

丑洁明, 班靖晗, 董文杰, 等. 2018. 影响广东省的热带气旋特征分析及灾害损失研究 [J]. 大气科学, 42 (2): 357–366. Chou Jieming, Ban Jinghan, Dong Wenjie, et al. 2018. Characteristics analysis and assessment of economic damages caused by tropical cyclones in Guangdong Province [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 42 (2): 357–366, doi:10.3878/j.issn.1006-9895.1708.17140.

影响广东省的热带气旋特征分析及灾害损失研究

丑洁明¹ 班靖晗¹ 董文杰^{1,2} 胡川叶¹ 代如锋¹

¹ 北京师范大学地理科学学部地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875

² 中山大学大气科学学院, 广州 519082

摘 要 本文基于 1990~2015 年影响广东省的热带气旋 (Tropical cyclone, TC) 数据, 分析了影响广东省 TC 的时空特征、灾情年际变化以及灾害强度特征等。并利用灾害指标核算出灾害损失的经济价值, 改进综合灾情指数模型。主要得出以下结论: 26 年来登陆广东省的 TC 共 93 个 (占登陆我国 TC 总数的 29.6%), 其中有 67 个对广东省造成了人员伤亡或者经济损失; 影响广东省 TC 频次整体随时间变化不大, 强度低的 TC 频次随年际呈现较为明显地减少变化趋势, 而强度高的 TC 频次呈现较为明显的逐年上升趋势; 粤西与珠江三角洲地区受 TC 侵袭频次明显高于粤东和粤北地区; 热带气旋各项灾情指标造成的经济损失 (以 2015 年为可比价) 均在 1997 年出现转折, 经济损失急速下滑; 各项损失相对值与 TC 强度之间存在较好的指数正相关关系, 低强度等级的热带气旋造成的综合灾情指数呈现较为明显的年际减小趋势, 而高强度等级的热带气旋变化趋势不显著。

关键词 热带气旋灾害 损失 综合灾情指数 广东

文章编号 1006-9895(2018)02-0357-10

中图分类号 P429

文献标识码 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9895.1708.17140

Characteristics Analysis and Assessment of Economic Damages Caused by Tropical Cyclones in Guangdong Province

CHOU Jieming¹, BAN Jinghan¹, DONG Wenjie^{1,2}, HU Chuanye¹, and DAI Rufeng¹

¹ State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875

² School of Atmospheric Sciences, Sun Yat-sen University, Guangdong 519082

Abstract Using tropical cyclone (TC) data in Guangdong Province from 1990–2015, characteristics and spatial-temporal variations of disasters caused by tropical cyclones are analyzed in this paper. The economic loss is calculated by using the disaster index, and the comprehensive disaster index model is improved. The conclusions are as follows. There are 93 TCs landing in Guangdong Province during 1990–2015, which account for 29.6% of the total landings nationwide, and 67 out of the 93 TCs have caused casualties and economic losses in Guangdong Province. The frequency of TC occurrence has little changes with time, whereas TCs of low-intensity show an obvious decreasing trend and TCs of high-intensity show an obvious increasing trend during the study period. TC occurrence in West Guangdong and the Pearl

收稿日期 2017-03-23; 网络预出版日期 2017-09-05

作者简介 丑洁明, 女, 1965 年出生, 教授, 主要从事气候变化经济学研究。E-mail: choujm@bnu.edu.cn

通讯作者 班靖晗, E-mail: banjh@mail.bnu.edu.cn

资助项目 国家重点研发计划项目 2016YFA0602703, 国家自然科学基金项目 41575001, 广东省普通高校国家级重大培育项目 201512003QX, 地表过程与资源生态国家重点实验室项目 2017-FX-03

Funded by National Key Research and Development Program of China (Grant 2016YFA0602703), National Natural Science Foundation of China (Grant 41575001), National-Level Major Cultivation Project of Guangdong Province (Grant 201512003QX), Project Supported by State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology (Grant 2017-FX-03)

River Delta area is obviously higher than that in East and North Guangdong. Using the situation in 2015 as a reference to convert the loss index, it is found that the economic losses corresponding to each index all have a turning point in 1997, since when the economic losses have decreased greatly. There is an exponential relationship between the relative loss and TC intensity, which are positively correlated with each other. The low-intensity TCs show an obvious decreasing trend on the interannual scale, while the decreasing trend of high-intensity TCs is not significant.

Keywords Tropical cyclone disaster, Loss, Comprehensive disaster index, Guangdong

1 引言

进入 21 世纪以来, 极端天气、气候事件在全球范围内频繁发生, 极端事件成为一项重要的研究课题。全球变暖导致极端天气、气候事件增多, 从而对社会、经济和自然生态系统造成了十分严重的影响。根据瑞士再保险公司和慕尼黑再保险公司的历史灾情数据显示, 在过去 20 年灾害发生频率呈明显上升趋势 (Guha-Sapir et al., 2015)。发展中国家在许多情况下, 灾害损失甚至超过了国民生产总值 (GDP) 的 3%, 引发严重的经济危机 (史培军等, 2009)。中国所研究的极端事件种类较少, 主要集中在气温和降水方面, CMIP5 模式的评估结果对气温和降水等极端天气、气候事件评估的置信度也较高, 而热带气旋 (Tropical cyclone, TC) 灾害影响在十大自然灾害中高居首位, 我国又是热带气旋灾害最为严重的国家, 对人类生活及社会经济的发展影响极大 (王绍武等, 1999; 陈联寿和孟智勇, 2001), 而 CMIP5 模式对于强热带气旋的变化预估仍处于低信度 (赵宗慈等, 2014)。

在 1994~2013 年间, 影响我国的气象灾害中, 热带气旋发生次数占总灾害的 37%, 灾害导致死亡人数占 21%, 造成直接经济损失占 17%, 灾害的强度及损失程度仅次于洪涝灾害 (吴吉东等, 2014)。在 1990~2005 年间, 我国大陆平均每年热带气旋造成的经济损失 292 亿, 死亡人数高达 438 人 (秦大河, 2008)。就单次热带气旋侵袭我国的记录来看, 强台风“碧利斯”造成了 820 人的死亡, 210 人失踪, 以及 348 亿元的直接经济损失; 超强台风“桑美”造成了 441 人死亡, 157 人失踪, 194 亿元的直接经济损失 (刘彤和闫天池, 2011)。台风所造成的人员及财产损失, 中国的东南沿海地区在全球范围都属于严重受灾区域 (Shi et al., 2016)。

在过去几十年, 西北太平洋是世界上 TC 活动最频繁的地区, 且近年来的活动规律发生了明显的变化 (Emanuel, 2005; Wu and Wang, 2008; 毕鑫鑫等, 2017), TC 的潜在破坏力明显增强, 超强 TC

