

李学敏, 邓玲. 张家界武陵源区降雨诱发地质灾害风险区划[J]. 气象研究与应用, 2021, 42(4): 68–72.

Li Xuemin, Deng Ling. Research on regional risk zoning of rainfall-induced geo-hazards in Wulingyuan, Zhangjiajie[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2021, 42(4): 68–72.

张家界武陵源区降雨诱发地质灾害风险区划

李学敏^{1,2}, 邓玲^{1,2}

(1. 湖南省气象服务中心, 长沙 410118; 2. 气象防灾减灾湖南省重点实验室, 长沙 410118)

摘要: 为了评估武陵源区降雨诱发的地质灾害风险, 提高山岳型景区防灾减灾能力, 基于 2010—2019 年张家界武陵源区 16 个区域自动站逐日降水量资料和中国区域地面气象要素数据集(CMFD), 结合张家界武陵源区数字高程(DEM)和地质灾害详细调查数据, 从致灾因子、孕灾环境等方面构建了地质灾害风险指数模型, 并基于 GIS 分析完成了降雨诱发地质灾害的风险区划。结果表明, 武陵源降雨引发地质灾害高风险区占总面积 5.5%, 主要位于景区东侧和西南部, 其中东部的黄龙洞、紫霞山和西南部的黄石寨、杨家界等景点需要做好重点防范; 中等风险区占比 39.5%, 核心景区的大部分面积属于该区; 景区西侧、东北侧乡镇风险较低。

关键词: 武陵源区; 降雨; 地质灾害; GIS; 风险区划

中图分类号: P429

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2021.4.12

OSID:

引言

张家界武陵源区总面积 $3.97 \times 10^4 \text{ km}^2$, 位于湖南省西北部张家界市中部, 澧水中上游, 属武陵山脉。其境内的武陵源风景名胜区是张家界市的核心景区, 2019 年接待游客 2653 万人次、实现旅游总收入 374 亿元, 相比上一年分别增长 15%、23%。奇特的石英砂岩峰林地貌为其主要特征, 共有石峰 3103 座, 峰体分布在海拔 500~1100m, 高度由几十米至四百米不等。近年来, 受气候变化的影响, 武陵源降雨发生频率及其强度有加大的趋势, 加之山丘区地质构造复杂, 地质条件脆弱, 连续性降水或暴雨天气常常导致山洪并诱发崩塌、山体滑坡和泥石流等地质灾害。据张家界国土资源局的地质灾害详细调查表显示, 1982—2016 年武陵源区共发生地质灾害 252 次, 其中滑坡和崩塌占比分别为 50% 和 39.7%^[1]。降雨引发的地质灾害对山岳型景区的威胁日益增大, 对人民生命财产、社会经济发展造成的严重影响, 迫切需要进行地质灾害的研究和预防。开展武陵源降雨诱发的地质灾害风险区划与评价, 可有效指导山岳

型景区气象灾害的监测、预警和防御, 减少旅游业损失, 提升气象防灾减灾的能力和增加气象服务效益。

自然灾害风险一直以来都是国内外专家学者研究的热点, 为了量化评估一般从致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、承灾体易损性及抗灾能力等方面选取指标构建模型^[2-3]。随着 GIS 技术的发展, 不少学者开展了基于 GIS 的暴雨洪涝、山洪、滑坡等风险评估与区划研究^[4], 包括四川省、浙江省、重庆市、北京市等大范围区域^[5-12], 以及黄山风景区、云南省怒江州、河池市、南宁市等较小区域^[13-16], 并建立预报模型和基于 GIS 的地质灾害预报预警系统^[17-19]。针对湖南地区, 有学者建立基于多源信息融合的湖南省地质灾害评估模型和山体滑坡影响因子^[20-21], 基于 GIS 技术和层次分析法(AHP)从危险性和易损性两方面对湖南滑坡风险进行评估^[22], 研究了降雨型地质灾害的致灾雨量阈值^[23], 而针对地质灾害重点防范区的综合降水和环境因子的精细化区划尚少。

以张家界武陵源区为研究对象, 利用 2010—2019 年张家界武陵源区 16 个区域自动站的逐日降水量资料和中国区域地面气象要素数据集(CMFD),

收稿日期: 2021-06-09

基金项目: 湖南省气象局预报员专项项目(XQKJ19C013)

