

王嘉豪, 黄季夏, 杨林生, 等. 环北极地区自然灾害多尺度时空格局分析[J]. 灾害学, 2023, 38(2): 226–234. [WANG Jiahao, HUANG Jixia, YANG Linsheng, et al. Multi-scale Temporal and Spatial Pattern Analysis of Natural Disasters in the Circum-Arctic Region[J]. Journal of Catastrophology, 2023, 38(2): 226–234. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2023.02.033.]

环北极地区自然灾害多尺度时空格局分析*

王嘉豪¹, 黄季夏^{1,2}, 杨林生², 王利², 尹圆圆³

(1. 北京林业大学 教育部 森林培育与保护重点实验室, 北京 100083;

2. 中国科学院地理科学与资源研究所中国科学院陆地表层格局与模拟重点实验室,

北京 100101; 3. 北京联合大学师范学院, 北京 100011)

摘要: 受全球气候变暖影响剧烈, 导致北极地区自然灾害情况加剧, 但有关北极地区精细尺度的自然灾害时空格局研究较为缺乏。基于紧急灾难数据库, 利用自然灾害数量、死亡人数、总受影响人数及总直接经济损失四个受灾指标, 采用时空统计方法, 从总体、国别及一级行政区多个尺度研究 1980—2020 年环北极地区的受灾情况, 并通过空间相关性量化不同自然灾害的空间分布特征, 结果表明: ①在 1980—2020 年间环北极地区的自然灾害数量先增后减, 其中, 在 1990—2009 的 20 年间是六种灾害高发期, 均占据 41 年总灾次的 60% 以上, 在 2000 年总灾次达到峰值 22 次。同时, 灾害的破坏性愈加强烈, 死亡人数和直接经济损失成倍数增加; ②环北极地区受灾呈两极化, 灾害数量和灾害种类与国土面积和海岸线长短紧密相关, 俄罗斯与加拿大受灾最为严重, 且成灾体量与人口密度高度一致。洪水与风暴灾害是环北极地区最频发的自然灾害, 两者占据总灾次的 66.9%, 滑坡与干旱两者仅 7.3%。③自然灾害在一级行政区具有显著的“环状”格局和集聚特征, 且在时空尺度上具有连续、低频的特点。

关键词: 环北极地区; 气候变暖; 自然灾害; 多尺度; 时空格局

中图分类号: X43; X915.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2023)02-0226-09

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2023.02.033

北极在地球系统中具有非常重要的地位, 北极气候与环境变化是当前国际全球变化研究领域的热点与前沿^[1]。北极气候对全球变化的响应极为灵敏^[2], 永久冻土面积的消融以及全球海平面的上升是北极对全球气候暖化的具体反应^[3-5]。同时, 北极的持续暖化也导致北极地区自然灾害频发, 对北极地区 and 国家的人民生命财产安全造成巨大的威胁^[6]。

随着北极持续变暖, 导致该地区气象灾害频繁出现, 尤其在该区域风暴和极端寒潮事件非常突出。强风暴活动在整个欧亚大陆东北部占主导地位, 特别是西伯利亚东部有明显的强异常^[7]。俄罗斯自 1992 年以来风暴频率增高^[8], 在 2010 年热浪席卷了俄罗斯西部^[9]。最强烈的北极风暴发生在加拿大东部的北极地区^[10]。北极变暖使气流不稳定出现频繁的寒潮, 将北极的冷空气推向北半球。寒潮灾害影响民众的身体健康, 直接增加了民众的死亡率并且寒潮的风险大于热浪^[11]。气象灾害往往会导致气候灾害发生, 造成双重的灾害事件。气候灾害在近几十年来同样随着北极变暖而更加剧烈, 火灾的发生面积和频率在北极地

区过去一万年中是前所未有的^[12-13]。2010 年莫斯科在 130 多年的记录中首次记录了 37.8 °C 的高温^[14]。干旱和高温也会使野火更加剧烈和持续^[15], 野火灾害在 2019 年造成的经济损失达到 300 亿美元, 且随着周期性的发生, 规模也在持续扩大^[16]。气候变化直接影响水文灾害的发生, 其中洪水灾害最具有频发性和破坏性。高纬度地区由于北极变暖, 极端降水事件不断增加^[17-19], 同时, 每年春天海冰的融化和破裂均使北极地区面临着洪水风险^[20]。洪水灾害是全世界的第一自然灾害, 在北极地区更为突出。气候变暖导致的极端事件在北极地区将变得更加频发和具有破坏性^[21-23]。环北极地区风暴、热浪、火灾、洪水等大规模自然灾害事件频发且在未来会持续增加^[24-27]。

目前众多自然灾害研究是基于单个国家开展, 并且研究的时空尺度仅限于国家级别, 时间分辨率也较为粗糙^[28-31], 以北极地区视角的系统性时空分析较少。针对上述问题, 本研究在基于紧急灾难数据库 (Emergency Events Database, EM-DAT), 从北极地区的全新视角, 分析 1980—2020

* 收稿日期: 2022-09-06

修回日期: 2022-12-09

基金项目: 中国科学院重点部署项目“北极地区地缘环境态势的演变研究”(ZDRW-ZS-2017-4)

第一作者简介: 王嘉豪(1996-), 男, 汉族, 陕西宝鸡人, 硕士研究生, 主要从事时空数据分析研究。E-mail: wangjiahao7@bjfu.edu.cn

通信作者: 黄季夏(1985-), 男, 汉族, 安徽桐城人, 副教授, 主要从事地缘环境空间分析研究。E-mail: huangjx@bjfu.edu.cn

年环北极地区在总体、国别、一级行政区 3 种空间尺度上的六种自然灾害演变趋势及时空分布格局,审视最先受北极暖化影响地区的受灾状况,同时,结合当地的人口密度与地理差异,从而对北极暖化的负面影响达到量化分析的目标,同时,为我国倡导的“冰上丝绸之路”提供知识储备。

1 研究区概况

本文研究区域为环北极地区,包括丹麦、挪威、瑞典、芬兰、冰岛、加拿大、俄罗斯七国及美国阿拉斯加州地区,地跨亚洲、欧洲和北美洲。俄罗斯东亚地区、美国阿拉斯加州地区和加拿大西部地区多为山脉,地势较高,其他地区多为平原。从欧洲地区到亚洲地区再到北美地区,整体呈现出先爬高后下降的地势(图 1)。北极地区气候变化多样,大部分地区是以海洋性气候为主,俄罗斯和加拿大两国以大陆性气候为主。加拿大北极群岛地区最低气温低至 -60°C ,北极地区极端高温可达 30°C [32]。北极地区冬夏二季都会经历极端的日照变化。环北极地区濒临北冰洋地区,受气候影响,普遍为苔原和草地。截至 2019 年,环北极地区总人口达到了 2.047 亿人 [33]。

