

南希, 严冬, 李爱农, 等. 岷江上游流域山地灾害危险性分区[J]. 灾害学, 2015, 30(4): 113-120. [Nan Xi, Yan Dong, Li Ainong, et al. Mountain Hazards Risk Zoning in The Upper Reaches of Minjiang River[J]. Journal of Catastrophology, 2015, 30(4): 113-120.]

岷江上游流域山地灾害危险性分区*

南希¹, 严冬^{1,2}, 李爱农^{1*}, 雷光斌^{1,2}, 曹小敏^{1,2}

(1. 中国科学院·水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川成都610041; 2. 中国科学院大学, 北京100049)

摘要: 岷江上游流域泥石流、滑坡等山地灾害频发, 给生态环境和社会经济造成了严重的危害。选取坡度、坡向、坡形、起伏度、到河流的距离、到断裂带的距离、工程地质岩组, 以及植被盖度等8个相关要素作为判别因子, 用自然聚类法作状态划分, 通过信息量模型分析各因子对于山地灾害发生的贡献, 并结合降雨量对岷江上游流域作灾害危险性分区。分析得出坡度 $>33.96^\circ$, 起伏度 $>220\text{ m}$, 坡向为东、东南、南, 坡形为凹且程度超过 27.19 m , 到河流距离 $<0.64\text{ km}$, 距离断裂带 $<3.19\text{ m}$, 软弱岩和较硬岩石为有利于山地灾害发生的条件; 流域山地灾害中度危险及以上区域面积约 $7\,392.5\text{ km}^2$, 占全区 29.8% , 沿山谷、河谷地带集中分布的特征明显。研究表明, 岷江上游流域山地灾害危险性总体上由东南向西北依次减弱, 灾害点空间分布与危险等级具有良好的正相关性, 验证了分区结果和信息量模型的合理性, 计算结论可为流域建设及灾害防治提供区域尺度的决策依据。

关键词: 岷江上游流域; 山地灾害; 信息量模型; 自然聚类法; 危险性分区

中图分类号: X43; P694 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2015)04-0113-08

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2015.04.022

岷江上游流域为山原和高山峡谷地貌, 自然灾害严重, 尤以滑坡和泥石流为代表的山地灾害频发, 是我国典型的泥石流滑坡活动区, 给该流域人民的生产和生活造成了严重的危害, 破坏了岷江上游流域本就十分脆弱的生态环境, 并直接殃及到成都平原^[1-2]。在经济发展以及政策倾向的共同驱动下, 城镇以前所未有的速度扩张。然而, 由于受到地形的限制, 山区城镇只能沿着山谷或河谷方向扩张, 新建城镇可能位于山地灾害危险性较高的区域, 这将给该区域带来严重的威胁。因此, 进行山地灾害危险性的分区, 从区域尺度为人居环境规划以及山地灾害防治提供决策依据。

山地灾害危险性分区是在山地灾害易发性的基础上进一步分析得来的, 目前主要的研究方法有专家打分模型^[3]、层次分析模型^[4]、多元统计模型^[5-6]、人工神经网络模型^[7]和信息量模型^[8-13]。专家打分模型和层次分析模型, 主要依靠研究者的主观经验, 缺乏客观的定量支撑, 难以保证灾

害危险性分区结果的客观性和准确性。多元统计模型主要用于中小区域的山地灾害危险性评价研究, 这些区域山地灾害的影响因素较为统一, 而对于影响因素多样、环境变化剧烈的大区域, 其适用性会大大降低。人工神经网络模型训练样本的选择会直接影响到山地灾害危险性输出结果的准确性。

信息量模型相对于以上模型具有物理意义明确, 操作简单, 能够融合复杂庞大的数据的特征, 并且在单元划分数量较大的区划中更具优势, 因此, 近年来被广泛应用于山地灾害危险性分区研究与实践中。理论上讲, 信息量模型对参与易发性评价的成灾要素的状态划分没有特殊要求, 但研究发现, 成灾要素选取及其状态划分的合理性会影响计算评价的结果^[14]。基于信息量模型的山地灾害危险性分区研究中, 各评价指标的状态划分常用专家经验法和数值等分法, 这些方法忽视

* 收稿日期: 2015-03-20 修回日期: 2015-05-27

基金项目: 中国科学院“百人计划”项目(110900K242); 中国科学院战略先导性科技专项-碳专项(XDA05050105); 中国科学院委托研究与专项咨询服务课题(KFJ-EW-ST5-020-02); 四川省地理国情监测工程技术研究中心项目(GC201416)

作者简介: 南希(1986-), 男, 山西沁源人, 硕士, 研究实习员, 研究方向为GIS地学分析与可视化应用研究。

E-mail: nanxi@imde.ac.cn

通讯作者: 李爱农(1974-), 男, 安徽庐江人, 博士, 研究员, 研究方向为山地定量遥感及其应用研究。

E-mail: ainongli@imde.ac.cn

了数据本身的统计特征,使得山地灾害危险性分区结果往往因人而异,研究不具可重复性。

基于以上不足,本文选择山地灾害频发的岷江上游流域作为研究区,以自然聚类法^[15]对信息量模型中各成灾要素的状态以及山地灾害危险性等级予以划分。综合考虑地形、水系、地质构造、地层岩性、植被等成灾要素,对岷江上游流域由降雨引起的泥石流和滑坡山地灾害的危险性进行了分析。

