

海平面上升背景下中国沿海台风风暴潮脆弱性分析*

王康发生¹, 尹占娥^{1,2}, 殷杰²

1. 上海师范大学旅游学院地理系, 上海 200234; 2. 华东师范大学地理信息科学教育部重点实验室, 上海 200062

摘要: 沿海地区既是我国人口、经济和社会发展的重要区域, 又是自然灾害易发和频发区域。基于中国沿海 1989—2008 年台风风暴潮增水数据、航天飞机雷达地形测绘任务 3 秒数字高程模型(SRTM3 DEM)数据、2009 年县级行政区数据、2005 年 100m 土地利用栅格数据、2003 年平方公里人口和国内生产总值(GDP)数据, 进行了中国沿海海平面上升背景下的中国东部沿海台风风暴潮脆弱性分析。采用线性回归法得到海平面上升值, 采用回归分析法得到风暴潮回归周期和相应潮高, 采用高程面积法得到风暴潮土地利用淹没图, 采用地统计法得到各高程内被淹县市土地利用面积、被淹人口和 GDP。研究表明, 珠江三角洲地区、长江三角洲和长江以北的江苏北部沿海地区、莱州湾及黄河三角洲和渤海湾与辽东湾地区是我国沿海三大主要台风风暴潮脆弱区, 也是今后台风风暴潮重点预防地区; 农田、水域与建设用地是沿海地区最易遭受风暴潮增水淹没的 3 种土地利用类型。

关键词: 海平面上升; 中国沿海; 台风风暴潮; 脆弱性

中图分类号: P731.23 文献标识码: A 文章编号: 1009-5470(2011)06-0031-06

Analysis on typhoon-induced storm surge vulnerability of China's coastal areas on rising sea level background

WANG Kang-fa-sheng¹, YIN Zhan-e^{1, 2}, YIN Jie²

1. Geography Department of Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China;

2. Key Laboratory of Geo-information Science of the Ministry of Education, East China Normal University, Shanghai 200062, China

Abstract: Coastal area is not only an important center of population, economic and social development of a country but also where natural disaster happens frequently. Based on the typhoon-induced storm surge data from 1989 to 2008, the SRTM3 DEM data, the county district data of 2009, 100 meter grid land-use data of 2005, square kilometer population and GDP data of 2003 of China's coastal areas, the authors analyze the vulnerability of typhoon-induced storm surge to China's coastal areas on rising sea level background. The authors use linear regression method to predict sea level rise, use regression method to predict the recurrence period of storm surge and the heights of climax tides, use altitude-area method to mark the area of inundated land, and use Geo-statistics method to show area, population and GDP of each vulnerable district. The results indicate that the Zhujiang River Delta, the Changjiang Delta, alluvial plain north of the Changjiang River in Jiangsu province, Laizhou Bay, Huanghe Delda, Bohai Bay and Liaodong Bay would be seriously influenced by the storm surges. So, much more attention should be paid to these areas in the near further. Agriculture land, water, and construction land are the most likely influenced land use by storm surges.

Key words: sea level rise; China coastal area; typhoon storm surge; vulnerability

收稿日期: 2009-12-23; 修订日期: 2010-04-13。孙淑杰编辑

基金项目: 国家自然科学基金项目(41071324、40730526); 地理信息科学教育部重点实验室开放研究基金项目(KLGIS2011A04); 上海市教委重点学科项目(J50402); 上海师范大学重点培育学科项目(DZL801)

作者简介: 王康发生(1983—), 男, 江西省于都县人, 硕士研究生, 主要从事自然地理及城市灾害研究。E-mail: wangkfsheng@126.com

