

东北-华北民国鼠疫与霍乱流行特征 及其与气象要素关联性对比*

杨怡坤, 殷淑燕

陕西师范大学地理科学与旅游学院, 陕西 西安 710119

摘要: 民国时期东北-华北地区鼠疫与霍乱频发, 是当时最突出的公共卫生灾难之一。本研究在构建1912—1949年疫情数据库的基础上, 结合同期气象栅格数据, 运用Mann-Kendall突变检验与空间自相关分析, 比较两类疫病的时空分布差异, 并辨识其气候响应机制的区域分异规律。结果表明: 1) 时序上, 两疫在1917—1921年、1928—1935年、1943—1947年出现一致性的高峰期。2) 季节分布截然相反。鼠疫高峰在冬季(34.9%), 霍乱则集中于夏、秋季(97.7%)。3) 空间上, 鼠疫热点呈“蒙东-蒙中”高值带, 由自然疫源地属性主导; 霍乱形成京津城市群与东北铁路走廊2类聚集模式, 受交通、人口及水系卫生条件影响显著。4) 气候响应上, 有65.69%和51.92%区域的鼠疫分别与气温和降水呈负相关性, 鼠疫偏好低温干燥; 64.89%和63.92%区域的霍乱分别与气温和降水呈正相关性, 霍乱偏好高温高湿。气候突变年份, 鼠疫对气温突变更敏感, 霍乱对降水突变更敏感, 2类疫病的气候响应存在显著分异。研究可为现代防疫差异化风险管理提供历史借鉴。

关键词: 鼠疫; 霍乱; 气象要素; 民国时期; 东北-华北地区

中图分类号: P954; K928 文献标志码: A 文章编号: 2097-0137(XXXX)XX-0001-14

Epidemic characteristics of plague and cholera and their association with meteorological factors in Northeast-North China during the republic period of China

Yang Yikun, Yin Shuyan

School of Geography and Tourism, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China

Abstract: Plague and cholera frequently occurred in Northeast-North China during the republic period of China, representing one of the most severe public health crises of the period. Using an epidemic database (1912–1949) and concurrent meteorological grid data, this study employed Mann-Kendall mutation tests and spatial auto-correlation analysis to compare the spatiotemporal distributions of the two diseases and to identify regional differentiation patterns in their climatic response mechanisms. The results showed that: 1) Temporally, both diseases exhibited consistent peak periods during 1917–1921, 1928–1935, and 1943–1947. 2) Their seasonal distributions were opposed: plague peaked in winter (34.9%), whereas cholera was concentrated in summer and autumn (97.7%). 3) Spatially, plague hotspots formed a high-value belt in eastern-central Inner Mongolia, dominated by natural foci attributes; cholera hotspots clustered in the Beijing-Tianjin urban agglomeration and the Northeast

* 收稿日期: 2025-08-03

录用日期: 2026-03-23

网络首发日期: XXXX-XX-XX

基金项目: 教育部人文社会科学研究规划基金(24YJA770014); 国家自然科学基金(41771110)

作者简介: 杨怡坤(2001年生), 女; 研究方向: 气候变化与自然灾害; E-mail: charest@snnu.edu.cn

通信作者: 殷淑燕(1970年生), 女; 研究方向: 气候变化与自然灾害; E-mail: yinshy@snnu.edu.cn

全文阅读



ZR20250165

railway corridor, significantly influenced by transportation networks, population density, and water sanitation conditions. 4) Climatic responses showed that, plague was negatively correlated with temperature (65.69% of the study area) and precipitation (51.92%), favoring cold-dry conditions. Conversely, cholera was positively correlated with temperature (64.89%) and precipitation (63.92%), favoring warm-humid conditions. During years of abrupt climate change, plague was more sensitive to temperature shifts, whereas cholera was more sensitive to precipitation changes, revealing a marked differentiation in their climatic responses. This study provides historical references for differentiated risk management in modern epidemic prevention.

Key words: plague; cholera; meteorological elements; the republic period of China; Northeast-North China

疫灾指急性、烈性传染病大规模流行所导致的灾害,被视为人类灾害链网中的顶级灾害(龚胜生等,2021a)。在全球变化与人类活动加剧的背景下,21世纪以来非典、埃博拉、新冠等新型传染病的出现,促使学界日益重视历史疫灾地理学研究(龚胜生等,2021b)。民国时期,鼠疫与霍乱两大烈性传染病在东北-华北地区持续流行,对社会经济、人口结构及公共卫生体系均产生了深远影响。

鼠疫与霍乱同为民国时期危害极大的传染病,但二者的病原特性、传播途径与流行机制存在明显差异。鼠疫作为人畜共患的自然疫源性疾病,其流行与宿主(如啮齿类动物)及媒介生态密切相关。研究表明,寒冷干燥条件更利于鼠疫流行,低温有助于病原体在外界存活,并驱使鼠类向人居区域聚集(方喜业等,2006)。《山西通志》中已有较具体的鼠疫流行记载,“是岁大疫,肿项善染,病者不敢问,死者不敢吊”,说明当时疫病不仅传染性强,而且已造成明显的社会恐慌(曹树基,1997)。霍乱则是典型的水源性肠道传染病,在卫生基础薄弱的民国时期频繁暴发(单丽,2014)。1932年全国性霍乱大流行,沿铁路与水路迅速蔓延(张涛等,2025),《辽阳县志》载“霍乱时疫盛行,有阖门死者,有全村染疫者”,又称“霍乱盛行,疫死者甚众”(凤凰出版社,2006),反映出霍乱不仅传播迅速,而且具有较强的社会扩散性。可见,上述2类疫病在流行季节、扩散途径及气候敏感性上可能具有明显差异。

国内外关于疫病与气候关系的研究已取得显著进展。国内研究多聚焦于特定区域,揭示疫灾与气温、湿度、气压等因子的相关性(李孜沫,2020;郭艺澍等,2023;谈荣梅,2004;Lee et al.,2017),并进一步借助档案与方志资料重建长时间序列疫灾图谱(龚胜生,2019),结合地理信息系统分析其空间

传播模式(殷淑燕等,2025),探索气候影响与防疫路径(张琳,2016)。国际研究则侧重关注欧洲、非洲重大瘟疫与气候波动的响应机制,强调温、湿度的关键作用及其季节效应(Baharom et al.,2021;Benedictow et al.,2021;Yue et al.,2018;Song et al.,2019;Schmid et al.,2015;Zhou et al.,2025)。已有研究亦指出,湿度可通过影响传播媒介控制疫灾扩散(Sumi et al.,2017),探究了高温与太阳辐射对SARS等病毒的影响机制(Limaheluw et al.,2024)。这些成果为理解“气候-疫病”关系奠定了重要基础。然而,现有研究在不同疫病与不同区域之间的系统比较方面仍较为有限,尤其缺乏针对传播机制与宿主特性迥异的疾病(如鼠疫与霍乱)之间,气候响应路径的对比分析。此外,融合历史文献与高分辨率气象数据开展机制探讨的案例亦显不足。

在此背景下,开展鼠疫与霍乱的对比研究,不仅能够揭示2类疫病在相同气候背景下迥异的流行逻辑,更可透过区域差异辨析自然因素与社会因素在疫病传播中的交互作用。因此,本研究聚焦于民国时期东北-华北地区,探究了时空格局上,鼠疫与霍乱的异同,二者流行背后的主导驱动机制,尤其是气候因子作用途径的本质区别,以及同一时期出现流行高峰的气候学背景。本研究期望为理解不同类型传染病的气候响应机制提供实证依据,亦为差异化的区域公共卫生策略提供历史借鉴。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况

本研究聚焦于中国东北-华北地区(图1)。在地理范围上,区域涵盖黑龙江省、吉林省、辽宁省、河北省、内蒙古自治区、山西省、北京市和天津市。对应民国时期行政区划,主要包括奉天(辽宁)、吉

