

# 浙江省台风灾情时空分布特征及影响因素研究

韩鹏, 郭桂祯, 李鑫磊, 刘菁菁

(应急管理部国家减灾中心, 北京100124)

**摘要:**台风灾害给浙江省造成了严重的生命和财产损失。本文以浙江省的县域为研究单元,通过对2009-2020年台风灾害灾情数据的分析,结合降水数据、风场数据、地形数据、河网数据和统计年鉴等资料,研究了台风灾情时空分布特征。在此基础上,运用地理探测器方法分析了台风灾情的影响因素。结果表明,2009-2020年共有27个台风登陆或影响浙江省,其中12个超强台风造成的损失最严重,而灾害损失严重地区主要分布在浙江省东南部沿海地区。台风灾害致灾因子、孕灾环境因子和人类活动因子中,台风最大风速、三日内最大降水量和距台风中心距离对受灾人口、死亡人口、受灾农作物和直接经济损失的贡献最大。本研究可为台风灾害风险的影响因素定量化分析提供方法参考。

**关键词:**台风灾害;时空分布;影响因素;地理探测器;浙江省

中图分类号:P444;X43

文献标识码:A

## Analysis of spatiotemporal patterns and influencing factors of typhoon disasters in Zhejiang Province

HAN Peng, GUO Guizhen, LI Xinlei, LIU Jingjing

(National Disaster Reduction Center of China, Beijing 100124, China)

**Abstract:** Typhoon disasters have caused numerous casualties and property loss in Zhejiang Province, China. This study analyzed the historic typhoon disasters data covering 2009-2020, combining with the data of wind field, precipitation, topography, river and statistical measures in Zhejiang Province to investigate the spatiotemporal patterns of typhoon disasters. The influencing factors of typhoon intensity were revealed by Geodetector technique. The results showed that there were 27 typhoon landfalling or affecting Zhejiang Province during this period, in particular, 12 super typhoons occurring in the southeast coastal areas that posed the most severe threat to human lives and properties. The maximum wind velocity, the maximum three-day precipitation and the distance to typhoon center were considered as the three major factors, which determined the affected population, the death number, the damaged crops, and the direct economic loss. The results can provide theoretical reference for quantitatively analyzing the influencing factors of typhoon disasters and their associated risks.

**Key words:** typhoon disaster; spatiotemporal pattern; influencing factor; Geodetector; Zhejiang Province

## 引言

中国是世界上遭受台风灾害损失最严重的国家之一。据统计,1949-2010年,共有428个生成于西北太

收稿日期:2022-01-30; 修回日期:2022-04-08

基金项目:国家重点研发计划(2017YFC1502901)

Supported by: National Key R&D Program of China(2017YFC1502901)

作者简介:韩鹏(1985-),男,助理研究员,博士,主要从事自然灾害风险管理与监测预警研究。E-mail:hanpeng@ndrcc.org.cn

平洋的台风登陆我国,平均每年登陆中国的台风有8个左右<sup>[1-2]</sup>。台风不仅会带来大风、暴雨和风暴潮,还会引发洪水、滑坡、泥石流等次生灾害<sup>[3]</sup>,严重制约着中国的经济和社会可持续发展。而东南沿海首当其冲,成为台风灾害损失最严重的地区。东部沿海地区人口密集,经济发达,承载着38%以上的人口,创造着55%以上的国民生产总值<sup>[4]</sup>。在全球气候变暖和海平面上升的背景下<sup>[5-6]</sup>,东南沿海地区遭受台风灾害的影响非常严重,已经成为高风险区域<sup>[7]</sup>。

目前关于台风灾害研究主要包括以下几个方面:台风灾害系统论研究<sup>[8-9]</sup>、台风灾害风险评估<sup>[10-12]</sup>、台风灾害损失评估<sup>[13-15]</sup>和台风灾害减灾防灾能力评估<sup>[16-17]</sup>。这些研究基于灾害系统论,从致灾因子、孕灾环境和承灾体的暴露度中选取影响因子,运用层次分析法或熵权法等赋予权重,评估台风灾害损失或风险。虽然这些研究致力于致灾因子的危险性、孕灾环境的稳定性和承灾体的脆弱性分析,然而,这些研究并没有量化分析台风灾害系统中各影响因子的贡献,各影响因子对灾情的贡献大小尚未清楚。此外,基于县域尺度的台风灾情研究较少。县域是中国的基本行政单元,第一次全国自然灾害综合风险普查,正是以县域为基本调查单元,开展致灾要素、承灾体、历史灾害和综合减灾能力等风险要素的全面调查。因此,研究县域尺度自然灾害的影响因素,对我国防灾减灾救灾事业起着举足轻重的作用。

浙江省是中国遭受台风灾害严重的沿海省份之一,平均每年有5个台风登陆或影响浙江省<sup>[18]</sup>。据有关资料显示,浙江省因台风灾害造成的直接经济损失约占其遭受的各种自然灾害损失的50%以上<sup>[19]</sup>。浙江省是中国经济发达地区之一,人口数量多,经济体量大,GDP总量约占全国GDP总量的7.3%。但是每年因台风灾害造成严重的人员伤亡和财产损失,也严重制约着浙江省经济的高速发展。本文尝试以县域为基本研究单元,研究浙江省台风灾情的时空格局特征,并以地理探测器技术为主要研究方法,量化分析台风灾害系统中的影响因素,以期更加深入地理解台风灾害的形成机理。本研究可为台风灾害的影响因素量化分析提供方法参考,为防灾减灾救灾决策提供科学依据。

## 1 研究数据与方法

### 1.1 研究区域

浙江省地处中国东南沿海长江三角洲南翼,在118°01′~123°10′E、27°02′~31°11′N之间,总面积10.55万km<sup>2</sup>。境内地形起伏较大,西南、西北部地区群山峻岭,中部、东南地区以丘陵和盆地为主,东北地区地势较低,以平原为主。处于欧亚大陆与西北太平洋的过渡地带,属典型的亚热带季风气候区。由于特殊的地理位置和气候条件,每年夏、秋季节经常遭受台风侵袭。

