确定性系数法的海城市地质灾害易发性评价*

李剑锋[1,2]，芦艳丽[1,2**]，邹治亮[3]

(1. 辽宁师范大学地理科学学院，辽宁 大连 116029；2. 中国地质调查局武汉地质调查中心，湖北 武汉 430074；
3. 辽宁水文地质工程地质勘察院，辽宁 大连 116037)

摘要：海城市地貌类型多样，地质灾害多发.本文选取高程、坡度、坡向、地层岩性、年均降雨量、距河流距离、植被覆盖度和距断层距离8个影响因子进行地质灾害易发性评价，基于ArcGIS栅格统计功能，运用确定性系数模型对海城市地质灾害易发性进行评价.结果表明：海城市地质灾害可分为高、中、低和不易发区，高易发区主要分布在海城市东南部低山丘陵地区；中易发区集中分布在高易发区外围的析木镇、牌楼镇和岔沟镇；低易发区零星分散于海城市各镇；不易发区主要分布在北部地形平缓的平原区.海城市地质灾害的发生受高程和地层岩性影响因子主要控制，经降雨诱发，受河流附近人为活动影响，并在坡度、坡向、植被覆盖度和距断层距离等多种因素影响下，导致海城市地质灾害发育程度和分区的不同.

关键词：海城市；易发性评价；地质灾害；确定性系数模型

中图分类号：P694 **DOI**：10.19789/j.1004-9398.2021.04.011

0 引 言

从20世纪70年代起，地质灾害备受关注，欧美国家开始对其成因与形成机制进行研究[1-4]；80年代以后，3S技术的发展促使地质灾害研究领域逐渐扩宽，联用GIS和数理统计模型进行地质灾害易发性和风险性研究逐渐成为国内外研究的主流手段[5-9].易发性评价的过程为：首先，对区域内地质灾害形成的条件和发育特征等进行调查与分析；其次，建立评价体系，选取评价因子，确定地质灾害与研究区域空间分布关系；最后，选取合适的评价模型进行易发区划分，对结果进行验证[10-12].目前常见的评价模型有模糊综合评判模型[13]、逻辑回归模型[14-15]、人工神经网络模型[16]、信息量模型[17]、证据权模型[18]和确定性系数模型[19-20]等.其中，确定性系数模型可以较好地反映影响因子不同值域对易发性的敏感程度，具有数据处理简单、评价流程便捷且精度较高的特点，已广泛应用于地质灾害易发性评价[21-22].

海城市地质灾害多发，灾害类型常见的有崩塌、滑坡和泥石流3种.2012—2019年，地质灾害累计给海城市造成人员死亡4人，经济损失343万元；已经查明地质灾害隐患点73处，威胁人口1 338人、财产5 170万元(数据来自2019年鞍山市自然资源局).基于此，本文在野外地质灾害调查基础上，运用确定性系数模型，对海城市进行地质灾害易发性分区，为海城市防灾、减灾制定防灾规划提供依据，也可为辽东其他地区提供借鉴和参考，以期降低地质灾害对人民生命财产安全的威胁和社会经济发展的影响.

1 研究区概况

海城市位于辽东半岛中西部，地处122°18′～123°08′E、40°29′～41°11′N，属于辽宁省鞍山市，下辖25个镇、1个开发区，面积有2 732 km^2，见图1(审图号：辽S{2017}128).研究区为暖温带湿润季风气候区，冬冷夏热，四季分明；年均温8.4℃，气温年较差大；雨量充沛，光照充足，年均降水量691.3 mm，季节降水分布不均，主要集中在6—8月.区内地貌类型复杂，主要有低山丘陵、平原以及山前斜坡坡地.海拔高程为2～889 m，地势东南高西北低，东南部地区海拔多在200 m以上，相对高差多为200～500 m.区内主要活动断裂有析木-岫岩断裂、陈家堡子-孤家子断裂和析木城-胡家岭断裂，出露地层为下元古界辽河群，中上元古代细河群及新生界第四系.岩性有花岗岩、大理岩、板岩变质岩和松散土体.