1 研究区与数据

1.1 研究区简介

岷江上游流域位于 30°45' ~ 33°10' N, 102°59' ~ 104°14' E 之间,指自源头(岷山南麓的贡嘎岭)至都江堰之间的地段,流域覆盖的行政区域包括了四川省阿坝藏族羌族自治州的汶川县、理县、茂县、松潘县和黑水县五县,面积约为 2.48 万 km²。该地区地质构造复杂,断裂发育,新构造运动隆升强烈,区域内地震活动频繁。岩层多分布变质岩系,极易风化和剥蚀,岩石破碎程度高。受地质构造的影响,区域地形起伏大,山岭和谷底海拔相对高差达 1 500 ~ 3 000 m。河流两侧谷坡陡峭,平均坡度在 30° ~ 35° 之间。在特殊的南北走向地貌和西南季风的共同作用下,本地区焚风效应显著,干湿季明显,降水主要集中在 5 - 10 月,占全年降水量的 80% 左右,且多阵性夜雨,瞬时强度大。受地形起伏以及降水的影响,河流比降陡,洪枯流量变幅大,下切和侧蚀能力均较强。岷江上游流域植被类型垂直分异明显,2 000 m 以下干热河谷及半干热河谷地区植被以灌木为主,2 000 m 以上植被依次由阔叶林向针叶林、灌木、草甸和高山植被过渡。

1.2 指标选择

山地灾害的发生受地形、岩性、岩土体结构、构造、水文地质特征和地表覆被等自然环境条件和诱发因素(如降雨、地震、人类工程活动等)的综合影响^[1]。

在充分考虑岷江上游自然环境条件及其同山地灾害发生相关性的基础上,选取地形、水系、地质构造、地层岩性、植被五类指标作为参与信息量计算的一级指标。地形中,坡度与起伏度是控制坡体稳定性的最重要因素,随着坡度和起伏度增大,包括重力在内的剪切力增大,同时也影响着松散碎屑物的分布^[9, 12-13, 16-17];坡向的不同引起了水热条件的再分配,从而导致了植被分布以及岩石风化程度的不同,进而影响到坡体的稳定性^[12, 17];坡形是指示坡面“凹凸”程度的指标,控制地震动力放大或减小效应^[13]。岷江上游河流纵横,河流的侵蚀导致了众多临空面的产生,加

之岷江上游地区岩石破碎,距离河流越近坡体越容易失稳^[12, 16]。整个研究区断裂构造发育,距离断裂带越近,坡体受到的切割与扰动越大,坡体稳定性越差^[9, 12, 16]。工程地质岩组表征斜坡岩土体的坚硬程度以及风化程度等强度特性,是坡体稳定性的重要指标^[9, 13]。植被通过固定土体、改造土壤结构以及减小地表径流,在一定程度上能够增加浅层坡体的稳定性^[16-18]。因此,为了全面分析岷江上游流域山地灾害的易发性,本文选取了坡度、起伏度、坡向、坡形、到河流的距离、到断裂带的距离、工程地质岩组、覆盖度八个成灾要素作为二级指标。指标选取如图 1 所示。

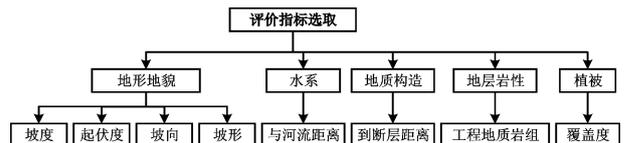


图1 评价指标选取

对于诱发因素,地震为不可预知、长时间间隔的诱发因素,发生时往往引发规模巨大的山地灾害,而人类工程活动在何时造成多大规模的山地灾害同样不可预知,对这两种诱发因素本文不作考虑。对于降雨来说,超过 90% 的山地灾害与降雨直接或间接相关,是诱发山地灾害的主导因素^[19-20]。由于岷江上游地区降雨诱发山地灾害通常发生在 5 - 10 月之间,基本与汛期的初期和末期对应^[21-23],因此本文选取岷江上游流域多年 5 - 10 月的累年平均降雨量最大值作为诱发因子。

1.3 数据与数据预处理

根据确定的指标,并结合数据的可获取性以及分区精度的需求,本文选用的初始数据为研究区 2014 年 6 - 9 月的 TM 影像、ASTER GDEM 30 m 分辨率数据、河流数据、断层数据、岩性数据、1971 年到 2000 年月累年平均降雨量以及 2000 - 2013 年的 MODIS16d 合成数据产品。

通过收集外业调查数据和山地灾害遥感解译,共得到 795 处近年发生的山地灾害点。坡度、坡向、坡形、起伏度可以通过表面分析从 DEM 数据提取。到河流的距离、到断裂带的距离通过 ArcGIS 距离分析分别从河流数据和断层数据提取。工程地质岩组数据主要通过查阅不同类别岩石所对应的坚硬程度、抗风化能力获得^[24]。降雨量数据使用单元统计方法,逐像元统计 5 - 10 月 6 组数据的最大值。覆盖度数据经过 SG 滤波^[25]处理、提取每年 5 - 10 月数据、逐像元统计 5 - 10 月 NDVI 的最大值、计算覆盖度^[26]四个步骤获得。考虑到岷江上游流域山谷或河谷大多较为狭窄,为了使研究结果更具实用价值,所有栅格数据在预处理过程中都以 TM 影像为准,栅格大小统一为 30 m。

