

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2022.03.001

基于 GIS 的大连市暴雨洪涝灾害综合风险评估

郑德凤,高 敏,李 钰,乌日娜

(辽宁师范大学地理科学学院,辽宁 大连 116029)

摘要: 利用大连市日降水数据和社会经济数据,采用层次分析法(AHP)和熵权法,结合 GIS 技术,从暴雨洪涝灾害的危险性、暴露性、脆弱性和防灾减灾能力 4 个因子入手,选取 18 个暴雨洪涝灾害综合风险评价指标建立大连市暴雨洪涝灾害综合风险评估模型,对大连市暴雨洪涝灾害的综合风险进行评估。结果表明:从暴雨洪涝灾害危险性空间分布来看,大连市具有东北部、西南部地区较高,中部地区较低的特点;北部地区暴雨洪涝灾害暴露性和防灾减灾能力均较低,而南部区域较高;西南部、中部地区暴雨洪涝灾害脆弱性较高,东北部、南部地区脆弱性较低。大连市暴雨洪涝灾害综合风险等级以中风险为主,占全市总面积的 41.3%,从大连市的东北到西南方向呈片状分布;其次是低风险区,占全市总面积的 20.93%,主要分布在庄河市的西北部和瓦房店市;高风险区域面积小,仅占全市总面积的 0.72%,集中分布在沙河口区 and 长海县。沙河口区 and 长海县作为大连市暴雨洪涝灾害的高风险区,在极端暴雨条件下极有可能发生洪涝灾害,已成为防洪工作的重点关注地区。

关键词: 暴雨洪涝灾害;风险评估;AHP;熵权法;综合风险;大连市

中图分类号: P426.616 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2022)03-0001-08

Comprehensive risk assessment of rainstorm-flood disaster in Dalian City based on GIS

ZHENG Defeng, GAO Min, LI Yu, WU Rina

(School of Geography, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China)

Abstract: Taking the Dalian City as the research area, based on the GIS technology, the analytic hierarchy process (AHP) and entropy weight method (EWM) were introduced to evaluate the comprehensive risk of rainstorm-flood disaster by using the daily precipitation data and socio-economic data of the Dalian City. 18 indicators in the risk assessment of rainstorm-flood disaster were selected to build the comprehensive risk assessment model of rainstorm-flood disaster in Dalian City from four factors, consisting of the hazard, exposure, vulnerability and emergency response & recover capability. The results of comprehensive risk assessment showed that the spatial hazard distribution of rainstorm-flood disaster in Dalian City has the characteristics of being higher in the northeast and southwest and lower in the middle. The exposure and emergency response & recover capability of rainstorm-flood disaster were lower in the northern Dalian, but higher in the southern Dalian. The vulnerability of rainstorm-flood disaster was higher in the southwest and central Dalian, while that was lower in the northeast and southern Dalian. The comprehensive risk grades of rainstorm-flood disaster in Dalian City were mainly medium risk, accounting for 41.3% of the whole study area, and they were distributed in patches from the northeast to the southwest. The low risk areas, accounting for 20.93% of the total area, were mainly distributed in the northwest of Zhuanghe and Wafangdian, while the high-risk areas were small, only accounting for 0.72% of the whole area, in the Shahekou District and the Changhai County. As the high-risk areas of rainstorm-flood disaster in Dalian City, they are extremely likely to encounter the flood disaster under extreme rainstorm conditions and have become key areas for the flood control with more attentions.

Key words: rainstorm-flood disaster; risk assessment; AHP; EWM; comprehensive risk; Dalian City

受极端气候的影响,洪涝灾害发生的频次、强度以及灾损程度日趋严峻^[1],暴雨洪涝灾害已成为社会普遍关注的重点问题之一^[2-3]。近年来,暴雨洪涝灾害事件严重威胁了城市化进程和社会稳定^[4-5]。洪涝灾害风险评估是落实风险管理的重要内容,因此,暴雨洪涝灾害分析具有理论和实践的双重意义。在气候变暖的背景下,极端暴雨天气具有更大的不确定性,因此暴雨洪涝灾害的研究面临极大的挑战^[6]。目前,国内外已

基金项目: 国家自然科学基金(42077272);辽宁省教育厅自然科学研究项目(LJ2020013)

作者简介: 郑德凤(1970—),女,教授,博士,主要从事自然地理、资源环境及地质灾害研究。E-mail: defengzheng@lnnu.edu.cn

引用本文: 郑德凤,高敏,李钰,等. 基于 GIS 的大连市暴雨洪涝灾害综合风险评估[J]. 河海大学学报(自然科学版),2022,50(3):1-8.
ZHENG Defeng, GAO Min, LI Yu, et al. Comprehensive risk assessment of rainstorm-flood disaster in Dalian City based on GIS[J].
Journal of Hohai University(Natural Sciences),2022,50(3):1-8.