收稿日期：2020-10-23

* 辽宁省教育厅项目(L201683679)

** 通信作者：1714313367@qq.com

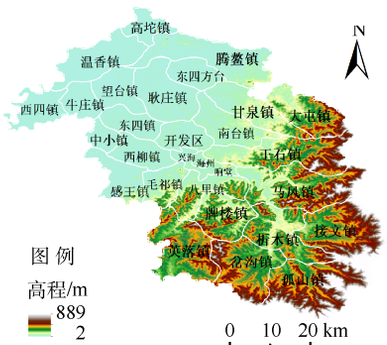


图1　海城市高程

2　评价数据来源及方法

2.1　数据来源

所使用的数据主要有:海城市地质灾害隐患点数据,来源于鞍山市自然资源局(http://gtj.anshan.gov.cn);数字高程模型(digital elevation model,DEM)数据(30 m × 30 m 分辨率的栅格数据),来源于地理空间数据云(http://www.gscloud.cn),并由此提取高程、坡度、坡向和河网水系等相关数据;1∶50万地质图,来源于全国地质资料馆(http://www.ngac.org.cn);多年平均降雨量数据,来源于中国气象数据网(http://www.data.cma.cn),之后对其进行克里金插值,得到年均降水栅格数据;Landsat8遥感影像来源于地理空间数据云(http://www.gscloud.cn),依据遥感影像波段反射率计算得到植被覆盖度(normalized difference vegetation index,NDVI).

2.2　评价方法

确定性系数是用来分析某一事件发生的敏感性程度,是一种概率方法,这一模型运用统计分析计算各个分级因子发生地质灾害的相对概率[23-24],其计算公式为

$$F_c=\begin{cases}\dfrac{P_a-P_s}{P_a\left(1-P_s\right)} & P_a\geqslant P_s\\ \dfrac{P_a-P_s}{P_s\left(1-P_a\right)} & P_a<P_s\end{cases},$$

式中P_a是指某一特征a下的发生概率,具体指特征a中每一单元存在的地质灾害隐患点数量或面积与每一单元分级a面积的比值;P_s为整个研究区地质灾害发生的概率,指所有地质灾害隐患点数量或面积与整个研究区面积比值.敏感性指数值为[-1,1],当F_c>0时,指地质灾害发生概率高,易发性可能性大;F_c=0时,不能判断是否是地质灾害易发区;F_c<0时,指地质灾害发生概率低,易发性可能性小.

2.3　评价因子选取和分级

地质灾害发生多是多种因素造成的,科学合理地选择评价因子是进行地质灾害易发性评价的基础,充分考虑每个影响因子对地质灾害的贡献程度,有助于确保研究区地质灾害评价的科学性[25].根据海城市地质灾害详细调查,并结合地质灾害隐患点进行考察分析;通过研究选取了高程、坡度、坡向、地层岩性、年均降雨量、距河流距离、NDVI和距断层距离8个评价因子,作为海城市地质灾害敏感性评价指标,每个影响因子分级指标具体见表1.

表1　海城市地质灾害评价指标分级

评价因子	指标分级
高程/m	2~65、>65~161、>161~274、>274~439、>439~889
坡度/(°)	0~5、>5~15、>15~25、>25
坡向/(°)	0~45、>45~135、>135~225、>225~315、>315~360
地层岩性	坚硬半坚硬岩、软岩、松散土体、坚硬岩
年均降雨量/mm	653~683、>683~709、>709~732、>732~759
距河流距离/m	0~200、>200~500、>500~1 000、>1 000
植被覆盖度	≤0.1、>0.1~0.3、>0.3~0.5、>0.5~0.7、>0.7
距断层距离/m	0~1 000、>1 000~3 000、>3 000~5 000、>5 000

(1)高程.海拔高程是影响地质灾害发育的主要因素之一,通常坡度一样的条件下,伴随着海拔高度的升高,山体的不稳定性也随之增加,较易发生地质灾害.把海城市海拔高程从DEM数据中提取出来,将其划分为5个等级.

(2)坡度.通常情况下,坡度代表斜坡的稳定性;坡度的大小决定着坡面松散物质的堆积厚度,坡度越大,坡面物质越不稳定,发生地质灾害可能性越大.本文依托ArcGIS,基于DEM数据提取坡度值,划分为4个等级.

(3)坡向.不同坡向的光照程度有差异,导致热量、水分等物理条件不同,影响坡面物质的蒸发、侵蚀和风化程度.根据DEM数据提取坡向,划分为5个等级.

