区的空间格局亦发生重大变动(图4)。此前水灾多发区的主要集中地黄淮海平原, 原有的数个5级区仅剩河北平原中部, 4级区范围亦显著缩小; 而在其南部的淮河下游出现另一个水灾多发的中心(今洪泽湖周边, 当时的黄淮交汇处)。长江中下游此时一跃成为范围最大的水灾集中地, 4级以上水灾多发区在长江中下游连成一片, 4个极端多发区(5级)分别为江汉平原、鄱阳湖区、太湖周边, 以及长江下游沿江地带(芜湖—镇江段)。

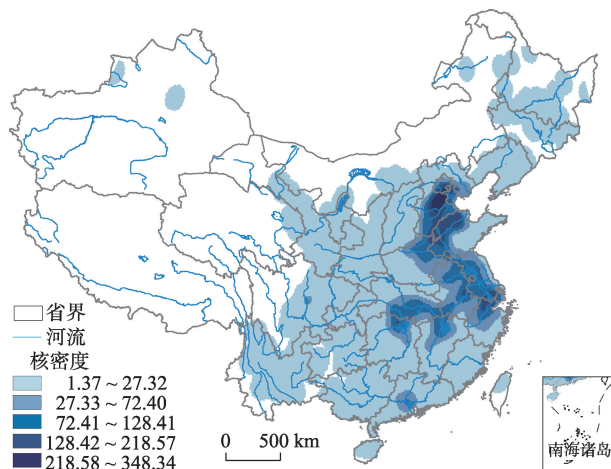


图2 1736-1911年中国水灾频次核密度分布

Fig.2 Kernel density distribution of flood frequency in China, 1736-1911

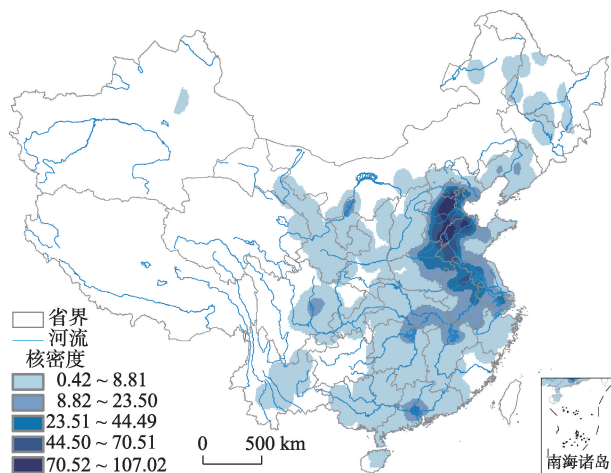


图3 1736-1795年中国水灾频次核密度分布

Fig.3 Kernel density distribution of flood frequency in China, 1736-1795

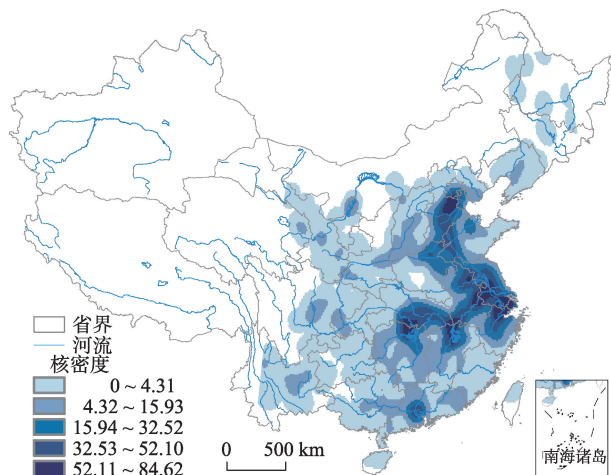


图4 1796-1850年中国水灾频次核密度分布

Fig.4 Kernel density distribution of flood frequency in China, 1796-1850

3.3.3 1851-1911年

咸丰至宣统年间(1851-1911),水灾频次有所回落,总计2859县次,年均46.9县次,接近序列平均值。这一时期的水灾多发区空间格局再次发生显著变化(图5),长江中下游的几个水灾集中区仍然存在,但范围有所缩小,重要性亦下降(3-4级)。华北平原北部重新成为水灾最为多发的区域,并可区分为南北2个中心。北部中心区仍在河北平原中部,南部水灾多发区域则沿黄河下游干流呈现条带状分布,越向下游,水灾越多发。