作者简介: 李学敏(1983—), 女, 硕士, 高级工程师, 主要从事专业气象服务与研究。E-mail: 122247369@qq.com

结合张家界武陵源区数字高程(DEM)和地质灾害详细调查数据,主要从致灾因子、孕灾环境等方面研究基于GIS的山岳型景区降雨诱发的地质灾害风险区划。

1 资料与方法

1.1 资料来源

地理信息数据为张家界武陵源区 30m 分辨率数字高程 DEM,历史灾情资料来自 1982—2016 年武陵源区 1:5 万地质灾害详细调查数据。气象观测资料为 2010—2019 年武陵源区 16 个区域自动站的逐日降水量和 1979—2018 年武陵源所处的张家界市 3 个国家站(张家界、桑植、慈利)的年降水量。再分析资料为 1979—2018 年中国区域地面气象要素数据集(China Meteorological Forcing Dataset, CMFD)。CMFD 是中国科学院青藏高原研究所开发的一套近地面气象与环境要素再分析数据集。该数据集以国际上现有的 Princeton 再分析资料、GLDAS 资料、GEWEX-SRB 辐射资料与 TRMM 降水资料为背景场、融合中国气象局常规气象观测数据制作而成^[24],空间分辨率 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 。对 1979—2018 年 CMFD 降水资料与张家界 3 个国家站实况资料进行相关分析,40a 的相关系数均在 0.85 以上,并达到 0.05 显著性水平,说明该资料在张家界地区是可用的。

1.2 研究方法

根据风险区划研究原则,自然灾害风险是致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、承灾体易损性和灾害发生地抗灾能力 4 个因子相互作用的综合结果,取决于致灾因子的强度与频率、自然环境和社会经济环境。考虑到研究范围是一个相对封闭的较小区域,抗灾能力可以认为是固定值,因此降水引发地质灾害风险评价指标主要从降水危险性、地形环境因子、承灾体易损性 3 个方面评估。其中致灾因子危险性反映降水发生的频率和强度;孕灾环境敏感性反映地质灾害发生的环境因子;承载体易损性反映某区域对地质灾害的暴露程度。

为了消除量纲差异,对指标进行归一化处理,方法如下:

$$S_j = \frac{k_j}{\sum_{j=1}^{16} k_j} \quad (1)$$

式(1)中 S_j 是 j 站点的归一化值, k_j 是 j 站点的真实值。

通过高程和高程标准差的组合赋值得到地形因

子指数,代表孕灾环境敏感性。致灾因子危险性指数通过专家打分法(Delphi)确定各量级降水的权重来综合考虑降水致灾因子的影响程度^[1]。反查历史资料发现,发生灾害的当天和前期降水并不限于暴雨过程,而是在各个量级的降雨中都存在分布。本文使用的暴雨标准是日降水量 $\geq 50\text{mm}$,为了综合评估降水日数和降水强度的影响,分别计算各站小雨、中雨、大雨、暴雨日数,根据式(1)进行归一化处理,统计各站各量级雨日在对应量级的降水序列中的占比代表降水危险性。降雨量越大,诱发地质灾害的机率越高,根据专家打分的结果,以上各量级降水因子权重分别按 1:2:3:4 计算。采用加权综合评价法计算整个评价对象的影响:

$$DI_j = \sum_{i=1}^4 S_{ij} \cdot \omega_i \quad (2)$$

式(2)中: DI_j 为 j 站点致灾因子危险性指数,表示归一化的降水危险程度,值越大则致灾风险越大; S_{ij} ($i=1,2,3,4$) 分别代表归一化的小雨危险性、中雨危险性、大雨危险性、暴雨危险性, ω_i 是相应的权重系数。

根据自然灾害风险评价原理,鉴于景区承灾体信息有限,建立降水引发地质灾害风险指数模型^[25]:

$$RGRI = (DI^{\omega_d})(SI^{\omega_s}) \quad (3)$$

式(3)中: $RGRI$ 为降水引发地质灾害风险指数, DI 、 SI 分别代表致灾因子危险性、孕灾环境敏感性因子指数, ω_d 、 ω_s 是相应的权重系数。

2 结果与分析

2.1 风险区划及评估

2.1.1 致灾因子的危险性

对于较小面积的研究区需要利用区域站降水资料。由于区域站存在缺测,且部分站资料记录年限不足 10a,需要通过处理来提高数据质量。将 CMFD 再分析数据采用双线性插值方法^[26-27],补齐得到 16 个区域站 2010—2019 年逐日降水序列。通过 2010—2019 年武陵源区区域站和张家界市国家站降水量对比,发现 3 个国家站降水量较接近,16 个区域自动站差异更显著,其中 12 个站的值大于所有国家站,3 个站处于国家站极值区间内,1 个站低于所有国家站,更能代表武陵源区地域的降水空间分布不均的特征。

