

文章编号: 1008-2786-(2017)6-856-09

DOI:10.16089/j.cnki.1008-2786.000287

河西走廊山洪灾害危险度区划

田 丰¹, 冉有华^{2*}, 张 军^{1,3}, 陈万奈¹, 刘金鹏⁴

(1. 甘肃农业大学 资源与环境学院, 兰州 730070; 2. 中国科学院西北生态环境资源研究院, 兰州 730000;
3. 甘肃省节水农业工程技术研究中心, 兰州 730070; 4. 甘肃省科学院 地质自然灾害防治研究所, 兰州 730000)

摘 要: 探究河西走廊山洪灾害危险性分布特征, 可为该地区山洪灾害监测、预警和防治工程规划提供科学支持, 对保障地区人民生命财产安全具有重要的社会意义。从河西走廊山洪灾害防治及预警角度出发, 根据河西走廊山洪灾害发生的机制, 选取高程标准差、坡度、植被覆盖度、降水、河网密度、泥石流沟密度 6 个影响因子, 以 ArcGIS 和 IDRISI 为平台, 构建河西走廊山洪灾害危险度区划多准则决策支持模型, 完成了河西走廊山洪灾害危险度区划图。结果表明: 河西走廊山洪灾害危险度与 6 个危险因子是函数关系。其中, 高程标准差、坡度和植被覆盖度与危险度呈多项式分布, 降水、河网密度和泥石流沟密度则与危险度成正相关性; 河西走廊山洪灾害极高度危险区 460 km², 占研究区总面积的 3.12%; 高度危险区 1383.76 km², 占研究区总面积的 7.54%; 中度危险区 2166.85 km², 占研究区总面积的 11.26%; 低度危险区 154 787.63 km², 占研究区总面积的 65.01%; 极低度危险区 33 847.89 km², 占研究区总面积的 13.07%。

关键词: 河西走廊; 山洪; 危险度; 区划; GIS; IDRISI

中图分类号: X43; P642.2

文献标志码: A

我国地形以高原和山地为主, 自然条件复杂, 降雨季节性明显且时段集中, 决定了我国山洪灾害多发、频发、重发的特征^[1]。21 世纪初, 我国出台《全国山洪灾害防治规划编制技术大纲》, 要求各省依据大纲完成省级山洪灾害防治规划报告, 有效地进行山洪灾害风险管控和预警工作。

山洪灾害危险度区划是通过研究区域内山洪灾害历史危险性和潜在危险性, 结合区域内自然、社会和人文等资料, 按照一定原则对山洪灾害危险性进行区域等级划分的过程^[2]。山洪灾害危险性反映促成山洪的降水、地形地貌、土壤、植被和水文环境

等自然地理条件达到致灾水平的可能性大小, 是山洪灾害风险理论的一个重要分支。关于山洪灾害危险性研究, 国内外学者聚焦在危险性指标体系构建^[3-4]、区划方法选取^[5-6]、危险性分布制图^[7-8]、监测与防治规划^[9-10]等方面, 危险度区划已成为山洪灾害风险研究的热点之一, 同时促进了新技术、新方法的应用。20 世纪 60 年代, GIS 等地理信息系统技术逐渐应用到山洪灾害危险性评价中, 其强大的空间分析功能为高空间分辨率山洪灾害评价和制图表达提供了技术支持。关于 GIS 技术的应用, 国内外学者从多源遥感数据提取危险性指标^[11]、小流

收稿日期 (Received date): 2016-10-08; **改回日期** (Accepted date): 2016-11-17

基金项目 (Foundation item): 甘肃省科学院与中国科学院合作项目 (Y52BK51001); 国家自然科学基金 (41161066); 甘肃省自然科学基金 (1506RJZA003; 1606RJZA076); 甘肃省教育厅项目 (2015B-051) [Cooperation Projects between Gansu Academy of Sciences and Chinese Academy of Sciences (Y52BK51001); National Natural Science Foundation of China (41161066); Natural Science Foundation of Gansu Province (1506RJZA003; 1606RJZA076); Education Department Projects of Gansu Province (2015B-051)]

作者简介 (Biography): 田丰 (1991-), 男, 甘肃镇原人, 硕士研究生, 主要研究方向: 信息化地质灾害风险评价建模与应用 [Tian Feng (1991-), male, born in Zhenyuan, Gansu province, M. Sc. candidate, mainly engaged in modeling and application of informational geological disaster risk assessment.] E-mail: 18809408806@139.com

*** 通讯作者** (Corresponding author): 冉有华 (1980-), 男, 甘肃镇原人, 博士, 副研究员, 主要研究方向: 遥感与 GIS 应用研究 [Ran Youhua (1980-), male, born in Zhenyuan, Gansu province, Ph. D., associate research fellow, mainly engaged in the application of remote sensing and GIS.] E-mail: ranyh@lzb.ac.cn

域^[12]和城市群^[13]等空间尺度的区域应用等方面展开了研究,也有学者基于 GIS 技术进行模型集成与应用研究,如 Fooldarea^[14]、膨胀算子^[15]、种子蔓延算法^[16]等参与式 GIS 水文驱动模型也应用至山洪灾害危险性研究中。但还存在以下问题:以上研究还集中在某次特大山洪事件或河流流域等水文过程主导型山洪灾害的危险性评价,然而,气候干旱区降水稀少,但时段集中多暴雨,山洪过程多为降水和地形两大主控因素及其他影响因素相互作用的结果,影响因子在不同区域上作用机制并非一致;另外, ArcGIS 加权叠加方法仅仅是根据单个影响因子对山洪灾害危险性的贡献率划分危险性等级,忽略了影响因子间相互影响的作用关系,此方面研究尚有不足。