3.4 主要影响因素

根据上述结果,清代中后期(1736-1911年)中国境内的水灾多发区主要集中在以下区域:河北中部及天津一带的海河水系下游、冀鲁豫交界的黄河下游、淮河下游、长江中下游平原(江汉—洞庭湖、鄱阳湖、太湖)及沿江带;此外尚有珠江三角洲、成都平原等范围有限的多发区。这些地区在自然人文环境方面的共性特征前人已多有总结,如:地处江河下游,承接上游大量来水;地势平坦低洼,排水不畅,亦并发涝灾;人口稠密、经济发达,灾情不易控制。这些因素固然决定了水灾的多发,但本文同时发现,清代水灾多发区的空间分布并非一成不变,而是在不同的时段内发生了显著迁移,其间影响因素值得进一步探讨。

水灾多发区的空间迁移可看作区域水灾风险程度的变动,从而可归结到灾害风险理论框架下展开分析。IPCC特别报告将灾害风险(disaster risk)总结为致灾因子(disaster)、暴露度(exposure)和社会

经济系统脆弱性(vulnerability)3个方面因素共同作用的结果(IPCC, 2012)。据此,可初步分析这几方面因素对清代水灾多发区迁移的影响。

3.4.1 致灾因子

水灾的致灾因子可以分为雨情和水情2个方面。就降水来说,清代中后期中国境内降水空间格局与现代存在一定差异,最突出的特征是雨带总体偏北。王绍武等(2006)将过去500年中国东部夏季雨带位置分为8类,其中18世纪和19世纪雨带位于黄河下游(35.0°N附近)和华北(37.5°N)的类型占比分别为34%和41%,远远高于同期雨带位于长江(30.0°N)和江南北部(27.5°N)的占比(分别为18%和16%);而20世纪两者的数量关系发生倒置,前者占比下降为17%,后者上升为33%。雨带偏北,意味着当时华北平原的降水更为丰富。利用雨雪分寸重建的黄河中下游地区过去300年降水序列显示,18-19世纪的降水量显著高于20世纪,由多变少的突变点出现在1915年前后,这一趋势在河北子区(包括石家庄、河间、太原、济南4站)体现得更为明显(郑景云等, 2005)。相对丰富的降水,是清代华北平原(特别是其北部)水灾持续多发的基础。

对于长江中下游地区而言,清代并不是一个显著的多雨期,但对梅雨的重建结果显示,18和19世纪之交该区进入了一个梅雨期偏长的时段(葛全胜等, 2007),同时整个19世纪异常丰梅事件的出现频率大大高于18世纪(郑景云等, 2016)。梅雨的异常偏多是长江中下游地区水灾的主要诱因,19世纪该区几次极端水灾(如1823年、1849年)均发生在异常丰梅事件背景下。雨带的南移和梅雨的延长是嘉道年间长江中下游成为另一个水灾中心的重要影响因素,直至清末,这里一直是水灾多发区。

在雨情之外,还需要注意这一时期长江中下游水情的变化。对于19世纪以来长江流域水患的异常增多,清人就已有所认识,如魏源在《湖广水利论》(写于1834年)(魏源, 1976)中开篇指出:“历代以来,有(黄)河患、无(长)江患。……乃数十年中,(长江)告灾不辍,……无虚岁,几与河防同患,何哉?”究其原因,还在于清初以来长江干支流上游山地丘陵的加速垦殖,以及下游平原区“与水争地”的愈演愈烈,导致区域水文特性发生剧变:一方面上游水土流失加剧,来水增多且含沙量增大,易于淤积;另一方面下游原有的蓄洪区逐渐缩小、消失,使得汛期水位居高不下。19世纪长江水患的加剧,是雨情和水情共同变化的结果。

