

文章编号: 1004-4353(2014)01-0079-06

# 基于 GIS 的长白山地区洪水灾害风险评估

倪晓娇<sup>1</sup>, 南颖<sup>1\*</sup>, 崔允秀<sup>2</sup>

( 1. 延边大学理学院 地理系, 中国 延吉 133002; 2. 首尔市立大学 空间情报工学科, 韩国 首尔 130-743 )

**摘要:** 以气象站实测数据、DEM 数据和统计数据作为数据源,100 m×100 m 的栅格单元作为基本的评估单元,结合区域灾害系统论建立了洪水灾害风险评估指标体系,并采用极差法、层次分析法、综合指数法和百分位阈值法等方法对长白山地区洪水灾害风险进行了评估. 结果表明:长白山地区洪水灾害风险等级整体上西部较高东部较低,呈现出由西部向东部逐渐递减的趋势,其中临江市、抚松县和长白县的洪水灾害风险等级较高,和龙市和安图县的洪水灾害风险等级较低.

**关键词:** 自然灾害; 区域灾害系统论; 洪水灾害风险评估; GIS; 长白山地区

**中图分类号:** X43                      **文献标识码:** A

## Flood disaster risk assessment study in Changbai Mountain area based on GIS

NI Xiaojiao<sup>1</sup>, NAN Ying<sup>1\*</sup>, Choi Yunsoo<sup>2</sup>

( 1. *Department of Geography, College of Science, Yanbian University, Yanji 133002, China;*

2. *Spatial Information Engineering Department, Seoul City University, Seoul 130-743, Korea* )

**Abstract:** We used the weather station observational data, the DEM data and the statistical data as the data sources, used the 100 m×100 m grid cell as the basic unit of assessment to establish the flood disaster risk assessment index system based on regional disaster system theory, and then used the range method, analytic hierarchy process, comprehensive index method and percentile threshold method to assess the flood disaster risk in Changbai Mountain area. The results showed that: the flood disaster risk grades of Changbai Mountain area are high in the west and low in the east in general, and represent a gradual descending trend from the west to the east, among them, the flood disaster risk grades of Linjiang City, Fusong County and Changbai County are higher, and the flood disaster risk grades of Antu County and Helong City are lower.

**Key words:** natural disaster; regional disaster system theory; flood disaster risk assessment; GIS; Changbai Mountain area

近年来,随着全球气候逐渐变暖,极端天气事件呈增多趋势,造成的损失也越来越严重. 资料<sup>[1]</sup>显示,各种气象灾害造成的损失占全部自然灾害损失的 75%~80%,直接损失占我国国民生产总值的 3%~6%,其中极端降水导致的洪水灾害及其引发的次生灾害<sup>[2]</sup>占绝大多数. 关于极端降水事件和洪水灾害风险,已有众多学者进行了大量的研究<sup>[3-5]</sup>,而且研究尺度多样,其中区域尺度上的灾害风险研究处于核心的地位. 目前为止,有关长白山地区洪水灾害风险评估的研究较少,而长白山地区降水强度较大,局地性较强,极易引发洪水灾害<sup>[6]</sup>. 本文基于区域灾害系统论的理论观点,

采用极差法、层次分析法、综合指数法和百分位阈值法等方法对长白山地区洪水灾害风险进行评估,旨为长白山地区洪水灾害风险防范提供参考。

1 研究区概况

本文中的长白山地区是指长白山火山区,位于北界北纬 42°35′,南界北纬 41°23′,西界东经 127°15′,东界东经 129°00′。行政区划上包括和龙市、安图县、抚松县、长白朝鲜族自治县(以下简称长白县)和临江市 5 个县市,如图 1 所示。长白山地区属于温带季风气候区,除有一般山地气候的共同特点外,还有明显的垂直气候变化带;年平均气温为 3~7℃,年降水量为 700~1 400 mm。长白山地区河网稠密,是图们江、松花江和鸭绿江 3 大水系的发源地,水资源十分丰富。

