

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbtdqk.2019.0133

成陆,付梅臣,王力. 基于RS和GIS的县域洪涝灾害风险评估[J]. 南水北调与水利科技, 2019, 17(6): 37-44, 68. CHENG L, FU M C, WANG L. Comprehensive flood risk assessment based on RS and GIS in a county area[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2019, 17(6): 37-44, 68. (in Chinese)

## 基于RS和GIS的县域洪涝灾害风险评估

成陆<sup>1,2</sup>, 付梅臣<sup>1</sup>, 王力<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学(北京)土地科学技术学院, 北京 100084;

2. 中国科学院遥感与数字地球研究所 遥感科学国家重点实验室, 北京 100101)

**摘要:** 洪涝灾害风险评估是研究洪涝灾害的重要手段之一, 评价结果可为区域洪涝灾害监督预测、防洪减灾措施的制定与规划提供依据。以河北武安市为研究区域, 以自然灾害风险系统理论为基础, 考虑当地实际情况, 从洪涝灾害的致灾危险性、灾害敏感性以及防减灾能力三个方面出发, 选取降水、地形等自然因素和人口密度、经济投入水平等社会经济要素共9个评价指标, 采用GIS空间分析叠加功能、加权综合评价法等方法, 得出洪涝灾害风险评估结果。结果表明: 武安市洪涝灾害风险分布整体呈现由中部、西南部高风险区向四周逐渐递减的特点, 具体表现为河谷风险等级突出, 沿河沿岸地区的风险要高于其他地区; 平原风险等级明显, 平原区由于易出现洪水汇入, 且敏感性强的特点, 易出现洪涝灾害; 农耕区域的风险等级要高于林草区域。通过历史灾情数据对评价结果进行验证, 本文提出的武安市洪涝灾害评估结果与实际情况一致性较高。

**关键词:** 洪涝灾害; 风险评估; RS; GIS; 武安市

中图分类号: TV122; P426 文献标志码: A 开放科学(资源服务)标识码(OSID):



### Comprehensive flood risk assessment based on RS and GIS in a county area

CHENG Lu<sup>1,2</sup>, FU Meichen<sup>1</sup>, WANG Li<sup>2</sup>

(1. School of Land Science and Technology, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100084, China;

2. The State Key Laboratory of Remote Sensing Sciences, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

**Abstract:** Flood risk assessment is one of the important means to study flood disasters and can provide a basis for the planning of regional flood disaster monitoring and prediction, flood control and disaster mitigation measures. In this study, Wu'an City of Hebei Province was taken as study area, based on the theory of disaster risk system and the local actual situation, hazard, sensitivity, and prevention capability ability of flood disaster were selected as assessment aspects. There were nine evaluation indicators of social economic factors such as population density and economic level. The GIS weighted comprehensive evaluation method and spatial analysis superposition functions were used to obtain flood risk assessment results. The results indicated that the overall risk distribution of flood disasters in Wu'an City was characterized by the gradual decline of the high-risk areas in the central and southwestern areas. Specifically, the river valley had a high-risk level, and the risk along the Ming River was higher than other areas. The risk level of the plain was obvious, and the sensitivity was strong; the risk level of farming area was higher than that in the forest and grass area. Through the historical disaster data to verify the evaluation results, the Wu'an flood disaster assessment results presented in this paper are consistent with the actual situation.

**Key words:** flood disaster; risk assessment; RS; GIS; Wu'an City

收稿日期: 2019-04-21 修回日期: 2019-06-20 网络出版时间: 2019-06-26

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20190625.1132.008.html>

基金项目: 国家自然科学基金(41771204)

Fund: National Natural Science Foundation of China(41771204)

作者简介: 成陆(1994—), 男, 河北承德人, 主要从事土地利用、地质灾害研究。E-mail: chenglhero@qq.com

通信作者: 付梅臣(1966—), 男, 黑龙江东宁人, 教授, 博士, 主要从事土地利用和复垦、区域规划研究。E-mail: fumeichen@cugb.edu.cn

洪涝灾害是世界范围内发生频率高、危害范围广、对人民财产生活影响最为严重的自然灾害之一<sup>[1-2]</sup>。根据水利部发布的《中国水旱灾害公报》统计,2016 年全国因洪涝农作物受灾达 94.42 万  $\text{hm}^2$ ,造成直接经济损失 3 643.26 亿元,占全年 GDP 的 0.49%。因此,区域性洪涝灾害风险评估显得十分关键,根据评价结果可对洪灾做出有效预防,以防造成更大损失。洪涝灾害风险可定义为不同强度洪水发生的概率及其可能造成的洪涝灾害损失,洪灾风险区划既包含对区域洪灾历史趋势总体特征的分析,也包括对未来可能发生洪水的预测<sup>[3]</sup>。目前,国内外诸多学者对洪涝灾害风险区划开展了大量的研究,美国、日本等发达国家于 20 世纪 50、20 世纪 60 年代着手开展洪涝灾害研究<sup>[4-5]</sup>,近年有国外学者将传统 GIS 集成系统与其他相关模型结合起来进行洪涝灾害研究,并对洪涝灾害演变进行了合理解释。万昔超等<sup>[6]</sup>将云模型和 GIS 平台集合起来,最终得到灾害风险综合指数结果图;程先富等<sup>[7]</sup>将有序加权平均法(OWA)与 GIS 技术集合,构建 OWA-GIS 评价模型,用以评价巢湖流域洪涝灾害风险;黄河等<sup>[8]</sup>利用多智体模型对洪涝风险动态评估理论进行研究,并对淮河暴雨洪涝灾害孕育过程进行模拟;卢珊等<sup>[9]</sup>采用距平分析、Mann-Kendall 检验等以及基于信息扩散的模糊数学方法对秦岭北麓汛期暴雨洪涝进行了气候变化特征分析及灾害风险评估。此外,人们还利用 RS 技术对洪涝灾害进行监测和范围验证,段光耀等<sup>[10]</sup>通过利用 HJ-1 卫星影像提取的水体淹没范围,对风险评价结果进行验证;高伟等<sup>[11]</sup>利用 MODIS 地表反射率产品等遥感数据进行淹没范围的动态监测。