由式(2)进行加权叠加,利用 GIS 自然断点分级得到致灾因子分布。面临降水危险性最大的区域主

要位于中东部(岩门、索溪水库)、景区北侧(天子山镇、黄河)和景区西南侧(黄石寨、龙尾巴),其中岩门的暴雨日数最多,达到 48d。危险性最低的是景区西侧(鱼泉峪),暴雨日数只有 30d。

2.1.2 孕灾环境的敏感性

从地质灾害发生的特点来看,孕灾环境的敏感性与地形分布关系密切。本研究使用高程和高程标准差来对地形因子进行组合赋值(表 1)。高程表征海拔高度,直接从 30m 分辨率数字高程数据提取;高程标准差显示外部环境的地形起伏程度,通过计算高程数据中某一格点与周围 8 个格点的标准差得到。对武陵源区地形因子指数按照 0.3~0.4、0.5~0.6、0.7~0.9 进行三级(低、中、高)重分类得到孕灾环境敏感性分布(图 1),其中低、中、高敏感区面积占比分别为:54.3%、40.4%、5.3%。高敏感区主要位于陡峭山坡和溪水沿岸,包括黄石寨、百龙天梯、金鞭溪和索溪湖等景点;中等敏感区位于山脉中部、南部山脚,核心景区大部分面积属于该区;低敏感区位于中湖乡、索溪峪北部等地势较平缓处。

根据 1982—2016 年武陵源区 1:5 万地质灾害详细调查数据绘制地质灾害分布图(图 2),通过与风险区划图对比可以看出,大部分灾害点落入中、高敏感区,实际灾情多发区与高敏感区基本对应一致。因此,对于相对封闭的较小区域,该方法具有较好的适用性和可靠性。

表 1 地形因子赋值表

地形高程 (h1)	高程标准差 (h2)		
	$0 \leq h2 < 10$	$10 \leq h2 < 20$	$h2 \geq 20$
$0 \leq h1 < 400$	0.5	0.7	0.9
$400 \leq h2 < 800$	0.4	0.6	0.8
$h3 \geq 800$	0.3	0.5	0.7

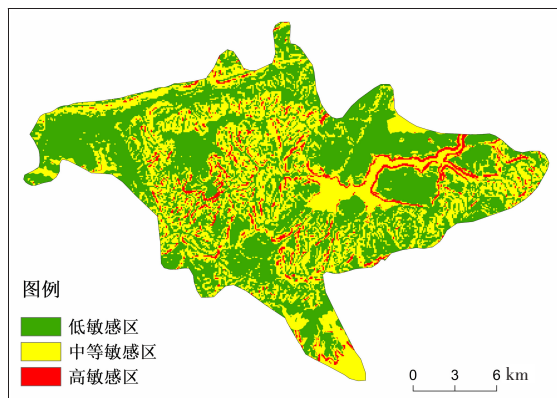


图 1 武陵源区地质灾害孕灾环境分布

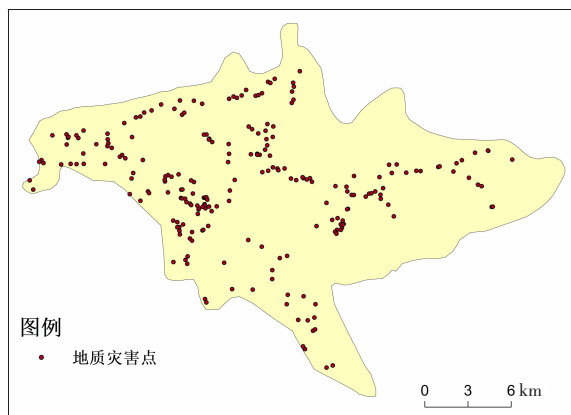


图 2 武陵源区地质灾害分布

2.1.3 风险区划与分析

根据专家意见,认为地质灾害风险区划中各因子的贡献排序情况如下:孕灾环境敏感性>致灾因子危险性>承灾体易损性。孕灾环境敏感性指数分布区间为 $[0.3, 0.9]$,降雨致灾因子危险性指数分布区间为 $[0.5599, 0.6991]$,表明由式(1)、式(2)计算的降水危险性因子指数不及由组合赋值得到的地形环境因子指数差异显著,因此结合武陵源当地实际情况,敏感性和危险性因子使用 1:1 的权重。鉴于景区承灾体信息有限,将两者代入公式(3)计算得到灾害风险系数,而承灾体信息在综合评估时给予关注。使用 GIS 中自然断点分级法将景区降雨诱发地质灾害风险划分为低、中、高 3 个风险等级,对应的 RGRI 分别为 0.1706~0.2927, 0.2927~0.4131, 0.4131~0.6286(图 3)。