有众多学者运用多种方法对城市暴雨洪涝灾害展开研究,并取得了一定的研究成果^[7-8]。暴雨洪涝灾害的研究方法以构造水文水力学模型^[9-10]、随机森林法^[11]、灰色关联分析法^[12]、层次分析法(AHP)^[13]等方法为主。灰色关联分析法是通过数据的相似或相异程度来反映其关联程度的强弱,其确定的各项指标的最优值具有一定的主观性和不确定性。相比之下,AHP不需要确定各项指标的最优值,通过定性与定量相结合进行决策分析。本文结合熵权法^[13]和AHP,对城市暴雨洪涝灾害的综合风险进行量化评估。

大连市是东北地区夏季风雨带控制最早、消退最晚的地区,也是东北地区台风登陆的前沿阵地,极易引发洪涝灾害^[14-15]。王秀萍等^[16]对大连地区暴雨气候特征分析结果表明,1964—2013年大连地区的年暴雨日数与暴雨强度均呈现弱上升趋势,且主汛期(7—8月)是暴雨洪涝灾害高发期。对已有文献分析表明,关于大连市暴雨洪涝灾害风险的研究还较少,且研究内容多集中在典型暴雨天气的分析。因此,本文基于大连市气象资料和社会经济数据,从自然灾害风险形成的危险性、暴露性、脆弱性和防灾减灾能力(以下简称“四因子”)入手,构建大连市暴雨洪涝灾害综合风险评估模型,对大连市暴雨洪涝灾害综合风险进行评价,以期为大安市防洪减灾工作提供参考。

1 研究区概况

大连市(图1)属于暖温带大陆性半湿润季风气候,降水主要集中在夏季,多以暴雨形式出现。大连市境内的河流具有流程短、河道窄、汛期易暴涨暴落等特点。20世纪80年代以来,受自然条件和人为因素的双重影响,极端降雨的强度和频次显著增加,在城市地区表现得更加明显^[17]。2018年8月20日,受台风“温比亚”袭击,强暴雨天气导致大连市多处路段积水,数万公顷作物发生内涝,经济损失严重。作为中国北方沿海重要的发展城市,暴雨洪涝灾害发生的次数和造成的损失直接影响了大连市的经济发展和社会安定。因此,在极端降水事件趋于增多的背景下,大连市有必要进行暴雨洪涝灾害的风险评估。

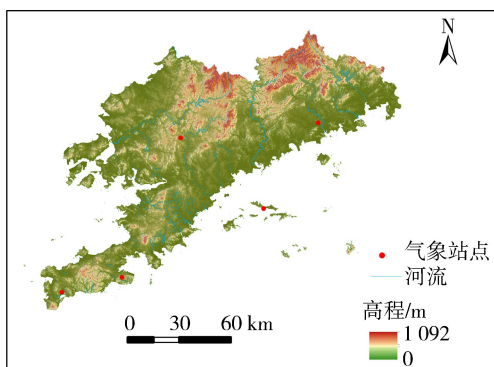


图1 大连市地形和气象站点分布

Fig.1 Topography and meteorological station distribution in Dalian City

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

综合考虑大连市暴雨洪涝灾害的自然和社会环境特征,大连市暴雨洪涝灾害综合风险评估的数据主要包括:①1987—2016年的气象数据(由中国气象网站中国地面气候资料日值数据集(V3.0)的每日降水数据组成(<https://data.cma.cn>));②2015年的DEM数据(来源于地理空间数据云提供的(ASTER GDEM 30 m×30 m)DEM数字高程数据(<https://www.gscloud.cn>));③2015年6月的水体数据(通过地理空间数据云提供的遥感影像数据获取(<https://www.gscloud.cn>));④大连市2015年(30 m×30 m)的土地利用数据(来源于地理国情监测云(<https://www.dsac.cn>));⑤社会经济数据(来源于2016年大连市统计年鉴(<https://www.stats.dl.gov.cn>));⑥基础地理信息数据(来源于国家基础地理信息中心(<https://www.ngcc.cn>))。

2.2 暴雨洪涝灾害综合风险评估指标选取

基于大连市的地理环境特征和数据的可获得性,从暴雨洪涝灾害的危险性(H)、暴露性(E)、脆弱性(V)和防灾减灾能力(R)4个方面选取了18个暴雨洪涝灾害综合风险评价指标。

2.2.1 危险性

危险性指标体系包括致灾因子和孕灾环境两方面。

2.2.1.1 致灾因子

连续性的集中降雨是导致大连市暴雨洪涝灾害发生的主要原因。根据1987—2016年中国地面气候资料日值数据集(V3.0)的每日降雨数据,计算得到综合等级暴雨过程频次(H_1)和降水变率(H_2)两个子指标作为致灾因子。

暴雨过程和持续时间的定义和标准源自《暴雨年鉴(2017)》^[18]。若大连地区1个及以上站点开始出现降水,且日降雨量大于等于50 mm,则判定大连市开始出现暴雨,为暴雨过程首日;1次暴雨过程开始之后,

大连市单日不再出现 1 个及以上站点日降雨量大于等于 50 mm 的前 1 日为当次暴雨过程结束日;一次暴雨过程开始日至暴雨过程结束日之间持续的天数称为一次暴雨过程持续时间^[19]。

