

近 30 年粤东地区台风灾害风险评估与分析

陈楷俊¹, 陈艺仪², 陈菁²

(1. 广西师范学院 地理科学与规划学院, 南宁 530001; 2. 韩山师范学院 地理科学系, 广东 潮州 521041)

摘要:根据粤东地区各县(区)的 1989—2017 年台风资料,以自然灾害系统理论为指导,利用 GIS 技术方法对粤东地区台风灾害危险性、承灾体的脆弱性、减灾防灾能力进行了初步评估,并在此基础上建立了台风灾害综合风险评估体系,获得粤东地区各县(区)台风灾害风险分布。结果表明:(1)粤东西南地区是台风灾害发生的高频区,也是危险性高值区,这一地区应提高台风预警性;(2)承灾体脆弱性高值区集中分布在榕城、潮阳、金平、龙湖、澄海、南澳,这些地区应该优化土地利用结构调整、提高人口素质和台风灾害的防御能力,从而降低承灾体的脆弱性;(3)陆河的防灾减灾能力最低,该县应加大对医疗卫生投入和提高事业保障能力。根据评估结果,台风灾害风险高值区主要在陆河、陆丰、惠来、南澳,这些地区应成为防御台风灾害的重点区。

关键词:台风; 灾害; 风险评估; 粤东地区; GIS

中图分类号:P444

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2019)03-0362-05

Risk Assessment and Analysis of Typhoon Disaster in East Guangdong in the Period 1989—2017

CHEN Kaijun¹, CHEN Yiyi², CHEN Jing²

(1. *Geography Science and Planning, Guangxi Teacher Education University, Nanning 530001, China;*

2. *Department of Geography, Hanshan Normal University, Chaozhou, Guangdong 521041, China*)

Abstract: According to typhoon data of counties and districts in East Guangdong in the period 1989—2017, under the guidance of the typhoon disaster system theory, risk of typhoon disaster, exposed vulnerability of carrier and ability of disaster prevention and reduction in east Guangdong region were assessed by using GIS technology. Based on those assessments, the typhoon disaster risk assessment system of east Guangdong was established, and maps of typhoon risk distribution were made. The results showed that the southwest of east Guangdong was the high frequency of typhoon disaster area or regions with high-value of hazard, so typhoon forecast should be improved in this area. The regions with high-value vulnerability of hazard-affected body were found in Rongcheng, Chaoyang, Jinping, Chenghai, Nan'ao. It is necessary to adjust land use structure, and improve population quality and the ability to defense typhoon to reduce the vulnerability of hazard-affected body. Luhe had the lowest ability for disaster prevention and mitigation. It is necessary to increase investment in health care and improve the ability of undertaking support. Based on the assessment results, regions with high-value of risk were centralized in Luhe, Lufeng, Huilai, Nanao, and those areas should be considered as the important districts of typhoon disaster prevention.

Keywords: typhoon; disaster; risk assessment; east Guangdong; GIS

粤东地区地处南亚热带,每年深受台风灾害影响,随着经济的增长,台风灾害对粤东地区的影响将会有提高的可能性。台风灾害风险是指在某段时间

内,某一地区在强度大于或等于强热带气旋的热带气旋活动的发生及发展的可能性及对自然环境、社会经济造成影响及危害程度^[1]。开展台风灾害风险研究是

制定台风灾害综合减灾和应急管理对策的基础和依据,但对于这个风险至今没有一个完善的评估标准。目前国外的“灾害风险指数系统”、“多重风险评估方法”及“美国灾害评估模型”是具有代表性且应用较广的灾害风险评估模型^[2-4]。国内学者是在20世纪80年代中后期才进行自然灾害风险深入研究,也取得了一定进展^[5-8]。但由于不同学者对风险的理解皆不相同,所以风险评估的方法和指标选取差异较大^[9-10]。

本文基于自然灾害系统论理论和GIS空间分析技术,结合粤东地区近30a的台风登陆情况,选取了台风灾害的危险性,承灾体的脆弱性以及减灾防灾的能力等3个因子及其相关指标,构建起粤东地区台风灾害综合风险评估指标体系,采用自然风险指标指数法和加权综合评价法,对各指标进行空间化和标准化,并综合各种指标得到粤东台风灾害风险指数及其分布图。对粤东台风灾害风险进行研究分析,可以填补粤东地区台风灾害风险评估研究空白,为制定粤东台风灾害的规划策略提供科学依据。