### 1.2 数据来源

文中使用的数据包括浙江省台风灾情数据、降水量数据、风场数据、地形数据、坡度、河网数据、台风路径、人口统计数据 and GDP等(表1)。台风灾情数据来源国家减灾中心数据库,时间序列为2009-2020年,以县域为统计单元。降水量数据来源于国家气象科学数据共享服务平台,时间序列为2009-2020年,空间分辨率为1 km×1 km。风场数据来源于国家气象科学数据共享服务平台,时间序列为2009-2020年,空间分辨率为1 km×1 km。地形数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心,空间分辨率为30 m×30 m。坡度数

表1 数据资料来源

Table 1 Data source

数据名称	时间	数据来源	数据格式
台风灾情数据	2009-2020年	国家减灾中心灾情数据库	表格
降水量数据	2009-2020年	国家气象科学数据共享服务平台	1 km×1 km 格网
风场数据	2009-2020年	国家气象科学数据共享服务平台	1 km×1 km 格网
地形数据	2000年	中国科学院资源环境科学数据中心	30 m×30 m 格网
坡度	2000年	中国科学院资源环境科学数据中心	30 m×30 m 格网
河网数据	2000年	中国科学院资源环境科学数据中心	线图层
台风路径	2009-2020年	中国天气台风网	线图层
人口统计数据	2009-2020年	国家统计局	表格
GDP	2009-2020年	国家统计局	表格

据来源于中国科学院资源环境科学数据中心,空间分辨率为 30 m×30 m。河网数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心,数据格式为线图层。台风路径数据来源于中国天气台风网,数据格式为线图层。人口统计数据来源于国家统计局,时间序列为 2009 – 2020 年,以县域为统计单元。GDP 数据来源于国家统计局,时间序列为 2009 – 2020 年,以县域为统计单元。

### 1.3 研究方法

#### (1) 地理探测器

地理探测器是一种用于度量空间分层异质性的统计学方法。它基于地理空间分异论,用于探测因变量的决定因素、因素之间的相对重要性等<sup>[20]</sup>,近年来已有研究用于探测洪涝灾害的空间分布特征<sup>[21-22]</sup>。该方法基于以下假设:若某一独立变量  $X$  对依赖变量  $Y$  有重要的影响,则变量  $Y$  和  $X$  在空间上的分布将会具有较强的空间相似性。 $X$  和  $Y$  之间的相关性可以用  $q$  统计量来衡量:

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} \tag{1}$$

式中:  $h=1, 2, \dots, L$  为自变量  $x$  的分级,  $N_h$  和  $N$  分别为第  $h$  级和整体的样本数,  $\sigma_h^2$  和  $\sigma^2$  分别是第  $h$  级和整体的因变量  $y$  的方差。  $q$  的取值范围是  $0 \sim 1$ ,  $q$  值越大说明自变量  $x$  对因变量  $y$  的解释程度越大(即贡献率越大),反之则越小。地理探测器进行数据处理和分析的过程见图 1。

#### (2) 数据分级

地理探测器要求输入的自变量为离散的类型量,如果自变量为连续的数值量,则需要依据相关分级方法对其进行离散化处理。本文根据王劲峰<sup>[20]</sup>提出的数据离散化方法以及实验结果,将三日内最大降水量、高程差、河网密度、距台风中心距离、人口密度、人均 GDP,按照自然断点分类法分成 10 类;坡度按照  $<5^\circ$ 、 $5^\circ \sim 10^\circ$ 、 $10^\circ \sim 15^\circ$ 、 $15^\circ \sim 20^\circ$ 、 $20^\circ \sim 25^\circ$ 、 $25^\circ \sim 30^\circ$ 、 $30^\circ \sim 35^\circ$ 、 $>35^\circ$  分为 8 类;最大风速按照热带气旋等级国家标准分为 11 类。

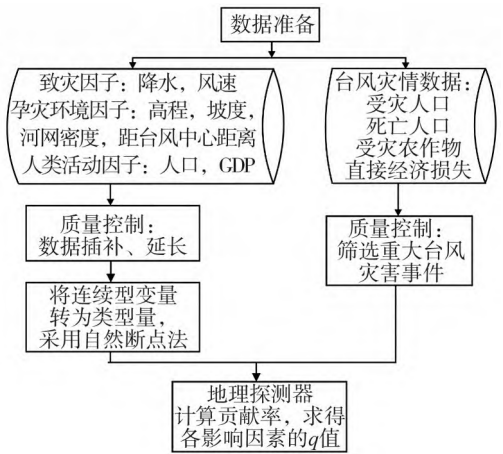


图 1 地理探测器使用流程

Fig. 1 Process of using Geodetector to detect the influencing factors of typhoon disasters

## 2 结果与分析

### 2.1 台风特征

表 2 2009 – 2020 年登陆和影响浙江省的台风

Table 2 Landfalling or affecting typhoons in Zhejiang during 2009 – 2020

时间(年)	热带 低压	热带 风暴	强热带 风暴	台风	强台风	超强 台风
2009				1		
2010						1
2011			1			1
2012					2	1
2013				1	1	1
2014			1		1	
2015						3
2016						2
2017					1	
2018		1	2	1		1
2019				1		2
2020				1		
合计	0	1	4	5	5	12

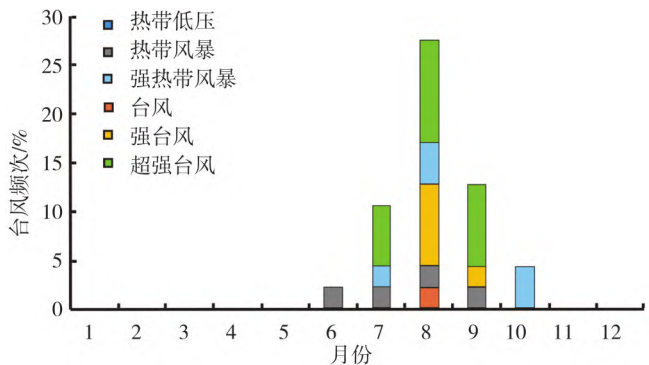


图 2 2009 – 2020 年登陆或影响浙江省台风季节分布图

Fig. 2 Seasonal distribution of typhoons in Zhejiang during 2009 – 2020

2009–2020年,共有27个台风登陆或影响浙江省(表2),其中在浙江省登陆的台风有7个。从年份来看,2018年以5个台风居首。从台风级别来看,热带低压0个、热带风暴1个、强热带风暴4个、台风5个,强台风5个、超强台风12个。从台风发生的季节来看(图2),6月1个,7月5个,8月13个,9月6个,10月2个,台风主要集中在7月、8月和9月,约占全年的89%。从台风强度来看,2019年超强台风“利奇马”是历史上登陆浙江省的台风中造成陆面大风影响范围最广、大风影响持续时间最长和阵风风速最大的台风。