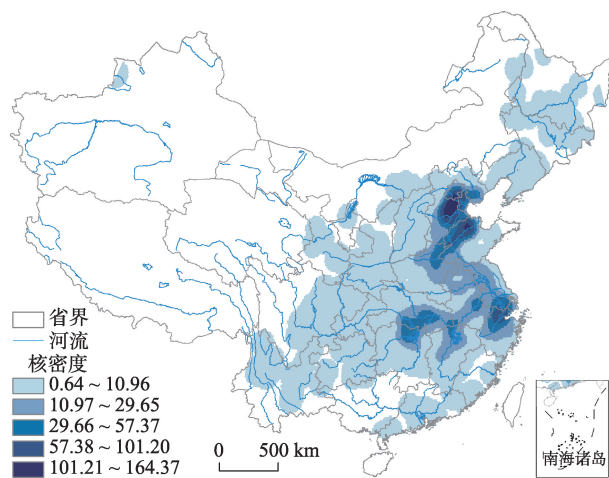


图5 1851-1911年中国水灾频次核密度分布

Fig.5 Kernel density distribution of flood frequency in China, 1851-1911

而对于华北平原,晚清时期的一个重大水情变化是1855年的黄河铜瓦厢改道事件,黄河不再走过去700多年间的南流故道,而改道鲁西北夺大清河入海(邹逸麟等,2013)。此后数十年间,黄河连年泛滥,使其下游地区成为1851-1911年间最为显著的水灾中心之一(图5)。

3.4.2 暴露度

暴露度指灾害影响之下的人口、生计、设施、财产等方面的总和(IPCC, 2012),理论上暴露度的大小与灾害风险成正比,对于清代中国这样一个以农业经济为主的传统社会,可从人口和耕地两方面的变化来对暴露度进行简单衡量(方修琦等,2013)。前述历史时期水灾多发区分布与现代的差异,在一定程度上便与暴露度有关。例如现代水灾多发的珠江流域地区,在清代总体开发程度还比较有限,在全国的经济地位不如黄河和长江流域,人口也主要集中在珠江三角洲等少数区域,在同等强度的水灾之下,受灾范围相对较小、灾情相对较轻。

与此同时,在本文的研究时段内,许多区域内的人类活动强度及其开发方式上的显著变化,改变了区域面对水灾时的暴露度,从而使得水灾风险随之发生变化。这其中最为突出的是东北地区,在上述3个特征时段中可以看到水灾频次的逐次上升和影响范围的不断扩大,这显然是清中叶以来东北地区移民持续涌入,垦殖力度持续加强的结果(叶瑜等,2009)。

对于几个主要的水灾多发区,如华北平原,尽管当地人口在清代持续增加,但在本文研究时段内其农业开发已近饱和,垦殖率变化相对有限,这种暴露度上的变化对于水灾频次的影响不如东北明显;而在长江中下游地区情况却有所不同,清代与水争地的垸田(四周以堤防环绕,具备排灌工程设施的水利田)大开发,大量挤占原本无人居住的河滩、芦荡、湖面,新增的耕地和聚落全面暴露在水灾威胁之下,这就使得许多清初水灾少发的州县至晚清成为水患的渊薮。

以江汉平原为例(张国雄,1989),18世纪这里的垸田开发进入高潮,出现了“堤垸如鳞”的景观,如汉川县有265垸,天门县有109垸,沔阳州(今仙桃)达1367垸。进入19世纪,每遇水灾,这些垸田往往首当其冲,嘉庆初年统计江汉平原长年积涝的垸田多达920个(龚胜生,1993),至道光年间,各州县几乎无一年不报水灾。据统计,汉川县水灾频次由乾隆年间的6次上升为嘉道年间的17次,而仙桃则由

7次上升至16次;垸田的大量漫溃,使得江汉平原成为当时一个突出的水灾中心(图4)。类似情况还发生在洞庭湖区、鄱阳湖区以及沿江地带,垸田(苏皖两省称为圩田)开发带来的暴露度上升,对于19世纪长江中下游水灾频次的急剧上升起到了重要作用。

3.4.3 脆弱性

脆弱性又称为易损性,IPCC(2001)将其定义为“系统容易遭受和有没有能力对付气候变化的不利影响的程度”,Gallopín(2006)将其分解为两个维度——敏感性(sensitivity)和响应能力(capacity of response),前者对应的是“遭受不利影响的容易程度”,而后者则对应“对付不利影响的能力大小”。在灾害强度和暴露度相差不多的前提下,区域社会经济系统的脆弱性在很大程度上决定了受损程度及其恢复能力。

