

# 潍坊市暴雨洪涝灾害风险区划

李辉<sup>1</sup> 王珂清<sup>2</sup> 苗茜<sup>2</sup>

## 摘要

利用潍坊市气象数据以及统计年鉴资料、基础地理信息数据、土地利用类型数据和历史灾情数据,基于暴雨洪涝灾害风险评估模型,结合 GIS 技术,对潍坊市暴雨洪涝灾害进行风险评估,并绘制出潍坊市暴雨洪涝灾害风险区划图。结果表明:诸城市中北部、高密市的西南部及安丘的东南部属于高风险区,安丘的东北部、昌邑的南部属于较高风险区,昌乐的大部分、青州的东部、临朐的东北部、安丘的西部属于中风险区,青州西南部、临朐西南部、寿光东北部、昌邑东北部属于低风险区。评价结果与潍坊市的实际情况基本吻合。

## 关键词

地理信息系统; 潍坊; 洪涝风险; 区划

中图分类号 P429

文献标志码 A

收稿日期 2012-03-01

资助项目 公益性行业(气象)科研专项(GY-HY200806002); 黔科合重大专项([2011]6003)

## 作者简介

李辉,男,硕士生,研究方向为 GIS 在气象上的应用. lyglhui@163.com

## 0 引言

目前,世界各地的灾害性天气层出不穷,由于气象灾害所造成的损失越来越大,其中洪涝灾害尤为突出。据国际红十字会与红新月会对 1990 年至 21 世纪初的世界灾害的统计,从发生次数、受灾人口、直接经济损失等方面来看,洪涝灾害是世界范围内最严重的自然灾害,而从生命财产损失和发生频率来看,洪灾也是最严重的自然灾害<sup>[1]</sup>。因此,进行暴雨洪涝灾害风险评估是极其重要的。

当前,国内外洪灾风险评估方法主要可分为 3 大类<sup>[2]</sup>。第一类为指标体系评估法。影响区域洪灾风险的因素众多,包括气象、水文、地貌等自然因素以及土地利用、人口分布、产业布局、防洪减灾措施等社会因素,很自然地,人们会想到采用其中某些重要指标构建指标体系,通过综合评价方法对区域洪灾风险进行评估,这种方法被称为指标体系评估法。在较早时期,有些文献单独采用降雨量为指标参数以评价区域洪灾的危险性<sup>[3]</sup>,并且在许多国家都有应用,如美国、澳大利亚、印度、韩国、埃塞俄比亚等<sup>[4]</sup>。目前采用较多的是气象和地貌参数综合法。气象和地貌特征的综合理论上可反映洪水的主要自然属性,适用于洪灾危险性评估<sup>[5-11]</sup>。指标体系评估法比较全面而且相对简单,既可用于洪灾风险的综合评估,也可用于单独评估洪灾危险性和易损性。第二类为历史水灾法。洪水灾害具有比较显著的区域自然特征和重现规律,对某一特定区域历史上曾经发过的典型洪水灾害进行研究分析,所得规律可以用于预测该区域现在和未来的洪灾风险,这就是历史水灾法<sup>[2]</sup>。该方法应用范围广,是我国《洪水风险图编制导则》<sup>[12]</sup>推荐的洪水风险评估方法之一,但由于需要通过模拟分析进行修正,实际上难以独立完成洪灾风险评估。第三类为模拟评估方法。洪灾风险模拟评估方法以水文学和水力学为其主要理论基础,结合水利工程、岩土工程等相关学科,对洪水致灾过程的各个环节进行模拟,然后进行风险评估<sup>[2]</sup>。该方法主要适用于河流暴雨洪水灾害评估。模拟评估方法基于明确的物理机理,能够全过程地模拟洪水成灾过程,可适应不同尺度的区域洪灾风险评估,实现区域洪灾风险的动态评估,但目前受技术条件的限制,该方法还不十分成熟<sup>[13-20]</sup>。

本文采用第一种方法即指标体系评估法,利用致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、承灾体易损性以及防灾减灾能力 4 个评价指标构建指标体系,建立暴雨洪涝灾害风险评估模型<sup>[21-24]</sup>,结合 GIS 技术,以