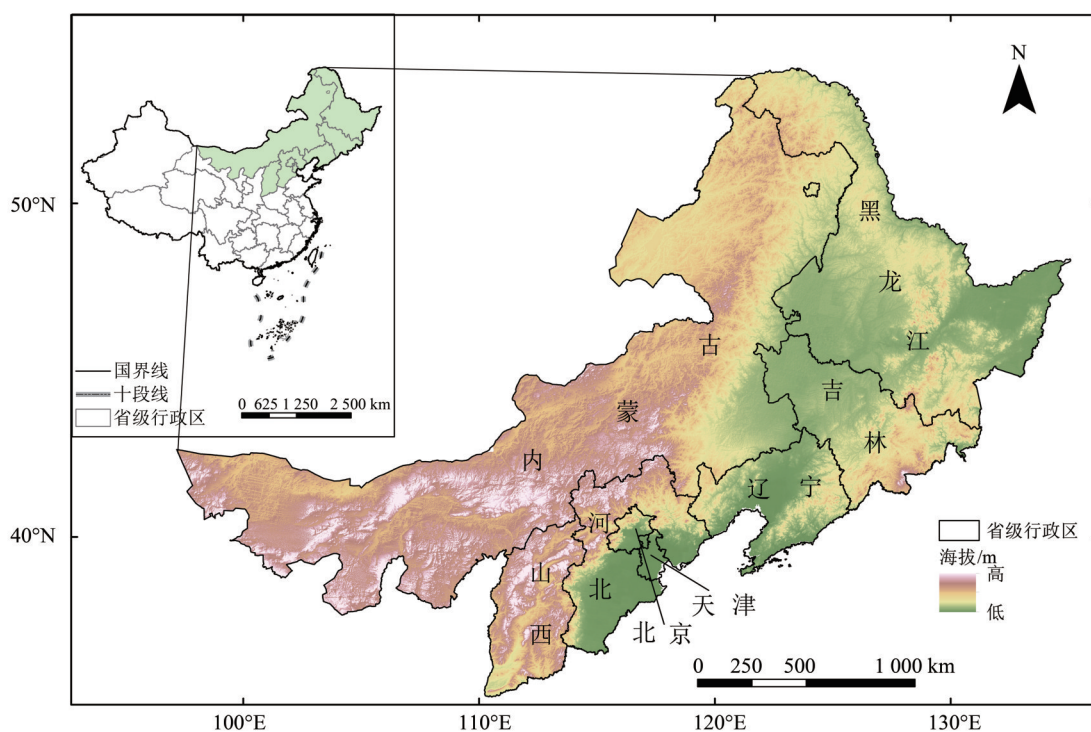
林、黑龙江、河北(直隶)、山西、热河、察哈尔、绥远等省,以及北平、天津等重要城市。

研究区域在地势上,整体呈现西高东低格局。东北地区以东北平原为核心,三面环抱大兴安岭、小兴安岭与长白山脉,形成相对封闭的自然单元;华北地区则以华北平原为主体,西接黄土高原,东临渤海,地势开阔,地形相对开放,水陆交通网络发达。气候方面,两地同属东部季风区,具有雨热同期的特征,降水集中于夏季,气候季节性变化共同影响病原体繁殖与传播。然而,两地区域气候差异显著,东北属寒温带,冬季漫长寒冷;华北为暖温带,气候较为温和。这种气候寒温与暖温、地形封闭与开放的对比,深刻影响了疫病传播中媒介生态、病原体存活与人类活动的互动模式。

社会历史背景进一步强化了区域差异。民国时期政局动荡,中央政权更迭频繁、控制力薄弱,加之军阀割据、日本侵略与国共内战等因素,深刻影响了区域发展路径。东北在日本殖民推动下人口

增长迅速,1908—1930年增幅约72%(荆蕙兰等,2021),走上了一条被动而快速的工业化道路;而华北则在内外部政权的压力下人口流失严重。据满铁人事课劳务股调查统计,“华北人口流向东北的人数由1926年的50多万人猛增至100多万人,并且持续三年之久”(东北文化社年鉴编印处,1931)。传统的农业社会结构衰落,使得华北社会整体陷入危机的前工业化农业社会阶段(张爱明,2019)。与此同时,两地通过“闯关东”“走西口”等人口流动,中东铁路与京汉铁路等陆路干线,以及松花江、辽河、黄河等水系紧密相连,为疫病跨区域传播创造了条件。华北更因地处东北与全国联系的枢纽,成为疫病传播的重要中转站。

在此自然与社会背景下,开展东北与华北的对比研究,有助于辨析不同环境条件下气候因子与鼠疫、霍乱两大疫病的关联机制,为揭示中国东部传染病流行的区域分异规律提供实证支撑。



审图号为GS(2024)0650,底图无修改。

图1 研究区概况

Fig. 1 Location of the study area

1.2 数据来源及处理

本研究的霍乱、鼠疫两大灾种史料信息来源于《中国三千年疫灾史料汇编》中的民国卷部分,该汇

编以现代省级政区为纲,以民国时期县级政区为目进行编排。资料摘录了现存正史、方志、档案等各类文献中有关疫灾发生的内容,包括疫灾发生的时

间、地域、原因、后果以及种类等信息,是迄今为止最完备的中国疫灾史料数据库(龚胜生,2019)。由于民国时期中国北方行政区划(尤其是省级区划)历经多次变动,而对于不同时间段的空间特征进行比较时需要在相同的地理空间进行,因此本研究依据现代地图作为研究区域,通过查阅行政区划历史相关资料(周振鹤等,2017;谭其骧,1991)古今对照,将民国的县级地名转化为对应的现代行政区(县、区级)进行统计。整理得到民国时期东北-华北地区的鼠疫记录1 034次、霍乱记录1 030次,建立两大灾种序列并将其在ArcMap 10.6中可视化,时间介于1912年1月1日—1949年9月30日。

气温及降水量数据源自国家地球系统科学数据中心平台(<http://www.geodata.cn>),空间分辨率为 $0.008\ 333\ 3^{\circ}$ (约1 km),选取时间为1912年1月—1949年12月。数据取自Climatic Research Unit全球 0.5° 气候数据及WorldClim的全球高分辨率气候数据,通过Delta空间降尺度方案在中国地区降尺度生成。并用496个独立气象观测点数据进行验证,验证结果可信(Peng et al.,2019)。气温单位为 $0.1\ ^{\circ}\text{C}$,降水量单位为 $0.1\ \text{mm}$ 。基于逐月气象栅格数据,首先进行投影转化并计算逐年平均气象数据,而后进行栅格裁剪并采用反距离权重空间插值法(IDW, inverse distance weighting),最后生成空间分辨率为1 km、时间跨度自1912—1949年逐年的平均气温、最高气温、最低气温和平均降水量栅格影像。

以县级发生疫灾次数(简称县次)作为空间统计指标,表示以县为统计单元的疫灾次数,该指标不代表病例数或发病率。由于现有疫灾资料中关于灾种发病人数、发病率等记录不全面,而疫灾县次和疫灾发生年数记载较为全面和准确,可以较好地表征疫灾的发生频率和空间强度,故使用这2个指标对鼠疫、霍乱两大灾种进行分析。当年县次统计不区分年内单个疫种的发生次数,均计为1县次。疫灾发生年次即指在1912—1949年发生该灾种的累计年数,只要某1年该县域有该灾种流行,则计入该疫灾发生年,以各县域作为行政单元统计。

1.3 研究方法

1.3.1 Mann-Kendall 突变检验法 Mann-Kendall 检验是一种非参数检验方法,被广泛应用于气候、水文等时间序列趋势变化及突变点检验;其优点是数据不需要服从特定的分布,也不受少数异常值的干扰(李学辉等,2020)。

1.3.2 GIS 空间分析 空间自相关分析可根据空间位置和属性的相似性来测度疫情在空间中的分布模式,发现空间集聚和异常,包括全局空间自相关和局部空间自相关。局部空间自相关分析可以进一步明确疫情在局部空间上的空间依赖程度及集聚模式。以全局莫兰指数(I , Moran's I)进行统计,对其进行假设检验得到 Z 值(齐凯等,2024)。

相关研究表明,气温和降水是响应区域水热变化最重要的2个气候因子。因此,本研究选取平均气温、最高气温、最低气温及平均降水量,作为影响东北-华北地区疫灾时空变化的主控气候因子进行相关性分析(黄葵等,2019)。基于本研究中疫灾数据、气象数据冷热点分析和莫兰指数结果,疫灾空间分布与气象要素空间分布均存在显著的空间自相关性,直接进行栅格相关性分析可能会高估结果的显著性。鉴于此,本研究在相关性分析时主要通过相关性空间分布及已知的疫病生态学规律相互论证,来推断其潜在关联。

2 结果与分析

2.1 两大灾种的时间发生特征

2.1.1 鼠疫年际变化特征 综合民国时期1912—1949年东北-华北地区鼠疫疫情统计数据显示,该区域38 a的鼠疫年际流行具有连续性,且呈现显著的时空异质性。通过对鼠疫波及县次的系统统计发现(图2a),总体上东北-华北地区累计鼠疫波及1 034县次,年均27个县级行政区受影响;高值年份分别为1917、1918、1921、1928及1930年,均超过50县次,其中1918年达到峰值(86县次),这与1917—1918年华北鼠疫大流行的历史记载高度吻合。整体研究区鼠疫流行范围随时间推移呈收缩趋势,这与民国中后期防疫体系的逐步建立密切相关。