以清代水灾最多发的华北平原北部(包括现代京津冀大部及河南、山东一部,核心位于河北平原中部)为例,该区基本位于前述黄河中下游过去300年降水重建研究中的河北子区(郑景云等,2005)。降水序列显示其18世纪是一个显著的多雨期,相应地,该区成为全国最显著的水灾中心;至19世纪前半叶,降水明显减少,但仍然存在一个5级极端多发区;至19世纪后半叶,降水量有所回升,但仍少于18世纪,而此时当地不仅重新成为水灾中心,且水灾频次大大高于18世纪(如文安县水灾频次从乾隆年间的20次上升至咸丰以降的38次)。在致灾因子和暴露度(主要体现为耕地面积)变化不大,甚至前者强度有所下降的情况下,灾情大大加重的原因,主要是由于当地19世纪社会经济系统脆弱性的增加。

在此前的研究中,以人均粮食产量作为敏感性指标,发现18-19世纪之交正是华北平原北部地区人均粮食产量降至温饱阈值(300 kg/(人·年))以下的转折点,此后当地社会便进入一个对灾害高度敏感的时段(方修琦等,2013);与此同时,主要体现为政府救灾力度(赈济、蠲免、移民)的响应能力,受制于清政府财政危机,又处于持续降低(Xiao et al, 2014)。高脆弱性加重了灾情,灾民的响应方式便日趋暴力,19世纪华北平原社会流民日众,动乱频发,反过来又影响了救灾活动与水利工程。如1855年黄河铜瓦厢决口之后,冀鲁豫一带连年水患,起义军蜂起,而修筑黄河大堤之事迟迟提不上议程,后来虽勉强修筑,但对洪水的抵御能力也十分有

限,黄河大堤的连年溃决,是晚清该地区水灾多发区呈现条带状(沿黄河干流)分布的主要原因。晚清时期的永定河工也是年久失修,至19世纪末的多雨期灾情极为惨重,河北中部一些低洼地带长期积水不退,以至连年报灾(李文海等,1989)。

4 结论与讨论

本文使用《清史·灾赈志》及清代《灾赈资料长编》中的历史灾情记录,以县级政区为单元,逐年统计了1736-1911年间中国境内的水灾发生地;然后利用核密度分析工具对得到的8582个受灾地点进行空间分析,分别呈现了全时段及3个特征时段(1736-1795年、1796-1850年和1851-1911年)的水灾空间分布,并结合风险理论分析讨论水灾多发区分布及迁移的影响因素,主要结论如下:

(1) 清代水灾多发区主要集中在以下区域:华北平原北部的海河、黄河下游,淮河下游,长江中下游三大平原及沿江地带,这一空间格局与现代存在一定差异,一些现代水灾高危危险区(如辽河下游平原、珠江三角洲等)在当时水灾并不多发,主要是受开发程度的影响(暴露度有限)。

(2) 华北平原北部是清代水灾最为集中的区域,特别是河北平原中部在3个特征时段均为5级极端多发区,一方面是由于18-19世纪当地相对20世纪总体多雨,另一方面则与19世纪这一地区社会经济系统的极端脆弱有关。建国后随着水利设施的兴修,加之气候偏干,这一重灾中心趋于消失(王静爱等,2001),但未来降水增多后的水灾风险仍不容忽视,特别是在当前大力推进雄安新区建设的背景下更应予以重视。2016年7月的河北暴雨洪水灾害便已敲响了警钟。

(3) 18世纪长江中下游地区水灾发生相对较少,进入19世纪水灾频次激增,并形成了江汉平原、鄱阳湖区、太湖周边及下游沿江地带等多个5级极端多发区,其间原因除了气候变化导致的极端降水事件增多,人类不合理的开发活动也在相当程度上加重了灾情。

(4) 1851-1911年间鲁西北地区存在一个特殊的水灾极端多发区(5级),呈条带状分布,其形成与1855年的黄河铜瓦厢改道事件有关,黄河夺大清河入海后,下游大堤因社会动荡迟迟不能建成,导致黄河在这一时期几乎连年泛滥。因此这一水灾多发区沿黄河干流河道分布,越向下游水灾越频发。