河西走廊是“丝绸之路经济带”的陆路要塞和重要节点,在“一带一路”国家倡议中,区位重要。是甘肃省四大生态屏障之一“河西内陆河屏障区”,生态环境脆弱,地形地貌条件复杂,降水时空分布差异明显,多暴雨,山洪灾害频发。本文开展河西走廊

山洪灾害危险度区划研究,旨在运用 GIS 和数学模型探究河西走廊山洪灾害危险性空间分布特征,并划分等级,完成河西走廊山洪灾害危险度区划图,以为河西走廊地区山洪灾害监测、预警和防治工程规划提供科学支持。

1 研究区概况

河西走廊位于甘肃省西北部,是指南北介于祁连山-阿尔金山和合黎山-龙首山-马鬃山间,东起乌鞘岭,西至新疆的狭长条带状堆积平原,长约 1000 km,下辖武威、金昌、张掖、嘉峪关、酒泉 5 个地级市的 20 个县,图 1。处于青藏高原、内蒙古高原和黄土高原的交界处,地形起伏明显,海拔在 791 ~ 5774 m;地貌以南部山区、中部平原、西部荒漠为主;温带大陆性气候;大部分地区位于我国 400 mm 等降水量线以西,降水稀少,属于干旱半干旱地区;植被稀疏,且地带性明显,以高山草甸、超旱生灌木、半灌木荒漠和超旱生半乔木荒漠为主,是西北高寒区和

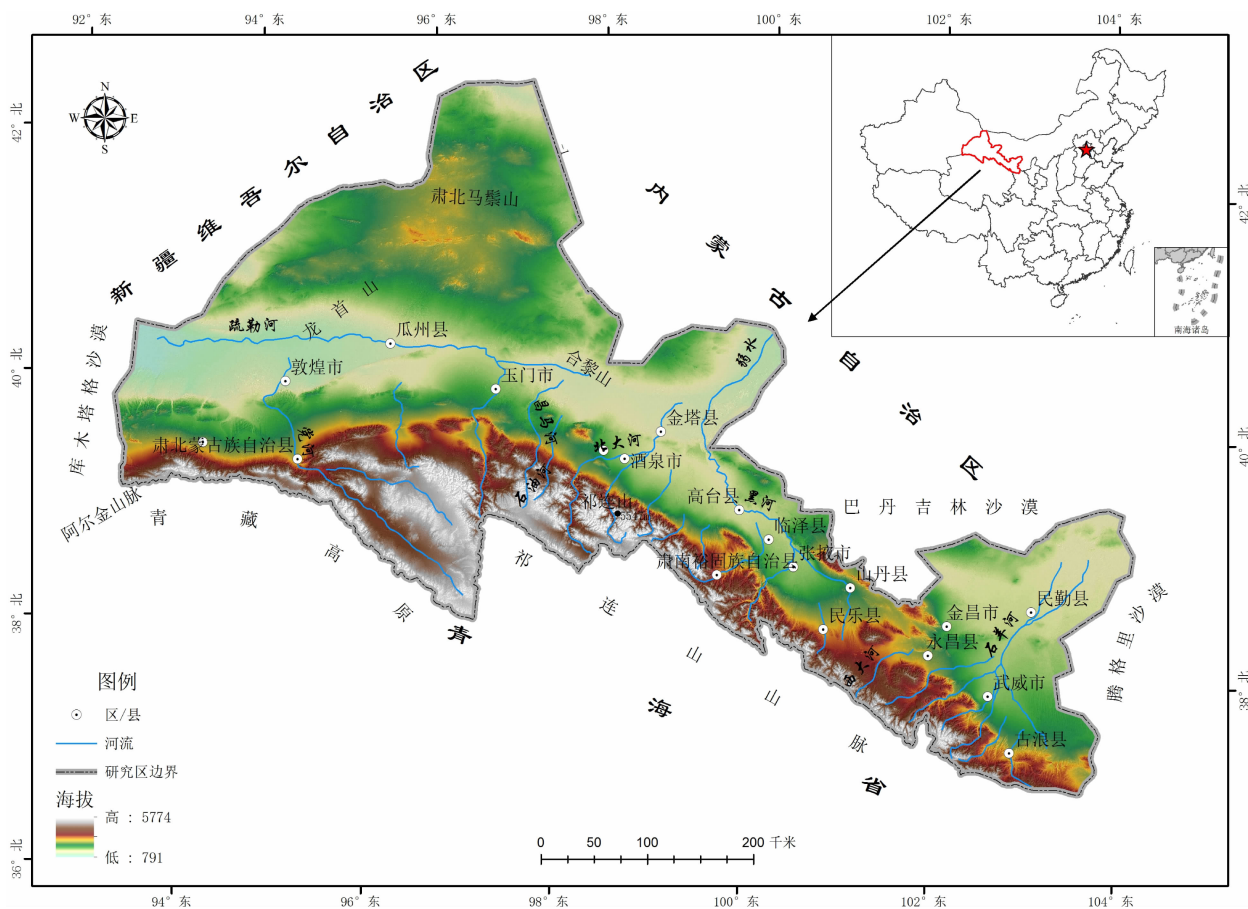


图1 河西走廊地理位置

Fig. 1 Geographical location of Hexi Corridor

极端干旱区的过渡地带;地理位置优越,物产丰饶,酒泉、玉门地区石油、天然气资源丰富,金昌是中国最大的镍矿产地,全区历史文化悠久,旅游资源独特。

2 数据与方法

2.1 数据来源

根据山洪灾害发生的成因、机理以及河西走廊历史山洪灾害分布状况,本文从地形、植被、降水和历史灾度四方面收集数据:

地形数据:利用 ASTER GDEM,空间分辨率为 30 m,数据来源于美国地质调查局(www.usgs.gov)。

植被数据:利用 MODIS 植被指数产品 MOD13A2(合成周期 16 d,分辨率 1 km),数据来源于美国地质调查局陆面分布式数据中心(www.usgs.gov)。

