

# 1615—1619年中国蝗灾时空演化及环境背景研究

汪宇欣<sup>1</sup>, 李钢<sup>1,2,3</sup>, 高兴<sup>1</sup>, 王婕妤<sup>1</sup>

1. 西北大学 城市与环境学院, 西安 710127

2. 陕西省地表系统与环境承载力重点实验室, 西安 710127

3. 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:** 基于对历史文献资料的梳理, 针对1615—1619年我国发生的重大旱、蝗、涝等群发灾害, 以蝗灾为主线, 复原蝗灾事件的时空演化过程, 解析其发生的气候背景和社会响应。结果表明: (1) 蝗灾事件呈现五年的发生发展衰亡周期, 县次波动明显, 1616和1617年为峰值年份; (2) 蝗灾以中、高等级发生为主, 核心区域为黄淮海平原, 热点地区为山东、河南、安徽等; 空间上呈现“北密南疏”、“北方主导”的分布格局; (3) 蝗与旱、涝的空间叠加显示, 旱-蝗组合集中分布于黄淮海平原及其毗邻地区, 涝-蝗组合则呈零星分布, 旱蝗并发的频次高于涝蝗, 旱蝗关系更紧密; (4) 蝗灾频发与大灾伴生饥荒、疫灾, 体现了灾异的时空传递与承继, 且次生灾害的出现存在滞后效应; (5) 在寒冷期, 蝗灾与温度呈现正相关, 与降水呈现负相关。

**关键词:** 蝗灾; 空间分布; 演化过程; 环境背景; 社会响应

## Spatial pattern and environmental background of the locust plague event in China during 1615—1619 AD

WANG Yuxin<sup>1</sup>, LI Gang<sup>1,2,3</sup>, GAO Xing<sup>1</sup>, WANG Jieyu<sup>1</sup>

1. College of Urban and Environmental Sciences, Northwest University, Xi'an 710127, China

2. Shaanxi Key Laboratory of Earth Surface System and Environmental Carrying Capacity, Northwest University, Xi'an 710127, China

3. State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710061, China

**Abstract: Background, aim, and scope** In recent years, historical disaster research based on geography has focused on the spatial distribution and construction of time series. There are few studies on cases that combine environmental background and social response. Based on historical documents, this paper analyzes the mass outbreaks of droughts, floods, and locust plagues in China from 1615 AD to 1919 AD to clarify their temporal and spatial evolution and explore the environmental background and social response. **Materials and methods** Records of natural disasters in historical documents, such as the *A compendium of Chinese meteorological records of the last 3,000 years* and the

收稿日期: 2019-09-02; 录用日期: 2019-12-30; 网络出版: 2020-01-08

**Received Date:** 2019-09-02; **Accepted Date:** 2019-12-30; **Online first:** 2020-01-08

**基金项目:** 黄土与第四纪地质国家重点实验室开放基金 (SKLLQG1911); 国家自然科学基金 (41201190); 西北大学仲英青年学者支持计划 (2016)

**Foundation Item:** Open Fund of State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, CAS (SKLLQG1911); National Natural Science Foundation of China (41201190); Tang Scholar Program of Northwest University (2016)

**通信作者:** 李钢, E-mail: lig@nwu.edu.cn

**Corresponding Author:** LI Gang, E-mail: lig@nwu.edu.cn

**引用格式:** 汪宇欣, 李钢, 高兴, 等. 2020. 1615—1619年中国蝗灾时空演化及环境背景研究 [J]. 地球环境学报, 11(3): 245—254.

**Citation:** Wang Y X, Li G, Gao X, et al. 2020. Spatial pattern and environmental background of the locust plague event in China during 1615—1619 AD [J]. *Journal of Earth Environment*, 11(3): 245—254.

*History of Locust Plague in China*, were selected, and the occurrence of disasters were determined by mathematical statistics and spatial analysis methods. **Results** The locust plague event lasted for 5 years and peaked in 1616 and 1617 AD. In general, the intensity of the locust plague was mainly moderate and high. The Huang-Huai-Hai Plain was the main region affected, and Shandong, Henan and Anhui Provinces were the most affected provinces in the country. The spatial distribution shows the pattern of “intensive in the north, sparse in the south” and “dominant in the north”. The drought-locust overlay chain was frequently concentrated on the Huang-Huai-Hai Plain, while the flood-locust overlay chain rarely occurred. The occurrence of secondary disasters such as famine and epidemics reflected the spatiotemporal transmission of disasters with a lag effect. During the cold period, the outbreaks of the locust plague significantly positively correlated with temperature and negatively correlated with precipitation.

**Discussion** Based on the historical documents, this paper analyzes natural disaster events in China in the early 17th century. The climate background and social impact of droughts, floods, and locust plagues confirmed the disaster-chain mode. Compared with research on a single disaster, the disaster-chain mode highlights the continuity of disasters and the continuity of climate change. The case study is relatively more precise for specific periods and specific areas. Case studies can explore the relationship among environment-disaster-society at the micro scale, but the conclusions are not universal. **Conclusions** Judging from the duration and intensity, these events were a typical mass-based disaster cluster in history. Among the disasters, the locust plague was concentrated on the Huang-Huai-Hai Plain, and the main affected area tended to migrate from north to south. There was a significant linkage between drought and the locust plague, warming significantly promoted the occurrence of the locust plague, and precipitation had an inhibitory effect. Secondary disasters such as famine and epidemics, together with drought, flood, and the locust plague, constituted a typical agricultural disaster chain, and the occurrence of secondary disasters had a lag effect. **Recommendations and perspectives** From the distribution and relationship among drought, flood and locust plague, being close to water was an important feature of the locust plague, and the relationship between historical hydrological changes and locust plagues needs to be clarified. A natural phenomenon that causes harm to humans and society becomes a disaster. As the most important entity affected, humans have experienced a certain degree of abnormal population migration. Additionally, the lag of secondary disasters must be determined by quantitative methods such as factor analysis to determine a complete disaster mode.