相对于以往同类研究,本文在资料来源及数据处理方面进行了一定改进;使用核密度估计法对水灾多发区空间分布特征的呈现具有比较好的显示度;区分了不同历史时段的空间特征差异,并对其成因机制进行了初步解释,对于认识当前和未来的水灾变化趋势及高风险区的辨识具有一定的参考价值。其不足之处在于:受原始文献资料所限,本文研究的空间尺度比较宏观,将受灾县级政区抽象为点的做法不可避免地会带来一定误差;对于影响因素的讨论还较初步,且偏重定性,未来可在时空尺度细化和指标量化方面进一步开展工作。

参考文献(References)

- 陈家其,施雅风,张强,等. 2006. 从长江上游近500年历史气候看1860、1870年大洪水气候变化背景[J]. 湖泊科学, 18(5): 476-483. [Chen J Q, Shi Y F, Zhang Q, et al. 2006. Climatic background for historical flood of 1860, 1870 during past 500 years in the upper Yangtze River Basin [J]. Journal of Lake Sciences, 18(5): 476-483.]
- 成赛男,杨煜达. 2014. 1840年长江三角洲水灾的时空分布与社会响应[J]. 中国历史地理论丛, 29(1): 26-38. [Cheng S N, Yang Y D. 2014. Temporal and spatial distribution of the flood in the Yangtze River Delta in 1840 A. D. and the social response[J]. Journal of Chinese Historical Geography, 29(1): 26-38.]
- 丁一汇. 2013. 中国气候[M]. 北京: 科学出版社. [Ding Y H. 2013. Zhongguo Qihou[M]. Beijing, China: Science Press.]
- 方修琦,萧凌波,魏柱灯. 2013. 18-19世纪之交华北平原气候转冷的社会影响及其发生机制[J]. 中国科学: 地球科学, 43(5): 810-823. [Fang X Q, Xiao L B, Wei Z D. 2013. Social impacts of the climatic shift around the turn of the 19th century on the North China Plain[J]. Science China Earth Sciences, 56(6): 1044-1058.]
- 葛全胜,郭熙凤,郑景云,等. 2007. 1736年以来长江中下游梅雨变化[J]. 科学通报, 52(23): 2792-2797. [Ge Q S, Guo X F, Zheng J Y, et al. 2008. Meiyu in the middle and lower reaches of the Yangtze River since 1736[J]. Chinese Science Bulletin, 53(1): 107-114.]
- 龚胜生. 1993. 清代两湖地区人口压力下的生态环境恶化及其对策[J]. 中国历史地理论丛, (1): 69-94. [Gong S S. 1993. Qingdai lianghu diqu renkou yali xiade shengtai huanjing ehua jiqi duice [J]. Collections of Essays on Chinese Historical Geography, (1): 69-94.]
- 胡明思,骆承政. 1989. 中国历史大洪水[M]. 北京: 中国书店. [Hu M S, Luo C Z. 1989. Zhongguo lishi dahongshui [M]. Beijing, China: Cathay Bookshop.]
- 李文海,林敦奎,周源,等. 1989. 晚清的永定河患与顺、直水