1 南京信息工程大学 遥感学院,南京,210044

2 江苏省气象科学研究所,南京,210008

山东省潍坊市为例,对潍坊市进行暴雨洪涝灾害风险评估,并绘制出潍坊市洪涝风险区划图,该结果可为当地相关部门的防洪减灾、救灾工作提供决策依据。

## 1 研究区域地理概况

潍坊(108°10'~120°01'E,35°41'~37°26'N)地处北温带季风区,背陆面海,气候属暖温带大陆性季风气候。南北长188 km,东西宽164 km,包括4个市辖区,4个开发区,2个县,代管6个县级市,面积15 829 km<sup>2</sup>,常住人口约908.62万。市域地势南高北低,南部是山区丘陵、中部为平原、北部是沿海滩涂,山区、平原、滩涂面积分别占总面积的28.7%、57.7%和13.6%。

## 2 研究数据

**地理基础数据:**潍坊市1:50 000的DEM数据及水系、湖泊、水库等水域数据。

**历史灾情数据:**潍坊市1984—2007年历史灾情数据,包括直接经济损失、农业经济损失、受灾人口、受灾及成灾面积等。

**社会经济数据:**潍坊市2009年统计年鉴资料,包括土地面积、人均GDP等。

**气象数据:**潍坊市1961—2007年9个常规气象站逐日降水数据。

## 3 研究方法

从灾害学的角度出发,形成暴雨洪涝灾害必须具有以下条件<sup>[25]</sup>:1)存在诱发暴雨洪涝灾害的因素(致灾因子)及其形成洪涝灾害的环境(孕灾环境);2)暴雨洪涝影响区有人类的居住或分布有社会财产(承灾体);3)人们在潜在的或现实的暴雨洪涝灾害威胁面前,采取回避、适应或防御洪涝的对策措施(防灾减灾能力)。

基于自然灾害风险形成理论,考虑到各风险评价因子对风险构成所起作用的差异,对其分别赋予权重,之后计算暴雨洪涝灾害风险指数,模型计算公式为<sup>[26]</sup>

$$I_{\text{FDR}} = (w_h V_h)(w_e V_e)(w_s V_s)[w_r(1 - V_r)], \quad (1)$$

其中, $I_{\text{FDR}}$ 为暴雨洪涝灾害风险指数,用于表示风险程度,其值越大,则灾害风险程度越大, $V_h$ 、 $V_e$ 、 $V_s$ 、 $V_r$ 分别表示致灾因子危险性、孕灾环境的敏感性、承灾体易损性和防灾减灾能力的评价指数, $w_h$ 、 $w_e$ 、 $w_s$ 、 $w_r$

是各评价因子的权重,权重的大小(0~1.0)依据各因子对暴雨洪涝灾害影响程度的大小,结合当地实际情况确定。

运用ArcGIS将所有评价因子指标统一处理成栅格影像文件之后再行相应的运算。暴雨洪涝灾害风险区划涉及若干评价因子与诸多指标,为了消除各指标的量纲和数量级的差异,需对每一个指标值进行规范化处理,采用如下公式:

$$P' = 0.5 + 0.5 \times \frac{P - P_{\min}}{P_{\max} - P_{\min}}, \quad (2)$$

其中, $P$ 为栅格影像某一像元值, $P'$ 为其规范化后的栅格像元值, $P_{\max}$ 为栅格影像的最大值, $P_{\min}$ 为栅格影像的最小值。

运用加权综合评价法综合考虑多个指标对评价因子的影响程度,即把各具体指标的作用大小综合起来,用一数量化指标加以集中,计算公式为

$$V = \sum_{i=1}^n W_i \cdot D_i, \quad (3)$$

其中 $V$ 是评价因子, $W_i$ 是指标 $i$ 的权重, $D_i$ 是指标 $i$ 的规范化值, $n$ 是评价指标数。各因子的权重通过专家打分法和层次分析法<sup>[26]</sup>(AHP)确定。

## 4 暴雨洪涝灾害风险评估及区划

利用潍坊市的基础地理数据、气象数据、社会经济数据,首先计算各评价指标影响指数,然后考虑其对洪涝风险的影响程度,确定其各自影响权重,代入暴雨洪涝灾害风险指数模型(式(1)),以ArcGIS9.3为平台,绘制出暴雨洪涝灾害风险区划图。

