

全球陆地气候气象及水文灾害死亡人口 时空格局及影响因素分析(1965-2016年)

刘甜^{1,2}, 方建², 马恒^{1,4}, 史培军^{1,3}

(1. 北京师范大学 地理科学学部 北京 100875; 2. 武汉大学 资源与环境科学学院 湖北 武汉 430079;
3. 北京师范大学 地表过程与资源生态国家重点实验室 北京 100875; 4. 兰州大学 资源环境学院 甘肃 兰州 730000)

摘要: 选取1965-2016年全球气候、气象、水文3类灾害灾情数据,对其次数、灾害人口死亡率格局、致灾因子的区域差异与气候变化的关系进行了系统的分析,并探究了灾害人口死亡率的影响要素。结果表明:(1)时间上,3类灾害总灾次呈逐年增加趋势,平均每次灾害人口死亡率逐年下降;(2)空间上,人口死亡率较高的国家多为发展中国家,且发展中国家水文类灾害灾次占比以及死亡人口占比最大,发达国家主要以气象类灾害为主;(3)3类灾害发生灾次的区域差异及其变化与气候变化的区域差异有一定关系。全球气候变湿趋势带的洪水-滑坡-风暴总灾次的逐年增长速度比气候变干趋势带更快,气候波动增强区分别对应的3种灾害比气候波动减弱区增长速度更快;(4)3类灾害的人口死亡率与该地区的3类灾害灾次和经济社会发展水平有关,年均3类灾害灾次与区域GDP水平对人口死亡率的影响最为重要。

关键词: 气候气象水文灾害; 死亡人口; 时空格局; 影响因素; 全球

中图分类号: X43 文献标志码: A

Spatiotemporal patterns and influencing factors of mortality of climatological – meteorological – hydrological disaster in the world (1965–2016)

LIU Tian^{1,2}, FANG Jian², MA Heng^{1,4}, SHI Peijun^{1,3}

(1. Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. School of Resource and Environmental Science, Wuhan University, Wuhan 430079, China; 3. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 4. College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: This paper analyzed the spatiotemporal patterns and influencing factors of the hazards and mortality, selecting the global climatological, meteorological, hydrological disaster data from 1965-2016. The paper explored the relationship between regional differences of hazards and climate change, further, the influencing factor of mortality were analyzed as well. The results showed that: (1) the total number of the three types of hazards showed an increasing tendency in time, while the mortality per hazard was decreasing year by year. (2) The frequency and deaths of hydrological hazard had the highest proportion in developing countries with high mortality, while the developed countries were predominantly affected by meteorological hazards. (3) The annual frequency of flood-land-slide-storm in climate wetting trend zone has grown faster than that in climate drying trend zone; moreover, the haz-

收稿日期: 2018-08-31; 修回日期: 2018-12-13

基金项目: 国家重点研发计划重点专项课题(2016YFA0602404)

Supported by: National Key Research Program of China(2016YFA0602404)

作者简介: 刘甜(1996-),女,硕士研究生,主要从事气候变化与灾害风险研究. E-mail: Liutian1101@foxmail.com

通讯作者: 史培军(1959-),男,教授,博士生导师,主要从事环境演变与自然灾害研究. E-mail: spj@bnu.edu.cn

ards corresponding to the precipitation/temperature enhanced fluctuation zone has grown faster than that in weakened zone. (4) The impact of the three types of disasters on mortality was related to the climate fluctuation and the level of economic and social development. The annual frequency of hazards and GDP level were the most important factors in the mortality.

Key words: climatological-meteorological-hydrological hazards; deaths; spatiotemporal patterns; influencing factors; global scale

过去50多年,极端天气气候事件特别是强降水、高温热浪等灾害性事件,呈现不断增多增强的趋势^[1]。EM-DAT数据显示,自1965年以来,气候类、气象类、水文类灾害共造成全球约361万人死亡,受灾人口累计达76亿人。特定种类的灾害发生在某些特定地区,但其发生的时空规律仍需探究。致灾因子的空间异质性与其孕灾环境的关系密切,人类社会的发展使得承灾体的种类和分布发生着频繁的变化,防灾能力的高低也使得同一灾因造成的损害相差较大^[2]。对全球主要气候气象和水文灾害发生的频次和其造成死亡人口的时空格局和影响因素进行研究,可为全球减灾工作的区域布局与对策制定提供一定的科学支撑。

现有研究对于自然灾害灾情的分析一般分为两类:一类是选择多类指标来建立灾情强度指数^[3-4],对区域灾害综合特征进行空间格局分析;另一类则是利用致灾因子的灾次以及死亡、影响人口、经济损失等分别作为灾害衡量指标,分析灾害的时空格局^[5-7]。对于后者,大多数研究是结合受灾害影响人口与经济损失进行分析^[8-11],也有结合具体的致灾因子仅对造成的人口伤亡进行分析^[12-13]。

社会发展水平不同的地区在遭遇同种灾害时的损失存在差异。Pan Hu等利用1975-2016年间洪水造成的年均死亡率与人均GDP做相关分析,发现随着全球GDP的增长,洪水造成的人口死亡率在下降^[11]。P. Peduzzi等利用人口物理暴露量和32个经济社会指标,分灾种对全球各国进行了风险评估,发现其脆弱性与国家发展水平和环境质量有很大关系^[14]。Nan Zhang等利用1966-2015年38个经济、教育基础设施等数据,对各个国家及大洲进行恢复性评估,发现人口密度、灾害频次及GDP对恢复性的影响最大^[15]。