本研究基于 RS 与 GIS 技术,对遥感数据以及相关地理信息数据、社会经济数据进行综合处理,结合研究区实际情况,从致灾敏感性、灾害敏感性和防减灾能力 3 个方面建立量化指标体系,采用加权综合指数法、自然段点等方法,对武安市洪涝灾害进行风险评估并划分风险等级分布区,以期为该市洪涝灾害监督预测、防洪减灾措施的制定与规划提供依据。

## 1 研究区概况

武安市为邯郸市管辖的县级市,地处河北省南部,太行山东麓,晋、冀交界地带,地理坐标为东经  $113^{\circ}45' \sim 114^{\circ}22'$ ,北纬  $36^{\circ}28' \sim 37^{\circ}01'$ 。地势西高东低,四面环山,中部丘陵起伏,间有小平原。总体可分为山区、低山丘陵区及盆地三大类型。全市土

地总面积  $1\ 818.05\ \text{km}^2$ 。武安市气候属温带大陆性季风气候,四季分明,春季常干旱多风,夏季炎热多雨,秋季晴和凉爽,冬季寒冷少雪。全市近 10 年平均气温  $12.8\ ^{\circ}\text{C}$ ,历史极端最高温  $42.5\ ^{\circ}\text{C}$ ,出现在 1961 年 6 月和 2005 年 6 月;年平均降水  $560\ \text{mm}$ ,年最大降水量  $1\ 472.7\ \text{mm}$ 。武安市境内的河流主要有南洺河、北洺河、马会河,且均为季节性河流,除南洺河、北洺河上游有基流外,其他河流在枯水年全年及丰水年非汛期的大部分时间内河流干涸。

由于地形、降雨以及水系的影响,武安市较附近区域更易遭受洪水灾害,1996 年、2000 年、2016 年均遭遇特大洪水,由此产生的洪灾不仅造成大量农田被冲毁淹没,农作物减产甚至绝收,林果业生产停滞,而且引起水土流失,致使土地贫瘠,同时水流中泥沙含量增加,导致河流功能衰减、耕地沙化,经济损失严重。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源

本文选用的相关基础图件、数据如下。

(1)武安市 29 个气象站点 1981—2017 年汛期逐日降水数据,由武安市气象局提供;武安市 30 m 分辨率 DEM 数据,来自地理空间数据云的开放数据(<http://www.gscloud.cn/>)。

(2)人口、行政区面积、固定资产投资等数据,来源于《武安市统计年鉴》(2015、2016 年)。

(3)武安市植被指数等遥感数据,由 Google Earth Engine 平台的开放数据源提供下载。

(4)行政区边界矢量数据、历史洪涝灾情矢量点数据及灾毁耕地矢量数据,由武安市国土局提供。

### 2.2 研究方法

#### 2.2.1 评价基本单元的选取

洪涝灾害评价基本单元是指根据造成洪涝灾害发生的各指标要素将可能致灾空间逐级划分为最小的均质单元<sup>[12]</sup>。本研究在 GIS 平台下对各指标要素数据进行预处理(空间校正、点线面数据插值栅格化等),经过处理后的数据主要分为两种:(1)直接获得的栅格数据,如遥感影像;(2)由点线面数据按一定规则(如克里金插值)插值生成的等值栅格数据,如雨量站降水数据插值栅格化、土地利用类型数据栅格化等。根据栅格化数据类型和不同评价指标,选取  $30\ \text{m} \times 30\ \text{m}$  格网结合作为评价单位。

#### 2.2.2 风险评价指标选取与量化分级

洪涝灾害作为复杂的灾害系统,对其形成机制

尚未形成统一认识,一般来说,洪涝灾害的形成与发展受自然因素和社会经济因素的共同约束<sup>[13-16]</sup>。本研究以自然灾害风险评估相关理论为基础,采用专家评判法,结合武安市特殊地形地貌以及气候水文特征,并参考系统整体性原则和暴雨洪涝灾害风险区划技术规范,考虑系统整体性,从致灾危险性、灾害敏感性和防减灾能力3个方面共选取9个指标建立洪涝灾害风险评估指标体系(图1)。

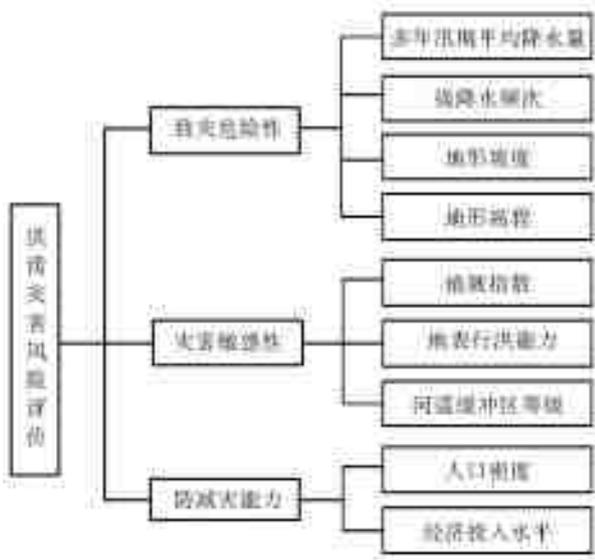


图1 洪涝灾害风险评估指标体系

Fig.1 Flood risk assessment index system of Wu'an City

评价过程中,各指标存在不同的量纲和单位,且属性值的变化范围也相差较大,为了方便计算,需要对原始数据进行分级处理,并标准化为相同计算尺度。由于各栅格数据的投影和坐标系存在差异,在GIS平台支持下,将以上栅格数据进行空间化处理,将其统一为同一坐标系。