**Key words:** locust plague; spatial pattern; evolution process; environmental background; social response

人类发展史是一部与各类灾害的抗争史，开展灾害动态与环境变迁研究在气候变化加剧、多种灾害频发的今天尤为重要。蝗灾自古就与水灾、旱灾并称中国历史上三大自然灾害，对历史时期的农业生产与社会稳定造成重要影响。相关学者从不同视角对蝗虫和蝗灾开展过研究：（1）生态学方面，尤其微等（1958）、康乐等（1989）、陈永林（2000a, 2000b, 2005）探究了我国飞蝗的生活习性、行为特征和蝗灾成因，提出了综合治理方案，着重指出去除蝗虫灾害的关键因素是“水”。（2）生物学方面，李冰祥等（2001）、景晓红和康乐（2003）、黄慰军等（2005）通过生物学实验分析蝗虫与生态、气候因子的关系，指出飞蝗卵对冬季低温具有一定的生态适应。（3）社会文化方面，马利利（2012）分地区探讨

蝗神庙历史与蝗灾治理，王鹏辉（2017）补充了中国历史蝗神庙分布图新疆部分，王建革（2000）、朱天征和李金枝（2002）、阿利亚·艾尼瓦尔（2018）探究了蝗灾与社会制度、政府管控的关系。（4）地理学方面，李钢（2008）和李钢等（2010, 2015a, 2015b）构建了历史蝗灾数据库，再现了蝗灾发生的时空分布特征，探讨了蝗灾动态与气候变化的关联；满志敏（1988, 1997）较详细地探讨了黄淮海平原蝗灾地理分布差异及影响因素，特别指出发生于黄淮海平原的5次蝗灾大暴发事件；施和金（2002）对中国历史时期蝗灾发生强度、主要灾区等进行了论述，绘制了元明清三代中国蝗灾地域分布表；郑云飞（1990）探讨了古代蝗灾的发生、迁飞，及其与气候环境、农业结构与思想意识的关联；王会娟等（2017）、

孔冬艳等(2017)、Huang et al (2019)分别对1526—1530年、1689—1693年、1855—1859年的三次群发性灾害事件作了时空演化过程解析。

综上可见,已有研究多以断代和分区为基础展开探讨,针对典型群发灾害个案的研究有待加强。1615—1619年(明万历四十三至四十七年)全国各地出现大范围旱情,期间蝗灾、洪涝、瘟疫、饥荒相继暴发,是一次较为典型的群发性灾害事件。本文针对1615—1619年发生的蝗灾事件,确定蝗灾暴发等级,揭示蝗灾的空间分布与动态演化过程,结合并发、二次灾害探究自然灾害与气候变化的关系及其社会影响。

## 1 数据来源与方法

### 1.1 数据来源

明末蝗灾记录提取于多年来持续完善的中国历史蝗灾数据库,结合《中国三千年气象记录总集》(张德二,2004)和《中国蝗灾史》(章义和,2008)校对与补充,经剔除重复等预处理,共收集1615—1619年蝗灾记录331条,涝灾记录207条,旱灾记录288条(表1)。气候数据源于国家气象数据中心网站(<http://www.nmic.cn/>)。建立本时段旱灾、涝灾、蝗灾、瘟疫等历史灾异数据库,包含成灾时间(年、季、月),受灾地区(县名、县次)、蝗灾类型(蝗、旱蝗、涝蝗)、蝗灾等

级等。

表1 1615—1619年灾害频次表  
Tab.1 Disaster frequencies from 1615 AD to 1619 AD

年份 Year	旱 Drought	涝 Flood	蝗 Locust plague	旱蝗 Drought- locust	涝蝗 Flood- locust
1615 AD	102	42	45	25	0
1616 AD	41	60	137	28	6
1617 AD	70	45	107	39	4
1618 AD	42	43	23	9	1
1619 AD	33	17	19	4	0

### 1.2 方法

#### 1.2.1 灾害等级确定

在历史灾害研究中,不少学者借助语义计量法对史料中文字描述进行量化与分级(萧廷奎等,1964;李钢等,2010;邢闪和赵景波,2011;郑景云等,2014)。本文借鉴相关研究成果,全面解读和判定、定性和定量对照,根据灾害的持续时间(一代蝗、连代蝗,单年蝗、连年蝗)和波及范围(局地小范围、多地大范围)、对农业生产的破坏程度及对社会的影响(减产、饥荒、人相食、赈灾、流民等)将蝗、旱、涝灾害划分为四个等级层次,即:I级轻灾,II级中灾,III级大灾,IV级重灾,各自划分标准详见表2、表3、表4。

表2 历史旱灾等级划分标准  
Tab.2 Historical droughts classification standards

描述 Description	旱灾等级划分 Droughts classification				
	当地半年 Local & half a year	当地一年 Local & a year	当地多年 Local & many years	多地一年 Many areas & a year	多地多年 Many places & many years
干旱无雨。 Drought, no rain.	I			I 或 II I or II	II
旱,歉收,轻度危害。 Drought, crop failure, mild damage.	II	II 或 III II or III	III	II 或 III II or III	III
大旱,减产,饥荒,粮贵,减税。 Heavy drought, crop failure, famine, rice price rise, tax reduction.	II 或 III II or III	III	III 或 IV III or IV	III 或 IV III or IV	III 或 IV III or IV
大旱,绝收,饿殍载道,流民遍野。 Great drought, no harvest, road filled with the hungry, refugees everywhere.	III 或 IV III or IV	III 或 IV III or IV	IV	IV	IV