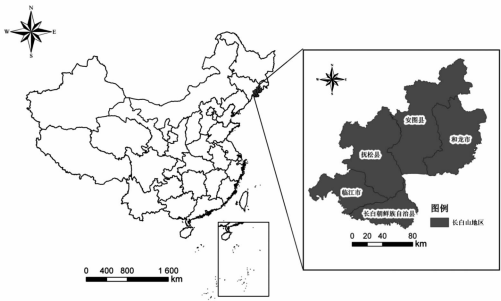


图 1 研究区范围的行政区划

2 数据来源及处理

1) 气象数据. 本文的气象数据来源于中国气象局的“中国地面气候资料日值数据集”和“中国地面国际交换站气候资料日值数据集”2 个数据集,起止时间为 1951-01-01—2012-11-30。降水数据采用长白山地区天池、长白、松江、临江和延吉等气象站的逐年日降水量实测数据,数据时段为 1960-01-01—2010-12-31,时间跨度为 51 年。其中天池站于 1989 年改为季节站,6 月至 9 月观测,故天池站 1989—2010 年其余月份的气象数据缺失。本文依据回归分析法在地理要素相关性中的应用研究<sup>[9]</sup>,基于临近的长白站气象数据建立一元线性回归模型,对 2 个气象站实测数据进行相关分析,得到了天池站缺失的气象数据;但由于天池站位于山地地区,2 个气象站的相关性较差,故天池站的气象数据仍使用了原始数据。本研究对

原始气象数据进行了均一性检查和严格的质量控制,最大限度地提高了数据的可靠性。例如去除了数据中类似降水量为 32 700 mm 的奇异值,将该数据也归属于缺测数据,并且补全了缺测的气象数据<sup>[10-11]</sup>。

2) DEM 数据. DEM 数据来自于 NASA 网站(<https://wist.echo.nasa.gov/api/>),分辨率为 30 m。首先对原数据进行裁剪,即裁剪出长白山地区的 DEM 数据,并进行投影和坐标系转换,输出栅格大小为 100 m×100 m 的 DEM 数据;然后利用长白山地区的 DEM 数据提取坡度数据;最后利用 DEM 数据和坡度数据,运用栅格计算器计算出地形位指数。地形位指数的计算公式为  $T = \log[(\frac{E}{\bar{E}} + 1) \times (\frac{S}{\bar{S}} + 1)]$ ,其中  $T$  是地形位指数, $E$  和  $\bar{E}$  代表单一栅格单元的高程值和研究区的平均高程值, $S$  和  $\bar{S}$  分别代表单一栅格单元的坡度值和研究区的平均坡度值。

3) 统计数据. 统计数据来源于《2011 年延边统计年鉴》<sup>[12]</sup>和《2010 年白山统计年鉴》<sup>[13]</sup>,数据包括安图县、和龙市、抚松县、长白县和临江市 5 个县市 2010 年底的人口、面积、地区生产总值等。

3 研究方法

3.1 洪水灾害风险评估指标体系的构建

本研究基于区域灾害系统论<sup>[14]</sup>的理论观点,从致灾因子危险性、孕灾环境稳定性以及承灾体脆弱性 3 个方面建立了洪水灾害风险评估指标体系,体系分为目标层、准则层和指标层 3 个层次,如表 1 所示。

1) 致灾因子危险性. 致灾因子危险性主要是对极端降水事件进行研究,本文基于中国气象局提供的气象站实测数据,采用百分位阈值法确定降水极值变化的阈值,进而提取出极端强降水日数和极端弱降水日数<sup>[15]</sup>。极端强降水日数和极端弱降水日数越大,洪水灾害致灾因子危险性越大,洪水灾害风险也就越高,因而极端强降水日数和极端弱降水日数为正向指标。本研究首先将天池、松江、临江、长白和延吉等气象站点 1960-01-01—2010-12-31 逐年日降水量按升序排列,得到该序

列的第 95(5)个百分位值即为极端降水事件的上(下)阈值. 当某日某站降水量高于极端降水事件的上阈值时,则称之为极端强降水事件;当某日某站降水量低于极端降水事件的下阈值时,则称之为极端弱降水事件. 某站极端强降水事件的日数即为极端强降水日数,某站极端弱降水事件的日数即为极端弱降水日数. 然后采用反距离权重插值方法,估算出长白山地区面状极端强降水日数和极端弱降水日数的空间分布情况<sup>[16]</sup>.