## 2.2 灾情时空分布特征

2009–2020年,台风共造成浙江省的879个县次共5 165.7万人受灾、28个县次共129人死亡、625个县次共1 987.2千公顷农作物受灾,780个县次共1 987.4亿元直接经济损失(表3)。其中,2013年强台风“菲特”、2019年超强台风“利奇马”造成的损失最为严重。

通过对各级别台风造成的损失统计(表4),热带低压造成浙江省受灾人口、死亡人口、受灾农作物和直接经济损失分别为0万人、0人、0千公顷、0亿元;热带风暴造成浙江省受灾人口、死亡人口、受灾农作物和直接经济损失分别为24.9万人、0人、0.2千公顷、0.1亿元;强热带风暴造成浙江省受灾人口、死亡人口、受灾农作物和直接经济损失分别为159.4万人、0人、53.5千公顷、12.2亿元;台风造成浙江省受灾人口、死亡人口、受灾农作物和直接经济损失分别为1 098.9万人、13人、485.3千公顷、232.5亿元;强台风造成浙江省受灾人口、死亡人口、受灾农作物和直接经济损失分别为2 020.9万人、9人、979.4千公顷、887.3亿元;超强台风造成浙江省受灾人口、死亡人口、受灾农作物和直接经济损失分别为1 861.6万人、107人、800.2千公顷、855.3亿元。其中,超强台风约占全部台风数量的44%,造成的损失约占全部受灾人口的36%、死亡人口的83%、受灾农作物的35%、直接经济损失的43%。

表3 2009–2020年浙江省台风灾害损失

Table 3 Annual losses of typhoon disasters in Zhejiang during 2009–2020

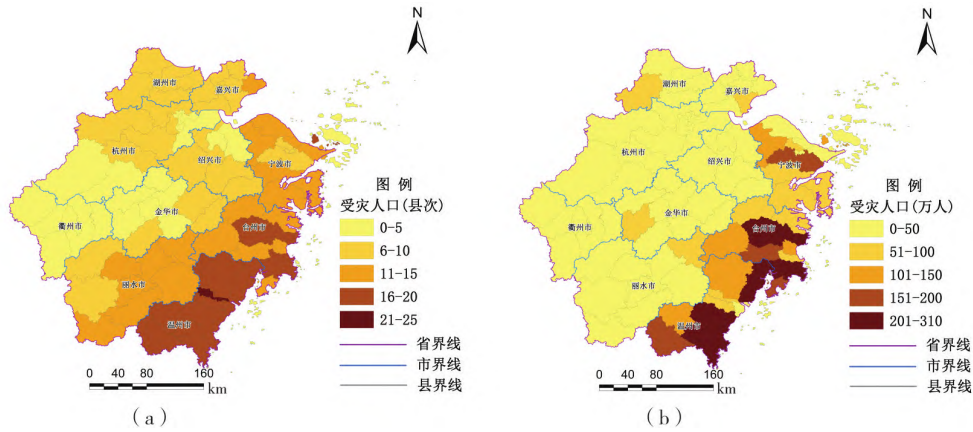
时间 (年)	受灾人口		死亡人口		受灾农作物		直接经济损失	
	县次	万人	县次	人	县次	千公顷	县次	亿元
2009	70	720.6	2	4	67	318.8	68	87.1
2010	1	3.2	0	0	1	0.9	1	0.5
2011	67	78.8	0	0	14	7.3	67	19.6
2012	134	909.2	0	0	91	378.4	134	277.9
2013	138	1 234.7	5	9	115	641.2	138	609.2
2014	48	158.4	0	0	33	57.2	41	10.8
2015	167	667.4	5	15	106	36.8	128	219.5
2016	50	250.4	8	46	46	113.6	48	113.0
2017	5	23.7	0	0	5	18.7	5	11.0
2018	64	96.7	0	0	21	45.6	23	15.7
2019	107	835.4	5	50	98	296.7	99	519.2
2020	28	187.2	3	5	28	72.0	28	103.9
合计	879	5 165.7	28	129	625	1 987.2	780	1 987.4

表4 2009–2020年浙江省各级别台风灾害损失

Table 4 Total losses of typhoon disasters in Zhejiang during 2009–2020

台风级别	受灾人口		死亡人口		受灾农作物		直接经济损失	
	县次	万人	县次	人	县次	千公顷	县次	亿元
热带低压	0	0	0	0	0	0	0	0
热带风暴	20	24.9	0	0	1	0.2	1	0.1
强热带风暴	61	159.4	0	0	29	53.5	37	12.2
台风	161	1 098.9	6	13	145	485.3	152	232.5
强台风	229	2 020.9	5	9	183	979.4	229	887.3
超强台风	408	1 861.6	17	107	267	800.2	361	855.3
合计	879	5 165.7	28	129	625	2 318.6	780	1 987.4

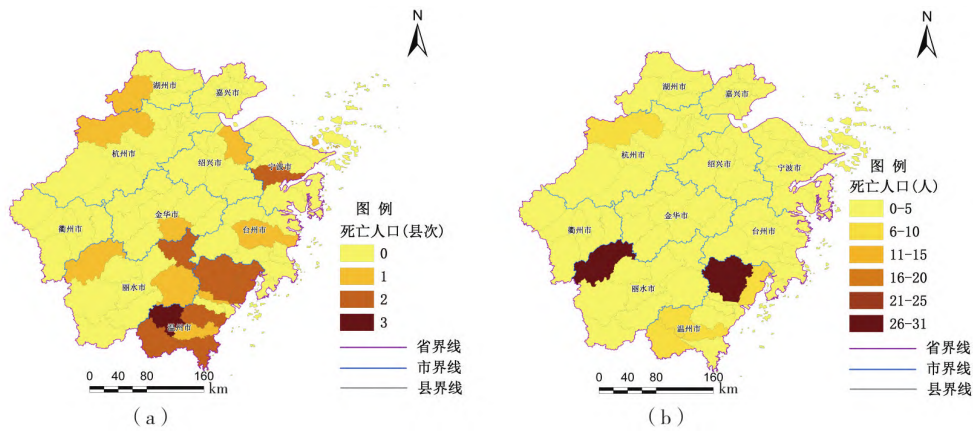
值得注意的是,2018年以来,受灾人口、死亡人口、受灾农作物和直接经济损失等灾情并没有显著降低。浙江省应高度重视“人民至上、生命至上”和“两个坚持、三个转变”理念,在防灾减灾救灾能力方面要逐步增强。