### 4.1 致灾因子危险性指数

所谓洪涝灾害的致灾因子危险性,是指洪涝灾害的异常程度,主要是由灾害的致灾因子活动规模(强度)和活动频次(概率)决定的,因而暴雨洪涝灾害危险性可用降水强度和降水频次表征。

将降水量连续日数划分为一个暴雨过程,要求该过程中至少有一天降水量 $\geq 50$  mm。统计历年各气象台站1,2,3,⋯,10 d及以上暴雨过程降水量,将所有台站的过程降水量作为一个序列,建立不同时间长度的10个降水过程序列,将每个降水序列数据从小到大进行排序,分别计算不同序列的第98、第95、第90、第80和第60百分位数的降水量值,该值即为确定的临界致灾雨量(暴雨强度)。利用不同百分位数将暴雨强度分为5个等级,具体分级标准为:60%~80%位数对应的降水量为1级(致涝),80%~

90% 位数对应的降水量为 2 级(轻涝),90% ~ 95% 位数对应的降水量为 3 级(中涝),95% ~ 98% 位数对应的降水量为 4 级(重涝),大于等于 98% 位数对应的降水量为 5 级(特涝).依据指标对每个台站统计不同强度的年暴雨洪涝过程次数,绘制各等级暴雨强度频次空间分布(图略).

根据暴雨强度等级越高对洪涝形成所起的作用越大的原则,对 5 个等级的暴雨强度赋予适当的权重值,利用加权综合评价法计算各站不同等级暴雨强度规范化后的发生频次与相应等级权重的乘积之和即可得到致灾因子危险性指数.

$$V_h = \frac{5}{15}f_5 + \frac{4}{15}f_4 + \frac{3}{15}f_3 + \frac{2}{15}f_2 + \frac{1}{15}f_1. \quad (5)$$

其中,  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$ 、 $f_4$  和  $f_5$  分别为规范化后的 1、2、3、4 和 5 级暴雨强度发生的频次.将计算获得的致灾因子危险性指数经规范化处理后,利用 ArcGIS 自然断点分级法划分为 5 个等级,绘制其空间分布,结果如图 1 所示.

从图 1 可以看出,洪涝灾害的致灾因子危险性对潍坊地区的影响程度由南到北大致呈递减趋势.诸城的大部分地区为高危险区;安丘南部、高密的大部分地区为较高危险区;寿光南部,潍坊、昌邑中部,青州全部,昌乐北部为较低危险区;较低危险区和较高危险区之间带状区域属于中等危险区.

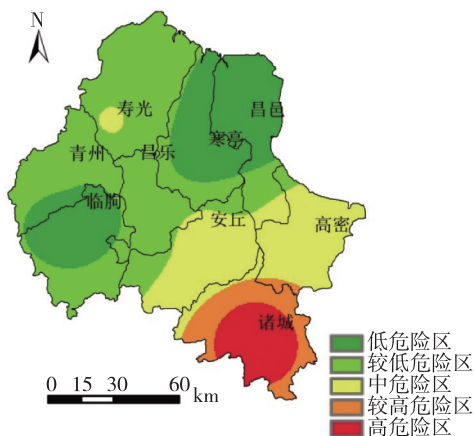


图 1 致灾因子危险性空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of the criticality of disaster-causing factors

#### 4.2 孕灾环境敏感性指数

孕灾环境指孕育暴雨灾害的自然环境,如地形、地质、土壤、植被、水系等.孕灾环境敏感性是指受到洪涝灾害威胁的所在地区外部环境对灾害或损害的

敏感程度.在同等强度的灾害情况下,敏感程度越高,洪涝灾害所造成的破坏损失越严重,洪涝灾害的风险也越大.根据资料获取的难易程度,本研究主要从地形起伏变化、河流密度和距离水体的远近来确定孕灾环境敏感性指数,具体包括地形影响指数和水系影响指数.