通信作者: 尹占娥(1963—), 女, 山西省兴县人, 副教授, 主要从事遥感、GIS 和城市灾害等研究。E-mail: zhaneyin@126.com

*非常感谢评审专家提出的宝贵意见。

沿海地区既是世界人口、经济和社会发展的重点区域,又是自然灾害易发和频发区域。联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)的报告指出,过去100年里全球海平面上升了188mm^[1]。海平面上升会增大风暴潮出现的强度和频率,造成海岸侵蚀以及沿海地区的地下水咸化等问题,将严重影响海岸带的可持续发展^[2]。近10多年来,发达国家开展了大量海岸带地区脆弱性评价的研究工作^[3]。IPCC、美国国家研究项目(US Country Studies Program)、美国地质勘探局(USGS)、联合国环境规划署(UNEP)等提出了多种海岸带脆弱性评估方法并在世界各地进行了大量的案例研究^[4-7]。国内对海平面上升及我国沿海地区脆弱性的研究也极为关注,有学者评估了海平面上升对中国沿海低洼地区的人口、经济和土地利用的影响^[8-12],但主要是利用分辨率较低的地形图来研究沿海的脆弱性问题。本文利用1989—2008年台风风暴潮增水数据、精确度较高的SRTM3 DEM卫星数据、2009年县级行政区数据、2005年土地利用数据、2003年平方公里人口和GDP数据,并采用线性回归法、回归分析法、高程面积法研究我国沿海海平面上升背景下的台风风暴潮脆弱性,为沿海台风风暴潮脆弱性研究提供案例,并为我国沿海台风风暴潮的减灾降险提供科学依据。

1 研究区域

本文研究区域从南到北依次包括海南、广西、广东、福建、浙江、上海、江苏、山东、河北、天津和辽宁共11个省、市、自治区,是我国人口最密集、经济最发达的地区,其人口、国内生产总值(GDP)、工业总产值、财政总收入和城市数量分别占我国总量的40.5%、60.1%、64.26%、56.6%和70%^[13]。从1978年至今,这些地区经济增长率一直保持在10%以上,部分地区达22%^[14]。海平面的持续上升和海水的持续增温使得西北太平洋出现更多强台风^[15],风暴潮、洪涝等灾害的强度、频率与持续时间进一步加剧,给我国沿海地区造成严重损失。如2008年9月第14号台风“黑格比”共造成广东和广西34人死亡、8人失踪,直接经济损失超过60.6亿元(<http://news.sina.com.cn/z/tfheigeibi/>)。

2 研究数据与方法

2.1 海平面上升预测

据联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)第3次气候评估报告预测,至2050年全球海平面可能

较1980—1999年的平均海平面上升0.18—0.21m^[1]; IPCC第4次气候评估报告预测,至2100年全球海平面可能较1980—1999年的平均海平面上升0.9—0.88m,最佳估计为上升0.48m^[2],而我国沿海海平面上升水平高于全球平均水平^[12]。武强等^[14]在综合考虑海平面上升、地面沉降和其他因素后预测,至2050年我国沿海海平面相对上升值平均约为0.5m。假设这种变化趋势稳定,则按照线性回归方法进行预测,可知至2100年我国沿海相对海平面上升幅度可达1m。

2.2 风暴潮增水情景

收集国家海洋局《中国国家海洋灾害公报》(http://www.soa.gov.cn/soa/hygb/zhgb/A010902index_1.htm)公布的近20年对我国沿海造成较大损失的台风风暴潮最大增水数据,并将台风风暴潮增水高度样本按照降序排列进行排频^[16],将排好序的风暴潮增水情景数据按照公式(1)和(2)^[16]计算出各种增水情景的概率和重现期。

$$p=m/(n+1) \times 100\% \quad (1)$$

$$P=1/p \quad (2)$$

式中, p 为频率, m 为增水高度值在样本中排列的序号, n 为样本的容量, P 为重现期(a)。利用散点图将增水情景及其重现期拟合成曲线,并求出其回归函数,然后利用回归函数计算出各种增水情景和重现期。经过回归分析得到的重现期从小到大依次为1a、5a、13a、65a。经过海平面上升预测值1m修正后,得到2100年各重现期内相对应的风暴潮潮高为2m、3m、4m、5m(表1)。结果表明,海平面上升不仅使最大风暴潮增水值上升,而且缩短了风暴潮重现期,届时65a一遇的风暴潮增水可能变为13a一遇,这将对海岸防护工程构成严重威胁。

表1 经过海平面修正后的台风风暴潮增水重现期与相对应潮高

Tab. 1 Four scenarios of return period about typhoon-induced storm surge and the heights of climax tides after being modified by future sea level rise