鼠疫空间分布呈现显著的区域不均衡性,按县次降序为内蒙古>吉林>黑龙江>山西>河北>辽宁>天津>北京。受内蒙古草原半荒漠生态环境影响,啮齿类动物分布广泛,内蒙古的鼠疫发生县次占比显著高于其他省份,造成华北地区整体县次较东北地区高出28.2%。华北与东北地区的鼠疫流行趋势均表现为波动下降的总体特征,反映两地区可能在鼠疫区域防控措施上存在同步推进作用。

2.1.2 霍乱年际变化特征 民国时期东北-华北地区霍乱流行同样具有连续性,38 a累计达1 030县

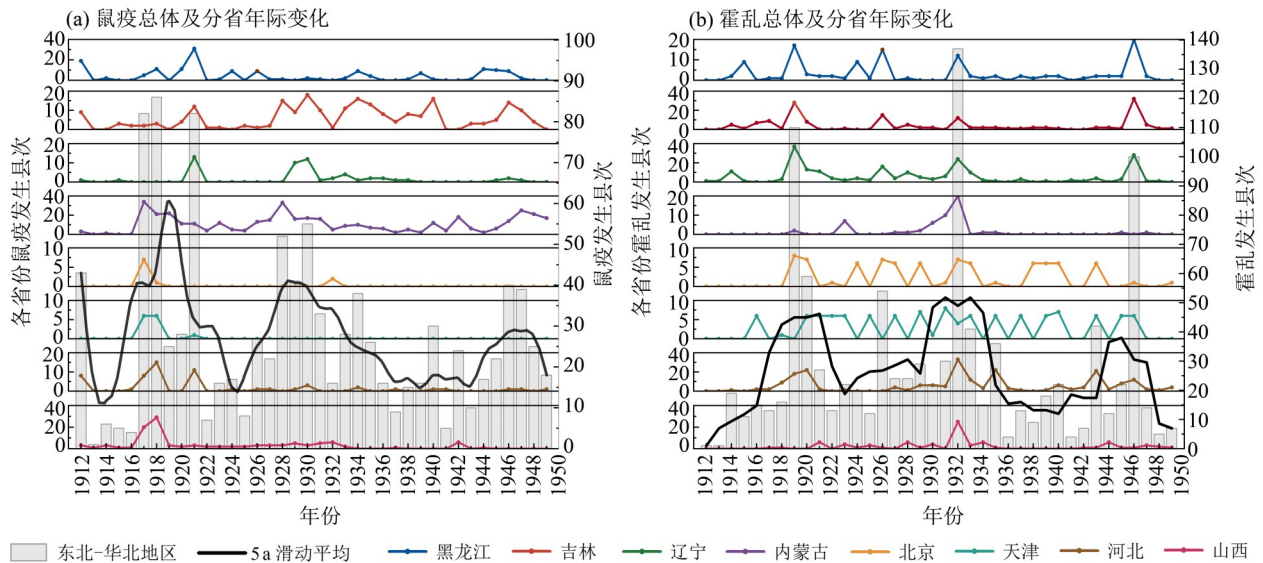


图2 鼠疫与霍乱总体及分省年际变化

Fig. 2 Variations of plague and cholera: overall and provincial trends

次,年均县次与鼠疫持平(图2b)。高值年份分别为1919、1932和1946年,均超过100县次,其中1932年达到历史峰值(137县次)。民国中期的霍乱县次显著高于其前后期,表现为突发性更强、波动范围更广,这一变化可能与社会动荡及人口流动加剧有关。

霍乱空间分布格局与鼠疫存在显著差异,按县次降序为河北>辽宁>吉林>黑龙江>天津>北京>山西>内蒙古。华北地区县次较东北地区高出11.5%,这与该区域水陆交通网络密集、人口流动性高密切相关。华北与东北地区霍乱流行趋势同样呈现高度同步性,反映了区域环境与社会经济因素的综合影响。

基于5a滑动平均模型的周期性波动分析表明,鼠疫、霍乱流行均存在3个显著高峰期,主要发生在1917—1921年、1928—1935年和1943—1947年,鼠疫在其他时段呈现高频波动特征,霍乱在其他时段波动幅度较小。

2.1.3 两大灾种季节变化特征 为明确民国时期鼠疫与霍乱发病的季节性规律,本研究仅选取史料中有明确季节或月份记载的疫灾案例进行统计,部分仅标注年份而无具体季节信息的原始记录被剔除,以保障统计结果的可靠性。有季节信息的鼠疫记录830次、霍乱记录899次,其中季节划分采用农历标准,即农历1—3月为春季、4—6月为夏季、7—9月为秋季、10—12月为冬季。鼠疫季节记录呈现明

显冬高夏低的季节分布特征,冬季发生290县次(占34.9%),秋季241县次,春季189县次,夏季仅110县次。这与肺鼠疫的传播密切相关,由于冬季低温会使空气中飞沫的鼠疫耶尔森杆菌(*Yersinia pestis*)存活时间延长,而空间内的聚集行为则会增加人际传播风险。霍乱记录则表现为夏、秋双高峰型分布,夏季447县次,秋季431县次,夏、秋季合计占比高达97.7%,春、冬季合计仅21县次。这与霍乱弧菌(*Vibrio cholerae*)在水温25~30℃时,其在水体中的倍增时间可缩短至约20 min(El-Liethy et al., 2025)密切相关,且群体夏季的生食习惯也增加了感染机会。二者在秋季因温度和降水条件适宜,形成共同多发季节。鼠疫多在冬季出现高峰,霍乱则在夏、秋出现高峰,反映出鼠疫耶尔森杆菌与霍乱弧菌2种病原体对气候条件的需求不同。温度、湿度等气候因子通过差异化调节2类病原体的活性,从而决定了两大灾种各自的流行季节。

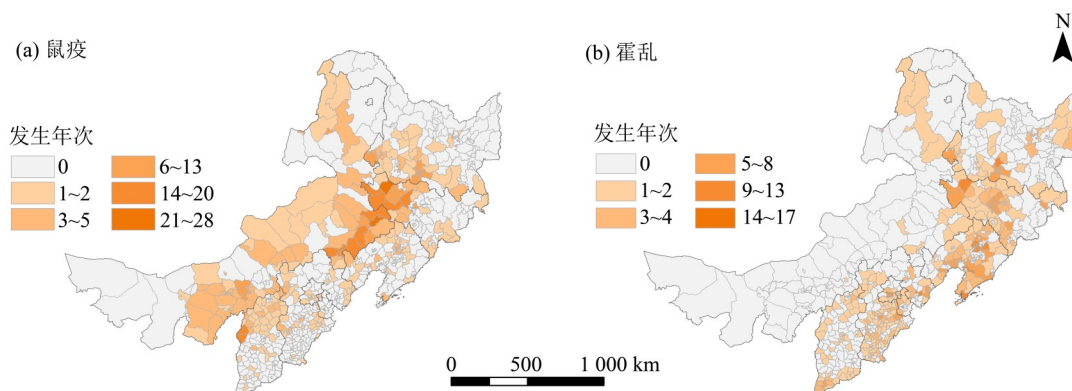
2.2 两大灾种发生年数的空间分布及冷热点分析

2.2.1 鼠疫的发生年数空间分布

民国38年间,东北-华北地区在鼠疫发生年数上呈现显著的空间分异(图3a)。具体疫情强度可分3层:21~28年次的极高频区,仅见于内蒙古科尔沁区(28年次)与吉林大安市(26年次);14~20年次高频区环绕核心区,分布于吉林西部、内蒙古东南部(赤峰、通辽)及山西西部,其中1911—1927年赤峰、通辽因旱獭捕猎活动疫情尤为剧烈;6~13年次中频扩散区范围更

广,在黑龙江高度集中于哈尔滨及中东铁路沿线,在内蒙古中西部则广泛散布,印证了交通对疫情传播的关键作用。整体上,该格局由自然疫源(内蒙古高原)、经济活动(捕獭)与交通动脉(铁路)共同塑造;呈现出以自然疫源地为核心、沿生态过渡带与铁路扩散的格局。内蒙古作为全国绝对核心疫

源地,其累计发生年数占全国总量的39.55%,其内部空间分布呈现“蒙东-蒙中高值带”特征。14~28年次发生县集中分布在蒙东的科尔沁草原,4~10年次发生县集中分布在蒙中的乌兰察布高原和鄂尔多斯高原,凸显出内蒙古作为鼠疫自然疫源地的持续活跃性。