1 研究区概况

粤东地区,是指广东省东部地区,范围包括潮州、汕头、揭阳、汕尾4个地级市和3个县级市,共19个县(区),土地面积15 474.57 km²,海岸线长809.1 km。2017年常住人口为1 776.46万人,人口密度为1 148人/km²。2017年地区年生产总值达6 431.63亿元,人均生产总值36 203.63元。地形以山地丘陵为主,除了汕头以外,其他各市的山地、丘陵面积占土地面积60%以上,总体上呈西北高东南低的态势,山地和平原、谷地相间分布,高程分布差异较大。山脉则以北东—南西走向居多,台地以海丰—潮阳一带较多。粤东地区面临南海,与福建诏安相邻,属于典型的亚热带季风区,降水在空间和时间上都存在差异,由于粤东的季风特性显著,且受西北太平洋副热带高压活动和地形等因素的影响,气象灾害频发。

根据1989—2017年登陆粤东的台风数据分析,粤东的台风具有以下特点:发生频率较高,28a间登陆粤东的热带风暴达36个,时间多集中在6—10月,而高峰期在7月、8月;台风的发源地主要在西北太平洋区域,在登陆的台风中有76.4%的都发源于西太平洋;连锁效应显著。

2 数据源与研究方法

2.1 数据来源

采用的气象数据,包括1989—2017年的完整的台风路径、台风观测资料、台风起止时间、登陆的最大

风速等主要来自中国台风网、热带气旋统计年鉴。社会经济统计数据包括粤东地区各县(区)常住人口、土地面积、生产总值、固定资产投资以及产业数据等,主要来自1989—2017年广东省统计年鉴。基础地理信息数据包含市级和县级行政区划资料、粤东地区的SRTM90 m的数字高程数据,运用ArcGIS 10.2作数据处理和空间分析,提高评估的精确度。

2.2 指标数据的标准化及权重的确定

2.2.1 指标数据标准化 本文根据研究内容选取了14个评价指标,由于选取了不同量纲的评价指标,为保证评估数据结果的可靠性,在此对各个评价指标进行标准化处理以消除各数据集的量纲影响。这里采用极差值标准化公式(式1,式2)对各个指标源数据进行标准化,标准化后的数值介于0~1。指标数据标准化后的计算结果越趋向于1,则表示风险越高。

$$\text{正向指标: } Z_{ij} = \frac{D_{ij} - D_{ij\min}}{D_{ij\max} - D_{ij\min}} \quad (1)$$

$$\text{逆向指标: } Z_{ij} = \frac{D_{ij\max} - D_{ij}}{D_{ij\max} - D_{ij\min}} \quad (2)$$

式中: D_{ij} 为第 j 县(区)的第 i 指标数据标准化值; D_{ij} 为第 j 县的第 i 指标值; $D_{ij\max}$ 为第 j 县(区)第 i 价因子的最大值; $D_{ij\min}$ 为第 j 县(区)第 i 价因子的最小值。

2.2.2 指标权重确定方法 本文基于1989—2017年的台风统计数据以及各县(区)统计年鉴数据,考虑到的研究内容以及各指标的选取含义,为避免主观因素的影响,本文采用改进的熵值法确定综合评价指标的客观权重值(表1)。

$$E_{ij} = -\frac{1}{\ln N} \sum_i (Z_{ij} \cdot \lg Z_{ij}) \quad (3)$$

式中: E_{ij} 表示所求的信息熵值; Z_{ij} 为标准化数据; N 为样本数。

当 Z_{ij} 等于0时,设置其近似的等于0.000 1,则权重值可运用以下公式计算:

$$W_{ij} = \frac{1 - E_{ij}}{\sum (1 - E_{ij})} \quad (4)$$

式中: W_{ij} 为第 j 县(区)第 i 的评价指标权重值; E_{ij} 为所求的信息熵。

粤东各县(区)台风风险评价指标及权重结果如表1所示。

2.3 台风灾害风险评价指标模型的构建

2.3.1 致灾因子危险性 致灾因子是指表达气象灾害过程特征的多种因素,是可能造成财产损失和对威胁人们生命的各种自然现象,这种潜在威胁包括了灾害的频率、强度等^[11]。为此,结合1989—2017年登陆的台风特性与粤东地区受灾情况特点,选取台风强度、日最大降水量、台风登陆频次和持续时间作为致