相较于单灾种分析,开展多灾种死亡人口时空分布格局研究,可以更加全面地理解自然灾害造成的死亡人口的地理分布情况。同时,从现有文献可知,开展气候气象和水文灾害死亡人口时空分布格局与气候变化的区域差异相结合的研究较少。因此,本文在分析1965-2016年气候类、气象类、水文类的灾次和其造成的死亡人口时空格局的同时,基于区域灾害系统理论,结合全球气候变化区划,分析了气候气象和水文致灾因子与气候变化区域差异的关系,同时分析了这些灾害造成的死亡人口的影响要素,以此为减少灾害对人口危害的行动提供一定的科学依据。

1 数据及方法

1.1 数据来源

本文使用的数据为灾情数据和社会经济指标数据。采用的灾情数据来自比利时灾害流行病研究中心(CRED)的EM-DAT紧急事件数据库(<http://www.emdat.be/>),收录该数据库的灾害事件至少满足以下4个条件之一:有10人及10以上人数死亡;100人或100以上人数受到影响;政府宣布进入紧急状态;政府申请国际救援^[16]。本文用到该数据库中1965-2016年灾害事件的信息有:起始时间、灾害编号、灾害发生国家、灾害类型、死亡人口、总影响人口。在研究时间段内国家单元行政边界有更改的,以现在的行政边界为准,按照灾害发生地区将该灾害划分到对应行政区。南极洲等13个地区在数据库中没有数据记载,新加坡等四个国家1965-2016年因3类自然灾害导致的死亡人口记录为0。经济社会指标数据中HDI指标来自联合国的开放数据库(<http://data.un.org/Default.aspx>),人口密度、GDP等19个指标数据来自世界银行(<https://data.worldbank.org/indicator>)。本文中使用世界地图的审图号为JS(2015)01-052。

1.2 研究方法

1.2.1 致灾因子指标分类方法

依据国际科学理事会ICSU-IRDR科学计划^[17],本文对EM-DAT灾情数据库中的灾情数据进行了分类,水文类指致灾因子源于地表水流和固体物流、由水文循环的极端异常或水体及其携带物的激烈运动引起的灾害,对应EM-DAT数据库中的灾型有洪水和滑坡;气象类指致灾因子源于持续几分钟到几天、短历时、微

到中尺度极端天气和大气条件, 对应数据库中的灾型有风暴、极端温度和雾; 气候类指致灾因子源于从季变到多年代气候变率引发的长历时、中到大尺度极端大气过程, 对应数据库中的灾型有干旱和野火。本文使用国际灾情数据库中的数据对全球灾害进行时空格局分析, 因此采用国际上这 3 类灾害的分类标准。

1.2.2 死亡率特征分析方法

本文基于区域灾害系统理论, 对死亡率分布特征的影响因素进行了分析。区域灾害系统的功能体系 (D_f) 是由孕灾环境稳定性 (S)、致灾因子危险性 (H) 和承灾体脆弱性 (V) 共同构成, 即 $D_f = S \cap H \cap V^{[18]}$ 。可表述如公式(1):

$$D_f = S \cdot H \cdot V. \quad (1)$$

本文仅选取该理论中的致灾因子危险性 (H) 和承灾体脆弱性 (V) 两者来分析气候气象和水文灾害对所在地人口死亡率的影响。如公式(2):

$$M = a \cdot H^{a_i} \cdot V^{a_j}. \quad (2)$$

对公式(2) 等式两边取对数:

$$\ln(M) = a_0 \ln H + a_1 \lg V_1 + \cdots + a_n \lg V_n + \lg a. \quad (3)$$

其中, M 是 1990–2015 年各国家年均死亡率; a 是常数, a_i 和 a_j 分别是 H 和 V 的指数; H 是 1990–2015 年各国家年均气候气象和水文灾害的次次; V 是 1990–2015 年各国家社会经济指标的年均值。

2 结果与分析

2.1 全球气候气象和水文灾害次次和死亡人口时间变化特征分析

1965–2016 年, 气候气象和水文灾害总次次呈增加趋势, 其中水文类增长得最快, 气象类次之, 气候类最慢。这 3 类自然灾害造成约 361 万人死亡, 其中气候类自然灾害造成死亡人口为 221 万人, 占总死亡人数的 61%; 气象类为 105.6 万人, 占 29%; 水文类为 34.5 万人, 占总数的 10%。一般来讲, 气候类自然灾害发生的次数相对较少, 造成的死亡人数也较少。如干旱事件死亡人数较少, 影响人数则较多; 野火事件发生的区域与人类活动范围的交集较少, 造成的死亡人数也较少。但个别干旱事件引发饥荒瘟疫等会导致巨大的死亡人口, 如 1965 年印度的旱灾造成了 150 万人死亡、1981 年莫桑比克共和国的旱灾造成了 10 万人死亡等, 使气候类灾害死亡人口占 3 类灾害死亡人口比大幅提升。如图 1 所示, 1965 年亚洲孟加拉国和巴基斯坦遭遇风暴而死亡人数达到 58047 人, 印度干旱导致 150 万人死亡; 1970 年孟加拉国遭遇风暴死亡 30 万人; 1983 年一场干旱同时导致非洲的埃塞俄比亚和苏丹死亡人数共 45 万人。1991 年一场风暴导致孟加拉国 138866 人死亡, 2008 年缅甸的一场风暴导致 138266 人死亡, 这些事件的发生导致当年的死亡人数大幅增加。在这 52 年间, 每十年年均死亡人口总体上呈下降趋势, 2005–2014 年略高于前十年, 其间 2010 年发生在俄罗斯的一次极端温度事件和非洲索马里的干旱分别导致 5.5 万人和 2 万人死亡, 年死亡率总体上呈下降趋势(图 2)。对逐年每次灾害死亡率进行计算, 平均每次灾害死亡率逐年明显下降。