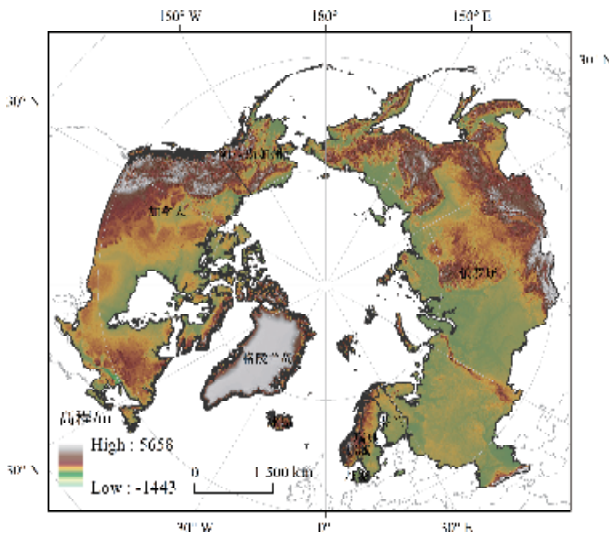


图 1 环北极地区地形图

(该图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号为 GS(2016)1666 的标准地图制作,底图无修改)

2 数据来源与方法

2.1 数据来源

2.1.1 灾情数据

本文研究气象、气候、水文及地质相关灾情数据(1980—2020 年)来源于比利时鲁汶大学国家灾害流行病学研究中心(Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, CRED)管理的紧急灾难数据库(Emergency Events Database, EM-DAT),EM-DAT 数据库将灾害分为自然灾害和技术灾害两大类,自然灾害再细分为地质灾害、气象灾害、水文灾害、气候灾害、生物灾害等一系列次级灾害类型。进入 EM-DAT 的灾害数据必须满足下列四个条件之一:①灾害导致 10 人或更多人员死亡;②受灾人口达到 100 人或更多;③政府宣布进入紧

急状态;④政府呼吁国际援助。符合上述四个条件之一的灾害事件在数据库中,以国家尺度记录为一次灾害事件 [34]。EM-DAT 记录的灾害事件原始信息来源于多种途径,包括联合国、政府和非政府组织、保险公司、研究机构和媒体等。EM-DAT 对灾害事件记录信息有一个验证过程,灾情信息通过数据库自身基础校正后,与多个信息源对比,选择最相关的数据进行记录。EM-DAT 灾害数据在国家尺度灾害管理与研究中得到广泛利用。

本研究选定 4 大类 6 种自然灾害为研究对象,以总灾害数量、死亡人数、总受影响人数和总直接经济损失 4 个灾情指标展开分析(表 1)。

2.1.2 人口数据

本文人口数据集来源于世界网格人口密度(Gridded Population of the World, GPW)v4 数据集。GPW 是使用最广泛的网格化人口数据集,第 4 版是以 2000 年、2005 年国家人口普查和人口登记数据为基础,通过行政单位进行分配的密度估值,数据集为栅格数据,空间分辨率为 1 km [35]。

2.2 研究方法

2.2.1 全局自相关

全局 Moran's I 指数被广泛应用于全局空间自相关研究当中,是空间自相关系数的一种,用于判定一定范围内是否有聚集特性存在。该指标值分布在 $[-1, 1]$,当值大于 0 时,表示空间正相关;当值小于 0 时,表示空间负相关,其值越小空间差异越大;当值等于 0 时,空间呈随机性 [36]。

空间自相关的 Moran's I 统计可表示为:

$$I_g = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

式中: I_g 为全局 Moran's I 指数, n 是一级行政区单元数, x_i 和 x_j 分别是一级行政区和的灾害数量, \bar{x} 为一级行政区的灾害数量平均值, w_{ij} 是一级行政区 i 和 j 之间的空间邻接矩阵,用以衡量区域之间的相互邻近关系,以常见的二元邻接矩阵为例,若区域和相邻,则 $w_{ij} = 1$,否则 $w_{ij} = 0$ 。在一般情况下, w_{ij} 为对称矩阵。

2.2.2 局部自相关

局域自相关(LISA)常用来描述局部空间异质性特征,即每个区域的相关值,得到统计显著的高高、低低、高低、低高显著的四种类型区域。公式如下:

$$I_l = \frac{n(x_i - \bar{x}) \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

式中: I_l 为局部 Moran's I 指数,该指标能够反映灾害的局部聚集程度,表征邻近区域的相关性。

2.2.3 受灾等级划分

为具体呈现一级行政区受灾情况,本文以一级行政区灾害数量为划分标准,将灾害影响程度划分 5 个等级,依次为未发生、严重(1~6 次)、中等严重(7~12 次)和高等严重(12 次以上)。在此前提下,分析一级行政区的灾害时空分布格局。

本文从时间和空间两个尺度上,结合灾害数量、死亡人数、总受影响人数(人口数量)和总直接经济损失(包括财产、庄稼和牲畜的经济损失)4 个灾情指标统计分析环北极地区自 1980—2020 年间 41 年气象、气候、水文及地质灾害时间变化趋势,并采用空间自相关归纳研究区域空间分布特征。

表 1 自然灾害种类

灾害大类	气象灾害		气候灾害		水文灾害	地质灾害
灾害种类	风暴	极端温度	野火	干旱	洪水	滑坡

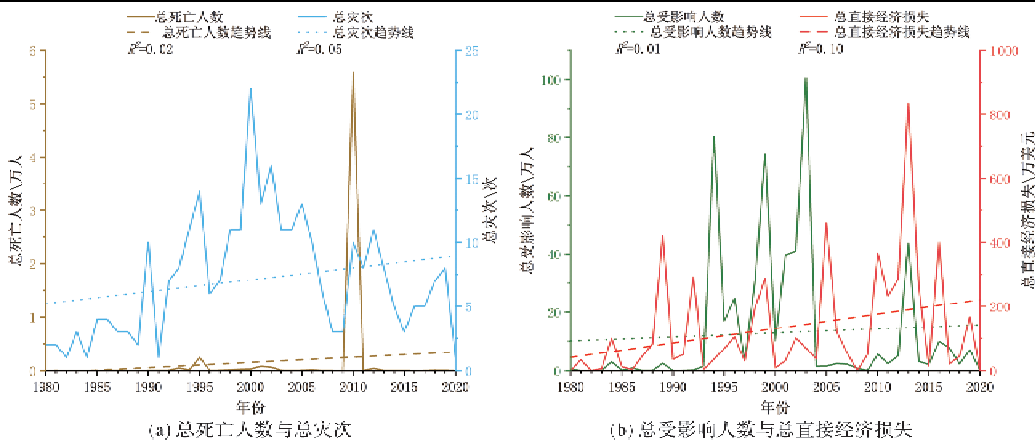


图 2 1980—2020 年环北极地区灾情指标变化

3 结果与分析

3.1 1980—2020 年环北极地区总体自然灾害趋势分析

3.1.1 总体自然灾害变化趋势

1980—2020 年间环北极地区总灾次、死亡人数、总受影响人口和总直接经济损失 4 个灾情指标均呈现出非线性增长的趋势(图 2)。总灾次在 1980—2020 年呈现出先增后减的趋势,年均约 7 次,在 2000 年达到峰值 22 次;死亡人数在 1980—1995 年间呈慢性增长状态,在 1995 年达到峰值为 2 416 人。由于 2010 年俄罗斯受热浪和森林大火影响,死亡人数一度达到 56 000 人^[37],导致该年北极地区死亡人数异常骤增。此次热浪属于世界十大致命热浪之一,仅次于 2003 年欧洲热浪;环北极地区总受影响人数在 1993—2005 年中波折激增,在 2003 年达到最高 100 万人,随后仅在 2013 年最高达到约 45 万人;总直接经济损失在 1980—2013 年间波折增长,在 2013 年达到最大损失 834 万美元。