灾因子危险性评价指标,采用加权综合评价法即式(5),综合上述影响因子得到粤东台风灾害危险性评价指数。

$$H = \sum_{i=1}^4 W_{ij} \cdot S_{ij} \quad (5)$$

式中: H 为第 i 县(区)台风灾害发生危险性评; W_i 为第 j 县(区)第 i 个指标的权重值; S_{ij} 为第 j 县(区)第 i 指标的标准化数值。 H 越大,致灾因子危险性越高,风险越大。

表 1 粤东各县(区)台风风险评价指标及权重

评价目标	评价因素	评价指标	权重值
台风风险	危险性 (0.3149)	台风强度(级)	0.1093
		日最大降雨量(mm)	0.0709
		登录频次(次/年)	0.0545
		持续时间(h)	0.0802
脆弱性 (0.3498)		人口密度(人/km ²)	0.0936
		城市人口比重	0.0636
		人均 GDP(万元)	0.0765
		地均 GDP(万元/km ²)	0.0626
		农作物播种面积比重(%)	0.0535
		人均财政收入(万元)	0.0751
		卫生技术人员比重(%)	0.0674
		地均基建投资(万元/km ²)	0.0826
		中等教育人口比重(%)	0.0616
		人均医疗床位数(张)	0.0486
减灾防灾能力 (0.3353)			

2.3.2 承灾体脆弱性 台风灾害的脆弱性是指承灾体的抗灾性能,即表现为一个地区内的所有的人员、财产等因台风灾害危险性的存在而可能造成的损失和损失程度^[12]。粤东地区属沿海地区,为此基于 1989—2017 年统计数据,选取人口密度、城市人口比重、人均 GDP、地均 GDP 和农作物播种面积比重作为评价指标,评价模型采用加权综合评价法即式(6),综合上述影响因子得到粤东台风灾害承灾体脆弱性评价指数。

$$V = \sum_{i=1}^5 W_{ij} \cdot R_{ij} \quad (6)$$

式中: V 为脆弱性评价指数; W_i 为第 j 县(区)第 i 个指标的权重值; R_{ij} 为第 j 县(区)第 i 指标的标准化数值。 V 越大,承灾体的脆弱性越高,风险越大。

2.3.3 减灾防灾能力 减灾防灾的能力是指受灾地区对灾害的防范和恢复能力,同时预防和应对灾害可能造成的损失的能力,其主要受社会经济发展程度影响^[13]。同样根据各县(区)1989—2017 年的统计数据,选取人均财政收入、卫生技术人员比重、地均基建投资、中等教育人口比重以及人均医疗床位数作为减灾防灾的基础指标。采用加权综合评价法即式(7),得到减灾防灾能力评价指数。

$$P = \sum_{i=1}^5 W_{ij} \cdot P_{ij} \quad (7)$$

式中: P 为减灾防灾能力评价指数; W_i 为第 j 县区第 i 个指标的权重值; P_{ij} 为第 j 县(区)第 i 指标的标准化数值。减灾防灾能力指标原为逆向指标,指标数据标准化后; P 越大,减灾防灾能力越低,灾后的恢复能力也越弱,灾害损失程度越高,风险性也越大。

2.4 数据的标准化和综合评价指数的计算

台风灾害风险评估是建立在危险性评估、脆弱性评估和减灾防灾能力评估的基础上的综合评估,根据熵值法计算所得的权重值分别为 0.314 9、0.349 8、0.335 3,台风灾害综合风险指数表达式如下:

$$FDPI = H^{wh} \cdot V^{wv} \cdot P^{wp} \quad (8)$$

式中:FDPI 为综合风险评价指数; H 为危险性评价指数; V 为脆弱性评价指数; P 为减灾防灾能力评价指数; wh, wv, wp 为对应评价指数的权重。

3 结果与分析

3.1 台风灾害危险性评估分析

台风灾害危险性是对粤东各县(区)台风发生概率空间化的结果。1989—2017 年期间共有 36 个台风登录粤东地区,根据指标评估数据将危险性等级分 5 个区,分别是低危险区、较低危险区,中等危险区,较高危险区和高危险区。从评估的结果(图 1)看,粤东台风灾害危险性整体分布特点西南高,东北低,由汕头、揭阳、潮州三市的市区向周边逐渐增大,海丰县、陆丰市、普宁市处于高危险区,峰值出现在海丰市,评估危险值为 0.190 5;陆河县、惠来县、城区处于较高危险度;揭西县、潮阳区、潮南区处于中等危险度;揭东县、潮安区、饶平县、南澳县、澄海市处于较低危险度;金平区、龙湖区、榕城区、湘桥区为低危险区,最低值出在湘桥区,为 0.040 5。

