

基于 GIS 的乡镇洪涝灾害风险评估与区划技术*

——以山东省淄博市临淄区为例

薛晓萍¹, 马俊², 李鸿怡¹

(1. 山东省气候中心, 山东 济南 250031; 2. 哈尔滨师范大学, 黑龙江 哈尔滨 150025)

摘 要: 基于乡镇气象资料历史序列的构建, 利用 AHP 决策分析法和加权综合评价法, 结合 GIS 空间分析技术, 对山东省淄博市临淄区洪涝风险进行评估与区划。结果表明, 临淄区洪涝危险性主要受洪涝频率影响, 总体趋势是东北部高于西南部; 洪涝灾害暴露性风险分布区域性较强, 西部明显高于东部; 脆弱性风险分布相对较分散, 总体上北部地区脆弱性高于南部地区; 防灾减灾能力北部地区强于南部。临淄区洪涝风险综合指数普遍较高, 高值集中在人口、经济密度较高的临淄市区以及危险性较高的西北地区; 风险指数受危险性影响较大; 全区中、高风险的面积占总面积的 69.2%。

关键词: 洪涝灾害; 风险; 评估; 区划; 临淄区; 山东淄博

中图分类号: X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2012)04-0071-05

0 引言

洪涝灾害是发生频率高、危害较为严重的一种气象灾害。据统计, 每年各类自然灾害所造成的损失中, 洪涝灾害占 40%。在全球范围内, 每年均有不同程度的洪涝灾害发生, 亚洲属于高发的地区。近年来, 洪涝灾害发生呈频率增高、强度增强趋势, 对人类社会的影响和生态环境的破坏越来越大, 造成的经济损失也越来越严重。我国地处亚欧大陆东缘, 季风气候明显, 降水相对集中, 洪涝灾害亦属于主要的自然灾害之一。因此洪涝灾害研究成为当前灾害学的重要课题, 对于洪涝灾害的风险评估与区划也成为了国内外学者研究的热点。

目前, 对于洪涝灾害风险评估研究的报道较多, 成果丰硕。对于洪涝灾害风险的评估模型亦是多种多样^[1-3]。王雪臣等基于历史灾害数据进行了评估^[4], 而多数学者采用气象资料与 GIS 空间分析相结合的方法, 对洪涝灾害进行评估与区划。但大部分区划空间尺度相对较大, 如马国斌^[5]等开展了全国范围的洪涝灾害区划, 更多则是以市、县为基本单位的省级区划^[6-8]或区域性区划^[9-12], 而以乡镇为单位的县、区级灾害评估与区划并不多见。造成此现象的主要原因是缺乏乡镇级长期气象观测资料, 尽管近年来气象部门建设了大量的乡镇级区域自动观测站, 但由于观测站点建立相对较晚, 且观测要素不统一, 制约了以乡镇为单位的气象灾害风险区划工作的开展。本研究拟以山东省淄博市临淄区洪涝灾害为例, 基于乡镇气象资料历史序列的构建, 利用灾害风险分析基本原理, 结合 GIS 空间分析技术, 同时考虑当地人

口密度、耕地比例、人均 GDP 等统计数据, 探索以乡镇为单位的气象灾害风险区划技术方法, 以期开展精细化气象灾害风险区划、为当地政府进行灾害防御规划提供技术支撑。

1 资料来源

县(市)级气象站观测资料, 来于山东省气象局 30 年整编气象资料, 资料年代为 1981-2010 年; 乡镇级气象资料, 来源于山东省淄博市临淄区气象局, 资料年代为 2008-2010 年; 人口密度、耕地比例、人均 GDP 等统计数据, 来自山东省淄博市临淄区 2009 年统计年鉴; 海拔高度则来自 CGIAR-CSI 提供的 SRTM 全球高程数据。

2 研究方法

2.1 灾害风险评估原理

洪涝灾害风险大小由洪涝灾害风险指数(FDRI)表示, 其是一个综合性指标, 由危险性、暴露性、脆弱性、防灾减灾能力四个主要因子构成^[13-14]。其表达式为:

$$\text{灾害风险} = f(\text{危险性} = f(\dots), \text{暴露性} = f(\dots), \text{脆弱性} = f(\dots), \text{防灾减灾能力} = f(\dots)) \quad (1)$$

FDRI 表达式为:

$$C_v = \prod C_{ij} / C_{ik} \quad (2)$$

式中: C_v 为综合风险指数; C_{ij} 是为危险性、暴露性和脆弱性风险因子; C_{ik} 是防灾减灾能力。

2.2 加权综合评价法(WCA)