在分级方法的选择上,采用自然断点法和依据国家或地方标准进行分级。自然断点分级法(Jenks

natural breaks classification method)是通过对一系列数据进行统计,根据数据的连续性和差异性,来确定属性值自然聚类的分级方法<sup>[17]</sup>。同时,针对不同指标的自然属性和经济属性差异,依据国家及地方标准,采取不同分级方法,并对分级结果按洪涝灾害形成的贡献程度大小进行赋值。具体分级和赋值结果见表1、图2。

### 2.2.3 确定风险评价指标权重

由于不同层次的影响因子对洪涝灾害形成和发展的影响不同,因此需要根据实际情况对不同的影响因子及其评价指标赋予不同的权重。因子、指标权重的确定方法有很多,层次分析法作为决策依据有诸多的优点,它可以反映研究区引起洪水灾害主要的因素,具有针对性、间接性、实用性、系统性<sup>[18-20]</sup>。本研究采用层次分析法(AHP),通过指标两两对比构建判断矩阵,并结合专家意见对各影响因子及其评价指标进行权重赋值并归一,通过一致性检验后,结果见表2。

### 2.2.4 建立风险评价综合指数模型(FDRI)

建立综合评价模型是研究灾害风险评估的主要方法之一,洪涝灾害风险是致灾危险性、灾害敏感性和防减灾能力三种影响因子共同作用的结果,且各影响因子的影响方向不尽相同<sup>[21-24]</sup>。本研究使用加权综合评分法,建立洪涝灾害风险评估综合指数模型

$$FDRI = (H \times W_H + S \times W_S) - C \times W_C$$

式中:FDRI为洪涝灾害风险评估综合指数;H为致灾危险性;S为灾害敏感性;C为防减灾能力; $W_H$ 、 $W_S$ 和 $W_C$ 分别是三种影响因子的权重。

在综合评价指数结果进行分级时,根据不同区间指数的群组特性,采用自然断点法对评价结果进行分级。

表1 各指标分级及赋值结果  
Tab.1 Index grading and assignment results

指标	分级/分值				
	低/1	较低/3	中等/5	较高/7	高/9
多年汛期平均降水量/mm	213.79~224.59	224.59~232.12	232.12~239.97	239.97~249.9	249.9~297.25
强降雨频次	0~0.013	0.013~0.027	0.027~0.053	0.053~0.080	0.080~0.107
地形坡度/(°)	35~71.69	25~35	15~25	5~15	0~5
地形高程/m	1 065.31~1 858.85	757.90~1 065.31	514.84~757.90	300.36~514.84	43.00~300.36
地表糙率	0.05~0.12	0.03~0.05	0.02~0.03	0~0.02	0
植被指数	0.33~0.59	0.26~0.33	0.20~0.26	0.11~0.20	-0.19~0.11
河道缓冲区/m 一级河流/二级河流	>800/>400	600~800/300~400	400~600/200~300	200~400/100~200	<200/<100
人口密度/(人·km <sup>-2</sup> )	113.20~171.45	171.45~365.63	365.63~472.43	472.43~928.75	928.75~2589
固定资产投资/万元	540	540~1 459.21	1 459.21~5 350.13	5 350.13~8 109.52	8 109.52~11 260.87