审图号为GS(2024)0650,底图无修改。

图3 鼠疫和霍乱发生年数空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of occurrence of plague and cholera

2.2.2 霍乱的发生年数空间分布 霍乱在民国时期的流行与鼠疫呈现不同的区域传播特征(图3b)。华北地区霍乱发生年数高于东北地区,高发区呈现显著的城市聚集特征,形成以北京、天津2市为核心的最高频区域。天津市内多区发生年数达14~17年次,北京市多区亦达9~13年次,显示出强烈的城市聚集性流行特征。此外,在河北省内存在零星较高频县,如滦县(9~13年次)及青县、昌黎县等(5~8年次),但未形成如东北般的连续带状分布。整体上,华北地区的霍乱高发区呈现出“城市主导、水系媒介”的复合特征。其根本原因在于京津等核心城市的高度人口聚集与频繁流动,为霍乱传入与快速扩散创造了条件。且民国时期城市公共卫生基础设施较为匮乏,生活污水与粪便直接排入附近海河水系,造成了严重的水体污染。受污染水系成为霍乱弧菌的稳定传播媒介,不仅加剧了城市内部流行,还通过水路扩散影响到下游及沿岸地区(如河北滦县等地)。因此,华北的霍乱高发带是“城市人口压力-水系卫生污染-疾病扩散加剧”连锁机制的空间体现,反映出人口密集、人员流动频繁、水系卫生污染的城市环境对霍乱流行的主导作用。

与华北地区不同的是,东北地区霍乱高发格局

与铁路交通干线密切相关。发生年数在9~17 a的高发县集中在沿“沈阳-长春-哈尔滨”主轴及关联支线延伸,覆盖沈阳(沈河区、和平区等)、大连(金州区)、抚顺(抚顺县)、大石桥、白城(大安市)、四平(铁西区)及哈尔滨(呼兰区)等重要节点。发生年次介于5~8的县进一步填充了吉林中部(如长春各区、延吉)及辽宁中部至沿海(如海城、东港)的区域,共同构成了一条连贯的、依托铁路网络的高值分布带。这一空间格局与1932年霍乱沿中东铁路自哈尔滨向南扩散至沈阳、大连的历史路径(樊冬实,2015)高度吻合,说明交通线是影响东北霍乱传播的关键因素。

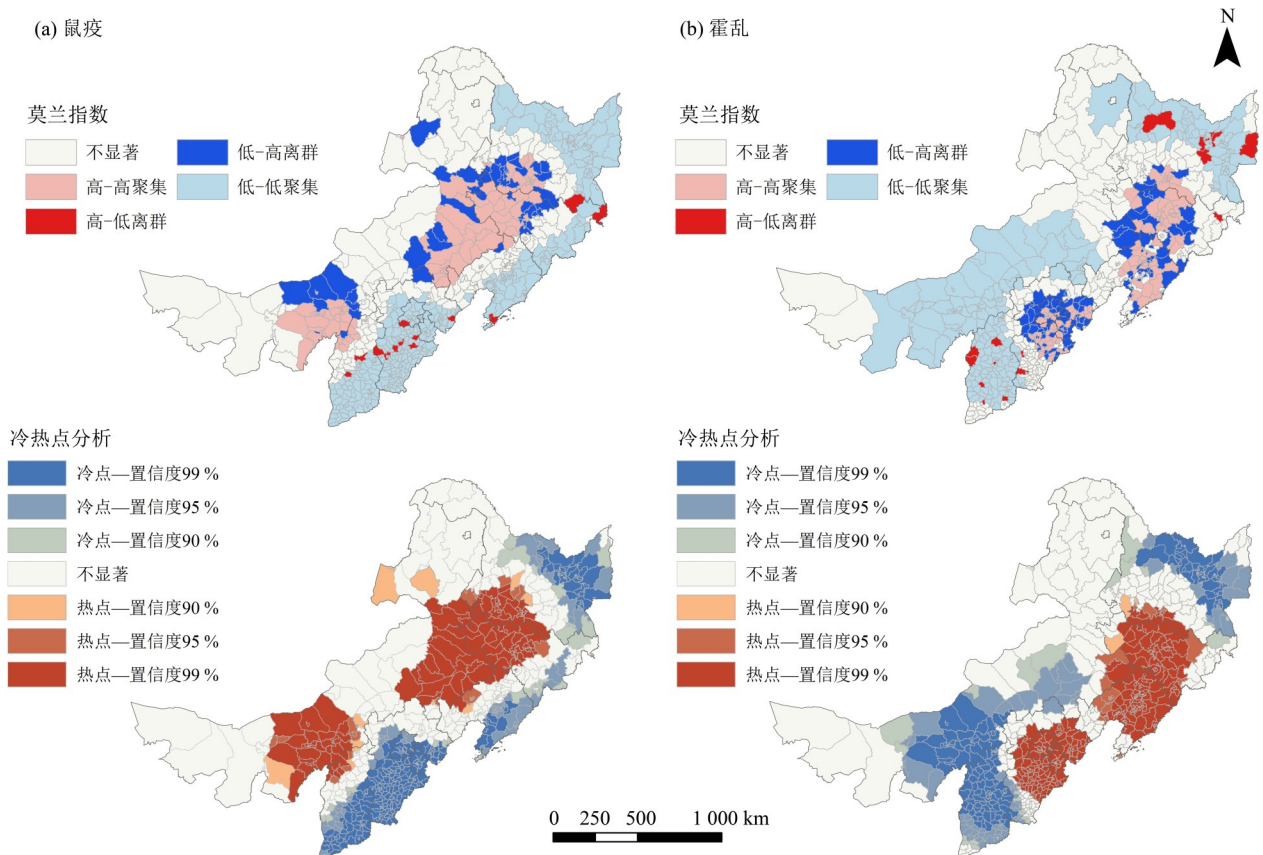
2.2.3 鼠疫的聚类及冷热点分析 基于冷热点分析能够直接判断鼠疫与霍乱在区域局部空间上的聚类属性是否存在高值或低值集聚特征,故借助ArcGIS对民国时期(1912—1949年)东北-华北地区疫灾发生县次进行冷热点分析。通过计算每个要素的Z得分来衡量聚类的强度、方向和P值,来评估数据是否具有统计学意义,分类标准为: $Z \geq 2.58$ 且 $P < 0.01$ 为置信度99%的极显著热点; $1.96 \leq Z < 2.58$ 且 $P < 0.05$ 为置信度95%的显著热点; $1.65 \leq Z < 1.96$ 且 $P < 0.1$ 为置信度90%的热点; $-1.65 < Z < 1.65$ 为不显著,冷点与热点归类相反。从冷热点分析来看(图4a),

鼠疫在东北-华北地区呈较为清晰的高值和低值集聚,空间分布不均衡特征突出。极显著热点区($Z \geq 2.58$)集中于内蒙古鄂尔多斯高原与锡林郭勒草原,其范围与长爪沙鼠(*Meriones unguiculatus*)和达乌尔黄鼠(*Spermophilus dauricus* Brandt)的栖息地高度重合。例如,赤峰市作为鼠疫核心区,1911—1927年间累计记录达 27 a,疫源地分布与浑善达克沙地的啮齿类动物分布区完全吻合。显著热点区($1.65 \leq Z < 2.58$)分布于阴山山脉南北麓及科尔沁草原,农牧交错带生态环境为鼠疫耶尔森菌提供了跨宿主传播条件。冷点区($Z \leq -1.65$)主要分布于黑龙江三江平原、辽宁辽东半岛及华北平原南部。这些区域因小兴安岭-长白山山脉的地理隔离和沿海湿地的生态屏障,有效阻断了鼠疫的自然传播。

2.2.4 霍乱的聚类及冷热点分析 霍乱疫灾的聚类结果与鼠疫相比,空间位置上霍乱在东北-华北地区的冷热点分布高值和低值集聚特征非常明显(图 4b)。极显著热点区($Z \geq 2.58$)集中于沈阳-长

春-哈尔滨铁路沿线,这与 1932 年霍乱沿中东铁路扩散的历史事件直接相关。显著热点区($1.65 \leq Z < 2.58$)分布于京津冀地区及辽河平原,这里的海河、滦河水系为霍乱弧菌提供了扩散路径。冷点区($Z \leq -1.65$)集中于黑龙江北部及内蒙古西部,如大兴安岭以西的呼伦贝尔草原。这些区域因交通闭塞和人口稀疏,限制了霍乱传播。

