

基于地理探测器的北川县地质 灾害影响因子定量分析

刘小青, 汤家法, 张利民

(西南交通大学 地球科学与环境工程学院 四川 成都 610031)

摘要: 地质灾害一直是许多学者研究的焦点议题。北川羌族自治县作为 2008 年汶川地震的极重灾区之一, 地质灾害严重影响该地区的生产生活。本文以影响北川县居民点的地质灾害普查数据为基础, 从地质地貌、气候等方面, 应用地理探测器针对北川县地质灾害的发生进行定量归因。研究结果表明: 1) 单因子方面年降水量 (23.22%) 影响力最大, 地震烈度 (3.70%) 最小。2) 交互作用大于单因子作用, 其中, 海拔高度与年降水量交互作用后的解释力达到 33.37%。该研究成果可为制定北川县地质灾害防治措施和选择移民搬迁场地提供参考依据。

关键词: 地质灾害; 因子探测; 定量分析; 北川县

中图分类号: P237

文献标识码: A

文章编号: 1672-5867(2020)03-0041-03

Quantitative Analysis with Geographical Detectors on the Influence Factors of Geological Disaster in Beichuan

LIU Xiaoqing, TANG Jiafa, ZHANG Limin

(Faculty of Geosciences & Environmental Engineering, Southwest Jiao Tong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: Geological disasters have always been the focus of many scholars. Beichuan Yi Autonomous County as one of the most severely affected areas of the 2008 Wenchuan earthquake, frequent geological disasters seriously affect the production and life in the region. This paper is based on the geological disaster census data of Beichuan County residents, quantitative attribution of geological hazards to the occurrence of geological disasters in Beichuan County from the aspects of geological features and climate. The results show that: 1) The single factor has the greatest influence is annual precipitation (23.22%). The minimum influence factor is the seismic intensity. 2) The interaction is greater than the single factor effect, and the explanatory power after the interaction between altitude and annual precipitation reaches 33.37%. The research results can provide reference for the development of Beichuan County geological disaster prevention measures and the selection of resettlement sites.

Key words: geological disasters; factor detection; quantitative analysis; Beichuan

0 引言

地质灾害是指由自然因素或者人为因素引发的与地质作用有关的灾害, 地质灾害会危害人类生命和财产安全, 常见的地质灾害有滑坡、崩塌、泥石流等。2008 年汶川地震造成大面积的地貌改变, 诱发了大量的次生地质灾害。北川羌族自治县作为汶川地震 10 个极重灾区中的第二重灾区^[1], 县内有发育规模不等的滑坡 506 处、泥石

流 17 处、崩塌 58 处、堰塞湖 15 个。此外, 2013 年 7 月 8 日到 12 日北川县持续暴雨, 新增地质灾害点 802 处。截至 2013 年底, 已发现 1 318 个威胁居民点的地质灾害点。

频发的地质灾害使得北川县成为许多地质灾害研究者的研究对象。汤家法^[2]等分析了地质灾害后北川县聚落空间的地质灾情, 并探究灾后居民的重建问题, 为北川县灾后重建提供了参考。董延旭^[3]等关注北川县的灾后区划, 对“5.12”地震后的北川县做了灾后规划。王晓

收稿日期: 2019-01-23

基金项目: 汶川地震震区群众返贫风险防范与可持续发展研究项目(18YJA71005) 资助

作者简介: 刘小青(1990-), 女, 河北沧州人, 地理信息系统专业硕士研究生, 主要研究方向为遥感应用与地理信息系统。

通讯作者: 汤家法(1976-), 男, 安徽庐江人, 副教授, 博士, 2003 年毕业于西南交通大学道路与铁道工程专业, 主要从事山地灾害与山地环境研究工作。

涛^[4]等对北川县省道公路滑坡的稳定性做了分析并提出了加固设计与防治方案。齐信^[5]等针对汶川地震引发的北川县地质灾害做出危险性评价。上述学者对于北川县地质灾害的研究主要聚焦于灾后的危险区划与风险评价等,对于单个影响因子作用力及因子交互作用力的定量研究相对薄弱,采用的研究方法主要为相关或回归统计方法。事实上,传统的统计分析方法或空间分析方法不能定量地分析影响因子对地质灾害的影响程度。