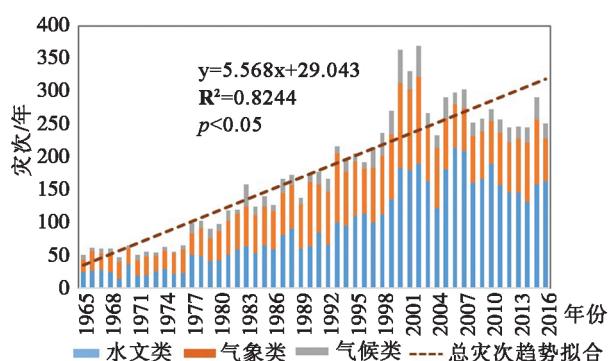


图 1 1965–2016 年 3 类自然灾害发生频次

Fig. 1 Frequency of three types of natural hazards during 1965–2016

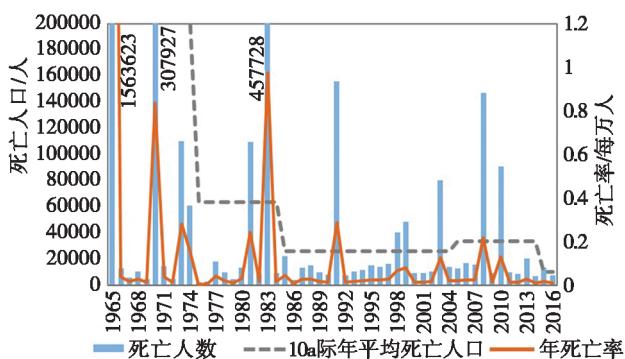


图 2 1965–2016 年 3 类灾害逐年死亡率与死亡人口

Fig. 2 Annual mortality and deaths from three types of disasters during 1965–2016

2.2 全球气候气象和水文灾害灾次和死亡人口空间格局分析

2.2.1 大洲尺度灾次和死亡人口

亚洲是3类灾害发生次数和死亡人口最多的大洲,1965-2016年总死亡人口达到259万人,其中气候类死亡人数最多,占亚洲总死亡人口的58%。非洲水文类灾害发生得最为频繁,灾次占比达到60%,气候类灾害中的干旱事件造成的死亡人口占比最大。欧洲水文类灾次占比为50%,主要死亡人口由气象类灾害导致;北美洲多发气象类灾害,灾害死亡人口也主要由气象类灾害造成;南美洲水文类灾次占比和死亡人口占比最高;大洋洲以气象类灾害发生最为频繁,总死亡人口为3987人,该类灾害发生次数和死亡人口约占总次数和总死亡人口的50%(图3)。从1965-2016年的多年死亡率来看,非洲死亡率最高,紧跟其后的是亚洲。

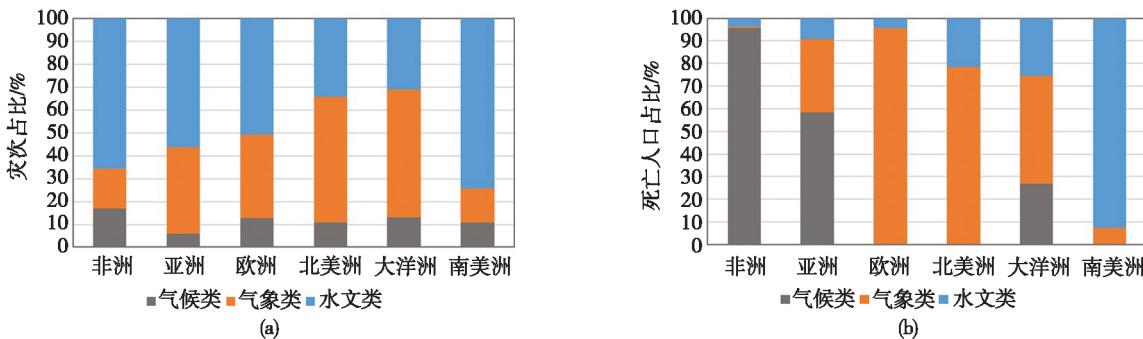


图3 1965-2016年各大洲3类灾害灾次占比(a)和死亡人口占比(b)

Fig. 3 Proportion of occurrence (a) and deaths (b) induced by 3 types of hazards across continent (1965-2016)

2.2.2 国家尺度灾次空间格局分析

90%的国家单位面积上3类灾害总灾次集中在0-50次/万km²,单位面积灾次全球前十的国家均为国土面积相对较小的沿海国家以及分布在大洋中的岛屿国家。欧洲、东南亚、朝鲜半岛及日本的单位面积灾次较高,其次分别是非洲东部沿岸、亚洲大部如东亚、南亚,北美洲的南部和南美洲的西部沿岸国家的单位面积灾次较高(图4)。在欧洲四个区域中,东欧和南欧水文类灾害事件发生得十分频繁,北欧与西欧的气象类灾害事件发生次数更多;美国的气象类灾次占比最多,主要以风暴灾害事件为主;南美主要几个国家水文类灾