降水数据:中国科学院青藏高原研究所制备的中国区域高时空分辨率地面气象要素驱动数据集^[17],数据来源于中国寒区旱区科学数据中心(<http://westdc.westgis.ac.cn>)。

历史灾度数据:2009 年完成的甘肃省各县区地质灾害调查与区划报告,数据来源于甘肃省地质环境监测院。

2.2 区划方法

以地形、植被、降水和历史灾度四方面数据为基础,利用 ArcGIS 分析提取高程标准差、坡度、植被覆盖度、降水、河网密度、泥石流沟密度 6 个危险因子并建立数据库,在 IDRISI 软件支持下,构建河西走廊山洪灾害危险度区划的多准则决策支持模型,最后完成河西走廊山洪灾害危险度区划制图。

2.2.1 危险因子提取

通过分析山洪灾害致灾因子的多样性、孕灾环境的不稳定性,结合河西走廊自然、社会、经济实际情况,并借鉴国内外学者山洪灾害危险度区划研究评价指标的选取,本文以主导性、稳定性、区域分异性和综合性为原则,确定了高程标准差、坡度、植被覆盖度、降水、河网密度和泥石流沟密度 6 个危险因子。

(1) 地形

地形是山洪灾害发生的重要影响因素之一。本文选取高程标准差和坡度两个指标来表征地形。高程标准差和坡度数值越小,说明地势越平坦,水流流

速慢,冲刷作用小,不易发生山洪灾害;反之,数值越大,说明地势起伏越明显,水流流速快,冲刷作用大,更容易发生山洪灾害;然而,数值过大,说明该区域地形可能是山脉,陡坡或者断崖,此处多为无人区,不会成灾^[18]。

① 高程标准差

高程标准差能准确反映地形高差变化,起伏波动大小^[19]。本文基于 ASTER 2010 年发布的 GDEM 30 m 高分辨率全球数字高程模型,根据研究区面积和 DEM 像元大小,利用 ArcGIS 计算 DEM 数据 8×8 邻域(64 个栅格像元)范围内高程栅格标准差作为反映地形变化的定量性指标之一。

② 坡度

坡度也是表征地形的一个重要指标,坡度大小直接反映地形起伏变化的程度^[20]。坡度降低表明地势逐渐变得平坦,反之亦然。本文利用 ArcGIS 表面分析工具从 DEM 数据中提取河西走廊坡度数据。

(2) 植被覆盖度

植被是影响山洪灾害发生的一个重要因素,植被覆盖度是反映植被的有效性指标,植被覆盖度低是山洪灾害加剧的重要条件^[4]。植被覆盖程度越高的区域,山洪灾害发生的可能性越小,反之亦然。本文基于像元二分法对 MODIS 植被数据处理生成全国植被覆盖度指数产品 MOD13A2(2011—2014 年),利用 ArcGIS 像元统计工具求取 4 年年平均植被覆盖度,掩膜提取河西走廊植被覆盖度数据。

(3) 降水

降水是诱发山洪灾害的必要条件,降水的大小,规模,时间等对山洪灾害成灾影响较大,持续性强降水是山洪灾害的重要诱因^[21]。一般地,降水量越多的地方更容易发生山洪灾害,反之亦然。河西走廊降水时空分布不均,降水主要集中在 7~8 月,且大部分区域位于我国 400 mm 等降水量线以西,降水东多西少。本文采用 1981—2010 年 5~9 月多年平均降水量。

(4) 河网密度

河流是山洪灾害泛滥区设置的重要性指标,距离河流、湖泊、水库较近的平坦开阔地区更容易发生山洪,河流的流域长度,水量大小不同,对山洪灾害的成灾影响也是不一样的^[13]。河西走廊地区东端祁连山山麓河流众多,河网密布,7~8 月份,河流进入汛期,流量大大增加,西北山麓平原地区山洪灾害成灾可能性极大,通常情况下,河网密度越大的地区发生山洪灾害的可能性更大,反之亦然。本文利用

ArcGIS 水文分析模块从河西走廊 DEM 数据中提取河网并矢量化,生成河西走廊随机格网,输出像元为 30,与河网数据做相交运算,逐栅格像元获取河网长度,以单位面积内的河流长度作为该像元河网密度值,获取河西走廊河网密度数据。

(5) 泥石流沟密度

泥石流是山洪灾害引发的次生灾害,山洪灾害在降水强度大且地质条件复杂的山区多以泥石流灾害发生,危害性极大,破坏性极强^[22]。因此,本文选取泥石流沟密度作为山洪灾害危险度区划的评价因子并重点考虑。基于甘肃省地质环境监测院 2009 年完成的甘肃省各县区地质灾害调查与区划报告,本文分析提取了河西走廊 587 条泥石流沟,利用 ArcGIS 区域统计工具按照 3 × 3 km 计算各地区泥石流沟条数,获取河西走廊泥石流沟密度数据。

2.2.2 构建河西走廊山洪灾害危险度区划的多准则决策支持模型

利用 IDRISI 软件构建河西走廊山洪灾害危险度区划的多准则决策支持模型。

IDRISI 软件是美国克拉克大学克拉克实验室 (Clark Labs) 开发的,其多准则决策支持的过程是先进行数据标准化,再计算约束条件权重,最后构建模型,加权合并的过程。在 IDRISI 软件中,提供 FUZZY 数据标准化模块,有 0 ~ 1 实数型和 0 ~ 255 整型数据两种数据标准化方法;WEIGHT 权重计算模块,采用层次分析法 (AHP) 计算权重;MAC 加权模块,主要有布尔方法 (Boolean intersection)、有序加权平均法 (Ordered weighted average) 和加权线性合并法 (Weighted linear combination) 三种加权方法。

构建模型需要输入 6 个危险因子数据,利用 ArcGIS 技术将各危险因子数据投影坐标系统一为 GSC_1984_UTM_Zone_48N,栅格像元统一为 30 × 30;以 IDRISI 为平台,利用 Import 将 ArcGIS 栅格数

