

邵佳丽, 郑伟. 洪涝灾害危险性评估方法研究[J]. 灾害学, 2018, 33(2): 58–63. [SHAO Jiali and ZHENG Wei. Study on the flood hazard assessment method [J]. Journal of Catastrophology, 2018, 33(2): 58–63. doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2018.02.012.]

洪涝灾害危险性评估方法研究^{*}

邵佳丽, 郑伟

(国家卫星气象中心, 北京 100081)

摘要:为改进洪涝灾害危险性评估方法精度, 利用洪涝灾害前期土壤湿度和未来24 h降雨预测数据作为致灾因子, 结合河湖网络、地形和土地利用类型等孕灾因子, 基于层次分析方法确定指标权重, 研究了洪涝灾害评估方法中致灾因子评估指标的作用, 以2013年8月中旬松花江流域洪涝灾害为例, 利用土壤湿度和前3 d降雨量数据两种不同因子危险性评估方法结果比较, 以及风云气象卫星洪涝灾害监测结果对危险性评估结果的验证, 表明了利用洪涝灾害前期土壤湿度和未来24 h降雨预测数据作为致灾因子得到的危险性评估结果与实际灾情吻合效果较好, 验证了方法的有效性。

关键词:洪涝灾害; 土壤湿度; 24 h降雨预测数据; 危险性; 层次分析法; 松花江流域

中图分类号: X43; TV877; P31 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2018)02–0058–06

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2018.02.012

中国饱受洪涝灾害的影响, 洪水灾害频繁、影响范围广, 威胁人民生命财产安全, 给社会经济建设造成巨大的损失。洪涝灾害危险性评估对于防灾减灾决策具有重要的指导意义, 是一个国内外研究较活跃的方向。目前, 已有许多学者对于洪涝灾害危险性评估开展了研究, 并对洪涝灾害风险提出并建立了多种评估模型。赵士鹏^[1]、Lucky Adrianto^[2]、李柏年^[3]、王雪臣^[4]、黄大鹏^[5]等在洪涝灾害风险评估中引入了历史灾情统计数据; Shanker Kumar Sinnakaudan^[6]、汤奇成^[7]、张继权^[8]、盛绍学^[9]、马国斌^[10]等将洪涝灾害风险的特定因子, 分别选取不同的评价方法进行洪涝灾害风险评估。近年来, 周成虎^[11]、赵霞^[12]、蒋新宇^[13]、马国斌^[14]等利用降雨、河网、地形等特定指标建立了洪涝灾害权重指数模型对洪涝灾害危险性进行评价, 给出量化的分级评价结果。

但目前对洪涝灾害进行风险评估仍存在一些待解决的问题, 根据历史灾情统计数据得到的灾情样本未必与未来的洪灾灾情具体情况一致; 根据特定因子区别选择评价方法对于评价因子和方法在选取与关联上还有待进一步的研究完善。为进一步提高洪涝灾害危险性评估方法精度, 本文提出利用洪涝灾害前期土壤湿度和未来24 h降雨预测数据作为致灾因子, 并以2013年8月中旬松

花江流域洪涝灾害为例, 验证该方法的有效性。

1 研究区及技术路线

1.1 研究区

松花江流域位于我国东北地区, 是重要的商品粮基地, 东西长920 km, 南北宽1 070 km, 流域面积约55.68万km²。松花江有南北两源, 北源嫩江也是松花江第一大支流, 由北向南流至吉林省三岔河口, 与南源第二松花江汇合后形成东流松花江干流, 流至同江市注入黑龙江, 是黑龙江右岸最大支流。松花江流域由于流域面积大, 气象条件复杂, 多年平均降水量在500 mm左右; 年降水量的多年变化为300~700 mm, 全年降水量的80%集中在汛期(6–9月)^[15]。

松花江流域在历史上洪涝灾害较为频繁, 部分地区平均2~3年发生一次较严重的洪涝灾害, 10~30年发生一次严重的洪涝灾害。如1998年松花江流域曾经发生了有历史记录以来的最大洪涝灾害, 而2013年黑龙江、松花江再次并同时发生流域性洪水, 本次研究以此为例, 图1为研究区示意图。

