

亚洲典型区域暴雨洪灾风险评价研究

刘家福^{1,2}, 李 京², 梁雨华¹, 刘湘南³

(1. 吉林师范大学旅游与地理科学学院, 吉林 四平 136000; 2. 民政部/教育部减灾与应急管理研究院, 北京师范大学, 北京 100875; 3. 中国地质大学信息工程学院, 北京 100083)

摘要: 基于洪灾风险基本原理, 从暴雨致灾因子危险性、孕灾环境稳定性、承灾体易损性出发, 以亚洲东南沿海区域为示范研究区, 综合考虑降水、地形、土地利用、植被、河网密度、人口、经济等主要指标, 利用定性及定量综合分析方法, 对亚洲洪灾进行风险综合评价研究。首先利用地理信息系统的数据处理功能, 对相关指标进行归一化数据处理, 得到标准化的多源栅格数据; 然后基于层次分析法确定各相关指标影响因子权重, 构建洪灾综合风险评估模型, 最后利用 GIS 的地图代数功能, 得出亚洲典型地区洪灾综合风险等级评价图。结果表明, 暴雨洪灾等级高值区主要分布在中国东南部、中国东北部分地区及沿海一带, 紧邻孟加拉的印度东部, 孟加拉东部及缅甸的东北部地区; 中等、较高风险区域主要分布在日本、韩国以及印度北部及西南大部分地区, 菲律宾的吕宋岛地区; 而在中国西北部大部分地区为中低风险区。

关键词: 亚洲; 暴雨洪灾; 灾害风险; 地理信息系统

中图分类号: X43 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2011)10-1266-06

亚洲地域辽阔, 气候类型多样, 东、南、北濒临海洋, 是一个自然灾害发生频繁的地区。亚洲地区的国家, 尤其是东南沿海一带的国家, 不同程度受到暴雨洪灾的威胁; 随着经济的发展, 暴雨洪灾出现的频率也越来越高, 造成的损失越来越大, 严重影响着亚洲各国国民经济和生命财产的安全^[1,2]。为有效达到抗洪救灾目的, 确切分析评估洪灾发生的可能性及可能造成的损失, 更好地制定防灾减灾对策和措施, 洪灾风险研究显得尤为重要^[3-5]。

地理信息系统作为空间数据管理与分析的重要技术方法, 可以使洪水灾害相关信息在统一的地理空间基础上高度集成, 更能够快速处理各种空间信息, 同时具有强大的空间分析功能, 对洪灾评价有着极大的支持与辅助作用, 是洪灾风险评估强有力的分析工具^[6]。本文利用 Arc/INFO 地理

信息系统平台强大的空间分析和叠加功能, 对亚洲7个国家的洪灾进行综合风险评价, 以期对亚洲地区预防暴雨洪灾宏观决策提供参考。

1 研究区概况

针对亚洲区域的特点, 暴雨洪灾主要发生在东亚、东南亚、南亚沿海一带, 因此对亚洲典型区域进行暴雨洪灾风险评估, 研究区主要选取东亚、南亚、东南亚具有代表性国家作为研究对象, 东亚选取中国、韩国和日本; 东南亚选取缅甸和菲律宾; 南亚选取印度和孟加拉国。

亚洲地跨寒、温、热三带, 是世界上气候差别最大的一个洲。气候的主要特征是气候类型复杂多样、大陆性气候强烈和季风气候显著, 影响范围广。东亚东南半部是湿润的温带和亚热带季风区, 东南亚和南亚是湿润的热带季风区, 东亚内陆

收稿日期: 2010-12-07; 修订日期: 2011-04-08

基金项目: 国际科技合作计划专项项目(2007DFA20640)、国家科技支撑计划课题(2008BAC44B03)、国家自然科学基金(40771155)和吉林师范大学博士科研启动项目(2010022)资助。

作者简介: 刘家福(1975-), 男, 吉林敦化人, 副教授, 博士, 主要从事遥感与 GIS 在资源环境、自然灾害等领域的应用研究。E-mail: liujiafu750506@126.com