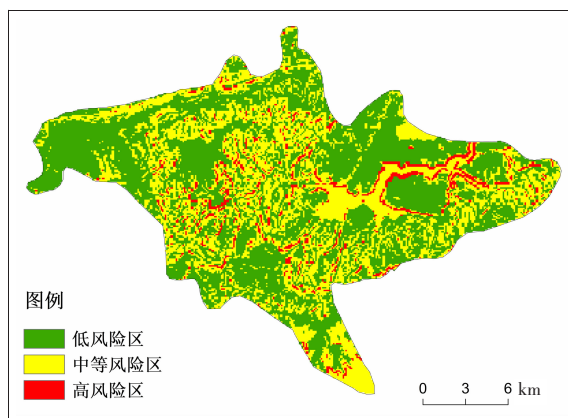


图 3 武陵源区降雨引发地质灾害风险区划

高风险区占总面积的 5.5%,呈分散分布,主要位于景区东侧和西南部。这些地区地势复杂,降水日数和强度均较大,其中东部的黄龙洞、紫霞山、索溪水库,西南部的黄石寨、杨家界等景点更是游客流量

集中,需要做好重点防范措施。中等风险区占比 39.5%,位于中部唐家山、宝峰湖,南侧协合乡等,并且核心景区的大部分面积属于中等风险区,需要对景区中的栈道、游步道、精华景点予以关注。低风险区占比 55%,位于景区西侧、东北侧乡镇。景区西侧风险较低,降水可能不是该处的地质灾害的主要诱发因素。

3 结论与讨论

(1) 使用最新发布、分辨率较高的 CMFD 再分析资料订正区域自动站资料,综合分析了各量级降水的影响,能精细化地反映该区的降水危险性分布。通过与实际灾情对比发现,使用高程和高程标准差的组合赋值代表孕灾环境敏感性具有较好的适用性和可靠性。

(2) 武陵源区降水危险性最大的区域主要位于景区中东部(岩门、索溪水库)、景区北侧(天子山镇、黄河)和景区西南侧(黄石寨、龙尾巴),最低的是景区西侧(鱼泉峪)。孕灾环境的高脆弱区主要位于陡峭山坡和溪水沿岸,包括黄石寨、百龙天梯、金鞭溪和索溪湖。

(3) 总体而言,武陵源区降雨引发地质灾害高风险区占总面积 5.5%,主要位于景区东侧和西南部,其中东部的黄龙洞、紫霞山和西南部的黄石寨、杨家界等景点需要做好重点防范;中等风险区占比 39.5%,核心景区的大部分面积属于该区;低风险区占比 55%,主要位于景区西侧、东北侧乡镇。

虽然研究区域较小,但精确分析孕灾环境敏感性还需考虑断层密度、岩土类型、水系、地震烈度、路网密度等多个影响因素。另外,由于景区承灾体信息不充分,易损性只能定性分析,可能导致与实际情况存在偏差。

参考文献:

- [1] 邓玲,李学敏,王林,等.张家界武陵源区地质灾害时空分布特征及影响因素分析[J].农业灾害研究,2019,9(3): 73-75.
- [2] 奚晓青,杨新宝.地质灾害国内外研究现状浅析[J].中国水运(学术版),2007,7(9):100-102.
- [3] 刘晓冉,康俊,王颖,等.基于 GIS 的重庆地区不同季节干旱灾害风险评估与区划[J].自然灾害学报,2019,28(2):92-100.
- [4] 吴树仁,石菊松,张春山,等.地质灾害风险评估技术指南初论[J].地质通报,2009,28(8):995-1005.
- [5] 尤凤春,扈海波,郭丽霞.北京市暴雨积涝风险等级预警方法及应用[J].暴雨灾害,2013,32(3):263-267.
- [6] 张菡,郭翔,王锐婷,等.四川省暴雨洪涝灾害风险区划研究[J].中国农学通报,2013,29(26):165-171.
- [7] 陈海燕,杨诗芳,徐浩恩,等.基于 GIS 的精细化暴雨致灾预警指标研究[J].自然灾害学报,2013,22(2):136-143.
- [8] 汪超,罗喜平.基于 GIS 的贵州省道路结冰灾害风险区划分析[J].高原山地气象研究,2017,37(3):71-77.
- [9] 顾婷婷,邓闯,潘娅英,等.基于模糊综合评价法的浙江省高速公路暴雨灾害风险评估[J].干旱气象,2018,36(5):873-878.
- [10] 李云君,刘志红,吕远洋,等.四川省滑坡灾害气象预警模型建立与验证[J].地球信息科学学报,2017,19(7): 941-949.
- [11] 张东明,李剑锋,田贵维,等.GIS 技术在重庆市滑坡风险区划中的应用[J].自然灾害学报,2011,20(3):25-30.
- [12] 胡娟,闵颖,李华宏,等.云南省地质灾害精细化气象风险预警模型优化研究[J].灾害学,2016,31(4):110-115.
- [13] 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.
- [14] 李芳,梅红波,王伟森,等.降雨诱发的地质灾害气象风险预警模型:以云南省红河州监测示范区为例[J].地球科学,2017,42(9):1637-1646.
- [15] 黄冬梅,黄卓帆,黄肖寒.基于 GIS 的河池市暴雨洪涝灾害风险评估与区划[J].气象研究与应用,2016,37(1): 21-24.
- [16] 古明悦.基于 FLOORAREA 模式的南宁市城市内涝区划[J].气象研究与应用,2017,38(1):74-78.
- [17] 王涛,李强,成晓琴.基于 WebGIS 的祁县地质灾害预报预警系统研究[J].气象与环境科学,2017,40(1):138-143.
- [18] 陈悦丽,赵琳娜,王英,等.降雨型地质灾害预报方法研究进展[J].应用气象学报,2019,30(2):142-153.
- [19] 刘世业,梁仁全,李灿,等.强降雨诱发地质灾害气象预警指标及应用研究[J].气象研究与应用,2015,36(4): 28-33.
- [20] 鲁光银,熊瑛,朱自强,等.基于多源信息融合的湖南省地质灾害区划分析[J].辽宁工程技术大学学报,2007,26(3):458-460.
- [21] 沈军,方琼,吴贤云,等.湖南古丈山体滑坡影响因子分析[J].气象,2017,43(11):1410-1419.
- [22] 申怀飞,杨清洁,魏亿鑫,等.基于 GIS 的湖南省滑坡灾害风险和损失评估[J].水土保持通报,2020,40(6):146-152.
- [23] 陈静静,姚蓉,文强,等.湖南省降雨型地质灾害致灾雨量阈值分析[J].灾害学,2014,29(2):42-47.

- [24] Yang K, He J, Tang W, et al. On Downward Shortwave and Longwave Radiations over High Altitude Regions: Observation and modeling in the Tibetan Plateau [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2010, 150(1): 38–46.
- [25] 章国材. 气象灾害风险评估与区划方法[M]. 北京: 气象出版社, 2013: 29–132.
- [26] 张宏芳, 巨晓璇, 卢珊, 等. 精细化网格的降水预报解析方法对比[J]. *气象科技进展*, 2019, 9(3): 7–14.
- [27] 智协飞, 王姝苏, 周红梅, 等. 我国地面降水的分级回归统计降尺度预报研究[J]. *大气科学学报*, 2016, 39(3): 329–338.

Research on regional risk zoning of rainfall-induced geo-hazards in Wulingyuan, Zhangjiajie

Li Xuemin^{1,2}, Deng Ling^{1,2}

(1. Hunan Meteorological Service Center, Changsha Hunan 410118, China; 2. Hunan Key Laboratory of Meteorological Disaster Prevention and Reduction, Changsha Hunan 410118, China)

Abstract: In order to assess the risk of rainfall-induced geo-hazards in wulingyuan and improve the capacity of disaster prevention and mitigation in mountain scenic areas, this paper constructed the geo-hazard risk index model from the aspects of disaster causing factors and disaster pregnant environment, and further completed the risk zoning of geo-hazards induced by rainfall based on GIS analysis. The research is based on the daily precipitation data of 16 regional automatic stations in Wulingyuan from 2010 to 2019 and China meteorological forcing dataset (CMFD), combined with the digital elevation (DEM) and detailed geo-hazard survey data of Wulingyuan. The results show that the high-risk area of geo-hazards caused by rainfall in Wulingyuan accounts for 5.5% of the total area, mainly located in the east and southwest of the scenic spot; among them, Huanglong Cave and Zixia Mountain in the central and eastern regions, Huangshizhai and Yangjiajie in the southwest require key precautions. The medium-risk area accounts for 39.5%, and most of the core scenic area belongs to this area. Villages and towns on the west and northeast sides of the scenic area have low risks.

Key words: Wulingyuan District; rainfall; geo-hazards; GIS; risk zoning