对危险性评估进行统计,得到不同危险度在粤东地区所占面积及比重大小情况,低危险区等级面积 2 000.227 km²,占粤东总面积的 12%,较低危险区等级面积 2 836.203 km²,占比 18%,中等危险区等级面积 3 911.934 km²,占比 24%,较高危险区等级面积 5 004.66 km²,占比 31%,高危险区面积 2 505.65 km²,占比 15%;总体上,粤东地区大部分地区处于较高危险区,对于这些地区应加强防范,提高台风的预测水平,提前做好防灾预案。

3.2 台风灾害承灾体脆弱性评估分析

承灾体脆弱性评价指标选取主要从人口和社会经济两个方面考虑,根据统计数据显示,粤东地区常住人口从 1989—2017 年增长了 476.17 万人,现人口

密度在广东省排第二,仅次于珠三角地区。从区域人口密度看,高密度区主要集中在汕头市辖区,其中最高的金平区人口密度达 7 570.6 人/km²。从经济指标指数看,龙湖区、金平区经济发展水平较高,陆河、海丰经济发展水平较低。评估结果(图 2)显示,粤东地区台风灾害脆弱性的分布表现两个特点:第一,总体上沿海地区的承灾体脆弱性高于内陆地区;第二,高和较高脆弱区分布较集中,各市内部差异较大。其中,龙湖区、金平区、榕城区、潮阳区、澄海市处于高脆弱区,峰值出现在龙湖区,为 0.207 6;南澳县、陆丰市、普宁市、潮南区、揭东县处于较高脆弱区;海丰县、城区、惠来县、湘桥区处于中等脆弱区;揭西县、濠江区、潮安区、饶平县处于较低脆弱区;仅陆河一县属于低脆弱区,评估值为 0.051 3。

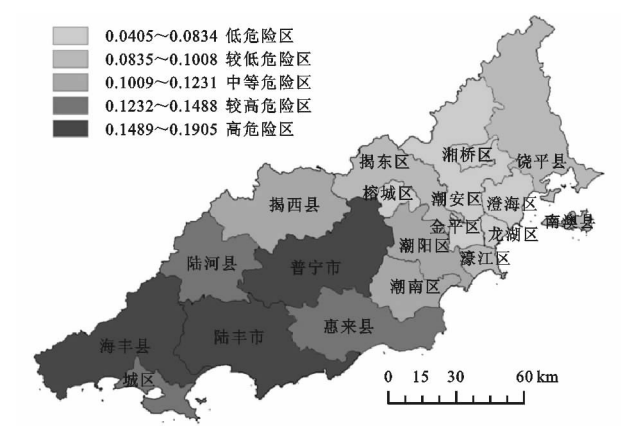


图 1 粤东台风灾害危险性分布格局

对脆弱性评估进行统计,得到不同脆弱性在粤东地区所占面积及比重大小情况,低脆弱区和高脆弱区面积分别为 1 766.28 km²,986.01 km²,占比 11%和 6.1%,较低脆弱区面积为 4 616.87 km²,占比 28.8%,中等脆弱区面积 4 316.65 km²,占比 26.9%,较高脆弱区面积 4 355.17 km²,占比 27.2%。总体上,粤东大部分地区处于较低和较高脆弱区之间,与低脆弱区和高脆弱区等级形成较大差异。