注:基于浙江省自然资源厅标准地图服务网站,审图号为浙S(2021)41号的标准地图制作,底图边界无修改。

图3 2009 - 2020年浙江省受灾人口分布图

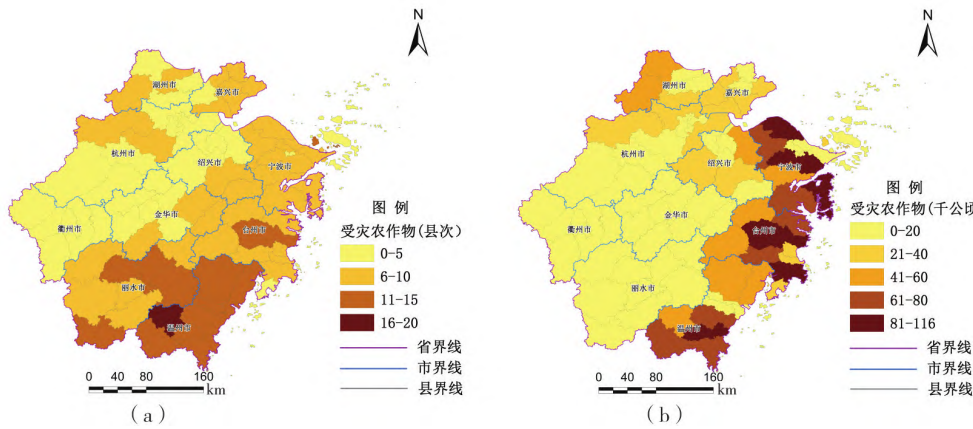
Fig. 3 Spatial distribution of affected population in Zhejiang during 2009 - 2020



注:基于浙江省自然资源厅标准地图服务网站,审图号为浙S(2021)41号的标准地图制作,底图边界无修改。

图4 2009 - 2020年浙江省死亡人口分布图

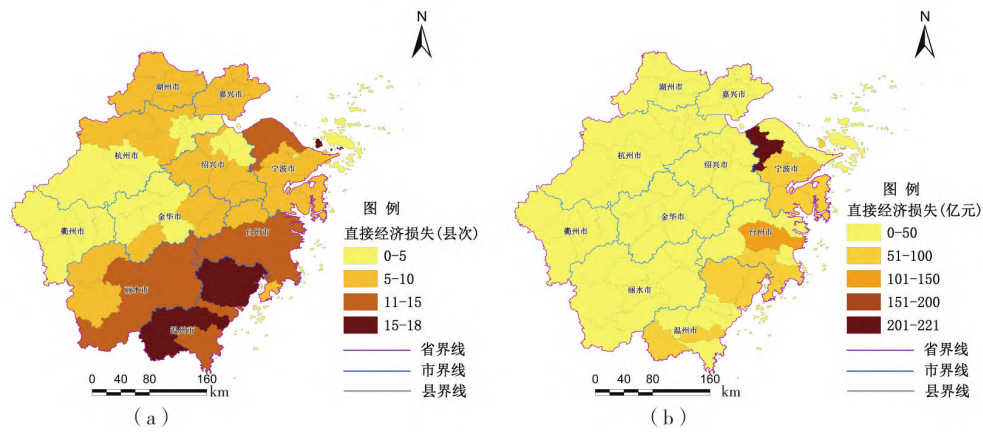
Fig. 4 Spatial distribution of deaths in Zhejiang during 2009 - 2020



注:基于浙江省自然资源厅标准地图服务网站,审图号为浙S(2021)41号的标准地图制作,底图边界无修改。

图5 2009 - 2020年浙江省受灾农作物分布图

Fig. 5 Spatial distribution of damage crops in Zhejiang during 2009 - 2020



注:基于浙江省自然资源厅标准地图服务网站,审图号为浙S(2021)41号的标准地图制作,底图边界无修改。

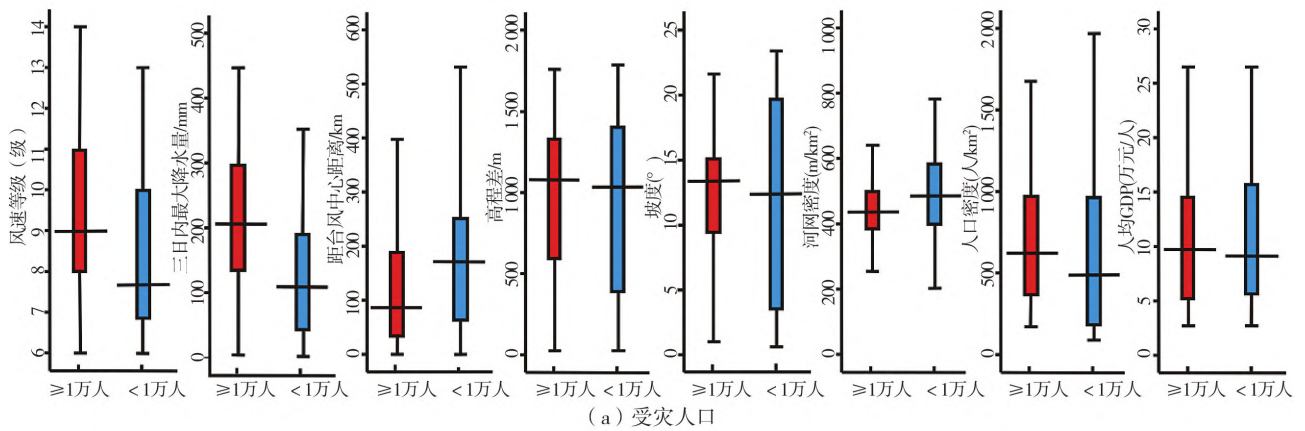
图6 2009-2020年浙江省直接经济损失分布图

Fig. 6 Spatial distribution of direct economic losses in Zhejiang during 2009-2020