东北地区的鼠疫冷点区因三江平原等湿地分布广泛不利于啮齿类宿主形成高密度种群,加之小兴安岭、长白山等对空间联系形成分割、交通不便,不利于疫灾传播。而华北地区的热点区因干旱-半干旱气候的内蒙古草原适宜鼠疫耶尔森菌存活,故表现为热点集中区。霍乱的空间格局则更受交通与人群活动影响,东北地区的辽河平原因铁路网络密集、人口来往贸易密切,无大型山脉阻隔,加速了疫灾扩散。而华北地区则因城市与人口高度聚集,海河、黄河水系一旦污染易形成京津冀地区的霍乱高发带。



审图号为GS(2024)0650,底图无修改。

图4 鼠疫和霍乱发生年数的聚类及冷热点分析

Fig. 4 Cluster analysis and hot Spot analysis of occurrence of plague and cholera

2.3 民国时期东北-华北地区的气象要素特征

2.3.1 平均温度时空分布特征 东北-华北地区民国时期平均气温约为3.84℃。在空间分布上(图5),平均气温符合纬度地带性分异规律,自东南向西北方向呈递减趋势。天津市整体纬度最低,民国时期平均气温整体最高,约为10.95℃;黑龙江省纬度最高且在中国的最北端,被大兴安岭林区大面积覆盖,民国时期平均气温最低约为0.77℃。其他省份平均温度随纬度增加而降低。民国时期东北-华北地区整体与各省平均气温整体变化趋势基本一致,呈波动上升趋势。民国时期最高年平均气温出现在1948年(4.72℃),其中1914、1925、1932、1939、1948年的平均气温均达到了相比较之前年份的新波动高峰;波谷则出现在1915、1922、1931、1936、1947年。

2.3.2 平均降水量时空分布特征 研究区民国时期年平均降水量为420.75 mm,内蒙古自治区最少

(285.48 mm),辽宁最多(678.68 mm)。整体呈现出上升趋势,波动变化较为明显(图6)。其中1915、1929、1934、1938、1949年的年均降水量均达到较之前年份的新波动高峰,最高年均降水量发生在1915年(478.74 mm);波谷则发生在1913、1921、1924、1935、1944年。从各省份来看,黑龙江、吉林、河北整体呈缓慢上升趋势;天津市、山西呈先下降后上升趋势,辽宁省、北京市与东北-华北地区整体在民国时期的平均降水量变化趋势相近,内蒙古则呈不显著下降趋势。

2.4 气象要素与两大灾种的时空关联

2.4.1 逐年灾种数据与气温变化的县域相关性 通过空间相关分析发现,民国时期逐年平均温度与鼠疫、霍乱发生县次在空间分布上存在一定关联,且2类疫病与气温相关的空间格局差异显著,反映出各自不同的流行特征。

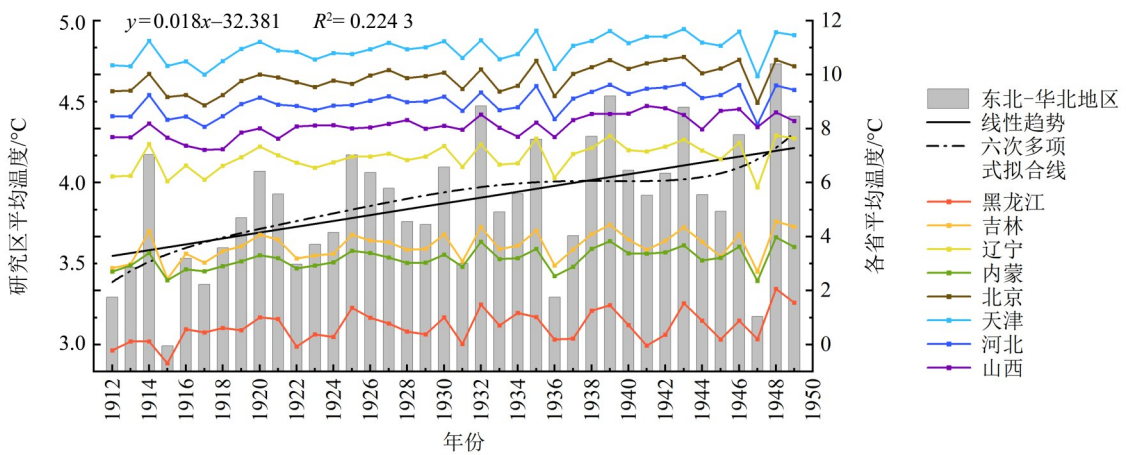


图5 东北-华北地区平均温度变化

Fig. 5 Average temperature variations in the Northeast-North China

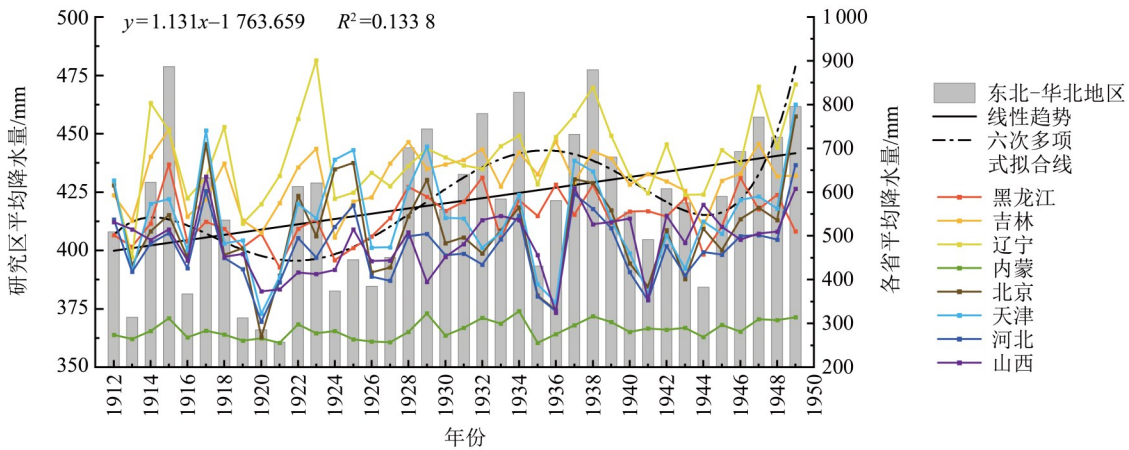


图6 东北-华北地区逐年平均降水量变化

Fig. 6 Annual average precipitation variations in Northeast-North China

鼠疫发生与民国时期平均气温的相关系数介于 $-0.596\sim 0.37$ (图 7a), 其中负相关区域较多, 占研究区总面积的 65.69%, 表明大部分地区, 气温升高可能伴随鼠疫发生范围的抑制或减少。负相关集中区主要分布在山西西北部及内蒙古中部, 这些区域属于传统鼠疫自然疫源地。在此类生态背景下, 气温升高可能不利于宿主(如啮齿动物)存活或人鼠接触模式, 从而抑制疫情扩散。呈正相关关系区域占研究区总面积的 34.3%, 主要分布在吉林省、辽宁省北部的铁路沿线地带及内蒙古零星地区。这些区域位于蒙东-蒙中疫源地的东南边缘, 属于疫情传播的过渡带。其疫情与气温的正相关可能并非直接源于气候对病原体的影响, 而是交通集聚效应的间接结果。铁路与水路(如中东铁路、松花江航运)带动人口流动, 聚居点卫生条件差, 导致疫情随人类活动扩散, 从而在气温较高的季节或年份更易暴发。此外, 鼠疫逐年数据与最高气温呈负相关区域占 63.08%, 与最低气温呈负相关占 64.63%, 且正、负相关区域与平均气温基本一致, 说明不同温度指标下的变化趋势较为接近。鼠疫与气温的关系并非单一线性, 而是在自然疫源地表现为气温抑制型, 在交通沿线人为活跃区表现为人为扩散主导下的气温促进型。这一空间异质性揭示, 鼠疫流行不仅受气候条件调节, 也受到疫源地生态与人类交通行为的共同塑造。