1.2 技术路线

土壤湿度即土壤的含水量, 能够在一定程度上反映地表的水体分布状况, 对评价洪涝灾害风险

^{*} 收稿日期: 2017–09–19 修回日期: 2017–11–13

基金项目: 国家自然科学基金项目(41571425; 40901231)

第一作者简介: 邵佳丽(1986–), 女, 浙江杭州人, 硕士, 工程师, 主要从事卫星遥感灾害和生态环境应用研究。

E-mail: shaojl@cma.gov.cn

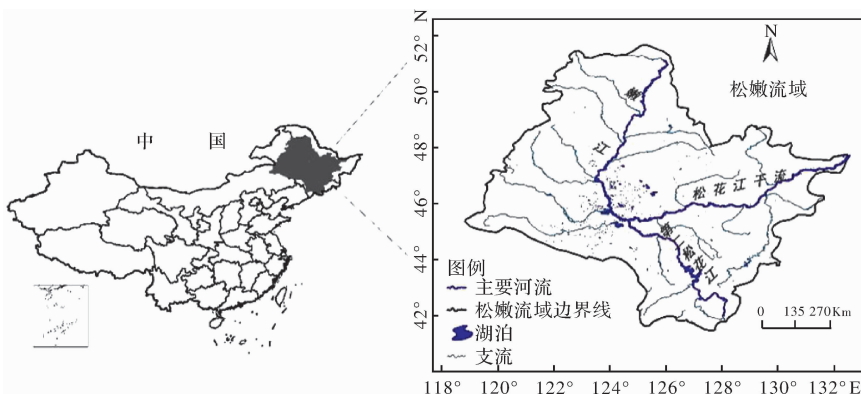


图1 研究区示意图

具有重要的参考意义。本文将河湖网络、地形、土地利用类型等指标作为孕灾因子的基础上, 加入了土壤湿度和预测降雨数据, 尝试改进洪涝灾害危险性模型评估精度。洪涝灾害风险评价是根据形成洪涝灾害的致灾因子和孕灾因子进行预测分析的过程。通过层次分析法, 对要素两两比较, 将定性分析与定量分析相结合, 确定层次中诸因素的相对重要性顺序, 进行多目标决策分析^[16], 该方法在环境灾害的应用相当广泛^[17-19], 尤其适合处理复杂的决策问题, 表现出相当的实用性和有效性。本文利用层次分析法对松花江流域洪涝灾害进行危险性评估, 技术路线如图2所示。

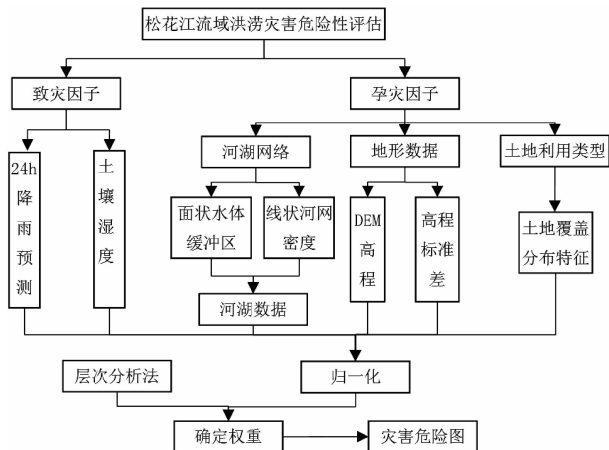


图2 松花江流域洪涝灾害危险性评估技术路线图

2 危险性评估因子分析与计算

(1) 土壤湿度

土壤湿度是联系地表水和地下水的纽带, 对洪涝灾害风险评估至关重要。本文中土壤湿度数据来源于中国气象局陆面数据同化系统, 空间分辨率为 $1/16^\circ$, 经过重采样处理, 空间分辨率为 1 km 。本文将当前土壤湿度信息作为未来 24 h 洪涝风险评估指标, 进行了归一化处理:

$$X_1 = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (1)$$

式中: X_1 为归一化的土壤湿度; X_i 为土壤湿度; X_{\min} 为最小土壤湿度; X_{\max} 为最大土壤湿度。

(2) 24 h 降雨预测

高强度高密度的降雨是洪涝灾害的主要致灾因子^[20], 在引入归一化土壤湿度因子的基础上, 本文也将未来 24 h 降雨预测数据作为洪涝危险性评价的致灾因子。参照国家气象中心制定的《降雨过程强度等级划分规定》, 并结合松花江流域暴雨洪涝特点, 计算降雨影响度, 将降雨量以 20 、 80 为界, 其计算公式为:

$$X_2 = \begin{cases} 0 & , P \leq 20; \\ \frac{3P-20}{220} & , 20 < P \leq 80; \\ 1 & , P \geq 80. \end{cases} \quad (2)$$

式中: X_2 为降雨对洪涝灾害的影响度; P 为评估当天的预测降雨量。

(3) 河湖网络

河流网络的分布对于区域洪涝灾害评价的重要性不言而喻, 在前人研究中大都利用了水体分布信息。模型中主要考虑与水体的距离、河流的级别与密度, 与水体越近、河流级别越高、水网越密、水域面积越大, 发生洪灾的危险程度也越高, 发生后的影响范围也越大。本文通过对不同的河网信息建立不同的缓冲区来表示受洪水侵袭的难易程度及影响程度。综合已有研究成果^[21]将该地区的面状河湖数据建立了 2 级缓冲区(表1), 并分别赋予 0.8 和 0.6 , 对于非缓冲区区域赋予 0.1 。

表1 江河湖泊缓冲区距离表

类型	一级缓冲区/km	二级缓冲区/km
湖泊、水库	0.5	1.0
干流、一级河流	8	12
二级支流	6	10

河网密度从一定程度上反映了一个地区的降雨量与下垫面条件, 降雨量高、渗透性弱, 洪水危险性相对较高, 因而, 河网密度可以间接反映洪水危险性^[22]。利用 ARCGIS 软件进行河网密度计算后, 对河网密度进行归一化计算(表2、式3):

$$X_w = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (3)$$

式中: X_w 为归一化的河网密度; X_i 为河网密度; X_{\min} 为最小河网密度; X_{\max} 为最大河网密度。

表 2 河流等级权重关系表

河流等级	三级	四级	五级	其他
权重	4	3	2	1

通过 ARCGIS 软件将嫩江流域面状河湖数据和归一化后的河网数据进行叠加, 取较大值(将河网密度设定为 X_3)作为洪涝灾害的影响度。

(4) 地形

地形对洪涝形成主要有两个方面的影响: 地形高程和地形起伏程度。地形高程越低, 水往低处流, 越容易被洪水淹没而形成洪涝; 反之, 洪涝灾害发生的可能性就越低。地形起伏程度在一定程度上影响着洪水的排泄, 地形起伏小, 表明该地地形变化小, 越容易形成洪涝区, 本文采用的是地形标准差来实现地形起伏程度。地形数据采用的是 STRM 数据。

1) 地形高程影响度归一化公式为:

$$X_4 = \begin{cases} 1 - \frac{h}{1000}, & h < 700; \\ 0.4, & h \geq 700. \end{cases} \quad (4)$$

式中: X_4 为地形高程影响度; h 为地形高程(m)。

2) 地形标准差影响度计算公式为:

$$X_5 = \begin{cases} 1 - \frac{s}{16}, & s < 10; \\ 0.4, & s \geq 10. \end{cases} \quad (5)$$

式中: X_5 为地形标准差影响度; s 为地形标准差。

(5) 土地利用

土地利用是影响暴雨洪涝灾害的一个重要因素^[23]。本文采用耕地、林地、草地、水域、城镇工矿建设用和荒地 6 个一级土地利用类型, 根据影响度在 (0, 1) 区间的原则, 确定出嫩江流域不同土地覆盖类型的划分标准, 得到嫩江流域各种土地类型(表 3)对洪涝影响度(X_6)分布图。