统计大连市所有气象站 1987—2016 年中每次暴雨过程的累计降水量,根据暴雨过程持续时间,分别建立持续 1 d、2 d、3 d、4 d、5 d、6 d 及以上暴雨过程累计降水量升序序列。运用百分位法^[6],将每个序列的后 40% 的暴雨过程累计降水量分别按第 60%、80%、90%、95%、98% 位从低到高划分为 5 个等级,结果如表 1 所示。由于统计数据中持续 6 d 及以上的暴雨过程次数较少,因此缺少 4 级和 5 级的分级标准。

表 1 暴雨持续时间的致灾暴雨强度分级标准
Table 1 Classification standard of disaster-induced rainstorm intensity for rainstorm duration

持续 时间/d	不同等级暴雨过程累计降水量/mm					样本数
	1 级(>60% ~80%)	2 级(>80% ~90%)	3 级(>90% ~95%)	4 级(>95% ~98%)	5 级(>98%)	
1	[72.2,90.2)	[90.2,116.4)	[116.4,144.2)	[144.2,176.1)	[176.1,∞)	70
2	[85.7,115.0)	[115.0,133.1)	[133.1,149.0)	[149.0,162.8)	[162.8,∞)	113
3	[109.5,144.7)	[144.7,177.9)	[177.9,179.2)	[179.2,245.0)	[245.0,∞)	65
4	[119.1,147.4)	[147.4,166.0)	[166.0,184.8)	[184.8,221.6)	[221.6,∞)	29
5	[102.1,130.4)	[130.4,130.8)	[130.8,140.7)	[140.7,163.8)	[163.8,∞)	12
6	[97.7,123.0)	[123.0,128.2)	[128.2,∞)			9

统计每个站点在不同致灾暴雨强度等级的暴雨过程次数,得到各站点不同致灾暴雨强度等级的暴雨过程频次(表 2)。利用 ArcGIS 对各级别的暴雨过程频次进行插值计算,并将 5 个级别的暴雨过程频次加权求和,得到大连市综合等级暴雨过程频次。

降水变率是指降水事件可能的波动或者震荡的范围。在全球变暖背景下,降水变率的变化会影响社会和生态系统的气候恢复能力,是应对当前气候变化必须要考虑的重要因素^[20]。因此,利用式(1)计算大连市所有气象站点 1987—2016 年的平均降水变率有利于全面考虑大连市暴雨洪涝灾害的综合风险:

$$Q = \frac{\sum_{t=1}^k |G_t - G|}{kG}$$

(1)

式中: Q 为多年平均降水变率; G_t 为第 t 年某时段内实际降水量($t=1,2,\cdots,k$); G 为多年平均降水量。

2.2.1.2 孕灾环境

大连市暴雨洪涝灾害的孕灾环境主要考虑了水文环境和地貌环境,具体指标由土地利用类型(H_3)、坡度(H_4)、高程(H_5)、距河流距离(H_6)、距面状水体距离(H_7)构成。彭建等^[21]研究表明,由于内部组成及耐水特性存在差异,所以不同土地类型对于暴雨洪涝灾害受到的影响不同。低海拔地区比高海拔地区更容易发生洪涝灾害,坡度越陡的地区越不容易发生洪涝灾害^[22]。本文选用距河流的距离和距面状水体的距离来度量大连市暴雨洪涝灾害受河流影响的程度。

2.2.2 暴露性

暴露性是指暴露在孕灾环境和致灾因子中的承灾体的数量、种类和价值量。大连市经济发展迅速,人口密集,对于暴雨洪涝灾害的暴露程度较高,本文从人口暴露性和经济暴露性两方面来选取暴露性指标,包括人口密度(E_1)、第一产业地均生产总值(E_2)、第二产业地均生产总值(E_3)和第三产业地均生产总值(E_4)。一个地区的人口密度和 GDP 越高,该地区由于暴雨洪涝灾害受到的损失越高^[23]。

2.2.3 脆弱性

脆弱性也称易损性,是指承灾体本身的内在属性对承灾体遭受损失的作用,其作用越大,脆弱性越大,承灾体的灾害损失也越大。通常选取的指标有年龄结构、公民受教育程度、易受灾耕地面积所占比例等。本文选择的暴雨洪涝灾害脆弱性指标包括 0~14 岁及 65 岁以上人口占总人口的比例(V_1)、中学生数量占总人口的比例(V_2)、第三产业生产总值占国民生产总值的比例(V_3)和谷物农作物面积占种植业面积的比例(V_4)。受

数据获取限制,用中学生数量占总人口比例代表受教育程度,受教育程度越高,则人口脆弱性越小。在农业生产中大连市谷物农作物播种面积较大,易受到暴雨洪涝灾害的影响^[24]。第三产业受自然条件影响小,因此,用 V_3 作为经济脆弱性的负向指标来衡量各地区的经济脆弱性。

2.2.4 防灾减灾能力

防灾减灾能力是指承灾体的灾前准备能力、灾中应急能力和灾后恢复能力。常用指标有人均 GDP、避难所数量、人均医疗机构床位数占有量等。由于数据获取的局限性,选取人均 GDP (R_1) 来表征灾前准备能力,选取单位面积拥有的村、居委会个数 (R_2) 作为灾中应急能力指标,选取人均医疗机构床位数占有量 (R_3) 代表灾后恢复能力。

