

孟旭芹,童俊,彭九慧.基于GIS的承德市精细化山洪灾害风险区划[J].沙漠与绿洲气象,2022,16(6):118-123.

doi:10.12057/j.issn.1002-0799.2022.06.015

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



基于GIS的承德市精细化山洪灾害风险区划

孟旭芹,童俊,彭九慧

(承德市气象局,河北 承德 067000)

摘要:基于承德1995—2019年361个区域气象站和9个国家气象站降水资料,以及310个山洪灾情调查资料,得到承德市各乡镇山洪灾害小时雨量阈值。从致灾因子危险性、孕灾环境敏感性和承灾体脆弱性3个方面,通过层次分析法和专家打分法计算权重,建立承德市山洪灾害风险评估模型,利用GIS空间数据分析方法得到承德市精细化山洪灾害风险区划。结果表明:承德山洪灾害风险区划图中的高风险和次高风险区面积约为11 573.14 km²,占承德总面积的29.3%,中风险区面积约为10 616.23 km²,占承德总面积的26.9%,其余均为中风险等级以下。承德市山洪灾害高风险区主要位于丰宁、隆化大部分地区、围场北部和市区小部分地区。

关键词:山洪灾害;评估模型;GIS;精细化;风险区划

中图分类号:P694

文献标识码:A

文章编号:1002-0799(2022)06-0118-06

山洪灾害是指由于降雨在山丘区引发的洪水及由山洪诱发的泥石流、滑坡等对国民经济和人民生活财产造成损失的灾害^[1]。山洪灾害具有暴雨强度大、短历时、难预测、难预防、危害大的特点^[2],常给社会经济和人民生活造成巨大损失。近些年,我国学者对山洪开展了多方面的研究。宋云天等^[3]认为泥沙输移显著影响最高洪水位、最大流速等洪水特征值的空间分布,大幅提升了局部河段山洪危险。狄潇泓等^[4]研究了引发山洪的强对流天气成因和形成过程。包红军等^[5-6]建立了山洪预报的指标和模型,并对预警指标进行检验。崔鹏等^[7]研究了基于动力过程的山洪泥石流风险评估方法和承灾体易损性评估方法。田丰等^[8-12]基于自然灾害风险理论,确定了山洪灾害风险评估模型,基于GIS和FloodArea开展了山洪灾害风险评估与区划。叶超凡等^[13-15]基于地形、灾情等资料,利用信息量模型等方法把山洪灾害

划分为不同风险等级的区域,并提出了相应的防御对策。吕新生等^[16]运用比值权重法和无量纲化线性求和方法构建山洪灾损指数,从而得到山洪灾损时空分布特征。这些研究对山洪灾害防御起到了重要作用,但这些研究中的降雨数据大部分使用的是国家气象站数据,对山洪灾害风险等级的划分不够精细。近年来,随着气象站网的飞速发展,区域气象观测站网的空间分辨率大大提高,为开展精细化山洪研究提供了条件。承德市地处河北省东北部燕山腹地,地势落差大,境内高原、山地、丘陵交错,属于温带大陆季风型、半干旱半湿润山地气候,夏季雨水集中。复杂的地形地质条件和夏季强降水多发的气候特征,导致山洪频发,具有来势迅猛、成灾快等特点,一旦发生山洪就会造成巨大损失,而针对承德地区山洪研究相对较少。山洪灾害风险区划是通过对山洪灾害影响因子的综合分析,评估其在指定区域的详细分布情况^[17],从而有针对性地开展防御工作,本文利用承德市1995—2019年361个区域气象站和9个国家气象站小时降雨量、山洪灾情个例和地形等资料,研究山洪灾害精细化分布特征,构建精细到乡镇的山洪灾害风险评价模型,按照高、中高、中、中低、低5个风险等级进行区划,旨在为当地政府和相

收稿日期:2022-05-31;修回日期:2022-09-14

基金项目:2021年承德市科学技术局项目(202102A063)