2) 孕灾环境稳定性. 地形与洪水灾害风险有着密切的关系,地形对洪水灾害的形成主要表现在地形坡度与高程两个方面. 本文参照喻红等<sup>[17]</sup>

的研究,将坡度与高程两个地形因子组合成地形位指数作为反映地形特征的指标. 地形高程和坡度越低,洪水灾害孕灾环境稳定性越低,洪水灾害风险越高,故地形位指数为负向指标.

3) 承灾体脆弱性. 脆弱性包括来自自然、社会、经济及环境等因素的综合状态与过程,并决定了在给定的致灾因子作用下所遭受破坏的可能性和大小<sup>[18]</sup>. 本文采用人口密度和人均 GDP 来反映一个地区宏观层面的暴露度和易损性水平. 人口密度越大,人均 GDP 越高,洪水灾害承灾体脆弱性就越高,洪水灾害风险也越高,故人口密度和人均 GDP 为正向指标.

表 1 洪水灾害风险评估指标体系

目标层	准则层	指标层	单位	趋向	数据来源	权重
洪水灾害 风险指数(R)	致灾因子危险性(H)	极端强降水日数	日	正向	气象站实测数据	0.545 7
		极端弱降水日数	日	正向	气象站实测数据	0.109 1
	孕灾环境稳定性(S)	地形位指数	—	负向	DEM 数据	0.249 9
	承灾体脆弱性(V)	人口密度	人 / 平方公里	正向	统计数据	0.063 6
		人均 GDP	万元 / 人	正向	统计数据	0.031 8

3.2 洪水灾害风险指数的计算

本研究采用 100 m×100 m 的栅格单元作为洪水灾害风险评估的基本单元,采用极差法对指标进行标准化处理,将其量化到 0~1 之间,以消除指标量纲不统一对综合评估带来的影响<sup>[19]</sup>. 其中,正向指标采用公式(1)进行计算,负向指标采用公式(2)进行计算. 公式中  $X_i$  为实测值,  $X_j$  为标准化后的数值,  $X_{\max}$  和  $X_{\min}$  分别为实测值的最大值和最小值.

$$X_j = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}},$$

(1)

$$X_j = \frac{X_{\max} - X_i}{X_{\max} - X_{\min}}.$$

(2)

首先对相关领域的 36 位专家进行问卷咨询,然后采用层次分析法<sup>[20]</sup>确定指标的权重,步骤如下:①构造判断矩阵. ②重要性排序. 利用方程  $BW = \lambda_{\max}W$  计算出该判断矩阵的最大特征值及特征向量. ③一致性检验. 权重分配是否合理需要对判断矩阵进行一致性检验和随机性检验,检验公式为  $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$ . 式中当  $CI = 0$  时,判断矩

阵具有完全一致性;反之, $CI$  越大,一致性越差. 将  $CI$  与平均随机一致性指标  $RI$  进行比较,其比值称为判断矩阵的一致性比例,写作  $CR = CI/RI$ . 当  $CR < 0.1$  时,则认为判断矩阵通过了一致性检验,否则就需要调整判断矩阵直到满意为止. 经计算,  $CI_{\text{总}} = 0$ ,  $RI_{\text{总}} = 0$ ,  $CR_{\text{总}} = 0 < 0.1$ , 通过一致性检验. 最终的权重结果如表 1 所示.