为了定量分析北川县地质灾害的影响因子,以及影响因子之间的相互关系,本研究以自然因素为宏观背景,利用地理探测器方法进行北川县地质灾害的定量归因,比较不同影响因子对北川县地质灾害的贡献量大小,研究各影响因子的相互关系,在制定北川县地质灾害防治措施和选择移民搬迁场地时可以根据因子影响力的大小有所侧重、有所规避,为制定北川县地质灾害防治措施和选择移民搬迁场地提供参考依据。

1 研究区概况

北川县位于四川盆地西北部,属于扬子准地台与松潘—甘孜地槽褶皱区的交界地带,以汶川地震的发震断裂—北川—映秀断裂为界,东南面属扬子准地台西北边缘的前龙门山褶断带,西北面属松潘—甘孜地槽褶皱系的后龙门山褶断带。几乎全境皆山,峰峦起伏,境内山地面积高达98.8%,以中起伏山地为主。地层岩性复杂,岩石类型包括砂岩、砂页岩、泥质灰岩、干枚岩、灰岩、碳酸盐岩等,因为活动断裂带会造成岩石破碎、岩体内节理发育、破坏边坡结构的完整性和连续性,所以为地质灾害的发生创造了条件。气候方面,北川地处于亚热带湿润季风气候区的西部边缘,是与高原气候交汇的地带,气候比较温和,雨量很充沛,属四川省著名暴雨中心之一,暴雨集中且强度大,年均降雨量达1399.1mm,但时空分布不均,主要集中在6—9月,空间上具有从东南向西北逐渐变小的规律。由于雨量充足且降雨集中,暴雨天数多,再加上北川县山高坡陡的地形特点,滑坡、泥石流、洪涝等自然灾害发生频繁。

2 数据来源和研究方法

2.1 数据来源

地质条件、地形地貌、水系分布和土壤因素、土地利用类型等为地质灾害启动创造了物质基础,是地质灾害启动的基础影响因子;气候因素尤其是降雨则为地质灾害启动提供了动力来源,促进地质灾害的启动与规模增长。本文结合其他学者的研究成果以及北川县地质灾害的分布特点,选取了DEM、坡度、主要地貌类型、断层、岩性、地震裂度、年均气温、年降水量、干燥度、湿润指数、土壤类型、土地利用类型、河网分布等13个因子,其数据来源见表1。

表1 因子的选取和数据源

Tab.1 Factor selection and data source

主类	序号	亚类	数据来源
地形地貌	1	DEM	地理空间数据云
	2	坡度	DEM提取
	3	主要地貌类型	DEM提取
地质条件	4	断层	地震监测设施分布
	5	岩性	国家地质资料数据中心
	6	地震裂度	中国地震局官方网站
气候因素	7	年均气温	http://www.resdc.cn
	8	年降水量	http://www.resdc.cn
	9	干燥度	http://www.resdc.cn
	10	湿润指数	http://www.resdc.cn
土壤因素	11	土壤数据	全国土壤数据集
土地利用	12	土地利用类型	遥感影像
水系	13	河网数据	遥感影像

2.2 研究方法

地理探测器包括因子探测、风险探测、交互探测和生态探测^[6]。本文主要采用了因子探测和交互探测。

2.2.1 因子探测

在本文中,探测各单因子对地质灾害发生的解释力,用 q 值来度量,计算公式为式(1)。

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} = 1 - \frac{SSW}{SST} \quad (1)$$

式中 q 值表示该因子解释了(100× q)%的地质灾害发生,取值为[0,1], q 值越大,表示对该因子对地质灾害发生的解释力越强; L 表示分类,即各个影响因子的分类数; σ 表示方差; SSW 表示类别方差之和; SST 表示全区总方差。