2 方法

本文选用信息量模型, 通过文献查阅以及实地调研建立合适的评价指标体系, 并运用自然聚类法进行状态划分, 通过分析各指标的信息量计算结果选择影响显著并符合实际情况的成灾要素, 经过栅格叠加运算得到山地灾害易发性数据。在此基础上, 将山地灾害易发性同处理后的降雨量相乘, 得到山地灾害危险性数据, 以自然聚类法分级获得最终的山地灾害危险性分区。具体流程如图 2 示。

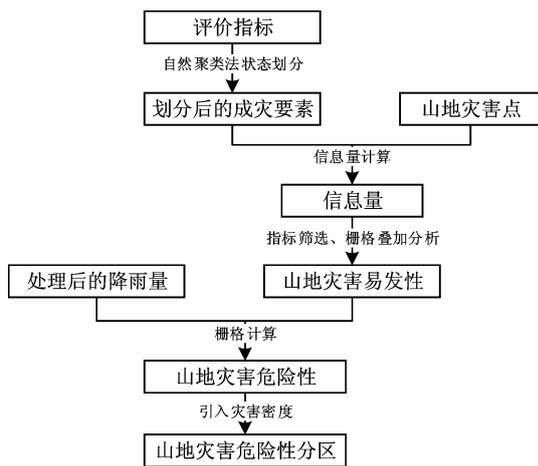


图 2 山地灾害危险性分区流程

2.1 信息量模型的基本原理

信息量模型的理论基础是信息论, 属于贝叶斯概率模型的一种, 采用山地灾害发生过程中熵的减少来表征山地灾害事件发生的可能性。信息预测的观点认为, 山地灾害产生与否与预测过程中所获得的信息的数量和质量有关, 是用信息量衡量的^[27]。信息量越大, 表明发生山地灾害的可能性越大。

对于不同尺度的易发性评估, 信息量模型可选用不同形式山地灾害参量, 对于小比例尺区域, 可利用灾害点或栅格数量作为参量进行评估; 而对于大比例尺地区, 可利用山地灾害的分布面积作为参量进行评估。

信息量模型利用概率形式进行定量描述, 反映了不同成灾划分区间对山地灾害形成的贡献大小^[12, 28], 山地灾害信息量表达式为:

$$I_{A \rightarrow B} = \ln \frac{P(B/A_j)}{P(B)} (j=1, 2, \dots, n). \quad (1)$$

式中: $I_{A \rightarrow B}$ 代表成灾要素 A 中第 j 区间的山地灾害 B 发生的信息量; $P(B/A_j)$ 代表成灾要素 A 中第 j 区间的山地灾害 B 的发生概率; $P(B)$ 代表山地灾害 B 在区域内发生的概率; n 为成灾要素 A 被划分的次级区间数。

在实际操作过程中为了便于计算, 通常将式 (1) 中概率转化为样本频率进行计算, 于是可将式 (1) 转变为:

$$I_{A \rightarrow B} = \ln \frac{P(B/A_j)}{P(B)} = \ln \frac{N_j/S_j}{N/S} (j=1, 2, \dots, n). \quad (2)$$

式中: $I_{A \rightarrow B}$ 和 n 同式 (1) 中的含义相同; N_j 代表成灾要素 A 中第 j 区间的山地灾害面积或者灾点数; S_j 代表成灾要素 A 中第 j 区间的分布面积; N 代表区域山地灾害的总分布面积或者总灾点数; S 代表区域总面积。

信息量模型中 $I_{A \rightarrow B}$ 的值有正负之分, “正值”表明该划分区间有利于山地灾害发生; “负值”表明该划分区间不利于山地灾害发生; “0 值”表明该划分区间对于山地灾害的贡献介于正负值中间。

2.2 山地灾害易发性评估

山地灾害易发性表示某个空间位置或单元体发生灾害可能性的大小或容易度大小^[29]。基于信息量模型评估山地易发性可归纳为以下四个步骤: ①评价指标的建立和划分; ②基于信息量模型计算各划分区间的信息量值并绘制特征曲线; ③根据各评价指标的信息量值和特征曲线筛选评价指标; ④将筛选后的指标通过栅格叠加得到山地灾害易发性。计算结果越大表明越容易发生山地灾害。

2.3 山地灾害危险性评估

山地灾害危险性表示灾害事件和现象某一发生频率条件下灾害可能具有的危险性^[29]。对于岷江上游流域而言, 以降雨为诱发因素的山地灾害危险性评估模型包括具有物理确定性模型和简化模型两种。物理确定性模型有严格物理力学意义, 但模型往往结构复杂, 需要详细的区域岩土力学强度数据, 计算量大^[13, 19]。此外, 物理确定性模型输入参数有限, 导致对其他因素的影响反映较弱, 难以充分利用山地灾害易发性数据, 模型评估的结果存在一定的局限性。相比而言, 虽然简化模型缺乏明确的物理力学意义, 但是具有结构简单, 参数要求低, 计算量小, 能够融合多种不同成灾要素的特点。考虑到研究区岩土力学强度数据难以获取, 同时为了充分利用由信息量模型获取的山地灾害易发性数据, 本文选用简化模型评估山地灾害危险性。评估过程直接选用处理之后的降雨量数据同易发性评估结果相乘, 以表达区域降雨诱发山地灾害的危险性强弱。