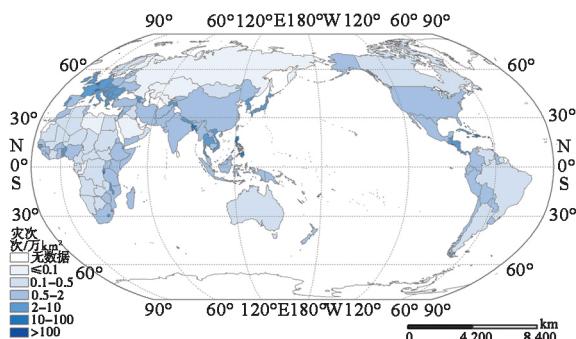


图4 1965-2016年全球3类灾害单位面积灾次分布

Fig. 4 Occurrence per unit area of three types of hazards across the global (1965-2016)

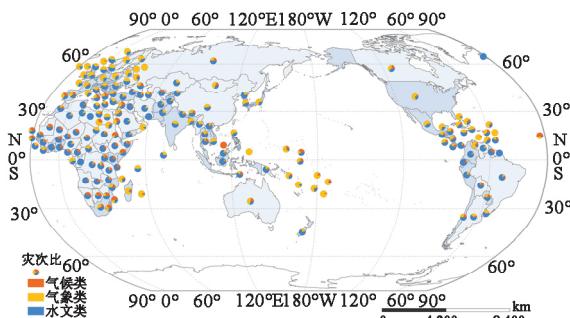


图5 1965-2016年全球3类灾害灾次比

Fig. 5 Percentage of 3 types of hazards occurrence over the globe during 1965-2016

害发生最为频繁;非洲大部分国家均以水文类发生频次占比最大,如阿尔及利亚、尼日利亚、安哥拉等国家的水文类发生频次占比达到80%以上,这些国家在水文类灾害中均以河道型洪水发生最为频繁。印度死亡人口90%以上由气候类灾害造成,但灾次是以水文类为主(图5)。印度容易受到热带低压的影响造成强降雨,导致境内多发洪水灾害。其东部的孟加拉国以气象类灾害与水文灾害多发,所处孟加拉湾易受海洋大潮影响且沿岸地区人口密集、处于恒河下游易于洪水泛滥加剧。非洲多数国家、南美洲、南亚、东南亚、东欧和南欧部分国家水文类灾次最高。2000年的数据显示全球大约有30%的城市分布在洪水高发区域,特别是集

中在罗纳河、多瑙河、塞纳河等欧洲河流流域，在发展中国家，超过一半区域分布在南亚和东南亚，特别是湄南河、印度河、印度的恒河流域、中国的长江流域和珠江三角洲地区以及朝鲜半岛^[19]。这些区域中，特别是发展中国家的水文类灾害发生较频繁。

2.2.3 国家尺度死亡人口空间格局分析

单位面积死亡人口较高的国家集中在南亚、东南亚、非洲东部、欧洲西南部次之，死亡率较高国家集中于南亚和东南亚、及非洲东部。

孟加拉国是单位面积总死亡人口数最高的国家，3类灾害导致的死亡人口每千平方千米约3865人，印度的每千平方千米死亡人数为498人。全球每千平方千米死亡人数最高的十个国家分别为孟加拉国、印度、埃塞俄比亚、海地、洪都拉斯、缅甸、图瓦卢、菲律宾、莫桑比克。其中图瓦卢仅死亡6人，但其国土面积极小。因此，根据单位面积死亡人口判断灾害对人口的影响并不完善，也需全面分析。

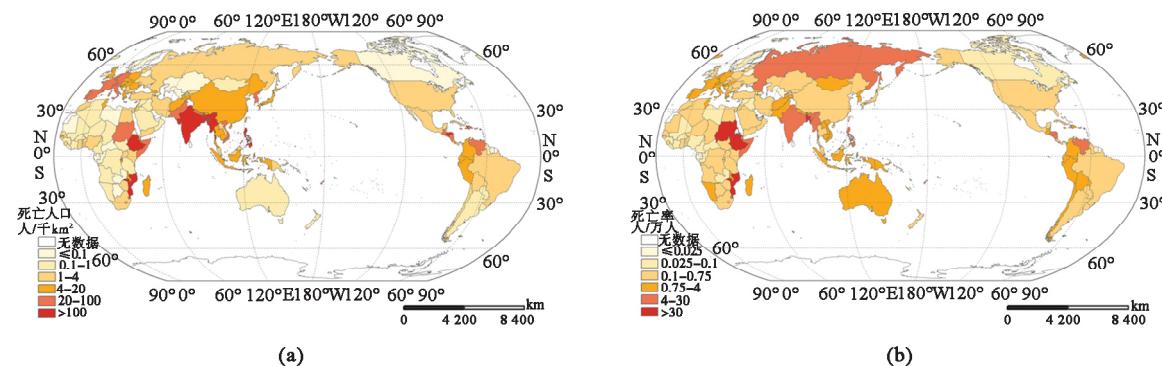


图 6 1965–2016 年全球 3 类灾害死亡人口总数分布(a) 和死亡率分布(b)

Fig. 6 Deaths per unit area (a) and mortality (b) of 3 types of disasters over the globe (1965 – 2016)