表 3 土地利用类型的影响度划分标准

标准	土地类型				
	耕地	林地	草地	城镇工矿等用地	荒地
影响度	0.9	0.7	0.6	0.8	0.2

3 洪涝灾害危险性评估方法

(1) 洪涝灾害危险性评估模型

研究区设置成 $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ 网格单元, 将孕灾因子土壤湿度、24 h 降雨预测, 致灾因子河湖网络、高程、地形标准差和土地利用类型进行归一化计算, 利用层次分析法确定各个因子的权重, 建立洪涝灾害危险性评估模型:

$$R = \sum_{i=1}^m X_i \times W_i, (i = 1, 2 \cdots 6). \quad (6)$$

式中: R 表示洪涝灾害危险指数, W_i 表示因子的权重, X_i 表示对应因子的洪涝灾害影响度。其中 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 、 X_6 分别为土壤湿度、24 h

降雨预测、河湖网络、高程、地形标准差、土地利用类型对洪涝灾害的影响度。 W_1 、 W_2 、 W_3 、 W_4 、 W_5 、 W_6 分别为各评估指标因子的权重。

(2) 危险性等级划分

基于洪涝灾害危险性评估模型, 可获得每天的洪涝灾害危险性指数, 进一步将每天的洪涝灾害危险性划分不同的等级。

4 结果与分析

以松花江流域 2013 年 8 月 14 - 16 日洪涝灾害为例, 该时间段内松花江流域累积面平均降雨量 26 mm, 其中第二松花江 104 mm, 为主雨区; 累计最大雨量吉林省桦甸县白山站 279 mm^[24]。通过层次分析法分别确定 8 月 14 - 16 日当天的土壤湿度、未来 24 h 降雨预测量、河湖网络、高程、地形标准差和土地利用类型 6 个指标的权重分别为 0.3449、0.1759、0.2487、0.0949、0.0684、0.0671, 计算生成评估次日的洪涝危险风险指数, 通过统计分析危险指数的最小值、最大值, 结合历史灾情, 利用阈值分割法确定风险等级分割值分别为 0.5、0.55 及 0.6, 其中小于 0.5 为低风险区, (0.5, 0.55] 为较低风险区, (0.55, 0.6] 为较高风险区, 大于 0.6 为高风险区。据此即可生成洪涝灾害风险等级图, 如图 3a、图 3b、图 3c 所示。

从松花江流域 2013 年 8 月 15 - 17 日暴雨灾害危险性预测等级图(图 3a、图 3b、图 3c)和 2013 年 8 月 15 - 17 日高危险区面积统计表(表 4)可知: 3 d 的较高危险区主要分布在吉林省南部吉林市、通化市和白山市, 沿嫩江和松花江主河道和黑龙江绥化市附近, 3 d 中嫩江主河道黑龙江泰来县段均有高危险性; 而 15 日的高风险区在吉林市磐石、桦甸市, 通化市的辉南县和梅河口市, 白山市的抚松县附近; 16 日的高风险区在通化市柳河县和梅河口市, 白山市的抚松县, 辽源市东丰县, 吉林市的永吉县, 抚顺市附近; 17 日高风险区主要集中在吉林市桦甸市, 黑龙江省绥化市的绥棱县、海伦市和庆安县。这与影响洪涝灾害的土壤湿度、降雨量和河湖网络等因素有关, 通过查阅关于 2013 年松花江流域发生暴雨灾害的实际受灾分布范围的相关资料^[25-26]。本文得到的危险性等级图与松花江流域 8 月中旬的受灾分布范围是吻合的, 特别是受灾严重的吉林桦甸市、通化市、白山市, 黑龙江泰来县和辽宁抚顺市为重灾区, 与本文得到的危险性等级图区域一致。