(4)地层岩性.地层岩性软硬程度的不同是地质灾害形成的重要原因,不同岩石类型的抗侵蚀、抗压能力存在差异,从而使得岩土体发生变形为地质灾害提供条件.按照岩性标准,将海城市岩性软硬程度进行分级,划分为4个等级.

(5)年均降雨量.降雨也是引起地质灾害发生的一个重要因素,降水强度越大,越容易引发地质灾害.本文选取了海城市及其周边12个气象点数据,收集了1998—2019年的年均降水数据,依据克

里金插值得到降水量分布图,再通过掩膜裁剪进行重分类,分成4个等级.

(6)距河流距离.河流对地质灾害的发生作用主要有2个方面:一是诱发灾害的作用,河流两岸的岩土体受到水体的淘蚀、冲刷和侧蚀,抗侵蚀能力弱,距河流越近岩体稳定性越低;二是孕灾体环境的改变作用,河流两岸冲积平原区适宜人类居住,人类工程建设活动频繁,发生灾害的可能性大.依据DEM提取海城市河流水系图,建立缓冲区,分为4个等级.

(7)NDVI. NDVI是将遥感地物光谱依照不同波段进行组合,进而反映植被生长状况[26],植被覆盖度高有助于保持水土,提高岩土体稳定性.在ENVI软件下,依据遥感影像计算海城市植被指数,指数值为[-1,1],正值代表覆盖度高,按照植被覆盖度划分标准,采用自然间断法分为5个等级.

(8)距断层距离.通常断层会导致地形起伏变大,岩石断裂破碎,深刻影响地质区域的稳定性.将海城市断层建立缓冲区,划分为4个等级.