2.2.5 标准化处理

由于暴雨洪涝灾害综合风险评估所选取的指标含义和量纲各不相同,需将指标数据进行标准化处理,标准化数值能更有效地反映指标对暴雨洪涝灾害风险影响的大小。正、负向指标标准化的计算公式分别为

$$Y_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \tag{2}$$

$$Y_{ij} = \frac{X_{\max} - X_{ij}}{X_{\max} - X_{\min}} \tag{3}$$

式中: X_{ij} 、 Y_{ij} 分别为第 i 个指标 ($i=1,2,\cdots,m$) 第 j 个评价对象 ($j=1,2,\cdots,n$) 的原始指标值和标准化值; $X_{\max}$ 、 $X_{\min}$ 分别为 m 个评价指标的最大值和最小值。

2.3 暴雨洪涝灾害综合风险评估指标权重确定

2.3.1 层次分析法确定主观权重

层次分析法(AHP)是 Saaty^[25]提出的一种定性和定量相结合的权重分析与决策方法。本文利用 AHP 来确定各指标的主观权重。确定权重的具体步骤如下:①构建递阶层次结构模型;②采用 1~9 及其倒数标度法构造指标判断矩阵;③一致性检验,当 $C_R < 0.1$ 时,表示判断矩阵的一致性合理的,反之,需要重新进行一致性检验^[26];④计算指标主观权重 W_{Ai} 。

2.3.2 熵权法确定客观权重

熵权法是利用已有的客观数据得到评价指标权重的客观赋权法,近年来在国内外得到广泛的应用^[27-28]。评价指标的熵值越小,表示指标的变异程度越大,提供的信息量越大,则该指标的权重也越大。设大连市评价对象数为 n ,评价指标个数为 m ,指标矩阵为

$$Z = (r_{ij})_{m \times n}$$

熵权法确定评价指标权重的计算公式为

$$P_{ij} = - \frac{Y_{ij}}{\sum_{j=1}^m Y_{ij}} \tag{4}$$

$$S_i = - \ln(n)^{-1} \sum_{j=1}^n P_{ij} \ln P_{ij} \tag{5}$$

$$W_{Si} = \frac{1 - S_i}{\sum_{i=1}^m (1 - S_i)} \tag{6}$$

式中: S_i 为第 i 个指标的熵;当 $P_{ij}=0$ 时,令 $P_{ij} \ln P_{ij}=0$; $\sum_{i=1}^m S_i = 1$; W_{Si} 为第 i 个指标的权重。

2.3.3 综合权重

通过 AHP 和熵权法分别得到综合风险评价指标的主观权重和客观权重,采用将主、客观权重相结合的方法计算大连市暴雨洪涝灾害各综合风险评价指标的综合权重 W_i :

$$W_i = \frac{\sqrt{W_{Ai} W_{Si}}}{\sum_{i=1}^m \sqrt{W_{Ai} W_{Si}}} \tag{7}$$

权重结果如表 3 所示。

表 3 大连市暴雨洪涝灾害综合风险评估指标权重值

Table 3 Index weights for comprehensive risk assessment of rainstorm-flood disaster in Dalian City

一级指标		二级指标		三级指标		
指标	权重	指标	权重	指标 j	单位	指标属性 权重
危险性(H)	0.433	致灾因子	0.500	综合等级暴雨过程频次(H_1)	次	正向 0.400
				降水变率(H_2)		正向 0.100
				土地利用类型(H_3)		正向 0.194
		孕灾环境	0.500	坡度(H_4)	($^{\circ}$)	负向 0.116
				高程(H_5)	m	负向 0.094
				距河流距离(H_6)	m	负向 0.060
				距面状水体距离(H_7)	km	负向 0.036
暴露性(E)	0.239	人口暴露性	0.311	人口密度(E_1)	人/km ²	正向 0.311
				第一产业地均生产值(E_2)	亿元	正向 0.495
		经济暴露性	0.689	第二产业地均生产值(E_3)	亿元	正向 0.133
				第三产业地均生产值(E_4)	亿元	正向 0.061
脆弱性(V)	0.239	人口脆弱性	0.627	0~14 岁及 65 岁以上人口占总人口的比例(V_1)		正向 0.467
				中学生数量占总人口的比例(V_2)		负向 0.160
		经济脆弱性	0.373	第三产业生产值占国民生产总值的比例(V_3)		负向 0.278
				谷物农作物面积占种植业面积的比例(V_4)		正向 0.095
防灾减灾能力(R)	0.088	个人准备	0.463	人均 GDP(R_1)	元	正向 0.463
		救灾配置	0.245	单位面积拥有的村、居委会个数(R_2)	个/km ²	正向 0.245
		医疗资源	0.292	人均医疗机构床位数占有量(R_3)	张	正向 0.292