危险性、暴露性、脆弱性、防灾减灾能力为一系列因子的加权线性综合, 其计算公式为:

* 收稿日期: 2012-05-01 修回日期: 2012-06-20

基金项目: 山东省气象局重大攻关项目(2008sdqx07)

作者简介: 薛晓萍(1964-), 女, 山东招远人, 博士, 研究员, 主要从事应用气象研究. E-mail: xxpdyh@163.com.

$$C_{ij} = \sum_{i=1}^m Q_{ij} W_{ci} \quad (3)$$

式中: C_{ij} 为评价因子, 具体指危险性、暴露性、脆弱性、防灾减灾能力的大小; Q_{ij} 是影响评价因子的因素; W_{ci} 是第 i 影响因素的权重值 ($0 \leq W_{ci} \leq 1$), 通过层次分析法(AHP)计算获得; m 是评价指标个数。

2.3 层次分析法(AHP)

层次分析法^[15] (Analytic Hierarchy Process, AHP) 是对一些较为复杂、较为模糊问题做出决策的简易方法, 特别适用于难于完全定量分析的问题。AHP 层次结构模型分为目标层、准则层和指标层。本研究将目标层定义为洪涝灾害风险指数, 准则层选取危险性、暴露性、脆弱性及防灾减灾能力 4 个指标为旱涝灾害风险评价因子, 指标层选用洪涝频率、人口密度、人均 GDP 等指标为子因子。

2.4 GIS 空间分析法

2.4.1 气象因子插值法 - Kriging 插值法

Kriging 插值法是以变异函数理论和结构分析为基础, 在有限区域内对区域化变量进行无偏差最优估计的一种方法。通过对已知样本点赋权重来求得未知样点值^[16], 其表达式为:

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (4)$$

式中: $Z(x_0)$ 为未知样点值; $Z(x_i)$ 为未知样点周围的已知样本点值; λ_i 为第 i 个已知样本点对未知样点的权重; n 为已知样点的个数。

采用 Kriging 插值法可以由采用上述方法构建的临淄区各乡镇气象数据历史序列获得整个临淄区域内的所有气象因子栅格数据, 栅格分辨率为 $90 \text{ m} \times 90 \text{ m}$ 。

2.4.2 地形因子的提取与距离制图

地形因子的提取, 是指将 CGIAR-CSI 提供的 SRTM 全球高程数据, 用 ARCGIS 的表面分析模块提取海拔、坡度以及坡向的获取。并利用 ARCGIS 空间分析模块获取研究中所用到的距离矢量图^[17]。

3 结果与分析

3.1 洪涝灾害风险评价指标体系与模型构建

由于洪涝灾害属于突发性灾害, 其原因极为复杂, 涉及天气条件、地质地貌、植被等各种自然因素, 同时也与社会经济以及防洪减灾能力等诸多因素有关。按照灾害风险评价的基本框架, 将评价因子分为危险性、暴露性、脆弱性、防灾减灾能力。各评价因子的影响因素及其权重见图 1, 其中影响权重由 AHP 法确定。

危险性(H)、暴露性(E)、脆弱性(V)和防灾减灾能力(R)因子指数模型如下。

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

$$E = W_{E1} X_{E1} + W_{E2} X_{E2} + W_{E3} X_{E3} + W_{E4} X_{E4}, \quad (6)$$

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

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

式中: X 是归一化后的各项指标值; W 为指标的权重, 表示各指标对洪涝灾害风险指数的重要性。

洪涝灾害风险综合评价模型为:

$$FDRI = W_H H + W_E E + W_V V + W_R R. \quad (9)$$

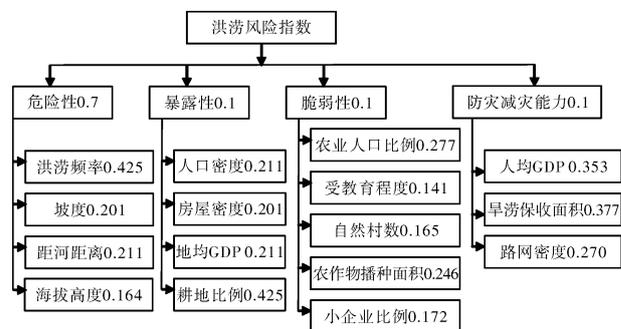


图1 临淄区洪涝灾害风险评价指标系统及权重值

3.2 洪涝灾害风险影响指标评价与分析

由于各个影响指标之间的量级差异较大, 故需要对指标进行归一化处理, 使各因子归一化后的数据均落入 $[0, 1]$ 区间内, 以除消量纲不同的影响, 归一化表达式为:

$$x'_{(i,j)} = \frac{x(i,j) - \min(x_{(i,j)})}{\max(x_{(i,j)}) - \min(x_{(i,j)})} \quad (10)$$