作者简介:孟旭芹(1988—),女,工程师,主要从事专业气象服务与气象灾害防御研究。E-mail:450087441@qq.com

通信作者:彭九慧(1967—),女,高级工程师,主要从事决策气象服务与气象灾害防御研究。E-mail:pengjiuhui@163.com

关部门掌握本地区的山洪灾害风险状况,做好山洪灾害防御工作提供科学依据。

1 研究资料与方法

1.1 数据来源

承德市民政局提供的 1995—2019 年精确到乡镇的山洪灾情资料,基准年为 2016 年精细到乡镇的承德市耕地面积资料、人口和 GDP 资料;承德市 361 个区域气象观测站和 9 个国家气象观测站 1995—2019 年逐小时雨量资料;分辨率为 1:50 000 的承德市 DEM 资料。

1.2 山洪灾害评价因子选择

基于史培军^[18]灾害系统理论的“三元”风险评估模型,本文的山洪灾害评价指标由致灾因子危险性、孕灾环境敏感性和承灾体脆弱性组成。致灾因子危险性指标为山洪灾害发生频次、1 h 最小致灾雨量阈值和 3 h 最小致灾雨量阈值;孕灾环境敏感性指标选取坡度和高程作为影响因子;承灾体脆弱性评价指标为乡镇人口密度、GDP 和耕地面积。

1.3 数据处理和研究方法

山洪灾害发生频次以乡(镇)次为单位,即乡镇在一天内发生多处山洪灾害,只算一次。将致灾雨量阈值时段定为 1 和 3 h,致灾雨量阈值运用实例反查法确定,即通过已发生的山洪灾害个例,反查当日当地气象区域站逐小时降雨量,取当日 1 h 降雨量最大值、3 h 降雨量最大值作为该乡镇的一次致灾雨量阈值。对该乡镇历年来发生的所有山洪灾情 1 与 3 h 致灾雨量阈值分别进行统计,选出其中的 1 h 最小值为该乡镇 1 h 最小致灾雨量阈值,其中的 3 h 最小值为该乡镇 3 h 最小致灾雨量阈值。

单站最小致灾雨量阈值的计算方法:

$$R_{\min} = \min(R_i) (i=1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

式中, n 为该站山洪灾害发生的次数, R_i 为该站当日当地的 1 或 3 h 降水量。

因为各个评价指标量纲不同,为了对不同量纲的评价指标进行比较计算。利用公式(2)将各评价因子进行归一化处理。

$$y = \frac{(x - x_{\min})}{(x_{\max} - x_{\min})} \quad (2)$$

通过层次分析法和专家打分法,得到各指标的权重。在 GIS 中计算每个格点的山洪灾害风险指数,得到承德市山洪灾害风险区划图。本文详细研究流程见图 1。

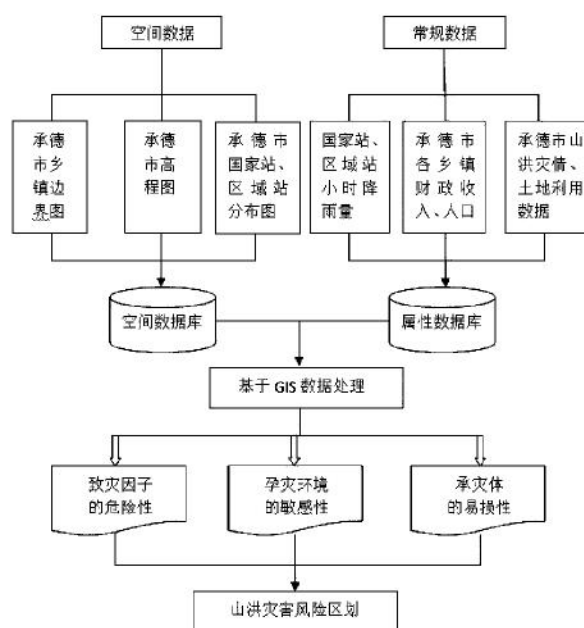


图 1 工作流程

2 山洪灾害风险区划

2.1 致灾因子危险性评价指标及评估

承德复杂的地形地貌和强降水多发的气候特征,导致了夏季山洪灾害频发。山洪灾害的出灾频次多说明该地区山洪灾害的危险性大;1 或 3 h 降雨量越大,出现山洪灾害的可能性就越高;某地发生山洪灾害 1、3 h 最小致灾雨量阈值越小,则该地山洪灾害的危险性越大。分析 1995—2019 年山洪灾情数据发现,承德市山洪发生频次最高的是隆化县(84 次),每年大约发生 4 次山洪灾害。丰宁和围场次之,约每年 2 次,市辖区和承德县最少,每年不足 1 次。大致趋势为隆化县到丰宁坝上的带状区域山洪灾害频次较高,其他地区的频次相对较低。主要是因为该区域地形起伏明显,坡度较大,一旦发生短时强降雨,极易发生山洪灾害。

根据 310 个山洪灾害个例,得到各乡镇的 1 h 最小致灾雨量阈值、3 h 最小致灾雨量阈值,将山洪灾害频次 P 、1 h 最小致灾雨量阈值 R_1 和 3 h 最小致灾雨量阈值 R_3 作为山洪灾害的危险性评价指标。因为致灾雨量阈值越小的地区,山洪灾害的危险性越大,因此在计算中,将 1、3 h 致灾雨量阈值取倒数,并做归一化处理。采用层次分析法,构建 3 阶判断矩阵(表 1),确定各评价指标的权重值,并通过一致性检验。根据公式(3)计算山洪灾害危险性指数 D_1 。

$$D_1 = 0.636\ 99 \times P + 0.258\ 28 \times R_1 + 0.104\ 73 \times R_3 \quad (3)$$

表1 危险性判断矩阵及权重计算

指标名称	山洪灾害频次	1 h 最小致灾雨量阈值	3 h 最小致灾雨量阈值	权重
山洪灾害频次	1	3	5	0.636 99
1 h 最小致灾雨量阈值	1/3	1	3	0.258 28
3 h 最小致灾雨量阈值	1/5	1/3	1	0.104 73

注: $\lambda_{\max}=3.038\ 5$, $CR=0.033<0.1$, 可接受矩阵。

利用 GIS 格点栅格计算功能得到承德市山洪灾害危险性分布(图 2)。

由图 2 可知, 1 与 3 h 致灾雨量阈值风险较高的地区为承德市西北和中部部分地区, 遭受山洪灾害频次最多的地区位于隆化县到丰宁坝上的带状区域, 根据危险性综合风险图得出中高风险区主要分布在丰宁、隆化大部 and 围场小部, 山洪危险性大致趋势为丰宁和隆化较高, 向南北两侧递减, 且北部略高于南部。

2.2 孕灾环境敏感性评价指标及评估

孕灾环境包括地形地貌、海拔高度、山川水系分布等, 是风险源变异强度另一决定因素。地形对形成山洪的影响主要表现为 2 个方面: 地形高程和地形变化程度^[19]。承德境内高原、山地、丘陵交错、地势起伏大, 因此主要考虑地形为孕灾环境影响因子。本文选用坡度和高程来评价山洪灾害的孕灾环境, 高程低, 坡度数值小, 则地势趋于平坦, 水流流速慢, 则较难发生山洪灾害; 反之, 高程高、坡度大, 地形起伏明显, 一旦发生降雨, 则水流湍急, 冲击力强, 则易发生山洪灾害。

采用专家打分法确定坡度 S 和高程 A 的权重, 对坡度 S 和高程 A 归一化处理后, 根据公式(4)计算山洪灾害孕灾环境敏感性指数 E , 从而得到承德山洪灾害孕灾环境敏感性风险区划。

$$E=0.6\times S+0.4\times A \quad (4)$$

兴隆燕山山脉地区坡度风险较高, 丰宁、围场坝上及接坝地区高程风险较高, 根据孕灾环境综合风险图得到承德孕灾环境高风险地区主要分布在丰宁、围场接坝和坝上地区以及兴隆燕山山脉。孕灾环