通讯作者: 梁雨华, 教授。E-mail: jlsdlyh@163.com

为干旱地区。夏季普遍高温,最热月平均气温除北冰洋沿岸在 10°C 以下外,其余地区均在 $10\sim 25^{\circ}\text{C}$ 之间。 20°C 以上的地区约占全洲面积的 $1/2$,赤道带附近全年多雨,年降水量 $2\,000\text{ mm}$ 以上。印度东北部的乞拉朋齐年平均降水量高达 $11\,430\text{ mm}$,为世界最多雨的地区之一^[7]。西南亚和中亚为终年少雨区。亚洲地面起伏很大,中部地势高耸,四周地势较为低下。亚洲的河川大都发源自中部山地而注入太平洋、印度洋和北冰洋,高原的河流呈放射状流向周边海洋,形成众多较长的外流河。

本文研究的亚洲七国中,除日本、韩国等国家外,其他国家的经济均以农业、矿业为主。各国各地区工业发展水平和部门、地域结构差异显著,绝大多数国家工业基础薄弱,采矿业、农产品加工业及经纺工业占主要地位。人均GDP在1万美元以上的有日本、韩国,为高收入的国家;人均GDP在 $2\,000\sim 6\,000$ 美元的有中国、印度,为中低收入国家;人均GDP在2000美元以下的有孟加拉、菲律宾和缅甸,为贫困国家^[8]。

2 数据资料获取及处理

2.1 数据资料

暴雨洪灾不仅受自然因素的影响,也受社会经济因素的综合作用,本文综合考虑洪灾风险因素及数据获取情况,着重从自然地理和社会经济两个方面收集数据^[9-12]。自然地理数据主要有:降水量数据、河网密度数据、DEM数据、行政区矢量图;社会经济数据有GDP数据、人口统计数据。

2.2 数据处理

由于数据来源计量单位不同,取值范围变幅大,数据格式不同,需要对数据进行标准化处理,转换成统一的存储格式,坐标和投影方式^[13]。为了便于空间运算,所用的数据均转换成栅格数据存储格式,所有的数据都经过投影转换与重采样,重采样的空间分辨率为 $1\,000\text{ m}\times 1\,000\text{ m}$ 。投影均采用等积圆锥Albers投影,中央经线为 101° ,第一条标准纬线纬度为 15° ,第二条标准纬线为 50° 。地理坐标系采用GCS-WGS-1984椭球体。

对各种专题指标数据进行标准化处理并赋值给每个评价单元;采用5级划分标准,等级越高表示该因子的影响性越大,确定洪涝灾害风险评判等级 $U=\{\text{低风险、较低风险、中等风险、较高风险、高风险}\}$ 。

3 研究方法

暴雨洪灾风险评价就是对致灾因子危险性及孕灾环境稳定性、承灾体易损性进行综合评价,为减灾与管理提供科学的决策依据。目前洪灾风险评估的研究重点之一,就是如何科学、客观地将一个多指标问题综合成一个单指标形式,在一维空间中实现综合评估,其实质就是如何合理地确定这些评价指标的权重。鉴于洪灾风险评价涉及众多影响因素,本文采用层次分析法与GIS分析集成,进行暴雨灾害风险评估研究。应用GIS数据采集功能将不同数据源以一定格式输入到数据库中,运用层次分析法将复杂的问题分解为若干层次和若干指标,在各指标之间进行比较和计算,得出各指标权重;再利用GIS空间分析和图形显示功能,研究空间分布特征及相互关系。对亚洲典型区7个国家暴雨洪灾风险空间分布程度进行流域划分,从而划分出低风险、高风险等区域,进行暴雨灾害风险评估研究。

3.1 评价指标体系建立

洪灾风险评估实际上是一个多因素指标综合过程,由于研究方法不同,建立的洪灾风险评估指标体系各有不同^[14,15]。根据洪灾风险有关原理,根据指标的选取原则及层次分析方法的要求,结合研究区相关数据的收集情况;最终选择7个专题栅格数据层作为洪灾风险评估的指标,建立了洪灾风险评估指标层次体系(表1)。