式中: $x_{(i,j)}$ 为第 i 个因子的第 j 项指标值; $x'_{(i,j)}$ 为去量纲后的第 i 个因子的第 j 项指标值; $\max(x_{(i,j)})$ 和 $\min(x_{(i,j)})$ 分别为第 i 个因子的最大值和最小值。

利用公式(5)~(8)分别计算各乡镇洪涝灾害危险性、暴露性、脆弱性、防灾减灾能力(表1)。从表中可看出, 临淄区大部分乡镇的危险性影响指数较暴露性和脆弱性影响指数高, 说明洪涝灾害危险性是影响洪涝风险的主要因子, 而构成洪涝危险性的当地强降水和地形地貌是影响洪涝风险的重要因素。采用相似聚类自动分级方法, 将临淄乡镇级洪涝灾害的危险性、暴露性、脆弱性和防灾减灾能力分为 5 个等级(表2)。

表1 临淄区各乡镇洪涝灾害影响指标指数值

乡镇名称	影响指数			
	危险性	暴露性	脆弱性	防灾减灾能力
临淄市区	0.826	1	0.501	0.387
敬仲	0.761	0.116	0.675	0.512
金岭	0.807	0.359	0.345	0.422
齐都	0.766	0.177	0.55	0.406
朱台	0.697	0.235	0.721	0.593
金山	0.542	0.349	0.529	0.352
皇城	0.78	0.139	0.745	0.616
凤凰	0.68	0.391	0.885	0.886
齐陵	0.555	0.144	0.25	0.362

表 2 洪涝灾害影响指标影响等级划分标准

等级	等级指标			
	危险性	暴露性	脆弱性	防灾减灾能力
最低	0.698 ~ 0.795	0.166 ~ 0.144	0.250 ~ 0.345	0.352 ~ 0.362
较低	0.796 ~ 0.827	0.145 ~ 0.178	0.346 ~ 0.502	0.363 ~ 0.422
中	0.828 ~ 0.866	0.179 ~ 0.235	0.503 ~ 0.550	0.423 ~ 0.513
较高	0.867 ~ 0.921	0.236 ~ 0.393	0.551 ~ 0.745	0.514 ~ 0.616
最高	0.922 ~ 0.985	0.394 ~ 1.000	0.746 ~ 0.885	0.617 ~ 0.886

利用 ARCGIS 空间分析功能, 将气象因子、地理以及相关影响指标信息进行插值与提取, 并将各因素进行空间叠加, 获取各评价因子的矢量图, 结合表 2 的等级划分标准, 得出临淄区洪涝灾害的危险性、暴露性、脆弱性、防灾减灾能力分布(图 2, 栅格分辨率为 90 m × 90 m)。

