

基于GIS的松花江干流暴雨洪涝灾害风险评估^{*}

蒋新宇, 范久波, 张继权, 佟志军, 刘兴朋

(东北师范大学 城市与环境科学学院, 东北师范大学 自然灾害研究所, 吉林 长春 130024)

摘要:以黑龙江省内的松花江干流流域作为研究区,从现代灾害风险理论出发,综合运用GIS空间分析和灾害风险评估数学方法,对松花江干流流域的暴雨洪涝灾害风险进行了定量评价。研究利用遥感数据和社会经济数据,在空间分析基础上,通过对暴雨洪涝灾害的危险性、承灾体的暴露性、脆弱性以及区域防灾减灾能力的分析,确定影响各个县市暴雨洪涝灾害风险的具体方面。并将因子集成为洪涝灾害风险指数(FDRI),在此基础上绘制出松花江干流流域的洪涝灾害风险区划图,结果表明松花江干流洪涝灾害风险以哈尔滨和佳木斯两市最大,上游洪涝灾害风险大于下游。

关键词:松花江干流;暴雨;洪涝灾害;风险评估;GIS;黑龙江

中图分类号:P333.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-811X(2009)03-0051-06

0 引言

暴雨洪涝灾害是东北地区较频发的一种气象灾害,统计资料显示黑龙江、吉林、辽宁三省份洪涝灾害受灾面积和发生频次一直位于国家前列^[1-3]。近些年来,随着全球气候异常,东北地区的暴雨洪涝灾害的发生频次有上升趋势。暴雨洪涝灾害已经严重地影响了东北地区的经济发展和生态环境。目前,对暴雨洪涝灾害的评估有很多方法。王雪臣等基于历史灾害数据用洪涝指数对长江中游地区进行了洪涝灾害风险分析^[4],是侧重气象方面的洪涝灾害风险评估。万君等应用GIS通过研究洪涝灾害危险性和社会经济脆弱性对湖北省进行了洪涝灾害风险评估^[5],是从灾害发生学进行的评估。张会等利用暴雨洪涝灾害风险指数(FDRI)对辽河中下游地区进行了风险评估,同时考虑了灾害发生和灾害管理,但是对暴雨洪涝灾害发生的空间没有足够的重视,且由于数据获取困难,一些重要的指标并没有考虑到^[6]。本研究从灾害风险角度出发,综合考虑暴雨洪涝灾害的发生机制和暴雨洪涝灾害风险管理的需要,建

立了该区域暴雨洪涝灾害风险评价指标体系,运用ARCGIS空间缓冲区分析考虑了居民点与河流之间的位置关系对洪涝灾害风险的影响,解决FDRI法在灾害发生空间上的考虑不足。在利用多因子评价的同时,保证了洪涝灾害风险指数对暴雨洪涝灾害发生空间的反映。

1 研究区概况

松花江干流是指嫩江和第二松花江在三岔河汇合后,折向东流入黑龙江的河段,起于扶余终于同江,全长939 km,流域面积18.6万km²。

流域地处北温带季风气候区,大陆性气候特点非常明显,冬季寒冷漫长,夏季炎热多雨,春季干燥多风,秋季很短,年内温差很大。流域内多年平均降水量在500 mm左右,最大3d降水量在150 mm左右,降水多处于季风控制的夏季7、8月份,汛期降水量可占全年的60%~80%。降水在多年之间有明显的丰枯交替特点^[1-3]。

松干流域以平原为主,是我国重要的农业、工业、能源基地,也是我国最主要的商品粮基地之一。由于降水的时空分布不均,该流域成为了洪涝

^{*} 收稿日期:2008-12-22

基金项目:十一五国家科技支撑重大项目(2008BAJ08B14);国家自然科学基金(40871236);十一五国家科技支撑计划重点项目(2006BAD16B04-2-2);十一五国家科技支撑计划课题(2007BAC29B04)

作者简介:蒋新宇(1985-),男,黑龙江双鸭山人,硕士研究生,主要研究方向暴雨洪涝灾害风险。

E-mail:jiangxy354@nenu.edu.cn

通讯作者:张继权(1965-),男,教授,博士后,博士生导师,主要从事自然灾害与生态环境风险评价和管理研究。

E-mail:zhangjq022@nenu.edu.cn

灾害频发地区。统计资料显示,以 60~80 年为大周期,20 年左右为小周期,该区域水旱灾害频繁。本研究以松花江历史洪水最大淹没范围为基础,选取松花江干流沿岸 18 个市镇作为研究区(图 1)。