- 灾[J]. 北京社会科学, (3): 98-107. [Li W H, Lin D K, Zhou Y, et al. 1989. Wanqing de Yongdinghe huan yu shun zhi Shuizai[J]. Social Science of Beijing, (3): 98-107.]
- 李向军. 1995. 清代荒政研究[M]. 北京: 中国农业出版社. [Li X J. 1995. Research on famine policy in the Qing dynasty[M]. Beijing, China: China Agriculture Press.]
- 马大正. 2009. 清史纂修简述[J]. 社会科学战线, (11): 123-131. [Ma D Z. 2009. Qingshi zuanxiu jianshu[J]. Social Science Front, (11): 123-131.]
- 牛平汉. 1990. 清代政区沿革综表[M]. 北京: 中国地图出版社. [Niu P H. 1990. Qingdai Zhengqu Yangge Zongbiao [M]. Beijing, China: China Cartographic Publishing House.]
- 秦大河. 2015. 中国极端天气气候事件和灾害风险管理 with 适应国家评估报告[M]. 北京: 科学出版社. [Qin D H. 2015. China national assessment report on risk management and adaptation of climate extremes and disasters[M]. Beijing, China: Science Press.]
- 王法辉. 2009. 基于GIS的数量方法与应用[M]. 姜世国, 滕骏华, 译. 北京: 商务印书馆. [Wang F H. 2009. Quantitative methods and applications in GIS[M]. Jiang S G, Teng J H, Trans.. Beijing, China: The Commercial Press.]
- 王静爱, 王瑛, 黄晓霞, 等. 2001. 18世纪中叶以来不同时段的中国水灾格局[J]. 自然灾害学报, 10(1): 1-7. [Wang J A, Wang Y, Huang X X, et al. 2001. Chinese flood patterns in different periods since the middle of the 18th century[J]. Journal of Natural Disasters, 10(1): 1-7.]
- 王绍武, 黄建斌. 2006. 近千年中国东部夏季雨带位置的变化[J]. 气候变化研究进展, 2(3): 117-121. [Wang S W, Huang J B. 2006. The variations of geographical latitude of rain belts in summer over eastern China during the last millennium[J]. Advances in Climate Change Research, 2 (3): 117-121.]
- 魏源. 1976. 魏源集[M]. 北京: 中华书局. [Wei Y. 1976. Wei Yuan ji[M]. Beijing, China: Zhonghua Book Company.]
- 吴绍洪, 潘韬, 刘燕华, 等. 2017. 中国综合气候变化风险区划[J]. 地理学报, 72(1): 3-17. [Wu S H, Pan T, Liu Y H, et al. 2017. Comprehensive climate change risk regionalization of China[J]. Acta Geographica Sinica, 72(1): 3-17.]
- 晏朝强, 方修琦, 叶瑜, 等. 2011. 基于《己酉被水纪闻》重建 1849 年上海梅雨期及其降水量[J]. 古地理学报, 13(1): 96-102. [Yan C Q, Fang X Q, Ye Y, et al. 2011. Reconstruction of plum rain season and its rainfall of Shanghai in 1849 based on records of the flood in 1849[J]. Journal of Palaeogeography, 13(1): 96-102.]
- 叶瑜, 方修琦, 任玉玉, 等. 2009. 东北地区过去300年耕地覆盖变化[J]. 中国科学: 地球科学, 39(3): 340-350. [Ye Y, Fang X Q, Ren Y Y, et al. 2009. Cropland cover change in Northeast China during the past 300 years[J]. Science in China: Earth Sciences, 52(8): 1172-1182.]
- 张德二. 2004. 中国三千年气象记录总集[M]. 南京: 凤凰出版社, 江苏教育出版社. [Zhang D E. 2004. A compendium of Chinese meteorological records of the last 3000 years[M]. Nanjing, China: Phoenix Publishing House, Jiangsu Education Publishing House.]
- 张德二, 薛朝辉. 1994. 公元1500年以来EL Nino事件与中国降水分布型的关系[J]. 应用气象学报, 5(2): 168-175. [Zhang D E, Xue Z H. 1994. Relationship between the EL Nino and precipitation patterns in China since 1500 AD[J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology, 5(2): 168-175.]
- 张国雄. 1989. 江汉平原垸田的特征及其在明清时期的发展(续)[J]. 农业考古, (2): 238-248. [Zhang G X. 1989. Jianghan pingyuan yuantian de tezheng jiqi zai Mingqing ahqi de fazhan (Xu) [J]. Agricultural Archaeology, (2): 238-248.]
- 张琨佳, 刘璐, 苏筠. 2015. 中国清代历史水灾时空特征研究[J]. 自然灾害学报, 24(4): 104-110. [Zhang K J, Liu L, Su Y. 2015. Study on spatiotemporal characteristics of historical flood in Qing Dynasty[J]. Journal of Natural Disasters, 24(4): 104-110.]
- 张行南, 罗健, 陈雷, 等. 2000. 中国洪水灾害危险程度区划[J]. 水利学报, 31(3): 1-7. [Zhang X N, Luo J, Chen L, et al. 2000. Zoning of Chinese flood hazard risk[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 31(3): 1-7.]
- 郑景云, 郝志新, 葛全胜. 2005. 黄河中下游地区过去300年降水变化[J]. 中国科学: 地球科学, 35(8): 765-774. [Zheng J Y, Hao Z X, Ge Q S. 2005. Variation of precipitation for the last 300 years over the middle and lower reaches of the Yellow River[J]. Science in China: Earth Sciences, 48(12): 2182-2193.]
- 郑景云, 孙迪, 刘可邦, 等. 2016. 过去300 a长江中下游异常丰梅事件变化与洪涝灾害[J]. 自然资源学报, 31(12): 1971-1983. [Zheng J Y, Sun D, Liu K B, et al. 2016. Variations of extreme Meiyu events and flood disasters over the mid-lower reaches of the Yangtze River in the past 300 years[J]. Journal of Natural Resources, 31(12): 1971-1983.]
- 中央气象局气象科学研究院. 1981. 中国近五百年旱涝分布图集[M]. 北京: 地图出版社. [Chinese Academy of Meteorological Sciences. 1981. Yearly charts of dryness/wetness in China for the last 500-year period[M]. Beijing, China: Cartographic Publishing House.]
- 周寅康, 张婕, 王腊春, 等. 1997. 长江下游地区近五百年洪涝序列的R/S分析[J]. 自然灾害学报, 6(2): 78-84. [Zhou Y K, Zhang J, Wang L C, et al. 1997. Rescaled range analysis of flood series in the downstream area of Yangtze River for last 500-years period[J]. Journal of Natural Disasters, 6(2): 78-84.]
- 朱亚芬. 2003. 530年来中国东部旱涝分区及北方旱涝演变[J]. 地理学报, 58(增刊): 100-107. [Zhu Y F. 2003. The regional division of dryness/wetness over eastern China and