以 10 a 为一期对环北极地区灾害统计分析(表 2)。在 1980—1989 年,4 个灾情指标均是最低,其在四个阶段中分别占比 8.6%、0.1%、1.3%、13%;在 1990—1999 年,4 个灾情指标较前 10 年成倍增加,总受影响人数达到四个阶段的占比最高,44%;在 2000—2009 年,总灾害数量持续增长,达到四个阶段中最大数量,占比 37%。但受灾情况较之前 10 a 转轻;在 2010—2020 年第四阶段中,总灾害数量和总受影响人数均下降,但总死亡人数和总直接经济损失成倍数增加,分别达到最高占比 91% 和 49%。

表 2 1980—2020 年灾害指标统计

年份	总灾害数量/次	总死亡人数/人	总受影响人数/人	总直接经济损失/美元
1980—1989	25	68	70 630	7 014 800
1990—1999	86	3 506	2 322 391	11 018 764
2000—2009	108	2 015	1 998 009	9 323 825
2010—2020	71	56 518	890 192	26 265 835

3.1.2 分类别自然灾害变化趋势

按不同类别自然灾害,在 1980—2020 年连续

41 a 灾害数量中,洪水与风暴灾害频次最高,分别占 39.0%、27.9%,其次,野火灾害和极端温度是 16.9%、8.9%,最后是滑坡灾害和干旱灾害,仅 4.5%、2.8%(图 3)。

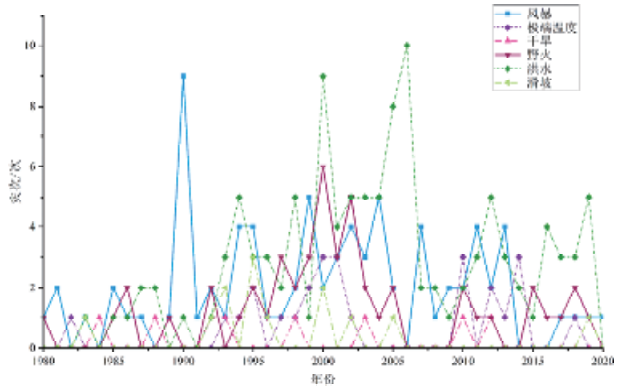


图 3 1980—2020 年环北极地区 6 种灾害时间变化趋势

在 1980—1989 年间,6 种灾害发生频次均最低,仅占 41 年总灾次的 8.6%;在 1990—1999 年间,干旱灾害仅增加一次,其他五种灾害均爆发式增长,此阶段占总灾次的 29.7%;在 2000—2009 年间,野火和洪水灾害依旧保持增长势头,其余四种灾害逐渐下降,此阶段是灾害最为频发的 10 年,占总灾次的 37.2%;在 2010—2020 年间,仅极端温度灾害发生较为频繁,占据总灾次的 24.5%。

在 1990—1999 年与 2000—2009 年的连续 20 年是 6 种自然灾害的高发期,其中,风暴灾害、野火灾害和洪水灾害的灾次,占据 41 a 总灾次的 69.1%、67.3% 与 66.4%,分别最高达到了每年 9、6 和 10 次的极端情况。

3.1.3 环北极地区自然灾害变化趋势分析

在近 41 a,环北极地区自然灾害整体呈现出增长趋势,在 2000 年左右灾害数量与死亡人数发生拐点,但总受影响人数与总直接经济损失依旧保持较高水平。这表明环北极地区自然灾害的破坏性在逐渐增大。从不同灾种来看,洪水与风暴灾害是环北极地区的最主要灾害。环北极的地区和国家普遍拥有较长的海岸线,这正是洪水与风暴灾害高频爆发的地理因素。同时,20 世纪末期温度的剧烈变化导致在 1990—2009 的 20 a 是环北极

地区自然灾害最严重的时期, 其中, 野火灾害一跃占据 67.3%。

3.2 1980—2020 年环北极地区国家尺度自然灾害时空格局

3.2.1 国家尺度总体自然灾害及其影响空间格局
以国家单元统计分析, 环北极地区因国土面积和地理位置的差异, 受灾程度呈现两极分化(图 4), 俄罗斯和加拿大两国灾种多达 6 类, 总灾次均超过了百次, 占据环北极地区总灾次的 83.9%。俄罗斯和加拿大两国受灾程度远高其他 6 个国家或地区。芬兰与冰岛两国的灾次总和仅 6 次, 是灾害最少的两国, 且冰岛仅记录了滑坡灾害。

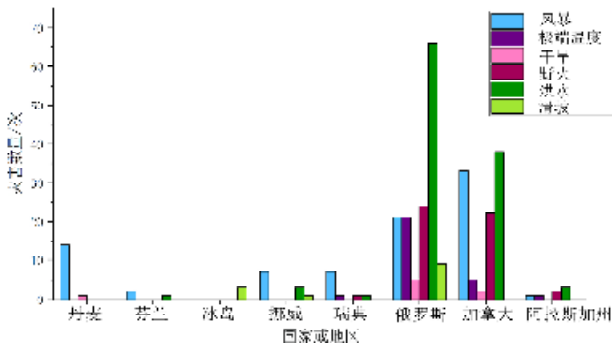


图 4 1980—2020 年环北极地区灾害统计

3.2.2 国家尺度分类别自然灾害空间格局演变

环北极地区在总灾次和灾种上均呈现出显著的等级性和空间差异性。俄罗斯遭受 6 种自然灾害, 其中洪水灾害最为频繁, 占据 41 a 自然灾害总和的 45%, 而风暴、极端温度与野火灾害均约占 14.3%; 而在加拿大, 洪水、风暴灾害和极端温度均是最为频发的自然灾害, 基本各占据 33%; 丹麦、瑞典与挪威三国均遭受风暴灾害侵扰最为严重, 分别占据 93.3%、63.6% 及 70%; 阿拉斯加州则主要是洪水和野火灾害(表 3)。