埃塞俄比亚是全球3类灾害导致死亡率最高的国家，约为39.5人/每百万人。3类灾害导致的死亡率最高的10个国家有：埃塞俄比亚、苏丹、莫桑比克、孟加拉国、索马里、洪都拉斯、缅甸、印度、多米尼加、委内瑞拉，其中有4个非洲国家、3个亚洲国家、3个美洲国家，均为发展中国家。可以看到，虽然欧洲西部单位面积死亡人数较多，但其死亡率分布在0.75–4(每万人)这一级别，这与其防灾能力较强不无关系(图6)。

印度气候类灾害对死亡人口影响最大，其91%的死亡人口是气候类中的干旱事件造成的，同样情况的还有非洲埃塞俄比亚、苏丹、莫桑比克和索马里等国家。

除去小岛屿国家，欧洲大部分国家、美国、加拿大皆为气象类灾害对死亡人口影响最大的国家和地区。1965–2016年欧洲气象类灾害造成死亡人口14.8万人，其中98%是由极端温度事件造成，以高温热浪灾害事件为主；美国气象类灾害导致的死亡人口约有77.6%是由风暴造成的，剩余由极端温度事件导致；加拿大在这52年间气象类灾害导致的死亡人口并不算多，仅有193人。

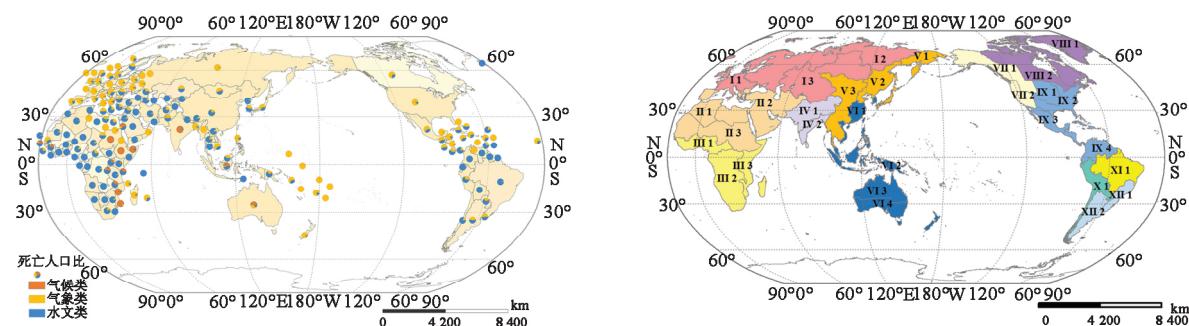


图 7 1965 年 – 2016 年全球 3 类灾害死亡人口比

Fig. 7 Percentage of 3 types of disaster deaths over the globe during 1965 – 2016

1965–2016年，中国水文类灾害导致的死亡人口比例较大，造成了约70%的人口死亡，河道型洪水影响

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

图 8 世界气候变化二级区划(1961 – 2010)^[20]

Fig. 8 Level-II regionalization of climate change in the world (1961 – 2010)

总人口累计约17亿人次，死亡人口占到洪水事件死亡人口总数的57.1%。非洲的尼日尔、摩洛哥、阿尔及利亚、刚果民主共和国和赞比亚等国家水文类死亡人口占到这3类灾害总死亡人口的93%以上。南美洲大部分国家均为水文类灾害造成的死亡人口占比较大(图7)。

2.3 全球气候气象类灾害与水文灾害次数空间格局影响因素分析

为了探究气候变化对于这3类灾害的灾次有何影响，本文结合世界气候变化区划^[20](图8)，使用一次线性拟合($y = kx + b$)对逐年灾次进行趋势分析，斜率k代表该类灾次的增长速度。选取洪水、滑坡和风暴的总灾次，研究全球气候变干与变湿区域和降水波动增强与减弱区域造成这3类灾害的空间差异；选取干旱、野火、极端天气的总灾次，研究全球气温波动增强与减弱区域造成这3类灾害的空间差异。

表1 世界气候变化二级区划信息^[20]

Table 1 Information of global climate change regionalization for nearly 50 years

一级区划	二级区划	气温波动	降水波动	一级区划	二级区划	气温波动	降水波动	一级区划	二级区划	气温波动	降水波动
I 暖湿趋势带	I 1	+	+	V 暖干趋势带	V 1	+	+	IX 暖湿趋势带	IX 1	+	-
	I 2	-	-		V 2	-	+		IX 2	+	+
	I 3	-	+		V 3	+	+		IX 3	-	-
II 暖干趋势带	II 1	+	-	VI 暖湿趋势带	VI 1	+	+	X 冷湿趋势带	X 1	+	+
	II 2	-	-		VI 2	-	+		X 1	-	+
	II 3	-	+		VI 3	+	+		X 1	-	-
III 暖干趋势带	III 1	-	+	VII 暖干趋势带	VI 4	-	-	XI 暖干趋势带	XI 1	-	+
	III 2	+	+		VII 1	+	-		XI 1	-	-
	III 3	-	+		VII 2	+	+		XI 1	-	-
IV 暖湿趋势带	IV 1	-	-	VIII 暖湿趋势带	VIII 1	-	+	XII 暖湿趋势带	XII 1	+	+
	IV 2	-	+		VIII 2	+	+		XII 2	+	+

注：“+”表示波动增强，“-”表示波动减弱。

全球变湿趋势带的洪水-滑坡-风暴灾单位面积总灾次年增长速度比变干趋势带的大，降水波动增强比减弱区域年灾次增长速率快，气温波动增强区的干旱-野火-极端温度总灾次比减弱区域的增长速率快(表2)。在世界气候变化一级区划中，VIII区域中的灾次过少不足以构成时间序列，该区域中VIII2区域的干旱-野火-极端温度的单位面积灾次要比VIII1的高。除去II区和XII区，同一趋势带中，降水波动增强区比降水波动减弱区的洪水-滑坡-风暴增长速度快；除去III区和VI区，同一趋势带中气温波动增强区比减弱区的干旱-野火-极端温度增长速率快。