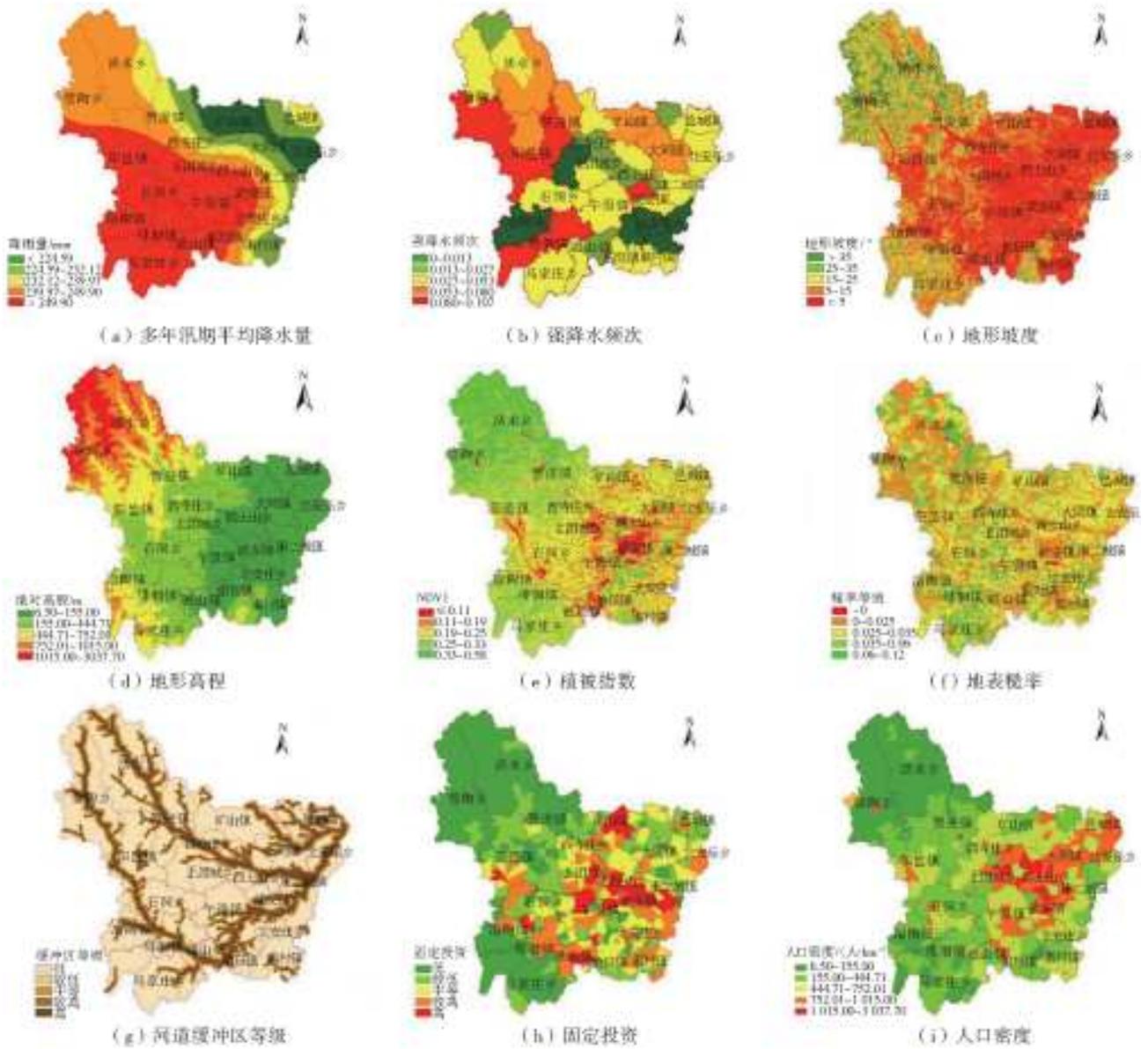


图 2 洪涝灾害评价因子分级

Fig. 2 Flood disaster assessment factor classification

表 2 洪涝灾害风险评价指标因子权重值

Tab. 2 Flood disaster evaluation indicators with weight values

影响因子		权重	评价指标	权重	组合权重
致灾危险性	0.537		多年汛期年均降水量	0.307	0.165
			强降水频次	0.258	0.139
			地形坡度	0.206	0.111
			地形高程	0.229	0.123
洪涝灾害风险评价指标体系	0.348		植被指数	0.412	0.143
			地表行洪能力	0.277	0.311
			河道缓冲区等级	0.096	0.108
防减灾能力	0.115		人口密度	0.542	0.062
			固定资产投资额	0.458	0.053

### 3 洪涝灾害风险评价与分析

#### 3.1 洪涝致灾危险性评价与分析

洪涝致灾危险性主要受气象因素和地理因素的

影响较大,甚至可作为是洪涝灾害发生的决定性因素。一般来说,洪灾的发生与降水有很大的关系,降水量越大的地区越容易发生洪涝灾害。受气候的影响,武安市大部分降水都集中在汛期,降水在年内分

配不均且较为集中成为武安市洪灾发生的主要原因。与气象因素不同,地理因素对洪涝灾害危险性的形成主要表现在地形高程和地形变化程度两方面,地形变化通常用地形坡度来表示,地形高程越低,地形变化程度越小,越容易发生洪水灾害。根据降水量越大、地形高程越大以及地形坡度越小,越容易发生洪涝灾害的原则,采用自然断点法,将GIS栅格数据叠加后的危险性结果划分为低、较低、中等、较高、高五个级别,最终得出武安市洪涝灾害危险性等级分布(图3)。

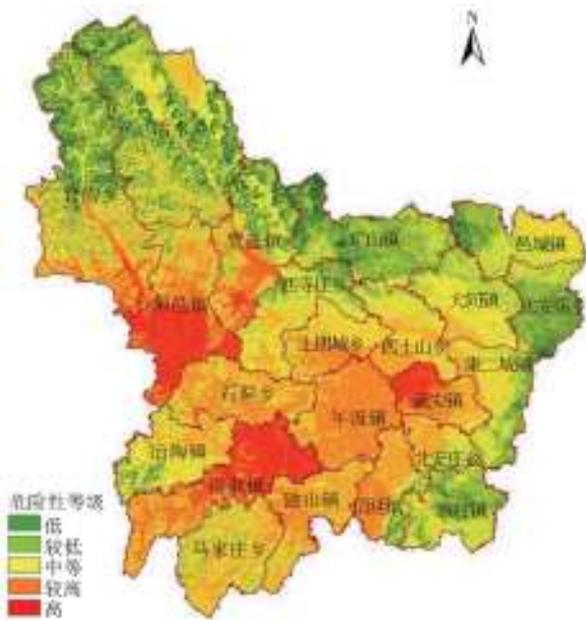


图3 洪涝灾害危险性等级

Fig. 3 Map of flood hazard index of Wu'an City

根据致灾危险性评价结果,中西部及西南部地区的危险性等级处于较高水平,其中,武安市西部、阳邑镇南部以及徘徊镇东部区域,由于地形高程较低且地形起伏不大,易出现洪水集中汇集灌入的情况,西南部的马家庄乡、徘徊镇、冶陶镇等部分乡镇区域尽管地势相对较高,但多处于山地,地形起伏及较大,由此造成地势低的区域危险性较高。

### 3.2 洪涝灾害敏感性评价与分析

在相同的气象条件下,不同地区对于洪涝灾害形成的敏感程度也会有所不同,而这就取决于该地区的洪涝灾害敏感性。除主要致灾因子的影响外,该地区的植被覆盖情况,地表行洪能力以及河网分布情况等也会对地区的洪涝灾害的形成和扩张有显著影响。考虑到武安市的实际情况,本研究选取NDVI指数、地表行洪糙率值以及河网密度作为洪涝灾害敏感性因子的评价指标。NDVI指数是能够最有效反映地表植被覆盖情况的遥感指数之一,NDVI值越高的地区,植被覆盖越密集,越能有效吸

收地表的水分,对洪涝灾害越不敏感。糙率的大小反映出地表对水流阻力的影响程度,接触表面越粗糙,糙率越大,对洪涝灾害的形成越不敏感。不同级别河网的分布在很大程度上决定了评价区域遭受洪水侵袭的难易程度,河流等级越高,影响范围越广,离河道越近的地方,产生洪涝灾害的可能性越高。