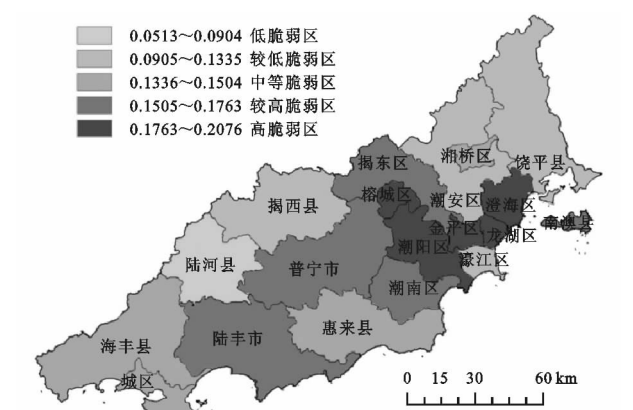


图 2 粤东台风灾害脆弱性分布格局

3.3 台风灾害减灾防灾能力评估分析

减灾防灾评估是对灾害后期的恢复能力评估,粤东地区的经济发展存在较大差距,根据评估数据,将减灾防灾能力分为 5 个等级,从评估的结果(图 3)看,粤东地区台风灾害减灾防灾能力分布特点为地区间差异较大,高减灾防灾能力集中分布在各市市区。潮安区、澄海区、龙湖区、金平区具有高减灾防灾能力,最高减灾防灾能力的是潮安区,评估值为 0.061 7;海丰县、城区、普宁市、揭东县、榕城区、潮阳区具有较高减灾防灾能力,陆丰市、潮南区、濠江区、湘桥区、饶平县具有中等减灾防灾能力,揭西县、惠来县、南澳县的减灾防灾能力较低,陆河县为低减灾防灾能力区。

对减灾防灾能力评估进行统计,得到不同等级减灾防灾能力在粤东地区所占面积及比重大小情况,低和较低减灾防灾能力的地区面积为 986.01 km²,2 731.8 km²,分别占粤东面积的 6%和 17%,中等减灾防灾能力面积 4 539.92 km²,占比 28%,较高减灾防灾能力面积 6 045.93 km²,占比 38%,高减灾防灾能力面积 1 737.32 km²,占比 11%。总体上,粤东大部分县(区)具有中等或较高减灾防灾能力。对于减灾防灾能力较弱的区域应提高医救、自救、财政救灾的能力,扩大卫生、保障事业,提高防灾意识,做好台风灾害的减灾和防灾策略。

3.4 台风灾害综合风险评估分析

综合风险评估是综合考虑以上 3 种评估因子后灾害风险空间量化的结果,从评估的结果(图 4)看,粤东台风灾害风险分布特点大致沿西北—东南方延伸,西南地区的风险高于东北地区,地级市中心区的灾害风险较低。高风险区分布在陆河县、陆丰市、惠来县,峰值出现在陆河县,为 0.120 3;城区、揭西县、普宁市、潮南区、南澳县、饶平县处于较高风险区,海丰县、揭东县、榕城区、潮阳区、濠江区、湘桥区处于中等风险区,龙湖区、金平区处于较低风险区,澄海市、潮安区处于低风险区。风险最小的是澄海区,评估值为 0.038 1。

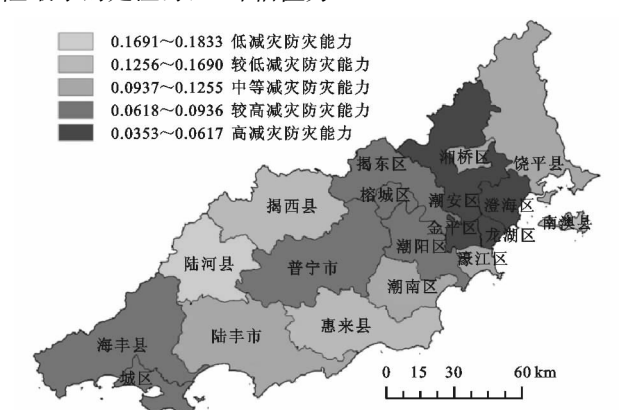


图 3 粤东台风灾害减灾防灾能力分布格局

对台风灾害综合风险评估进行统计,得到不同等级风险在粤东地区所占面积及比重大小情况,低和较低风险区面积为 1 200.46 km²,621.11 km²,二者仅占总面积的 11%,中等风险区面积 5 556.02 km²,占比 35%,较高风险区面积 4 711.38 km²,占比 29%的,高风险区面积 3 952.01 km²,占比 25%。总体上,粤东的绝大部分地区处于中等风险区或中等风险区以上,这些地区多是经济不发达或农业产值比重较大,甚至以渔业为主要经济支柱,如海丰、陆丰和南澳等。