据 GRID 格式转换成 IDRISI 所要求的“.rst”格式,运行模型输出河西走廊山洪灾害危险度区划图。

(1) 数据标准化

研究区涉及 5 个市及下辖 20 个县,约 23.52 × 10⁴ km²,面积广阔,地域特征明显,选取的山洪危险因子复杂多样,且对山洪灾害影响程度各不相同,各危险因子量纲不一致,因此,将各危险因子进行标准化处理,利用 FUZZY 模块 Sigmoidal (S 形),以实数型 0 ~ 1 数据格式将各危险因子数据进行标准化。各危险因子对山洪灾害影响不尽相同,受人类活动影响,高程标准差、坡度和植被覆盖度对山洪影响呈抛物线型,存在峰值,既存在正向,又存在负向作用;而降水、河网密度和泥石流沟密度无此特征,呈线性递增影响。据此按照极高度 (1)、高度 (0.8)、中度 (0.6)、低度 (0.4)、极低度 (0.2) 进行危险度划分并对各危险因子进行栅格重分类并逐栅格像元赋值,表 1。

(2) 权重计算

WEIGHT 模块是利用层次分析法计算权重的。层次分析法 (AHP) 最早是由美国运筹学家 T. L. Saaty 提出来的,是构建目标层、准则层和备选方案评价模型,通过比较两两评价因子之间重要性程度,按照绝对不重要到绝对重要 (1 ~ 9) 赋予相应的重要性值,直至模型最底层,从而构建评价因子比较系数矩阵,进行数学运算得出特征向量和特征值,最后进行一致性检验计算各因子权重的方法。

危险因子:高程标准差、坡度、植被、降水、河网密度和泥石流沟密度,分别用 X₁、X₂、X₃、X₄、X₅、X₆ 来表示,根据河西走廊历史山洪灾害运行机理,运用专家经验和特尔菲法获取危险因子比较系数矩阵,表 2。通过 WEIGHT 模块运算获取危险因子权重,并通过了一致性检验。

表 1 河西走廊山洪灾害因子危险度划分及赋值

Tab. 1 Mountain torrent disaster division and the given values of factors for Hexi Corridor

危险度	高程标准差/m		坡度/°		植被覆盖度/%		降水/mm		河网密度/(km · km ⁻²)		泥石流沟密度/(条 · km ⁻²)	
	分级	赋值	分级	赋值	分级	赋值	分级	赋值	分级	赋值	分级	赋值
极高度	[30,45)	1	[20,45)	1	[20,30)	1	[366,526]	1	[10,12]	1	[150,307]	1
高度	[45,283]	0.8	[60,85]	0.8	[0,20)	0.8	[274,366)	0.8	[7,10)	0.8	[80,150)	0.8
中度	[16,30)	0.6	[45,60)	0.6	[30,40)	0.6	[187,274)	0.6	[5,7)	0.6	[40,80)	0.6
低度	[5,16)	0.4	[10,20)	0.4	[40,60)	0.4	[103,187)	0.4	[2,5)	0.4	[10,40)	0.4
极低度	[0,5)	0.2	[0,10)	0.2	[60,71]	0.2	[0,103)	0.2	[0,2)	0.2	[0,10)	0.2

(3)加权合并

利用 MAC 模块加权线性合并法 (Weighted linear combination) 构建河西走廊山洪灾害危险度区划模型,为:

$$y = \sum_{i=1}^{n=6} W_i \cdot X_i$$

式中, Y 表示河西走廊山洪灾害危险度, $W_i (i = 1, 2, \cdots 6)$ 表示危险因子权重, $X_i (i = 1, 2, \cdots 6)$ 表示危险因子。

3 结果与分析

3.1 危险度区划与验证

基于河西走廊山洪灾害危险度区划模型,本文参考已有研究^[2],根据河西走廊山洪灾害机制,结合各县区地质灾害调查与区划报告中泥石流发育频次及规模,制定山洪灾害危险度划分标准,对河西走廊山洪灾害危险度进行等级划分,表 3,完成河西走廊山洪灾害危险度区划图,图 2。

本文运用查阅历史资料和总结国内学者研究对本文完成的河西走廊山洪灾害危险度区划结果进行验证。根据国内学者研究^[19,23]及河西走廊不同年份部分县区地质灾害调查与区划报告表明,河西走廊山洪灾害高发区分布在张掖市山丹县、民乐县和

肃南地区,威武凉州区西营,南营和张义村,祁连山山麓一带,南肃北昌马河流域等地区;山洪灾害中度危险区分布在石羊河、黑河和疏勒河流域;山洪灾害低度危险区分布在民勤县、金塔县、肃北县,本研究与此结果基本吻合,也和河西走廊山洪灾害发生的实际情况相符。

3.2 危险度与危险因子的关系

构建模型的回归曲线来反映危险度与危险因子之间的关系,图 3。纵坐标为河西走廊山洪灾害危险度区划指数(0~1);横坐标为各危险因子的取值范围;曲线反映了危险度区划指数随各危险因子取值的变化趋势。

从图 3 可知,各危险因子变化会对河西走廊山洪灾害危险度产生一定影响,且影响各不相同,其中,高程标准差、坡度和植被覆盖度与危险度成多项式分布关系,随其取值增加,河西走廊山洪灾害危险度呈先增后减趋势;高程标准差在 40~50 m,坡度在 35~40°,植被覆盖度在 15~25%,危险度均处于最高水平,随其值增大,人类生产生活逐渐减少,不易成灾,危险度逐渐降低;降水、河网密度和泥石流沟密度则与危险度成正相关性,随降水、河网密度和泥石流沟密度增加,危险度呈递增,增长速率逐渐降低趋势。