结合武安市实际情况,在GIS平台下,对地表不同土地类型根据糙率参考指数表进行赋值,采用自然断点法,将3种评价指标划分为不同等级,利用空间分析叠加功能,将叠加后的敏感性结果划分为低、较低、中等、较高、高五个级别,最终得出武安市洪涝灾害敏感性等级分布(图4)。洪涝灾害敏感性较高的乡镇主要分布在河道两侧,其中武安市中部及东部,如武安镇、午汲镇、伯延镇以及磁山镇等,河网密集,土地建设程度较高。其他位置靠近河道的乡镇,如大同镇、邑城镇等,其洪灾敏感程度也相对较高。西北部以及西南部的乡镇敏感性较低,位置大多处于山区,森林覆盖度较高,土地开发较少,与河道也存在一定的距离。

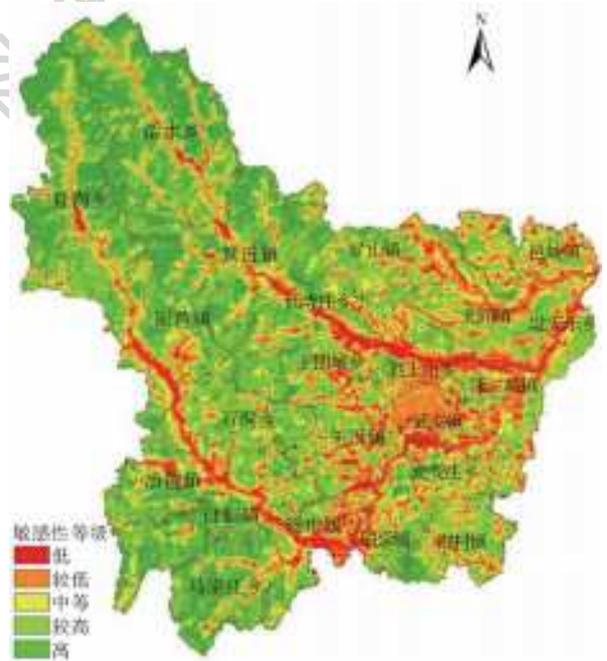


图4 洪涝灾害敏感性等级

Fig. 4 Map of flood sensitivity index of Wu'an City

### 3.3 洪涝灾害防减灾能力评价与分析

防减灾能力是指洪涝灾害发生时,地区应对洪灾造成的损害的综合能力,具体包括工程措施与非工程措施。防减灾能力越强的地区,洪涝灾害的危险程度越低,一个地区的防减灾能力主要与地区经济发展水平,人口数量以及退耕还林程度等因素有关。本研究选取非工程措施进行评估,主要考虑灾害发生时的人口转移情况和对抗洪涝灾害的资源准

备情况。人口转移的时效性用各乡镇的人口密度表示,人口密度越大,对抗灾害投入的人力越多,防减灾能力越强。对抗洪涝灾害的资源准备用各乡镇固定投资额表示,固定投资额越高,应对灾害发生时的生产救助能力越强。

通过对各乡镇统计数据进行处理,以各乡镇行政区划为单位,采用自然断点法,将 3 种评价指标划分洪涝灾害防减灾能力的相应的影响等级标准并赋值,再结合 GIS 矢量栅格数据叠加分析功能,依据各评价指标赋值及权重,对洪灾防减灾综合能力进行分级,具体划分为低、较低、中等、较高、高等 5 个等级,最终得出武安市防减灾能力等级分布(图 5)。武安市洪涝灾害防减灾能力整体处于中上水平。防减灾能力较高的乡镇主要包括磁山镇、上团城乡、午汲镇以及武安镇等,这主要是因为其人口密度以及乡镇的发展建设水平较其他乡镇更为完全;防减灾能力最低的地区主要包括管陶乡、活水乡以及马家庄乡等,该地区山地较多,人口密度较低,土地建设强度不高,经济基础薄弱,区域整体发展水平不高以致救援减灾能力差。

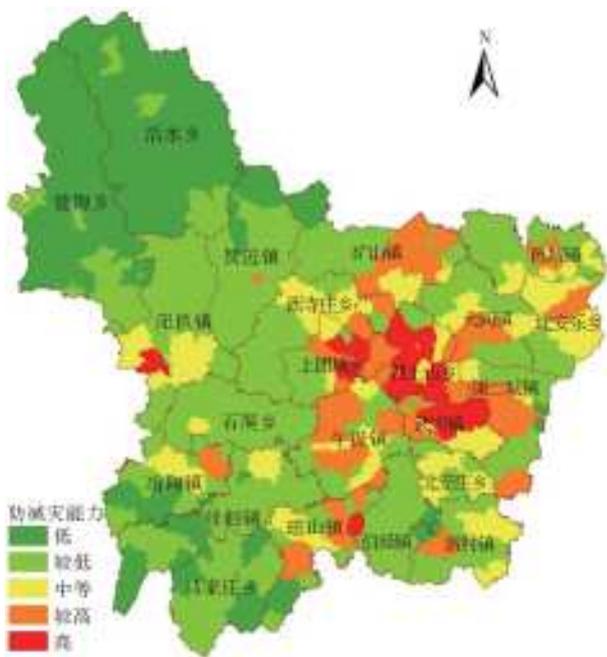


图 5 防减灾能力等级

Fig. 5 Map of flood prevention and reduction index of Wu'an City

### 3.4 洪涝灾害风险综合评价与分析

洪涝灾害风险是致灾敏感性、灾害敏感性和防减灾能力 3 种影响因子综合作用的结果,以 30 m 格网为最小评价单元,利用 GIS 平台的栅格叠加分析功能,提取出各评价单元中各影响因子的指标,再乘以对应影响因子权重值,按照自然断点法分类标准将武安市洪涝灾害风险划分为 5 级,统计不同等级