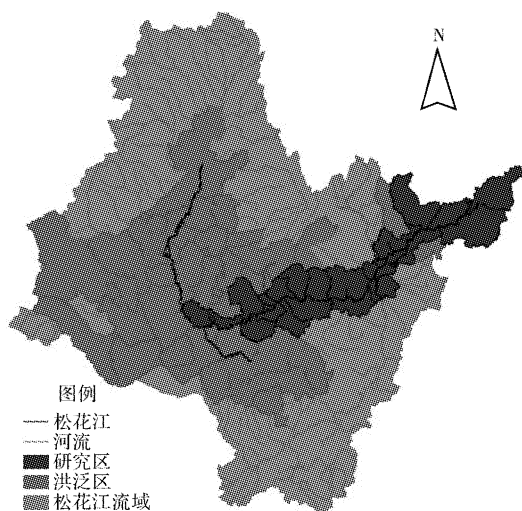


图 1 研究区示意图

2 研究方法

2.1 GIS 空间分析

ARCGIS 具有强大的空间分析功能,可以对矢量数据进行缓冲区分析、叠置分析和网络分析等;对栅格数据进行距离制图、密度制图和表面生成与分析等。同时,它可以集成多种来源、多种尺度以及多种类别的数据,建立空间数据库,方便地存储和提取评价所需信息^[7]。利用矢量数据的缓冲区分析把整体的研究区域按与河流距离划分为研究小区,利用叠置分析对降雨、地形地貌、植被覆盖等空间数据和社会人口经济等属性数据进行综合处理。此外,利用 ARCGIS 的制图功能对研究区进行风险区划。

2.2 洪涝灾害风险评价指数(FDRI)

洪涝灾害风险指数是一个综合性的指标,它建立在自然灾害风险 4 因子概念^[6,8,9]之上,采用一定的数学方法集成洪涝灾害风险评价相关的指标,简化处理它们之间的关系,用以直观地表征洪涝风险程度。

$$I_{FDR} = (H^{WH})(E^{WE})(V^{WV})[0.1(1-a)R + a], \quad (1)$$

式中: I_{FDR} 为洪涝灾害风险指数,用于表示洪涝灾害风险程度,其值越大,则洪涝灾害风险程度越大; H 、 E 、 V 、 R 分别为洪涝灾害风险的危险性、

暴露性、脆弱性和防灾减灾能力; WH 、 WE 、 WV 分别为危险性、暴露性、脆弱性因子的权重;变量 a 为常数($0 \leq a \leq 1$),用来描述防灾减灾能力对于减少 FDRI 所起的作用。

除了简化与直观,由于各个评价区域的指标可以看作是相对独立的,所以可以根据数据收集情况进行研究区域选择。对于一次没有进行评价的区域,也可以在以后继续进行评价,只要保持数据时段的一致,多次评价结果便具有可比性,是一种灵活的评价方式^[6,8,12]。

3 洪涝灾害风险评价

3.1 洪涝灾害风险的概念框架

灾害风险是指灾害发生和损失的不确定性^[10,11]。洪涝灾害风险是指洪涝的活动(发生、发展)及其对经济社会和自然环境系统造成的影响和危害的可能性,而不是洪涝灾害本身。国内外学者认为,区域自然灾害风险是危险性、暴露性、脆弱性相互综合作用的结果。Davidson、苏桂武、张继权等在研究中认为防灾减灾能力对于洪涝灾害风险度的大小有着较大的影响,在进行洪涝灾害风险分析的时候需要将其也考虑在内^[12-15]。危险性是指致灾因子的活动规模活动频次以及对致灾因子产生影响的因素的状态;暴露性是指可能受到洪涝灾害威胁的所有人或财产;脆弱性表征面对洪涝灾害暴露出的人或财产可能的损失大小;防灾减灾能力则关注于区域对洪涝灾害的准备工作以及一定时期内能从灾害中恢复的能力。根据实际情况,建立本研究中的概念框架如图 2 所示。