数量显著上升 (Webster et al., 2005)。1950~2008 年间, 登陆我国的 TC 频次有一定的下降趋势 (任国玉等, 2010)。1978~2007 年经过中国沿海的 TC 个数变化不大, 仅福建沿海一带略有增加 (黄伟, 2013)。2010 年生成 TC 频次明显偏少, 生成源地偏西, 而登陆 TC 频次与常年持平 (龚振淞和陈丽娟, 2013)。

我国的广东省位于太平洋西岸, 是西太平洋 TC 登陆我国的主要地区, TC 灾害给广东省每年造成约 60 亿元的损失, 有些年份直接损失可达 100~200 亿元。20 世纪 90 年代以来, TC 给广东省造成的损失更为严重, 对于既是人口密集区又是国民经济和社会发展的核心地带, 广东省成为了 TC 灾害的重点研究区域。

自 1983 年以来, 我国因 TC 造成的直接经济损失的绝对值有显著的增加趋势, 但其主要原因是我国经济的迅猛发展 (Zhang et al., 2009)。经济发展越迅速, 极端天气气候事件造成的经济损失相应增加; 科学技术的不断更新发展, 防灾抗灾能力也随之增强。未来极端气候事件造成的经济相对损失将如何变化, 成为气象灾害防御、防灾减灾规划以及灾害保险行业关注重点 (丑洁明等, 2016)。为了进一步深入探讨极端气候事件对我国带来的社会经济影响, 本文对 TC 影响最为严重的广东省进行详细的统计分析, 研究 TC 登陆特征及变化趋势, 考虑社会发展的影响, 定量评估分析 TC 的各项指标造成的直接损失, 为广东省今后在 TC 灾害防御政策、防灾减灾力度以及重点区域防范提供重要的参考依据。

2 资料与方法

2.1 资料来源

本文所采用的资料分为三大类: 灾情统计资料, 社会经济资料和热带气旋数据。(1) 灾情统计资料: 文中选取的热带气旋灾情指标为受灾人数、死亡人数、受灾农作物面积、倒塌房屋和直接经济损失 (温克刚, 1991~1997; 广东省气象局, 1997~

表 1 农作物数据统计
Table 1 Statistics of crops data

年份	亩产值/斤						播种比例					
	稻谷	薯类	大豆	糖蔗类	花生	蔬菜	稻谷	薯类	大豆	糖蔗类	花生	蔬菜
1990	708	444	160	9976	238	2518	55.99%	8.84%	2.03%	4.93%	5.71%	13.8%
2000	844	622	258	9496	312	2924	46.79%	8.28%	1.88%	3.1%	6.42%	23.88%
2010	724	658	308	11088	354	3072	43.16%	7.27%	1.41%	3.01%	7.26%	29.33%
2015	772	618	355	12072	399	3264	39.09%	7.39%	1.3%	3.15%	7.6%	32.29%

2016); (2) 社会经济资料: 选取 1990~2015 年广东省人口密度、耕地面积、农作物播种面积、国内生产总值 (GDP) 等 (广东省统计局, 1991~2016; 广东省统计局, 2015); (3) 热带气旋数据: 来源于中国气象局 (CMA) 热带气旋资料中心的 CMA 最佳路径数据集, 其中包括热带气旋每 6 小时中心位置 (经度、纬度和强度等)。

2.2 方法与指标

2.2.1 损失的经济价值计算

为了使单位不同的灾情指标能够与直接经济损失进行比较, 体现灾害损失的经济价值。本文对灾情指标进行了经济价值估算处理。利用农作物比例、农作物价格指数等农业数据, 以及建筑房屋面积、每户常住人口和每平方米造价等统计数据, 对受灾农作物和倒塌房屋进行经济价值估算 (以 2015 年价格为参照)。

(a) 受灾农作物经济损失

农作物分布具有较强的区域差异, 根据广东省主要农作物各项指标 (表 1), 对广东省进行区域农作物的经济价值核算, 计算公式如下:

$$P_j = \sum_{i=1}^n C_{ij} S_j R_{ij}, \tag{1}$$

其中, C_{ij} 为第 j 个热带气旋所在年份的 i 类农作物价格, S_j 为第 j 个热带气旋的农作物损失总暴露量, R_{ij} 为第 j 个热带气旋所在年份的 i 类农作物比例, P_j 为第 j 个热带气旋各类农作物损失价格总和。

(b) 倒塌房屋经济损失

建筑物的倒塌主要以农村房屋倒塌为主, 本文针对每间农村房屋建筑的经济损失按照以下方式计算: 倒塌房屋 (单位: 元/间) = 常住人口 $\times$ 人均住房面积 (单位: m^2) $\times$ 每平方米价值 (单位: 元), 其中各要素主要年份的统计数据见表 2。

2.2.2 热带气旋灾害指数

本文热带气旋灾害的致灾因子危险性和承灾体脆弱性采用灾次指数 T (某县级单元内发生灾害的总频次) 和承灾体指数 C (热带气旋发生区域内

的承灾体强度) 进行评价, 计算公式为

$$C_j = W_i \times D_{ij}, \tag{2}$$

其中, C_j 指第 j 县级单元的承灾体指数, W_i 指 i ($i = 1, 2, 3, \dots$) 指标权重, D_{ij} 指第 j 单元的 i 指标标准化值。

表 2 农村房屋建筑数据统计

Table 2 Statistics of countryside constructions

年份	农村每户	人均住房	每平方米	房屋修建所需
	常住人口	面积/ m^2	价值/元	资金/万元
1990	5	17.39	56.4	0.4905
1995	5	20.83	181.4	1.8894
2000	5	22.42	288.3	3.2313
2005	5	25.71	376.9	4.8450
2010	5	29.23	733.0	10.7128
2015	4	42.42	1080.0	18.3254

根据自然灾害系统理论, 以及考虑到资料的易获取性, 本文采用牛海燕等 (2011) 方法, 选取的 5 项指标作为承灾体脆弱性指标, 通过对 5 项指标进行标准化处理后, 采用层次分析法确定权重 (表 3)。

热带气旋灾害区域风险评估采用风险指数 W 表示, 计算公式如下:

$$W_j = (T_j / n) \times C_j, \tag{3}$$

其中, W_j 指第 j 单元的风险指数, T_j 指第 j 单元的灾次指数, C_j 指第 j 单元的承灾体指数。

2.2.3 综合灾情指数模型改进

灾度是进行灾害等级判别的一种方法, 依据死亡人口和直接经济损失将自然灾害的灾情分为 5 个灾度。灾损率则反映了自然灾害损失占灾区经济生活和社会生产总量的比率。综合灾情指数模型是一种基于几何平均的综合灾情指数方法, 在时间和空间上对给定区域进行定量化的灾情评价。(赵阿兴和马宗晋, 1993; 张鹏等, 2015)。