地形影响指数主要考虑高程与地形起伏变化.地形起伏变化采用相邻一定范围内高程的相对标准差来分析,标准差越小,相邻范围地形起伏越小,洪涝危险性越高;相反,标准差越大,相邻范围地形起伏越大,洪涝危险性越低.利用潍坊市 1:50 000 的 DEM 数据计算出相对高程标准差,即对某一格网点,利用 ArcGIS 计算其与周围 8 个格点的高程标准差,然后再结合高程数据,按表 1 给出的标准进行赋值,确定地形影响指数(图 2).

表 1 地形影响指数赋值

Table 1 The assigned values of the impact index of terrain

地形高程/m	高程标准差		
	一级(≤1 m)	二级(1~10 m)	三级(≥10 m)
一级(0~100]	0.9	0.8	0.7
二级(100~300]	0.8	0.7	0.6
三级(300~700]	0.7	0.6	0.5
四级(>700)	0.6	0.5	0.4

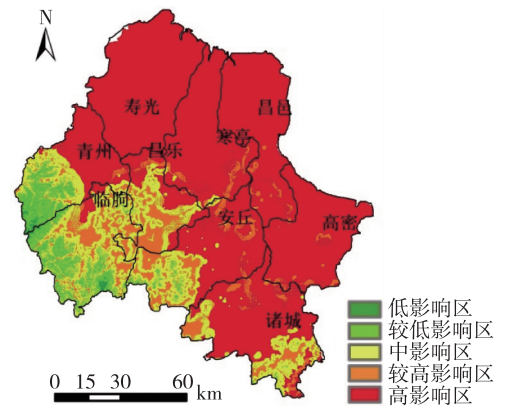


图 2 地形影响指数空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of the impact index of terrain

水系影响指数主要考虑水系密度与距离河流、湖泊(水库)的远近程度.利用 ArcGIS 自带的密度分析工具(line density)算出水系密度.依据河流、湖泊、水库的大小确定相应的一级缓冲区和二级缓冲区,赋予 0~1 之间适当的影响因子值,赋值原则是



大型河流和水体(湖泊、水库)的一级缓冲区内赋值最大,小型河流和水体的二级缓冲区赋值次之,该结果作为水体缓冲区影响指数.由于层次分析适用于3个以上因子的权重系数的确定,所以这里的水系密度和水体缓冲区影响指数的确定由专家打分给出,各取0.5,运用加权综合评价法计算得到水系影响指数(图3).

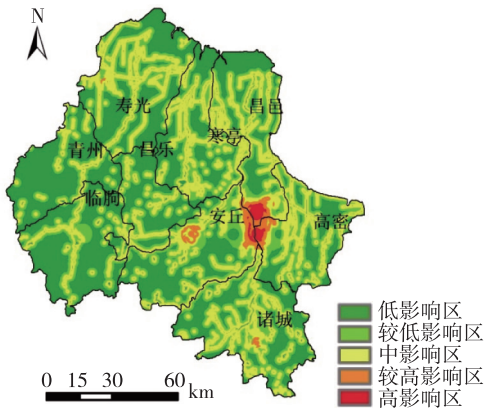


图3 水系影响指数空间分布

Fig.3 Spatial distribution of the impact index of water system

在得出地形、水系影响指数之后,将二者进行规范化处理之后根据专家打分,得到地形、水系影响指数对应的权重系数分别为0.62和0.38,采用加权综合评价法计算得到孕灾环境敏感性指数(图4).

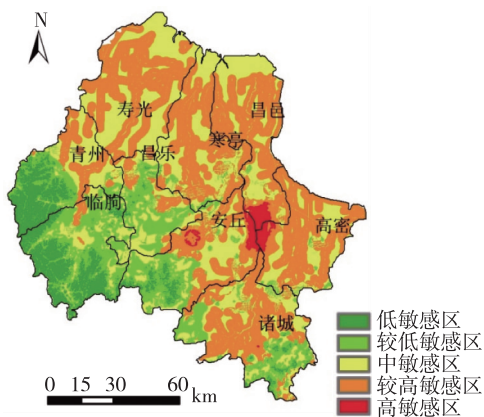


图4 孕灾环境敏感性空间分布

Fig.4 Spatial distribution of the sensitivity of disaster formative environment

结果表明,青州西南部、临朐大部分、安丘西南部、诸城西南部属于低敏感区,主要是因为这些地区

地势高,有利于雨水的排泄;在图4中有3个较高敏感区,一个在昌邑、高密、安丘的交界处,另一个在安丘中部偏北处,还有一个在诸城中部,这些地方敏感性较高的原因是因为它们所在位置分别对应着峡山水库、牟山水库、三里庄水库.