3.2 评价指标权重确定

层次分析法(AHP)原理简单,且有数学依据。将AHP作为一个功能模块集成到ARCGIS9.2中,将AHP与GIS集成来判别权重,提高了AHP的运算能力,同时也提高了GIS的空间分析能力,在此基础上,对评价指标进行判定,根据层析分析法结合GIS判定洪灾风险性指标权重。

4 研究区暴雨洪灾综合风险评价

4.1 暴雨洪灾危险性评价

从洪灾危险性角度考虑,主要选取了降水量指标进行危险性评价。研究区暴雨多集中在6~10月,一次暴雨持续约为3~4 d。根据历史洪灾资料分析,最大3日降水量对洪灾形成影响最大^[16],因此选用6~10月月平均最大3日降水量作为反映对洪灾影响的降水指标,为了定量地反映暴雨的影

表 1 洪灾风险评价指标体系
Table 1 Indices system of flood risk disaster

目标层	准则层	指标层 1	指标层 2	指标层 3
洪水灾害风险评估	危险性	致灾因子	降水因子	平均最大 3 日降水量
	稳定性	孕灾环境	地形	地形高程标准差
			土地利用	土地覆被分类
			植被	植被覆被
			河流	河网密度
	易损性	承灾体	人口因子	人口密度
			经济因子	人均 GDP

表 2 洪灾风险评价指标权重
Table 2 Weights of indices of flood risk disaster

	致灾因子	孕灾环境	承灾体	层次总排序
	0.4018	0.2693	0.3289	
近 3 日降水量	1			0.3362
地形高程标准差		0.3464		0.1012
土地覆被分类		0.1340		0.0929
植被覆盖		0.1901		0.0761
河网密度		0.3295		0.1427
人口密度			0.5498	0.1237
人均 GDP			0.4502	0.1273

响度,采用以下线性公式将最大 3 日暴雨量分布转换为洪灾危险程度的影响度。

$$P=(\text{洪水危险程度})= \begin{cases} 0 & \text{当最大3日暴雨量} p \leq 30 \text{ mm} \\ p/300 & \text{当} 30 \text{ mm} < p < 300 \text{ mm} \\ 1 & \text{当} p \geq 300 \text{ mm} \end{cases} \quad (1)$$

在空间上,根据最大 3 日平均降水量分布,利用 1 000 m×1 000 m 格网,利用 ArcGIS 空间分析功能,进行 IDW 方法插值,进行空间数据的离散化,通过指标转换,得到研究区暴雨洪灾危险性等级分布图,如图 1 所示。降水量与洪灾危险程度密切相关;洪灾危险性高值区域主要分布在中国东南沿海一带,印度东北部,孟加拉东部及缅甸的东北部地区,以及西藏局部地区。

4.2 暴雨洪灾稳定性评价

从暴雨洪灾稳定性角度考虑,主要选取 DEM、土地利用类型、植被指数、河网密度等因素来进行暴雨灾害孕灾环境稳定性评价。基于对指标数据的标准化处理,以及对数据的 5 级划分表述各因子指标对孕灾环境稳定性的影响。根据指标

权重确定的原理及方法,确定 DEM、土地利用类型、植被指数、河网密度的权值 W , $W=\{0.346, 0.134, 0.190, 0.329\}$,并经过一致性检验。利用 ArcGIS9.2 的地图代数功能,将参与评价的因子指标图层进行计算分析,得到暴雨洪灾稳定性评价图(图 2)。从洪灾稳定性评价结果不难看出,中国的西北部地区稳定性较大,这主要是由于该区地势高,很难形成大范围的暴雨洪灾。