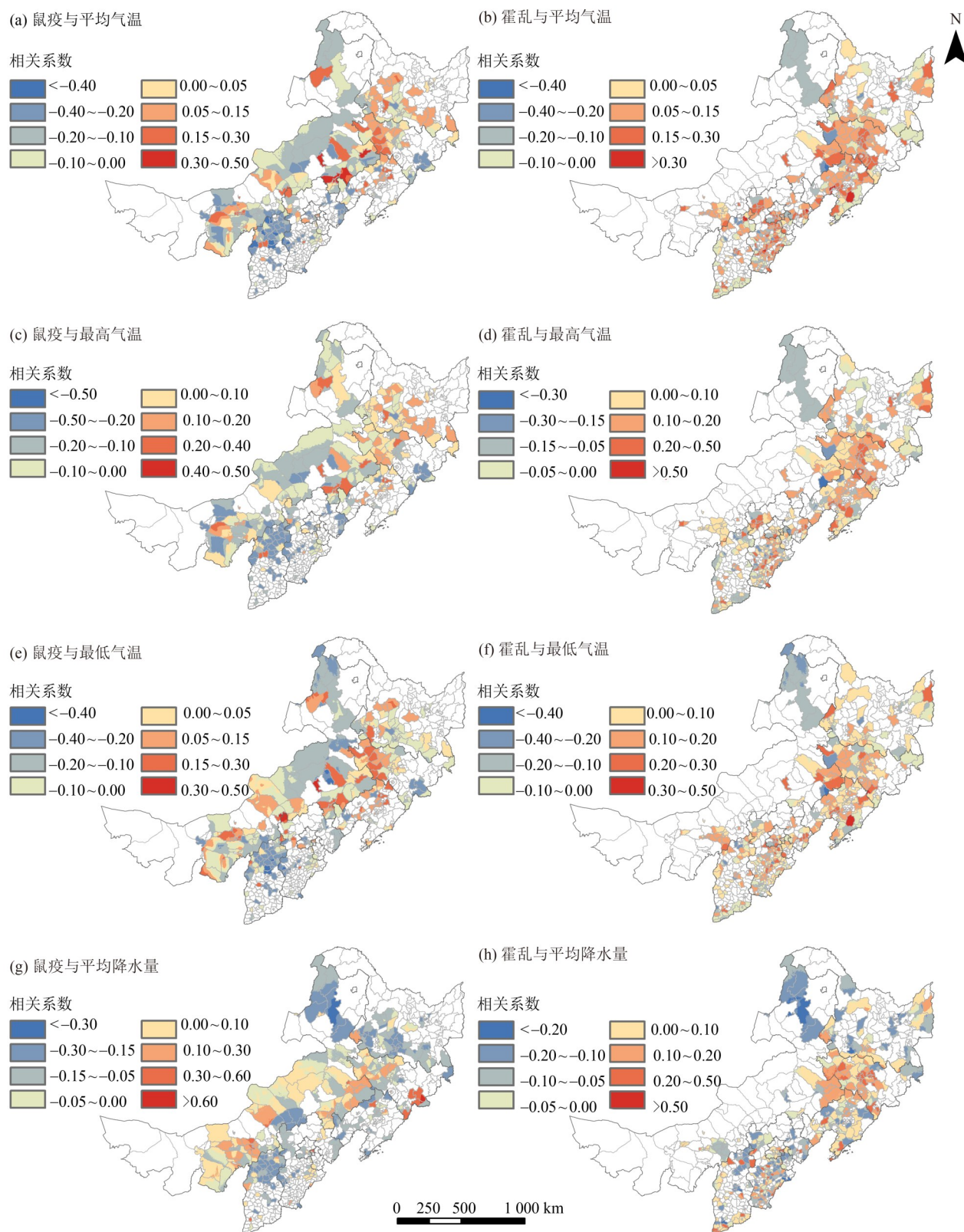
霍乱发生县次与平均气温的逐年县域相关系数介于 $-0.415\sim 0.395$ 。其中, 呈正相关的区域占比较高(64.89%), 主要分布于吉林全省、辽宁西北部、黑龙江中部(如哈尔滨、齐齐哈尔等地)以及河北大部。这些区域大多人口密集、交通便利或水系发达, 气温上升有利于霍乱弧菌在环境中存活与繁殖, 同时也增加了人群接触疫水的机会, 从而提升流行风险。负相关区域占总面积的 35.1%, 空间上主要集中于内蒙古东部(呼伦贝尔)、吉林与内蒙古交界区(通辽、白城)以及黑龙江省小兴安岭两侧, 其余省份仅有零星分布。这些地区普遍气候干冷、人口密度较低、交通网络稀疏, 不利于霍乱传播所需的人口流动与水媒条件, 因此表现出与气温升高相反的关联趋势。从不同温度指标来看, 霍乱与最高气温的平均相关系数最大($r=0.045$), 略高于与平均气温的相关性($r=0.041$), 而与最低气温的相关性最弱($r=0.025$), 说明霍乱传播对最高气温的变化更

为敏感。值得注意的是, 部分地区对不同温度指标的响应存在差异, 例如黑龙江虎林、辽宁南部、河北中部等地, 霍乱与最高气温呈正相关, 而与平均气温和最低气温呈负相关, 且其发病趋势与最高气温的变化一致。这进一步凸显了最高气温在驱动霍乱流行中的关键作用, 极端高温可能更直接促进细菌增殖并影响人群行为, 从而掩盖了其他温度指标的独立效应。

2.4.2 逐年灾种数据与降水量变化的县域相关性 逐年平均降水量与鼠疫逐年发生县次的相关系数介于 $-0.353\sim 0.664$ 、与霍乱的相关系数介于 $-0.283\sim 0.519$ (图 7g~h)。鼠疫与平均降水呈负相关的区域较多, 占研究区面积的 51.92%; 主要出现在内蒙古中部和东部地区、黑龙江省南部、山西省北部以及零散分布在其他省份。表明这些地区降水量增加时, 鼠疫流行趋势减弱。鼠疫与降水呈正相关的区域相对较少, 呈点状散布于吉林省南部和内蒙古中部。与之相反, 霍乱与降水呈正相关的区域更广泛, 占研究区面积的 63.92%, 主要集中在辽宁省西北部与内蒙古自治区交界地带。这些区域降水量增加时, 霍乱流行风险相应上升。这与霍乱主要经水和食物传播的机制相符, 夏、秋季高温多雨的气候条件有利于霍乱弧菌在水体中繁殖和扩散, 降雨也可能加速污染扩散, 从而助长疫情传播。

2.4.3 气象要素突变对县次的影响 民国时期平均气温序列在 1920—1923 年出现多个突变点(图 8a), 表明该时段气温显著升高。这一升温突变与鼠疫流行趋势存在明显关联, 鼠疫在 1917—1921 年出现首个高峰期后, 随即在 1922 年前后进入低谷, 县次明显低于年均值; 而霍乱在 1919—1921 年亦处于高峰期, 但对气温突变的响应相对较弱。上述研究结果表明, 平均气温的升高对鼠疫流行的抑制作用更为突出。

民国时期平均降水量序列在 1917—1921 年、1926、1929 和 1947 年等多个年份发生显著突变(图 8b)。这些突变年份与鼠疫和霍乱的流行高峰存在时空对应关系。1917—1921 年降水显著增加, 对应首个高峰期(1917—1921 年); 1929 年降水增加则与霍乱第 2 高峰期前期(1928—1935 年)吻合; 1947 年降水减少则对应第 3 高峰期后期(1943—1947 年)。总体而言, 降水量突变年份与霍乱流行强度的关联更为稳定且直接, 而对鼠疫的影响则随着时间推移逐渐减弱。



审图号为GS(2024)0650,底图无修改。

图7 鼠疫和霍乱逐年发生县次与气象要素的空间相关性

Fig. 7 Spatial correlations between annual occurrences of plague and cholera at county level and meteorological factors

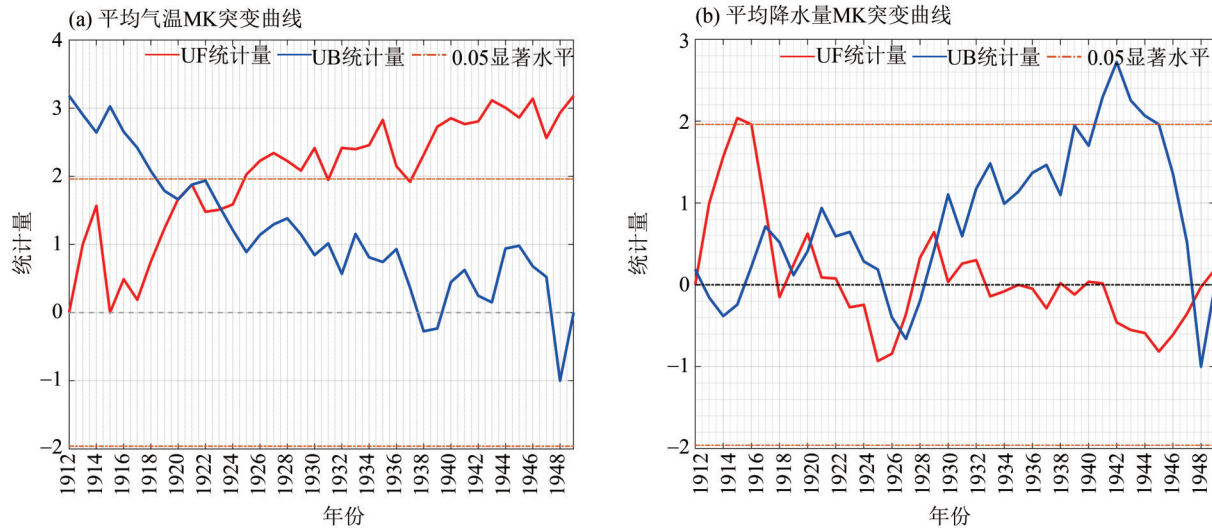


图8 东北-华北地区气温和降水突变曲线

Fig. 8 The mutation curves of temperature and precipitation in Northeast-North China