#### 1.2.2 研究方法

采用数理统计分析对各灾害的等级与县次做对比统计,借助Pearson相关性分析明确各因子之

间的关系。运用ArcGIS空间分析呈现灾害的空间分布,并借助标准差椭圆和平均中心等方法展现蝗灾的动态演化。

表 3 历史水灾等级划分标准  
Tab.3 Historical flood classification standards

描述 Description	水灾等级划分 Flood classification				
	当地半年 Local & half a year	当地一年 Local & a year	当地多年 Local & many years	多地一年 Many areas & a year	多地多年 Many places & many years
雨, 水。 Rain, water.	I			I 或 II I or II	II
霖雨, 大水, 伤稼, 轻度危害。 Rain, flood, injured grain, minor damage.	II	II 或 III II or III	III	II 或 III II or III	III
淹房田; 人畜伤亡, 农歉收, 饥和缓征税。 Submerged houses and fields, Human and animal casualties, crop failure, hunger and delayed taxation.	II 或 III II or III	III	III 或 IV III or IV	III 或 IV III or IV	III 或 IV III or IV
河大溢, 堤决, 人与物伤亡惨重, 绝收, 赈济免税。 River overflow, dikes, human casualties and material loss, no harvest, tax free.	III 或 IV III or IV	III 或 IV III or IV	IV	IV	IV

表 4 历史蝗灾等级划分标准  
Tab.4 Historical locust plague classification standards

描述 Description	蝗灾等级划分 Locust plague classification				
	当地一代 Local & a generation	当地两代 Local & two generations	当地连年 Local & many years	多地一代或两代 Many areas & one or two generations	多地连年 Many areas & many years
有蝗, 蝗生, 无财政影响。 Locust presence, no financial impact.	I			I 或 II I or II	II
蝗害稼、蝗食禾, 影响周边生产生活。 Locust invasion, grain hurt, the surrounding production and living affected.	II	II 或 III II or III	III	II 或 III II or III	III
大蝗, 蝗蝻遍野, 影响收成, 饥, 捕蝗, 缓征税。 Heavy locust plague, harvest affected, hunger, locust control, delayed taxation.	II 或 III II or III	III	III 或 IV III or IV	III 或 IV III or IV	III 或 IV III or IV
大蝗, 绝收, 食稼殆尽, 伴饥荒、瘟疫人相食, 赈灾免税。 Great locust plague, no harvest, famines and epidemics people eating each other, tax free.	III 或 IV III or IV	III 或 IV III or IV	IV	IV	IV

标准差椭圆用来计算所迁移范围和方向, 其计算公式为:

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}, \quad \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1)$$

式中:  $x_i$  和  $y_i$  表示灾害发生地的纬度和经度,  $n$  表示受灾县数。

## 2 蝗灾时空演化过程

### 2.1 蝗灾的动态演化

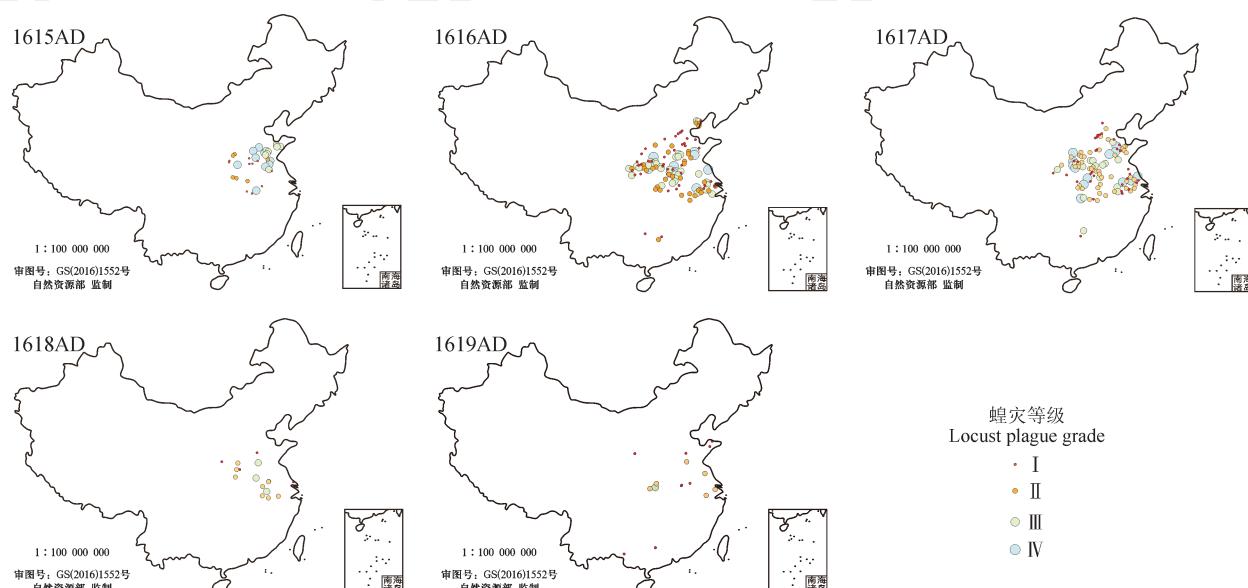
1615—1619 年暴发的蝗灾影响广泛, 波及陕西、山西、河南、山东、安徽、江苏等 20 多个省份, 灾情之重、持续时间之久为史上罕见

(图 1)。

1615 年, 主要以 I、II 级蝗灾为主, 对农业发展危害较轻。蝗灾主要出现于山东、陕西、河南、山西等地, 分布较为集中, 呈现“北方主导”的空间分布格局, 处于蝗灾的始发期。1616 年, I 级蝗灾占 38%, II 级蝗灾占 28%, III 级蝗灾占 26%, IV 级蝗灾占 8%, 中强度蝗灾开始增多, 影响范围开始扩散。陕西、山西、河北多地秋季出现 I、II 级蝗灾, 山西南部、山东中部、河南大部以及安徽中南部、江苏北部、湖北北部秋蝗严重, 多为 II、III 级。灾害的范围逐渐扩大、强度加剧, 逐渐向长江下游蔓延, 处于蝗灾的扩散期。

1617年, I级蝗灾占30%, II级蝗灾占43%, III级蝗灾占15%, IV级蝗灾占12%, 强度进一步上升。受灾县次虽有所减少, 但灾情较之前有所加重, 尤其是IV级蝗灾显著增多。北方灾情有所缓解, 中南部多为I、II级蝗灾。山西有15个县域受灾, 临汾、运城等地出现III、IV级蝗灾。山东夏秋两季蝗灾灾情加重, 波及中部19个县域, 并多为III、IV级蝗灾。江苏、安徽等地灾情有所减轻,