风险区的风险综合指数以及数量情况(表 5),根据风险指数从高到低分别定义为高风险区、较高风险区、中等风险区、较低风险区以及低风险区,最后得出武安市洪涝灾害风险等级分布(图 6)。

表 5 武安市不同等级洪灾风险综合指数及数量情况  
Tab. 5 Different risks thresholds and affected areas of Wu'an City

风险级别	风险综合指数	所占面积/km <sup>2</sup>	比例/%
低风险区	0.434~2.710	143.76	7.95
较低风险区	2.710~3.633	452.45	25.02
中等风险区	3.633~4.465	476.39	26.35
较高风险区	4.465~5.370	394.27	21.80
高风险区	5.370~9.588	341.38	18.88

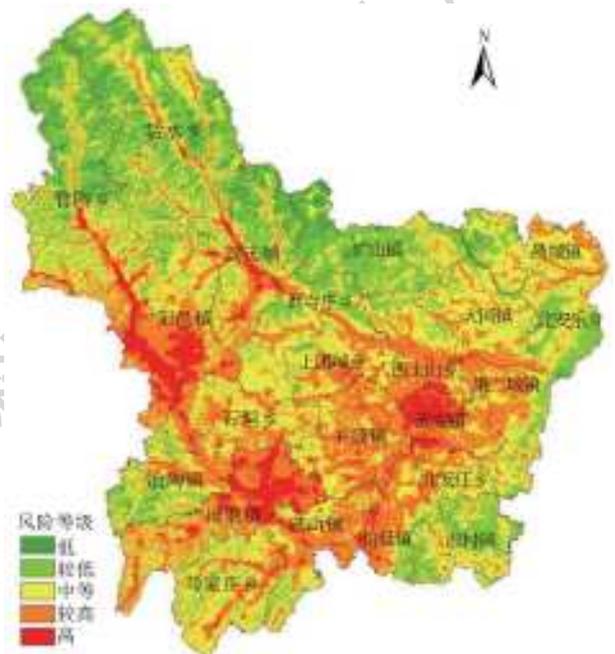


图 6 洪涝灾害风险等级

Fig. 6 Map of flood disaster risk assessment of Wu'an City

从洪涝灾害风险综合评价的结果可以看出,研究区内洪灾风险分布整体呈现由中南部高风险区向四周逐渐递减的特点,中心地带主要乡镇向北部、东西北部乡镇的洪涝灾害风险等级逐渐降低,同时西北部山区风险等级低于中东部地区。武安市中部的午汲镇、石洞乡、西土山乡等乡镇由于地势相对较低,且所处位置距离河道较近,多雨季节时,汇集的降水不易排出,发生洪涝灾害的风险比较大,西南的马家庄乡由于致灾危险性因子的主导作用,发生洪涝灾害的风险也相对较大;武安镇、阳邑镇、伯延镇等部分地区由于河网密度高以及行洪能力差等原因,故处于风险等级处于较高水平;中等风险区主要包括西寺庄乡、上团城乡、大同镇等,原因在于这些乡镇的 3 种洪涝灾害因子的影响程度较为均衡;西北地区的活水乡、管陶乡等以及矿山镇、北安乐乡由

于所处地势较高且森林覆盖度较大,对洪涝灾害的敏感度较差,故发生洪涝灾害的可能性不高。

### 3.5 结果验证

根据武安市近 50 年历史洪涝灾害发生点分布情况和 2016 年 7 月 18 日至 20 日洪涝灾害所涉及灾害损失严重的地区及范围,并结合国土部门提供的统计数据 and 灾毁耕地图斑,对评价结果进行验证。将这些灾毁耕地图斑与风险综合评价结果图叠加分析得到,81%左右面积在本次评价结果的较高及以上风险区范围内(图 7)。通过对历史灾情数据进行统计分析,因强降雨作用造成的大规模水体汇集冲刷是武安市洪涝灾害发生的主要原因,降水汇入河道形成洪峰,对流域内乡镇造成重大损失。武安市近 50 年发生洪涝灾害 120 余次,南北洺河流域沿岸各乡镇在汛期极易发生洪涝灾害,特别是阳邑镇、武安镇、徘徊镇等部分地区发生洪涝灾害的频次较高,且灾情较为严重。贺进镇、团城乡、大同镇、伯延镇、午汲镇的洺河沿岸曾出现不同程度的洪涝灾害。通过使用历史灾情数据对评价结果进行验证,本文提出的武安市洪涝灾害评估结果与实际情况一致性较高,可为防汛救灾的各有关部门在宏观决策上提供较为科学的依据。



图 7 历史洪涝灾害情况在较高以上等级风险区分布  
Fig. 7 Distribution map of historical flood disasters in high risk areas

## 4 结论

(1)武安市洪涝灾害致灾危险性、灾害敏感性和

防减灾能力在空间地域分布上均表现出明显的差异特征。致灾危险性从西南向东部、西北部逐渐递减;灾害敏感性自西向东逐渐增加,中部地区较为敏感,武安市内两条主要季节性河流的两侧区域,其敏感性程度较高武安市防减灾能力整体处于中等较高水平,由于经济发展水平存在差异,防减灾能力偏弱地区集中在西北部的活水乡和管陶乡以及西南的马家庄乡。

(2)武安市洪涝灾害风险分布整体呈现由中南部高风险区向四周逐渐递减的特点,同时西北部山区风险等级低于中东部和西南地区,具体来说:一是,河谷风险等级突出,洺河沿岸地区的风险要高于其他地区;二是,平原风险等级明显,平原区由于易出现洪水汇入,且敏感性强的特点,易出现洪涝灾害;三是,农耕区域植被对于地表水分的吸附性和季节性差异,以及大多处于盆地的地形特点,决定了其风险等级要高于林草区域。综合来看,全市约 67%以上区域为中等以上等级风险地区,这也说明了洪涝灾害对于武安市的社会、经济和生态发展整体影响较大。