- variations of dryness/wetness in northern China during the last 530 years[J]. *Acta Geographica Sinica*, 58(S): 100-107.]
- 邹逸麟, 张修桂, 王守春. 2013. 中国历史自然地理[M]. 北京: 科学出版社. [Zou Y L, Zhang X G, Wang S C. 2013. *Zhongguo lishi ziran dili*[M]. Beijing, China: Science Press, 2013.]
- Gallopin G C. 2006. Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity[J]. *Global Environmental Change*, 16(3): 293-303.
- IPCC. 2001. *Climate Change 2001: Impacts, adaptation, and vulnerability*[M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- IPCC. 2012. *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: Special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*[M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Xiao L B, Fang X Q, Zhang Y J, et al. 2014. Multi-stage evolution of social response to flood/drought in the North China Plain during 1644-1911[J]. *Regional Environmental Change*, 14(2): 583-595.
- Zheng J Y, Wang W C, Ge Q S, et al. 2006. Precipitation variability and extreme events in eastern China during the past 1500 years[J]. *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences*, 17(3): 579-592.

Spatiotemporal distribution of high flood risk areas in China, 1736–1911

XIAO Lingbo

(Institute of Qing History, Renmin University of China, Beijing 100872, China)

Abstract: The reconstruction of spatiotemporal distribution of extreme climatic disasters in the past is important for the identification of high risk zones at present, the prediction of change in the future, and improved response to the challenges of climate change. In this study, information about historical floods was extracted from the Qing History, and counties suffered from floods during 1736-1911 were identified year by year, which sum to 8,582. Using the kernel density estimation method, spatial distribution of hotspots where floods occurred frequently during 1736-1911 was reconstructed, and the spatial differences among three periods (1736-1795, 1796-1850, and 1851-1911) were analyzed with the theoretical framework of disaster risk developed by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). It is found that the main high risk areas during 1736-1911 were the lower reaches of the Yellow River and the Hai River on the North China Plain, the lower reach of the Huai River, and the three great plains (Jiangnan-Dongting Lake, Poyang Lake, and Tai Lake) in the middle-lower Yangtze River Basin and riparian areas, and the spatial pattern of floods was slightly different from the modern time. The lower Yellow River and Hai River were the most significant hotspots where floods were concentrated. It was partly because in the 18th and the 19th centuries the annual precipitation in the North China Plain was more than the 20th century, and the high vulnerability of regional socioeconomic system throughout the 19th century also played a negative role in damage control. After the Yellow River changed its course in 1855, new levees were not built until the 1870s because of social unrest and financial crisis, which led to a new high risk area with a banding distribution along the course of the Yellow River in northeast Shandong Province. In the 19th century, flood occurred much more frequently in the middle-lower Yangtze River Basin than the 18th century. On the one hand, due to the change of Meiyu, extreme precipitation events significantly increased in the area; on the other hand, inappropriate agricultural development (such as diked field) led to rapid disappearance of natural wetlands and lakes, which meant higher water level in flood period and more exposure to flood.

Key words: climate change; flood; spatiotemporal distribution; kernel density estimation; disaster risk; China