2.4 大连市暴雨洪涝灾害综合风险评估模型的建立

史培军^[29]提出的灾害系统功能体系,为自然灾害的风险评估理论提供了主要思路。张继权等^[30-31]在灾害系统理论的基础上提出自然灾害风险“四因子”理论,对灾害系统进行风险评估,即对致灾因子的危险性、承灾体的暴露性和脆弱性以及防灾减灾能力进行灾害风险评估。本文研究的暴雨洪涝灾害综合风险是指致灾因子和孕灾环境的危险性、承灾体的暴露性和脆弱性以及防灾减灾能力 4 个方面的综合函数。大连市暴雨洪涝灾害综合风险评估模型可由下式计算得到:

$$F = X_H^{W_H} X_E^{W_E} X_V^{W_V} (1 - X_R)^{W_R}$$
 (8)

其中

$$X = \sum_{i=1}^u w_i x_i$$

式中: F 为暴雨洪涝灾害综合风险指数; X_H 、 X_E 、 X_V 和 X_R 分别代表 H 、 E 、 V 和 R 评价指数值; W_H 、 W_E 、 W_V 和 W_R 分别代表 H 、 E 、 V 、 R 的权重; x_i 、 w_i 分别为各单项评价选用的指标标准化数据和相应的权重; u 为各单项评价的指标个数。

3 结果与分析

3.1 危险性

大连市暴雨洪涝灾害的危险性评价结果如图 2(a) 所示,空间分布上无明显的界限。总体来看,东北部、西南部较高,中部较低。高危险区和较高危险区分别占总面积的 17.04% 和 25.48%,主要分布在庄河市的东部、东南部和旅顺口区南部,这些地区因暴雨频繁,建设用地和耕地面积占比大,导致暴雨洪涝灾害的危险性处于较高水平。低危险区占大连市总面积的 8.88%,主要分布在瓦房店市和长海县,这些地区降水变率小,林业资源丰富,发生暴洪涝灾害的危险性较低。

3.2 暴露性

暴露性表现了大连市人口密度和经济发展特征。如图 2(b) 所示,大连市暴雨洪涝灾害的高暴露区主要分布在沙河口区和长海县,这与沙河口区人口稠密、长海县第一产业地均生产值高密切相关。大连市北部地区人口密度和经济发展的暴露程度较低,其中瓦房店市暴露性最低,因该地山区面积大,经济发展较缓慢。

3.3 脆弱性

由图 2(c) 可见,大连市暴雨洪涝灾害的脆弱性等级空间分布趋势呈现西南部、中部地区较高,东北部、南部地区较低的特点。高脆弱区主要分布在瓦房店市、普兰店区和旅顺口区,这些地区儿童和老年人的人口