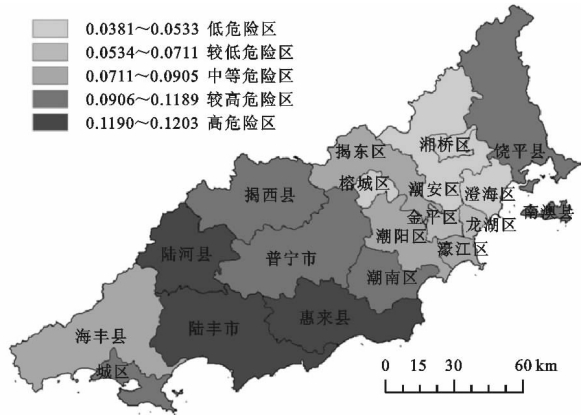


图 4 粤东台风灾害综合风险分布格局

4 讨论与结论

4.1 讨论

一个地区的台风灾害可能造成的损失是由多种灾害影响因子综合作用的结果,而在台风灾害系统理论中,将影响因子归为四大类分别是致灾因子、孕灾环境、区域承灾体以及减灾防灾的能力,认为台风灾害风险评估是由这 4 类因子结合下的不利影响的综合性评估^[3,11-15]。因为在不同的研究区域下,指标的选取存在较大差异,本文从台风灾害的危险性、承灾体脆弱性以及减灾防灾能力 3 个影响因子并结合粤东各县(区)1989—2017 年的统计资料,选取了 14 个指标作为台风灾害风险评估元分析数据。但粤东县(区)的台风灾情数据、气象数据和部分社会经济数据无法全面获取,因此指标体系的构建仍存在一定的局限性。另外对于台风灾害风险评估,本研究虽利用相关评估法对粤东地区台风灾害风险进行了初步的评估,由于气象系统存在的复杂性和不稳定性,纯粹以定量或定性的方法都难以精确评估,待今后的研究进一步完善这方面的评估法则。

4.2 结论

(1) 根据粤东各县历史台风登陆的频率对台风灾害危险性进行评估,结果表明,粤东地区的西南大部分

地区是台风发生的高频地区,受台风影响非常严重,应做好台风预测和防范措施,提高防灾意识和能力。

(2) 从人口密度、城市人口比重、人均 GDP、地均 GDP 和农作物播种面积比重对台风灾害脆弱性进行评估,获得脆弱性指数的分布情况。从整体看,经济的发达程度影响其脆弱性,越发达的地区,其脆弱性越高;从各地级市内部看,脆弱性较高的地区集中在其市区。这些地区因为经济发达、人口密度大、人地矛盾突出而成为脆弱性较高的区域,缓解人地矛盾应采取生态条件下的土地利用结构调整,做好台风防御措施,同时提高人口素质,降低承灾体脆弱性。

(3) 综合考虑自救和政府财政支持等因素,从人均财政收入、卫生技术人员比重、地均基建投资、中等教育人口比重以及人均医疗床位数对台风灾害减灾防灾能力进行评估。结果表明,陆河县、惠来县、揭西县、南澳县处于较低减灾防灾能力区。这些地区山地面积大,经济较落后,教育水平较低,应加强人们的防灾意识,重视卫生及后勤保障,在发展经济的同时提升居民教育,提高减灾防灾能力。

(4) 粤东台风灾害综合风险评估是利用自然灾害风险指数法,结合危险性评估、承灾体脆弱性评估和减灾防灾能力评估,得到粤东台风灾害综合风险指数。评估的结果表明,陆河县、陆丰市、惠来县、南澳县、城区、饶平县处于较高风险区。这些地区主要是因为经济较落后,依靠农业或渔业作为经济发展的支柱,地形以山地为主,且是台风发生的高频地区,所以应提高台风预测能力,重视台风灾害的防御和应对措施,促进经济发展的同时做好保持水土和绿化,从而降低台风连锁效应。

参考文献:

- [1] 史培军. 再论灾害研究的理论与实践[J]. 自然灾害学报, 1996, 5(4): 6-17.
- [2] Mileti D. Disasters by design: A reassessment of natural hazards in the United States[M]. Joseph Henry Press, 1999.
- [3] Xu S, Wang J, Shi C, et al. Research of the natural disaster risk on coastal cities[J]. Acta Geographica Sinica, 2006, 61(2): 127-138.
- [4] 姚国章, 昂玉洋, 邓民宪. 灾害风险评估发展研究[J]. 南京邮电大学学报(社会科学版), 2014, 12(4): 61-65.
- [5] 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): 61-64.
- [6] 吴亚玲, 姜珊, 吴先华, 等. 基于极值理论的广东省台风灾害损失分布及其金融对策研究[J]. 中国工业经济, 2017, 32(1): 126-131.