指标	重现期/a			
	1	5	13	65
现在潮高/m	1	2	3	4
100a后潮高/m	2	3	4	5

2.3 淹没分析

土地利用、人口和GDP的淹没分析是沿海台风风暴潮脆弱性分析的3个主要方面。风暴潮增水土地淹没范围评估方法主要包括高程面积法和沉积速率法等^[17]。本文不考虑防潮海塘和堤坝等因素的影

响,采用高程面积法,即通过比较不同重现期的风暴潮增水转换成的潮高与海岸低地的地面高程,将处于某一潮高以下的低地划为海平面上升背景下台风风暴潮增水的淹没范围。淹没分析具体过程如下。

利用 ERDAS 8.7 对 90m 空间分辨率、3s 水平分辨率和 10m 垂直精度的中国沿海 SRTM3 DEM 数据(下载地址: <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/dataproduct.htm> 或 <http://srtm.csi.cgiar.org/>)和 2009 年 1:400 万全国县级行政区数据(下载地址: <http://nfgis.nsd.gov.cn/>)进行投影及几何校正,利用 ArcGIS 9 对校正后的 SRTM3 DEM 数据重分类,将 SRTM3 DEM 重分类数据、校正后的县级行政区数据、国家科学数据共享工程——地球系统科学共享网提供的 2005 年 100m 土地利用栅格数据、2003 年平方公里人口和 GDP 栅格数据相叠加,并进行地统计分析得到各高程内沿海各县市被淹土地利用、人口和 GDP。

3 结果与分析

3.1 台风风暴潮脆弱性分级及空间格局

不考虑我国沿海地区的防潮堤和海塘,依据各重现期内的风暴潮增水形成的潮高,将我国沿海地区按照数字高程模型(DEM)划分为:0—1m(极高脆弱区)、1—3m(高脆弱区)、3—4m(中等脆弱区)、4—5m 以上(低脆弱区)。利用 ArcGIS 9 编制了我国沿海地区台风风暴潮脆弱性分布图(图 1)。

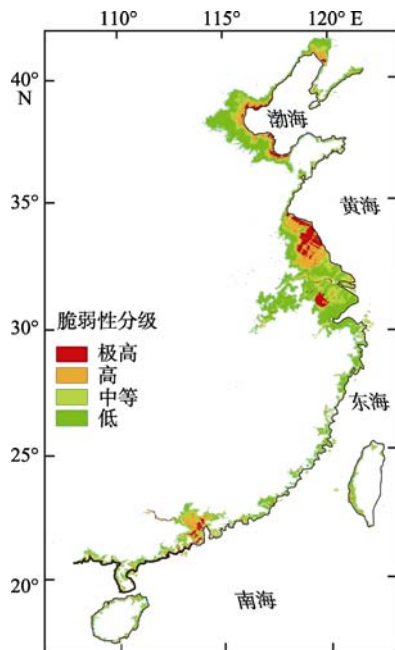


图 1 我国沿海地区台风风暴潮脆弱区分布

Fig. 1 Vulnerability distribution of typhoon-induced storm surge in China's coastal areas

我国沿海地区的台风风暴潮脆弱性分布规律如下。

1)长江以北地区为台风风暴潮的高脆弱性区域,这是由于长江以北沿海地区的低地平原面积比例大;而长江以南地区海岸的地貌大多为山地丘陵,除珠江三角洲外基本上没有广阔的平原和三角洲地区,海岸带的地形较高,不易被风暴潮增水淹没。台湾岛东部宜兰县苏澳湾以南的所有海岸都处于台湾岛东部的海岸山脉带,地形陡峭,地势较高,基本上不遭受风暴潮增水淹没的危险。

2)极高脆弱区、高脆弱区、中等脆弱区和低脆弱区面积分别为 2.5×10^4 、 3.6×10^4 、 2.2×10^4 和 $2.3 \times 10^4 \text{ km}^2$,其中平原河口三角洲地区为极高脆弱区,面积达 $2.5 \times 10^4 \text{ km}^2$,主要分布在辽东湾沿海地区、莱州湾及黄河三角洲和渤海湾沿海地区、长江以北的江苏北部沿海地区、长江三角洲地区和珠江三角洲地区。若没有海塘和防潮堤的保护,这些地区 100 年后将全部被淹没,因此这些地区将是台风风暴潮灾害重点加强防范和保护的地区。