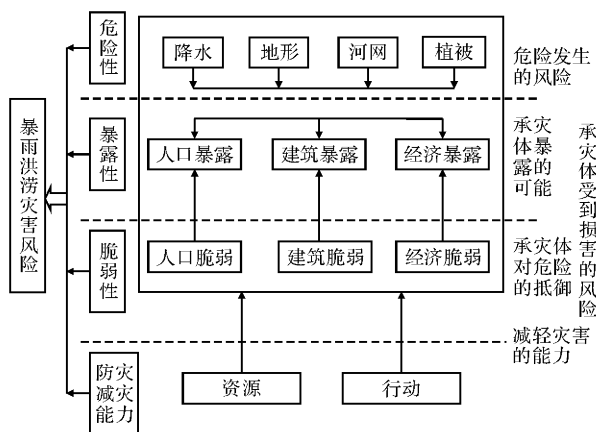


图 2 洪涝灾害风险的概念框架

3.2 指标的选取与数据来源

暴雨洪涝灾害风险的因子指标与权重系数如表 1 所示。其中权重系数是通过对相关领域专家进

行问卷咨询, 以层次分析法 (AHP) 法得出。层次分析法 (AHP) 是一种对指标进行定性定量分析的方法。通过将每个因子的组成指标成对地进行简单地比较、判断和计算, 得出每个指标的权重, 以确定不同指标对同一因子的相对重要性^[16]。危险性、暴露性、脆弱性以及防灾减灾能力的判断矩阵一致性系数分别是 0.013 2、0.014 3、0.019 4、0.017 1, 通过一致性检验。

表 1 洪涝灾害风险评价因子及权重值

目标层	因子层	子因子层	指标层	权重
洪涝 灾害 风险 指数	危险性	降水	>150 mm 降水频率	0.424 5
		高程	高度	0.200 5
		河网	河网密度	0.164 2
		植被	植被覆盖率	0.210 8
	暴露性	人口暴露	人口密度	0.451 7
		建筑暴露	房屋密度	0.265 0
		经济暴露	经济密度	0.283 3
	脆弱性	人口脆弱	0~15 岁, >65 岁人口所占比例	0.277 3
			受教育程度	0.140 5
		建筑脆弱	平房比例	0.164 8
		经济脆弱	小企业比例	0.171 5
			易受淹农田比例	0.245 9
	防灾减灾 能力	行动	路网密度	0.270 2
		资源	避难所	0.377 0
			人均国民总产值	0.352 8

考虑到松花江干流洪涝灾害的危险性主要是由于夏秋的暴雨所致, 并且灾害危险性的形成与地形的高程、河网密度、洪泛区植被类型有着密切的关系, 选取以上 4 个因素作为二级指标。由于研究区 6~9 月多年平均降水在 101 mm 左右, 7~8 月平均降雨在 130 mm 左右, 为保证研究精度, 选取 >150 mm 降水频率作为表征降水的三级指标, 数据来源于 1950~2000 年黑龙江省逐月降水; 高度获取于松花江流域的 1:25 万数字地形图; 河网来自于松花江水系图; 植被覆盖率取自于 2000 年土地利用现状图, 采用公式(2)计算。

$$\rho l = \frac{\text{林地草地面积}}{\text{土地总面积}} \times 100\% \quad (2)$$

暴露性综合考虑了人口暴露性, 经济暴露性以及建筑暴露性, 分别用洪泛区内的人口密度, 经济密度, 以及建筑密度作为三级指标, 根据各县市土地利用状况和 ETM 遥感影像, 将人口、经济、以及房屋数据展布到洪泛区各个居民点, 从而得到各居民点的暴露性数据。

脆弱性针对于暴露性考虑人口脆弱性, 经济脆弱性以及建筑脆弱性, 人口脆弱性与老人小孩

的比例和人口受教育程度相有关, 建筑脆弱性考虑的是建筑易受水灾的程度, 经济脆弱性则更关注于小企业以及易受淹农田, 数据来源于《黑龙江省统计年鉴 2005》^[17] 和流域土地利用图。

防灾减灾能力以资源加行动来表示, 行动以路网密度概括, 数据获取自松花江流域洪泛区道路图, 资源的三级指标考虑避难所的数量以及人均国民总产值, 避难所以医院数量来衡量。数据来源于《黑龙江省统计年鉴 2005》^[17]。