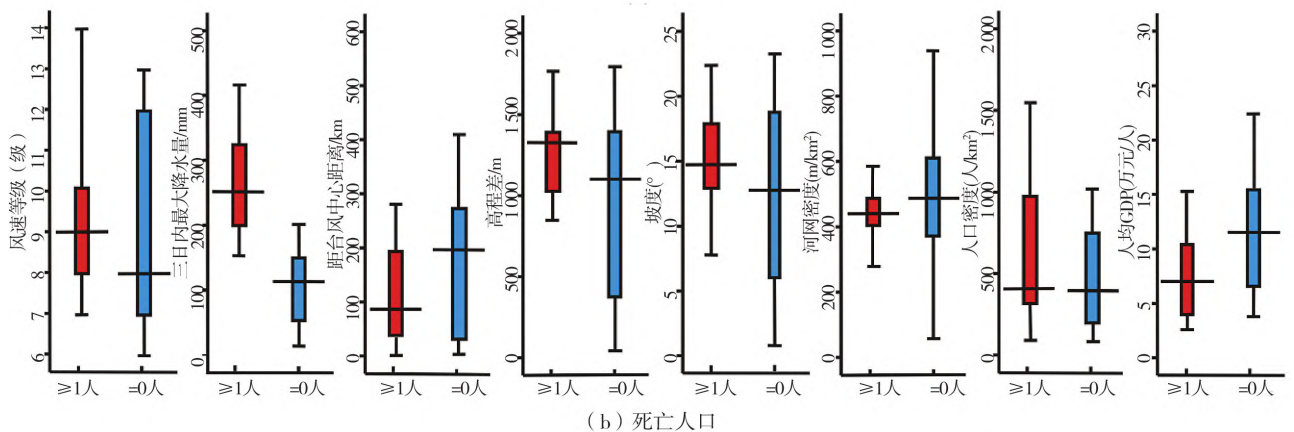
从2009-2020年浙江省台风灾害损失分布图(图3~图6)可以看出,浙江省内陆地区损失相对较轻,沿海地区的损失较为严重。其中,东南沿海的温州市和台州市损失最为严重,其中,受灾县约占60%,受灾人口约占57%,死亡人口约占59%,受灾农作物约占42%,直接经济损失约占43%。东南沿海城市在历年损失严重,与台风强度以及台风频次有关。据统计,共计17个强台风和超强台风登陆或影响浙江省东南沿海地区,约占台风总数的63%,这是造成受灾人口、死亡人口、受灾农作物和直接经济损失在全省居首的直接原因。

### 2.3 影响因素

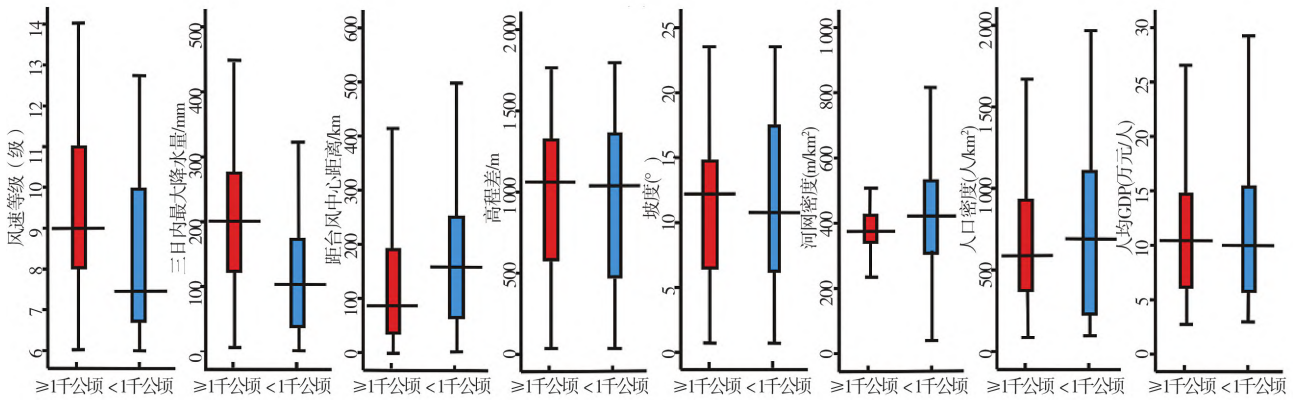
台风灾害的影响因素可归纳为致灾因子、孕灾环境因子和人类活动因子。台风带来的大风以及强降雨是台风灾害主要的致灾因子<sup>[23]</sup>,本文选取台风最大风速和三日内最大降水量作为致灾因子。孕灾环境主要有台风产生和登陆地区的气候条件、移动路径和登陆地区地理条件、台风登陆地区水文条件、土壤条件和植



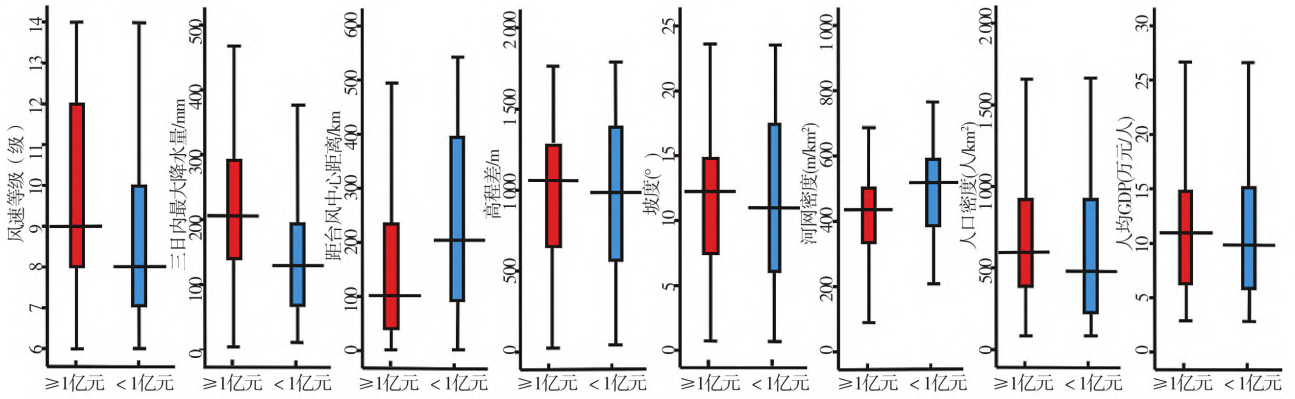
(a) 受灾人口



(b) 死亡人口



(c) 受灾农作物



(d) 直接经济损失

图 7 影响因子箱形图

Fig. 7 Boxplot of eight influencing factors

被条件等<sup>[24-25]</sup>,本文选择高程差、平均坡度、河网密度和距台风中心距离(受灾区距台风中心的最短距离)作为孕灾环境因子。人类活动可改变承灾体的分布特征,也可改变地表环境特征,进而影响局部风场和降水特征<sup>[26]</sup>,本文选择人口密度和人均GDP作为人类活动因子。