但合肥、滁州等地仍有III、IV级暴发, 同时河南也有14个县域出现II、III级蝗灾。这一年蝗灾波及的范围较广, 灾害强度较高, 处于集中暴发期, 同期旱灾亦十分严重。1618年, 受灾地区主要以I、II级蝗灾为主, 灾区明显减少, 零星分布于河南、山东、安徽等地, 处于衰退期。1619年, 灾区范围进一步缩减, 以I级蝗灾为主, 残留于山东、河南等, 为尾声期。



本图基于自然资源部标准地图服务网 (<http://bzdt.ch.mnr.gov.cn/>) 下载的审图号为GS(2016)1552号的标准地图制作, 底图无修改。

图1 1615—1619年蝗灾演化图  
Fig.1 Distribution of locust plague during 1615—1619 AD

综上所述, 1615—1619年, 蝗灾暴发强度以II、III级为主, 受灾区域主要是关中—河南—山东一线及长江下游地区, 东北和西北地区关于蝗灾的记录较少。此次蝗灾暴发事件历经完整生命周期: 1615年局部发生, 1616年迅速扩散, 1617年达到顶峰, 1618年明显衰退, 至1619年消亡结束。

## 2.2 蝗灾的空间扩散和迁移

1615—1619年蝗灾主要发生在黄淮海平原及其毗邻地区, 为此聚焦该区域解析蝗灾的时空演化过程。根据平均中心迁移方法比较蝗灾逐年分布(图2)发现: 蝗灾的演化存在“先聚集后扩散”的特点。蝗灾的平均发生中心主要分布在山东省、河南省、安徽省, 其中位于河南省次数最多, 整体的迁移趋势是由北向南: 1615年(山东中部)—1616年(河南东北部)—1617年(河南中部)—1618年(河南东部)—1619年(安徽西北部)。

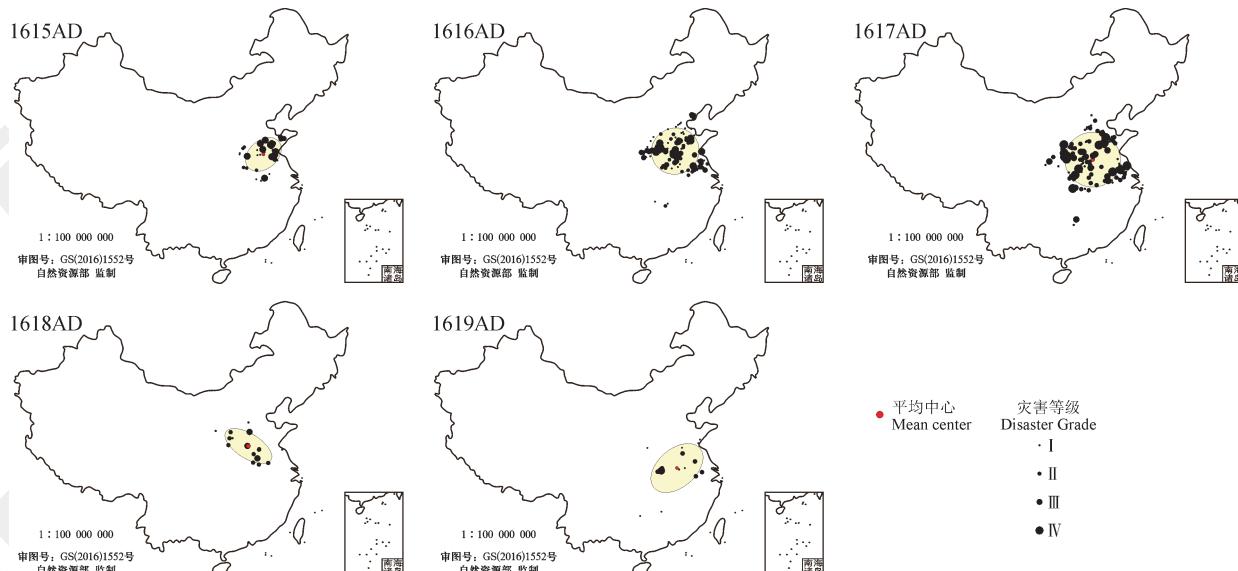
## 3 群发灾害分析

旱、涝、蝗是中国历史上的三大农业灾害, 对于三者之间的关系值得探讨。选取研究时段内蝗灾暴发峰值期1617年, 根据各省灾害波及县次, 采用相关分析探讨灾害间的关系。结果显示: 蝗灾与旱灾的发生呈现显著的正相关( $r=0.748, p<0.01$ ), 而蝗灾与涝灾间存在负相关相关, 但并不显著( $r=-0.45, p>0.05$ )。

将蝗灾暴发分为三类——独立发生的蝗灾、伴随干旱发生的蝗灾及伴随涝灾发生的蝗灾, 进一步可视化以探究各因素之间的关系(图3)。在灾害高发期, 旱、蝗之间的相关性较涝、蝗之间更加显著, 在空间分布上旱、蝗发生的区域存在重叠。另外, 1615—1619年, 旱、蝗同年发生的县次(105)远高于涝、蝗同年发生的县次(11)。从生态学看, 干旱年河湖水位下降、土壤坚实且含