本研究采用综合指数法<sup>[21]</sup>计算长白山地区洪水灾害致灾因子危险性指数、孕灾环境稳定性指数、承灾体脆弱性指数和洪水灾害风险指数. 计算公式为  $R = \sum_{i=1}^n Z_i \times W_i$ , 其中:  $R$  为洪水灾害致灾因子危险性指数 / 孕灾环境稳定性指数 / 承灾体脆弱性指数 / 洪水灾害风险指数;  $Z_i$  为各指标标准值;  $W_i$  为各指标的权重,  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ .

4 结果分析

4.1 洪水灾害致灾因子危险性等级分布  
结合文献[22-23]等的研究,通过咨询相关领域专家,本研究将长白山地区洪水灾害致灾因子危

险性指数划分为 4 个等级:一级灾强区、二级灾强区、三级灾强区和四级灾强区,如图 2 所示,洪水灾害致灾因子危险性等级划分情况如表 2 所示。

数划分为 4 个等级:一级稳定区、二级稳定区、三级稳定区和四级稳定区,如图 3 所示,洪水灾害孕灾环境稳定性等级划分情况如表 3 所示。

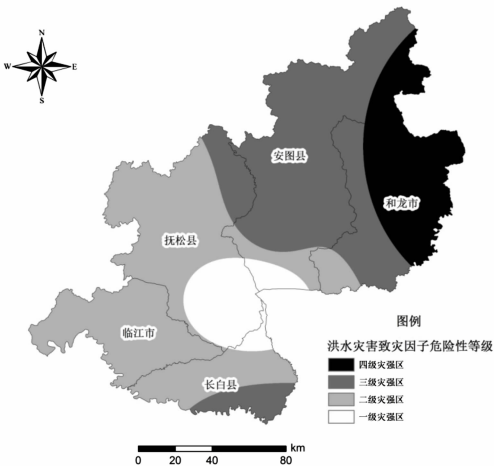


图 2 洪水灾害致灾因子危险性等级

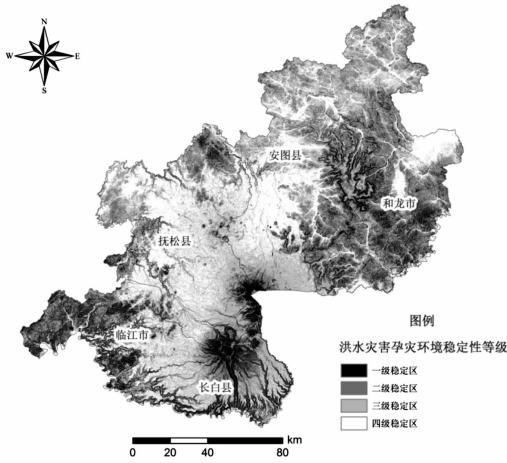


图 3 洪水灾害孕灾环境稳定性等级分布

表 2 洪水灾害致灾因子危险性划分

分类等级	致灾因子危险性指数	面积 /hm <sup>2</sup>	比例 /%
一级灾强区	≥ 0.426 3	212 029	8.77
二级灾强区	0.335 9 ~ 0.426 3	943 227	39.02
三级灾强区	0.235 3 ~ 0.335 9	897 195	37.11
四级灾强区	≤ 0.235 3	365 134	15.10

结合图 2 和表 2 分析发现,长白山地区洪水灾害致灾因子危险性等级整体上西南部高于东北部,其中天池附近最高.各级灾强区面积大小排序为:二级灾强区、三级灾强区、四级灾强区、一级灾强区.一级灾强区位于长白山天池周边地区,占总面积的 8.77%,包括抚松县东南部、长白县北部和安图县南部,主要是由于较高的极端强降水日数起主导作用所致.二级灾强区面积较大,占总面积的 39.02%,主要包括临江市、抚松县西北部和长白县中部.三级灾强区位于安图县大部分区域、和龙市西南部、抚松县东部和长白县南部,占总面积的 37.11%.四级灾强区位于和龙市东部和安图县东部,占总面积的 15.10%;该等级区域受洪水灾害致灾因子的影响较小,主要是由于较低的极端强降水日数所致。