为了研究台风灾害的致灾因子的危险性、孕灾环境的稳定性和人类活动等对承灾体的作用,本文统计分析了最大风速、三日内最大降水量、聚台风中心距离、高程差、平均坡度、河网密度、人口密度和人均GDP对台风灾情的影响,同时参考国际数据库及相关文献<sup>[27]</sup>对台风灾害的筛选标准,把台风灾情分为较重(受灾人口≥1万人、死亡人口≥1人、受灾农作物≥1千公顷、直接经济损失≥1亿元)和较轻(受灾人口<1万人、死亡人口=0人、受灾农作物<1千公顷、直接经济损失<1亿元)进行比较,具体结果见图7。

相对于较轻灾情,在较重灾情的影响因子中,平均风速要大1级,平均降水量要大100 mm,平均聚台风中心距离要小100 km,平均高程差要大100~200 m,平均坡度要大2~3°,平均河网密度要小100 m/km<sup>2</sup>。因此,在致灾因子中,风速越大,降水量越大,致灾危险性越大;在孕灾环境因子中,聚台风中心距离越近,高程差越大,坡度越大,河网密度越小,灾害越易发生。在人类活动因子中,人口密度和人均GDP对较重和较轻灾情的影响差异不大。

#### 2.4 影响因素贡献率分析

为了进一步定量分析各影响因素的贡献率,选取台风灾情较重的数据,运用地理探测器方法,分析致灾因子、孕灾环境因子和人类活动因子对受灾人口、死亡人口、受灾农作物、直接经济损失等灾情的影响。具体的分析结果见表5。

在受灾人口中,各影响因子的贡献率合计为72.1%,影响因子由强到弱依次为最大风速=距台风中心距离>三日内最大降水量>人口密度>人均GDP>高程差>河网密度>平均坡度。台风灾害影响因子中,最大风速对受灾人口的贡献率最大(20.0%)。距台风中心距离的贡献率(20.0%)与最大风速的贡献率一样,可以理解为主要风速的强度在空间上的表现与受灾区距台风中心的距离是一致的,即受灾区距台风中心的距离越

近,风速强度越高,对人口影响越大。其次是三日内最大降水量(12.8%)对受灾人口的贡献。高程差、平均坡度和河网密度对受灾人口影响有一定影响,人口密度和人均GDP因子对受灾人口影响不大。

在死亡人口中,各影响因子的贡献率合计为84.3%,影响因子由强到弱依次为最大风速=距台风中心距离>三日内最大降水量>高程差>人口密度>人均GDP>河网密度>平均坡度。台风灾害影响因子中,最大风速的贡献等于距台风中心距离(25.0%),其次是三日内最大降水量(15.5%)对死亡人口的贡献率。高程差、平均坡度和河网密度对死亡人口影响有一定影响,人口密度和人均GDP因子对死亡人口影响不大。

在受灾农作物中,各影响因子的贡献率合计为81.0%,影响因子由强到弱依次为最大风速=距台风中心距离>三日内最大降水量>河网密度>人口密度>平均坡度>人均GDP>高程差。台风灾害影响因子中,最大风速对受灾农作物的贡献率最大(21.5%)。其次是三日内最大降水量的贡献率(15.1%)。高程差、平均坡度、河网密度对受灾农作物有一定影响,人口密度和人均GDP因子对受灾农作物影响不大。

在直接经济损失中,各影响因子的贡献率合计为71.1%,影响因子由强到弱依次为最大风速=距台风中心距离>三日内最大降水量>高程差>人口密度>人均GDP>河网密度>平均坡度。台风灾害影响因子中,最大风速对受灾人口的贡献率最大(22.4%),风速等级越高,直接经济损失数量越大。其次是三日内最大降水量的贡献(14.0%)。高程差、平均坡度、河网密度、人口密度、人均GDP对直接经济损失影响较小。

通过分析受灾人口、死亡人口、受灾农作物和直接经济损失等灾情的影响因子,结果表明,台风的最大风速、三日内最大降水量和空间距离对灾情的影响起着决定性的作用。台风风速强度越大,降水量越多,距台风中心距离越近,灾情越重。强台风和超强台风造成受灾人口的比例可达5%~8%,当台风级别达到12级以上时,灾害造成的人员伤亡和直接经济损失剧烈增长<sup>[28]</sup>。此外,台风登陆时会带来暴雨或特大暴雨<sup>[29-30]</sup>,其中,约95%的台风引发的日降水量大于100 mm,约60%的台风引发日降水量大于250 mm<sup>[31-32]</sup>,并引发洪涝和山洪灾害。高程差、平均坡度和河网密度等对台风灾情的有一定影响。人口密度和人均GDP因子对台风灾情影响不大。

表5 各影响因子对浙江省台风灾情的贡献率

Table 5 Contributions of eight influencing factors to typhoon disasters in Zhejiang %

影响因子	受灾人口	死亡人口	受灾农作物	直接经济损失
三日内最大降水量	12.8	15.5	15.1	14.0
最大风速	20.0	25.0	21.5	22.4
距台风中心距离	20.0	25.0	21.5	22.4
高程差	3.8	5.2	4.2	3.7
平均坡度	3.1	2.3	4.5	1.7
河网密度	3.6	3.0	5.1	1.8
人口密度	4.7	4.2	4.7	2.7
人均GDP	4.1	4.1	4.4	2.4
合计	72.1	84.3	81.0	71.1

### 3 结论

本文以县域为研究单元,通过对浙江省台风灾情数据的分析,结合风场数据、降水数据、地形数据和统计年鉴等资料,研究了台风灾情时空格局特征。在此基础上,采用地理探测器方法研究了浙江省台风灾情的影响因素。得出结论如下:

(1)2009-2020年,共有27个台风登陆或影响浙江省,其中在浙江省登陆的台风有7个。台风主要集中在7月、8月和9月,约占全年的89%。

(2)台风灾害损失严重地区主要分布在浙江省东南部沿海地区。27个台风中,12个超强台风造成的损失最严重,造成的损失约占全部受灾人口的36%、死亡人口的83%、受灾农作物的35%、直接经济损失的43%。

(3)在8个影响因子中,台风最大风速、三日内最大降水量和距台风中心距离对受灾人口、死亡人口、受灾农作物和直接经济损失的贡献率最大;高程差、平均坡度和河网密度等对灾情有一定影响;人口密度和人均GDP

均GDP对灾情影响不大。

本文在进行台风灾情影响因素分析时,由于受限于数据的质量和精度,还有很多方面需要完善。在致灾因子方面,未考虑风暴潮的影响。风暴潮成灾频率高、致灾强度大,造成的损失重,对沿海人民的生命财产和海岸带的经济有很大影响。在孕灾环境方面,未考虑土壤类型、植被指数等因素的影响。土壤类型影响降水的产汇流过程;植被指数反映地表植被覆盖情况,影响风速和地面降水。在人类活动方面,未考虑防灾减灾能力、防洪工程的影响。防灾减灾能力和防洪工程可有效减轻台风灾害损失。本文采用地理探测器方法,能够探测出不同的影响因子对台风灾情的贡献率的大小,分析出对台风灾害影响的主要因素,但却无法检测影响因子对台风灾情是具有放大效应还是减弱效应。总之,在今后台风灾情空间格局以及影响因素研究中,要充分考虑以上因素的影响。

## 参考文献:

- [1] 顾成林,康建成,闫国东,等.1951-2015年登陆中国热带气旋的时空变化特征及与ENSO的关系[J].灾害学,2018,33(4):129-134,140.  
GU Chenglin, KANG Jiancheng, YAN Guodong, et al. Variation characteristics of tropical cyclones making landfall over China during 1951-2015 and its relationship with the ENSO[J]. Journal of Catastrophology, 2018, 33(4): 129-134, 140. (in Chinese)
- [2] 刘倩,高路,赵鹏,等.2000-2016年中国热带气旋灾害时空特征研究[J].中国防汛抗旱,2020,30(5):50-57.  
LIU Qian, GAO Lu, ZHAO Peng, et al. Study on the temporal-spatial characteristics of tropical cyclone disasters in China in 2000-2016[J]. China Flood & Drought Management, 2020, 30(5): 50-57. (in Chinese)
- [3] 王静爱,雷永登,周洪建,等.中国东南沿海台风灾害链区域规律与适应对策研究[J].北京师范大学学报(社会科学版),2012(2):130-138.  
WANG Jingai, LEI Yongdeng, ZHOU Hongjian, et al. Regional features and adaptation countermeasures of typhoon disaster chains in southeast coastal regions of China[J]. Journal of Beijing Normal University (Social Sciences), 2012(2): 130-138. (in Chinese)
- [4] 许世远,王军,石纯,等.沿海城市自然灾害风险研究[J].地理学报,2006(2):127-138.  
XU Shiyuan, WANG Jun, SHI Chun, et al. Research of the natural disaster risk on coastal cities[J]. Acta Geographica Sinica, 2006(2): 127-138. (in Chinese)
- [5] Gill J C, Malamud B D. Reviewing and visualizing the interactions of natural hazards[J]. Reviews of Geophysics, 2014, 52(4): 680-722.
- [6] Kundzewicz Z W, Huang J, Pinskiwar I, et al. Climate variability and floods in China-A review[J]. Earth-Science Reviews, 2020, 211: 103434.
- [7] 殷洁,戴尔卓,吴绍洪.中国台风灾害综合风险评估与区划[J].地理科学,2013,33(11):1370-1376.  
YIN Jie, DAI Erfu, WU Shaohong. Integrated risk assessment and zoning of typhoon disasters in China[J]. Scientia Geographica Sinica, 2013, 33(11): 1370-1376. (in Chinese)
- [8] 马宗晋.灾害学导论[M].长沙:湖南人民出版社,1998:60-89.  
MA Zongjin. Introduction to Catastrophology[M]. Changsha: Hunan People House, 1998: 60-69. (in Chinese)
- [9] 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)
- [10] 牛海燕,刘敏,陆敏,等.中国沿海地区近20年台风灾害风险评价[J].地理科学,2011,31(6):764-768.  
NIU Haiyan, LIU Min, LU Min, et al. Risk assessment of typhoon disasters in China coastal area during last 20 Years[J]. Scientia Geographica Sinica, 2011, 31(6): 764-768. (in Chinese)
- [11] 王德运,谭亚妮,柯小玲,等.中国热带气旋灾害经济损失时空特征分析[J].灾害学,2020,35(2):62-69.  
WANG Deyun, TAN Yani, KE Xiaoling, et al. Analysis of spatio-temporal characteristics of economic loss caused by tropical cyclones in China [J]. Journal of Catastrophology, 2020, 35(2): 62-69. (in Chinese)
- [12] 陈文方,徐伟,史培军.长三角地区台风灾害风险评估[J].自然灾害学报,2011,20(4):77-83.  
CHEN Wenfang, XU Wei, SHI Peijun. Risk assessment of typhoon disaster at county level in the Yangtze River Delta of China[J]. Journal of Natural Disasters, 2011, 20(4): 77-83. (in Chinese)
- [13] 郭桂祯,赵飞,王丹丹.基于脆弱性曲线的台风-洪涝灾害链房屋倒损评估方法研究[J].灾害学,2017,32(4):94-97.  
GUO Guizhen, ZHAO Fei, WANG Dandan. A method research of house damage in typhoon-flood disaster chain based on vulnerability curve[J]. Journal of Catastrophology, 2017, 32(4): 94-97. (in Chinese)
- [14] 赵飞,廖永丰,张妮娜,等.登陆中国台风灾害损失预评估模型研究[J].灾害学,2011,26(2):81-85.  
ZHAO Fei, LIAO Yongfeng, ZHANG Nina, et al. A pre-evaluation model for typhoon disasters in China[J]. Journal of Catastrophology, 2011, 26(2): 81-85. (in Chinese)
- [15] 郭腾蛟,李国胜.基于验证性因素分析的台风风暴潮灾害经济损失影响因子优化分析[J].自然灾害学报,2020,29(1):121-131.  
GUO Tengjiao, LI Guosheng. The optimal analysis of the impact factors of economic losses due to typhoon storm surge based on confirmatory factor analysis[J]. Journal of Natural Disasters, 2020, 29(1): 121-131. (in Chinese)