3 结果与分析

3.1 山地灾害易发性计算

成灾要素中坡向和工程地质岩组的状态较为明确, 这两个按照其本身的状态进行划分, 其余要素根据数值的分布划分为合适的状态, 共得到

表1 信息量计算结果

| 一级指标 | 二级指标 | 划分区间 | 信息量 | 一级指标 | 二级指标 | 划分区间 | 信息量 |
|------|------|---------------|-------|------|---------|---------------------|-------|
| 地形 | 坡度 | 0 ~ 9.52 | -0.41 | 地形 | 坡形 | -502.54 ~ -27.19 | 0.63 |
| | | 9.52 ~ 15.92 | -1.26 | | | -27.19 ~ -12.15 | 0.05 |
| | | 15.92 ~ 21.14 | -0.93 | | | -12.15 ~ 2.90 | -0.23 |
| | | 21.14 ~ 25.68 | -0.71 | | | 2.90 ~ 17.94 | -0.01 |
| | | 25.68 ~ 29.90 | -0.9 | | | 17.94 ~ 261.63 | 0.15 |
| | | 29.90 ~ 33.96 | -0.4 | | | 0 ~ 638.68 | 0.9 |
| | | 33.96 ~ 38.15 | 0.2 | | | 638.68 ~ 1310.98 | -0.11 |
| | | 38.15 ~ 43.05 | 0.8 | | | 1310.98 ~ 2016.90 | -0.74 |
| | | 43.05 ~ 50.10 | 1.14 | | | 2016.90 ~ 2756.43 | -0.62 |
| | | 50.10 ~ 83.01 | 1.21 | | | 2756.43 ~ 3630.42 | -1.16 |
| 地形 | 起伏度 | 0 ~ 82 | -1.31 | 地质构造 | 到断裂带的距离 | 3630.42 ~ 4806.94 | -0.9 |
| | | 82 ~ 125 | -1.17 | | | 4806.94 ~ 8571.81 | -1.45 |
| | | 125 ~ 159 | -1.13 | | | 0 ~ 3190.54 | 0.53 |
| | | 159 ~ 190 | -0.44 | | | 3190.54 ~ 7319.48 | -0.12 |
| | | 190 ~ 220 | -0.11 | | | 7319.48 ~ 11636.10 | 0.17 |
| | | 220 ~ 251 | 0.23 | | | 11636.10 ~ 16328.07 | -0.69 |
| | | 251 ~ 286 | 0.56 | | | 16328.07 ~ 21207.72 | -1.11 |
| | | 286 ~ 330 | 1.14 | | | 21207.72 ~ 26087.37 | -0.96 |
| | | 330 ~ 398 | 1.33 | | | 26087.37 ~ 30967.03 | -1.45 |
| | | 398 ~ 1135 | 1.43 | | | | |
| 地形 | 坡向 | 平地 | -0.3 | 地层岩性 | 工程地质岩组 | 松散岩 | -0.3 |
| | | 北 | -0.74 | | | 软弱岩 | -0.14 |
| | | 东北 | -0.46 | | | 较软岩 | 0.76 |
| | | 东 | 0.22 | | | 较硬岩 | 0.95 |
| | | 东南 | 0.54 | | | 坚硬岩 | 0.08 |
| | | 南 | 0.32 | | | 0 ~ 0.35 | -3.27 |
| | | 西南 | 0.01 | | | 0.35 ~ 0.57 | -1.07 |
| | | 西 | -0.32 | | | 0.57 ~ 0.75 | 0.24 |
| | | 西北 | -0.37 | | | 0.75 ~ 0.87 | 0.37 |
| | | | | | | 0.87 ~ 1 | -0.09 |

58个划分区间。

通过信息量计算可以得到成灾要素各划分区间的信息量,信息量的大小可以反映成灾要素各划分区间的致灾有利程度。各成灾要素的状态划分及对应的信息量计算结果如表1所示。

根据表1结果,以状态划分区间为X轴,以对应的信息量值为Y轴,绘制各成灾要素信息量值变化的特征曲线(图3)。曲线的单调、峰、谷等形态的变化能够直观地表达各成灾要素同山地灾害之间的关系以及不同划分区间对于山地灾害贡献的强弱。