3.3 1980—2020 年一级行政区尺度自然灾害及其影响时空格局

3.3.1 一级行政区尺度总体自然灾害空间格局

环北极国家及地区的一级行政区的自然灾害格局呈“环状”, 且外围灾害远高于内部(图 5)。加拿大地区(不包含西北及努纳武特地区)灾情普遍严重且连续分布, 相邻地区灾情差异小; 俄罗斯因地域较广, 其一级行政区灾情同样呈现广泛的分布特征; 芬兰、瑞典、挪威及丹麦四国较俄罗斯与加拿大两国地域面积较小, 其一级行政区的灾害特征较为一致。在邻近北极圈内地区灾情较

小, 自然灾害高等严重区呈面状分布在环北极外围的加拿大四区及俄罗斯欧洲地区呈点状分布; 中等严重呈面状分布在俄罗斯西伯利亚和远东地区, 在加拿大地区呈点状; 严重地区以连续面状呈现在俄罗斯欧洲地区及芬兰、瑞典、挪威和丹麦等国家地区; 未发生地区为加拿大两大区(西北地区、纽那瓦特省)、格陵兰岛及俄罗斯亚马尔半岛邻近两区等地区。

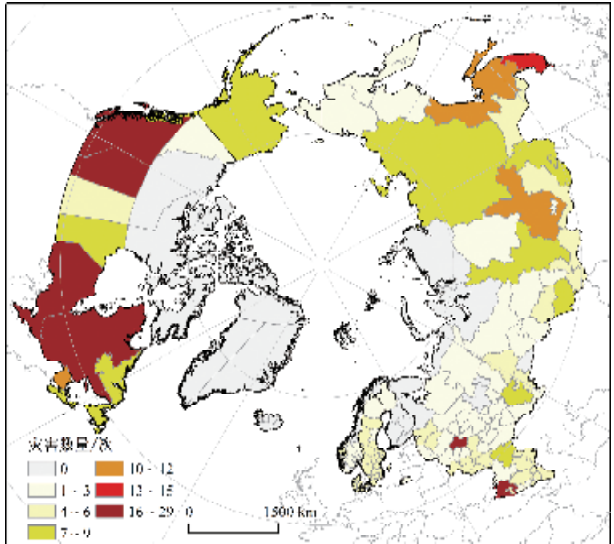


图 5 1980—2020 年环北极地区一级行政区灾害累计数量

在时间序列上, 环北极国家(地区)的一级行政区灾次总体保持在 1~2 次/a, 俄罗斯个别地区最高达到 3~5 次/a(图 6); 不同国家的受灾特征各异, 但常年受灾的一级行政区较为稳定。加拿大和俄罗斯一级行政区具有连续、低频的特点; 瑞典、丹麦及挪威等四国在时间上并未呈现出连续性, 但在空间上表现为多地同时受灾的特征。

环北极国家(地区)的一级行政区灾害受损指标呈现“环状”, 外围严重(图 7)。受灾死亡人数普遍低于 2 500 人, 加拿大和俄罗斯欧洲与远东地区的总受影响人数和总直接经济损失严重。加拿大三大区(育空地区、西北地区及努纳武特地区)和俄罗斯五大区(西北联邦区、伏尔加联邦区、乌拉尔联邦区、泰梅尔自治区及楚克奇自治区)因地域差异, 居住人口稀少, 民众受灾致死数较少。而在俄罗斯欧洲地区临近黑海的三个地区受灾死亡人数均达到 1 万人以上, 且多是洪水和干旱导致。

表 3 国家(地区)分类别灾害统计

国家(地区)/灾种	风暴	极端温度	干旱	野火	洪水	滑坡	合计
丹麦	14	0	1	0	0	0	15
芬兰	2	0	0	0	1	0	3
冰岛	0	0	0	0	0	3	3
挪威	7	0	0	0	3	1	11
瑞典	7	1	0	1	1	0	10
俄罗斯	21	21	5	24	66	9	146
加拿大	33	5	2	22	38	0	100
阿拉斯加州	1	1	0	2	3	0	7