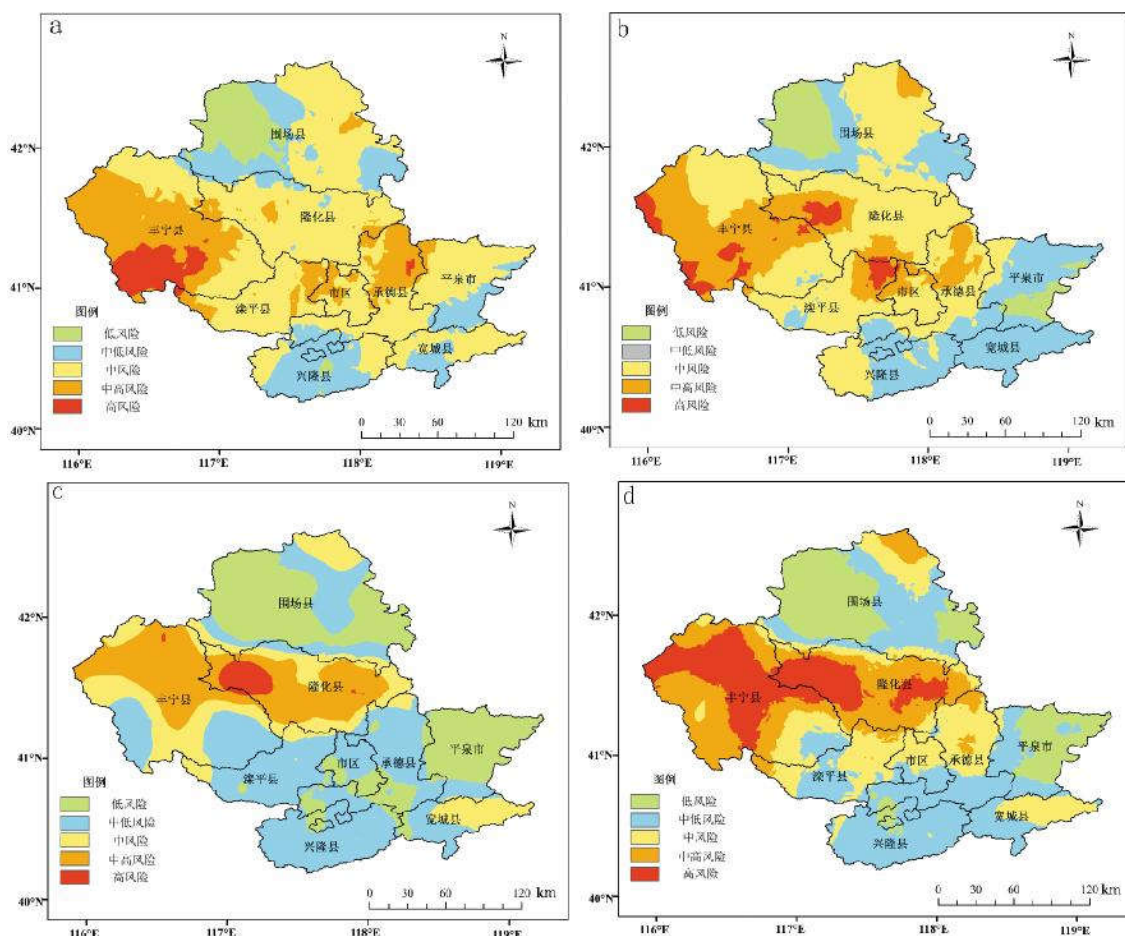


图2 承德市山洪灾害危险性指标分级

(a 为 1 h 最小致灾雨量阈值指数, b 为 3 h 最小致灾雨量阈值指数, c 为山洪灾害频次指数, d 为危险性综合风险)