3.3 数据处理与评价指标量化

由于应用了大量的空间数据, 利用 ARCGIS 对数据的处理就成了关键。考虑到该区历史洪水淹没的居民区大多在沿河 15 km 的范围内, 并且, 不同程度的洪水淹没范围不一样, 小的洪水破坏的是距离河岸近的区域, 大的洪水破坏范围则更大。那么, 承灾体与河流的距离就是暴雨洪涝灾害风险划分的一个重要因素。首先利用 ARCGIS 的缓冲区分析按照与河距离的远近以 5 km、10 km、15 km 对研究区建立 3 级缓冲区, 为不同级别的缓冲区赋予不同权重。其次, 在每个缓冲区内以洪涝灾害风险指数法 (FDRI) 对该区域进行洪涝灾害风险评价。利用 ARCGIS 的叠加分析功能, 将不同图层 (表 2) 进行叠加。鉴于在 ARCGIS 中进行大数据量多属性的综合查询统计的不便, 利用 SQL server 将叠加后的属性数据导入, 以 SQL 语句进行属性的综合查询, 得到 FDRI 评价所需要的数据集。最后, 利用加权综合计算得出一个区域总的洪涝灾害风险。

表 2 研究应用的主要地理要素

图层	主要利用字段	说明
行政区	面积、名称	与其它图层叠加得到最后按行政区的风险区划
水系	长度、支流	利用水系求出河网密度, 利用河流建立缓冲区
土地利用	土地利用类型	洪泛区的土地利用类型, 与行政区和缓冲区叠加得到不同县市距河不同距离的土地利用类型
高程	高程	通过行政区和缓冲区叠加得到不同县市距河不同距离的高程
社会经济	人口密度 建筑密度 经济产值	这一图层是整个流域的社会经济数据, 是按具体的居民点进行调查的, 利用行政区图层以及本图层居民点名称这一字段, 可以很快得到某一市镇的洪泛区的具体社会经济状况
道路	国道 省道 铁路	用以计算路网密度, 道路既是承灾体又是防灾减灾的资源。由于目前研究无法表明这三种等级的道路对防灾减灾的贡献, 研究不对三者赋予权重

经过处理得到文章需要的数据, 由于数据的量纲不一致, 对数据进行去量纲化, 用公式(3)计算:

$$X'_{ij} = \frac{(X_{ij} - X_{\min}) \times 10}{X_{\max} - X_{\min}}, \quad (3)$$

式中: X_{ij} 为第 i 个对象的第 j 项指标; X'_{ij} 为去量纲后第 i 个对象的第 j 项指标; X_{\min} 和 X_{\max} 分别指该指标的最小值和最大值。

3.4 洪涝灾害风险指数计算

根据洪涝灾害风险概念框架, 利用层次分析(AHP)和加权综合求得洪涝灾害风险指数。在洪涝灾害风险指数计算中, 因子权重(WH , WE , WV)分别为 0.50、0.30、0.20, 由于防灾减灾能力是作为一项可能的减少因子来考虑的, 因此并未对其赋予权重值。处理后的数据与权重值代入前文所述洪涝灾害风险指数公式, 具体运算如下:

$$I_{FDR} = (H^{WH})(E^{WE})(V^{WV})[0.1(1-a)R + a], \quad (4)$$

$$H = W_{H1}X_{H1} + W_{H2}X_{H2} + W_{H3}X_{H3} + W_{H4}X_{H4}, \quad (5)$$

$$E = W_{E1}X_{E1} + W_{E2}X_{E2} + W_{E3}X_{E3}, \quad (6)$$

$$V = W_{V1}X_{V1} + W_{V2}X_{V2} + W_{V3}X_{V3} + W_{V4}X_{V4} + W_{V5}X_{V5}, \quad (7)$$

$$R = W_{R1}X_{R1} + W_{R2}X_{R2} + W_{R3}X_{R3}, \quad (8)$$

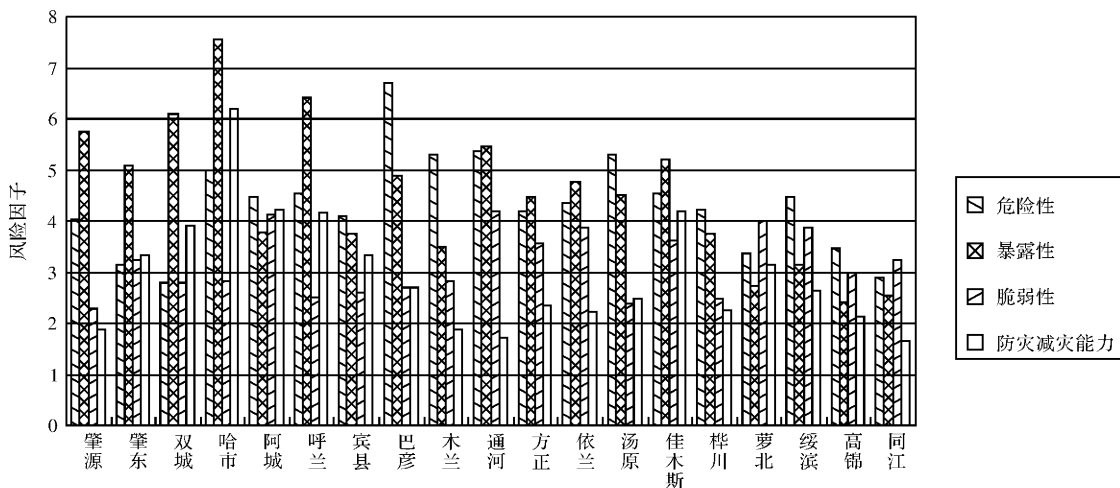


图3 松花江干流风险因子分析结果图

图3不仅表明了风险4因子对一个区域洪涝灾害风险的贡献率, 也直观地对比了区域间洪涝灾害风险形成的具体差异, 可以为因地制宜地制定区域洪水风险管理对策提供科学依据。从图中看出, 危险性在中部要高一些, 中部是黑龙江省降水比较多的地区, 最大降水一般出现在巴彦、木兰、通河附近。暴露性和经济发展程度有密切的关系, 以西部地区的暴露性更大一些, 主要原因

式中: I_{FDR} 、 H 、 E 、 V 、 R 、 WH 、 WE 、 WV 、 a 符号意义同前; 在(6)~(8)式中, X_i 为指标 i 量化后的值, W_i 为指标 i 的权重, 表示各指标对形成洪涝灾害风险的主要因子的相对重要性。参考相关文献^[6,12,18], 征求专家意见, 在计算中, a 取 0.75。

某一市镇总的 $FDRI$ 同样以加权综合评价法得出:

$$I_{TFDR} = \sum_{j=1}^n I_j W_j, \quad (9)$$

式中: I_{TFDR} 为某一市镇的总的洪涝灾害风险指数; I_j 为第 j 个缓冲区的洪涝灾害风险指数, 通过公式(4)得出; W_j 为对应缓冲区的风险权重。对缓冲区赋权重如下: 0~5 km 权重 0.5, 5~10 km 权重 0.3, 10~15 km 权重 0.15, >15 km 权重 0.05。

4 洪涝灾害风险区划

风险的区划是建立在对暴雨灾害危险性、暴露性、脆弱性, 以及防灾减灾能力的综合分析之上的, 对于多区域的风险分析, 得出的是相对的结果。数据经过处理, 得到研究区各个行政区的风险四因子对比图(图3)。

是有着更多的人口与经济聚集在洪泛区内, 比如肇源洪泛区内有超过 1 000 个居民点, 而哈尔滨的经济密度是其它地区的数十倍。脆弱性是承灾体本身的属性, 考虑人口、建筑、经济三个方面, 依比例形式得出的脆弱性在松花江干流差别并不是很大, 阿城、通河、萝北的脆弱性要大于其它市县。从图3中可以看出防灾减灾能力在哈尔滨和佳木斯形成了两个峰值, 两地是各自区域的经济

中心和交通枢纽,防灾救灾物资的分发也是通过这两个地区向外辐射的。

对暴雨洪涝灾害风险因子进行有机的耦合得出集成化指数 FDRI,依据风险等级划分标准(表 3),利用 ARCGIS 制作出风险区划图(图 4)。从图 4 中看出,哈尔滨市到巴彦及通河到佳木斯两个区域