4.2 洪水灾害孕灾环境稳定性等级分布

结合文献<sup>[22-23]</sup>研究,通过咨询相关领域专家,本研究将长白山地区洪水灾害孕灾环境稳定性指

表 3 洪水灾害孕灾环境稳定性等级划分

分类等级	孕灾环境稳定性指数	面积 /hm <sup>2</sup>	比例 /%
一级稳定区	≤ 0.120 1	326 780	13.52
二级稳定区	0.120 1 ~ 0.152 3	650 465	26.90
三级稳定区	0.152 3 ~ 0.183 5	777 523	32.16
四级稳定区	≥ 0.183 5	662 947	27.42

结合图 3 和表 3 分析发现,长白山地区洪水灾害孕灾环境稳定性等级整体上东西两端和长白山天池周边地区高于中部地区.各级稳定区面积的大小排序为:三级稳定区、四级稳定区、二级稳定区、一级稳定区.一级稳定区主要位于长白山天池周边地区,占总面积的 13.52%;该等级区域内坡度和高程较高,地形位指数较大,较高的地势在强降水的条件下虽不容易诱发洪水灾害,但容易诱发山体滑坡、泥石流等地质灾害.二级稳定区主要位于长白山地区的东西两端,占总面积的 26.90%;该等级区域内孕灾环境稳定性指数也较高,位于 0.120 1 和 0.152 3 之间,因而孕灾环境也较稳定,较不容易诱发洪水灾害.三级稳定区主要位于长白山地区中部和北部,占总面积的 32.16%;该等级区域内孕灾环境稳定性指数较低,位于 0.152 3 和 0.183 5 之间,较容易诱发洪水灾害.四级稳定区主要位于长白山地区的中部和北部,占总面积的 27.42%;该区坡度和高程导致地形位

指数极低,地势较为平坦,在极端强降水的条件下极容易诱发洪水灾害.

4.3 洪水灾害承灾体脆弱性等级分布

结合文献<sup>[22-23]</sup>研究,通过咨询相关领域专家,本研究将长白山地区洪水灾害承灾体脆弱性指数划分为 4 个等级:一级脆弱区、二级脆弱区、三级脆弱区和四级脆弱区,如图 4 所示,洪水灾害承灾体脆弱性等级划分情况如表 4 所示.

对较低,人口密度也不高,因而其脆弱性指数相对较低.

4.4 洪水灾害风险等级分布

结合文献<sup>[22-23]</sup>研究,通过咨询相关领域专家,本研究将长白山地区洪水灾害风险指数划分为 4 个等级:一级风险区、二级风险区、三级风险区和四级风险区,如图 5 所示,洪水灾害风险等级划分情况如表 5 所示.