### 4.3 承灾体易损性指数

洪涝灾害的承灾体易损性是指可能受到洪涝灾害威胁的所有人员以及财产的伤害或损失程度,如人员、牲畜、房屋、农作物、生命线等<sup>[25]</sup>.暴雨洪涝造成的危害程度与承受暴雨洪涝灾害的载体有关.在以前的研究中,认为洪涝灾害造成的损失大小一般取决于发生地的经济、人口密集程度等,所以根据社会经济统计数据(GDP、总人口)计算得到单位土地面积的GDP值、单位土地面积的人口,即地均GDP和人口密度.有些学者考虑更多指标,如耕地面积比重等,作为承灾体易损性评价的影响因子,但是经过多次观察研究,这样得出的结论可能与实际易损性不相符.因此,本研究提出使用精细化土地利用类型结合历史灾情数据来计算承灾体易损性.首先根据历史灾情数据,对历年发生暴雨洪涝灾害时承灾体所受损失进行排序,利用层次分析法<sup>[26]</sup>算出不同土地利用类型易损性系数如表2所示.

在土地利用类型数据属性表中新增一个字段,用来存放对应土地类型的易损性系数,根据该字段的值对土地利用类型数据进行栅格化,得到承灾体易损性空间分布(图5).

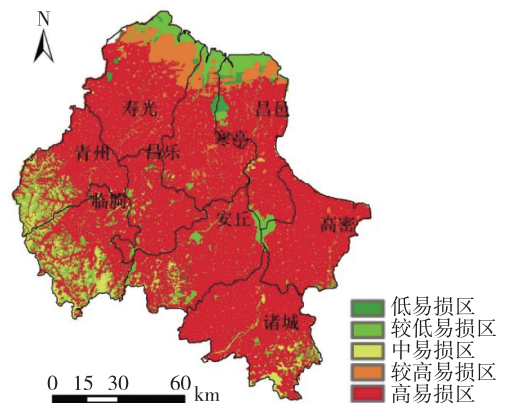


图5 承灾体易损性空间分布

Fig.5 Spatial distribution of the vulnerability of disaster-bearing bodies

结果表明,潍坊大部分地区为高易损性地区,这和潍坊是农业大市,是山东省农副产品产区之一,耕地以旱地为主,旱地在发生暴雨洪涝时易受到损失

表2 不同土地利用类型易损性系数

Table 2 Vulnerability coefficients of different land uses

旱地	林地	草地	水域	城乡工矿居民用地	城镇用地	裸岩石砾地
0.289	0.129	0.026	0.058	0.204	0.276	0.018

的实际情况相符合. 较高易损性地区对应的主要是城乡居民用地. 青州西南部、临朐西南部、诸城西南部属于海拔较高的山区, 一般种植果木, 果木受暴雨洪涝影响相对较小, 所以属于中易损区. 由于寿光东北部、潍坊市北部、昌邑北部是沿海滩涂, 受暴雨洪涝影响很小, 所以该地区为低易损区.

#### 4.4 防灾减灾能力指数

洪涝灾害的防灾减灾能力是指受灾区对洪涝的抵御程度, 是应对暴雨洪涝灾害所造成损害而采取的灾前预防与灾后应对的能力. 包括应急管理、减灾投入资源准备等. 防灾减灾能力越高, 可能遭受的潜在损失越小. 本研究采用2008年潍坊地区人均GDP, 对研究区域的防灾减灾能力进行评估, 结果如图6所示. 结果表明, 防灾减灾能力最强的地区是寿光、潍坊两市, 昌邑市、诸城市次之, 青州市、高密市属于中等防灾减灾能力地区, 临朐、安丘两地的防灾减灾能力最弱.