- [16] 叶小岭,施珮,匡亮. 浙江抗台减灾综合能力研究[J]. 自然灾害学报, 2015, 24(1): 214 – 223.  
YE Xiaoling, SHI Pei, KUANG Liang. Research on comprehensive ability of Zhejiang Province in typhoon disaster resistance and reduction[J]. Journal of Natural Disasters, 2015, 24(1): 214 – 223. (in Chinese)
- [17] 刘方田,许尔琪. 海南省台风特点与灾情评估时空关联分析[J]. 灾害学, 2020, 35(2): 217 – 223.  
LIU Fangtian, XU Erqi. Spatio-temporal correlation analysis of typhoon characteristics and disaster assessment in Hainan province[J]. Journal of Catastrophology, 2020, 35(2): 217 – 223. (in Chinese)
- [18] 朱业,丁骏,卢美,等. 1949 – 2009年登陆和影响浙江的热带气旋分析[J]. 海洋预报, 2012, 20(2): 8 – 13.  
ZHU Ye, DING Jun, LU Mei, et al. Analysis of the tropical cyclones landing in Zhejiang province during 1949 – 2009[J]. Marine Forecasts, 2012, 20(2): 8 – 13. (in Chinese)
- [19] 李钢. GIS支持下的浙江省台风灾害直接经济损失评估[D]. 南京信息工程大学, 2014.  
LI Gang. GIS Assisted on Assessment of Direct Economic Losses from Typhoon in Zhejiang Province[D]. Nanjing University of Information Science and Technology, 2014. (in Chinese)
- [20] 王劲峰,徐成东. 地理探测器:原理与展望[J]. 地理学报, 2017, 72(1): 116 – 134.  
WANG Jinfeng, XU Chengdong. Geodetector: Principle and prospective[J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(1): 116 – 134. (in Chinese)
- [21] 刘业森,杨振山,黄耀欢,等. 建国以来中国山洪灾害时空演变格局及驱动因素分析[J]. 中国科学:地球科学, 2019, 49(2): 408 – 420.  
LIU Yesen, YANG Zhenshan, HUANG Yaohuan, et al. Spatiotemporal evolution and driving factors of China's flash flood disasters since 1949[J]. Science China Earth Sciences, 2019, 49(2): 408 – 420. (in Chinese)
- [22] 胡畔,陈波,史培军. 中国暴雨洪涝灾情时空格局及影响因素[J]. 地理学报, 2021, 76(5): 1148 – 1162.  
HU Pan, CHEN Bo, SHI Peijun. Spatiotemporal patterns and influencing factors of rainstorm-induced flood disasters in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2021, 76(5): 1148 – 1162. (in Chinese)
- [23] 郑康慧,尚志海,梁其胜,等. 近20年登陆湛江市的热带气旋致灾力和危险度分析[J]. 防灾科技学院学报, 2021, 23(2): 62 – 69.  
ZHENG Kanghui, SHANG Zhihai, LIANG Qisheng, et al. Analysis of destructive power and hazard of tropical cyclone landing in Zhanjiang city in the last twenty years[J]. Journal of Institute of Disaster Prevention, 2021, 23(2): 62 – 69. (in Chinese)
- [24] 陈香. 福建省台风灾害风险评估与区划[J]. 生态学杂志, 2007, 26(6): 961 – 966.  
CHEN Xiang. Risk assessment and zonation of typhoon disasters in Fujian province[J]. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26(6): 961 – 966. (in Chinese)
- [25] 杨剑,陈煜,徐枫,等. 考虑地形和土地覆盖影响的参数化台风风场模拟[J]. 自然灾害学报, 2021, 30(1): 47 – 58.  
YANG Jian, CHEN Yu, XU Feng, et al. Parametric typhoon wind field simulations by considering the effects of terrain and land cover[J]. Journal of Natural Disasters, 2021, 30(1): 47 – 58. (in Chinese)
- [26] 熊俊楠,李进,程维明,等. 西南地区山洪灾害时空分布特征及其影响因素[J]. 地理学报, 2019, 74(7): 1374 – 1391.  
XIONG Junnan, LI Jin, CHENG Weiming, et al. Spatial-temporal distribution and the influencing factors of mountain flood disaster in south-west China[J]. Acta Geographica Sinica, 2019, 74(7): 1374 – 1391. (in Chinese)
- [27] EM-DAT: The CRED/OFDA International Disaster Database. [2017/12/10]. www.emdat.be.
- [28] 刘桂林,李元新,李笑,等. 基于信息扩散技术的广东省台风灾害风险分析[J]. 安全与环境学报, 2021, 21(4): 1684 – 1692.  
LIU Guilin, LI Yuanxin, LI Xiao. Risk analysis of typhoon disaster in Guangdong based on the information diffusion technology[J]. Journal of Safety and Environment, 2021, 21(4): 1684 – 1692. (in Chinese)
- [29] 唐晓春,刘会平,潘安定. 广东沿海地区近50年登陆台风灾害特征分析[J]. 地理科学, 2003, 23(2): 182 – 187.  
TANG Xiaochun, LIU Huiping, PAN Anding. Analysis of disastrous features of landing typhoon in coastal regions of Guangdong province in recent 50 Years[J]. Science China Earth Sciences, 2003, 23(2): 182 – 187. (in Chinese)
- [30] Zhang Q, Zhang W, Chen Y D, et al. Flood, drought and typhoon disasters during the last half-century in the Guangdong province, China[J]. Natural Hazards, 2011, 57(2): 267 – 278.
- [31] Shi P J. Natural Disasters in China[M]. Beijing: Beijing Normal University Press and Springer, 2016: 115.
- [32] Zhang Q, Gu X, Shi P, et al. Impact of tropical cyclones on flood risk in southeastern China: Spatial patterns, causes and implications[J]. Global and Planetary Change, 2017, 150: 81 – 93.