在世界气候变化二级区划中，洪水-滑坡-风暴增长最快的区域是VI2区，每千万平方千米年均增长1.86次，包括菲律宾、马来西亚、印度尼西亚等东南亚国家，根据柯本气候分类，属赤道带湿润型气候。该区域的气候变化呈暖湿趋势，降水波动增强，洪水、滑坡、风暴等与降水相关的灾次也就更加频发；干旱-野火-极端温度增长最快的区域是VII2区，每千万平方千米年均增长0.40次，根据柯本气候分类，其属于夏季干燥型暖温气候带和干旱气候带，在快速变暖变干的气候变化趋势下，VII2区域气温降水波动均增强，干旱、野火、极端温度事件更加频发。

2.4 全球气候气象类灾害与水文灾害造成人口死亡率的影响因素分析

为探究3类自然灾害给当地人口造成的影响与经济社会要素的关系，基于区域灾害系统理论，本文将各国家1990-2015年间的3类灾害的年均死亡率作为因变量，年均灾次及国内生产总值等18个经济社会指标作为解释变量，利用多元线性回归模型进行分析。分别选择和这3类灾害总死亡率、总影响人口率、水文类死亡率、气象类死亡率存在线性关系，并在95%的置信区间内显著相关的指标构建回归模型，结果如公式(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

表2 世界气候变化一级区划对应3类灾害灾次趋势线参数

Table 2 Parameter of disaster trend line in different climate regionalization

区划	降水气温变化特征	R ²	k 次/10 ⁷ km ²
一级区划	变湿趋势带	0.84	0.42**
一级区划	变干趋势带	0.85	0.37**
二级区划	降水波动增强	0.86	0.50**
二级区划	降水波动减弱	0.78	0.38**
二级区划	气温波动增强	0.70	0.17**
二级区划	气温波动减弱	0.52	0.05**

注：**表示在1%水平上呈显著性；气温变化带对应的灾害为干旱-野火-极端温度；降水相关变化带对应灾害为洪水-滑坡-风暴。

(4) – (7)。

$$\ln(M) = 1.071\ln(F) + 0.314\ln(\rho_{\text{pop}}) - 0.332\ln(GDP_{\text{total}}) - 0.298\ln(p_t) + 6.23. \quad (4)$$

$$\ln(IF) = 1.588\ln(F) - 0.747\ln(GDP_{\text{total}}) - 0.645\ln(Urb_{\text{pop}}) + 20.508. \quad (5)$$

$$\ln(M_{\text{hyt}}) = 1.175\ln(F_h) + 0.276\ln(\rho_{\text{pop}}) - 0.478\ln(GDP_{\text{total}}) - 0.497\ln(p_t) + 13.017. \quad (6)$$

$$\ln(M_{\text{met}}) = 1.426\ln(F_m) - 0.553\ln(GDP_{\text{total}}) - 1.719\ln(Edu_r) + 20.237. \quad (7)$$

M 、 M_{hyt} 、 M_{met} : 分别为 3 类灾害年均总死亡率、水文类灾害年均死亡率、气象类灾害年均死亡率(人/百万人); IF : 3 类灾害年均影响人口率(人/千人); F 、 F_h 、 F_m : 3 类灾害总年均灾次、水文类灾害年均灾次、气象类灾害年均灾次; ρ_{pop} : 年均人口密度(人/km²); GDP_{total} : 年均国内生产总值, 以 2010 年为基期(美元); p_t : 年均耕地占土地面积比(%); Urb_{pop} : 城市人口占比(%); Edu_r : 公共教育支出占政府支出比(%)。

选取 160 个国家的 4 个指标(年均灾次、 GDP_{total} 、人口密度、耕地占比)作为解释变量, 对这 3 类灾害的总死亡率构建回归模型, 如公式(4)。该回归模型中 R^2 为 0.397; 对整个回归方程进行检验 $p < 0.01$, 对各个解释变量进行显著性检验 $p < 0.05$ 。结果表明, 同一时期内灾次与人口密度对灾害死亡率呈正向的影响; GDP 越高的国家, 防灾能力较强, 其死亡率就越小; 耕地占比越大, 死亡率越小。标准系数可以表示在同种条件下, 解释变量间的重要性。4 个解释变量对于总死亡率的重要性, 从大到小依次为年均灾次(0.776)、 GDP_{total} (-0.496)、人口密度(0.263)、耕地占比(-0.243)。

同样, 选取 160 个国家的 4 个指标(年均灾次、 GDP_{total} 、人口密度、城市人口占比)作为解释变量, 对这 3 类灾害的年均影响人口率, 通过综合逐步回归与进入回归法构建回归模型, 其 R^2 为 0.54; 对该回归方程进行检验 $p < 0.01$, 对各个解释变量进行显著性检验 $p < 0.05$ 。可见, 一定时期内灾次对灾害影响人口率为正向影响; GDP_{total} 与城市人口占比对影响人口率为负向影响。城市化水平越高^[21] 的国家, 这 3 类灾害影响人口率也就越低。4 个解释变量对于总影响人口率的重要性, 从大到小依次为年均灾次(0.771)、 GDP_{total} (-0.736)、城市人口占比(-0.137)。