可见,我国台风风暴潮脆弱区主要有 3 个,即珠江三角洲地区、长江三角洲和长江以北的江苏北部沿海地区、莱州湾及黄河三角洲和渤海湾与辽东湾地区。

3.2 主要脆弱区土地利用淹没分析

珠江三角洲地区($21^\circ 45' - 23^\circ 30' \text{ N}$, $112^\circ 20' - 114^\circ 30' \text{ E}$)、长江三角洲和长江以北的江苏北部沿海地区($28^\circ 30' - 35^\circ 20' \text{ N}$, $118^\circ 00' - 123^\circ 00' \text{ E}$)、莱州湾及黄河三角洲和渤海湾($36^\circ 30' - 40^\circ 30' \text{ N}$, $116^\circ 00' - 120^\circ 30' \text{ E}$)与辽东湾地区($40^\circ 00' - 41^\circ 00' \text{ N}$, $121^\circ 00' - 123^\circ 00' \text{ E}$)是我国三大主要风暴潮脆弱区。利用 ArcGIS 9 地统计模块,对我国三大主要风暴潮脆弱区内各县市被淹土地进行统计,得到 3 个主要风暴潮脆弱区不同情景可能被淹的土地面积(表 2)。

3 个主要脆弱区被淹土地面积占全国沿海脆弱区被淹土地的绝大部分,平均约为 82%。在 1a、5a、13a、65a 等 4 种重现期里,三大主要脆弱区被淹土地面积占其被淹县市土地总面积的 16.5%、23.8%、31.8%和 39.1%,主要以农田、建设用地和水域为主。

珠江三角洲地区被淹土地面积最少,占被淹市县土地面积比例最低,均未超过 20%,其中农田、建设用地、水域和森林 4 类被淹土地分别约占该地区被淹土地面积的 33.4%、26.9%、24.3%和 15.1%,总计超过 99%。当遇到 5m 风暴潮增水时,该区有 15 个县市被淹,被淹较严重的有佛山市、中山市、广

表 2 4 种重现期内 3 个主要脆弱区可能被淹的土地面积对比

Tab. 2 Comparison of possible inundated land in the three vulnerable areas in four scenarios of return period

地区	面积	重现期/a			
		1	5	13	65
珠江三角洲地区	淹没面积/ $\times 10^3 \text{ km}^2$	3.4	4.3	5.0	5.6
	占总面积/%	11.7	14.5	17.0	19.4
长江三角洲和长江以北的江苏北部沿海地区	淹没面积/ $\times 10^4 \text{ km}^2$	2.4	3.3	4.4	5.5
	占总面积/%	22.4	31.6	42.0	51.9
莱州湾及黄河三角洲和渤海湾与辽东湾地区	淹没面积/ $\times 10^4 \text{ km}^2$	0.9	1.4	2.0	2.5
	占总面积/%	10.8	17.3	24.1	30.1

州市、珠海市、江门市, 其中佛山市将有 43% 的土地被淹没, 几乎接近佛山市土地面积的一半, 被淹农田、建设用地和水域占佛山被淹土地的 92%。深圳市不易被淹, 在各种重现期内, 被淹土地面积均不超过 4%, 被淹的基本都是建设用地。

长江三角洲和长江以北的江苏北部沿海地区是整体地势较低的平原区, 最易受台风风暴潮增水淹没, 是我国三大主要脆弱区中脆弱性最高的地区, 农田、建设用地和水域 3 类土地利用类型各占该地区被淹土地面积的 71%、13.7% 和 14%, 总计超过 98%, 其中农田被淹比例很高。当遇到 2m 的风暴潮增水时, 将近 20% 的土地可能被淹; 当遇到 5m 风暴潮增水时, 被淹没土地比例高达 51.9%, 其中南通市、泰州市、苏州市、扬州市、盐城市、上海市、连云港市和无锡市 8 个高脆弱性市县的淹没土地比例超过 50%, 而南通市、泰州市、苏州市的淹没比例均高于 70%, 是今后风暴潮重点预防区域。