表 2 河西走廊山洪灾害危险因子比较系数矩阵及权重

Tab. 2 Comparative coefficient matrix and weight of mountain torrent hazard factors in Hexi Corridor

因子	高程标准差(X_1)	坡度(X_2)	植被覆盖度(X_3)	降水(X_4)	河网密度(X_5)	泥石流沟密度(X_6)
高程标准差(X_1)	1	1/2	2	1/3	1	1/2
坡度(X_2)	2	1	3	1/2	3	3
植被覆盖度(X_3)	1/2	1/3	1	1/3	1	1
降水(X_4)	3	2	3	1	2	4
河网密度(X_5)	1	1/3	1	1/2	1	2
泥石流沟密度(X_6)	2	1/3	1	1/4	1/2	1
权重	0.1116	0.2476	0.0919	0.3067	0.1246	0.1176

AHP comparison matrix (More important 9; extremely, 7; very strongly, 5; strongly, 3; moderately, 1; equally); $CR = 0.0484$, $CR > 0.1$ 表示判断矩阵通过一致性检验。

表 3 河西走廊山洪灾害危险度等级划分

Tab. 3 Mountain torrent disaster hazard degree division standard of Hexi Corridor

级别	危险度	划分含义	易发程度
极低危险区	[0,0.2)	山洪灾害少发区,危险系数最低,对人类生产生活破坏最小	基本不发生
低危险区	[0.2,0.4)	山洪灾害低发区,低度危险,对人类生产生活破坏较低	15~20 年一次
中危险区	[0.4,0.6)	山洪灾害中易发区,中度危险,对人类生产生活影响一般	10~15 年一次
高危险区	[0.6,0.8)	山洪灾害高易发区,高度危险,对人类生产生活破坏较高	5~10 年一次
极高危险区	[0.8,1]	山洪灾害极易发区,危险系数最高,对人类生产生活破坏最大	<5 年一次

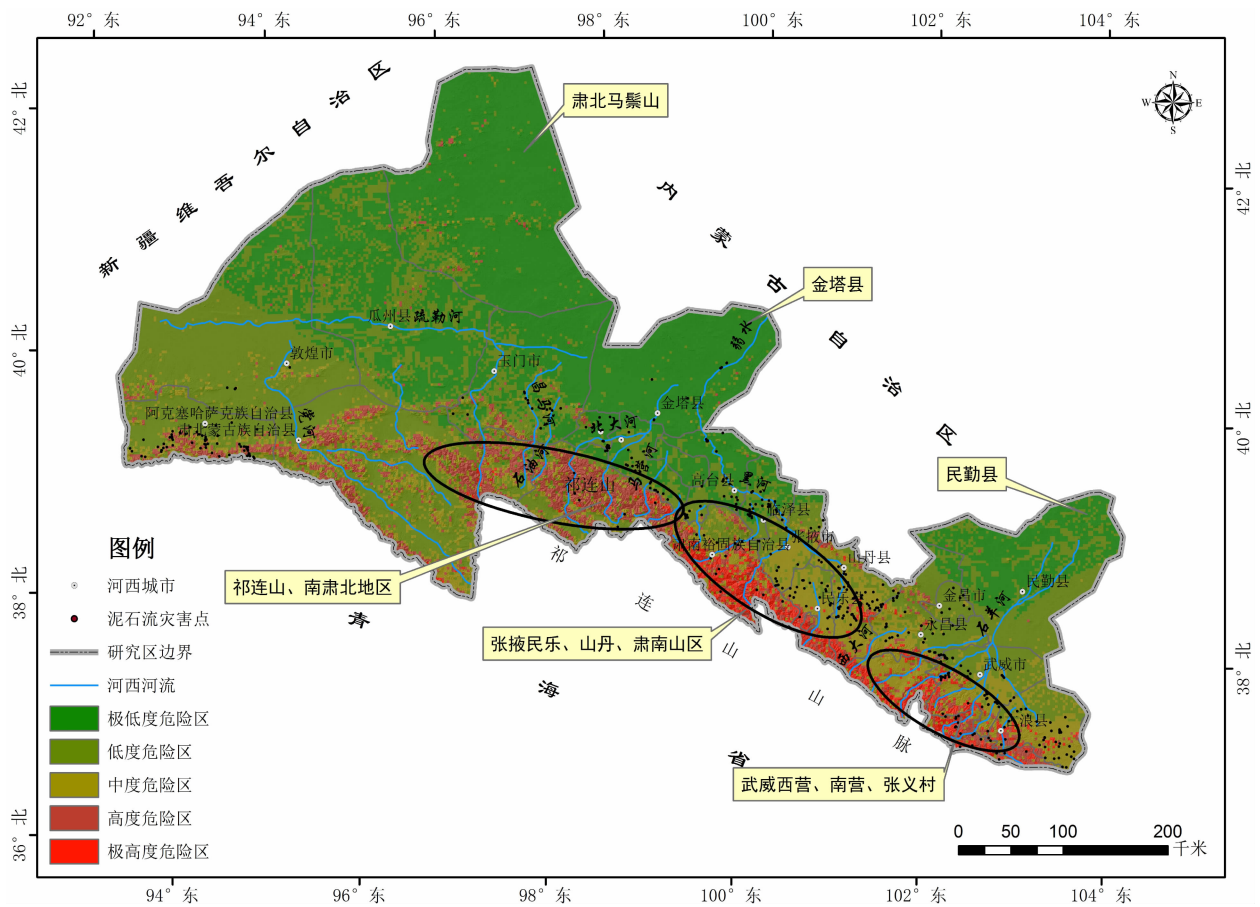


图2 河西走廊山洪灾害危险度区划图

Fig.2 Mapping of mountain torrent disaster hazard degree division along Hexi Corridor