境危险程度大致趋势为由北向南递减,其中兴隆燕山山脉地区例外,危险程度比南部其他地区高。

2.3 承灾体脆弱性评价指标及评估

山洪灾害常常对农田和基础设施造成灾害,甚至威胁人的生命财产安全,且同样等级的洪水发生在不同的地区,造成的后果往往不一样^[20]。同样强度的山洪如果发生在人口密度大、经济发达和耕地面积较大的地区,造成的损失会更高。本文选择精确到乡镇的 GDP(G)、人口密度 ρ 和耕地面积 A (图 3a~3c),计算山洪灾害脆弱性指数 V_i 。根据专家对脆弱性指标之间相对重要性进行判断打分,通过层次分析法构建判断矩阵得到脆弱性各评价因子的权重(表 2)。归一化处理后,根据公式(5)计算得到承德山洪灾害脆弱性图(图 3d)。

$$V_i=0.4\times G+0.4\times \rho+0.2\times A \quad (5)$$

乡镇 GDP 与人口密度风险等级由北向南递增,市区最高。承德耕地面积风险等级的大值区主要分布在东南部 and 西北部,丰宁县和平泉市风险相对较

高。脆弱性风险较高的地区主要分布在丰宁县、滦平县、承德县、市区、平泉市与宽城县耕地面积较大或经济相对发达的地区,其他地区脆弱性风险相对较低(图 3)。

表 2 承灾体判断矩阵及权重计算

指标名称	土地利用	GDP	人口密度	权重
土地利用	1	1/2	1/2	0.2
GDP	2	1	1	0.4
人口密度	2	1	1	0.4

注: $\lambda_{\max}=3,CR=0<0.1$,可接受矩阵。

2.4 山洪灾害风险评估和区划

山洪灾害风险是山洪致灾因子危险性、孕灾环境敏感性和承灾体脆弱性的综合体现。利用层次分析法将致灾因子 D_i 、孕灾环境 E 、脆弱性 V_i 构建 3 阶判断矩阵,得到山洪灾害各评价因子的权重(表 3),根据公式(6)计算山洪灾害风险指数 M 。