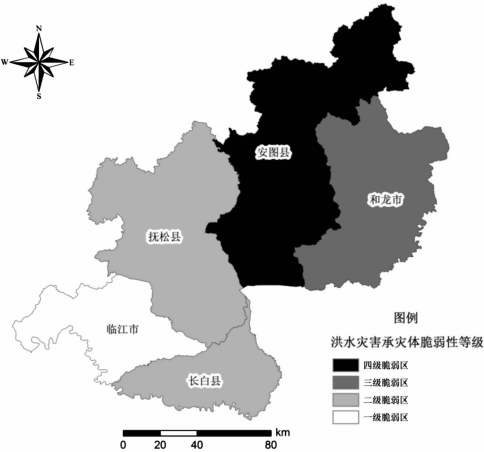


图 4 洪水灾害承灾体脆弱性等级分布

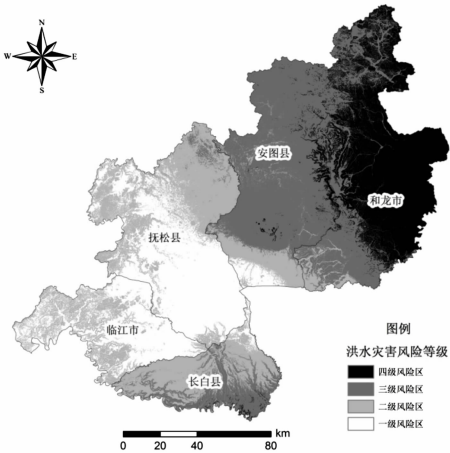


图 5 洪水灾害风险等级分布

表 4 洪水灾害承灾体脆弱性等级划分

分类等级	承灾体脆弱性指数	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%
一级脆弱区	≥0.029 5	300 900	12.45
二级脆弱区	0.021 7~0.029 5	864 600	35.78
三级脆弱区	0.003 6~0.021 7	506 900	20.98
四级脆弱区	≤0.003 6	743 800	30.78

结合图 4 和表 4 分析发现,长白山地区洪水灾害承灾体脆弱性等级整体上西部较高东部较低.各级脆弱区面积大小排序为:二级脆弱区、四级脆弱区、三级脆弱区、一级脆弱区,所占比例分别为 35.78%、30.78%、20.98%、12.45%.一级脆弱区位于临江市境内,临江市人口密度较高,人均 GDP 较大,使得其脆弱性指数远高于其他地区.二级脆弱区位于抚松县和长白县境内,该等级区域面积较大,其脆弱性指数集中分布在 0.021 7 和 0.029 5 之间.三级脆弱区位于和龙市境内,在人口密度和人均 GDP 这两个指标的综合作用下,其脆弱性指数集中分布在 0.003 6 和 0.021 7 间.四级脆弱区位于安图县境内,安图县经济水平相

表 5 洪水灾害风险等级划分

分类等级	洪水灾害风险指数	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%
一级风险区	≥0.623 2	568 469	23.56
二级风险区	0.525 4~0.623 2	608 425	25.22
三级风险区	0.414 3~0.525 4	766 277	31.76
四级风险区	≤0.414 3	469 226	19.45

结合图 5 和表 5 分析发现,长白山地区洪水灾害风险等级整体表现为西部较高东部较低.各等级面积大小排序为:三级风险区、二级风险区、一级风险区、四级风险区,所占比例分别为 31.76%、25.22%、23.56%、19.45%.一级风险区主要包括临江市和抚松县大部分地区,其中:抚松县中部地势较低平,孕灾环境较不稳定,其南部位于一级灾强区;临江市位于一级脆弱区.该等级区域内洪水灾害的风险较大,容易诱发农业暴雨洪涝和城市内涝等灾害.二级风险区主要位于长白县北部和抚松县北部.三级风险区主要位于三级灾强区,包括安图县大部分区域和和龙市南部.四级风险区主要位于四级灾强区内,该等级区域内

致灾因子危险性较低,孕灾环境也较稳定,承灾体脆弱性也不高,因而洪水灾害风险较低。

## 5 结论

采用极差法、层次分析法、综合指数法和百分位阈值法等方法对长白山地区洪水灾害风险进行了评估。结果表明:长白山地区洪水灾害致灾因子危险性等级西南部高于东北部,天池附近最高;孕灾环境稳定性等级东西两端和长白山天池周边地区高于中部地区;承灾体脆弱性等级西部较高,东部较低;长白山地区洪水灾害风险等级西部较高,东部较低,整体上呈现出由西部向东部逐渐递减的趋势。长白山地区洪水灾害风险等级面积的大小排序为:三级风险区、二级风险区、一级风险区、四级风险区,所占比例分别为 31.76%、25.22%、23.56%、19.45%。从行政区划上看,位于白山市的临江市、抚松县和长白县洪水灾害风险较大,而位于延边朝鲜族自治州的安图县和和龙市的洪水灾害风险则较小。走访长白山管理委员会、白山市和延边州气象局等相关部门,以及通过对长白山地区洪水灾害风险分布状况进行多次实地考察得出的结果也符合本文的研究结果。由于某一区域设防水平以及防灾减灾教育水平的定量数据较难获取,因此本文未能考虑当地的防灾减灾能力及人们的防灾意识等因素。洪水灾害承灾体的适应性和恢复力研究将是本文今后研究的方向。