- sciences, 2013, 6(7):2351-2365.
- [5] 阮沈勇, 黄润秋. 基于 GIS 的信息量法模型在地质灾害危险性区划中的应用[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2001, 28(1): 89-92.
- [6] 谭玉敏, 郭栋, 白冰心, 等. 基于信息量模型的涪陵区地质灾害易发性评价[J]. 地球信息科学学报, 2015, 17(12): 1554-1562.
- [7] 王夏林, 严宝文. 基于熵权的可拓理论在地灾危险性评价中的应用[J]. 人民长江, 2012, 43(21): 74-78.
- [8] Chen W, Chai H, Sun X, et al. A GIS-based comparative study of frequency ratio, statistical index and weights-of-evidence models in landslide susceptibility mapping[J]. Arabian Journal of Geosciences, 2016, 9(3): 204-220.
- [9] Mandal S, Mandal K. Modeling and mapping landslide susceptibility zones using GIS based multivariate binary logistic regression(LR) model in the Rorachu river basin of eastern Sikkim Himalaya, India[J]. Modeling Earth Systems & Environment, 2018, 4(1): 69-88.
- [10] Yilmaz I. A case study from Koyulhisar(Sivas-Turkey) for landslide susceptibility mapping by artificial neural networks [J]. Bulletin of Engineering Geology & the Environment, 2009, 68(3): 297-306.
- [11] 姜琪文, 许强, 何政伟. 基于 SVM 多类分类的滑坡区域危险性评价方法研究[J]. 地质灾害与环境保护, 2005, 16(3): 328-330.
- [12] Yao X, Tham L G, Dai F C. Landslide susceptibility mapping based on Support Vector Machine: A case study on natural slopes of Hong Kong, China [J]. Geomorphology, 2008, 101(4): 0-582.
- [13] Pradhan B, Pourghasemi H R, Jirandeh A G, et al. Landslide susceptibility mapping using support vector machine and GIS at the Golestan Province, Iran[J]. Journal of Earth System Science, 2013, 122(2): 349-369.
- [14] 陕西省地质矿产局. 陕西省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1989.
- [15] 尹星星. 基于熵值法新疆循环经济发展综合评价分析[J]. 再生资源与循环经济, 2014, 7(7): 15-18.
- [16] Devkota K C, Regmi A D, Pourghasemi H R, et al. Landslide susceptibility mapping using certainty factor, index of entropy and logistic regression models in GIS and their comparison at Mugling-Narayanghat road section in Nepal Himalaya[J]. Natural Hazards, 2013, 65(1): 135-165.
- [17] 许冲, 徐锡伟. 基于不同核函数的 2010 年玉树地震滑坡空间预测模型研究[J]. 地球物理学报, 2012, 55(9): 2994-3005.
- [18] Dai F C, Lee C F, Ngai Y Y. Landslide risk assessment and management: An overview[J]. Engineering Geology, 2002, 64(1): 65-87.
- [19] 李明, 王伟, 张超. 基于 ArcGIS 信息量模型的神农溪流域地质灾害易发性区划[J]. 安全与环境工程, 2013, 20(2): 46-52.
- [20] Bai S B, Jian W, Zhou P G, et al. GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping of the Zhongxian segment in the Three Gorges area, China [J]. Geomorphology, 2010, 115(1): 23-31.



(上接第 366 页)

- [7] 王绍玉, 唐桂娟. 综合自然灾害风险管理理论依据探析[J]. 自然灾害学报, 2009, 18(2): 33-38.
- [8] 葛全胜. 中国自然灾害风险综合评估初步研究[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 104.
- [9] 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.
- [10] 巫丽芸, 何东进, 洪伟, 等. 自然灾害风险评估与灾害易损性研究进展[J]. 灾害学, 2014, 10(4): 120-134.
- [11] 张继权, 李宁. 主要气象灾害风险评价与管理的数量化方法及其应用[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2007.
- [12] 颜峻, 左哲. 自然灾害风险评估指标体系及方法研究[J]. 中国安全科学学报, 2011, 20(11): 61-65.
- [13] 刘丽, 代宏霞. 中国自然灾害保险风险度综合评判与区划[J]. 山地学报, 2004, 22(4): 477-482.
- [14] 张悦, 李珊珊, 陈灏, 等. 广东省台风灾害风险综合评估[J]. 热带气象学报, 2017, 33(2): 281-288.
- [15] 张维诚, 许朗. 基于 ArcGIS 的河南省夏玉米旱灾承灾体脆弱性研究[J]. 水土保持研究, 2018, 25(2): 228-234.