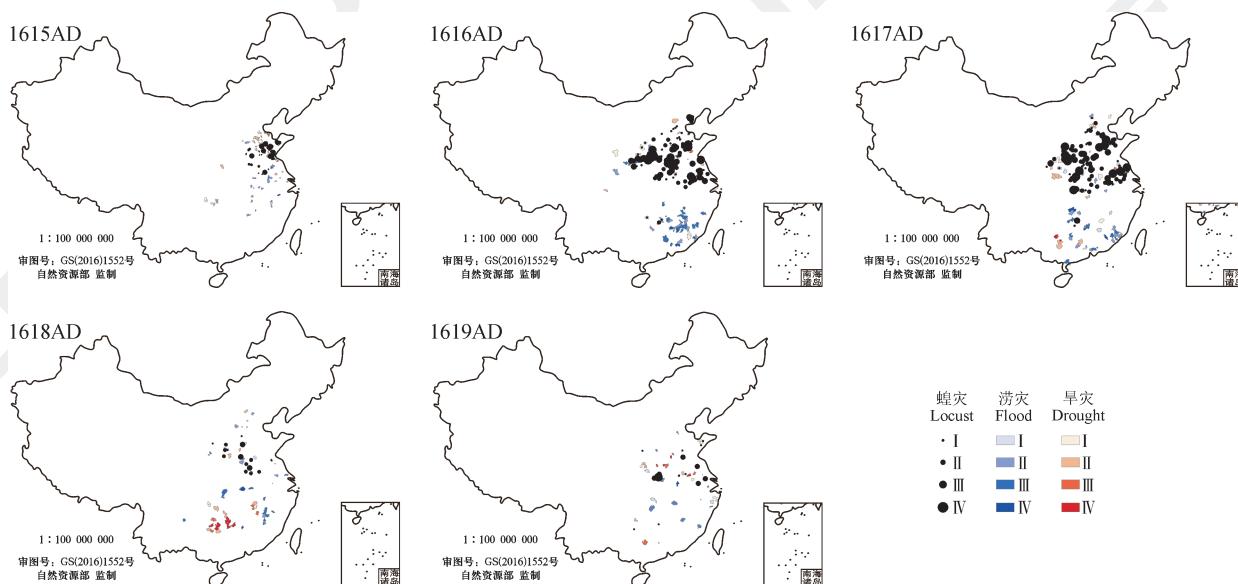
水量降低，裸露的洼地为蝗虫提供了适宜的产卵场所，可供蝗虫产卵的区域大大增加，食用含水量低的植物加快了蝗虫的生长和繁殖；阴湿的环境对蝗虫有诸多不利影响，甚至会直接杀死虫卵（陈永

林，2005；张琨佳等，2014）。但旱、涝、蝗间并不是简单的线性关系，有研究指出蝗灾暴发多数集中在干旱环境，极少出现在涝灾过后，而极旱条件下也未必出现蝗灾（萧凌波，2018）。



本图基于自然资源部标准地图服务网(<http://bzdt.ch.mnr.gov.cn/>)下载的审图号为GS(2016)1552号的标准地图制作，底图无修改。

图 2 1615—1619 年蝗灾中心迁移  
Fig.2 Migration of the locust plague center during 1615—1619 AD



本图基于自然资源部标准地图服务网(<http://bzdt.ch.mnr.gov.cn/>)下载的审图号为GS(2016)1552号的标准地图制作，底图无修改。

图 3 1615—1619 年蝗 - 旱 - 涝灾害分布图  
Fig.3 Distribution of locust plague, droughts and flood during 1615—1619 AD

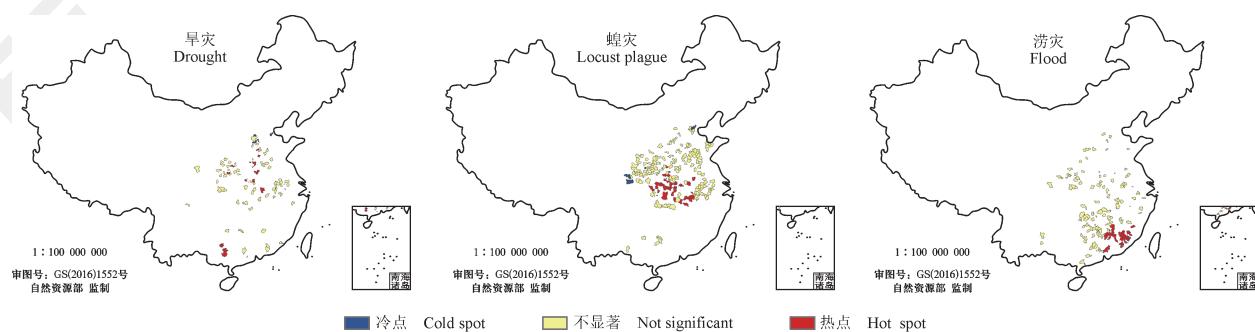
整合 1615—1619 年蝗灾、旱灾和涝灾发生的县数和等级，以灾害等级确定灾害暴发的空间群集模式（图 4）。黄河流域、淮河流域及长江中下游地区都是蝗灾发生的热点区域，西南、关中等

地亦出现灾情。在高灾害等级的空间对应关系中，旱灾和蝗灾的高灾害点都位于华北，而涝灾集中在长江下游。

此次群发灾害事件中蝗灾呈现“北方主导”

的局面, 以 1616—1617 年为中位数段前后增加 24 年共 50 年作为分析时段, 借助中国北方气温指数 (Yi et al., 2012) 和降水指数探究气候变化对蝗灾的影响, 绘制了蝗灾、温度、降水三者对比曲线图 (图 5)。1617—1619 年全球处于稳定低温期, 蝗灾发生县次与中国北方气温指数呈显著正相关

( $r=0.654$ ,  $p<0.01$ ), 即蝗灾的高发期对应中国的温暖期; 蝗灾与降水之间呈显著负相关 ( $r=-0.523$ ,  $p<0.01$ ), 即降水增多抑制蝗灾。从生物学角度看, 蝗虫卵的孵化与土壤温度、含水量以及天气等有着密切的联系, 在 30℃常温下 14 天就可孵化, 有效积温是促进孵化的能量来源 (陈永林, 2007)。



本图基于自然资源部标准地图服务网(<http://bzdt.ch.mnr.gov.cn/>)下载的审图号为 GS(2016)1552 号的标准地图制作, 底图无修改。