3　结果与分析

3.1　评价因子敏感性计算

依托ArcGIS平台,将73个地质灾害点与分级指标图相叠加,生成海城市地质灾害各因子分级(图2).统计各因子分级图中的灾害点数量和

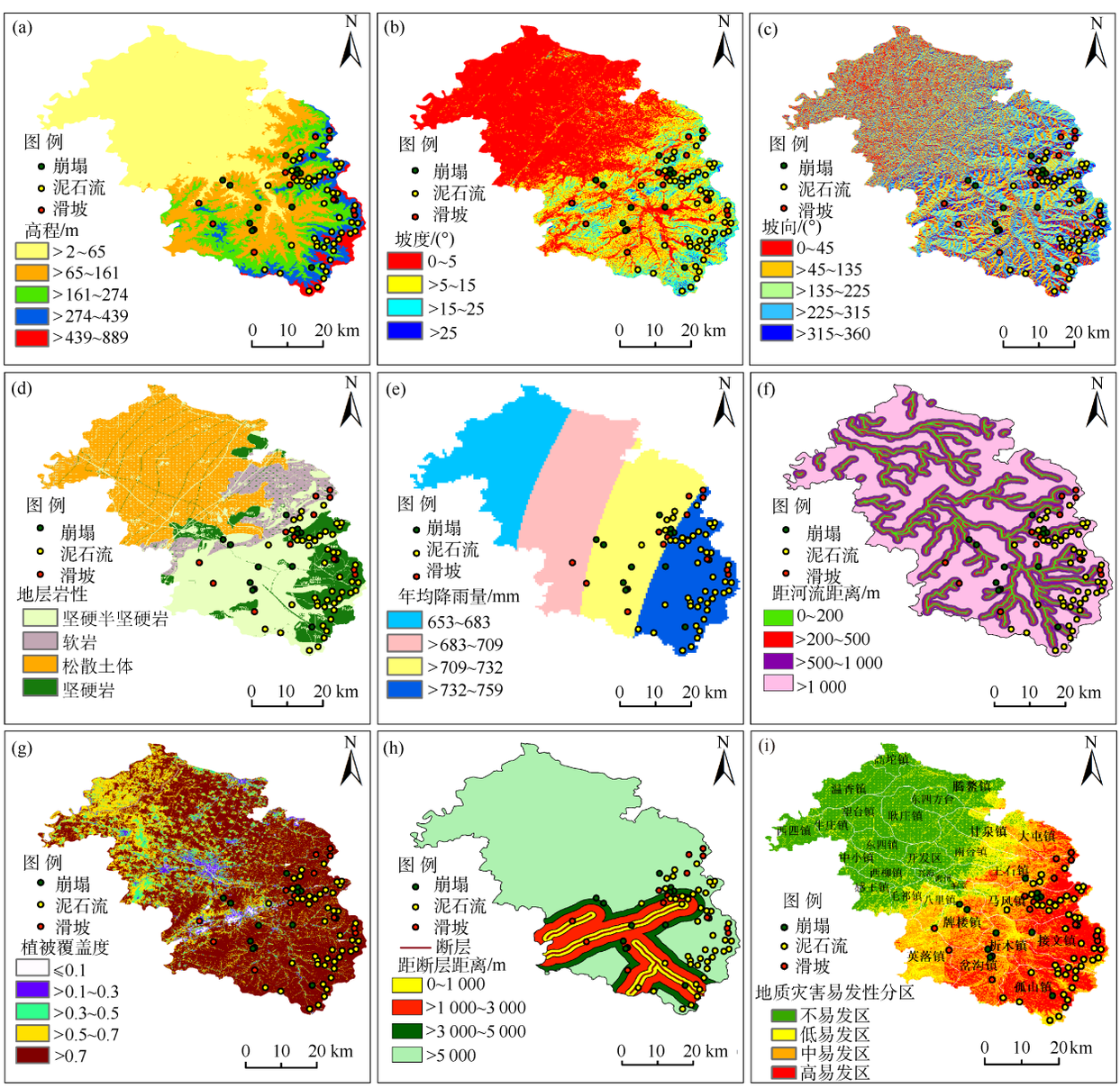


图2　海城市地质灾害评价因子分级

(a)高程;(b)坡度;(c)坡向;(d)地层岩性;(e)年均降雨量;(f)距河流距离;(g)植被覆盖度;(h)距断层距离;(i)综合因子敏感性值分区

面积,依据确定性系数模型公式,计算得到影响因子分级区间对应的敏感性值,衡量不同影响因子对易发性的敏感程度,见表2.根据确定性系数计算结果表显示,最易发生地质灾害的是:高程为>274~439 m;坡度为>5~15°;坡向为>135~225°区间;地层岩性为坚硬岩;年均降雨量为>732~759 mm;距河流距离>200~500 m;NDVI为>0.5~0.7;距断层距离为0~1 000 m.并且根据敏感性值的高低,前3位依次是年均降雨量、高程和地层岩性,说明了这3种因子对海城市地质灾害发生的敏感程度高.

表2 海城市地质灾害评价因子确定性系数计算结果

影响因子	分级	分级面积/km²	灾害点数/个	灾害隐患点面积比	敏感性值
高程/m	2~65	1 450.8	3	0.002 1	−0.924 5
	>65~161	590.8	18	0.030 5	0.126 3
	>161~274	417.8	34	0.081 4	0.690 0
	>274~439	204.1	18	0.088 2	0.716 1
	>439~889	68.5	0	0	−1.000 0
坡度/(°)	0~5	1 617.8	15	0.009 3	−0.659 1
	>5~15	851.6	55	0.064 6	0.602 3
	>15~25	240.8	3	0.012 5	−0.540 5
	>25	21.8	0	0	−1.000 0
坡向/(°)	0~45	546.4	5	0.009 2	−0.663 6
	>45~135	577.8	15	0.026 0	−0.029 2
	>135~225	637.6	25	0.039 2	0.327 3
	>225~315	700.4	23	0.032 8	0.191 4
	>315~360	269.8	5	0.018 5	−0.312 3
地层岩性	坚硬半坚硬岩	252.9	5	0.030 3	0.121 0
	软岩	1 023.5	31	0.019 8	−0.265 5
	松散土体	1 020.3	0	0	−1.000 0
	坚硬岩	435.3	37	0.085 0	0.704 5
年均降雨量/mm	653~683	643.6	0	0	−1.000 0
	>683~709	784.9	1	0.001 3	−0.953 5
	>709~732	743.9	21	0.028 2	0.054 9
	>732~759	559.6	51	0.091 1	0.726 2
距河流距离/m	0~200	279.9	7	0.025 0	−0.065 9
	>200~500	401.2	12	0.029 9	0.109 5
	>500~1 000	580.1	11	0.019 0	−0.295 9
	>1 000	1 470.8	43	0.029 2	0.088 4
植被覆盖度	≤0.1	35.4	0	0	−1.000 0
	>0.1~0.3	94.1	2	0.021 3	−0.209 0
	>0.3~0.5	221.1	8	0.036 2	0.269 0
	>0.5~0.7	625.5	26	0.041 6	0.367 0
	>0.7	1 755.9	37	0.021 1	−0.216 0
距断层距离/m	0~1 000	157.9	5	0.031 6	0.160 3
	>1 000~3 000	288.3	6	0.020 8	−0.225 9
	>3 000~5 000	184.6	5	0.027 0	0.013 6
	>5 000	2 101.2	57	0.027 1	0.015 1