3 讨论

3.1 疫灾流行的区域分异与驱动机制

本研究发现,民国时期东北地区与华北地区的鼠疫和霍乱呈现显著的区域分异特征,这与两地区地理环境、气候条件及人类活动模式的差异密切相关。

鼠疫作为自然疫源性疾病,其流行由宿主-媒介-病原体构成主导。从空间分布来看,鼠疫多发地整体偏向于农牧交错带,其热点稳定地位于内蒙古草原牧区,形成蒙东-蒙中高值带(图3a)。这些区域地处温带半干旱气候区,低温干燥的环境一方面延长了鼠疫耶尔森杆菌的存活时间;另一方面,干旱迫使鼠群向人类聚居区迁移寻找水源,增加了人鼠接触频率。内蒙古草原作为鼠疫高发区,其游牧经济模式导致牧民居住点与鼠类栖息地高度重叠,加上近代卫生防疫体系缺失,牧民对病媒生物传播疾病的认知不足,进一步加剧了感染风险。鼠疫县次与平均气温呈负相关的区域占据研究区域的65.69%,低温环境通过影响鼠群活动范围,间接促进了鼠疫扩散。

霍乱作为环境传播性疾病,其流行由“病原体-环境-人类行为”链条主导。在民国时期的华北与东北,霍乱空间分布呈现出与社会经济活动高度耦合的2类聚集模式:一是以京津为核心的华北城市群及周边水系区域,二是沿“沈阳-长春-哈尔滨”铁路带分布的东北走廊。这种格局在城市快速近代化进程中虽然加速集聚了人口与经济活动,但面临

供水基础设施不足、卫生系统建设滞后等问题。在气候机制上,这些区域夏季的高温、高湿环境为霍乱弧菌的快速增殖与水媒扩散提供了理想条件(张涛等,2024; Sheikh et al., 2022),而暴雨引发的地表径流污染则进一步扩大了病原体的扩散范围。这种气候条件与前述社会缺陷相互叠加,共同构成了霍乱流行的“社会-气候放大器”。气候条件为霍乱弧菌的存活、繁殖和扩散提供了有利环境,而供水排污设施薄弱则增加了水体污染和人群暴露风险,从而加剧疫情传播。但两地表现又有差异,华北城市群更受人口密集与城市水系共同影响,东北铁路走廊则更突出交通干线上的人口流动扩散作用。这表明,霍乱流行是气候条件与社会脆弱性共同作用的结果。

3.2 疫灾高峰期的时空耦合与驱动因素

本研究识别的3个鼠疫与霍乱共同流行高峰期(1917—1921年、1928—1935年、1943—1947年),是气候异常与社会动荡耦合的产物。从气候角度看,极端事件往往成为疫灾的诱因。1919年,降水量较常年减少了40%,鼠疫病例数激增37%。干旱导致植被减少,啮齿类动物为寻找食物向人类聚居区迁徙,增加了人与鼠类的接触机会,为鼠疫传播创造条件(王奇生,2010)。1928—1930年,华北特大旱灾导致灾民挖鼠仓食粮、鼠类向人居迁移致接触频增(曹树基等,2006)。1931年江淮大水后,约200万灾民涌入东北(李文海等,1993),东北霍乱疫情随难民潮迅速扩散,湿润气候为霍乱弧菌传播提供了

适宜环境。从社会因素分析,军阀混战(1916—1928年)、日本侵华(1931—1945年)及国共内战(1945—1949年)导致的大规模、高频率人口迁徙,这不仅打破了原有的宿主-病原生态平衡,更对迁徙路线和临时聚居点造成了恶劣的卫生条件,成为疫病扩散的加速器。

两大疫灾对气候要素的敏感性并不相同,鼠疫流行强度受平均气温变异年份影响更强烈,民国中后期因气温上升,鼠疫发生县次较前期(1912—1924年),分别下降8%及54%;霍乱则对平均降水量突变年份更敏感,1925—1937年为多雨期,霍乱发生县次较前后期分别升高了34%及68%。这种差异与鼠疫耶尔森杆菌在低温干燥条件下活跃的生物特性密切相关,而霍乱弧菌在高温高湿环境中繁殖效率提升(Altizer et al., 2013)。因此,鼠疫以自然疫源地为核心,呈现低温稳定、干旱促进的生态特性,其空间分布同时受啮齿动物栖息地与农牧活动影响。霍乱更依赖城市水系统与交通联系,形成高温激活、湿润加速的传播模式,其流行与人口流动、水体污染密切相关。形成“低温干燥促鼠疫、高温高湿助霍乱”的疫灾-气候之间的致病规律。

3.3 对现代疫灾防控的启示

在全球气候变暖背景下,过去50年间全球极端高温事件发生概率增加10倍以上,极端气温与降水事件频率显著上升(IPCC, 2023)。本研究从历史维度入手,发现不同类型的疫灾对气候变化的响应存在差异。以鼠疫为代表的动物源性媒介传染病,暖干化趋势可能推动鼠疫宿主适宜范围向高纬度地区,即大兴安岭北部扩张,内蒙古草原鼠疫疫源地范围扩大;而以霍乱为代表的水媒途径传染病,可能随高温、强降水时间增加而显著扩大霍乱弧菌的适生区域。

基于民国时期的疫灾特征,现代防控可在鼠疫等动物源性媒介的传统疫源地如农牧交错带,强化啮齿类动物种群监测;在霍乱等水媒风险区,应加强水源地生态保护并完善供排水与卫生管理,推动基于气候信号的传染病预警系统。历史经验表明,建立“气候预警-风险评估-应急响应”的综合防控体系,是应对传统疫病与突发传染病叠加风险的有效手段。

3.4 局限性及未来探索方向

尽管本研究揭示了民国时期疫情“低温干燥促鼠疫、高温高湿助霍乱”的气象驱动规律,但需要强

调的是,该规律在特定历史背景下成立。事实上,中华人民共和国成立后鼠疫与霍乱的流行趋势已发生明显变化。首先,从1949年后鼠疫与霍乱疫情统计看,二者在20世纪50年代以后迅速下降,并在20世纪80年代后基本无大规模暴发。例如:1950—2020年鼠疫仅在内蒙古东部偶有发生(纪树立等, 1988),霍乱在1961—1965年病死率已由9.94%降低至2.25%,并被限制在局部沿海城市的小规模暴发(逢波等, 2021),均未再次出现如民国时期的大范围传播。这一变化并不能归因于气象条件的根本改变,而是与以下因素密切相关:1)社会因素,如中华人民共和国成立后铁路卫生检疫制度、饮用水氯化处理率大幅提升,使霍乱的水体传播链被有效切断;2)鼠疫疫源地得到系统监测和灭鼠、灭蚤措施,使啮齿动物密度大幅降低;3)医疗救治体系与疫情报告体系逐步完善,大幅抑制了疾病潜在的扩散能力有关。因此,相较于中华人民共和国成立后政府采取的严格防控措施,民国时期所呈现出的疫灾-气候变化相关性,更多反映了自然状态下的疫情特征,本质上是在社会因素缺位或干预薄弱背景下的自然规律。本研究结果有助于认识在社会干预不足时气候对疫灾的影响机制,深化对自然状态下疫情与气候关系的理解。

此外,本研究主要依赖县级疫灾记录与气象数据的空间匹配,较难量化纳入人口流动、战争、救济体系变迁等更复杂的社会因子,且空间相关分析可能受空间自相关影响而使其显著性偏高。未来可引入地理加权回归模型、更丰富的社会历史资料,并将研究拓展至更长时间尺度如清末至中华人民共和国成立初期,以进一步深化气候与社会双作用下疫灾活动的综合理解。

4 结 论

本研究系统对比了民国时期东北-华北地区鼠疫与霍乱的流行特征,揭示了这2类传染病在地理格局与气象驱动机制上的显著差异,并得出以下结论:

1)地理格局受不同传播生态机制主导。鼠疫热点集中于干旱、半干旱的草原与农牧交错带,其流行受自然疫源地支配,呈现“低温干燥促流行”的特征;霍乱则沿中心城市、交通干线及水系密集分布,形成“高温高湿助扩散”的社会传播模式,反映出这2类疫病在生态位与传播途径上的根本差异。

2)对气象要素突变的敏感性呈反向响应。鼠疫对气温突变(尤其是低温)更为敏感,而霍乱则对降水突变有显著响应。这一差异源于病原体的生态适应性。鼠疫的传播依赖于啮齿类宿主及跳蚤媒介,而低温条件能延长飞沫中鼠疫耶尔森杆菌的存活时间和跳蚤寿命,提高媒介效能,同时促使宿主向人类聚居区聚集;而霍乱弧菌在温暖湿润的水体中增殖与传播能力更强。

3)气候与社会因素耦合驱动流行高峰。1917—1921年、1928—1935年及1943—1947年3个共同流

行高峰的形成,是气候异常(如极端温度与降水突变)与社会动荡(如人口大规模迁移、卫生体系薄弱)共同作用的结果。气候提供流行条件,社会因素放大传播风险,二者叠加导致疫情同步暴发。

本研究从历史视角阐明,不同传播类型的传染病对气候因子的响应具有系统性差异。这一认识不仅深化了对疫病-气候-社会复杂系统的理解,也为全球变化背景下开展传染病分类风险评估、区域差异化防控提供了一定的历史参照与理论依据。

参考文献:

- 曹树基, 1997. 鼠疫流行与华北社会的变迁(1580—1644年)[J]. 历史研究, (1): 17—32.
- 曹树基, 李玉尚, 2006. 鼠疫: 战争与和平——中国的环境与社会变迁(1230—1960年)[M]. 济南: 山东画报出版社: 228—235.
- 东北文化社年鉴编印处, 1931. 东北年鉴: 民国二十年[M]. 沈阳: 东北文化社: 1270.
- 樊冬实, 2015. 民国时期哈尔滨霍乱研究(1919—1932年)[D]. 哈尔滨: 哈尔滨师范大学: 38—43.
- 方喜业, 王光明, 2006. 鼠疫[J]. 生物学通报, (9): 1—4.
- 凤凰出版社, 2006. 中国地方志集成·辽宁府县志辑[M]. 南京: 凤凰出版社: 109—111.
- 龚胜生, 2019. 中国三千年疫灾史料汇编-民国卷[M]. 济南: 齐鲁书社: 1317—2781.
- 龚胜生, 李孜沫, 谢海超, 等, 2021a. 中国3000年疫灾流行的时空特征及其影响因素[J]. 地理学报, 76(8): 1976—1996.
- 龚胜生, 莫慧, 2021b. 2020年湖南省COVID-19疫情的地理学分析[J]. 热带地理, 41(4): 708—722.
- 郭艺澍, 殷淑燕, 2023. 民国时期西南地区疫灾分布格局及与气温变化的关联性研究[J]. 中山大学学报(自然科学版中英文), 62(3): 57—67.
- 黄葵, 卢毅敏, 魏征, 等, 2019. 土地利用和气候变化对海河流域蒸散发时空变化的影响[J]. 地球信息科学学报, 21(12): 1888—1902.
- 纪树立, 1988. 鼠疫[M]. 北京: 人民卫生出版社: 12—14.
- 荆蕙兰, 张恩强, 2021. 近代东北城市化进程中的关内移民[J]. 城市史研究, (2): 66—83.
- 李文海, 林敦奎, 周源, 等, 1993. 近代中国灾荒纪年续编——1919—1949[M]. 长沙: 湖南教育出版社: 291.
- 李学辉, 谷桂华, 余守龙, 等, 2020. 云南省水面蒸发量变化趋势及其影响因素分析[J]. 人民长江, 51(S2): 63—67.
- 李孜沫, 2020. 清代鼠疫流行的时空特征及其危险分区[J]. 干旱区资源与环境, 34(9): 171—178.
- 逢波, 阚飙, 2021. 新中国的霍乱防控[J]. 疾病监测, 36(9): 869—872.
- 齐凯, 张衡, 周杨, 等, 2024. 综合局部莫兰指数和PageRank算法的网络空间资源节点隐喻可视化表达[J]. 地球信息科学学报, 26(5): 1283—1295.
- 单丽, 2014. 中国霍乱始发问题辨析[J]. 中国历史地理论丛, 29(1): 48—56.
- 谭其骧, 1991. 简明中国历史地图集[M]. 北京: 中国地图出版社: 71—72.
- 谈荣梅, 2004. 气象因素与霍乱发病关系的生态学研究[J]. 中国预防医学杂志, 5(5): 343—345.
- 王奇生, 2010. 革命与反革命——社会文化视野下的民国政治[M]. 北京: 社会科学文献出版社: 303—330.
- 殷淑燕, 杨婷婷, 张雷, 2025. 民国西北地区四大疫灾时空变迁特征及环境影响因素对比研究[J]. 干旱区资源与环境, 39(7): 130—141.
- 张爱明, 2019. 人口流动与近代华北乡村社会结构之演变[J]. 河北学刊, 39(3): 207—213.
- 张琳, 2016. 民国时期东北地区疫灾流行与公共卫生意识的变迁研究[D]. 武汉: 华中师范大学: 82—89.
- 张涛, 陈志禹, 曾雨欣, 等, 2024. 1850—1949年湖北省霍乱流行的时空规律及影响机制[J]. 地理学报, 79(7): 1661—1681.
- 周振鹤, 傅林祥, 郑宝恒, 等, 2017. 中国行政区划通史·中华民国卷[M]. 上海: 复旦大学出版社: 12—24.
- Altizer S, Ostfeld R S, Johnson P T J, et al, 2013. Climate change and infectious diseases: From evidence to a predictive framework[J]. Science, 341(6145): 514—519.
- Baharom M, Ahmad N, Hod R, et al, 2021. The impact of meteorological factors on communicable disease incidence and its projection: A systematic review[J]. Int J Environ Res Public Health, 18(21): 11117.

- Benedictow O J, 2021. The complete history of the Black Death[M]. Suffolk: Boydell & Brewer: 84–97.
- El-Liethy MA, Selvarajan R, Dakhil MA, et al, 2025. A review of the occurrence, antimicrobial resistance and health implications of *Vibrio cholerae* in African aquatic milieus, and the analysis of the impact of climate change on cholera outbreaks in Southern Africa[J]. *Sci Total Environ*, 994: 180057.
- Lee H F, Fei J, Chan C Y S, et al, 2017. Climate change and epidemics in Chinese history: A multi-scalar analysis[J]. *Soc Sci Med*, 174: 53–63.
- IPCC, 2023. Climate change 2023: Synthesis report[EB/OL]. (2023–03–20) [2025–03–19]: 42–47. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>.
- Limaheluw J, Dollmann S, Folpmers S, et al, 2024. Associations between meteorological factors and COVID–19: A global scoping review [J]. *Front Public Health*, 12: 1183706.
- Peng S, Ding Y, Liu W, et al, 2019. 1 km monthly temperature and precipitation dataset for China from 1901 to 2017 [J]. *Earth Syst Sci Data*, 11(4): 1931–1946.
- Schmid B V, BüNtgen U, Easterday W R, et al, 2015. Climate-driven introduction of the Black Death and successive plague reintroductions into Europe [J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 112(10): 3020–3025.
- Sheikh H I, Najiah M, Fadhline A, et al, 2022. Temperature upshift mostly but not always enhances the growth of *Vibrio* Species: A systematic review [J]. *Front Mar Sci*, 9: 959830.
- Song C, Shi X, Bo Y, et al, 2019. Exploring spatiotemporal nonstationary effects of climate factors on hand, foot, and mouth disease using Bayesian Spatiotemporally Varying Coefficients (STVC) model in Sichuan, China [J]. *Sci Total Environ*, 648: 550–560.
- Sumi A, Telan E F O, Chagan–Yasutan H, et al, 2017. Effect of temperature, relative humidity and rainfall on dengue fever and leptospirosis infections in Manila, the Philippines [J]. *Epidemiol Infect*, 145(1): 78–86.
- Yue R P H, Lee H F, 2018. Climate change and plague history in Europe [J]. *Sci China Earth Sci*, 61(2): 163–177.
- Zhou J, Yao Y, Li L, et al, 2025. Climatic drivers of infectious diarrheal disease epidemics in China: An empirical dynamic modeling analysis of 21 million cases [J]. *J Infect*, 91(1): 106518.

(责任编辑 江 睿)