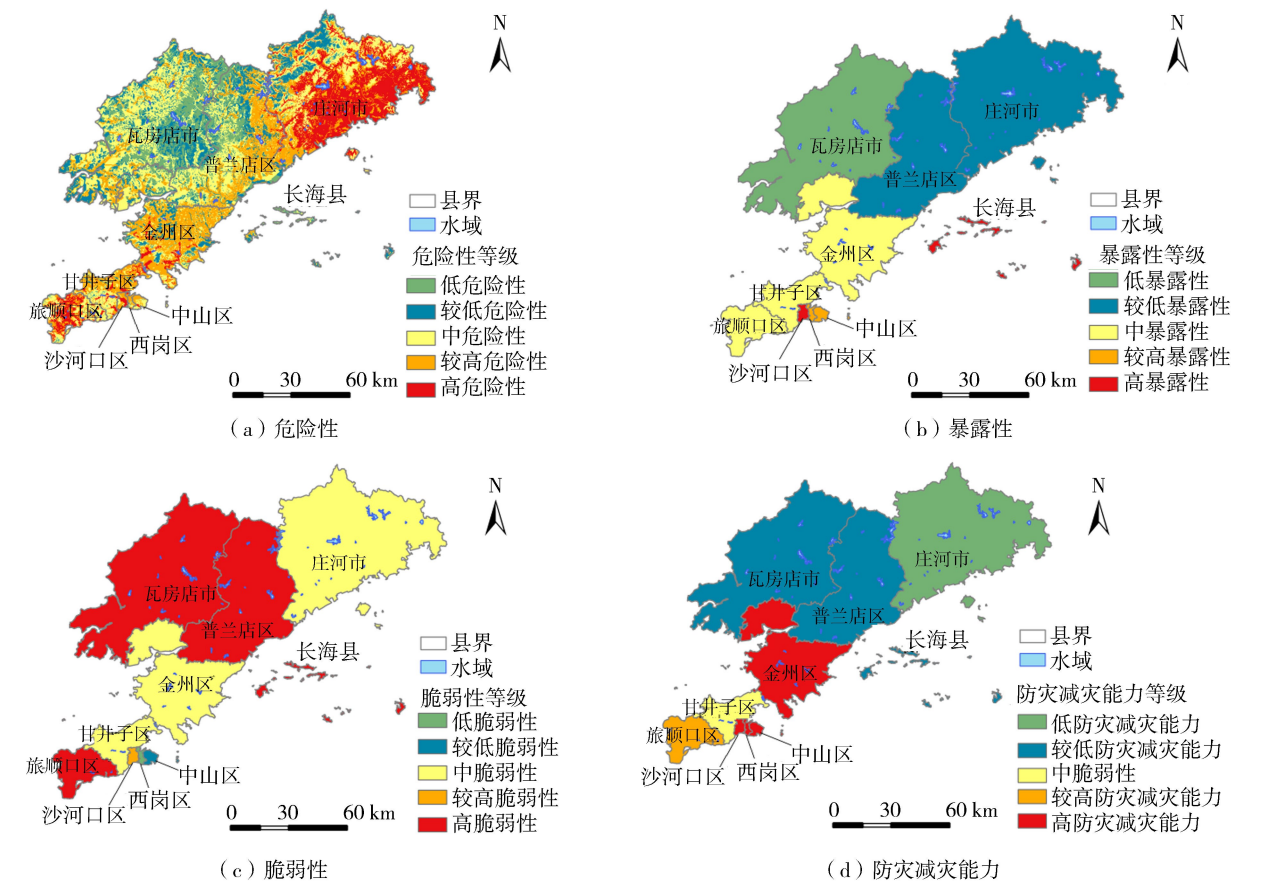


图2 大连市暴雨洪涝灾害危险性、暴露性、脆弱性及防灾减灾能力分布趋势

Fig.2 Distribution trends of hazard, exposure, vulnerability and emergency response & recover capability of rainstorm-flood disaster in Dalian City

比例大,经济发展水平较低,受损后的恢复能力和自建能力较弱。低脆弱性区和较低脆弱性区分布在第三产业发展水平高、科技发展迅速、劳动力水平高的西岗区和中山区。

3.4 防灾减灾能力

防灾减灾能力体现了社会和个人两方面对暴雨洪涝灾害的防范能力。图2(d)显示大连市暴雨洪涝灾害的防灾减灾能力等级的空间分布是北侧低、南侧高。低和较低防灾减灾能力区主要分布在大连市北部的庄河市、瓦房店市、普兰店区和长海县,这些地区经济发展速度较慢、医疗水平较差,对暴雨洪涝灾害的防范能力也较低。高防灾减灾能力区主要分布在经济发展和医疗水平较高的沙河口区、中山区、西岗区和金州区。

3.5 综合风险评估结果

将暴雨洪涝灾害的危险性值、暴露性值、脆弱性值和防灾减灾能力值及其相应权重输入暴雨洪涝灾害综合风险评估模型中,得到大连市暴雨洪涝灾害的综合风险指数值。利用GIS中的自然断点法将暴雨洪涝灾害的综合风险划分为高、较高、中、较低、低5个级别,结果如图3所示,5种风险面积占比分别为0.72%、0.65%、41.3%、36.4%和20.93%。大连市暴雨洪涝灾害综合风险以中风险为主,中风险区域占大连市总面积的41.3%,呈片状分布在大连市的东北—西南方向,多为降水变率较小,地势平缓,人口密度和第二、三产业地均生产总值较低的地区。低风险区主要分布在庄河市西北部和瓦房店市,其降水变率小,境内的林地和未利用土地面积较大。高风险区和较高风险区占总面积的1.37%,集中分布在沙河口区和长海县。

由于沙河口区降水频次高、降水变率大,加上人口密集、经济发展迅速,导致沙河口区发生暴雨洪涝灾害的危险性与承灾体的易损程度较高。虽然对于暴雨洪涝灾害的防御能力较强,但综合评估“四因子”,沙河口区仍是发生暴雨洪涝灾害的高风险地区。长海县经济发展水平低,对于暴雨洪涝灾害的灾后恢复和重建能力较低,致使长海县存在较高的暴雨洪涝灾害风险。所以,沙河口区和长海县是今后在极端暴雨天气下进行预报预测以及防洪工作的重点地区。

4 讨 论

暴雨是大连地区最主要的灾害性天气之一^[16]。在暴雨洪涝灾害的危险性评估中,除了选择以往的综合等级暴雨过程频次外,还增加了降水变率来表征危险性,以突出气象站点的降水变率带来的区域差异。在大连市暴雨洪涝灾害脆弱性评估中,结合大连市农业种植面积的实际情况,用谷物农作物面积占种植业面积的比例来代替以往研究中的易涝耕地面积比例^[31],更加准确地评估了大连市的经济脆弱性。运用“四因子”建立的暴雨洪涝灾害综合风险评估模型^[31-33]得出的大连市暴雨洪涝灾害综合风险结果与《中国气象灾害大典·辽宁卷》^[34]中 1987—2000 年的暴雨洪涝灾害主要受灾区域以及 2017 年 11 月大连市气象局公布的大连市暴雨灾害风险等级区划^[35]结果相近(图 4),符合实际情况。

由于综合风险评价指标体系中的防灾减灾能力各项指标均属于非工程措施,使得防灾减灾能力的评估不够全面。因此,在后续研究中将尽量克服其局限性,并尝试以乡镇为尺度进行研究,可以更加细化重点防范区域,以期研究成果更加符合实际。