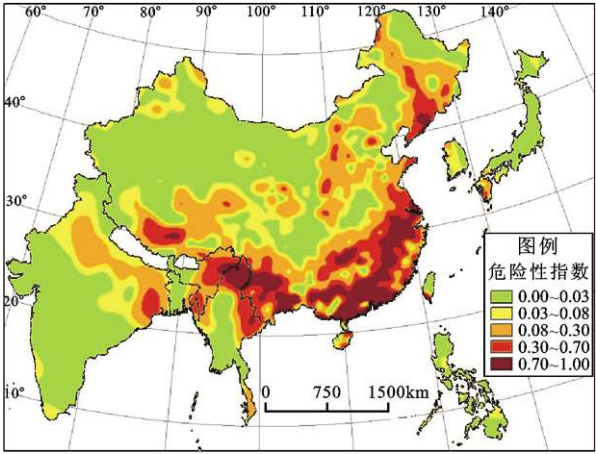


图 1 研究区暴雨洪灾危险性评价
Fig.1 Risk assessment of storm floods in study area

4.3 暴雨洪灾易损性评价

从暴雨洪灾脆弱性角度选取了人口密度分布和人均 GDP 指标进行洪灾易损性评价。根据人口密度越大、国内生产总值密度越高,其洪灾易损性也越高的原则^[16],确定出各因子对洪灾的影响度(表 3)。基于上述各个因素的分析,利用 GIS 软件提供的栅格叠加和空间分析功能,得到洪灾易损性评价图(图 3)。易损性等级高值区域主要分布在经济发达国家及人口稠密的地区,如中国东南

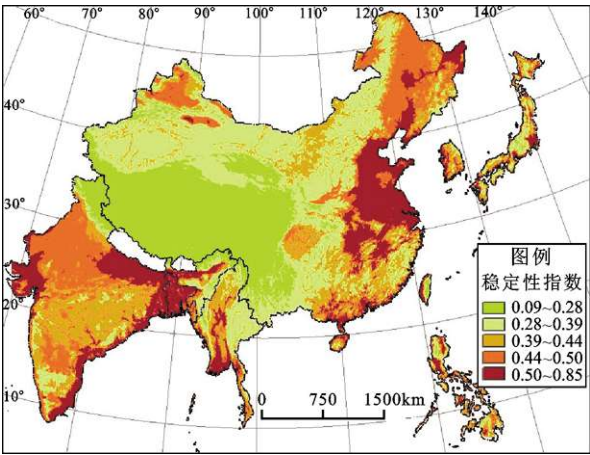


图2 研究区暴雨洪灾稳定性评价
Fig.2 Stability assessment of storm floods in study area

沿海城市,日本的中部地方、九州地方及韩国的京畿道为高值区。

4.4 暴雨洪灾综合风险评价

灾害风险评价研究方法较多^[17-19],根据1989年Maskrey的自然灾害风险表达式^[20],并借鉴张继权等提出的风险表达式^[21];自然灾害风险表达式为:

风险 = 危险性+易损性+稳定性 (2)

利用ArcGIS提供的栅格叠加和空间分析功能,将研究区中暴雨洪水灾害危险性等级评价图、孕灾环境稳定性等级评价图及易损性等级评价结果图进行叠加分析,最后得出研究区的洪灾风险评价结果图(图4)。

从图4可以看出,亚洲流域暴雨洪灾等级高值区主要分布在中国东南部、中国东北部分地区及沿海一带,紧邻孟加拉的印度东部及东北部的乞拉朋齐地区,孟加拉东部及缅甸的东北部地区;中等、较高风险区域主要分布在日本、韩国以及印度北部及西南大部分地区,菲律宾的吕宋岛地区。等级高值风险区域中河网密集、地势相对平坦、坡度较缓,降水量充沛,社会经济脆弱性较大,人口