2.2.2 交互探测

文中采用交互探测来分析因子交互作用对地质灾害发生的复合影响,其交互作用类型见表2。

表2 交互作用类型

Tab.2 Types of interaction

判断依据	交互作用类型
$q(X1 \cap X2) < \min(q(X1), q(X2))$	非线性减弱
$\min(q(X1), q(X2)) < q(X1 \cap X2) < \max(q(X1), q(X2))$	单因子非线性减弱
$q(X1 \cap X2) > \max(q(X1), q(X2))$	双因子增强
$q(X1 \cap X2) > q(X1) + q(X2)$	非线性增强
$q(X1 \cap X2) = q(X1) + q(X2)$	独立

3 北川县地质灾害空间分布特征

2013 年“7·9”洪灾之后,北川县国土资源局对影响居民点的地质灾害进行了排查和汇总,统计出 1 318 处地质灾害点,其空间分布如图 1 所示。在北川县境内大部分乡镇均有地质灾害发生,包括滑坡、崩塌、泥石流、危岩、不稳定斜坡、地面沉降等。首先主要为滑坡,总共有 880 处,占地质灾害点总数的 66.77%,在小坝乡、桃龙乡滑坡灾害点分布明显聚集。其次是泥石流,有 245 处,占总数的 18.59%,泥石流灾害在陈家坝乡一曲山镇一擂鼓镇呈现出带状分布,其余泥石流分布在小坝乡、桃龙乡等^[7]。崩塌灾害点分布较分散,约 148 处,占总数的 11.23%。不稳定斜坡 29 处,危岩 14 处,地面沉降 2 处,这 3 类地质灾害主要集中在北川县中部地区。

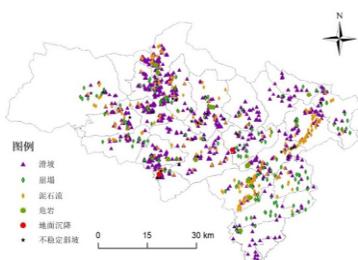


图 1 地质灾害点分布图

Fig.1 Distribution map of geological disasters

4 结果与分析

将 DEM、主要地貌类型、年降水量、土地利用类型等 13 个因子,结合北川县行政区划以及地质灾害分布特点进行分类预处理。将分类后的因子运用地理探测器进行定量分析。

4.1 因子探测

根据公式(1)因子探测,结果见表 3。 q 值表示该因子对地质灾害的影响力。从表 3 可以看出,各因素单因子对北川县地质灾害的影响具有差异性。其中,影响力最大的因子是年降水量(23.22%),影响力最小因子为地震

烈度(3.70%),其余依次为与水系距离(14.57%)>湿润指数(10.50)>坡度(10.43%)>年均气温(10.31%)>海拔高度(9.83%)>岩性(8.85%)>主要地貌类型(8.04%)>水体(7.29%)>林地(6.93%)>土壤类型(6.38%)>干燥度(5.19%)>断层(4.47%)>耕地(4.37%)>建设用地(4.26%)。结果表明,单因子的影响力均较小,大部分低于 10%,但年降水量的因子解释力达到了 23.22%,说明降水是诱发北川县发生地质灾害的主导因素。其次影响力相对较大的因子为坡度(10.43%)、年均气温(10.31%)、湿润指数(10.50%)、与水系距离(14.57%),这些因子影响力相近,均超过了 10%,说明这些因素也是影响北川县地质灾害发生的重要因素。

表 3 因子探测结果

Tab.3 Factor detection results

影响因子	q 值	影响因子	q 值
主要地貌类型	0.080 4	断层	0.044 7
海拔高度	0.098 3	裂度	0.037 0
坡度	0.104 3	年均气温	0.103 1
林地	0.069 3	干燥度	0.051 9
耕地	0.043 7	年降水量	0.232 2
建设用地	0.042 6	湿润指数	0.105 0
水体	0.072 9	土壤类型	0.063 8
岩性	0.088 5	与水系距离	0.145 7