3.2 地质灾害易发性评价

运用ArcGIS统计分析功能中的栅格计算器,将各评价因子敏感性值进行叠加,得到综合因子敏感性值为−5.653 9~3.552 9,采用自然间断法把海城市总敏感性值分为4个等级:高易发区(−0.881 1~3.552 9)、中易发区(>−0.888 1~−0.881 1)、低易发区(>−2.729 4~−0.888 1)和不易发区(−5.653 9~−2.729 4),见图2(i).

(1)高易发区面积为557.7 km^2,占研究区总面积20.42%,发育灾害点数56个,占总数的76.71%,达到总灾害的一半以上,灾害点密集.其主要集中分布在海城市东南部的孤山镇、接文镇和马风镇低山丘陵区域,该区岩性坚硬、年均降雨量多且海拔较高,地形起伏大.大屯镇、王石镇、岔沟镇、牌楼镇、八里镇和英落镇等镇明显呈现出条带状分布特征.

(2)中易发区面积为635.8 km^2,占研究区面积23.27%,发育灾害点数15个,占总数的20.55%,灾害点密度较低.其主要分布在海城市东南部的析木镇、岔沟镇和牌楼镇,大屯镇、王石镇、马风镇、八里镇和英落镇各区规模相对较小且分散.该区岩性较坚硬且年均降雨量减少,地貌以低山丘陵为主,地形起伏较大.

(3)低易发区面积为523.9 km^2,占研究区面积19.18%,发育灾害点数2个,占总数的2.74%,灾害点密度小.其在各镇均有零星分布,但集中分布在毛祁镇、英落镇、八里镇、甘泉镇和南台镇,该区以坡地为主,属于中、不易发区的过渡区域,距离河流相对较远,植被覆盖度较高.

(4)不易发区面积为1 014.6 km^2,占研究区面积37.13%,在所有分区中所占面积最大,不发育地质灾害.其主要分布在海城市北部各镇,该区地貌以平原为主,地形平坦而且年均降雨量最少,因此发生地质灾害的可能性低.

4 讨 论

研究表明,控制因素和诱发因素共同控制地质灾害的发生[27],控制因素由高程、坡度、坡向、地层岩性和距断层距离组成,而诱发因素为年均降雨量、距河流距离和NDVI.前人研究工作表明,降雨是地质灾害发生的主要外部诱发因子[28-31];由于不同地区的地质灾害形成机制(发育特征、分布规律以及灾害类型)和区域特征存在差异,因此,影响各地发生地质灾害的内部因子则有所不同.本研究区依据影响因子的敏感性值可知,该区域年均降雨量的值最高,其次是高程和地层岩性,说明降雨是海城市地质灾害最重要的外部诱发因子,而高程和地层岩性是海城市地质灾害发生的主要内部影响因子;显然,这一结论佐证了降雨是地质灾害发生的主要诱发因素.海城市地质灾害高易发区海拔较高,分布的岩性主要是坚硬岩及坚硬半坚硬岩.结合野外调查显示:岩性坚硬及半坚硬的地区主要为层状碎屑岩组与碎裂状软硬相间岩组,结构较松散,节理裂隙发育强烈,并且海拔高的区域昼夜温差大,岩体容易在冷热交替间风化破碎,再加上强降水影响,很容易发生地质灾害.海城市东南部地区海拔较高,岩性为坚硬岩、坚硬及半坚硬岩,同时年均降雨量为732~759 mm,是海城市降雨量最多的区域.经统计,该区域灾害数量有56个,灾害点比例达到76.71%,高易发区集中分布在此.由此可见,海城市地质灾害的发生主要是在海拔和岩性的影响下,受降水因素所诱发.