图 4 蚪 - 蝗 - 涝热点分析  
Fig.4 Hotspot analysis of droughts, flood and locust plague

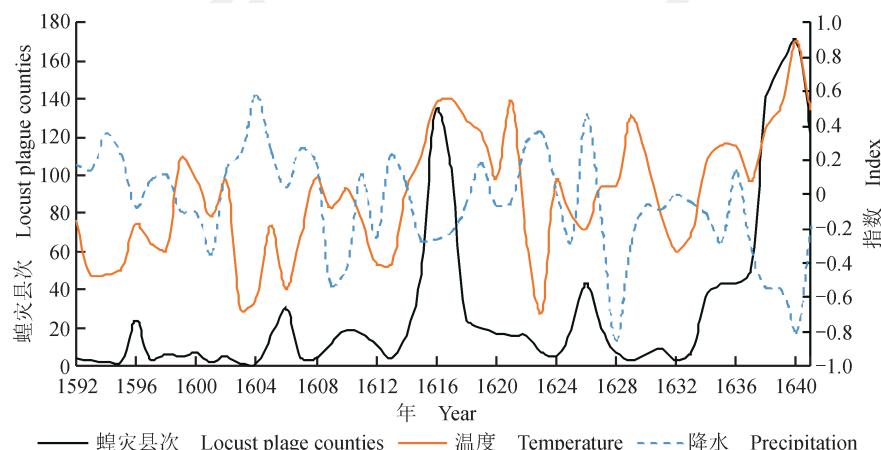


图 5 1615—1619 年蝗灾与气温、降水序列对比  
Fig.5 Comparison of locust plague, temperature and precipitation series during 1615—1619 AD

#### 4 蝗灾的社会响应

方修琦等 (2015) 采用粮食歉收等级、饥荒指数和农民起义频率与温度记录等量化指标讨论了历史气候变化对中国社会的影响以及气候变化与灾害链关系, 认为气候变化加剧会导致农业歉收, 继而引发一系列灾害。同样, 本研究选取米价、饥荒、瘟疫等社会因素来探讨蝗灾对社会的威胁, 探究灾害对农业社会的影响。

大范围持续性蝗灾的暴发会引发农作物歉收、粮食价格上涨, 甚至出现饥荒。地方志中有诸多蝗

灾发生后米价上涨的记录, 如“大旱, 斗米蝗蠍为灾, 斗米价至二两。饿殍盈野, 父子相食”(康熙《登封县志》卷九); “八月飞蝗蔽天, 民大几疫, 斗米千钱, 死者日以数百计, 人相蚕食”(道光《重修蓬莱县志》卷七); 咸丰七年, “恩县, 飞蝗蔽天, 米价腾贵, 讹言四起”(民国《重修新城县志》卷四); 嘉靖三年, 淮阳地区“先旱蝗后多风雨, 民艰食, 米贵”(《三吴水考》卷六)。平稳的粮食价格是社会稳定的前提, 导致粮食价格波动的因素很多, 自然灾害是其一。此外, 官府决策、农业结构、战争等都可能引起粮价波动。

数据库中有明确蝗灾发生月份记录，89.5% 的蝗灾发生在四至八月，此时正是稻、粟、麦生长收获的时间，因此饥荒的发生不可避免（孔冬艳，2017）。明万历四十三年（1615 AD），“夏，旱蝗；秋，大饥，米价涌贵，民刮木皮和糠秕而食，林木为之一尽，饿死者道相枕藉，乃有割尸肉而食者，遂相食，法不能止；又有奸民虐卖男女，贩之远方，辄获重利，往来络绎道路不绝，哭嚎之声震天动地，周岁之间兵死者、狱死者、饥寒死者、疾疫死者、流亡者，全齐生齿十去其六，民间相传，从来未有此厄”（康熙《续安丘县志》卷 1）。明万历四十四年（1616 AD），“秋七月，蝗飞蔽天，落地尺余，原沟堑尽平，大伤禾稼。后蝻生，复食豆蔬，人民饥馑”（康熙《迁安县志》卷七）。在研究时段内，34 个县出现了“大饥，人相食”的悲剧，持续三年的大饥荒直至 1618 年蝗灾结束才得以缓解。

严重的饥荒会促使疫灾的发生。长期食不果腹、营养不良、免疫力下降十分容易产生瘟疫，同时饥荒引发的人口大量死亡、尸体的未及时处理及人口的频繁贩卖流动等加剧了瘟疫的蔓延与恶化。明嘉靖七年，“安丘，成子春，大蝗饥”（万历《安丘县志》卷一），四十年“密云，怀柔大旱，蝗蝻”（康熙《怀柔县新志》），在后续记载中均有瘟疫出现，形成了蝗灾 - 饥荒 - 瘟疫的灾害链。本研究中，1615 年有三个县发生疫灾，伴随着蝗灾和饥荒的进一步加重，1616 年疫灾县数增至 10 个，1618 年增至 15 个。随蝗灾结束和饥荒缓解，1619 年灾疫县数减少到 3 个。疫灾的发生周期与蝗灾十分吻合，并显示出一定的滞后性。

## 5 结论

基于对历史文献资料的梳理，针对 1616—1619 年旱、蝗、涝等群发灾害，以蝗灾为主线复原了 1616—1619 年群发灾害的时空演化过程及相互关联，进而探究灾害的环境背景与社会影响。结论如下：

（1）1615—1619 年蝗灾发生存在一个完整的演化周期，即：始发期—扩散期—暴发期—衰退期—尾声期，1616、1617 年是灾害高发年。

（2）蝗灾等级以中、高级为主，集中在黄淮海平原及其毗邻地区，山东、河南、安徽等地为主要受灾区。空间上呈现“北密南疏”、“北方主导”的分布格局，存在自北向南的重心迁移现象。