莱州湾及黄河三角洲和渤海湾与辽东湾地区的

脆弱性中等, 其中莱州县、盘锦市、天津市、东营市在该地区中脆弱性相对较高, 农田、建设用地和水域 3 类土地利用类型各占该地区被淹土地面积的 64.9%、19.7% 和 12.5%, 总计超过 97%。当遇到 5m 风暴潮增水时, 这一地区将有 25 个县市被淹, 其中莱州县、盘锦市、天津市、东营市的被淹土地面积占各市县土地总面积的 40% 以上。莱州县被淹土地面积的比例高达 85.5%, 主要被淹的是建设用地、农田和森林这 3 类土地, 分别占该县被淹面积的 47.5%、34.3% 和 10.5%。

因此, 以被淹土地面积大小为标准, 我国三大主要风暴潮脆弱区的脆弱性由高到低依次为长江三角洲和长江以北的江苏北部沿海地区、莱州湾及黄河三角洲和渤海湾与辽东湾地区、珠江三角洲地区。

3.3 主要脆弱区被淹人口分析

利用 ArcGIS 9 地统计模块, 对我国三大主要风暴潮脆弱区内各县市被淹人口进行统计, 得到 3 个主要风暴潮脆弱区可能被淹的人口(表 3)。

表 3 4 种重现期内 3 个主要脆弱区可能被淹的人口对比

Tab. 3 Comparison of possible inundated population in the three vulnerable areas in four scenarios of return period

地区	人口	重现期/a			
		1	5	13	65
珠江三角洲地区	被淹人口/ $\times 10^7$ 人	3.7	4.6	5.3	6.2
	占总人口/%	8.8	11.0	12.7	14.9
长江三角洲和长江以北的江苏北部沿海地区	被淹人口/ $\times 10^7$ 人	2.0	3.0	4.2	5.4
	占总人口/%	22.1	33.0	46.7	59.6
莱州湾及黄河三角洲和渤海湾与辽东湾地区	被淹人口/ $\times 10^7$ 人	0.3	0.6	0.9	1.2
	占总人口/%	7.2	13.1	20.0	28.0

3 个主要脆弱区的被淹人口约占我国风暴潮脆弱区被淹人口的 81.5%。在 1a、5a、13a、65a 等 4 种重现期里, 三大主要脆弱区的被淹人口分别占各自被淹县市总人口的 15.3%、22.9%、32.0% 和 41.2%。

珠江三角洲地区整体上被淹人口最少, 比例最低, 在 4 种重现期内被淹人口均未超过该地区被淹

县市总人口的 15%。被淹人口比例较高的县市依次为佛山市、中山市、江门市、广州市、肇庆市和珠海市。当遇到 5m 风暴潮增水时, 佛山市将有 67% 的人口可能被淹。深圳市的人口较不易受风暴潮增水影响, 即使遇到 5m 风暴潮增水, 也只有 0.9% 的人口可能被淹。

长江三角洲和长江以北的江苏北部沿海地区的人口稠密，被风暴潮增水淹没的人口数量最大、比例最高，其中连云港市、南通市、泰州市、盐城市、常州市、扬州市、苏州市、无锡市、上海市、沐阳县、湖州市、镇江市、嘉兴市和淮安市等 14 个县市的被淹人口比例较高。当遇到 2m 风暴潮增水时，将有 22.1%的人口被淹；当遇到 5m 风暴潮增水时，将有 96 个县市被淹，被淹人口比例高达 59.6%，其中连云港市、南通市和泰州市的被淹人口比例均超过 90%，连云港市更是高达 99%，几乎全部人口都被风暴潮增水淹没，盐城市被淹人口也高达 84.8%。镇江市、南京市和杭州市的被淹人口比例相对较低。

莱州湾及黄河三角洲和渤海湾与辽东湾地区的被淹人口比例中等，其中盘锦市、东营市、天津市

和营口市是该地区中脆弱性相对较高的县市。当遇到 5m 风暴潮增水情景时，这一地区将有 25 个县市被淹，其中盘锦市、东营市、天津市和营口市的被淹人口分别占各自市县总人口的 45%以上，而盘锦市和东营市更高达 92%和 79.4%，上述地区是今后风暴潮重点预防县市。潍坊市和沧州市的被淹人口比例相对较低。