是两个高风险区,其暴雨洪涝灾害的风险较大。整体看来,西部的暴雨洪涝灾害风险要大于东部。

表 3 风险等级划分标准

FDRI	0~1.0	1.0~2.0	2.0~3.0	3.0~4.0	5.0~10
风险等级	轻微风险	低风险	中等风险	较高风险	高风险

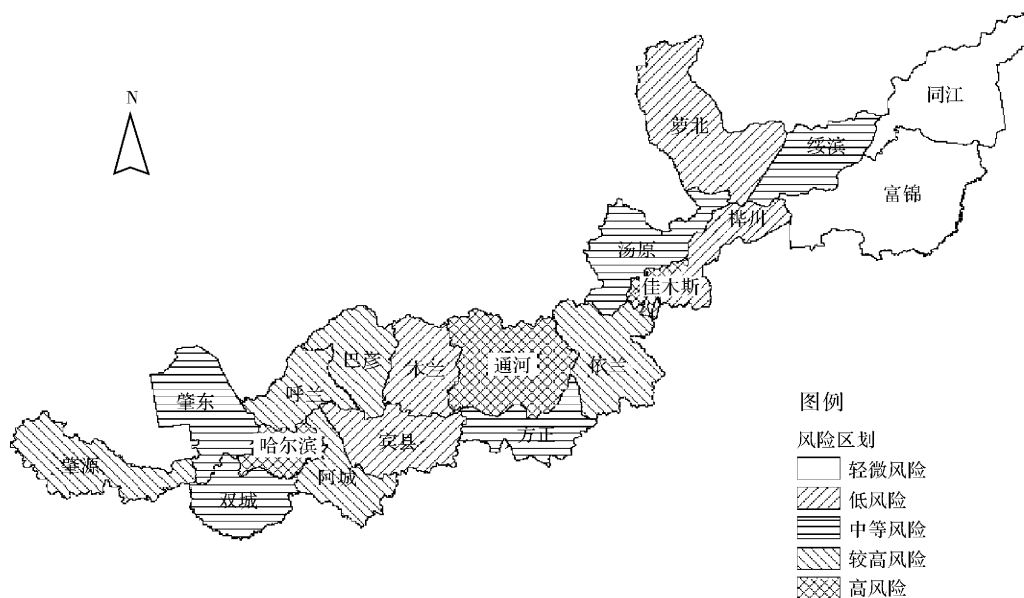


图 4 松花江干流洪涝灾害风险区划示意图

5 结论

(1) 目前基于 GIS 的洪涝灾害风险评价存在两个方面的问题,一是利用栅格数据图层代数的风险评估在指标选取方面不全面,有许多指标难以成图;二是利用风险指数进行的风险评估仅仅用 GIS 处理数据和制图,对河流与洪涝灾害风险的空间关系考虑不周,特别是河流不仅决定着洪涝灾害的危险性,还影响着承灾体的暴露性,难以量化为单一指标。本文以后一种方法作为基础,利用空间分析功能解决河流的空间位置对洪涝灾害风险的影响,在暴雨洪涝灾害风险评估方面更进一步。在大区域洪涝灾害风险评估方面,既利用了风险指数的优点,又避免了一些指标空间展布的困难。

(2) 利用风险形成的危险性、暴露性、脆弱性和防灾减灾能力 4 因子对区域洪涝灾害风险进行评价,不仅可以集成洪涝灾害风险指数用以反映洪涝灾害风险在空间上的分布情况,而且可以从 4 因子分析图中得到造成区域暴雨洪涝灾害风险的具体原因,从而方便灾害风险管理与防灾物资分配。

对于高危险性的地区,应该采取降低危险性的措施,比如,提高植被覆盖度;对于高暴露性的地区,应该致力于减小暴露于暴雨洪涝灾害中的人财物;而对于高脆弱性的地区,增加人口的受教育程度,对民房制定相应的防洪标准等是更好的措施。对于低防灾减灾能力的地区,完善其基础设施建设,加强防灾减灾投入的办法更行之有效。

(3) 由于对暴雨洪涝灾害风险的理解以及资料有限等原因,本文的指标选取考虑可能不全面,虽然依据现有数据对松干流域的暴雨洪涝灾害风险选取了可比指标进行了区划,但在权重系数,河流缓冲区的级数设置方面,难免有主观因素与考虑不足。对不同量级洪水的淹没范围进行研究,进而划分河流缓冲区,有助于提高研究精度。