除此之外,结合海城市易发性分区图和评价因子分级图,高易发区除了分布在较高海拔区和坚硬岩岩性中,还明显呈现出朝南向阳坡和沿河流附近分布的特征.向阳坡早晚温差大,水热差异导致岩石风化、侵蚀程度比阴坡高.河流堆积为地质灾害带来丰富的物源,距河流越近侵蚀作用越强烈,而且河流附近地形起伏小、坡度较缓,是人类生活居住集中区,且工程建设活动频繁,因此对自然环境影响大.在自然和人为因素的共同影响下,向阳坡处和河流附近区域地质灾害易发性较高.

因此,在海城市地质灾害高易发区,要在河流汛期和雨季集中季节,加大对地质灾害的排查和群测群防巡查,减少地质灾害的发生和降低灾害造成的损失.

5 结 论

本文通过海城市地质灾害野外调查,在收集以往资料基础上,依托ArcGIS平台,利用确定性系数模型得到海城市地质灾害易发性评价,结论如下:

(1)海城市高易发区面积为557.7 km^2,占研究区面积20.42%,其主要分布于海城市东南部岩性为坚硬岩或坚硬半坚硬岩的低山丘陵区,呈现出朝南向阳坡和沿河流附近分布特征;中易发区面积为635.8 km^2,占研究区面积23.27%,其主要分布在高易发区外围的析木镇、牌楼镇和岔沟镇;低易发区面积为523.9 km^2,占研究区面积19.18%,其零星分散于海城市各镇;不易发区面积为1 014.6 km^2,占研究区面积37.13%,其主要分布于北部各镇地形平缓的平原区.

(2)海城市地质灾害的发生主要受高程和地层岩性影响,经降雨诱发,受河流附近人为活动影响,并在坡度、坡向、植被覆盖度和距断层距离等多种因素影响下,导致海城市地质灾害发育程度和分区的不同.

参 考 文 献

[1] OABAYASHI N, TOCHIKI S, SUZUKI T, et al. Relations between landslide disasters and geological and geomorphological conditions in the central part of Kochi Prefecture(1)[J]. Landslides, 1978, 15(2): 3-10.

[2] HOVLAND H J. Three-dimensional slope stability analysis method[J]. Journal of the Geotechnical Engineering Division, 1977, 103(9): 971-986.

[3] HOLLINGSWORTH R, KOVACS G S. Soil slumps and debris flows: prediction and protection [J]. Bulletin of the Association of Engineering Geologists, 1981, 18(1): 17-28.

[4] NILSEN T H, BRABB E E. Current slope-stability studies in the San Francisco Bay region [J]. GSA Reviews in Engineering Geology, 1977, 1(4): 431-437.

[5] VAN WESTEN C J, RENGERS N, TERLIEN M T J, et al. Prediction of the occurrence of slope instability phenomenal through GIS-based hazard zonation [J]. Geologische Rundschau, 1997, 86(2): 404-414.

[6] 单博.基于3S技术的奔子栏水源地库区库岸地质灾害易发性评价及灾害风险性区划研究[D].长春:吉林大学,2014.

[7] 应智超,王中美,刘兵,等.基于GIS的瓮安县地质灾害易发性和危险性分区评价[J].贵州大学学报(自然科学版),2020,37(3):119-124.

[8] 张轩铭.西南山区城镇地质灾害风险评估方法研究[D].西安:长安大学,2018.

[9] HOLEC J, BEDNARIK M, SABO M, et al. A small-scale landslide susceptibility assessment for the territory of Western Carpathians[J]. Natural Hazards, 2013, 69(1): 1081-1107.

[10] 谢婉丽,滕宏泉,杜蕾,等.基于GIS结合模糊信息方法在灾害危险性区划中的应用:以大西安地区崩滑地质灾害为例[J].灾害学,2018,33(3):111-116.

[11] 王昌明,黄健,李桥,等.基于信息量模型与Logistic回归模型耦合的山西吕梁市地质灾害易发性评价研究[J].水利水电技术,2019,50(3):132-138.

[12] 李远远,梅红波,任晓杰,等.基于确定性系数和支持向量机的地质灾害易发性评价[J].地球信息科学学报,2018,20(12):1699-1709.

[13] 王哲,易发成,陈廷方.基于模糊综合评判的绵阳市地质灾害易发性评价[J].科技导报,2012,30(31):53-60.

[14] 陈丽霞,殷坤龙,张桂荣.浙江省磐安县滑坡灾害空间预测[J].地球与环境,2005,33(增刊1):359-363.