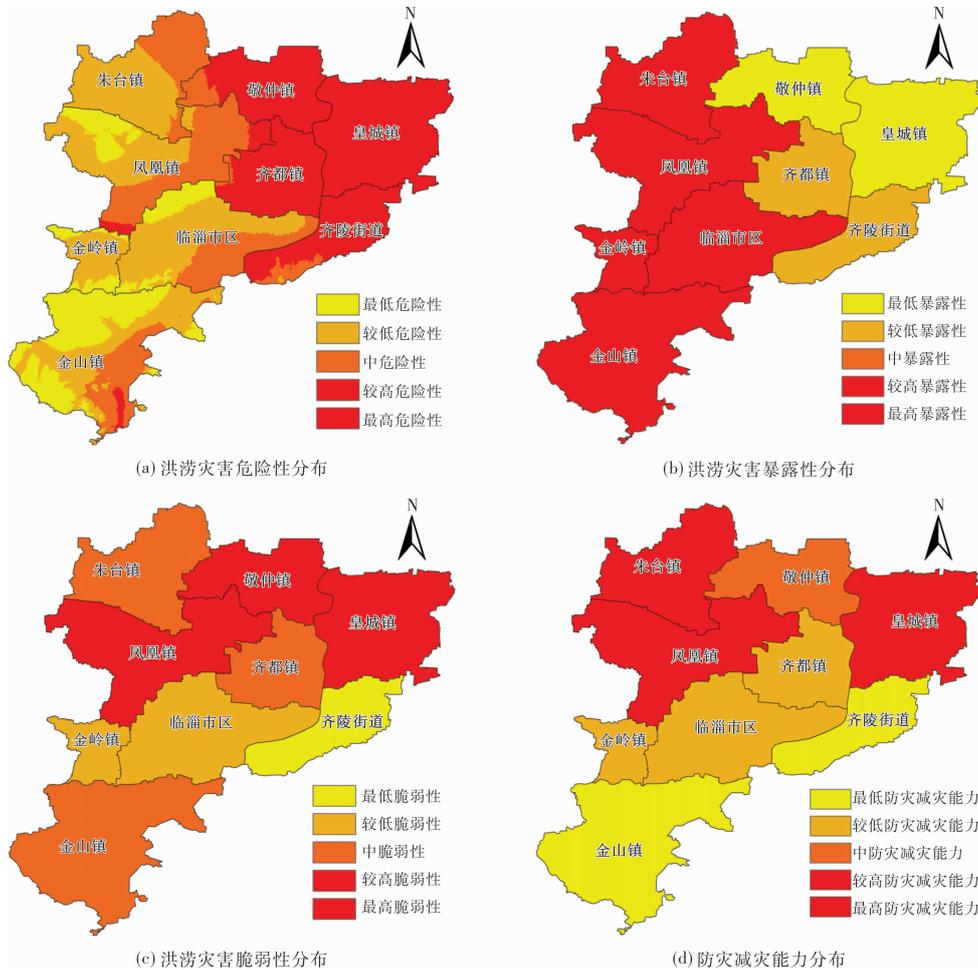


图 2 临淄区洪涝灾害危险性、暴露性、脆弱性、防灾减灾能力分布区划图

从图 2 可以看出, 临淄区洪涝危险性总体趋势是东北部较高(图 2a), 西部地区较低。造成临淄区洪涝灾害危险性东高西低的主要影响因素是洪涝频率, 根据历年洪涝统计结果, 东部洪涝频率要明显高于西部。全区以皇城镇危险性最高, 全镇均处在最高危险性中, 以金山镇北部地区最低; 从总体上看, 临淄区大部分乡镇处于中低危险程度, 面积约为 493 km², 占总面积的 63%。

暴露性(图 2b), 临淄区的敬仲镇、皇城镇、齐都镇、齐陵街道为最低和低暴露风险; 凤凰镇、朱台镇、金岭镇、金山镇为高暴露风险; 临淄市区为最高暴露风险。临淄区洪涝灾害暴露性风险分布区域性较强, 西部明显高于东部, 且临淄市

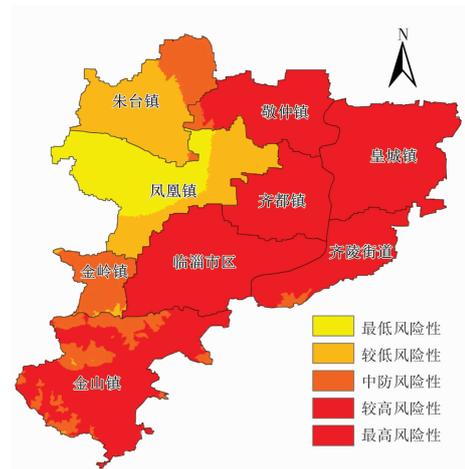


图 3 临淄区洪涝综合风险区划图

区暴露性远高于其它各镇,这与临淄市区人口密度大、房屋相对集中和地均 GDP 远高于其余各乡镇有直接关系。

脆弱性(图 2c),齐陵街道为最低度脆弱区;金岭镇和临淄中心为低脆弱区;金山镇、齐都镇、朱台镇为中度脆弱区;敬仲镇、皇城镇为高度脆弱区;凤凰镇为最高度脆弱区。临淄区洪涝灾害脆弱性风险分布相对较分散,低脆弱性风险的乡镇较多,总体上北部地区脆弱性高于南部地区。

如图 2(d)所示,临淄区防灾减灾能力总体分布为北部地区强于南部地区,南部的金山镇和齐陵街道防灾减灾能力最低;中部的金岭镇、临淄中心、齐都镇防灾减灾能力较低;北部的朱台镇、敬仲镇、皇城镇等防灾减灾能力中上;凤凰镇防灾减灾能力最高。

3.3 洪涝灾害综合风险指数区划与评估

临淄区洪涝灾害综合风险指数为危险性、暴露性、脆弱性、防灾减灾能力的综合值。根据公式(9)以及各因子对 FDRI 的影响,将区划结果平均分为 5 个等级。洪涝灾害综合风险指数区划见图 3。

如图 3 所示,临淄区洪涝综合风险指数受危险性影响较大。其总体趋势为市区及东北部地区风险较高,西北部较低。临淄市区遭受洪涝灾害的风险远高于其他地区,这与该区域人口经济密集有直接关系;西北部风险相对较小,主要与这些地区危险性较小和防灾减灾能力较强有很大关系。从总体上看,临淄区洪涝灾害风险普遍较高,大部分地区遭受洪涝灾害的威胁相对较大。全区中高风险区的面积占总面积的 69.2%。