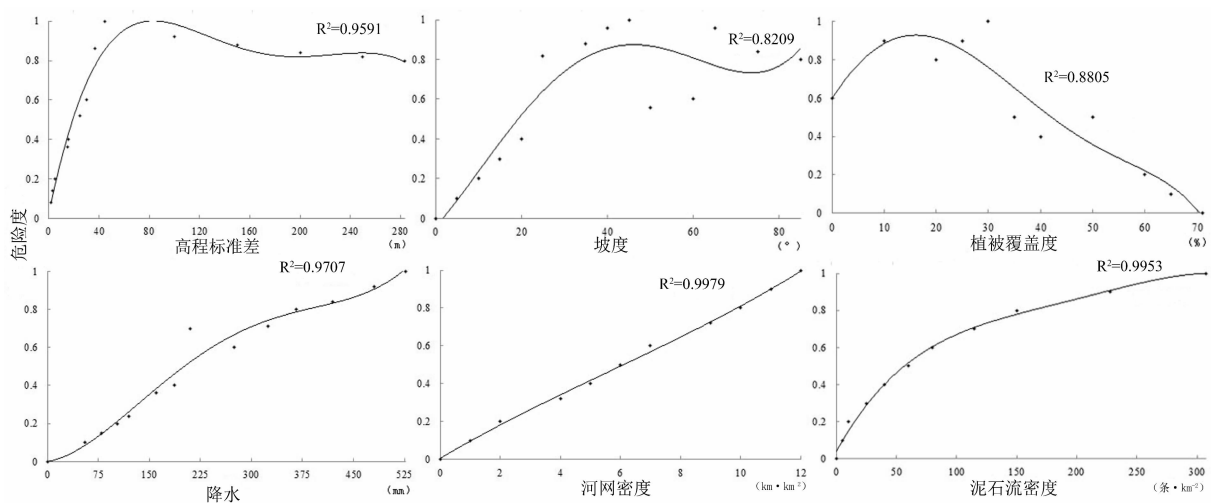


图3 河西走廊山洪灾害危险度与危险因子的关系

Fig.3 Relationship between mountain torrent disaster hazard degree and hazard factors in Hexi Corridor

3.3 危险度空间分布特征

河西走廊山洪灾害危险度以乌鞘岭、祁连山、阿尔金山一带最为显著,危险度呈条带状自东南向西

北,西南山区向走廊中部原区逐渐减弱,东南部高度危险区面积广阔;酒泉市金塔县,肃北马鬃山一带极低度危险区面积较大。本文将河西走廊山洪危险度

划分为 5 个区域:极高度危险区、高度危险区、中度危险区、低度危险区和极低度危险区。

极高度危险区:主要分布在古浪县西营和南营村,民乐县东南部和肃南县大部分地区。此区域降水丰沛,降水量最大,5~9 月份降水量均在 450 mm 以上;坡度介于 $20^{\circ} \sim 40^{\circ}$,特别在肃南山区,地势起伏明显,坡度较大,最易发生山洪灾害;石羊河流域水系众多,河网密度较大;泥石流沟密度最高,介于 $9 \sim 10.5 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$,危险度最高。此区域雨水冲刷侵蚀极为严重,水土保持是此区域山洪灾害防治工作的重心,应进一步完善排水系统及排洪沟建设,做好排水泄洪工作,加强山洪等灾害易发区山体防护工程建设;同时,要加强生物措施建设,坡度 25° 以上地区退耕还林还草,积极培育保土固沙草种树种,加大山区防护林建设强度。

高度危险区:主要分布在阿克塞县阿尔金山麓地区,祁连山山麓一带,党河、昌马河和石油河南部,山丹县北部,永昌县,古浪县南部等地区。此区域雪山融水丰沛,河流以雪山融水为主要补给,特别地,祁连山终年积雪覆盖,雪山融水充足,山麓地带河网密度最大,介于 $5 \sim 9 \text{ km} \cdot \text{km}^2$,居民点面积大,危险度高。河网密度是此区域山洪灾害危险性的控制性因子,应加强河道改造、河流整治工程;划定河岸湿地自然保护区,加大河岸生态防护林建设力度。

中度危险区:主要分布在武威市凉州区南部、古浪县东北部,永昌县西南部,张掖市甘州区南部、民乐县、山丹县南部等地区。此区域有黑河、石羊河流经,水系密度不大,但泥石流沟密度较大,且降水较大,危险度处于中度。降水和泥石流沟密度对此区域山洪灾害危险性影响最大,应强化防洪沟,水利建设等工程措施,降低山洪灾害危险度。

低度危险区:主要分布在敦煌市、玉门市、马鬃山南部;高台县、临泽县;金昌市金川区、金昌县;武威凉州区等地区。此区域降水少,5~9 月份降水量介于 $150 \sim 220 \text{ mm}$;荒漠和戈壁面积较大;河流较少,河网稀疏,危险度较低。加强生态建设,防治土地荒漠化和生态环境恶化是此区域山洪灾害防治的重点,在生产活动中,应把生态建设放在首位,积极扩大荒漠绿地面积,增加植被覆盖度,遏制土地荒漠化,防治自然环境进一步恶化。

极低度危险区:瓜州县、肃北马鬃山一带、金塔县,高台县北部,民勤县等地区。此区域降水稀少,5~9 月份降水量介于 $50 \sim 80 \text{ mm}$,部分地区降水量不足 50 mm ;地貌以荒漠、戈壁为主,河流稀少,水系

不发达,河网稀疏,危险度最低。

4 结论与讨论

4.1 结论

(1)本文建立了基于 GIS 的河西走廊山洪灾害的危险度区划模型,完成了河西走廊山洪灾害危险度区划制图,验证结果良好。

(2)河西走廊山洪灾害危险度与 6 个危险因子是函数关系,其中,高程标准差、坡度和植被覆盖度与危险度呈多项式分布;降水、河网密度和泥石流沟密度则与危险度成正相关性。