4.2 交互探测

各个因子的交互作用结果见表 4,表 4 中所示为交互作用后影响力超过 20%的交互因子,低于 20%的部分没有加以展示。结果显示对于地质灾害的解释力,相比于单因子作用,对地质灾害的解释力明显提高。交互作用结果主要为非线性增强和双因子增强两类,其中非线性增强多于双因子增强。降水因子与其他因子的交互作用后影响力最强,均在 30%左右,例如海拔高度与年降水量交互作用后的解释力最高,为 33.37%。各因子对北川县地质灾害的综合作用力值高于任意因子单独作用的强度,说明各因子对北川县地质灾害交互影响力是互相增强的。

表 4 各因子交互作用结果

Tab.4 Interaction results of various factors

影响因子 $X1/X2$	$C=q(X1 \cap X2)$	$q(X1)$	$q(X2)$	$A=q(X1)+q(X2)$	C 与 A 大小比较	判断
林地/年降水量	0.320 6	0.069 3	0.232 2	0.301 5	$C>A$	非线性增强
耕地/年降水量	0.299 4	0.043 7	0.232 2	0.275 9	$C>A$	非线性增强
建设用地/年降水量	0.260 0	0.042 6	0.232 2	0.274 8	$C<A$	双因子增强
年均气温/年降水量	0.322 3	0.103 1	0.232 2	0.335 3	$C<A$	双因子增强
土壤类型/年降水量	0.270 5	0.063 8	0.232 2	0.296 0	$C<A$	双因子增强
裂度/年均气温	0.267 4	0.037 0	0.103 1	0.140 1	$C>A$	非线性增强
岩性/湿润指数	0.242 3	0.088 5	0.105 0	0.193 5	$C>A$	非线性增强
岩性/年降水量	0.288 5	0.088 5	0.232 2	0.320 7	$C<A$	双因子增强
裂度/年降水量	0.284 2	0.037 0	0.232 2	0.269 2	$C>A$	非线性增强
断层/年降水量	0.314 0	0.044 7	0.232 2	0.276 9	$C>A$	非线性增强
海拔高度/湿润指数	0.263 5	0.098 3	0.105 0	0.203 3	$C>A$	非线性增强
坡度/年降水量	0.278 8	0.104 3	0.232 2	0.336 5	$C<A$	双因子增强
海拔高度/年降水量	0.333 7	0.098 3	0.232 2	0.330 5	$C>A$	非线性增强
主要地貌/年降水量	0.257 1	0.080 4	0.232 2	0.312 6	$C<A$	双因子增强
年均气温/湿润指数	0.286 1	0.103 1	0.105 0	0.208 1	$C>A$	非线性增强
年降水量/湿润指数	0.281 1	0.232 2	0.105 0	0.337 2	$C<A$	双因子增强

(下转第 48 页)

5 结束语

动态地图符号是流场动态特点表达的载体,研究流场可视化中动态符号的表达机制是实现可视化效果优化的有效途径。粒子系统方法可以实现对流场的动态效果的模拟,且具有可以快速修改粒子符号的优点,因而,本文选取了粒子系统方法作为可视化实现的主要方法,在对流场特点分析总结的基础上,研究了流场中的动态符号,探讨适用于表达流场不同特点的视觉变量。

同时,本文以海洋流场的可视化为例,通过基本视觉变量的变化与组合生成了丰富且满足不同需求的可视化结果,实现了在应用端直接进行参数的调整,对于Web应用中的矢量场可视化和动态符号的研究具有借鉴和参考意义。本文针对流场数据本身的特点,通过最大最小值拉伸算法完成流速与颜色之间的映射,增强了视觉表达效果,较好地实现了流场动态可视化。下一步将研究如何建立关于流场动态可视化效果的评价机制。

参考文献:

- [1] 王盛波,潘志庚. 二维流场可视化方法对比分析及综述[J]. 系统仿真学报, 2014, 26(9): 1875-81.
- [2] 宋汉戈,刘世光. 三维流场可视化综述[J]. 系统仿真学报, 2016, 28(9): 1929-36.
- [3] 季民,陈丽,靳奉祥,等. 自适应步长的海洋流线构造算法[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2014, 39(9): 1052-1056.
- [4] JENNIFER C, HARALD O, JOY K I. Interpolation-Based Pathline Tracing in Particle-Based Flow Visualization [J].