综合分析表1及图3中的各成灾要素不同划分区间对应的信息量值以及特征曲线,可以得出如下结论。

(1)当坡度大于33.96°时,随着坡度增加,山地灾害发生可能性增大,当坡度小于33.96°时,信息量值变为负值,山地灾害不易发生。

(2)随着起伏度增加,山地灾害发生可能性增大,当起伏度小于220m时,信息量值变为负值,山地灾害不易发生。

(3)对于坡向,信息量值在东、东南、南方向较大,在这三个方向山地灾害发生的可能性更大。其余方向信息量值为负或基本等于零,山地灾害不易发生。

(4)坡形的信息量特征曲线呈现明显的单谷,凹坡形在整体上比凸坡形有利于山地灾害的发生,程度超过27.19m时,作用最为显著。平地对山地灾害发生的抑制作用最强。

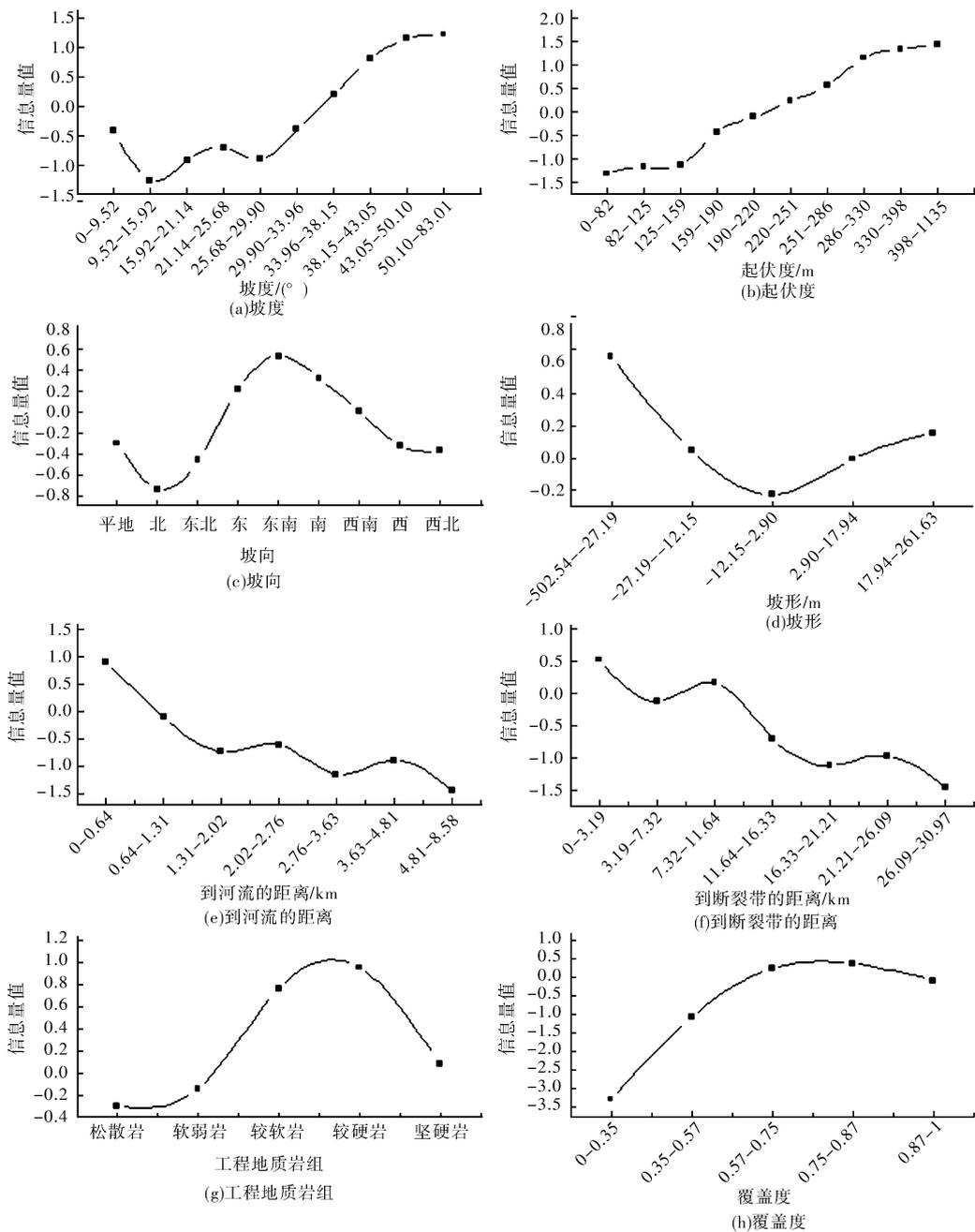


图3 各类要素信息量特征曲线

(5) 距离河流越近越有利于山地灾害的发生, 当距离河流超过 0.64 km 时, 信息量值变为负值, 河流侵蚀对于坡体稳定性的影响明显减弱, 山地灾害不易发生。

(6) 距离断裂带 0~3.19 km 时, 信息量值最大, 说明此距离内断裂带能为山地灾害提供丰富的固体物质条件, 有利于山地灾害的发生。距离断裂带超过 11.64 km 时, 信息量的值变为负值, 山地灾害不易发生。

(7) 工程地质岩组信息量特征曲线呈现明显的单峰, 较软岩和较硬岩更利于山地灾害的发生, 其他岩组的致灾作用较为微弱。造成此现象的原因是岷江上游地区较软岩和较硬岩主要分布在紧

靠断裂带的地区, 且分布面积最广, 因而导致这两种岩组中灾害发生最多, 而其他岩组中灾害发生较少。

(8) 覆盖度的信息量曲线呈现明显的单峰, 在覆盖度小于 0.57 的区域, 对山地灾害的发生呈现出很强的抑制性; 在覆盖度为 0.57~0.87 的区域对山地灾害的发生呈现出一定的促进作用, 但并不明显; 当覆盖度超过 0.87, 对山地灾害的发生又转为轻微的抑制性。

为了使预测结果更具代表性, 需要排除对山地灾害影响并不显著的成灾要素。在所有的成灾要素中, 植被在覆盖度小于 0.35 的区域, 信息量值低至 -3.27, 抑制作用最强; 而在覆盖度为

0.57~0.75 的区域,信息量值最大,仅有0.37,促进作用微弱。可能是由于本研究主要考虑的为强山地灾害,而在发生强山地灾害时,良好植被区反而会增加山地灾害的规模^[17,30]。同时,受到岷江上游流域地形地貌以及气候等因素的影响,使得低覆盖度区域主要集中在高海拔区域,这些地方山地灾害较少发生,而中等覆盖度区域主要集中在山谷以及河谷,这些地方是山地灾害发生的主要区域。综上,岷江上游地区植被覆盖度与山地灾害发生没有显著的关系,因此,在进行山地灾害易发性的计算时,需要将植被覆盖度排除在外。