针对 TC 灾害在给定区域的定量化灾情指数研究较少, 因此本文根据已有的 TC 灾情统计资料, 改进徐敬海等 (2012) 提出以死亡人数、受灾人数

表 3 热带气旋灾害承灾体脆弱性指标等级

Table 3 Rank and weight of vulnerability index of TC (tropical cyclone) disaster bearing body

等级	人口密度/人 km ⁻²	地均 GDP/万元 km ⁻²	城镇人口比重	第一产业占 GDP 比例	人均 GDP/万元
1	<210	<400	<40%	<6.4%	≥7.6
2	210≤X<225	400≤X<700	40%≤X<59%	6.4%≤X<12.7%	4.6≤X<7.6
3	225≤X<360	700≤X<1300	50%≤X<55%	12.7%≤X<17.7%	3≤X<4.6
4	360≤X<1500	1300≤X<2000	55%≤X<70%	17.7%≤X<28.2%	1.9≤X<3
5	≥1500	≥2000	≥70%	≥28.2%	<1.9
权重	0.31	0.31	0.1	0.1	0.18

和直接经济损失为影响因子的灾度计算模型。根据热带气旋造成灾害的特殊性，本文对综合灾情指数模型进行如下三点改进：

(1) 引入农作物受灾面积和房屋倒塌数量两个指标对上述模型进行完善；

(2) 将农作物受灾面积和直接经济损失以相对值代替损失值作为模型的影响因子，消除了年代变化和区域变化产生的差异性。在确定受灾区内的暴露总量时，选择 200 km 作为每个 TC 的缓冲区，确定 TC 影响的总暴露范围；

(3) 采用层次分析法 (AHP) 确定 5 个影响因子的权重，根据“以人为本”的灾度计算需求，建立有序递阶的指标体系，通过比较各指标的相对重要性来综合计算指标的权重系数。层次分析法得出的权重系数，最终选取方案的一致性比例 (CR=0.009<0.10)，具有令人满意的一致性。改进后模型如下：

$$D = 0.46 \log_{10}(P + 1) + 0.05 \log_{10} K + 0.14 \log_{10} B + 0.091 S_d / S_a + 0.261 E / GDP, \quad (4)$$

其中， D 表示灾度， P 为死亡人数（单位：人）， K 为受灾人数（单位：万人）， B 为倒塌房屋数量（单位：间）， S_d 为受灾农作物面积， S_a 为受灾区总耕地面积， E 为直接经济损失（单位与 GDP 一致），GDP 为区域内国民生产总值的总暴露量。

3 结果分析

3.1 1990~2015 年影响广东省 TC 的时空分析

3.1.1 时间分析

在 1990~2015 年间，登陆我国的 TC 共 314 个，其中登陆广东省 93 个，占总数的 29.6%。在 93 个 TC 中有 67 个对广东省造成了人员伤亡和经济损失。本文利用 1990~2015 年登陆广东省的 TC 资料，将热带气旋划分为 6 个等级（中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，2006）：热带低压（风力 6~

7 级，TD）、热带风暴（风力 8~9 级，TS）、强热带风暴（风力 10~11 级，STS）、台风（风力 12~13 级，TY）、强台风（风力 14~15 级，STY）和超强台风（风力 ≥16 级，superTY）。对 67 个热带气旋进行年代际变化、登陆频次以及强度分析。

在 26 年间，登陆广东省并对该省造成人员伤亡及经济损失的 TC 共 67 个，平均每年 2.6 个。从强度方面分析，登陆强度等级为 STS 的频次最多（33%），superTY 频次最少（3%）。由登陆广东的 TC 月份分布（图 1a）可知，影响广东省的 TC 时段主要集中在 4~10 月。其中 7~9 月为 TC 登陆的高峰期，占全年登陆总数的 81%，其余月份分别是 6 月（约占 12%）、10 月（约占 4%）、4 月和 5 月（约占 1%）。TC 登陆具有时间集中、强度集中的特点，绝大多数强度大于 TY 的 TC 均于 7~9 月间对广东省造成影响。

从 5 年际 TC 强度频次分布（图 1b）中可以看出，影响广东省 TC 频次整体随时间呈现出较弱的减少趋势，热带气旋（包括 TD、TS、STS）登陆强度较低（Ltc）的频次随年际呈现较为明显地减少变化趋势；而热带气旋（包括 TY、STY、superTY）登陆强度较高（称 Htc）的频次呈现较为明显的逐年上升趋势。即强度大的热带气旋逐年增多，强度小的热带气旋逐年减少，增加减小趋势相互抵消，使总频次变化不明显。

3.1.2 空间分析

影响广东省的 TC 生成源地位于（8°~21°N，110°~160°E）范围内（图 2），美国联合热带气旋检测中心（Joint Typhoon Warning Center, JTWC）将西北太平洋和南海区域的热带气旋生成源地划分为 3 个主要区域（<http://www.usno.navy.mil/JTWC/> [2017-05-01]）：120°E 以西、120°~145°E 区域、145°E~180°。影响广东省 TC 主要生成于前两个区域范围内，并呈现出较好的纬度带特性。

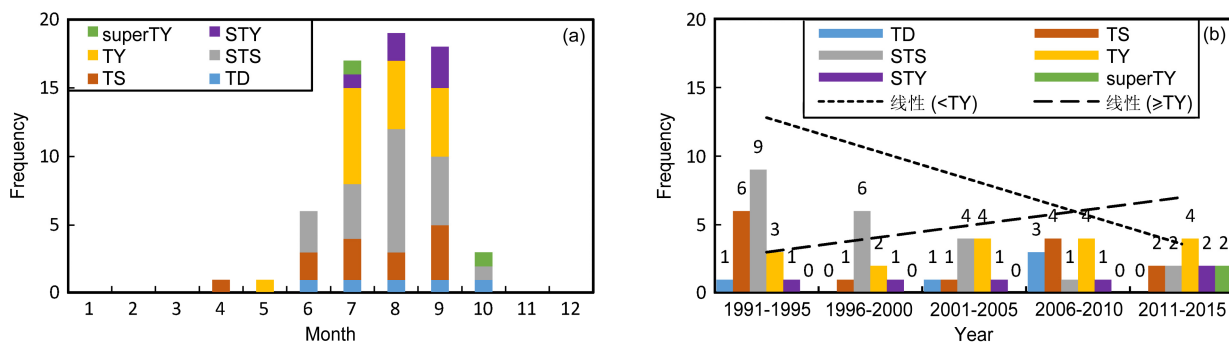


图1 1990~2015年影响广东省TC (a) 频次的月份分布, (b) 强度的5年平均频次分布

Fig. 1 (a) Monthly occurrence frequency, (b) average intensity frequency distribution of tropical cyclones (TC) for the every five years in Guangdong Province during 1990–2015. TD, TS, STS, TY, STY, and superTY represent tropical depression, tropical storm, severe tropical storm, typhoon, severe typhoon, and super typhoon, respectively