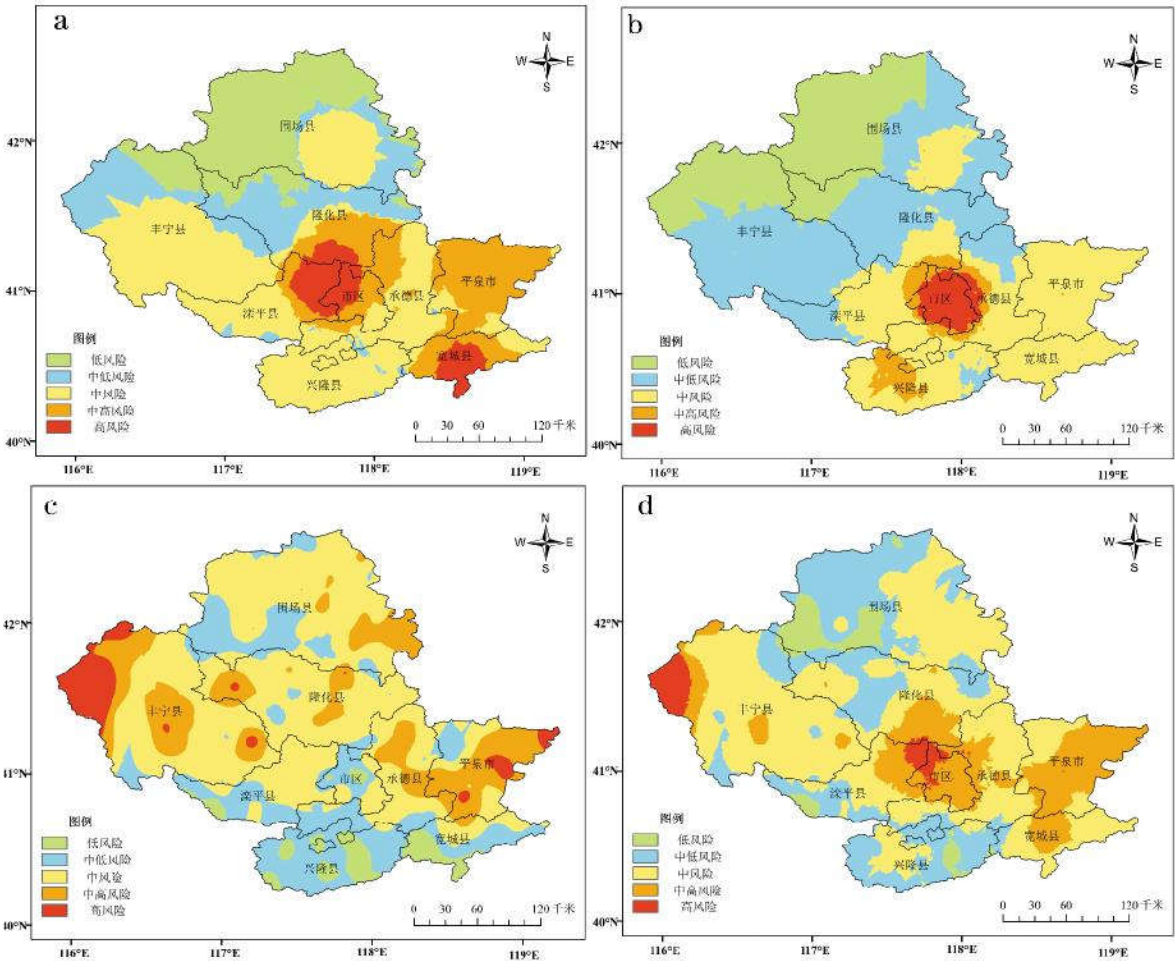


图 3 承德市山洪灾害脆弱性指标分级
(a 为 GDP 指数,b 为人口密度指数,c 为耕地面积指数,d 为山洪灾害脆弱性风险)

$$M=D_I \times 0.4 + E \times 0.4 + V_I \times 0.2 \quad (6)$$

表3 风险三系统判断矩阵及权重计算

指标名称	危险性	敏感性	脆弱性	权重
危险性	1	1	2	0.4
敏感性	1	1	2	0.4
脆弱性	1/2	1/2	1	0.2

注: $\lambda_{\max}=3$, $CR=0<0.1$, 可接受矩阵。

在GIS中将归一化取值后的危险性指数、敏感性指数和脆弱性指数图层按公式(6)进行叠加计算,从而得到承德市山洪灾害风险区划(图4)和山洪灾害评价指标归一化划分标准(表4)。

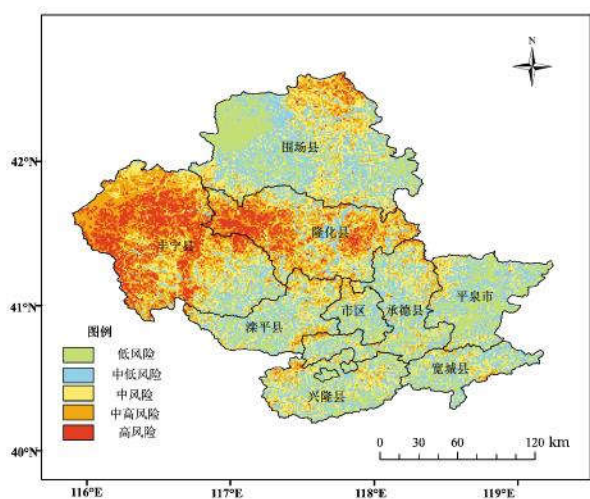


图4 承德市山洪灾害风险区划

表4 山洪灾害评价指标归一化划分标准

一级指标	等级划分				
	低	中低	中	中高	高
致灾因子	<0.2	0.2~0.329	0.329~0.459	0.459~0.6	>0.6
孕灾环境	<0.213	0.213~0.330	0.330~0.433	0.433~0.543	>0.543
承灾体	<0.137	0.137~0.255	0.255~0.388	0.388~0.635	>0.635
山洪灾害风险	<0.235	0.235~0.357	0.357~0.475	0.475~0.608	>0.608