通过 GIS 空间赋值,将剩下的七个成灾要素各状态区间的信息量赋给对应的栅格中,得到七幅信息量数据,用栅格叠加运算得到山地灾害易发性,如图 4 所示。

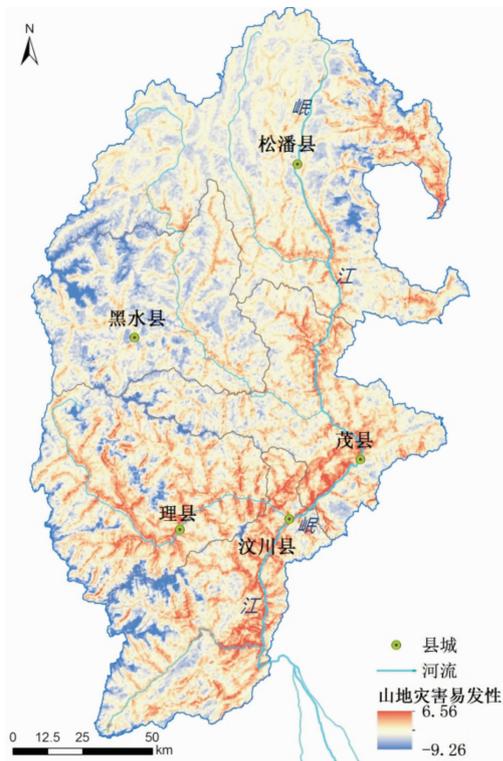


图 4 岷江上游流域山地灾害易发性空间分布

表 2 密度等值线的平均危险值

| 灾害点密度区间/(个/km ²) | 区间内样本数量/个 | E |
|------------------------------|-----------|---------|
| 0.0~0.2 | 119 | -363.41 |
| 0.2~0.4 | 138 | 11.98 |
| 0.4~0.6 | 235 | 115.91 |
| 0.6~0.8 | 188 | 287.82 |

3.2 山地灾害危险性分区

山地灾害易发性数据乘以累年平均降雨量,得到岷江上游流域山地灾害危险值栅格,在实际应用中通常将危险值分为极低度、低度、中度、高度、极高度危险区 5 个等级。由于分级时断点的

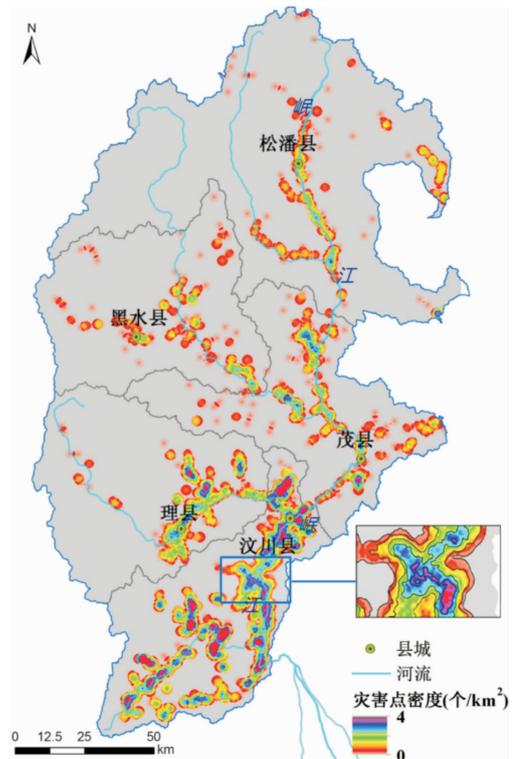


图 5 岷江上游流域山地灾害点密度

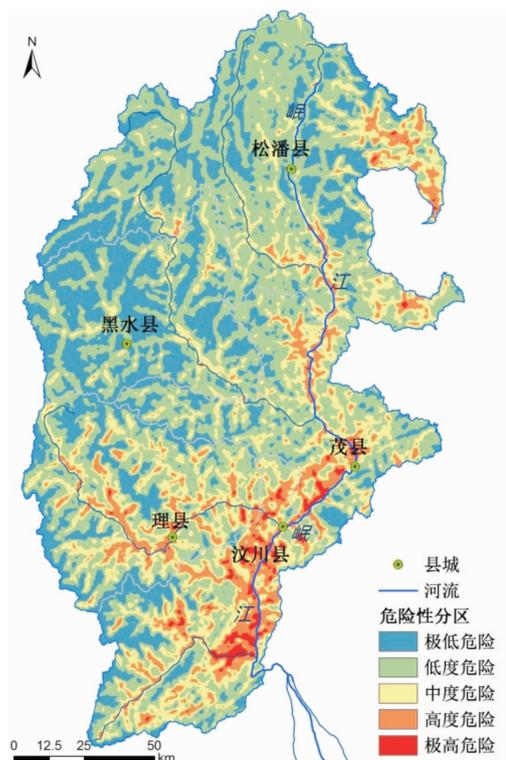


图 6 岷江上游流域山地灾害危险性分区

选择与结果合理性密切相关,应结物理意义明确的参考量来确定断点值,使分级结果客观且有逻辑依据。本研究的参考数据选用灾害点和灾害点密度(图 5)。首先,对现有灾害点作半径 500 m 的缓冲区,把得到的 795 个缓冲区要素作为样本,