（3）在研究时段内，旱灾促进蝗灾的暴发，旱 - 蝗组合灾害集中暴发在黄淮海平原，而涝灾主要分布在长江下游、珠江中下游地区，与蝗灾关系较弱。

（4）在相对较冷阶段，升温显著促进了蝗灾发生，而降水表现出显著的抑制作用。

（5）旱灾 - 蝗灾 - 饥荒 - 瘟疫灾害链使灾情逐渐加重，体现了自然灾害的时空传递，其中二次灾害的发生具有滞后性。

## 参考文献

- 阿利亚·艾尼瓦尔 . 2018. 清末新疆的蝗灾与政府应对 [J]. 民族研究 , (4): 99–114, 126. [Aliya·Aniwar. 2018. The plague of locust and the control of the disaster in Xinjiang during the Late Qing Dynasty period [J]. *Ethno-National Studies*, (4): 99–114, 126.]
- 陈永林 . 2000a. 蝗虫灾害的特点、成因和生态学治理 [J]. 生物学通报 , 35(7): 1–5. [Chen Y L. 2000a. Characteristics, causes and ecological management of locust disasters [J]. *Bulletin of Biology*, 35(7): 1–5.]
- 陈永林 . 2000b. 蝗虫再猖獗的控制与生态学治理 [J]. 中国科学院院刊 , 15(5): 341–345. [Chen Y L. 2000b. Control and ecological management of locust resurgence [J]. *Bulletin of the Chinese Academy of Sciences*, 15(5): 341–345.]
- 陈永林 . 2005. 改治结合，根除蝗害的关键因子是“水”！ [J]. 昆虫知识 , 42(5): 506–509. [Chen Y L. 2005. Water is the key factor in management of the oriental migratory locust [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 42(5): 506–509.]
- 陈永林 . 2007. 中国主要蝗虫及蝗灾的生态学治理 [M]. 北京 : 科学出版社 : 31–41. [Chen Y L. 2007. Ecological management of locusts and locust plagues in China [M]. Beijing: Science Press: 31–41.]
- 方修琦，苏 篓，尹 君，等 . 2015. 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 [J]. 中国科学：地球科学 , 45(6): 831–842. [Fang X Q, Su Y, Yin J, et al. 2015. Transmission of climate change impacts from temperature change to grain harvests, famines and peasant uprisings in the historical China [J]. *Science China: Earth Sciences*, 45(6): 831–842.]
- 黄慰军，黄 镇，李 聰 . 2005. 新疆博斯腾湖亚洲飞蝗大暴发气候成因分析 [J]. 灾害学 , 20(3): 84–87. [Huang

- W J, Huang Z, Li C. 2005. Analysis of climatic factors of formation of Asiatic migratory locust firestorm in Xinjiang Bosteng Lake [J]. *Journal of Catastrophology*, 20(3): 84–87.]
- 景晓红, 康乐. 2003. 飞蝗越冬卵过冷却点的季节性变化及生态学意义 [J]. *昆虫知识*, 40(4): 326–328. [Jing X H, Kang L. 2003. Seasonal changes in the supercooling point of overwintering eggs of *Locusta migratoria* [J]. *Entomological Knowledge*, 40(4): 326–328.]
- 康乐, 李鸿昌, 陈永林. 1989. 中国散居型飞蝗地理种群数量性状变异的分析 [J]. *昆虫学报*, 32(4): 418–426. [Kang L, Li H C, Chen Y L. 1989. Analyses of numerical character variations of geographical populations of *Locusta migratoria* phase *solitaria* in China [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 32(4): 418–426.]
- 孔冬艳, 李钢, 王会娟, 等. 2017. 1689—1693年中国旱蝗群发性灾害研究 [J]. 兰州大学学报(自然科学版), 53(6): 770–778. [Kong D Y, Li G, Wang H J, et al. 2017. Multi-disasters during 1689—1693 in China with a focus on drought and locust [J]. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences)*, 53(6): 770–778.]
- 孔冬艳. 2017. 近千年来(960—1949 AD)华北平原及毗邻地区蝗灾地理研究 [D]. 西安: 西北大学. [Kong D Y. 2017. Research on geography of locust plague in North China Plain and its adjacent areas during 960—1949 AD [D]. Xi'an: Northwest University.]
- 李冰祥, 陈永林, 蔡惠罗. 2001. 飞蝗不同地理种群抗寒性研究 [J]. *生态学报*, 21(12): 2023–2030. [Li B X, Chen Y L, Cai H L. 2001. The cold-hardiness of different geographical populations of the Migratory Locust, *Locusta migratoria* L. (Orthoptera, Acrididae) [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 21(12): 2023–2030.]
- 李钢, 刘倩, 王会娟, 等. 2015a. 江苏千年蝗灾的时空特征与环境响应 [J]. *自然灾害学报*, 24(5): 184–198. [Li G, Liu Q, Wang H J, et al. 2015a. Spatiotemporal characteristics and environmental response of locust plague in Jiangsu Province during the past one thousand years [J]. *Journal of Natural Disasters*, 24(5): 184–198.]
- 李钢, 刘倩, 杨新军, 等. 2015b. 明清时期河南蝗灾时空特征及其与气候变化的联系 [J]. *自然灾害学报*, 24(1): 66–76. [Li G, Liu Q, Yang X J, et al. 2015b. Temporal-spatial characteristics of locust plague in Henan Province during Ming and Qing dynasties and their relationship with climate change [J]. *Journal of Natural Disasters*, 24(1): 66–76.]
- 李钢, 王乃昂, 李卓仑. 2010. 中国历史蝗灾动态的社会影响及生态环境意义 [J]. *地理科学进展*, 29(11): 1375–1384. [Li G, Wang N A, Li Z L. 2010. Study on social influence, environmental significance and ecological explanation of the dynamics of locust plagues in China during the historical period [J]. *Progress in Geography*, 29(11): 1375–1384.]
- 李钢. 2008. 历史时期中国蝗灾记录特征及其环境意义集成研究 [D]. 兰州: 兰州大学. [Li G. 2008. An integrated study on record characteristics and environmental significance of locust plagues in China during the historical period [D]. Lanzhou: Lanzhou University.]
- 马利利. 2012. 明清时期驱蝗神祈禳研究 [D]. 天津: 天津师范大学. [Ma L L. 2012. Study on the praying of locust god in the Ming and Qing dynasties [D]. Tianjin: Tianjin Normal University.]
- 满志敏. 1988. 明崇祯后期大蝗灾分布的时空特征探讨 [M]//《历史地理》(第六辑). 上海: 上海人民出版社. [Man Z M. 1988. Discussion on the spatial and temporal characteristics of the locust plague distribution in late Chongzhen period of Ming Dynasty [M]// *Historical Geography* (Sixth Series). Shanghai: Shanghai People's Publishing House.]
- 满志敏. 1997. 黄浦江水系形成原因述要 [J]. *复旦学报(社会科学版)*, (6): 54–59, 111. [Man Z M. 1997. A brief survey of the causes of forming of Huangpu River system [J]. *Fudan Journal (Social Sciences Edition)*, (6): 54–59, 111.]
- 施和金. 2002. 论中国历史上的蝗灾及其社会影响 [J]. 南京师大学报(社会科学版), (2): 148–154. [Shi H J. 2002. On plagues of locusts in the history of China and their social influence [J]. *Journal of Nanjing Normal University (Social Science Edition)*, (2): 148–154.]
- 王会娟, 李钢, 孔冬艳, 等. 2017. 1526—1530年我国群聚性灾害的地理特征与气候背景分析 [J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 48(3): 405–413. [Wang H J, Li G, Kong D Y, et al. 2017. Geographic features and climatic background analysis of clustering disasters in China during 1526—1530 [J]. *Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition)*, 48(3): 405–413.]
- 王建革. 2000. 清代华北的蝗灾与社会控制 [J]. *清史研究*,