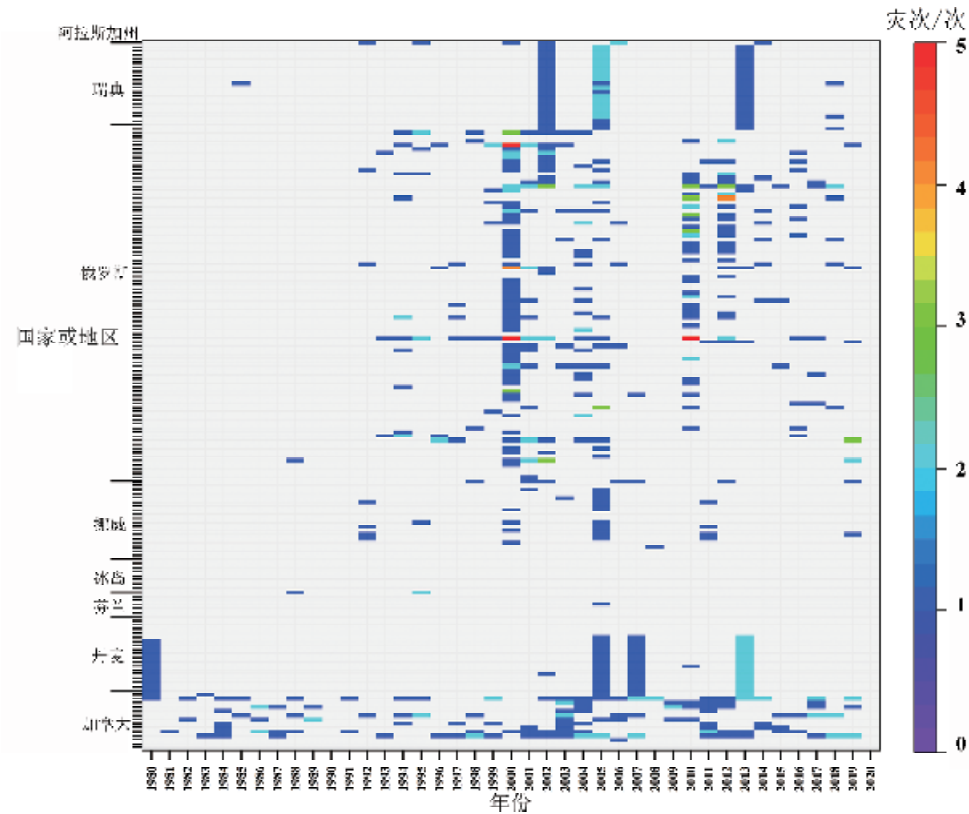


图6 1980—2020 年环北极地区一级行政区灾害时间序列

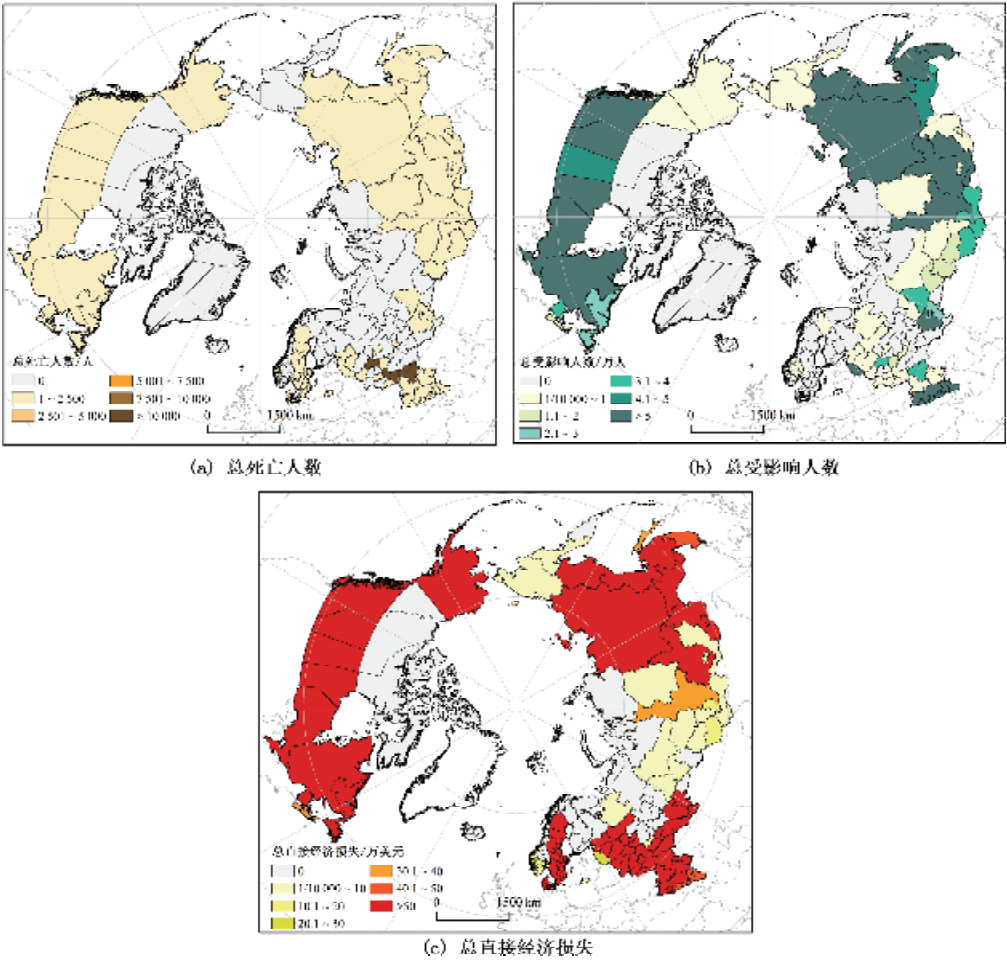


图7 1980—2020 年环北极地区自然灾害受损指标空间格局

总受影响人数与总直接经济损失地区高度重合, 呈现“三角”分布。三角区分别是加拿大地区、俄罗斯远东地区及欧洲地区。总受影响人数在加拿大地区及俄罗斯远东地区与黑海附近高达2万人以上, 而其他六国(地区)总受影响人数均低于1万人。在三角区的加拿大(不包含三大区)、俄罗斯及瑞典的一级行政区总直接经济损失均高于50万美元, 俄罗斯中部地区受损经济在10万~30万美元之间。

环北极地区因严峻的自然环境, 人口居住较少(图8), 人口居住带在 12°N 之外的外围区域。北极地区东部和西部灾害情况与人口密度呈现不同的分布特征, 东部以俄罗斯为主体, 灾害中等严重地区在人口密度较小的地区, 如俄罗斯毕高加索山脉及临近黑海的周边地区、远东地区。人口密度较高的俄罗斯欧洲地区受灾普遍较轻, 但莫斯科地区受灾异常严重。与人口密度呈相反的状态。在西部加拿大地区灾害数量与人口密度成正比, 人口密度越大的地区, 灾害严重程度越高, 五大湖地区尤为突出。