为了比较分析引入当前土壤湿度作为致灾因子在洪涝灾害危险性评估中的作用, 结合松花江流域的情况, 以 80, 150 为界估算了洪涝灾害危险性评估方法中常用的前 3 d 累计降雨量数据因子影响度^[13]。将前 3 d 降雨量(X_{3d})代替土壤湿度(X_1)带入式(6), 得到洪涝灾害危险性预测图(图 3d、

图 3e、图 3f), 与利用土壤湿度制作的危险性等级图进行对比(图 3a、图 3b、图 3c, 表 4)可知: 利用前 3 d 降雨量制作的 8 月 15-17 日危险性预测等级图中危险区域明显较小, 危险区域基本集中在通化市和辽源市。前 3 d 降雨量制作的危险性等级图在嫩江和松花江主河道附近未显现出危险区域, 这与松花江流域的一些支流, 嫩江、松花江干流等发生超警戒水位洪水不是很吻合^[26], 两图在吉林省南部均有不同程度的危险区, 但利用土壤湿度制作的危险性等级图 3d 中, 桦甸市都存在高风险区, 这与文献资料^[26]提到的 2013 年的洪涝灾害中桦甸市降雨量大, 附近发生特大暴雨洪涝灾害一致。通过以上对比可以看出, 利用土壤湿度作为致灾因子进行洪涝灾害危险性评估具有较好的可用性。

嫩江主河道黑龙江省泰来县附近在 2013 年 8 月 15-17 日一直处于高风险暴雨等级, 将该区域 8 月 15 日的洪涝水体与发生洪涝前的水体进行对比分析。利用风云三号 A 星 MERSI 传感器获得的 250 m 分辨率影像资料, 可对大范围的洪水进行监测, 利用晴空区域数据提取的水体信息与同年 6 月 17 日的水体信息对比制作出部分松花江流域水体变化监测专题图。图 4a 是黑龙江和吉林省交界处泰来县附近的嫩江的水体变化专题图, 图中红色部分为洪水扩大区域, 对比可见 8 月 15 日嫩江主河道水体范围较同年 6 月 17 日显著增宽, 水体扩大明显。图 4b 是对应区域的危险性等级图, 从图中可得到较高危险区沿着嫩江主河道分布, 与洪水灾情一致, 高风险区分布在嫩江泰来县段, 这与松花江流域黑龙江泰来县为重灾区是吻合的。