## 参考文献:

- [1] 刘彤,闫天池.我国的主要气象灾害及其经济损失[J].自然灾害学报,2011,20(2):90-95.
- [2] 殷淑燕,黄春长,查小春.论极端性洪水灾害与全球气候变化:以汉江和渭河洪水灾害为例[J].自然灾害学报,2012,21(5):41-48.
- [3] 李春华,李宁,李建,等.洪水灾害间接经济损失评估研究进展[J].自然灾害学报,2012,21(4):19-27.
- [4] 郑腾飞,郭建茂,尹继福,等.基于 DFA 法的江苏省极端降水时空分布特征研究[J].自然灾害学报,2012,21(4):76-83.
- [5] 段光耀,赵文吉,宫辉力.基于遥感数据的区域洪涝风险评估改进模型[J].自然灾害学报,2012,21(4):57-61.
- [6] 吉林省地方志编纂委员会.长白山志[M].吉林:人民出版社,2002:28-34.
- [7] 张学霞,薄立群,张树文,等.基于 RS 和 GIS 的长白山火山灾害风险评估研究[J].自然灾害学报,2003,12(1):47-55.
- [8] 刘若新,魏海泉,李继泰.长白山天池火山近代喷发[M].北京:科学出版社,1998:1-123.
- [9] 刘贤赵,张安定,李嘉竹.地理学数学方法[M].北京:科学出版社,2009:43-74.
- [10] Bonsal B R, Zhang X B, Vincent L A, et al. Characteristics of daily and extreme temperature over Canada[J]. Journal of Climate, 2001,14(5):1959-1976.
- [11] Begert M, Schlegel T, Kirchhofer W. Homogeneous temperature and precipitation series of Switzerland from 1863 to 2000[J]. International Journal of Climatology, 2005,25(3):65-80.
- [12] 延边州统计局.2011 年延边统计年鉴[M].中国:国际图书出版社,2011:36-61.
- [13] 《白山市统计年鉴》编纂委员会和编辑部.2010 年白山统计年鉴[M].吉林:白山市统计局,2011:3-4.
- [14] 史培军.再论灾害研究的理论与实践[J].自然灾害学报,1996,5(4):6-17.
- [15] 董伟,刘海峰,朱玉祥.吉林省夏季极端降水事件特征分析[J].自然灾害学报,2012,21(4):69-75.
- [16] 南颖.GIS 应用指南:ArcGIS 实习教程[M].延吉:延边大学出版社,2012:200-203.
- [17] 喻红,曾辉,江子瀛.快速城市化地区景观组分在地形梯度上的分布特征研究[J].地理科学,2001,21(1):64-69.
- [18] UNDP. Reducing disaster risk; a challenge for development[R]. New York, United Nations Development Programme, 2004.
- [19] 龚建周,夏北成.城市生态安全评价及部分城市生态安全态势比较[J].安全与环境学报,2006,6(3):116-119.
- [20] 苏为华.多指标综合评价理论与方法问题研究[D].厦门:厦门大学,2000:94-113.
- [21] 申艳萍,郭长虹,王谦.河南省城市生态安全评价及生态安全模式分析[J].安全与环境学报,2008,8(3):89-93.
- [22] 杜鹃,何飞,史培军.湘江流域洪水灾害综合风险评估[J].自然灾害学报,2006,15(6):39-44.
- [23] 陈文方,徐伟,史培军.长三角地区台风灾害风险评估[J].自然灾害学报,2011,20(4):77-83.