人口密度决定成灾体量。因灾致死高达上万人的地区主要是在俄罗斯欧洲地区高密度人口地区; 总受影响人数在人口稀少的俄罗斯远东地区

和加拿大地区异常显著; 总直接经济损失在环北极外围地区高达5 000万美元, 在俄罗斯中部、芬兰和瑞典人口稀少的地区, 经济损失通常较小。

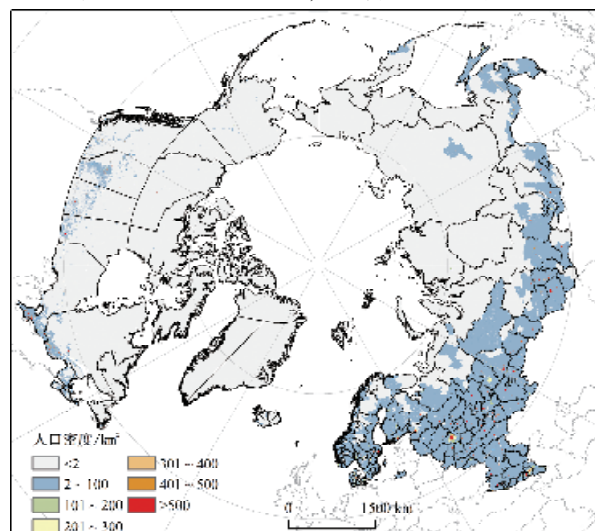


图8 2020年环北极地区人口密度

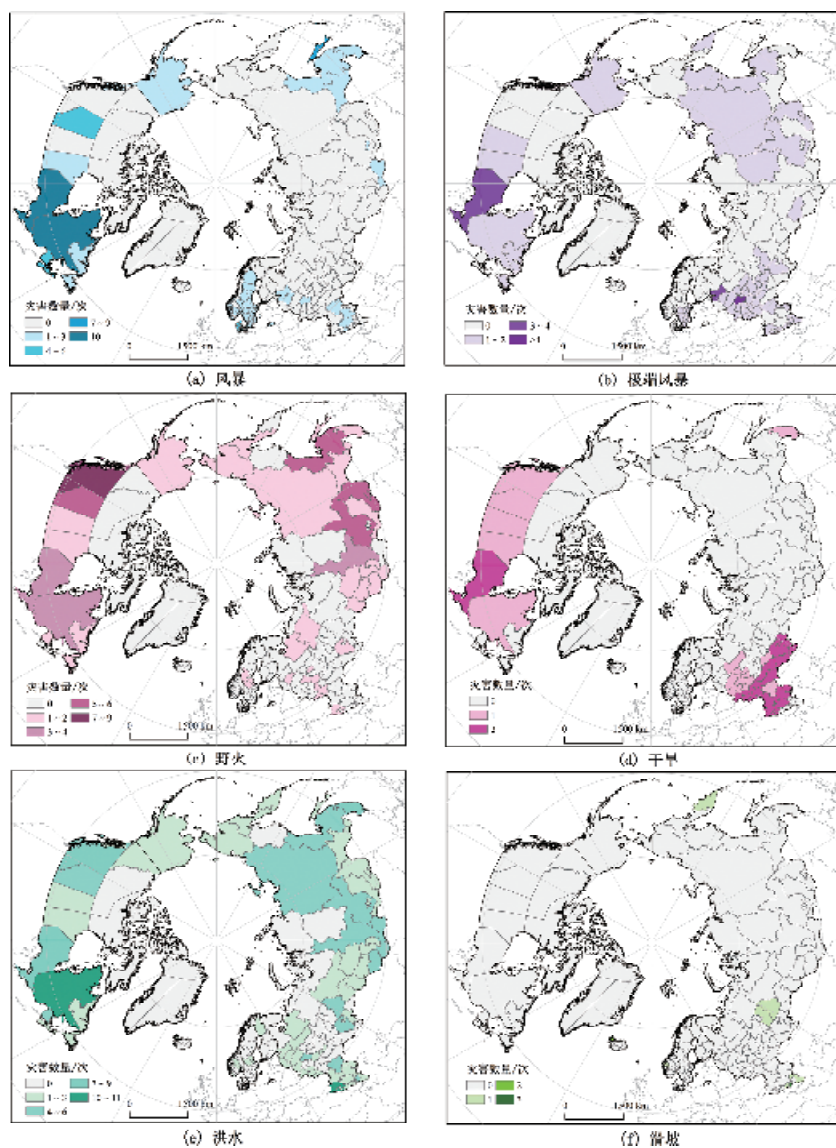


图9 1980—2020年环北极地区自然灾害一级行政区空间格局

3.3.2 一级行政区尺度分类别自然灾害时空格局

不同类型自然灾害在空间上各有差异,整体呈现“点-面”分布的特征(图9)。风暴灾害、干旱灾害及滑坡灾害呈现点状分布,极端温度、野火灾害及洪水灾害则呈面状分布。受灾范围的差异性与自然灾害的发生特征紧密相关,点状分布的灾害多是范围性气象要素占据主导,面状分布表现在相邻近地区的下垫面要素相似,易形成连续性分布特征。风暴灾害、干旱灾害及滑坡灾害主要分布在加拿大地区、俄罗斯邻近黑海地区及库页岛地区;极端温度、野火灾害及洪水灾害分布在加拿大地区、瑞典个别地区、俄罗斯远东、西伯利亚和欧洲地区。

按照自然灾害的分布范围大小来看,洪水灾害范围最广,占据174个一级行政区的56%;风暴灾害占据40%,极端温度占据39%,野火灾害占据25%,滑坡灾害最小,仅分布在8个一级行政区。

具体来看环北极地区的受灾情况,加拿大自然灾害的重灾区集中在安大略省、魁北克省、不列颠哥伦比亚省及艾伯塔五省;美国的阿拉斯加州受灾较轻;俄罗斯重灾区集中在库页岛地区、远东地区、西伯利亚联邦南部地区及欧洲南部四

大地地区,东欧平原少有灾害发生;芬兰地区受灾较轻;瑞典全国遭受风暴灾害,中部野火、洪水灾害以及南部极端温度灾害;挪威南部地区遭受风暴和洪水灾害;丹麦因处于北海口,全国(不含格陵兰岛)遭受风暴灾害。

3.3.3 一级行政区尺度分类别自然灾害时空特征

从全局 Moran's I 可以看出(表4),六种不同类型自然灾害整体呈现出空间正相关,即在环北极国家(地区)一级行政区中存在高灾次省份与高灾次省份相邻、低灾次省份与低灾次省份相邻的情况。其中,风暴灾害集聚程度最强,其次是干旱灾害,野火灾害和洪水灾害,再是极端温度和滑坡灾害。

表4 不同类别自然灾害莫兰指数

	风暴	极端温度	干旱	野火	洪水	滑坡
Moran's I	0.737	0.131	0.684	0.466	0.422	0.186

运用 Geoda 软件进行局部自相关分析,进一步探究环北极国家(地区)一级行政区自然灾害的空间相关性。6种自然灾害在一级行政区总体形成“高-高”“低-低”和“高-低”集聚三种状态,其中风暴灾害、野火灾害及洪水灾害较于其他三种灾害更加突出体现自然灾害在一级行政区的空间集聚特征(图10)。

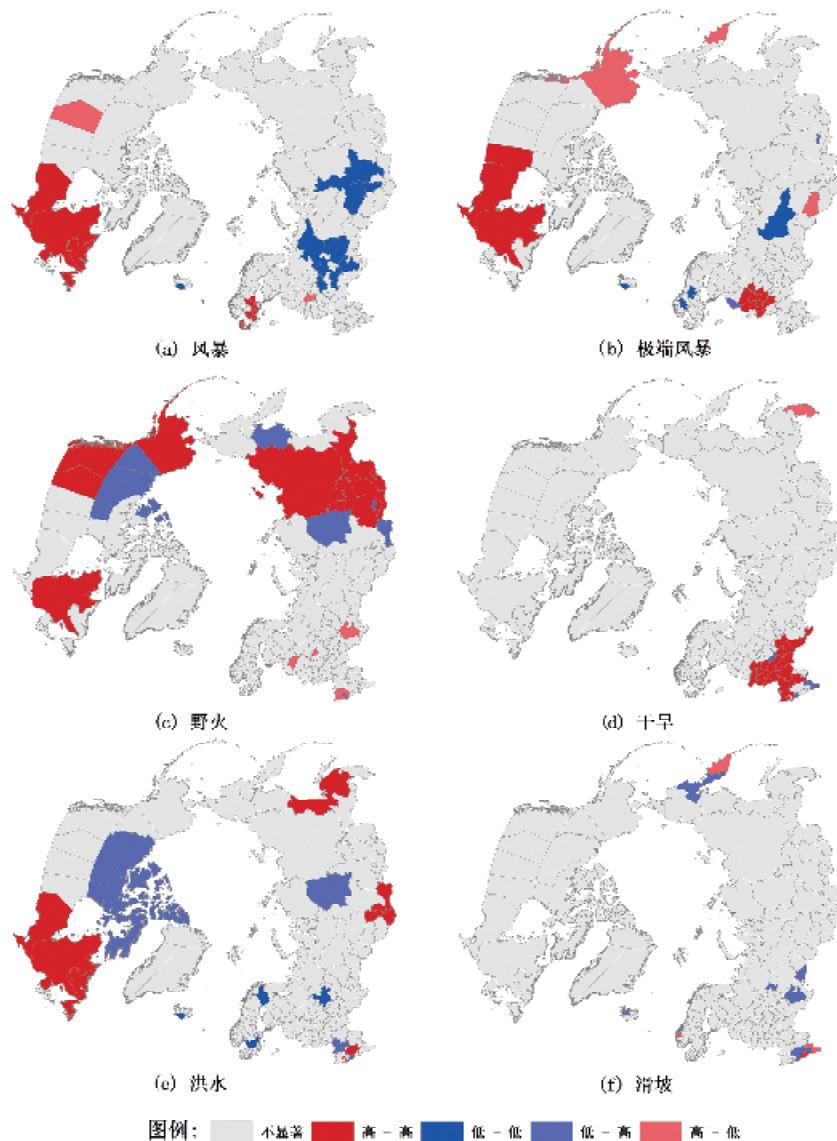


图10 1980—2020年环北极地区自然灾害一级行政区集聚状态

不同的自然灾害在一级行政区之间的相关性具有较大差异, 风暴灾害显著性区域占 174 个一级行政区划的 26.4%, 领域相关性最强。依次是极端温度和干旱灾害为 18.4%, 洪水灾害 17.8%, 野火灾害 16.1%, 滑坡 13.2%。在环北极地区中, 加拿大与俄罗斯两国的自然灾害集聚程度远高于其他地区。