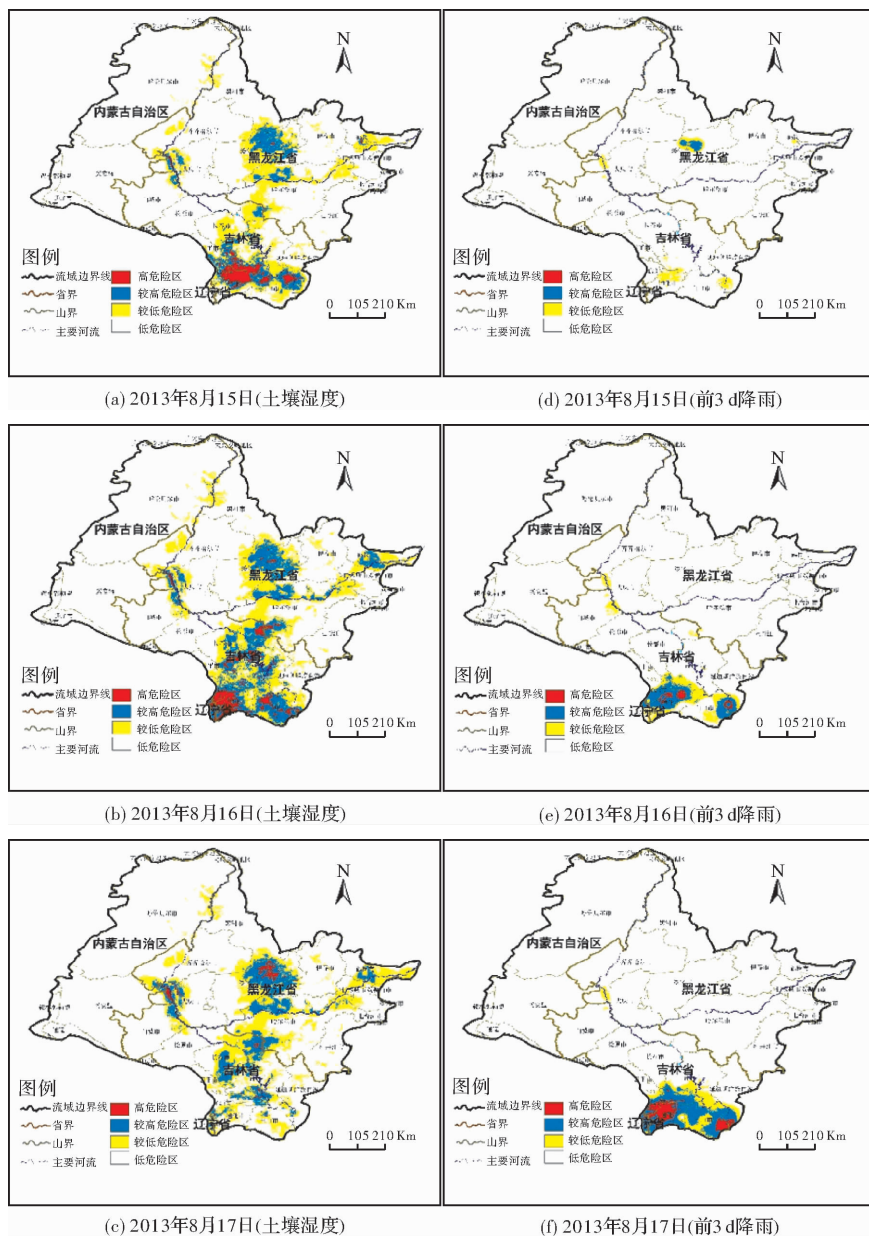


图 3 洪涝灾害危险性等级图(2013 年 8 月 15-17 日)

表 4 2013 年 8 月 15 - 17 日高危险区面积统计表 km²

市	县(地级市)	15 日		16 日		17 日	
		土壤湿度	3d 降雨量	土壤湿度	3d 降雨量	土壤湿度	3d 降雨量
吉林市	磐石市	2088	0	172	140	541	246
	桦甸市	707	0	179	0	1975	2
	永吉县	38	0	984	0	22	0
	蛟河市	0	0	483	0	5	0
通化市	辉南县	2060	0	51	752	0	930
	梅河口市	1431	0	1627	466	207	1879
	柳河县	535	0	2039	88	0	1772
	通化县	0	0	514	0	4	36
白山市	抚松县	1165	0	1054	8	140	1390
	靖宇县	546	0	625	0	74	0
	白山市市辖区	0	0	156	0	20	6
辽源市	东丰县	626	0	1294	5	232	1122
	东辽县	108	0	23	0	0	0
延边朝鲜族自治州	安图县	422	0	84	492	2	408
	敦化市	0	0	1	0	12	0
齐齐哈尔市	泰来县	201	0	347	0	67	0
长春市	长春市市辖区	314	0	463	0	0	0
	榆树市	0	0	780	0	93	0
绥化市	绥棱县	76	0	218	0	1431	0
	海伦市	16	0	107	0	1402	0
	庆安县	0	0	1	0	1234	0
抚顺市	清原满族自治县	0	0	535	7	133	186
	新宾满族自治县	0	0	170	0	15	2
哈尔滨市	五常市	0	0	510	0	0	0