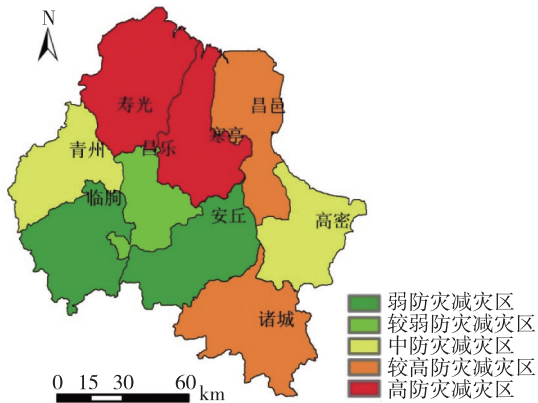


图6 防灾减灾能力空间分布

Fig. 6 Spatial distribution of the capability of disaster prevention and reduction

#### 4.5 暴雨洪涝风险区划

将危险性、敏感性、易损性和抗灾能力4个评价因子指数结果代入式(1), 根据层次分析法算出对应权重系数, 分别为0.37、0.23、0.28、0.12, 计算得到山东省潍坊市暴雨洪涝灾害风险区划(图7).

研究表明, 诸城市中北部、高密市的西南部及安丘的东南部属于高风险区, 安丘的东北部、昌邑

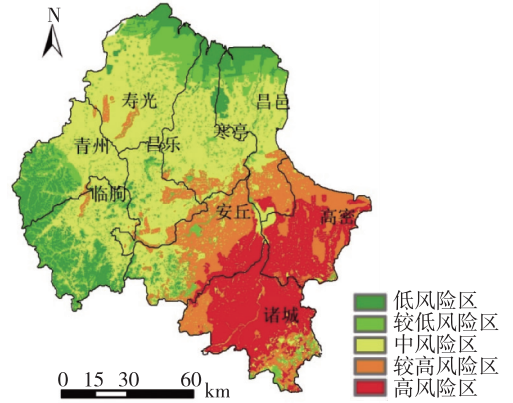


图7 潍坊市洪涝灾害风险区划

Fig. 7 Risk zoning map of rainstorm and flood disaster in Weifang

的南部属于较高风险区, 昌乐的大部分、青州的东部、临朐的东北部、安丘的西部属于中风险区, 青州西南部、临朐西南部、寿光东北部、昌邑东北部属于低风险区.

## 5 评估结果验证

自1984—2007年, 潍坊市约发生洪涝灾害40次, 农业受灾面积达295 352.81 hm<sup>2</sup>, 受灾人口845 845人, 损坏房屋114 609间, 直接经济损失达346 716.2万元. 严重的灾害给人民的生命、财产带来了巨大的损失. 表3为1984—2007年潍坊地区洪涝灾害的损失统计数据.

将潍坊市暴雨洪涝灾害风险区划结果与表3表示的多年洪涝灾害所造成的直接经济损失对比发现, 研究结果基本符合研究区域实际发生的洪涝灾害情况.

## 6 结论和展望

基于潍坊市多年暴雨洪涝灾害的灾情数据, 利用GIS在空间分析和制图等方面的优势, 结合暴雨洪涝灾害评估模型, 对山东省潍坊市的洪涝灾害风险进行了评估并绘制出风险区划图. 得到以下结论: 诸城市中北部、高密市的西南部及安丘的东南部属于高风险区; 安丘的东北部、昌邑的南部属于较高风

表3 1984—2007年潍坊地区洪涝灾害损失统计

Table 3 Statistics on losses due to flood disaster of Weifang during 1984—2007

区县	灾害次数	受灾人口/人	农业经济损失/万元	直接经济损失/万元
高密	3	120 000	4 900	38 533
潍坊	6	5 638	280	7 200
临朐	6	105 809	0	21 184
诸城	7	294 071	95 145	194 490
安丘	5	4 471	2 364	11 001
昌乐	4	0	20 855	21 003
昌邑	1	0	0	83
青州	5	20 321	0	3 892
寿光	8	0	6 671	11 529

险区;昌乐的大部分、青州的东部、临朐的东北部、安丘的西部属于中风险区;青州西南部、临朐西南部、寿光东北部、昌邑东北部属于低风险区。利用潍坊市灾情数据对结论进行验证,研究结果基本上符合潍坊市实际发生的洪涝灾害情况。