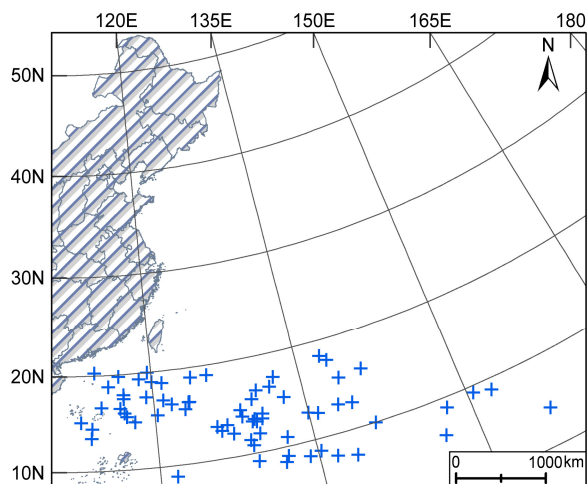


图2 1990~2015年影响广东省的TC生成位置(“+”号)

Fig. 2 Genesis positions (“+”) of TCs affecting Guangdong Province during 1990–2015

广东省各县级单元TC灾害危险性在空间上差异显著并呈现出较强的纬带差异(图3a),沿海区县的受灾频次显著高于非沿海区县,西南地区的受灾频次普遍高于东北地区。其中湛江市廉江为高频受灾区,26年间共受13个TC影响,占总灾频的19%,湛江市、茂名市等多数单元受灾频次达到9次以上,韶关市、清远市受灾频次较少,多数单元受灾频次均在3次以下。根据广东省受TC侵袭的灾次指数分布、社会经济发展水平和地理位置等特征,将广东省大致分为4个灾频区域:粤西、珠江三角洲、粤东和粤北区域。粤西与珠江三角洲地区受TC侵袭频次明显高于粤东和粤北地区。

广东省各县级单元承灾体脆弱性空间分布(图

3b)不均匀,呈现出明显的沿海区县脆弱性高于非沿海区县的特征。河源市、韶关市和梅州市脆弱性最低,80%以上的地区脆弱性指数小于2,其次是清远市、肇庆市,珠江三角洲地区、汕头市、汕尾市以及湛江市脆弱性最高,92%地区的脆弱性指数值达到3.88以上。广东省各县级单元的承灾体脆弱性分布与危险性分布呈现出空间上高度匹配,即危险性高的地区承灾体脆弱性高,危险性低的地区承灾体脆弱性低。珠江三角洲、粤西地区表现为高危险性、高脆弱性特征;粤北地区表现为低危险性、低脆弱性特征;粤东地区表现为低危险性、高脆弱性特征。

对广东省县级单元进行风险评价(图3c),结果表明:广东省热带气旋灾害风险空间分布差异显著。清远市的80%地区风险指数数值处于0.15以下,韶关市的64%地区风险指数数值处于0.21以下,属于热带气旋灾害低风险区域;而珠江三角洲地区、湛江市、汕尾市、汕头市、江门市以及茂名市风险指数数值均达到0.71以上,属于热带气旋灾害高风险区域;肇庆市的70%区域、阳江市的73%区域属于中高风险区域,其他地区风险指数数值均在0.48以下,属于中低风险区域。

3.2 TC灾害损失年际变化特征

广东省每年登陆的TC是全国中频次最多的省份,但是单次台风造成的灾害损失却远小于浙江省这些频次略低的省份(张娇艳等,2011)。各项TC灾害损失指标的年代际变化可以反映该省份对灾害防范措施取得成果的有效程度,并且根据损失程度趋势为今后防灾减灾工作提供定量化的科学依据。广东省各项TC灾害指标年变化如下:

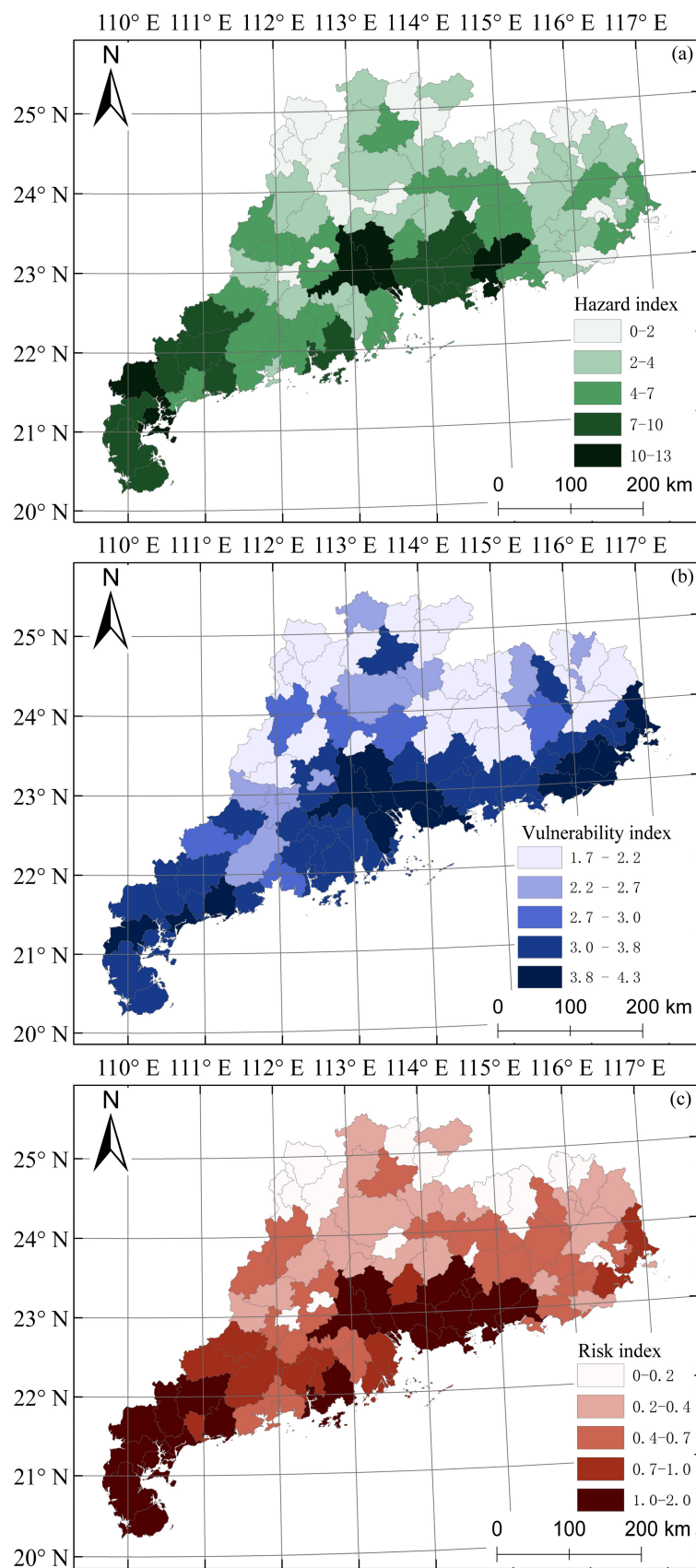


图3 1990~2015年广东省TC灾害 (a) 危险性空间分布、(b) 脆弱性空间分布、(c) 风险性空间分布
Fig. 3 (a) Hazard, (b) vulnerability, (c) risk caused by TCs in Guangdong Province during 1990–2015