众多的区域。而在中国西北部大部分地区为中低风险区,这主要是由于该区地势相对较高,降水量相对较小,社会经济脆弱性较小密切相关,相对风险较低。

在中国西藏地区,出现了局部高风险区域,由于该区域地势较高,年平均降水较少,从定性角度

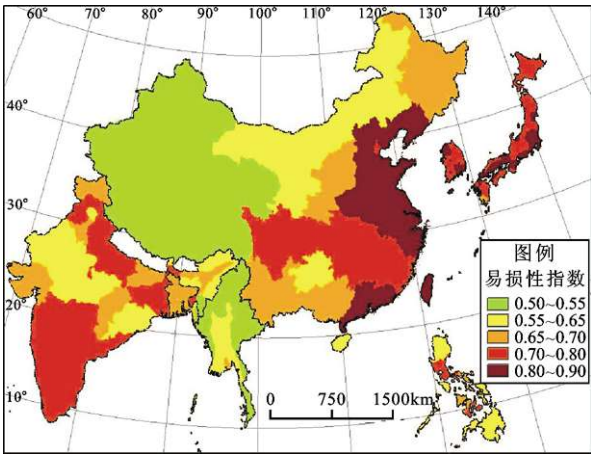


图3 研究区暴雨洪灾易损性评价
Fig.3 Vulnerability assessment of storm floods in study area

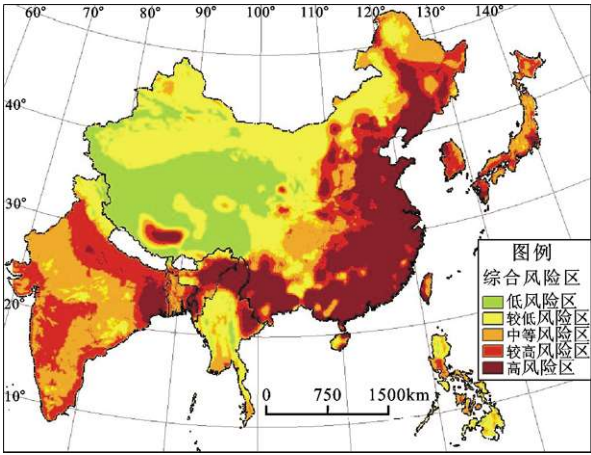


图4 研究区暴雨洪灾综合风险评价
Fig.4 Assessment of storm flood risk in study area

表3 易损性评价指标及影响度

Table 3 Indices of vulnerability assessment and the effect degree

分类号	人口密度		人均GDP	
	分类范围/(人/km ²)	影响度	月均经济收入(元/人)	影响度
1	<200	0.5	<1522	0.5
2	200~500	0.6	1522~3553	0.6
3	500~800	0.7	3553~6091	0.7
4	800~1000	0.8	6091~10660	0.8
5	>1000	0.9	>10660	0.9

考虑,该区应为较低风险区。为了验证局部高风险区域这个结果是否合理可靠,将中国县界区域图与暴雨洪灾综合风险评价图进行叠加,从而确定出局部高风险区的县界区域,从这两幅图中,确定高风险区为申扎县、昂仁县、南木林县及谢通门县。通过该区资料统计以及相关资料的分析^[22],2008年在该区的确有暴雨灾害的发生,并造成较大经济损失,表明风险区划结果与实际较吻合。之所以出现高值,主要的一个原因就是局部区域降水量较大。

5 结论与讨论

本文构建了研究区暴雨洪灾风险性指标评价体系,运用标准化方法对相关指标进行处理;基于层次分析法建立暴雨洪灾层次结构模型,确定各专题指标因子权重,通过地图代数功能得到研究区暴雨洪灾危险性评价图、孕灾环境稳定性评价图、易损性评价图;同时利用综合指数法并结合GIS,得到亚洲暴雨洪灾综合风险评价图;模型的建立及风险区划图的制作,对暴雨洪灾宏观决策具有重要的参考价值。

目前对洪灾风险区划的研究还不系统,对区划的指标选取、数据规范化、风险分析的空间尺度、风险区划研究方法等方面缺少深入研究,今后在洪灾风险区划理论与方法上的研究有待加强;虽然采用了AHP/GIS集成方法研究,但是,在计算过程中都不可避免地引入了部分不确定性主观因素,尽量减少人为主观因素将是今后需要重点研究的内容。

亚洲典型地区暴雨洪灾风险成因十分复杂,本文仅从自然和人为两个因素考虑,获取降水、河网密度、地形、人口及经济等相关指标因子,进行暴雨灾害的区划分析;由于研究区范围较大,涉及到国外一些国家的相关统计数据获取困难,因此在进行综合风险评价时,并没有考虑防灾减灾能力评价。