4 结论与讨论

本文基于 EM-DAT 紧急灾难数据库, 选定 1980—2020 年环北极地区气象、气候、水文及地质等六类自然灾害, 以总灾害数量、死亡人数、总受影响人数和总直接经济损失为灾情指标, 从总体、国别及一级行政区划三个尺度分析环北极地区的自然灾害时空格局。得出结论如下:

(1) 1980—2020 年环北极地区受灾情况在时间尺度上呈现“缓慢增长”的趋势, 其中自然灾害数量整体“先增后减”, 爆发期集中在 1990—2009 年间, 在 2000 年达到最高的峰值 22 次。同时, 近 20 a 来灾害的破坏性愈加强烈, 灾害数量虽趋于减少, 但死亡人数和总直接经济损失却成倍数增加。

(2) 环北极地区的受灾呈两极化, 因在国土面积、海岸线等地理位置及人口密度的差异, 环北极地区受灾情况差异较大, 其中以俄罗斯和加拿大受灾最严重。同时, 洪水灾害与风暴灾害在 41 a 中占据行政单元数目均 40% 以上, 总灾次均约 30% 及以上, 在受灾范围和数量两方面均是环北极最严重的自然灾害, 其次是极端温度与野火灾害, 滑坡与干旱灾害。

(3) 一级行政区划受灾在时空尺度上具有连续、低频的特点, 呈“环状”空间格局。北极圈内人口和建筑设施稀少, 自然灾害损失在外围得以记录。受灾严重区域以加拿大五大湖地区、俄罗斯远东及欧洲地区形成了“三角”分布。不同灾种的成因差异而呈现出“点-面”分布特征, 极端温度、野火灾害和洪水灾害受气象要素(温度、降水等)影响, 易导致大范围的受灾而呈现面状分布。

(4) 自然灾害在一级行政区划上均具有显著的正相关性和集聚特征。六种自然灾害中, 单仅风暴和干旱自然灾害 Moran's I 指数较高, 其他均较低, 其相关性相对较弱。在局部自相关分析中, 环北极地区一级行政单元总体形成“高-高”“低-低”及“高-低”三种集聚状态, 其中, 高-高区分布在三角区, 加拿大五大湖地区、俄罗斯东部与欧洲地区, 低-低区则在俄罗斯中部地区。从显著性单元数量上来看, 风暴灾害 26.4% 显著, 其他五种灾害均低于总行政单元数目的 20%, 以俄罗斯和加拿大地区一级行政单元集聚特征最高。

从近 41 a 环北极地区的 4 个灾情指标来看, 北极地区的受灾情况与地理和人口因素是紧密相关的, 直接决定着成灾体量, 从整体, 国家和一次行政区划多个尺度均表现出相关性。同时, 环北极地区对 20 世纪末期的温度变化的响应程度极为敏感, 于 1990—2009 年间的成灾体量远大于其他时期。通过对北极地区的自然灾害研究, 能够清晰地认识到北极暖化所带来的消极影响, 自然灾害的变化表征着未来时期北极对人们的影响。这也要求我们从自身的利益安全角度出发, 如何应对气候变化来保持我们人类的安全生活是关键

问题。

本研究目前也存在不足。首先, 环北极地区自然灾害记录数据贫乏, 在 EM-DAT 数据库部分缺失, 例如俄罗斯 1980—1991 年数据库记录不完全或缺失, 不能保证环北极地区受灾的完整性。同时, 本研究对自然灾害的受损指标统一采取累加处理, 但在数据库中较多的自然灾害指标缺失, 简化了数据的复杂性。其次, 本文数据库是有一定的准入条件, 并没有完全收录全部的灾害事件, 在后期考虑结合慕尼黑保险等灾害数据库进行详细分析, 并建立更加全面的数据模型。

参考文献:

- [1] 赵进平, 史久新, 王召民, 等. 北极海冰减退引起的北极放大机理与全球气候效应[J]. 地球科学进展, 2015, 30(9): 985-995.
- [2] Change IPC. Climate change: Impact, Adaptation, Vulnerability [J]. Cambridge University Press, 2017, 16(2): 211-222
- [3] HUPPERT H E. Extreme natural hazards: population growth, globalization and environmental change [J]. Philosophical Transactions Series A, Mathematical, Physical, and Engineering Sciences, 2006, 364(1845): 1875-1888.
- [4] BOKHORST S, PEDERSEN S H, BRÜCKER L, et al. Changing Arctic snow cover: a review of recent developments and assessment of future needs for observations, modelling, and impacts [J]. Ambio, 2016, 45(5): 516-537.
- [5] LAWRENCE D M, SLATER A G. A projection of severe near-surface permafrost degradation during the 21st century [J]. Geophysical Research Letters, 2005, 32(24): 124401.
- [6] 李国琛. 全球气候变暖成因分析[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(5): 38-42.
- [7] IJIMA Y, NAKAMURA T, PARK H, et al. Enhancement of Arctic storm activity in relation to permafrost degradation in eastern Siberia [J]. International Journal of Climatology, 2016, 36(13): 4265-4275.
- [8] SHIKHOV A N, PERMINOVA E S, PERMINOV S I. Satellite-based analysis of the spatial patterns of fire- and storm-related forest disturbances in the Ural region, Russia [J]. Natural Hazards, 2019, 97(1): 283-308.
- [9] DOLE R, HOERLING M, PERLWITZ J, et al. Was there a basis for anticipating the 2010 Russian heat wave? [J]. Geophysical Research Letters, 2011, 38(6): 100-110.
- [10] HANESIAK J, STEWART R, TAYLOR P, et al. Storm studies in the Arctic (STAR) [J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2010, 91(1): 47-68.
- [11] REVICH B A, SHAPOSHNIKOV D A. Cold waves in southern cities of European Russia and premature mortality [J]. Studies on Russian Economic Development, 2016, 27(2): 210-215.
- [12] KASISCHKE E S, TURETSKY M R. Recent changes in the fire regime across the North American boreal region—spatial and temporal patterns of burning across Canada and Alaska [J]. Geophysical Research Letters, 2006, 33(9): L09703.
- [13] AGHAOUCHAK A, HUNING L S, CHIANG F, et al. How do natural hazards cascade to cause disasters? [J]. Nature, 2018, 561(7724): 458-460.
- [14] LUPO A R, MOKHOV I I, CHENDEV Y G, et al. Studying summer season drought in western Russia [J]. Advances in Meteorology, 2014, 2014: 1-9.
- [15] DROBYSHV I, NIKLASSON M, LINDERHOLM H W. Forest fire activity in Sweden: climatic controls and geographical patterns in 20th century [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2012, 154-155: 174-186.
- [16] EM-DAT. Natural Disasters 2019 [J]. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, 2020.
- [17] PAPROTNY D, SEBASTIAN A, MORALES-NÁPOLES O, et al. Trends in flood losses in Europe over the past 150 years [J]. Nature Communications, 2018, 9(1): 1985.
- [18] YIN J B, GENTINE P, ZHOU S, et al. Large increase in global storm runoff extremes driven by climate and anthropogenic changes [J]. Nature Communications, 2018, 9(1): 4389.
- [19] NAJIBI N, DEVINENI N. Recent trends in the frequency and duration of global floods [J]. Earth System Dynamics, 2018, 9