(1) 受灾人数 (图 4a): 受灾人数随年际变化整体呈现减少趋势, 近 10 年年际受灾人数均值为 710 万人; 2013 年为重灾年, 受灾总人数达到 1972 万人之多; 除 2013 年以外, 2007~2015 年间每年受灾总人数均在 600 万人以下, 是 1990~1995 年 5 年年际均值的 1/3。受灾人数相对指标整体呈下降趋势, 近 10 年的受灾人数灾损率在 20% 以下。

(2) 死亡人口 (图 4b): 死亡人口随年际变化呈明显的减少趋势。以 1997 年为转折点, 1990~1995 年间 5 年年际死亡人数均值为 121 人; 1996 年以后每年广东省因热带气旋死亡人数未超过 100 人, 近年来死亡人数年均值在 26 人左右, 死亡率在 0.95‰ 以下。

(3) 农作物受灾面积 (图 4c): 1990~1995 年登陆 TC 频次为 26 年来最多的年份, 导致农作物受灾面积均值较大; 近 10 年每年农作物受灾面积在

5000 平方公里左右。

(4) 倒塌房屋 (图 4d): 房屋倒塌数量随年际变化呈明显的减少趋势。与死亡人口相同均以 1997 年为转折点, 1997 年以前 5 年年际倒塌房屋数量均值为 11.646 万间, 1997 年以后因 TC 造成的倒塌房屋数量急速减少, 房屋倒塌率在 0.32% 以下。

(5) 直接经济损失 (图 4e): 近 26 年广东省因 TC 灾害造成的直接经济损失绝对值呈现先减少后增加的趋势; 1994~2012 年间, 除 2006 年直接经济损失超过了 150 亿元以外, 其余年份整体呈现减少趋势; 2013~2015 年与之前年份相比, 直接经济损失金额上升较为明显, 3 年均值为 317 亿元, 是 1990~1997 年均值的 3 倍, 是 1998~2012 年均值的 7 倍。从 TC 造成的直接经济损失率来看, TC 造成直接经济损失占当年 GDP 的比率成下降趋势, 1998~2015 年间损失率在 0.5% 以下。

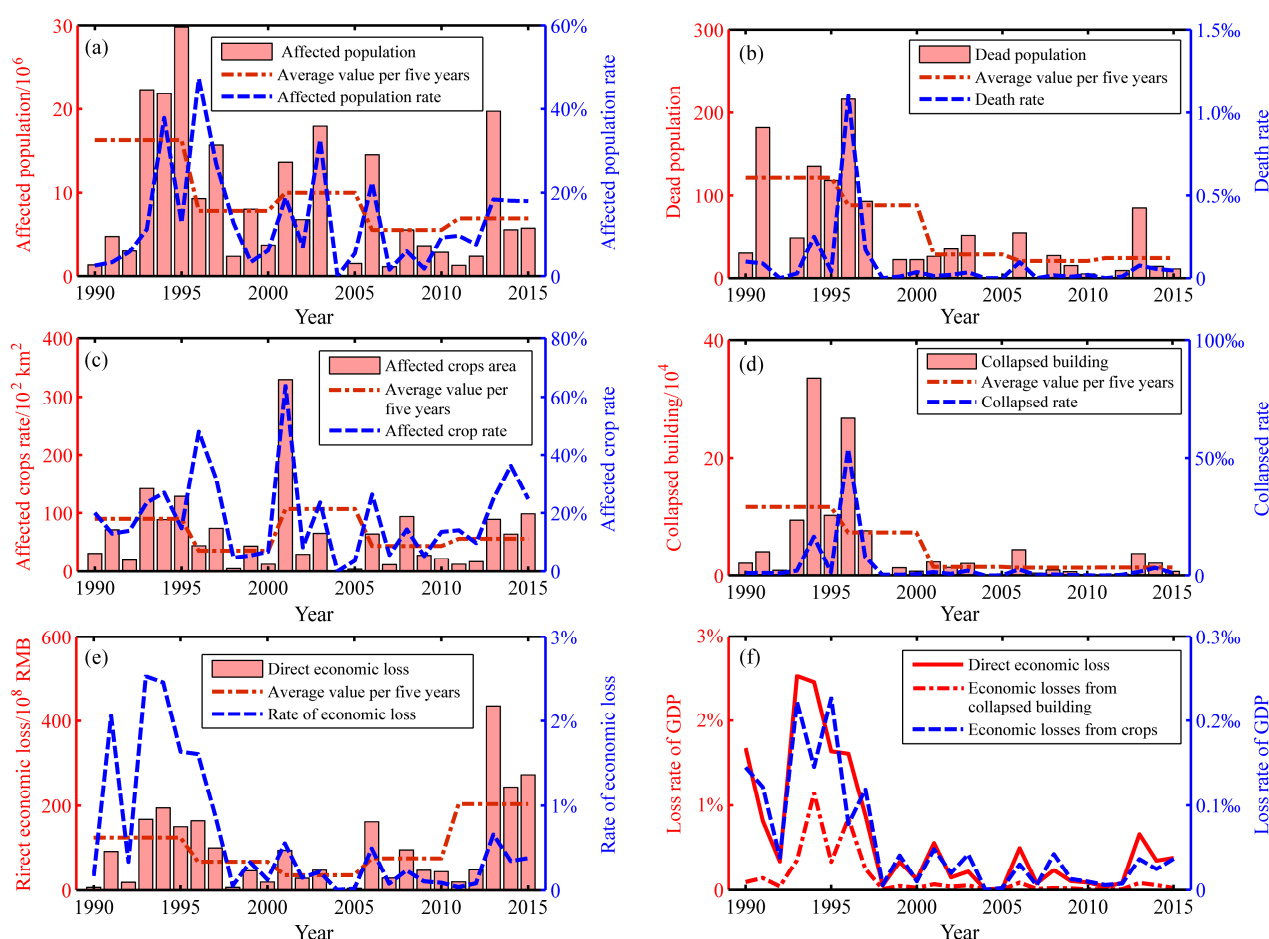


图 4 1990~2015 年广东省 TC (a) 受灾人口 (单位: 10^6)、人口受灾率, (b) 死亡人数、人口死亡率, (c) 受灾农作物面积 (单位: 10^2 km^2)、农作物受灾率, (d) 房屋倒塌 (单位: 10^4 间)、房屋倒塌率, (e) 直接经济损失 (单位: 亿元)、直接经济损失率, (f) 灾情指标经济价值占广东省 GDP 比例