表 3 临淄区洪涝综合风险指数分级情况

	最低风险	较低风险性	中风险性	较高风险性	最高风险性
实际面积/km ²	82.0	119.9	150.0	204.6	97.2
与总面积比例/%	12.5	18.3	23.0	31.3	14.9

4 结论与讨论

本研究基于乡镇气象资料历史序列的构建,综合考虑了降水量、地形地貌、人口密度、房屋密度、地均 GDP、作物种植面积与农村人口比例等信息,对临淄遭受洪涝灾害风险进行了分辨率为 90 m×90 m 区划,能比较客观地反映不同区域的洪涝灾害风险的实际。

综合分析结果表明,临淄中心城区的洪涝风险综合指数最高,西北部的皇城镇、敬仲镇、齐都镇大部分地区洪涝风险综合指数也相对较高;朱台镇、金岭镇和凤凰镇洪涝风险综合指数相对较低。与单独考虑降水量单一因子所得到的结果相比(表 4),基本与洪涝频率的空间分布保持一致。临淄市区,强降水频率高,人口密度大,且为高经济发达区,遭受洪涝风险综合指数最高。

表 4 山东省淄博市临淄区洪涝灾害发生频率 %

	强洪涝	洪涝	合计
金岭镇	33.3	26.7	60.0
临淄市区	20.0	37.5	57.5
皇城镇	12.5	30.0	42.5
齐都镇	10.0	25.0	35.0
敬仲镇	5.0	27.5	32.5
凤凰镇	7.5	20.0	27.5
朱台镇	7.5	17.5	25.0
金山镇	7.5	15.0	22.5
齐陵街道	7.5	12.5	20.0

本研究结合乡镇气象资料历史序列重建技术,基于 GIS 技术将洪涝风险评估细化至乡镇,并作出了相应的区划,为开展乡镇级气象灾害风险区划提供了技术支持,同时为地方政府制定精细化灾害防御规划提供了理论支撑。然而利用数学方法补充估计缺失气象资料并结合 GIS 进行精细化的风险区划技术仍然处于探索阶段,如何解决数学方法估计中的局限性,减少估计误差,获得更接近于实况的小网格点历史气象数据序列,相关技术仍需进一步完善。

参考文献:

- [1] 马宗伟,许友鹏,李嘉峻. 河流形态的分维及与洪水关系的探讨——以长江中下游为例[J]. 水科学进展, 2005, 16(4): 530 - 534.
- [2] 丁志雄,李纪人,李琳. 基于 GIS 格网模型的洪水淹没分析方法[J]. 水利学报, 2004(6): 56 - 60.
- [3] Gerardo Benito, Michel Lang, Mariano Barriendos, et al. Use of systematic, palaeoflood and historical data for the improvement of flood risk estimation [J]. Natural Hazards, 2004, 31: 623 - 643.
- [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] 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.
- [6] 张婧,郝立生,许晓光,等. 基于 GIS 技术的河北省洪涝灾害风险区划与分析[J]. 灾害学, 2009, 24(2): 51 - 56.
- [7] 张游,王绍强,葛全胜,等. 基于 GIS 的江西省洪涝灾害风险评估[J]. 长江流域资源与环境, 2011, 20(S1): 166 - 172.
- [8] 万军,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.
- [9] 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.
- [10] 张会,张继权,韩俊山. 基于 GIS 的洪涝灾害风险评估与区划研究——以辽河中下游为例[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(6): 141 - 146.
- [11] 田玉刚,覃东华,杜渊会. 洞庭湖地区洪水灾害风险评估[J]. 灾害学, 2011, 26(3): 56 - 60.
- [12] 于文金,闫永刚,吕海燕,等. 基于 GIS 的太湖流域暴雨洪涝灾害风险量化研究[J]. 灾害学, 2011, 26(4): 1 - 7.
- [13] 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.
- [14] Jiquan Zhang, Tmohaur Hori, Hirokazu Tatno. GIS and flood inundation model-based flood risk assessment in urbanized floodplain[M]. Sun Yat-Sen University press, 2003.
- [15] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京:高等教育出版社, 2006.
- [16] 汤国安,杨昕. ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程[M]. 北京:科学出版社, 2006.
- [17] 吴秀芹,张洪岩,李瑞改,等. ArcGIS 9 地理信息系统应用与实践[M]. 北京:清华大学出版社, 2007.

(下转第 91 页)