- (2): 100–107. [Wang J G. 2000. Locust plagues in North China and social control in the Qing Dynasty [J]. *Studies in Qing History*, (2): 100–107.]
- 王鹏辉 . 2017. 清代新疆的蝗灾与蝗神信仰 [J]. *西域研究* , (4): 78–88, 142–143. [Wang P H. 2017. Locust plague and locust spirit belief in Xinjiang in the Qing Dynasty [J]. *The Western Regions Studies*, (4): 78–88, 142–143.]
- 萧凌波 . 2018. 清代华北蝗灾时空分布及其与水旱灾害的关系 [J]. *古地理学报* , 20(6): 1113–1122. [Xiao L B. 2018. Spatial-temporal distribution of locust plague and its relationship with flood/drought in North China during the Qing Dynasty [J]. *Journal of Palaeogeography (Chinese Edition)*, 20(6): 1113–1122.]
- 萧廷奎 , 彭芳草 , 李长付 , 等 . 1964. 河南省历史时期干旱的分析 [J]. *地理学报* , 30(3): 259–276. [Hsiao T K, Peng F T, Li C F, et al. 1964. On the droughts occurring in historical period of Honan Province [J]. *Acta Geographica Sinica*, 30(3): 259–276.]
- 邢 闪 , 赵景波 . 2011. 明代济南地区干旱灾害特征与小波分析研究 [J]. *地球环境学报* , 2(5): 619–624. [Xing S, Zhao J B. 2011. The research on drought disasters and wavelet analysis in Jinan in Ming Dynasty [J]. *Journal of Earth Environment*, 2(5): 619–624.]
- 尤其敬 , 郭 郢 , 陈永林 , 等 . 1958. 东亚飞蝗 (*Locusta migratoria manilensis* Meyen) 的生活习性 [J]. *昆虫学报* , 8(2): 119–135, 192–193. [You Q J, Guo F, Chen Y L, et al. 1958. Living habits of *Locusta migratoria manilensis* Meyen [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 8(2): 119–135, 192–193.]
- 张德二 . 2004. 中国三千年气象记录总集 [M]. 南京 : 凤凰出版社 : 1432–1465. [Zhang D E. 2004. A compendium of Chinese meteorological records of the last 3,000 years [M]. Nanjing: Phoenix Publishing House: 1432–1465.]
- 张琨佳 , 杨 帅 , 苏 篓 . 2014. 明清时期我国水、旱灾害时空演变特点的对比分析 [J]. *地球环境学报* , 5(6): 385–391. [Zhang K J, Yang S, Su Y. 2014. A comparison of spatial and temporal distribution of flood and drought in Ming and Qing Dynasty [J]. *Journal of Earth Environment*, 5(6): 385–391.]
- 章义和 . 2008. 中国蝗灾史 [M]. 安徽 : 安徽人民出版社 . [Zhang Y H. 2008. History of locust plague in China [M]. Anhui: Anhui People's Publishing House.]
- 郑景云 , 葛全胜 , 郝志新 , 等 . 2014. 历史文献中的气象记录与气候变化定量重建方法 [J]. *第四纪研究* , 34(6): 1186–1196. [Zheng J Y, Ge Q S, Hao Z X, et al. 2014. Paleoclimatology proxy recorded in historical documents and method for reconstruction on climate change [J]. *Quaternary Sciences*, 34(6): 1186–1196.]
- 郑云飞 . 1990. 中国历史上的蝗灾分析 [J]. *中国农史* , (4): 38–50. [Zheng Y F. 1990. Analysis of locust plague in Chinese history [J]. *Agricultural History of China*, (4): 38–50.]
- 朱天征 , 李金枝 . 2002. 黄河三角洲地区东亚飞蝗灾害及防御对策 [J]. *灾害学* , 17(2): 52–56, 69. [Zhu T Z, Li J Z. 2002. Disasters of oriental migratory locust in the delta region of the Yellow River and countermeasures [J]. *Journal of Catastrophology*, 17(2): 52–56, 69.]
- Huang B B, Li G, Li F Q, et al. 2019. The 1855 to 1859 locust plague in China [J]. *Natural Hazards*, 95(3): 529–545.
- Yi L, Yu H J, Ge J Y, et al. 2012. Reconstructions of annual summer precipitation and temperature in north-central China since 1470 AD based on drought/flood index and tree-ring records [J]. *Climatic Change*, 110(1/2): 469–498.