Fig. 4 (a) The affected population (units: 10^6) and affected population rate, (b) the dead population and death rate, (c) the affected crops area (units: 10^2 km^2) and affected crop rate, (d) the collapsed building (units: 10^4) and collapsed rate, (e) the direct economic loss (10^8 RMB) and the rate of economic loss, (f) proportion of the economic value of disaster index to GDP in Guangdong Province during 1990–2015

将农作物经济损失、倒塌房屋经济损失以及直接经济损失以 2015 年价格进行核算, GDP 损失率 (图 4f) 表示 3 项损失指标的经济损失价值占广东省 GDP 比重, 可知 26 年农作物、房屋和直接经济

下, 农作物经济损失占总 GDP 的 0.01% 以下, 直接经济损失占总 GDP 的 0.4% 左右。

3.3 TC 灾害损失率及灾度分析

在进行 TC 灾害强度分析时, 由于社会经济存在空间分布差异, 为考虑消除区域差异, 本文构建灾害指标 (人口受灾、房屋倒塌、农作物受灾和直接经济损失) “损失率” 进行灾情分析。由于强度相同的灾害造成损失处于较为稳定的范围内, 因此采用同等强度灾害平均值代表该等级灾害损失率 (殷洁等, 2013)。如图 5 所示, 不同强度等级的 TC 灾害与各灾害指标损失率之间存在着明显的指

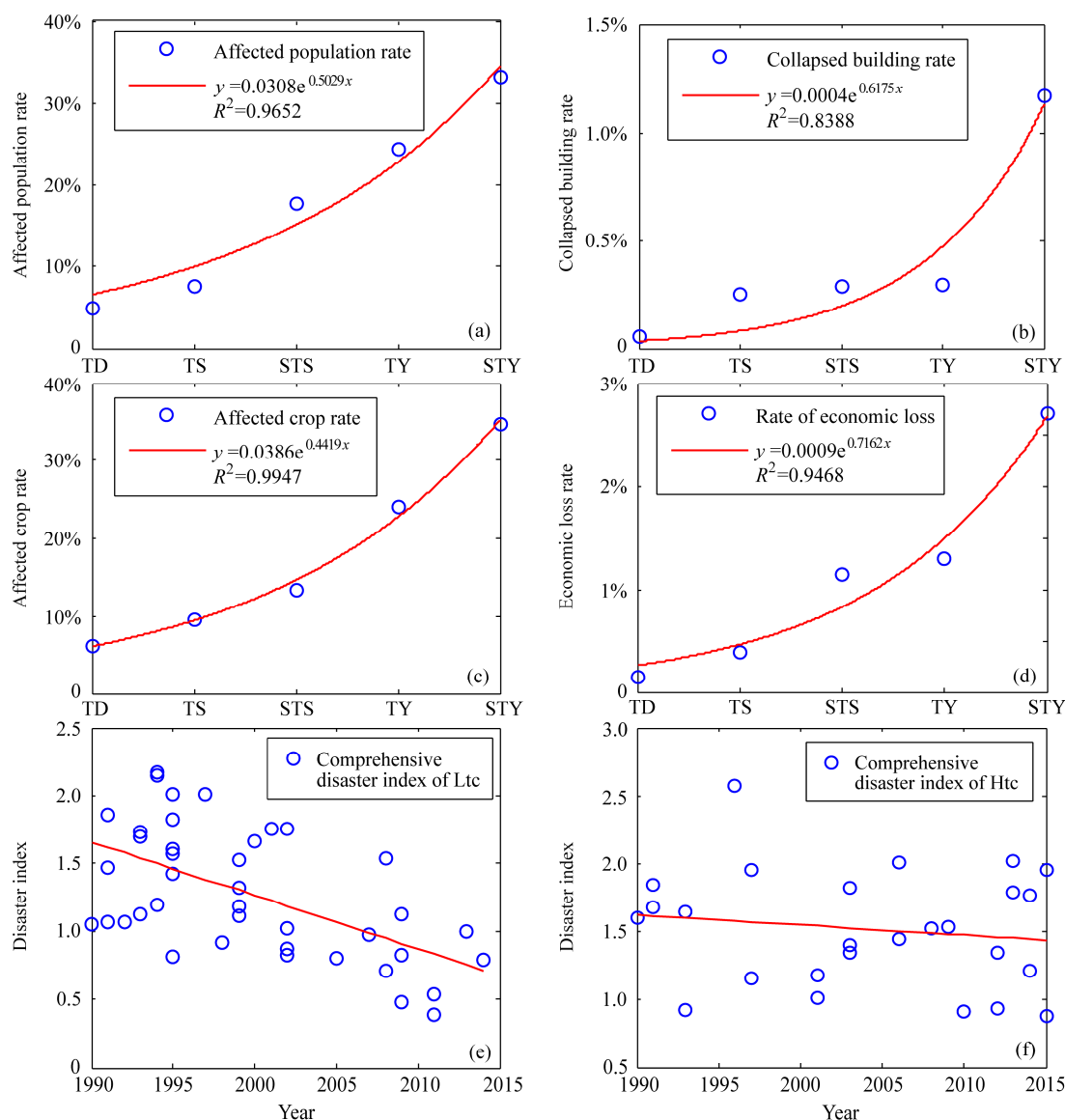


图 5 1990~2015 年广东省 TC 影响的 (a) 人口受灾率、(b) 房屋倒塌率、(c) 农作物损失率、(d) 直接经济损失率与 TC 强度等级之间的关系曲线, (e) Ltc (低强度 TC) 的综合灾情指数、(f) Htc (高强度 TC) 的综合灾情指数时间序列

Fig. 5 The relationship curve between (a) the affected population rate, (b) collapsed building rate, (c) affected crop rate, (d) direct economic loss rate and TC intensity grade, (e) annual variation of comprehensive disaster index of Ltc (low intensity TC), (f) annual variation of comprehensive disaster index of Htc (high intensity TC) in Guangdong Province during 1990–2015

数正相关关系, 人口受灾率(损失在 5%~35%之间)、农作物受灾率(损失在 5%~35%之间)和直接经济损失(损失在 0.1%~3.0%之间)的判定系数(R^2)均在 0.94 以上; 房屋倒塌率 R^2 在 0.83 以上。强度为 STS 和 TY 时, 对房屋的破坏程度处于一个较为一致的平稳比例, 其原因可能是由于防灾减灾工程的日益完善, 房屋建筑结构的抗灾能力有所增强, 使房屋在抵抗 TY 灾害时受到与 STS 相同等级程度的破坏, 但面对强度大于 TY 的 TC 时, 房屋的倒塌率显著上升, 抗灾能力明显下降。