5 结 论

a. 大连市暴雨洪涝灾害危险性的空间分布具有东北部、西南部地区较高,中部地区较低的特点。高危险区和较高危险区占大连市总面积的 42.52%,主要分布在庄河市东部、东南部和旅顺口区南部地区;低危险区占大连市总面积的 8.88%,主要分布在瓦房店市和长海县。

b. 大连市北部地区的暴雨洪涝灾害暴露性和防灾减灾能力均较低,南部地区较高。

c. 大连市西南部、中部地区暴雨洪涝灾害脆弱性较高,东北部、南部地区暴雨洪涝灾害脆弱性较低;高脆弱区主要分布在瓦房店市、普兰店区和旅顺口区;低脆弱性区和较低脆弱性区为中山区和西岗区。

d. 大连市暴雨洪涝灾害综合风险等级以中风险为主,占大连市总面积的 41.3%,从大连市的东北到西南方向呈片状分布。低风险区占全市总面积的 20.93%,主要分布在庄河市西北部和瓦房店市。高风险区域面积很小,集中分布在大连市的沙河口区 and 长海县。

参考文献:

[1] 刘永志,唐雯雯,张文婷,等. 基于灾害链的洪涝灾害风险分析综述[J]. 水资源保护,2021,37(1):20-27. (LIU Yongzhi, TANG Wenwen,ZHANG Wenting,et al. Review of flood disaster risk analysis based on disaster china[J]. Journal of Water Resources Protection,2021,37(1):20-27. (in Chinese))

[2] 刘志雨,刘玉环,孔祥意. 中小河流洪水预报报警问题与对策及关键技术应用[J]. 河海大学学报(自然科学版),2021,49(1):1-6. (LIU Zhiyu,LIU Yuhuan,KONG Xiangyi. Problems,strategies,and key technology research of flood forecasting and early warning for small and medium-sized rivers[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences),2021,49(1):1-6. (in Chinese))

[3] 施露,董增川,付晓花,等. Mike Flood 在中小河流洪涝风险分析中的应用[J]. 河海大学学报(自然科学版),2017,45(4):350-357. (SHI Lu,DONG Zengchuan,FU Xiaohua,et al. Application of Mike Flood to analysis of flood and waterlogging risks of medium and small rivers[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences),2017,45(4):350-357. (in Chinese))

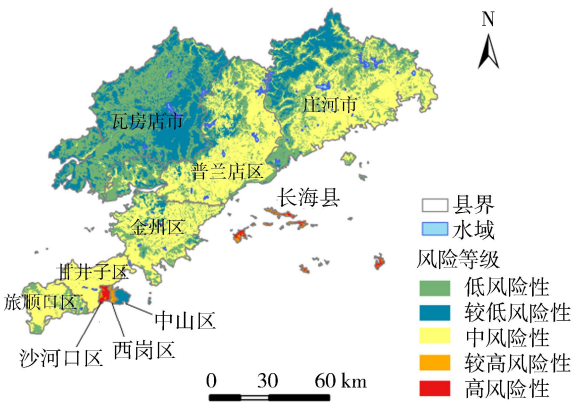


图 3 大连市暴雨洪涝灾害综合风险评估
Fig. 3 Risk assessment of rainstorm-flood disaster in Dalian City

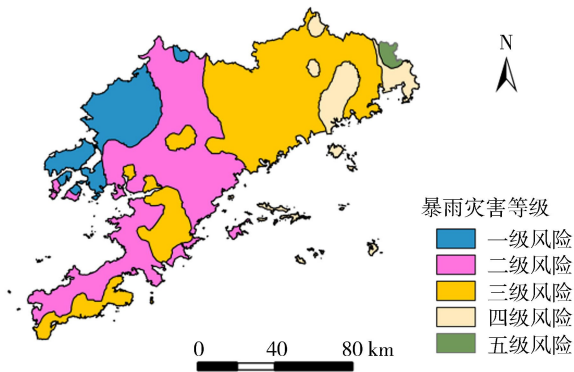


图 4 2017 年 11 月大连市暴雨灾害风险区划等级
Fig. 4 Grade map of rainstorm disaster risk zoning in Dalian City in November 2017