在本文选用的灾情数据库中, 有水文类死亡人口记载且其余指标数据均完整的有 142 个国家, 选择 4 个指标(年均灾次、 GDP_{total} 、耕地占比、人口密度)对水文类灾害年均死亡率进行了分析, 其回归模型 R^2 为 0.583, 对回归方程进行显著性检验 $p < 0.01$, 对解释变量进行显著性检验 $p < 0.01$ 。结果表明, 水文类灾害发生次数越多和人口密度越大的国家死亡率越大; 一般来说, 耕地面积占比较小的国家多山地, 该处人口聚居点多沿河谷分布, 山洪及泥石流、滑坡等水文类灾害对该地区居住人口影响大。经济水平越低, 耕地占比越低, 死亡率越高。在这些国家中委内瑞拉、玻利瓦尔共和国的实际死亡率远高于预测值, 该国家 1999 年发生的一次泥石流导致的死亡人数占到这 20 年水文类死亡总数的 99.3%, 是 20 世纪最严重的泥石流灾害。四个解释变量对于水文类灾害总死亡率的重要性, 从大到小依次为年均灾次(0.913)、 GDP_{total} (-0.679)、耕地占比(-0.407)、人口密度(0.235)。

气象类灾害事件以 119 个国家作为样本, 选择 3 个指标(年均灾次、 GDP_{total} 、公共教育开支占政府支出比)对气象类灾害年均死亡率进行了分析, 其回归模型 $R = 0.426$, 对回归方程进行检验 $p < 0.01$, 对解释变量进行显著性检验 p 值均小于 0.01。气象类灾害灾次对气象类灾害死亡率为正向影响, GDP_{total} 、公共教育开支占政府支出比为负向影响。经济水平越高、教育水平越高的国家在一定程度上可以对灾害做出预警, 且可组织有效逃生。在 119 个国家中, 洪都拉斯的 20 年间的气象类死亡率与预测值相差最大。洪都拉斯这 20 年间气象类的死亡人口 99% 由 1998 年的大西洋飓风“米奇”引起的。四个解释变量对于气象类灾害总死亡率的重要性, 从大到小依次为年均灾次(0.755)、 GDP_{total} (-0.603)、公共教育开支占政府支出比(-0.223)。

3 结论与讨论

3.1 结论

(1) 1965–2016 年全球气候气象和水文灾害总灾次呈逐年增加趋势, 平均每次灾害死亡率呈逐年下降趋势。水文类灾害逐年增长速度最快, 气象类次之, 气候类最慢; 气候类灾害造成的死亡人口最多, 气象类次之, 水文类最少; 在各大洲中, 非洲的多年死亡率最高, 亚洲次之。

(2) 全球气候气象和水文灾害死亡率较高的国家多为发展中国家, 且在发展中国家的水文类灾害灾次占比以及其死亡人口占比都最大, 发达国家主要以气象类灾害为主。全球气候气象和水文灾害单位面积死

亡人数多的国家主要分布在南亚、非洲东部以及西欧和南欧，美洲则以南美洲西部较高；非洲东部、南亚、俄罗斯与南美洲西部死亡率较高。亚洲、非洲、南美洲大部分国家水文类灾害导致死亡人数最多。同时，发展中国家的水文类灾次占比更大；欧洲、北美洲、日本以及小岛屿国家气象类灾害对死亡人口影响最大，这些国家多为发达国家。

(3) 全球气候气象和水文灾害发生灾次的区域差异及其变化与世界气候变化有一定关系。全球气候变湿趋势带的洪水-滑坡-风暴总灾次的逐年增长速度比气候变干趋势带大；同一气候变化趋势带内，降水波动增强区域的洪水-滑坡-风暴灾害比降水波动减弱区域发生更频繁，单位面积灾次增长速度更快；气温波动增强区域的干旱-野火-极端温度比气温减弱区域单位面积灾次增长速率快；

(4) 全球气候气象和水文灾害对人口的影响与该国家或地区的灾次、经济社会发展水平有关。3类灾害的灾次、人口密度对灾害造成的死亡率为正向影响，经济水平、城市化水平、教育水平以及耕地面积占比对灾害造成的死亡率为负向的影响。年均灾次与GDP_{total}对3类灾害死亡人口率和影响率的作用最为重要。

对国家而言，提高经济水平、灾害预警能力、灾害频发地的医疗水平、做好应对灾害的紧急逃生知识的宣传与教育，对减少这3类灾害对人口的影响有重要的意义。

3.2 讨论

本文仅依赖于EM-DAT一个灾情数据库，对于年代久远的全球气候气象和水文灾害事件缺乏记载或记载详细程度不够，其数据的完备性有待选择多来源的数据库，开展相互校核，以提时空分辨率和相对精度。在进行这3类灾害死亡人口与灾次空间格局分析时，仅描述了其分布特点，未来可依据灾害系统理论，结合区域孕灾环境特点开展更为深入的空间差异分析；在探究这3类灾害发生次数、社会经济发展状况对人口死亡和影响时，应当考虑将时间序列加入模型或是将不同地区作为离散变量加入模型，这将使得结果更能针对地理条件时空差异。在后续的研究中，还需要建立一个更加全面的灾害造成人口死亡和影响量化分析的指标体系、多元统计分析模型与动力学和非动力学相结合的模型。