表 3 危险性分区结果同灾害分布对比

| 危险性分区 | 极低度危险区 | 低度危险区 | 中度危险区 | 高度危险区 | 极高度危险区 |
|----------------------------|---------|----------|---------|---------|--------|
| 分区面积/km ² | 6278.81 | 11127.01 | 4777.26 | 2334.51 | 280.73 |
| 分区面积比例/% | 25.32 | 44.87 | 19.26 | 9.41 | 1.14 |
| 山地灾害点个数/个 | 16 | 111 | 242 | 348 | 78 |
| 灾害点密度/(个/km ²) | 0.0025 | 0.0099 | 0.0507 | 0.1491 | 0.2778 |

使用 ArcGIS 的 Zonal Statistics 工具计算每个样本范围内的平均灾害危险值, 记为 e ; 第二步从灾害点密度数据中依次提取 (0.0 ~ 0.2)、(0.2 ~ 0.4)、(0.4 ~ 0.6)、(0.6 ~ 0.8) 4 个区间, 统计落在区间内各样本 e 值的平均, 记为 E , E 值作为当前点密度分割方案下危险性分区断点的参考值(表 2)。

据此, 将地质灾害危险性分为极低度危险区 (min ~ -363.41)、低度危险区 (-363.41 ~ 11.98)、中度危险区 (11.98 ~ 115.91)、高度危险区 (115.91 ~ 287.82)、极高度危险区 (287.82 ~ max), 分区结果如图 6 所示。

统计不同等级分区面积以及各分区中包含的灾害点数和灾害点密度, 并对比分区结果同实际灾害点分布的一致性, 以此评价分区结果合理性, 统计结果如表 3 所示。

观察表 3 灾害点密度数据可以得出, 随危险等级提高, 灾害点密度快速增加, 二者有良好的正相关性, 符合山地灾害危险性等级划分原则。极低度危险区、低度危险区、中度危险区, 高度危险区和极高度危险区的面积分别为 6 278.81 km²、11 127.01 km²、4 777.26 km²、2 334.51 km² 和 280.73 km²。其中, 高度危险区和极高度危险区以占总面积 10.55% 的比例覆盖了 53.58% 的山地灾害点, 中度及以上危险区以占总面积 29.81% 的比例覆盖了 84.03% 山地灾害点。

岷江上游流域中度危险及以上区域范围相对集中, 高度危险区和极高度危险区沿山谷、河谷分布趋势较为明显, 呈明显的带状分布, 特别是在汶川境内, 自 2008 年地震后山地灾害沿岷江两岸密集发育。该区域地处龙门山腹地, 地表破裂同断裂走向一致, 加之岷江两岸坡陡且高, 降雨密集且充沛, 可以预见, 未来一段时期该地区山地灾害仍将处于活跃状态。岷江上游地区山地灾害危险性总体上由东南向西北依次降低, 与坡度、起伏度、到断裂带距离以及降雨量在研究区总体上的空间分布趋势保持一致。

4 结论

本文使用信息量模型实现了岷江上游流域山地灾害危险性分区。结果表明岷江上游流域极高度危险区、高度危险区、中度危险区约占区域总

面积的 29.81%, 汶川、理县和茂县中度危险及以上区域占比例较大, 受到山地灾害威胁较重; 松潘县和黑水县境内中危险度以上的区域分布相对较少, 山地灾害威胁相对较小。高度危险区和极高度危险区与山谷、河谷呈现较强的空间相关性。在城镇建设过程中, 选址应尽量避免高度和极高度危险区, 对已经处于高度危险区和极高度危险区中的居民地和道路应该采取相应的措施重点防治山地灾害的发生。已发生灾害的分布与危险性分区的吻合情况较好, 验证了基于信息量模型的山地灾害危险性分区的合理性, 同时计算结果可以为该地区人居环境建设及山地灾害防治提供区域性的科学参考。

参考文献:

- [1] 王昕. 岷江上游泥石流活动的分布特征研究[J]. 重庆师范学院学报: 自然科学版, 2000, 17(4): 51-55.
- [2] 刘希林, 苏鹏程. 四川省泥石流风险评价[J]. 灾害学, 2004, 19(2): 23-28.
- [3] 祁元, 刘勇, 杨正华, 等. 基于 GIS 的兰州滑坡与泥石流灾害危险性分析[J]. 冰川冻土, 2012, 34(1): 96-104.
- [4] 褚洪斌, 母海东, 王金哲. 层次分析法在太行山区地质灾害危险性分区中的应用[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2003, 14(3): 125-129.
- [5] 赵鑫, 程尊兰, 刘建康等. 云南东川地区单沟泥石流危险度评价研究[J]. 灾害学, 2013, 28(1): 102-106.
- [6] Gregory C O, John C D. Using multiple logistic regression and GIS technology to predict landslide hazard in northeast Kansas, USA [J]. Engineering Geology, 2003, 69(3-4): 331-343.
- [7] Massimo C, Stefania P, Gaetano R, et al. Evaluation of prediction capability of the artificial neural networks for mapping landslide susceptibility in the Turbolo River catchment (northern Calabria, Italy) [J]. Catena, 2014, 113(0): 236-250.
- [8] 丁明涛, 程尊兰, 王青. “4·20”芦山地震灾区次生山地灾害易发性评价[J]. 山地学报, 2014, 32(1): 117-123.
- [9] 邹强, 崔鹏, 杨伟. G318 川藏公路段泥石流危险性评价[J]. 山地学报, 2013, 31(3): 342-348.
- [10] Jiang X, Cui P. Hazards assessment of regional debris flows based on geographic information science [J]. Wuhan University Journal of Natural Sciences, 2007, 12(4): 651-656.
- [11] 高振记, 郭伦, 赵兴征. 基于 GIS 的深圳市滑坡危险性区划研究[J]. 灾害学, 2014, 29(1): 67-74.
- [12] 高克昌, 崔鹏, 赵纯勇, 等. 基于地理信息系统和信息量模型的滑坡危险性评价——以重庆万州为例[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(5): 991-996.
- [13] 王涛. 汶川地震重灾区地质灾害危险性评估研究[D]. 北京: 中国地质科学院, 2010