- [4] 黄国如,罗海婉,卢鑫祥,等. 城市洪涝灾害风险分析与区划方法综述[J]. 水资源保护,2020,36(6):1-6. (HUANG Guoru,LUO Haiwan,LU Xinxiang,et al. Study on risk analysis and zoning method of urban flood disaster[J]. Journal of Water Resources Protection,2020,36(6):1-6. (in Chinese))
- [5] 孔锋. 透视变化环境下的中国城市暴雨内涝灾害:形势、原因与政策建议[J]. 水利水电技术,2019,50(10):42-52. (KONG Feng. Perspective on urban rainstorm waterlogging disaster in China under changing environment:situation,causation and policy suggestion[J]. Journal of Water Resources and Hydropower Engineering,2019,50(10):42-52. (in Chinese))
- [6] 王辉,吴文俊,王广,等. 昆明市极端降水事件演变特征及城市效应[J]. 水资源保护,2021,37(4):61-68. (WANG Hui,WU Wenjun,WANG Guang,et al. Evolution characteristics of extreme precipitation events and its urban effect in Kunming City [J]. Journal of Water Resources Protection,2021,37(4):61-68. (in Chinese))
- [7] TANIR T,SUMI S J,DE LIMA A,et al. Multi-scale comparison of urban socio-economic vulnerability in the Washington D. C. metropolitan region resulting from compound flooding[J]. Journal of Disaster Risk Reduction,2021,61:102362.
- [8] FARIZA A,BASOFI A,PRASETYANINGRUM I,et al. Urban flood risk assessment in Sidoarjo,Indonesia,using fuzzy multi-criteria decision making[J]. Journal of Physics,Conference Series,2020,1444:012027.
- [9] 符洪恩,高艺桔,冯莹莹,等. 基于 GA-SVR-C 的城市暴雨洪涝灾害危险性预测:以深圳市为例[J]. 人民长江,2021,52(8):16-21. (FU Hong'en,GAO Yijie,FENG Yingying,et al. Hazard prediction of urban rainstorm and flood disasters based on GA-SVR-C model: case study of Shenzhen City[J]. Journal of Yangtze River,2021,52(8):16-21. (in Chinese))
- [10] 李碧琦,罗海婉,陈文杰,等. 基于数值模拟的深圳民治片区暴雨内涝风险评估[J]. 南北水调与水利科技,2019,17(5):20-28. (LI Biqu,LUO Haiwan,CHEN Wenjie,et al. Risk assessment of rainstorm waterlogging based on numerical simulation in Shenzhen Minzhi District[J]. Journal of South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology,2019,17(5):20-28. (in Chinese))
- [11] 陈军飞,董然. 基于随机森林算法的洪水灾害风险评估研究[J]. 水利经济,2019,37(3):55-61. (CHEN Junfei,DONG Ran. Risk assessment of flood disasters based on random forests[J]. Journal of Economics of Water Resources,2019,37(3):55-61. (in Chinese))
- [12] 李双,杜建括,张志伟,等. 基于灰靶模型和 GIS 的陕南暴雨洪涝灾害风险区划[J]. 人民长江,2021,52(7):17-21. (LI Shuang,DU Jiankuo,ZHANG Zhiwei,et al. Risk regionalization for flood hazard in southern Shaanxi Province based on grey target model and GIS[J]. Journal of Yangtze River,2021,52(7):17-21. (in Chinese))
- [13] 刘媛媛,王绍强,王小博,等. 基于 AHP_熵权法的孟印缅地区洪水灾害风险评估[J]. 地理研究,2020,39(8):1892-1906. (LIU Yuanyuan,WANG Shaoqiang,WANG Xiaobo,et al. Flood risk assessment in Bangladesh,India and Myanmar based on the AHP weight method and entropy weight method[J]. Journal of Geographical Research,2020,39(8):1892-1906. (in Chinese))
- [14] 徐建文,杨建莹,翁雪玲,等. 大连市暴雨灾害特征及敏感区识别[J]. 气象与减灾研究,2020,43(4):314-320. (XU Jianwen,YANG Jianying,WENG Xueling,et al. Characteristics of rainstorm disasters and identification of sensitive areas in Dalian[J]. Journal of Meteorology and Disaster Reduction Research,43(4):314-320. (in Chinese))
- [15] 李燕,刘勇,赛瀚. 大连地区 2013 年 7 月连续性暴雨成因[J]. 干旱气象,2016,34(4):670-677. (LI Yan,LIU Yong,SAI Han. Causes analysis of continuous rainstorm over Dalian Area of Liaoning Province in July 2013 [J]. Journal of Arid Meteorology,2016,34(4):670-677. (in Chinese))
- [16] 王秀萍,金巍. 1964—2013 年大连地区暴雨气候特征及变化规律[J]. 气象与环境学报,2015,31(3):75-80. (WANG Xiuping,JIN Wei. Climate characteristics of rainstorm and its variation in Dalian region from 1964 to 2013 [J]. Journal of Meteorology and Environment,2015,31(3):75-80. (in Chinese))
- [17] 徐宗学,任梅芳,陈浩. 我国沿海城市洪潮组合风险分析[J]. 水资源保护,2021,37(2):10-14. (XU Zongxue,REN Meifang,CHEN Hao. Analysis on urban flooding risk caused by flood tide combination in coastal cities[J]. Journal of Water Resources Protection,2021,37(2):10-14. (in Chinese))
- [18] 中国气象局. 暴雨年鉴(2017)[M]. 北京:气象出版社,2021.
- [19] 桑友伟,孟蕾,周玉. 1968—2018 湘北地区暴雨过程气候特征及变化趋势[J]. 科学技术与工程,2021,21(9):3487-3494. (SANG Youwei,MENG Lei,ZHOU Yu. Climatic characteristics and variation trend of rainstorm in northern Hunan from 1968 to 2018[J]. Journal of Science Technology and Engineering,2021,21(9):3487-3494. (in Chinese))