[15] 饶品增,曹冉,蒋卫国.基于地理加权回归模型的云南省地质灾害易发性评价[J].自然灾害学报,2017,26(2):134-143.

[16] 唐晓娜.基于卷积神经网络和综合指数模型的吕梁市滑坡灾害易发性评价[D].太原:太原理工大学,2019.

[17] 陈立华,叶江,魏传健,等.基于ArcGIS与信息量法的滑坡易发性评价[J].广西大学学报(自然科学版),2016,41(1):141-148.

[18] 张艳玲,南征兵,周平根.利用证据权法实现滑坡易发性区划[J].水文地质工程地质,2012,39(2):121-125.

[19] 李益敏,李驭豪,赵志芳.基于确定性系数模型的泸水市泥石流易发性评价[J].水土保持研究,2019,26(4):336-342.

[20] 毕晓玲.地形因子在四川省滑坡灾害敏感性评价中的适用性分析[D].北京:首都师范大学,2011.

[21] 许冲,戴福初,姚鑫,等.基于GIS与确定性系数分析方法的汶川地震滑坡易发性评价[J].工程地质学报,2010,18(1):15-26.

[22] 刘艳辉,刘传正,唐灿,等.基于确定性系数模型的地质灾害多因子权重计算方法[J].中国地质灾害与防治学报,2015,26(1):92-97.

[23] 杨光,徐佩华,曹琛,等.基于确定性系数组合模型的区域滑坡敏感性评价[J].工程地质学报,2019,27(5):1153-1163.

[24] 匡乐红,徐林荣,刘宝琛.组合赋权法确定地质灾害危险性评价指标权重[J].地下空间与工程学报,2006(6):1063-1067+1075.

[25] 田春阳,张威,张戈,等.基于信息量法的西丰县地质灾害易发性评价[J].首都师范大学学报(自然科学版)2020,41(2):32-40.

[26] 陈朝亮.基于GIS的内江市地质灾害易发性评价研究[D].绵阳:西南科技大学,2019.

[27] 孙天天.基于RS和GIS的新源县滑坡灾害易发性评价[D].乌鲁木齐:新疆大学,2019.
[28] 赵世发,王俊,杜继稳,等.秦巴山区地质灾害成因机制及预报预警[J].气象科技,2010,38(2):263-269.
[29] 林孝松.滑坡与降雨研究[J].地质灾害与环境保护,2001,12(3):1-7.
[30] 卢全中,郭相利,赵法锁,等.略阳县地质灾害发育特征及其危险性初步评价[J].长安大学学报(地球科学版),2003,25(1):52-56.
[31] 邵新风.丹凤县地质灾害调查与防治[J].陕西煤炭,2012,31(6):20-21+31.

Geological disaster susceptibility evaluation of certainty factor method in Haicheng City

LI Jianfeng[1,2], LU Yanli[1,2], ZOU Zhiliang[3]

(1. College of Geographic Science, Liaoning Normal University, Dalian Liaoning 116029; 2. Wuhan Center of Geological Survey, China Geological Survey, Wuhan Hubei 430074; 3. Hydrogeological and Engineering Geological Survey Institute of Liaoning Province, Dalian Liaoning 116037)

Abstract: The geomorphologic types are diverse and geological disasters are frequent in Haicheng City. This paper selects eight factors to evaluate the susceptibility of geological disasters: elevation, slope, aspect, formation lithology, average annual rainfall, distance from rivers, normalized differential vegetation index and distance from faults. Based on the ArcGIS grid statistical function, the certainty factor model is used to evaluate the susceptibility of geological disasters in Haicheng City. The results show that geological disasters in Haicheng City can be divided into high, medium, low and non prone areas, high prone areas are mainly distributed in low mountains and hills of southeast Haicheng City; medium prone areas are concentrated in Ximu, Pailou and Chagou Town along the high risk periphery; low prone areas are scattered in each town of Haicheng City; non-prone areas are mainly distributed in the plain area with flat terrain in the north. Geological disaster development in Haicheng City is mainly controlled by the influence factors of elevation and formation lithology, induced by rainfall, and affected by human activities near the river. And the development degree and distributions of geological disasters in Haicheng City are different, which mainly caused by the action of multiple factors such as slope, aspect, normalized differential vegetation index and distance from faults.

Keywords: Haicheng City; risk assessment; geological hazards; certainty factor model

(责任编辑:李拓宇)