(3)河西走廊山洪灾害极高度危险区 460 km^2 ,占研究区总面积的 3.12%;高度危险区 1383.76 km^2 ,占研究区总面积的 7.54%;中度危险区 2166.85 km^2 ,占研究区总面积的 11.26%;低度危险区 154787.63 km^2 ,占研究区总面积的 65.01%;极低度危险区 33847.89 km^2 ,占研究区总面积的 13.07%。区划结果表明河西走廊山洪灾害危险度由东南往西北递减,且祁连山、乌鞘岭一带危险度高,西北区域极低度和低度危险区面积较大,这与河西走廊降水自东南向西北递减、地形坡度由祁连山、乌鞘岭一带向走廊中部平原区递减等趋势吻合。

4.2 讨论

本文引入多准则决策支持模型,较之国内外已有研究加权平均模型^[24-25]降低了模型运算误差,提高了评价精度,弥补了 ArcGIS 加权叠加方法未能考虑各危险性因子相互作用,相互影响的不足。在河西走廊山洪灾害危险度区划研究中,本文虽然建立了相对合理的指标体系,但尚不够完善,危险性指标选择与权重确定有一定的主观性,这也是类似危险度区划研究的共性问题。同时,河西走廊山洪灾害危险度放到全国尺度上总体属于低风险区,区划结果与其他区域没有直接可比性,对类似区域的区域工作未来可采用机器学习的方法,通过机器学习探究不同评价尺度的山洪灾害危险度区划致灾因子选取及其权重确定,这也是我们未来的工作方向之一。另一方面,本文只是山洪灾害风险区划的初探,仅仅从山洪灾害危险性层面完成了河西走廊山洪灾害危险度区划研究,并未从其易损性和暴露性层面展开研究,以后研究将从此方面深入,完成河西走廊山洪灾害风险区划研究。

参考文献(References)

- [1] 崔鹏. 中国山地灾害研究进展与未来应关注的科学问题[J]. 地理科学进展, 2014, **33**(2): 145 - 152. [CUI Peng. Progress and prospects in research on mountain hazards in china[J]. Progress in Geography, 2014, **33**(2): 145 - 152.]
- [2] 唐川, 朱静. 基于 GIS 的山洪灾害风险区划[J]. 地理学报, 2005, **60**(1): 87 - 94. [TANG Chuan, ZHU Jing. A GIS based regional torrent risk zonation[J]. Journal of Geographical Sciences, 2005, **60**(1): 87 - 94.]
- [3] TOTSCHING R, FUCHS E. Mountain torrents: Quantifying vulnerability and assessing uncertainties[J]. Engineering Geology, 2013, **155**: 31 - 44.
- [4] 李华威, 万庆. 小流域山洪灾害危险性分析之降雨指标选取的初步研究[J]. 地球信息科学学报, 2017, **19**(3): 425 - 435. [LI Huawei, WAN Qing. Study on rainfall index selection for hazard analysis of mountain torrents disaster of small watersheds [J]. Journal of Geo-information Science, 2017, **19**(3): 425 - 435.]
- [5] SAR N, CHATTERJEE S, ADHIKARI M D. Integrated remote sensing and GIS based spatial modeling through Analytical Hierarchy Process (AHP) for water logging hazard, vulnerability and risk assessment in keleghai river basin, India [J]. Modeling Earth Systems and Environment, 2015, **4**: 1 - 21.
- [6] 田丰, 张军, 冉有华. 河西走廊泥石流灾害危险性评价及影响因素分析[J]. 自然灾害学报, 2017, **26**(3): 139 - 146. [TIAN Feng, ZHANG Jun, RAN Youhua. Hazard assessment and influence factors analysis of debris flow in hexi corridor[J]. Journal of Natural Disasters, 2017, **26**(3): 139 - 146.]
- [7] ZEZE J L, PEREIRA S, TAVARES A O. DISASTER: A GIS database on hydro-geomorphologic disaster in portugal [J]. Natural Hazards, 2014, **72**: 503 - 532.
- [8] 管珉, 陈兴旺. 江西省山洪灾害风险区划初步研究[J]. 暴雨灾害, 2007, **26**(4): 339 - 343. [GUAN Min, CHEN Xingwang. Research of regional torrent risk zonation in jiangxi province [J]. Torrential Rain and Disasters, 2007, **26**(4): 339 - 343.]
- [9] ALEXAKIS D D, AGAPIOU A, TZOUVARAS M, et al. Integrated use of GIS and remote sensing for monitoring landslides in transportation pavements: the case study of paphos area in cyprus [J]. Natural Hazards, 2014, **72**: 119 - 141.
- [10] 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. [ZHANG Pingcang, REN Hongyu, HU Weizhong, et al. An elementary study on chinese mountain torrents disaster prevention regionalization [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2006, **20**(6): 196 - 200.]
- [11] 聂娟, 范一达, 邓磊, 等. 山洪灾害雷达遥感灾情评估技术研究与应用[J]. 自然灾害学报, 2010, **19**(3): 105 - 110. [NIE Juan, FAN Yida, DENG Lei, et al. Research and application of torrential flood loss assessment based on radar remote sensing technology [J]. Journal of Natural Disasters, 2010, **19**(3): 105 - 110.]
- [12] 刘少军, 张京红, 张明洁, 等. 海南岛山洪灾害风险区划研究[J]. 水土保持研究, 2013, **20**(5): 165 - 169. [LIU Shaojun, ZHANG Jinghong, ZHANG Mingjie, et al. Research on risk zonation of mountain torrent disasters in hainan island [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2013, **20**(5): 165 - 169.]
- [13] 唐川, 师玉娥. 城市山洪灾害多目标评估方法探讨[J]. 地球科学进展, 2006, **25**(4): 13 - 21. [TANG Chuan, SHI Yue. Approach to multi-objectives assessment for urban torrent hazard [J]. Progress in Geography, 2006, **25**(4): 13 - 21.]
- [14] 张磊, 王文, 文明章, 等. 基于“FloodArea”模型的山洪灾害精细化预警方法研究[J]. 复旦学报(自然科学版), 2015, **54**(3): 282 - 287. [ZHANG Lei, WANG Wen, WEN Mingzhang, et al. Research on refined early-warning method of mountain flood disaster based on floodarea [J]. Journal of Fudan University (Natural Science), 2015, **54**(3): 282 - 287.]
- [15] 李发文, 张行南, 杜成旺. 基于 GIS 和数学形态学的洪水淹没研究[J]. 水利水电科技进展, 2005, **25**(6): 14 - 24. [LI Fawen, ZHANG Xingnan, DU Chengwang. Study on flood submergence based on GIS and mathematical morphology [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2005, **25**(6): 14 - 24.]
- [16] 丁志雄, 李纪人, 李琳. 基于 GIS 网格模型的洪水淹没分析方法[J]. 水利学报, 2004, **35**(6): 56 - 67. [DING Zhixiong, LI Jiren, LI Lin. Method for flood submergence analysis based on GIS grid model [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2004, **35**(6): 56 - 67.]
- [17] 何杰, 阳坤. 中国区域高时空分辨率地面气象要素驱动数据集 [DB/OL]. 寒区旱区科学数据中心, 2011. [HE Jie, YANG Kun. China meteorological forcing dataset [DB/OL]. cold and arid regions science data center at Lanzhou, 2011.]
- [18] 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. [ZHOU Chenghu, WAN Qing, HUANG Shifeng, et al. A GIS-based approach to flood risk zonation [J]. Journal of Geographical Sciences, 2000, **55**(1): 15 - 24.]
- [19] 舒和平, 刘东飞, 顾春杰, 等. 中小尺度区域泥石流灾害风险评价[J]. 山地学报, 2014, **32**(6): 754 - 760. [SHU Heping, LIU Dongfei, GU Chunjie, et al. Risk assessment of medium and small-scale regional debris flow [J]. Mountain Research, 2014, **32**(6): 754 - 760.]
- [20] 田丰, 张军, 冉有华, 等. 甘肃陇南市泥石流灾害危险性及其影响因素评价[J]. 灾害学, 2017, **32**(3): 197 - 203. [TIAN Feng, ZHANG Jun, RAN Youhua, et al. Assessment of debris flow disaster hazard and influence factors in longnan district [J]. Journal of Catastrophology, 2017, **32**(3): 197 - 203.]
- [21] 张亚萍, 沃伟峰, 刘德, 等. 基于精细化降水分布的山洪气象条件分析气象[J]. 气象, 2013, **39**(1): 101 - 111. [ZHANG Yaping, WO Weifeng, LIU De, et al. Analyses of meteorological conditions affecting flash floods based on elaborate distribution of precipitation [J]. Meteorological Monthly, 2013, **39**(1): 101 - 111.]
- [22] 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. [CUI Peng, ZOU Qiang. Theory and method of risk assessment and risk management of debris flows and flash floods [J]. Progress in Geography, 2016, **35**(2): 137 - 147.]