- [14] 丛威青, 潘懋, 李铁锋, 等. 基于 GIS 的滑坡、泥石流灾害危险性区划关键问题研究[J]. 地学前缘, 2006, 13(1): 185 - 190.
- [15] Li A, Wang A, Liang S, et al. Eco-environmental vulnerability evaluation in mountainous region using remote sensing and GIS-A case study in the upper reaches of Minjiang River, China[J]. Ecological Modelling, 2006, 192: 175 - 187.
- [16] Day Jr C L, Lew R A, Mihn Jr M C, et al. The natural break points for primary-tumor thickness in clinical Stage I melanoma [J]. The New England Journal of Medicine, 1981, 305(19): 1155.
- [17] 张国平, 徐晶, 毕宝贵. 滑坡和泥石流灾害与环境因子的关系[J]. 应用生态学报, 2009, 20(3): 653 - 658.
- [18] 徐则民, 黄润秋, 唐正光, 等. 植被护坡的局限性及其对深层滑坡孕育的贡献[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(3): 438 - 450.
- [19] 兰恒星, 伍法权. GIS 支持下的降雨型滑坡危险性空间分析预测[J]. 科学通报, 2003, 48(5): 507 - 512.
- [20] 刘艳辉, 唐灿, 李铁锋, 等. 地质灾害与降雨雨型的关系研究[J]. 工程地质学报, 2009, 17(5): 656 - 661.
- [21] 郁淑华, 高文良. “5. 12”汶川特大地震重灾区泥石流滑坡气候特征分析[J]. 高原山地气象研究, 2008, 28(2): 62 - 67.
- [22] 唐川, 丁军, 梁京涛. 汶川震区北川县城泥石流源地特征的遥感动态分析[J]. 工程地质学报, 2010, 18(1): 1 - 7.
- [23] 潘建华, 彭贵芬, 彭俊, 等. 基于模糊综合评判的汶川 8. 0 级地震重灾区滑坡泥石流气候风险评估[J]. 灾害学, 2012, 27(1): 10 - 16.
- [24] 《中华人民共和国国家标准》编写组. 工程岩体分级标准[S]. 北京: 中国计划出版社, 1995.
- [25] 边金虎, 李爱农, 宋孟强, 等. MODIS 植被指数时间序列 Savitzky-Golay 滤波算法重构[J]. 遥感学报, 2010, 10(4): 725 - 741.
- [26] 李苗苗, 吴炳方, 颜长珍, 等. 密云水库上游植被覆盖度的遥感估算[J]. 资源科学, 2004, 26(4): 153 - 159.
- [27] 殷坤龙, 朱良峰. 滑坡灾害空间区划及 GIS 应用研究[J]. 地学前缘, 2001, 8(2): 279 - 284.
- [28] 吴树仁, 张永双, 石菊松, 等. 三峡库区重庆市丰都县滑坡灾害危险性评价[J]. 地质通报, 2007, 26(5): 573 - 579.
- [29] 胡凯衡, 丁明涛. 滑坡泥石流风险评估框架体系[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2013, 24(2): 26 - 30.
- [30] 陈晓清, 崔鹏, 韦方强. 良好植被区泥石流防治初探[J]. 山地学报, 2006, 24(3): 333 - 339.

Mountain Hazards Risk Zoning in the Upper Reaches of Minjiang River

Nan Xi¹, Yan Dong^{1, 2}, Li Ainong¹, Lei Guangbin^{1, 2} and Cao Xiaomin^{1, 2}
 (1. *Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu 610041, China;*
 2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 10049, China*)

Abstract: Mountain hazards represented by flow debris and landslide occur frequently in the upper reaches of Minjiang River, which bring serious damage to the region. We take the upper reaches of Minjiang River as the study area and choose eight disaster-causing factors as the discriminant factors, which are slope, aspect, slope shape, relief, distance to rivers, distance to faults, engineering geological petrofabric and vegetation coverage. The natural break is adopted to process the state division. Contribution of each disaster-causing factor to the mountain hazards is analyzed through the information value model. Combining the precipitation data, the risk zoning is made to the upper reaches of Minjiang River. Research shows that, slope larger than 33.96° ; relief larger than 220 m; aspect which is east, south east or south; concave slope larger than 27.19 m; distance to rivers less than 0.64 km and distance to faults less than 3.19 km are the favorable conditions for mountain hazards occurrence. The area of medium, high and very high levels is 7392.5 km² which accounts for 29.8% in the whole place. And there is an obvious trend that these hazardous areas lay along the mountain valleys and river valleys. The mountain hazards risk of the upper reaches of Minjiang River decreases from southeast to northwest as a whole. The zoning result is well consistent with the actual mountain hazards situation in study area. Thus, to some extent, it can provide scientific guidance for the selection of urban construction in this area as well as the prevention of mountain hazards.

Key words: upper reaches of Minjiang River; mountain hazards, information value model; natural break; risk zoning