根据改进后的综合灾情指数计算模型, 计算 1990~2015 年间的 67 个 TC 得出综合灾情指数, 分别建立了低强度 TC (Ltc) 的时间序列(图 5e), 高强度 TC (Htc) 的时间序列(图 5f)。将 TC 按强弱等级分离后可明显看出, Ltc 综合灾情指数随时间呈现出明显下降的趋势; 而在 Htc 中减小的趋势极其微弱。说明在 TC 强度随时间有所增强时, 由于抗灾能力的日益增强, Ltc 造成的整体损失随着年际变化逐步减少; 而对于 Htc 随年际变化减弱程度较小, 抗灾能力增强效果不明显。

4 主要结论

本文运用灾频指数、灾情经济估算、综合灾情指数模型等对 1990~2015 年间登陆广东省的 TC 进行了灾害特征时空分析、灾情年际变化分析以及灾害强度特征分析, 主要得出以下结论:

(1) 在过去 26 年间, 登陆广东省的热带气旋共 67 个, 发生在 7~9 月居多, Ltc 频次随时间减少, Htc 频次随时间增多, 总频次呈现较弱的减少趋势。

(2) 广东省内高频受灾区集中在粤西和珠江三角洲地区, 其中湛江市、广州市、佛山市和惠州市灾害频率均在 10 次以上。

(3) 受灾人数和受灾农作物面积 5 年均值呈现波动性减小趋势, 死亡人口和房屋倒塌数量 5 年均值呈现出较为明显的递减趋势, 直接经济损失则先减少后增加。其原因可能为近年来广东省政府对 TC 的预报机制逐步完善, 提前做好了灾害预警环节, 并对房屋建筑进行抗灾能力的提升, 减小损失发生。

(4) 将损失指标折算为以 2015 年价格为准后, 各项指标造成的经济损失以 1997 年为转折点, 损失呈现出十分明显的骤降趋势。可能原因如下: 广东省自 1995 年创刊《广东省防灾减灾年鉴》以来, 大力加强了对自然灾害的预警和防范机制, 并

逐步建立了一系列防灾减灾平台; 广东省是中国经济发展最快的省份, 1997 年前 GDP 以平稳线性增长, 1997 年以后呈现出指数型增长, 使灾害造成的损失占总体比重迅速下降。

(5) 各项损失相对值与 TC 强度之间存在较好的指数正相关关系, 通过修正后综合灾情指数模型对 67 个热带气旋进行灾情指数计算得出: Ltc 造成的灾情有明显的年际减少趋势; 而 Htc 这种减少趋势并不明显。说明广东省对于强度较低的 TC 防灾减灾能力显著提升, 而对于高强度等级的 TC 防范能力提升的较小, 效果不显著。

随着年代际变化, 登陆广东省 TC 频次减少, 强度增加。尽管经济发展带来了各项暴露度的经济价值急速上升, 但随着防灾减灾能力增强, 对强度较低的 TC 灾害的防御能力效果极为显著, 在此基础上应加强对高强度 TC 灾害的预报和防御工作。将广东省以县级为单元进行分析, 有利于减灾过程中有针对性地进行重点防御。本文局限性在于: (1) 社会统计资料的不全面, 未能将防灾减灾成本纳入损失计算中; (2) 由于资料限制, 将每个 TC 选取相同的缓冲半径进行暴露总量的处理, 使各项指标的总受灾区域存在一定误差。

参考文献 (References)

- 毕鑫鑫, 陈光华, 周伟灿, 等. 2017. 西北太平洋热带气旋达到不同强度时所处位置的长期趋势研究 [J]. 气候变化研究进展, 13 (1): 31-40.
- Bi Xinxin, Chen Guanghua, Zhou Weican, et al. 2017. Research in long-term tendency of tropical cyclone position reaching different intensities over the western North Pacific [J]. Climate Change Research (in Chinese), 13 (1): 31-40, doi:10.12006/j.issn.1673-1719.2016.092.
- 陈联寿, 孟智勇. 2001. 我国热带气旋研究十年进展 [J]. 大气科学, 25 (3): 420-432.
- Chen Lianshou, Meng Zhiyong. 2001. An overview on tropical cyclone research progress in China during the past ten years [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 25 (3): 420-432, doi:10.3878/j.issn.1006-9895.2001.03.11.
- 丑洁明, 董文杰, 延晓冬. 2016. 关于气候变化对社会经济系统影响的机理和途径的探讨 [J]. 大气科学, 40 (1): 191-200.
- Chou Jieming, Dong Wenjie, Yan Xiaodong. 2016. The impact of climate change on the socioeconomic system: A mechanistic analysis [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 40 (1): 191-200, doi:10.3878/j.issn.1006-9895.1507.15131.
- Emanuel K. 2005. Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years [J]. Nature, 436 (7051): 686-688, doi:10.1038/nature03906.
- 龚振淦, 陈丽娟. 2013. 2010 年西北太平洋与南海热带气旋活动异常的成因分析 [J]. 气候与环境研究, 18 (3): 342-352.
- Gong Zhensong, Chen Lijuan. 2013. Analysis of anomalous tropical cyclone activities over the western North Pacific and the South China Sea in 2010 [J]. Climatic and