- (2): 757–783.
- [20] KONTAR Y, EICHELBERGER J, GAVRILYEVA T, et al. Springtime flood risk reduction in rural Arctic: a comparative study of interior Alaska, United States and central Yakutia, Russia[J]. *Geosciences*, 2018, 8(3): 90.
- [21] NIRUPAMA N, ADHIKARI I, SHEYBANI A. Natural hazards in Ontario, Canada: an analysis for resilience building[J]. *Procedia Economics and Finance*, 2014, 18: 55–61.
- [22] SHEN G Q, HWANG S N. Spatial – Temporal snapshots of global natural disaster impacts Revealed from EM – DAT for 1900 – 2015 [J]. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 2019, 10(1): 912–934.
- [23] NADIM F, PEDERSEN S A S, SCHMIDT – THOMÉ P, et al. Natural hazards in Nordic countries [J]. *Episodes*, 2008, 31(1): 176–184.
- [24] 孔锋, 史培军, 方建, 等. 全球变化背景下极端降水时空格局变化及其影响因素研究进展和展望[J]. *灾害学*, 2017, 32(2): 165–174.
- [25] ROFFEY R. Climate change and natural disasters: A challenge for Russian policymakers [M]. *Total? rsvarets forskningsinstitut (FOI)*, 2014.
- [26] BENESTAD R E, HAUGENJE. On complex extremes: flood hazards and combined high spring – time precipitation and temperature in Norway[J]. *Climatic Change*, 2007, 85(3): 381–406.
- [27] LYNCH A H, CURRYJA, BRUNNER R D, et al. Toward an integrated assessment of the impacts of extreme wind events on barrow, Alaska[J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2004, 85(2): 209–222.
- [28] VAN WELL L, VAN DER KEUR P, HARJANNE A, et al. Resilience to natural hazards: an analysis of territorial governance in the Nordic countries [J]. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2018, 31: 1283–1294.
- [29] JOLLY W M, COCHRANE M A, FREEBORN P H, et al. Climate – induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013[J]. *Nature Communications*, 2015, 6: 7537.
- [30] 蔡永祥, 罗少辉, 唐文婷, 等. 1995—2020 年青海省雷电灾害时空分布及其灾害特征分析[J]. *灾害学*, 2022, 37(1): 92–95, 119.
- [31] 田芳毓, 陈旭东, 苏筠. 2005—2020 年我国自然灾害救助应急响应时空分布特征及变化[J]. *灾害学*, 2022, 37(2): 190–196.
- [32] ZHANG X B, VINCENT L A, HOGG W D, et al. Temperature and precipitation trends in Canada during the 20th century [J]. *Atmosphere – Ocean*, 2000, 38(3): 395–429.
- [33] Health Nutrition and Population Statistics. World Bank [EB/OL]. [2021 – 11 – 02]. <https://datatopics.worldbank.org/health/>
- [34] 司瑞洁, 温家洪, 尹占娥, 等. EM – DAT 灾难数据库概述及其应用研究[J]. *科技导报*, 2007, 25(6): 60–67.
- [35] GAO J, PESARESI M. Downscaling SSP – consistent global spatial urban land projections from 1/8 – degree to 1 – km resolution 2000 – 2100[J]. *Scientific Data*, 2021, 8: 281.
- [36] 许剑辉, 舒红, 刘艳. 2000—2010 年新疆雪灾时空自相关分析[J]. *灾害学*, 2014, 29(1): 221–227.
- [37] Terra Daily. Natural disasters killed 295, 000 in 2010; reinsurer [EB/OL]. (2011 – 1 – 03) [2011 – 1 – 03]. https://www.terradaily.com/reports/Natural_disasters_killed_295000_in_2010_reinsurer_999.html

Multi – scale Temporal and Spatial Pattern Analysis of Natural Disasters in the Circum – Arctic Region

WANG Jiahao¹, HUANG Jixia^{1,2}, YANG Linsheng², WANG Li², YIN Yuanyuan³

(1. Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Science, Beijing 100101, China; 3. Normal College, Beijing Union University, Beijing 100011, China)

Abstract: Strongly affected by global warming, the natural conditions in the Arctic region are getting worse and worse. Whereas research on the temporal and spatial pattern of natural disasters at a fine scales in the Arctic region quite deficient. Based on the emergency disaster database, we use four disaster indicators, namely, the number of natural disasters, the number of deaths, the total number of people affected and the total direct economic loss, and use spatiotemporal statistics methods to study the disaster situation in the Circum – Arctic region from 1980 to 2020 at multiple scales of the overall, countries, and first – level administrative regions, and quantified the spatial distribution characteristics of different natural disasters through spatial correlation, the results show that: ① During 1980 – 2020, the number of natural disasters in the circum – Arctic region increased first and then decreased. the 20 – year period from 1990 to 2009 was a period of high incidence of six types of disasters, all of which accounted for more than 60% of the total disasters in 41 years, and the total disasters reached a peak of 22 in 2000. At the same time, the destructiveness of disasters has become more and more intense, the number of deaths and direct economic losses have increased exponentially; ② the disasters in the Arctic region are polarized, and the number and types of disasters are closely related to the land area and coastline length. Russia and Canada are the most severely affected, and the disaster volume is highly consistent with the population density. Flood and storm disasters are the most frequent natural disasters in the Arctic region, accounting for 66.9% of the total disasters, and landslides and droughts only 7.3%. ③ Natural disasters have a significant “ring” pattern and agglomeration characteristics in the first – level administrative regions, and have continuous and low – frequency characteristics on the time and space scales.

Keywords: Circum – Arctic region; global warming; natural disaster; multiscale; temporal and spatial pattern