参考文献：

- [1] IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change 2013 Fifth Assessment Report (AR5) [R]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2013.
- [2] 史培军. 灾害风险科学[M]. 北京：北京师范大学出版社，2016: 23-35.
- [3] SHI Peijun. Disaster Risk Science [M]. Beijing: Beijing Normal University Publishing Group, 2016: 23-35. (in Chinese)
- [4] 廖永丰, 赵飞, 王志强, 等. 2000-2011年中国自然灾害灾情空间分布格局分析[J]. 灾害学, 2013, 28(4): 55-60.
LIAO Yongfeng, ZHAO Fei, WANG Zhiqiang, et al. Spatial pattern analysis of natural disasters in China from 2000 to 2011 [J]. Journal of Catastrophology, 2013, 28 (4): 55-60. (in Chinese)
- [5] 王静爱, 史培军, 朱郦. 中国主要自然致灾因子的区域分异[J]. 地理学报, 1994, 49(1): 18-26.
WANG Jingai, SHI Peijun, ZHU Li. A research on regional distribution of major natural hazards in China [J]. Acta Geographica Sinica, 1994, 49(1): 18-26. (in Chinese)
- [6] 刘毅, 杨宇. 历史时期中国重大自然灾害时空分异特征[J]. 地理学报, 2012, 67(3): 291-300.
LIU Yi, YANG Yu. Spatial distribution of major natural disasters of China in historical period [J]. Acta Geographica Sinica, 2012, 67(3): 291-300. (in Chinese)
- [7] 袁艺, 马玉玲. 近30年我国自然灾害灾情时间分布特征分析[J]. 灾害学, 2011, 26(3): 65-68.
YUAN Yi, MA Yuling. Analysis on temporal distribution characteristics of natural disaster losses in China in the recent three decades [J]. Journal of Catastrophology, 2011, 26(3): 65-64. (in Chinese)
- [8] 赵飞, 汪洋, 刘南江, 等. 2000-2012年我国自然灾害人口损失情况特征分析[J]. 灾害学, 2013, 28(4): 139-142.
ZHAO Fei, WANG Yang, LIU Nanjiang, et al. Characteristics of life losses in natural disasters in China during 2000-2012 [J]. Journal of Catastrophology, 2013, 28(4): 139-142. (in Chinese)
- [9] 郑远长. 全球自然灾害概述[J]. 中国减灾, 2000, 10(1): 14-19.
ZHENG Yuanchang. Overview of global natural disasters [J]. Disaster Reduction in China, 2000, 10(1): 14-19. (in Chinese)
- [10] 吴吉东, 傅宇, 张洁, 等. 1949—2013年中国气象灾害灾情变化趋势分析[J]. 自然资源学报, 2014, 29(9): 1520-1530.
WU Jidong, FU Yu, ZHANG Jie, et al. Meteorological disaster trend analysis in China: 1949-2013 [J]. Journal of Natural Resources, 2014, 29(9): 1520-1530. (in Chinese)
- [11] Hu P, Zhang Q, Shi P, et al. Flood-induced mortality across the globe: spatiotemporal pattern and influencing factors [J]. Science of the Total Environment, 2016, 536: 1118.

- Environment , 2018 , 64(3) : 171 – 182.
- [12] Jonkman S N. Global perspectives on loss of human life caused by floods [J]. Natural Hazards , 2005 , 34(2) : 151 – 175.
- [13] Borden K A , Cutter S L. Spatial patterns of natural hazards mortality in the United States [J]. International Journal of Health Geographics , 2008 , 7(1) : 64.
- [14] Peduzzi P , Dao H , Herold C , et al. Assessing global exposure and vulnerability towards natural hazards: the disaster risk index [J]. Natural Hazards & Earth System Sciences , 2009 , 9(4) : 1149 – 1159.
- [15] Zhang N , Huang H. Resilience analysis of countries under disasters based on multisource data [J]. Risk Analysis , 2017 , 38(13) : 31 – 42.
- [16] Guha-Sapir D , Hoyois Ph. , Wallemacq P , et al. Annual Disaster Statistical Review 2016: The Numbers and Trends [R]. Brussels: CRED , 2016.
- [17] UN-ICSU. Integrated Research on Disaster Risk. Peril Classification and Hazard Glossary (IRDR DATA Publication No. 1) [R]. Beijing: Integrated Research on Disaster Risk , 2014.
- [18] 史培军. 四论灾害系统研究的理论与实践 [J]. 自然灾害学报 , 2005 , 14(6) : 1 – 7.
SHI Peijun. Theory and practice on disaster system research in a fourth time [J]. Journal of Natural Disasters , 2005 , 14(6) : 1 – 7. (in Chinese)
- [19] Güneralp B , İnciGüneralp , Liu Y. Changing global patterns of urban exposure to flood and drought hazards [J]. Global Environmental Change , 2015 , 31: 217 – 225.
- [20] 孙劭. 全球多尺度气候变化区域分异规律及区划研究 [D]. 北京: 北京师范大学 2016.
SUN Shao. Study on Global Multi-scale Regional Differentiation Patterns and Regionalization of Climte Change [D]. Beijing: Beijing Normal University , 2016. (in Chinese)
- [21] 岳谦厚 , 王承吉. 临汾城市化若干指数分析 [C] // 万新平 渡边惇. 城市史研究 , 天津市: 天津社会科学院出版社 , 2002: 489 – 498.
YUE Qianhou , WANG Chengji. Analysis of several indexes of urbanization in Linfen [C] // WAN Xinping , DU Bianchun. Urban History Research. Tianjin: Tianjin Academy of Social Sciences Publishing Group , 2002 , 489 – 498. (in Chinese)