洪涝灾害的形成和发展是一个复杂的系统,是气候、地理等自然要素和人类活动、经济发展等社会经济要素共同作用的结果,并且处于不断地变化当中,对于影响因子的确定和评价指标的选取,由于资料收集不是非常准确、完善,完全定量地分析洪涝灾害风险有一定难度。另外,如何在 GIS 技术支持下对社会经济因素指标进行更精确化处理,也是今后研究中需要改进的重要方向。

### 参考文献(References):

- [1] 王劲峰,陈述彭,陈贤章,等. 中国自然灾害影响评价方法研究 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993. (WANG J F, CHEN S P, CHEN X Z, et al. Methodology for assessing natural disaster risk of China [M]. Beijing: China Science And Technology Press, 1993. (in Chinese))
- [2] 樊高峰,何月,顾俊强,等. 基于 GIS 的浙江省暴雨灾害及其危险性评价[J]. 中国农学通报, 2012, 28(32): 293-299. (FAN G F, HE Y, GU J Q, et al. The rainstorm disaster and its risk assessment based on GIS in Zhejiang Province [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(32): 293-299. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1000-6850.2012.32.051.
- [3] 黄大鹏,刘闯,彭顺风. 洪灾风险评价与区划研究进展 [J]. 地理科学进展, 2007, 26(4): 11-22. (HUANG D P, LIU C, PENG S F. Progress on assessment and

- regionalization of flood risk[J]. Progress in Geography, 2007, 26(4): 11-22. (in Chinese) DOI: 10. 11820/dlkxjz. 2007. 04. 004.
- [4] RICHARDS B D. 洪水的估算与控制[M]. 北京: 水利电力出版社, 1958: 16-31. (RICHARDS B D. Flood estimation and control[M]. Beijing: China Water & Power Press, 1958: 16-31. (in Chinese))
- [5] 程卫帅, 陈进, 刘丹. 洪灾风险评估方法研究综述[J]. 长江科学院院报, 2010, 27(9), 17-24. (CHENG W S, CHEN J, LIU D. Review on flood risk assessment[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2010, 27(9), 17-24. (in Chinese)) DOI: 10. 3969/j. issn. 1001-5485. 2010. 09. 005.
- [6] 万昔超, 殷伟量, 孙鹏, 等. 基于云模型的暴雨洪涝灾害风险分区评价[J]. 自然灾害学报, 2017, 26(4): 77-83. (WAN X C, YIN W L, SUN P, et al. Risk division assessment of rainstorm-flood disasters based on cloud model[J]. Journal of Natural Disasters, 2017, 26(4): 77-83. (in Chinese)) DOI: 10. 13577/j. jnd. 2017. 0409.
- [7] 程先富, 郝丹丹. 基于 OWA-GIS 的巢湖流域洪涝灾害风险评价[J]. 地理科学, 2015, 35(10): 1312-1317. (CHENG X F, HAO D D. Flood risk assessment in Chaohu basin based on OWA-GIS[J]. Scientia Geographica Sinica, 2015, 35(10): 1312-1317. (in Chinese)) DOI: 10. 13249/j. cnki. sgs. 2015. 10. 014.
- [8] 黄河, 范一大, 杨思全, 等. 基于多智能体的洪涝风险动态评估理论模型[J]. 地理研究, 2015, 34(10): 1875-1886. (HUANG H, FAN Y D, YANG S Q, et al. A multi-agent based theoretical model for dynamic flood disaster risk assessment[J]. Geographical Research, 2015, 34(10): 1875-1886. (in Chinese)) DOI: 10. 11821/dlyj20151006.
- [9] 卢珊, 高红燕, 张宏芳. 基于信息扩散方法的秦岭北麓汛期暴雨洪涝灾害风险评估[J]. 中国农学通报, 2015, 31(29): 235-240. (LU S, GAO H Y, ZHANG H F. Risk assessment of rainstorm and flood disasters in flood season in the Northern Foot of Qingling Mountain based on information diffusion method[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2015, 31(29): 235-240. (in Chinese)) DOI: doi: 10. 11924/j. issn. 1000-6850. casb15040186.
- [10] 段光耀, 赵文吉, 宫辉力. 基于遥感数据的区域洪涝风险评估改进模型[J]. 自然灾害学报, 2012, 21(4): 57-61. (DAUN G Y, ZHAO W J, GONG H L. Improved model of regional flood disaster risk assessment based on remote sensing data[J]. Journal of Natural Disasters, 2012, 21(4): 57-61. (in Chinese)) DOI: 10. 13577/j. jnd. 2012. 0409.
- [11] 高伟, 沈秋, 李梦璠, 等. 基于多源遥感数据的洪涝淹没范围时序监测分析[J]. 测绘与空间地理信息, 2018, 41(7): 8-10, 14. (GAO W, SHEN Q, LI M F, et al. Analysis of time-serial monitoring of flood extent based on multi-source remote sensing data[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2018, 41(7): 8-10, 14. (in Chinese))
- [12] 潘耀忠, 史培军. 区域自然灾害系统基本单元研究—I: 理论部分[J]. 自然灾害学报, 1997, 6(4): 1-9. (PAN Y Z, SHI P J. Research on the basic unit of regional natural disaster system; Part 1: Theory[J]. Journal of Natural Disaster, 1997, 6(4): 1-9. (in Chinese)) DOI: 10. 1007/BF02951625.
- [13] 孙绍骋. 灾害评估研究内容与方法探讨[J]. 地理科学进展, 2001, 20(2): 122-130. (SUN S C. A study on the contents and methods of disaster assessment[J]. Progress In Geography, 2001, 20(2): 122-130. (in Chinese)) DOI: 10. 11820/dlkxjz. 2001. 02. 004.
- [14] Z L WANG, H L MA, C G LAI. Set pair analysis model based on GIS to evaluation for flood damage risk[J]. Procedia Engineering, 2012, (28): 196-201. DOI: 10. 1016/j. proeng. 2012. 01. 705.
- [15] 周成虎. 洪水灾害评估信息系统研究[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993. (ZHOU C H. On flood hazard evaluation information system [M]. Beijing: China Science And Technology Press, 1993. (in Chinese))
- [16] CHAN C W, PARKER D J. Response to dynamic flood hazard factors in peninsular Malaysia[J]. The Geographical Journal, 1996, 162(3): 313-325.
- [17] 莫建飞, 陆甲, 李艳兰, 等. 基于 GIS 的广西洪涝灾害孕灾环境敏感性评估[J]. 灾害学, 2010, 25(4): 33-37. (MO J F, LU J, LI Y L, et al. GIS-based sensitivity assessment on environment of developing flood hazards in Guangxi Province[J]. Journal of Catastrophology, 2010, 25(4): 33-37. (in Chinese)) DOI: 10. 3969/j. issn. 1000-811X. 2010. 04. 007.
- [18] 谭跃进, 陈英武, 易进先, 等. 系统工程原理[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1999. (TAN Y J, CHEN Y W, YI J X, et al. System engineering principle[M]. Changsha: National University of Defense Technology Press, 1999. (in Chinese))
- [19] 许树柏. 层次分析法原理[M]. 天津: 天津大学出版社, 1998. (XU S B. Principle of analytic hierarchy process[M]. Tianjin: Tianjin University Press, 1998. (in Chinese))
- [20] 张念强. 基于 GIS 的鄱阳湖地区洪水灾害风险评估[D]. 南昌: 南昌大学, 2006. (ZHANG N Q. Evaluation of flood risk in poyang lake region basing on GIS[D]. Nanchang: Nanchang University, 2006. (in Chinese)) DOI: 10. 7666/d. y928992.