- Environmental Research (in Chinese), 18 (3): 342–352, doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2012.11063.
- 广东省气象局. 1997–2016. 广东省防灾减灾年鉴 [M]. 北京: 气象出版社. Guangdong Meteorological Administration. 1997–2016. Guangdong disaster prevention and mitigation Yearbook (in Chinese) [M]. Beijing: China Meteorological Press.
- 广东省统计局. 1991–2016. 广东省统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社. Statistics Bureau of Guangdong. 1991–2016. Guangdong Statistical Yearbooks (1990–2015) (in Chinese) [M]. Beijing: China Statistical Press.
- 广东省统计局. 2016. 广东省农村统计年鉴 (2015) [M]. 北京: 中国统计出版社. Statistics Bureau of Guangdong. 2016. Guangdong Statistical Yearbooks on Agriculture (2015) (in Chinese) [M]. Beijing: China Statistical Press.
- Guha-Sapir D, Hoyois P, Below R. 2015. Annual disaster statistical review 2014: The numbers and trends [R]. Brussels, Belgium: Université catholique de Louvain.
- 黄伟. 2013. 近 30 年影响我国东南沿海的热带气旋降水强度变化特征分析 [J]. 气候与环境研究, 18 (4): 507–516. Huang Wei. 2013. Changes in the intensity of tropical-cyclone-induced precipitation along the southeastern coast of China between 1978 and 2007 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 18 (4): 507–516, doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2012.11189.
- 刘彤, 闫天池. 2011. 我国的主要气象灾害及其经济损失 [J]. 自然灾害学报, 20 (2): 90–95. Liu Tong, Yan Tianchi. 2011. Main meteorological disasters in China and their economic losses [J]. Journal of Natural Disasters (in Chinese), 20 (2): 90–95, doi:10.13577/j.jnd.2011.0214.
- 牛海燕, 刘敏, 陆敏, 等. 2011. 中国沿海地区近 20 年台风灾害风险评价 [J]. 地理科学, 31 (06): 764–768. Niu Haiyan, Liu Min, Lu Min, et al. 2011. Risk assessment of typhoon disasters in China coastal area during last 20 years [J]. Scientia Geographica Sinica (in Chinese), 31 (6): 764–768, doi:10.13249/j.cnki.sgs.2011.06.013.
- 秦大河. 2008. 影响我国的主要气象灾害及其发展态势 [J]. 中国应急救援, 3 (6): 4–6. Qin Dahe. 2008. The development trend of the main meteorological disaster affecting China [J]. China Emergency Rescue (in Chinese), 3 (6): 4–6, doi:10.19384/j.cnki.cn11-5524/p.2008.06.002.
- 任国玉, 封国林, 严中伟. 2010. 中国极端气候变化观测研究回顾与展望 [J]. 气候与环境研究, 15 (4): 337–353. Ren Guoyu, Feng Guolin, Yan Zhongwei. 2010. Progresses in observation studies of climate extremes and changes in mainland China [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 15 (4): 337–353, doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2010.04.01.
- 史培军, 李宁, 叶谦, 等. 2009. 全球环境变化与综合灾害风险防范研究 [J]. 地球科学进展, 24 (4): 428–435. Shi Peijun, Li Ning, Ye Qian, et al. 2009. Research on global environmental change and integrated disaster risk governance [J]. Advances in Earth Science (in Chinese), 24 (4): 428–435, doi:10.3321/j.issn:1001-8166.2009.04.009.
- Shi P J, Yang X, Xu W, et al. 2016. Mapping global mortality and affected population risks for multiple natural hazards [J]. International Journal of Disaster Risk Science, 7 (1): 54–62, doi:10.1007/s13753-016-0079-4.
- 王绍武, 龚道溢, 陈振华. 1999. 近百年来中国的严重气候灾害 [J]. 应用气象学报, 10 (S): 43–53. Wang Shaowu, Gong Daoyi, Chen Zhenhua. 1999. Serious climatic disasters of China during the past 100 years [J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology (in Chinese), 10 (S): 43–53, doi:10.3969/j.issn.1001-7313.1999.zl.006.
- Webster P J, Holland G J, Curry J A, et al. 2005. Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment [J]. Science, 309 (5742): 1844–1846, doi:10.1126/science.1116448.
- 温克刚. 1991–1997. 中国气象灾害大典, 广东卷 [M]. 北京: 气象出版社. Wen Kegang. 1991–1997. China Meteorological Disaster Ceremony, Guangdong (in Chinese) [M]. Beijing: China Meteorological Press.
- 吴吉东, 傅宇, 张洁, 等. 2014. 1949–2013 年中国气象灾害灾情变化趋势分析 [J]. 自然资源学报, 29 (9): 1520–1530. Wu Jidong, Fu Yu, Zhang Jie, et al. 2014. Meteorological disaster trend analysis in China: 1949–2013 [J]. Journal of Natural Resources (in Chinese), 29 (9): 1520–1530, doi:10.11849/zrzyxb.2014.09.007.
- Wu L G, Wang B. 2008. What has changed the proportion of intense hurricanes in the last 30 years? [J]. J. Climate, 21 (6): 1432–1439, doi:10.1175/2007JCLI1715.1.
- 徐敬海, 聂高众, 李志强, 等. 2012. 基于灾度的亚洲巨灾划分标准研究 [J]. 自然灾害学报, 21 (3): 64–69. Xu Jinghai, Nie Gaozhong, Li Zhiqiang, et al. 2012. Disaster magnitude-based Asian catastrophe criterion for classification [J]. Journal of Natural Disasters (in Chinese), 21 (3): 64–69, doi:10.13577/j.jnd.2012.0310.
- 殷洁, 戴尔阜, 吴绍洪, 等. 2013. 中国台风强度等级与可能灾害损失标准研究 [J]. 地理研究, 32 (2): 266–274. Yin Jie, Dai Erfu, Wu Shaohong, et al. 2013. A study on the relationship between typhoon intensity grade and disaster loss in China [J]. Eographical Research (in Chinese), 32 (2): 266–274, doi:10.11821/yj2013020007.
- 张娇艳, 吴立广, 张强. 2011. 全球变暖背景下我国热带气旋灾害趋势分析 [J]. 热带气象学报, 27 (4): 442–454. Zhang Jiaoyan, Wu Liguang, Zhang Qiang. 2011. Tropical cyclone damages in China under the background of global warming [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 27 (4): 442–454, doi:10.3969/j.issn.1004-4965.2011.04.002.
- 张鹏, 张云霞, 孙舟, 等. 2015. 综合灾情指数——一种自然灾害损失的量化评价方法 [J]. 灾害学, 30 (4): 74–78. Zhang Peng, Zhang Yunxia, Sun Zhou, et al. 2015. Natural disaster index: A quantitative measure for assessing natural disaster losses [J]. Journal of Catastrophology (in Chinese), 30 (4): 74–78, doi:10.3969/j.issn.1000-811X.2015.04.015.
- Zhang Q, Liu Q F, Wu L G. 2009. Tropical cyclone damages in China 1983–2006 [J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 90 (4): 489–495, doi:10.1175/2008BAMS2631.1.
- 赵阿兴, 马宗晋. 1993. 自然灾害损失评估指标体系的研究 [J]. 自然灾害学报, 2 (3): 1–7. Zhao Axing, Ma Zongjin. 1993. Appraising study for the loss evaluation system of natural disasters [J]. Journal of Natural Disasters (in Chinese), 2 (3): 1–7, doi:10.13577/j.jnd.1993.0301.
- 赵宗慈, 罗勇, 黄建斌. 2014. 极端天气与气候事件受到全球变暖影响吗? [J]. 气候变化研究进展, 10 (5): 388–390. Zhao Zongci, Luo Yong, Huang Jianbin. 2014. Are extreme weather and climate events affected by global warming? [J]. Progressus Inquisitiones de Mutatione Climatis (in Chinese), 10 (5): 388–390, doi:10.3969/j.issn.1673-1719.2014.05.012.
- 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 2006. 热带气旋等级标准 [R]. 北京: 中国标准出版社. General Administration of quality supervision, inspection and Quarantine of the People's Republic of China. 2006. Tropical cyclone classification standard (in Chinese) [R]. Beijing: China Standard Press.