尽管本文在建立潍坊市暴雨洪涝灾害风险区划评价的指标模型时,综合考虑了引起暴雨洪涝灾害的各种因素,但由于资料有限及数据的限制,最后建立的指标体系并未能覆盖所有影响洪涝灾害风险的因子,所以在以后的研究中需要进一步完善暴雨洪涝灾害风险区划模型。另外,收集的灾情数据可能存在数据统计上的错误或统计不全面,会对验证结果造成影响,还需对历史灾情进行更全面的普查。

## 参考文献

### References

- [1] 李楠,任颖,顾伟宗,等. 基于GIS的山东省暴雨洪涝灾害风险区划[J]. 中国农学通报, 2010, 26(20): 313-317  
LI Nan, REN Ying, GU Weizong, et al. GIS based risk evaluation for flood hazard in Shandong province[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(20): 313-317
- [2] 程卫帅,陈进,刘丹. 洪灾风险评估方法研究综述[J]. 长江科学院院报, 2010, 27(9): 17-24  
CHENG Weishuai, CHEN Jin, LIU Dan. Review on flood risk assessment[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2010, 27(9): 17-24
- [3] Parthasarathy B, Sontakke N A, Monot A A, et al. Droughts/floods in the summer monsoon season over different meteorological sub-divisions of India for the period 1871—1982[J]. Journal of Climatology, 1987, 7(1): 57-70
- [4] Ogunorisa T E, Abawua M J. Flood risk assessment: A review[J]. Journal of Applied Sciences and Environmen-

tal Management, 2005, 9(1): 57-63

- [5] Haruyama S, Ohokura H, Simking T, et al. Geomorphological zoning for flood inundation using satellite data[J]. GeoJournal, 1996, 38(3): 273-278
- [6] 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  
HUANG Shifeng, XU Mei, CHEN Deqing. GIS-Based extraction of drainage network density and its application to flood hazard analysis[J]. Journal of Natural Disasters, 2001, 10(4): 129-132
- [7] 张行南,罗健,陈雷,等. 中国洪水灾害危险程度区划[J]. 水利学报, 2000, 31(3): 1-7  
ZHANG Xingnan, LUO Jian, CHEN Lei, et al. Zoning of Chinese flood hazard risk[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2000, 31(3): 1-7
- [8] 刘希林. 区域泥石流危险度评价研究进展[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2002, 13(4): 1-9.  
LIU Xilin. Advance in research on assessment for degree of regional debris flow hazard[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2002, 13(4): 1-9
- [9] Islam M, Sado K. Development priority map for flood countermeasures by remote sensing data with geographic information system[J]. Journal of Hydrologic Engineering, 2002, 7(5): 346-355
- [10] Islam M, Sado K. Flood hazard assessment in Bangladesh using NOAA AVHRR data with geographical information system[J]. Hydrological Process, 2000, 14(3): 605-620
- [11] Chubey M S, Hathout S. Integration of RADARSAT and GIS modeling for estimating future Red River flood risk[J]. GeoJournal, 2004, 59(3): 237-246
- [12] 中华人民共和国水利部. SL483—2010洪水风险图编制导则[S]. 北京:中国水利水电出版社, 2010: 10-18  
The Ministry of Water Resources of the PRC. SL483—2010 Flood risk map guide[S]. Beijing: China Waterpower Press, 2010: 10-18
- [13] 陈守煜,郭瑜. 模糊可变集合及其在防洪工程体系综合风险评价中的应用[J]. 水利水电科技进展, 2005, 25(6): 4-8  
CHEN Shouyu, GUO Yu. Variable fuzzy sets and their application to comprehensive risk evaluation for flood-control engineering system[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2005, 25(6): 4-8
- [14] 胡国华,夏军. 风险分析的灰色-随机风险率方法研究[J]. 水利学报, 2001, 32(4): 1-5  
HU Guohua, XIA Jun. Grey-stochastic risk method for risk analysis[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2001, 32(4): 1-5
- [15] 王栋,朱元钰. 最大熵原理在水文水资源科学中的应用[J]. 水科学进展, 2001, 12(3): 424-430  
WANG Dong, ZHU Yuansheng. Principle of maximum entropy and its application in hydrology and water resources[J]. Advances in Water Science, 2001, 12(3): 424-430
- [16] 王栋,潘少明,吴吉春,等. 洪水风险分析的研究进展与展望[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(1): 103-109  
WANG Dong, PAN Shaoming, WU Jichun, et al. Review of risk analysis on flood[J]. Journal of Natural Disasters,