(下转第 68 页)

- [24] 李义华,杜康,周洁. 基于改进灰色马尔科夫模型的木材需求量预测[J]. 中南林业科技大学学报,2017,37(12):133-138. (LI Y H, DU K, ZHOU J. Prediction of the wood demand by improved grey Markov mode [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology,2017,37(12):133-138. (in Chinese)) DOI:10.14067/j.cnki.1673-923x.2017.12.021.
- [25] 段智力,牛冬平. 改进灰色 GM(1,1)模型及其应用[J]. 通化师范学院学报,2017,38(12):34-36. (DUAN Z L, NIU D P. Improved grey GM(1,1) model and its Application [J]. Journal of Tonghua Normal University,2017,38(12):34-36. (in Chinese)) DOI:10.13877/j.cnki.cn22-1284.2017.12.007.
- [26] 龚日朝,罗钰婕,王芳,等. 湖南旱灾灰色灾变预测模型与实证研究[J]. 湖南科技大学学报(社会科学版),2010,13(1):86-90. (GONG R C, LUO Y J, WNAG F, et al. On drought disaster gray prediction model in Hunan and its empirical studies [J]. Journal of Hunan University of Science & Technology(Social Science Edition),2010,13(1):86-90. (in Chinese))
- [27] 陈芳,孙亚腾. 弱化缓冲算子修正的民航不安全事件离散灰色预测[J]. 安全与环境学报,2017,17(3):1022-1025. (CHEN F, SUN Y T. Discrete grey prediction model of the reckless incidents in the civil aviation based on the modification of weakening the buffer operator [J]. Journal of Safety and Environment,2017,17(3):1022-1025. (in Chinese)) DOI:10.13637/j.issn.1009-6094.2017.03.041.
- [28] 程欢,姚建,明星,等. 等维动态递补灰色模型改进及应用研究[J]. 灌溉排水学报,2016,35(5):108-112. (CEHNG H, YAO J, MING X, et al. Improvement and application of equi-dimensional dynamic supplement gray model [J]. Journal of Irrigation and Drainage,2016,35(5):108-112. (in Chinese)) DOI:10.13522/j.cnki.ggps.2016.05.020.
- [29] 邓丽仙,杨绍琼. 灰色系统理论在滇池流域干旱预测中的应用[J]. 人民长江,2008,39(6):26-28. (DENG L X, YANG S Q. Application of grey system theory in drought prediction in Dianchi Lake basin [J]. Yangtze River,2008,39(6):26-28. (in Chinese))
- [30] 刘冲,杨翠,许兰喜. 收入与物价关系的灰预测分析[J]. 数学的实践与认识,2015,45(10):28-37. (LIU C, YANG C, XU L X. Grey prediction analysis of the relationship between income and price [J]. Mathematics in Practice and Theory,2015,45(10):28-37. (in Chinese))

(上接第 44 页)

- [21] 靖凤伟,杨永国,邓世赞,等. 洪水灾害模拟及评估[J]. 地理空间信息,2011,9(4):122-124. (JING F W, YANG Y G, DENG S Z, et al. Simulation and evaluation of flood disaster [J]. Geospatial Information,2011,9(4):122-124. (in Chinese)) DOI:10.3969/j.issn.1672-4623.2011.04.044.
- [22] 付意成,魏传江,王启猛,等. 区域洪灾风险评价体系研究[J]. 灾害学,2009,24(3):27-32. (FU Y C, WEI C J, WANG Q M, et al. Study on regional flood risk assessment system [J]. Journal of Catastrophology,2009,24(3):27-32. (in Chinese)) DOI:10.3969/j.issn.1000-811X.2009.03.006.
- [23] HALL J W, SAYERS P B, DAWSON R J. National scale assessment of current and future flood risk in England and Wales [J]. Natural Hazards,2005(36):147-165. DOI:10.1007/s11069-004-4546-7.
- [24] DILLEY M, CHEN R S, Deichmann U, et al. Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Analysis [M]. Washington: The World Bank,2005. DOI:doi:http://dx.doi.org/.