参考文献

- [1] 陈 颢,史培军.自然灾害[M].北京,北京师范大学出版社,2007.
- [2] EM-DAT Emergency Disasters Data Base [DB/OL]. <http://www.em-dat.net>.
- [3] Robins C R, Buck B J, Williams A J, et al. Comparison of flood hazard assessments on desert piedmonts and playas: A case study in Ivanpah Valley, Nevada [J]. *Geomorphology*, 2009, 103(4):520-532.
- [4] 张行南,罗 健,陈 雷,等.中国洪水灾害危险程度区划[J].水利学报,2000,(3):1~7.
- [5] 殷 杰,尹占娥,许世远.上海市灾害综合风险定量评估研究[J].地理科学,2009,29(3):450-454.
- [6] 杜 鹏,何 飞,史培军.湘江流域洪水灾害综合风险评价[J].自然灾害学报,2006,15(6):38-44.
- [7] 冯忠江.世界自然地理总论[M].北京,中国环境科学出版社,2007.
- [8] Central Intelligence Agency. The World Factbook[EB/OL]. <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/index.html>.
- [9] NOAA Satellite and Information Service. NDCC Climate Data [EB/OL]. <http://www7.ncdc.noaa.gov/CDO/cdoselect.cmd>.
- [10] 中国气象科学数据共享服务网.地面气象资料[EB/OL]. <http://cdc.cma.gov.cn/>.
- [11] CGIAR.The CGIAR Consortium for Spatial Information[EB/OL]. <http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>.
- [12] National Aeronautics and Space Administration. Modis Web [EB/OL]. <http://modis.gsfc.nasa.gov>.
- [13] Islam M M, Sado K. Flood hazard assessment in Bangladesh using NOAA AVHRR data with geographical information system[J]. *Hydrological Process*, 2000, 14: 605-620.
- [14] Michael S C, Salah H. Integration of RADARSAT and GIS modeling for estimating future Red River flood risk[J].*Geo-Journal*,2004,59:237-246.
- [15] Tawatchai T, Mohammed F K. Flood hazard and risk analysis in the southwest region of Bangladesh [J].*Hydrological Process*.2005,(19):2055-2069.
- [16] 周成虎,万 庆,黄诗峰,等.基于GIS的洪水灾害风险区划研究[J].地理学报,2000,55(1):15-24.
- [17] 孙阿丽,石 纯,石 勇.基于情景模拟的暴雨内涝危险性评价——以黄浦区为例[J].地理科学,2010,30(3):465-468.
- [18] 刘希林,陈宜娟.泥石流风险区划方法及其应用——以四川西部地区为例[J].地理科学,2010,30(4):558-565.
- [19] 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.
- [20] Maskrey A. Disaster Mitigation: A Community Based Approach [M]. Oxford: Oxfam,1989.
- [21] 张继权,梁警丹,周道玮.基于GIS技术的吉林省生态灾害风险评价[J].应用生态学报,2007,18(8):1765-1770.
- [22] 新华社.西藏南木林县遭遇30年一遇洪水[N/OL]. <http://county.aweb.com.cn/2008/7/9/48020080709092040.html>.

Storm Flood Risk Assessment in the Typical Regions of Asia

LIU Jia-fu^{1,2}, LI Jing², LIANG Yu-hua¹, LIU Xiang-nan³

(1. *College of Tourism and Geographical Sciences, Jilin Normal University, Siping, Jilin 136000, China;*

2. *Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, Ministry of Civil Affairs, Ministry of Education, Beijing Normal University, Beijing, 100875, China;* 3. *College of Information and Engineering, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)*

Abstract: Based on the basic principles of flood risk, this study took the coastal areas in southeastern Asia (SEA) as the study area. By integrating the indicators including the rainfall, topography, land use, vegetation, river density, population, and the economic strength, the flood risk over the chosen study area was evaluated through both qualitative and quantitative methods. The indicators used were firstly normalized to obtain standardized multi-source raster data by the GIS (Geographic Information System) techniques. The AHP (Analytic Hierarchy Process) technique was then utilized to estimate the weights of those indicators, and used to develop a model for risk assessments. The map algebra in GIS was finally employed to generate the flood zoning map over the typical Asian areas. The results show that the high risk regions of flood storm primarily include the southeastern, northeastern, and coastal areas of China, the eastern India near Bangladesh, the eastern Bangladesh, and the northeastern Myanmar; the medium risk regions are mainly located in Japan, South Korea, the most parts of southwestern India, the northern India and the Luzon Island of Philippines; the low risk ones principally are located in most parts of northwestern China.

Key words: Asian; flood disaster; disaster risk; GIS