- 2006,15(1):103-109
- [17] 萧焕雄,韩采燕. 江河防洪系统年超标洪水风险率模型研究[J]. 自然灾害学报,1993,2(1):24-32  
XIAO Huanxiong, HAN Caiyan. Study on the annual flood risk model of flood protection system[J]. Journal of Natural Disasters, 1993, 2(1):24-32
- [18] 黄志中,鞠茂森. 以风险决策为基础的流域防洪系统规划[J]. 河海大学学报:自然科学版,1995,23(4):12-18  
HUANG Zhizhong, JU Maosen. Planning of basin flood control system based on risk decision[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 1995, 23(4):12-18
- [19] Tung Y K, Mays L W. Optimal risk-based design of flood levee systems[J]. Water Resources Research, 1981, 17(4):843-852
- [20] Bogardi I, Duckstein L. Comment on "optimal risk-based design of flood levee systems" by Yeou-Koung Tung and Larry W Mays[J]. Water Resources Research, 1982, 18(6):1745-1746
- [21] 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  
ZHANG Hui, ZHANG Jiquan, HAN Junshan. GIS-based assessment and zoning of flood/waterlogging disaster risk: A case study on middle and lower reaches of Liaohe river[J]. Journal of Natural Disasters, 2005, 14(6):141-146
- [22] 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):51-55
- JIANG Xinyu, FAN Jiubo, ZHANG Jiquan, et al. GIS-based risk assessment on rain and flood disasters of Songhua river[J]. Journal of Catastrophology, 2009, 24(3):51-55
- [23] 宫清华,黄光庆,郭敏,等. 基于 GIS 技术的广东省洪涝灾害风险区划[J]. 自然灾害学报,2009,18(1):58-63  
GONG Qinghua, HUANG Guangqin, GUO Min, et al. GIS-based risk zoning of flood hazard Guangdong Province[J]. Journal of Natural Disasters, 2009, 18(1):58-63
- [24] 谢五三,田红,温华洋. 基于 GIS 的安徽省暴雨洪涝风险区划研究[C]//第 26 届中国气象学会年会气象灾害与社会和谐分会场论文集,2009:25-32  
XIE Wusan, TIAN Hong, WEN Huayang. Study on the risk zoning of rainstorm flood in Anhui based on GIS[C]//The Proceedings of the Meteorological Disasters and Social Harmony Session of the 26th China Meteorological Society annual Meeting, 2009:25-32
- [25] 中国气象局. 暴雨洪涝灾害风险区划技术规范[M]. 2009  
China Meteorological Administration. Technical specification of risk zoning of flood and waterlogging[M]. 2009
- [26] 常建娥,蒋太立. 层次分析法确定权重的研究[J]. 武汉理工大学学报:信息与管理工程版,2007,29(1):153-156  
CHANG Jiane, JIANG Taili. Research on the weight of coefficient through analytic hierarchy process[J]. Journal of WUT: Information & Management Engineering, 2007, 29(1):153-156

## Risk zoning of flood and waterlogging in Weifang

LI Hui<sup>1</sup> WANG Keqing<sup>2</sup> MIAO Qian<sup>2</sup>

1 School of Remote Sensing, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

2 Jiangsu Research Institute of Meteorological Science, Nanjing 210008

**Abstract** Using meteorological data, statistical yearbook data, basic geographic information data, land use data and historical disaster data, we calculated the indexes of flood and waterlogging risk (FWR) of Weifang and drew its zoning map based on FWR assessment model and GIS technology. The results show that the areas of central and northern Zhucheng, southwestern Gaomi and southeastern Anqiu are the highest risk regions, the areas of northeastern Anqiu, southern Changyi are the second highest risk regions, most region of Changle, eastern Qingzhou, northeastern Linqu and western Anqiu are the median risk regions, while the areas of southwestern Qingzhou, southwestern Linqu, northeastern Shouguang and northeastern Changyi are the low risk regions. This assessment results are in good agreement with Weifang's reality.

**Key words** geographic information system; Weifang; flood and waterlogging risk; zoning