IEEE Transactions on Visualization & Computer Graphics, 2015, 21(1): 68-80.

- [5] 艾廷华. 动态符号与动态地图[J]. 武汉测绘科技大学学报, 1998, 42(1): 49-53.
- [6] 王颖. 面向多重特征变化表达的动态地图符号设计[D]. 武汉: 武汉大学, 2018.
- [7] 冯文君. 基于粒子系统的流场动态制图方法研究[D]. 青岛: 山东科技大学, 2017.
- [8] KARCH G K, SADLO F, WEISKOPF D, et al. Visualization of 2D unsteady flow using streamline-based concepts in space-time [J]. Journal of Visualization, 2016, 19(1): 115-128.
- [9] JOBARD B, LEFER W. The motion map: efficient computation of steady flow animations [C]//proceedings of the Visualization, F, 1997.
- [10] REEVES W T. Particle systems—a technique for modeling a class of fuzzy objects [M]. US: Research Contributions, 1998.
- [11] 田东,迟学斌,王铁强,等. 基于加权随机采样的流场可视化方法[J]. 计算机工程与设计, 2018, 39(1): 61-65.
- [12] 付帅. 基于粒子系统的全球流场可视化[D]. 青岛: 山东科技大学, 2015.
- [13] 祝国瑞,徐智勇,吴小芳. 基于多重变换组合的动态地图符号设计[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2006, 31(6): 548-551.
- [14] 解智强,杜清运,陈厚元,等. 论地图语言中的动态符号设计与表达[J]. 现代测绘, 2012, 35(4): 25-29.

[编辑: 张 曦]

(上接第43页)

5 结束语

本文选取地形地貌、气候等影响地质灾害的自然因素,采用地理探测器的因子探测和交互探测,从单因子作用、各因子的交互作用两个方面分析了其对北川县地质灾害的解释力,对北川县地质灾害的发生进行了定量归因,为北川县地质灾害影响因子的客观选取提供了一种新的思路。研究发现:

1) 在所有因子中,气候因素的影响力相对较高,尤其是年降水量对北川县地质灾害发生的解释力最强,是诱发北川县发生地质灾害的主要影响因素。与水系距离因子解释力仅次于年降水量,是影响北川县发生地质灾害的次要因素。剩余其他因子的解释力大小相近,如地形地貌因子、土地利用因子、岩性因子、土壤因子等。

2) 相对于单因子来说,任意两个因子的交互作用都能增强对北川县发生地质灾害的影响。解释力超过20%的这些交互因子,主要为气候因素的各因子与其他因子的交互作用,说明北川县的地质灾害是在气候因素的诱发下,结合北川县险峻的地势、断层的发育、复杂且薄弱的岩性等综合作用下发生的。

3) 地质灾害的发生是各个因素交互作用的结果。如

何在综合考虑自然环境、人口布局 and 空间规划的基础下,制定北川县地质灾害防治措施和选择移民搬迁场地是需要进一步研究的问题。

参考文献:

- [1] 北川羌族自治县. 北川羌族自治县灾后重建实施规划, 2008—2010[Z]. 北川: 北川羌族自治县, 2018.
- [2] 汤家法,王沁. 2013年北川聚落空间的地质灾害灾情分析[J]. 灾害学, 2015(1): 87-91.
- [3] 董廷旭,陈朝镇,张新合,等. 北川县“5·12”地震灾害区划研究[J]. 绵阳师范学院学报, 2010, 29(11): 102-108.
- [4] 王晓涛,陈国友,宁国立. 北川县省道公路滑坡的稳定性分析及加固设计[J]. 土工基础, 2010, 24(3): 24-26.
- [5] 齐信,唐川,铁永波,等. 基于GIS技术的汶川地震诱发地质灾害危险性评价——以四川省北川县为例[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2010, 37(2): 160-167.
- [6] 王劲峰,徐成东. 地理探测器:原理与展望[J]. 地理学报, 2017, 72(1): 116-134.
- [7] 胥恣旻. 北川震后重建居民点的适宜性评价[D]. 成都: 西南交通大学, 2017.

[编辑: 任亚茹]