- [23] 罗晓玲,李岩瑛,成华,等. 河西走廊地质灾害成因分析与防治对策[J]. 灾害学,2005,**20**(3):103-107. [LUO Xiaoling, LI Yanying, CHENG Hua, et al. Analysis on causes of geological disasters in hexi corridor and the countermeasures[J]. Journal of Catastrophology,2005,**20**(3):103-107.]
- [24] LEPUSCHITZ E. Geographic information systems in mountain risk and disaster management [J]. Applied Geography, 2015, **63**: 212-219.
- [25] 朱静. 城市山洪灾害风险评价—以云南省文山县城为例[J]. 地理研究,2010,**29**(4): 655-664. [ZHU Jing. Urban flash-flood risk assessment: a case study in wenshan city, yunnan[J]. Geographical Research,2010,**29**(4): 655-664.]

Mountain Torrent Hazard Division along Hexi Corridor

TIAN Feng¹, RAN Youhua^{2*}, ZHANG Jun^{1,3}, CHEN Wannai¹, LIU Jinpeng⁴

(1. College of Resource and Environmental Sciences, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China;

2. Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;

3. Research Center for Water-saving Agriculture in Gansu Province, Lanzhou 730070, China;

4. Geological Natural Disaster Prevention Research Institute, Gansu Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Hexi Corridor serves as a fundamental passage of the Silk Road Economic Belt in western China, where local engineering infrastructures have suffered greatly from mountain torrent hazard. It is imperative to conduct risk zoning of mountain torrent hazard in this area by monitoring and pre-warning during the planning and execution of engineering projects. In this study, a multi-criteria decision support model was used to evaluate hazard degree by integrating six factors: slope, precipitation, drainage density, elevation standard deviation, vegetation coverage fraction and debris flow gully density. And consequently a map of risk zoning of mountain torrent in Hexi Corridor was finalized for reference to local community. The map comprised past disaster locations in Hexi Corridor and the areas tabbed by extremely high danger, high danger, medium danger, low danger, and extremely low danger occupied 460.00 km², 1383.76 km², 2166.85 km², 154 787.63 km², and 33 847.89 km², respectively, accounting for 3.12%, 7.54%, 11.26%, 65.01%, and 13.07% of the total area of Hexi Corridor, respectively. The correlation of the mountain torrent hazard risk level with each of the six impact factors was also determined. There existed a functional correlation between the risk level of mountain torrent disaster in Hexi Corridor and six factors, of which, a multinomial distribution between elevation standard deviation, slope, vegetation coverage fraction and the hazard degree was found, while the precipitation, drainage density and debris flow gully density showed a positive correlation.

Key words: Hexi Corridor; mountain torrent; hazard degree; division; GIS; IDRISI