(4) 对于大区域的洪涝灾害风险研究,有利于从宏观角度认识了解洪涝灾害风险,进行以区域为对象的宏观防灾减灾规划。同时,在此基础上对已评价出的高风险小区域的暴雨洪涝灾害风险研究成果则可以更好地为实际生产生活提供帮助。

参考文献:

- [1] 水利部松辽水利委员会. 东北区水旱灾害[M]. 长春: 吉林

- 人民出版社, 2003.
- [2] 黑龙江省水利厅. 黑龙江省水旱灾害[M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1998.
- [3] 水利部松辽水利委员会. 松花江志[M]. 长春: 吉林人民出版社, 2004.
- [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] 万君, 周月华, 王迎迎. 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.
- [6] 张会, 张继权, 韩俊山. 基于 GIS 技术的洪涝灾害风险评估与区划研究——以辽河中下游地区为例[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(6): 141–146.
- [7] 胡良军, 李锐, 杨勤科. 基于 GIS 的区域水土流失评价模型[J]. 应用基础与工程科学学报, 2000, 8(1): 1–8.
- [8] 张继权, 李宁. 主要气象灾害风险评价与管理的数量化方法及其应用[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2007.
- [9] 张继权, 冈田宪夫, 多多纳裕一. 综合自然灾害风险管理——全面整合的模式与中国的战略选择[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(1): 29–37.
- [10] 刘合香, 徐庆娟. 区域洪涝灾害风险的模糊综合评判与预测[J]. 灾害学, 2007, 22(4): 38–42.
- [11] 卢全中, 彭建兵, 赵法锁. 地质灾害风险评估(价)研究综述[J]. 灾害学, 2003, 18(4): 59–63.
- [12] Rachel A. Davidson, Kelly B. Lamber. Comparing the hurricane disaster risk of U. S. coastal counties [J]. Natural Hazards review, 2001, (8): 132–142.
- [13] Jiquan Zhang, Tomoharu Hori, Hirokazu Tatano. GIS and flood inundation model – based flood risk assessment in urbanized flood-plain [M]. GIS & RS in Hydrology, Water Resources and Environment, Volume 1, Chen et al. (eds), Sun Yat – Sen University Press. 2003.
- [14] 苏桂武, 高庆华. 自然灾害风险的分析要素[J]. 地学前缘, 2003, 10(S0): 272–279.
- [15] 魏一鸣, 金菊良, 杨存建, 等. 洪水灾害风险管理理论[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [16] 王以彭, 李结松, 刘立元. 层次分析法在确定评价指标权重系数中的应用[J]. 第一军医大学学报, 1999, 19(4): 377–379.
- [17] 黑龙江经济统计年鉴编辑委员会. 黑龙江省省统计年鉴[M]. 哈尔滨: 黑龙江人民出版社, 2005.
- [18] 黄民生, 黄呈橙. 洪灾风险评价等级模型研究[J]. 灾害学, 2007, 22(1): 1–5.

GIS-based Risk Assessment on Rain and Flood Disasters of Songhua River

Jiang Xinyu, Fan Jiubo, Zhang Jiquan, Tong Zhijun and Liu Xingpeng

(College of Urban and Environmental Sciences, Natural Disaster Research Institute,
Northeast Normal University, Changchun 130024, China)

Abstract: Taking Songhua River basin in Heilongjiang province as a research area, from the aspect of modern disaster risk theories, rain and flood disasters risk of Songhua River basin is quantitatively evaluated by comprehensively using GIS spatial analysis and mathematical method of risk assessment. On the basis of spatial analysis, RS data and social economic data are adopted in this research to analysis the hazard, exposure, vulnerability and emergency response and recovery capability of the counties, and then the specific factors that influence the disaster risk are pointed out. The result is presented as an integrated index which is flood disaster risk index (FDRI). On the basis of FDRI, a risk map of rain and flood disasters of Songhua River basin is presented. The risk map shows briefly that Harbin and Jiamusi are the highest risk areas, the risk of upriver areas is higher than that of downriver areas.

Key words: Songhua River; rainstorm; rain and flood disasters; risk assessment; GIS