承德山洪灾害的高风险和次高风险区面积约为11 573.14 km²,占承德总面积的29.3%,主要包括丰宁、隆化大部分地区、围场北部和市区小部分地区。中风险等级面积约为10 616.23 km²,约占承德总面积的26.9%,其余均为中风险等级以下(图4)。丰宁和隆化山洪灾害风险较高,是因为这2个地区发生山洪灾害的频次较多、小时致灾雨量阈值较小,地势较高且起伏明显,较容易出现灾害。围场北部高风险

区主要是由于该地区地势最高,小时致灾雨量阈值相对较小。市区的高风险区,则因为市区经济较发达,人口密度较大,即便发生较轻的山洪灾害,也极易造成较大的损失。因此在这些山洪风险较高的地区,应及时做好山区生态防护林建设和山体防护工程建设,并加强河道整治,建立健全防洪监测体系,有效调控山洪灾害风险。

3 结论和讨论

根据承德山洪灾害发生的特征,选取小时致灾雨量阈值、山洪灾情频次、地形、人口、GDP和耕地面积作为山洪灾害的评价因子,基于GIS空间分析技术计算得到承德市精细化山洪灾害风险区划,得出以下结论:

(1)山洪灾害发生频次最高的是隆化,市辖区和承德县最少。大致特点为隆化县到丰宁坝上的带状区域山洪灾害频次较高,其他地区的频次相对较低。

(2)危险性高风险区主要分布在丰宁、隆化大部 and 围场部分地区。孕灾环境危险程度大致趋势为由北向南递减,其中兴隆燕山山脉地区除外,危险程度比南部其他地区高。脆弱性风险较高的地区主要分布在丰宁县、滦平县、承德县、市区、平泉市与宽城县耕地面积较大或经济相对发达地区。

(3)承德山洪灾害的高风险和次高风险区面积约为11 573.14 km²,约占承德总面积的29.3%,主要包括丰宁、隆化大部分地区、围场北部和市区小部分地区。中风险等级面积约为10 616.23 km²,约占承德总面积的26.9%。其余均为中风险等级以下。

山洪灾害的形成机理较为复杂,影响因子较多,将山洪灾害风险完全定量化研究存在一定的困难。本文鉴于资料收集情况,选取了与山洪灾害最为密切相关的山洪灾情、降雨量、地形和人口经济等数据,忽略了一些相对次要的影响因子,如山洪灾害的致灾雨量阈值还应考虑下垫面的土地利用类型和土壤前期含水量,承灾体脆弱性还应考虑交通路网和防洪减灾工程设施的布设等因素。通过层次分析法和专家打分法得到的山洪灾害评价因子权重是可行的,但由于不同研究者对评价指标的重要性判断有一定的主观性,不能很好地反映各评价因子对山洪灾害的影响情况。在未来的山洪灾害研究中,仍需研究山洪灾害形成机理和评价因子的选择及权重的计算,进一步提高山洪灾害风险区划的准确性。

参考文献:

[1] 张平仓,任洪玉,胡维忠,等.中国山洪灾害防治区划初探

- [J].水土保持学报,2006,20(6):196-200.
- [2] 方秀琴,王凯,任立良,等.基于 GIS 的江西省山洪灾害风险评价与分区[J].灾害学,2017,32(1):111-116.
- [3] 宋云天,曾鑫,张禹,等.泥沙输移对山洪特征值时空分布的影响—以北京“7·21”山洪为例[J].清华大学学报(自然科学版),2019,59(12):990-998.
- [4] 狄潇泓,许东蓓,肖玮,等.“5.10”岷县短时暴雨斜压锋生特征和不稳定条件分析[J].干旱气象,2017,35(1):108-115.
- [5] 包红军,李致家,王莉莉,等.基于分布式水文模型的小流域山洪预报方法与应用[J].暴雨灾害,2017,36(2):156-163.
- [6] 叶金印,李致家,刘静,等.山洪灾害气象风险预警指标确定方法研究[J].暴雨灾害,2016,35(1):25-30.
- [7] 崔鹏,邹强.山洪泥石流风险评估与风险管理理论与方法[J].地理科学进展,2016,35(2):137-147.
- [8] 田丰,冉有华,张军,等.河西走廊山洪灾害危险度区划[J].山地学报,2017,(6):856-864.
- [9] 任洪玉,杜俊,丁文峰,等.基于 GIS 的全国山洪灾害风险评估[J].灾害学,2018,33(4):65-92.
- [10] 吴秀兰,江远安,余行杰,等.基于 FloodArea 的新疆依格孜牙河流域山洪灾害风险区划[J].干旱气象,2019,37(4):663-669.
- [11] 唐余学,廖向花,李晶,等.基于 GIS 的重庆市山洪灾害区划[J].气象科技,2011,39(4):423-428.
- [12] 丁文峰,杜俊,陈小平,等.四川省山洪灾害风险评估与区划[J].长江科学院院报,2015,32(12):41-45.
- [13] 叶超凡,张一驰,熊俊楠,等.湖南省山丘区小流域山洪灾害危险性评价[J].地球信息科学学报,2017,19(12):1593-1603.
- [14] 崔新强,郭雪梅.1950—2015 年我国铁路气象及其衍生灾害特征分析[J].气象与环境科学,2018,41(2):98-104.
- [15] 高展,许剑勇,王胜,等.黄山风景区暴雨山洪灾害风险区划研究[J].暴雨灾害,2015,34(3):281-285.
- [16] 吕新生,周雅蔓,余行杰,等.1961—2019 年新疆暴雨山洪灾害损失的时空变化特征 [J]. 沙漠与绿洲气象,2021,15(4):42-49.
- [17] 王荣喆,李玲萍,李文莉.基于 GIS 技术的武威市山洪灾害风险区划初探[J].干旱气象,2013,31(3):602-608.
- [18] 史培军.灾害风险科学[M].北京:北京师范大学出版社,2017:179-186.
- [19] 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.
- [20] 傅春梅,徐刚.重庆市山洪灾害的危害、成因及防治对策[J].太原师范学院学报(自然科学版),2011,10(1):145-148.

Fine Risk Division of Mountain Torrent Disaster in Chengde City Based on GIS

MENG Xuqin, TONG Jun, PENG Jiuhui

(Chengde Meteorological Bureau, Chengde 067000, China)

Abstract Based on the precipitation data from 361 regional meteorological stations and 9 national meteorological stations during 1995 to 2019 in Chengde, and 310 investigation records of mountain torrent disaster, the hourly rainfall thresholds of mountain torrent disaster in each township of Chengde city were obtained. And the risk assessment model of mountain torrent disaster in Chengde City was established by the means of analytic hierarchy process and expert scoring methods considering the risk of disaster-inducing factors, the sensitivity of disaster-pregnant environment and the vulnerability of disaster-bearing body, and then the fine risk division of mountain torrent disaster in Chengde city was obtained by using GIS spatial data analysis method. The results showed that the area of high-risk and sub-high-risk regions in the mountain torrent disaster risk division map of Chengde was about 11 573.14 km², accounting for 29.3% of the total area of Chengde; the area of the medium-risk region was about 10 616.23 km², accounting for 26.9% of total area of Chengde, and the rest were below the medium risk level. The high-risk areas of mountain torrent disaster in Chengde city were mainly located in Fengning and Longhua, the northern part of Weichang and a small part of the urban area.

Key words mountain torrent disaster; assessment model; GIS; fine; risk division