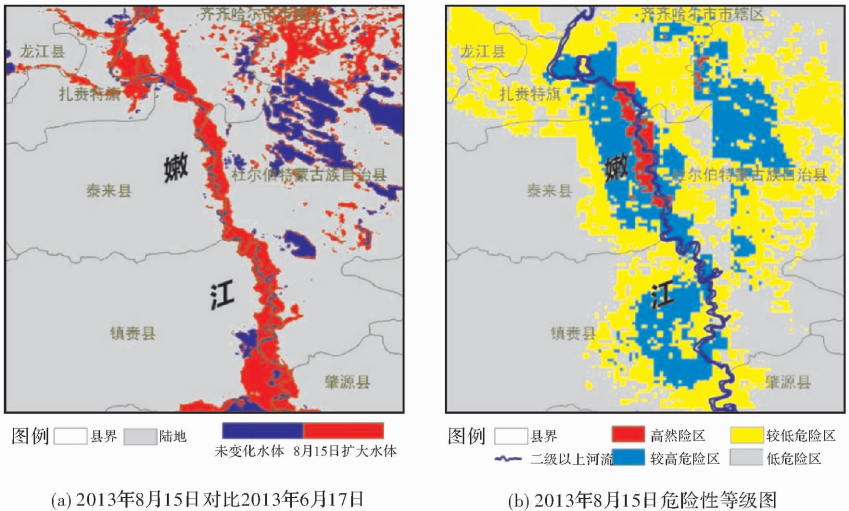


图 4 2013 年 8 月 15 日泰来县附近水体变化监测图(a)和危险性等级图(b)

5 结论与讨论

本文利用土壤湿度和未来 24 h 降雨预测资料,结合孕灾因子河湖网络、高程、地形标准差和土地利用类型作为评估因子,采用层次分析和归一

化方法对洪涝灾害危险性进行评估研究。以 2013 年 8 月 15 - 17 日嫩江流域洪涝灾害为例,对洪涝灾害危险性指数等级划分,从结果表明,3 d 的较高危险区域主要分布在吉林省南部、沿嫩江和松花江主河道和黑龙江绥化市附近,3 d 中嫩江主河道黑龙江泰来县段均有高危险性;而 15 - 17 日吉林省东南部的危险区有所变化,但主要集中在吉

林省桦甸市附近, 这与松花江流域 8 月中旬的受灾分布范围基本吻合。与前人考虑中前期的降雨量的研究相比, 土壤湿度可以更为直接的体现当前地表的洪涝状况, 对于洪涝灾害危险性评估更有效。利用 FY3A/MERSI 卫星资料对部分区域进行验证, 与预测中的高危险区域符合度较高, 验证了本文方法的有效性。

在利用层次分析法分别确定各指标的权重, 以及利用阈值分割法确定风险等级过程中, 权重和阈值的选择和确定, 与研究区域、时间等因素具有相关性, 如何更加客观、科学的确定权重和阈值, 从而提高洪涝灾害的危险性评价精度, 还需要进一步的深入研究。

参考文献:

- [1] 赵士鹏. 山洪灾情评估的系统集成方法研究[D]. 北京: 中国科学院地理研究所, 1995: 1-281.
- [2] Adrianto L, Matsuda Y. Developing economic vulnerability indices of environmental disasters in small island regions [J]. Environmental Impact Assessment Review, 2002, 22: 381-401.
- [3] 李柏年. 洪涝灾害评价的威布尔模型[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(6): 32-36.
- [4] 王雪臣, 冷春香, 冯相昭, 等. 长江中游地区洪涝灾害风险分析[J]. 科技导报, 2008, 26(2): 61-66.
- [5] 黄大鹏, 郑伟, 张人禾, 等. 安徽淮河流域洪涝灾害防灾减灾能力评估[J]. 地理研究, 2011, 30(3): 523-530.
- [6] Sinnakaudan S; Ghani A. Flood risk mapping for Pari river incorporating sediment transport [J]. Environmental Modelling & Software, 2003, 18: 119-130.
- [7] 汤奇成. 中国干旱区洪涝灾害的研究[J]. 干旱区资源与环境, 1996, 10(1): 38-45.
- [8] 张继权, 张会, 韩俊山. 东北地区建国以来洪涝灾害时空分布规律研究[J]. 东北师大学报(自然科学版), 2006, 38(1): 126-130.
- [9] 盛绍学, 石磊, 刘家福, 等. 沿淮湖泊洼地区域暴雨洪涝风险评估[J]. 地理研究, 2010, 29(3): 416-422.
- [10] 马国斌, 蒋卫国, 李京, 等. 中国短时洪涝灾害危险性评估与验证[J]. 地理研究, 2012, 31(1): 34-44.
- [11] 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.
- [12] 赵霞, 王平, 龚亚丽, 等. 基于 GIS 的内蒙古中部区域洪水灾害风险评估[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2007, 43(6): 666-669.
- [13] 蒋新宇, 范久波, 张继权, 等. 基于 GIS 的松花江干流暴雨洪涝灾害风险评估[J]. 灾害学, 2009, 24(3): 51-56.
- [14] 马国斌, 李京, 蒋卫国, 等. 基于气象预测数据的中国洪涝灾害危险性评估与预警研究[J]. 灾害学, 2011, 26(3): 8-12, 17.
- [15] 陆志华, 夏自强, 于岚岚, 等. 1958-2009 年松花江流域降水时空演变特征[J]. 自然资源学报, 2012, 27(6): 990-1000.
- [16] Saaty T L. A scaling method for priorities in hierarchical structures [J]. Journal of Mathematical Psychology, 1977 (15): 234-281.
- [17] 陈家金, 王加义, 黄川容, 等. 基于 AHP-EWM 方法的福建省农业气象灾害风险区划[J]. 自然灾害学报, 2016, 25(3): 58-66.
- [18] 蒋春丽, 张丽娟, 姜春艳, 等. 黄淮海地区夏玉米洪涝灾害风险区划[J]. 自然灾害学报, 2015, 24(3): 235-243.
- [19] 吴在栋, 胡玉娟, 张明锋, 等. 基于 GIS 的历史文化街区火灾风险评估—以福州市三坊七巷为例[J]. 灾害学, 2016, 31(4): 205-209.
- [20] 郭广芬, 周月华, 史瑞琴, 等. 湖北省暴雨洪涝致灾指标研究[J]. 暴雨灾害, 2009, 28(4): 357-361.
- [21] 万君, 周月华, 王迎迎, 等. 基于 GIS 的湖北省区域洪涝灾害风险评估方法研究[J]. 暴雨灾害, 2007, 26(4): 328-333.
- [22] 黄诗峰, 徐美, 陈德清. GIS 支持下的河网密度提取及其在洪水危险性分析中的应用[J]. 自然灾害学报, 2001, 10(4): 129-132.
- [23] 袁艺, 史培军, 刘颖慧, 等. 土地利用变化对城市洪涝灾害的影响[J]. 自然灾害学报, 2003, 12(3): 6-13.
- [24] 王容, 尹志杰, 朱春子. 2013 年黑龙江、松花江暴雨洪水分析[J]. 水文, 2014, 34(6): 67-76.
- [25] 中国减灾编辑部. 两广、东三省洪水肆虐 千余万人受灾[J]. 中国减灾, 2013(18): 14-15.
- [26] 闫淑春. 2013 年全国洪涝灾情[J]. 中国防汛抗旱, 2014(1): 18-19, 36.

Study on the Flood Hazard Assessment Method

SHAO Jiali and ZHENG Wei

(National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081, China)

Abstract: In this paper, the flood hazard assessment method based on GIS spatial analysis, analytic hierarchy process (AHP) and normalization technique is used to evaluate the hazard of Songhuajiang River Basin. Through the introduction of flood disaster early soil moisture and the next 24 hours rain prediction data as the disaster factors, combined with the river network, terrain and land use types of disaster factors, determine the weight of evaluation index, applied to the flood hazard assessment. The flood disaster in mid August 2013 Songhuajiang River Basin as an example, through the comparison of using soil moisture and 3d before rainfall data of two different factors of risk assessment, and monitoring results of flood disaster meteorological satellite to verify the assessment result of risk, illustrating the obtained results coincide well with the actual situation.

Key words: flood; soil moisture; 24 hours rain prediction data; hazard; analytic hierarchy process; songhuajiang river basin