因此，以被淹人口多少为标准，我国三大主要风暴潮脆弱区的脆弱性由高到低依次为长江三角洲和长江以北的江苏北部沿海地区、莱州湾及黄河三角洲和渤海湾与辽东湾地区、珠江三角洲地区。

3.4 主要脆弱区被淹 GDP 分析

利用 ArcGIS 9 地统计模块，对我国三大主要风暴潮脆弱区内各县市被淹 GDP 进行统计，得到 3 个主要风暴潮脆弱区可能被淹的 GDP(表 4)。

表 4 4 种重现期内 3 个主要脆弱区可能被淹的 GDP 对比
Tab. 4 Comparison of possible inundated GDP in the three vulnerable areas in four scenarios of return period

地区	GDP	重现期/a			
		1	5	13	65
珠江三角洲地区	被淹 GDP/ $\times 10^{11}$ 元	1.5	1.9	2.3	2.7
	占总 GDP/%	17.1	21.5	25.7	29.4
长江三角洲和长江以北的江苏北部沿海地区	被淹 GDP/ $\times 10^{11}$ 元	2.3	4.1	6.8	9.5
	占总 GDP/%	11.1	20.0	33.4	46.7
莱州湾及黄河三角洲和渤海湾与辽东湾地区	被淹 GDP/ $\times 10^{11}$ 元	0.9	1.3	1.6	2.6
	占总 GDP/%	16.0	22.8	28.8	46.3

三大主要脆弱区的被淹 GDP 约占我国风暴潮脆弱区被淹 GDP 总值的 81%。在 1a、5a、13a、65a 等 4 种重现期里，三大主要脆弱区被淹 GDP 分别占其被淹县市 GDP 总值的 13.4%、20.8%、30.7%和 42.1%。

珠江三角洲地区受风暴潮淹没的 GDP 总值在三大主要风暴潮脆弱区中排列第 2。当遇到 5m 风暴潮增水时，佛山市、中山市和广州市的 GDP 被淹状况最为严重，分别占各自被淹县市 GDP 总值的 52.3%、41.2%和 36.7%；珠海市、东莞市、江门市和肇庆市 4 县市的被淹 GDP 则各占被淹县市 GDP 的 20%—30%。深圳市被淹 GDP 比例最小，4 种重现期内的被淹 GDP 比例均不超过深圳市 GDP 总量的 10%。

长江三角洲和长江以北的江苏北部沿海地区被台风风暴潮增水淹没的 GDP 总值和比例在我国三大主要风暴潮脆弱区中均为最高。当遇到 5m 风暴潮增水时，这一地区将有 96 个县市被淹，被淹 GDP

约为 9.5×10^{11} 元，约占这一地区被淹县市 GDP 总值的 46.7%。其中盐城市、南通市、泰州市、苏州市、连云港市和上海市的被淹 GDP 比例均超过了 50%，依次为 80.8%、76.0%、70.4%、69.8%、62.0%和 54.9%；无锡市、常州市、沐阳县、扬州市、湖州市的被淹 GDP 比例均在 40%—50%之间；南京市和杭州市被淹 GDP 比例最小，其中杭州市在各种重现期内被淹 GDP 均在 10%以内。

莱州湾及黄河三角洲和渤海湾与辽东湾地区是三大主要风暴潮脆弱区中 GDP 被淹总值和比例都最低的地区，其中盘锦市、东营市、天津市、莱州县、营口市和潍坊市是该区被淹 GDP 比例相对较高的县市。当遇到 5m 风暴潮增水时，盘锦市、东营市和天津市被淹 GDP 所占各自县市 GDP 总值的 60%以上，其中盘锦市更是高达 82.4%；莱州县、营口市和潍坊市的被淹 GDP 比例也高达 40.8%、29.4%和 20.8%；滨州市和沧州市的被淹 GDP 比例最小。

因此，以被淹 GDP 高低为标准，我国三大主要

风暴潮脆弱区的脆弱性由高到低依次为长江三角洲和长江以北的江苏北部沿海地区、珠江三角洲地区、莱州湾及黄河三角洲和渤海湾与辽东湾地区。

4 结语

本文基于台风风暴潮增水数据、县级行政区数据、SRTM3 DEM 数据、土地利用数据、平方公里人口和 GDP 数据,采用线性回归法、回归分析法、高程面积法,从土地利用、人口、GDP 方面分析了海平面上升背景下我国沿海地区台风风暴潮脆弱性。研究发现,我国 3 个主要风暴潮脆弱区分别为珠江三角洲地区、长江三角洲和长江以北的江苏北部沿海地区、莱州湾及黄河三角洲和渤海湾与辽东

湾地区,它们是今后台风风暴潮重点预防地区;农田、水域与建设用地是 3 类最主要的被淹土地利用类型。

随着海平面和海水温度的双重上升,我国沿海台风风暴潮及其影响也会相应加剧,更多地区将变得更加脆弱,未来的台风风暴潮预防形势将变得更加严峻。若没有海塘和防潮堤的保护,100 年后,沿海地区低于 1m 的 $2.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 土地将有可能直接被淹没,每年易受台风风暴潮增水影响而被淹的土地将由现在的 $2.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 上升到 $4.2 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。因此,政府应该有针对性地加固加高或新建防潮堤以应对海平面上升背景下的台风风暴潮,保护好我国沿海各省市的人口及财产安全。

参考文献

- [1] IPCC WORKING GROUP I. Climate change 1995—the second assessment report of the inter-government plan on climate change[R]. London: Combridge University Press, 1996: 289-405.
- [2] 李猷,王仰麟,彭建,等.海平面上升的生态损失评估——以深圳市蛇口半岛为例[J].地理科学进展,2009,28(3): 417-423.
- [3] 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,2006,61(2): 127-138.
- [4] LEATHERMAN S P, YOHE G W. Coastal impact and adaptation assessment[M]//BENIOFF R, GUILL S, LEE J. Vulnerability and adaptation assessments: An international handbook. version 1.1. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996: 563-576.
- [5] THIELER E R, HAMMAR-KLOSE E S. National assessment of coastal vulnerability to sea-level rise: Preliminary results for the U.S. Gulf of Mexico coast[R]. Massachusetts: Geological Survey Woods Hole, 2000: 1-179.
- [6] BURTON I, FEENSTRA J F, SMITH J B, et al. UNEP handbook on methods for climate change impact assessment and adaptation strategies, Version 2.0[M]. Amsterdam: VU University Amsterdam, 1998: 177-213.
- [7] DEMIRKESEN A C, EVRENDILEK F, BERBEROGLU S, et al. Coastal flood risk analysis using landsat- 7 ETM+ imagery and SRTM DEM: A case study of Izmir, Turkey[J]. Environ Monit Assess, 2007(131):293-300.
- [8] 韩慕康,三村信男,细川恭史,等.渤海西岸平原海平面上升危害性评估[J].地理学报,1994,49(2): 107-116.
- [9] 黄长江,董巧香,林俊达.全球温暖化与海平面上升[J].自然杂志,2000,22(4): 225-232.
- [10] 王海瑛,许厚泽,王广运.中国近海海域 Geosat 卫星测高海平面和海面地形研究[J].科学通报,1997,42(8): 852-855.
- [11] 杨桂山,施雅风,张琛,等.未来海岸环境变化的易损范围及评估——江苏滨海平原个案研究[J].地理学报,2000,55(4): 365-394.
- [12] 杜碧兰,田素珍,沈文周,等.海平面上升对中国沿海主要脆弱区的影响及对策[M].北京:海洋出版社,1997: 5-20.
- [13] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴-2005[M].北京:中国统计出版社,2005: 2-286.
- [14] 武强,郑锐鑫,应玉飞,等.21 世纪中国沿海地区相对海平面上升及其防治策略[J].中国科学: D 辑,2002,32(9): 760-766.
- [15] WEBSTER P J, HOLLAND G J, CURRY J A, et al. Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment[J]. Science, 2005, 309: 1844-1846.
- [16] 米伟亚. Excel 在水文皮尔逊III型分布多样本参数估计中的应用研究[J].农业与技术,2005,25(5): 93-95.
- [17] 李加林,张殿发,杨晓平,等.海平面上升的灾害效应及其研究现状[J].灾害学,2005,20(2): 49-53.