

基于 AHP-Topsis 的南通市环境灾害风险评价

叶正伟^{1,3}, 孙艳丽²

(1. 淮阴师范学院 城市与环境学院, 江苏 淮安 223300; 2. 许昌学院 城市与环境学院, 河南 许昌 461000; 3. 江苏省环洪泽湖生态农业生物技术重点实验室, 江苏 淮安 223300)

摘 要:从环境灾害风险的脆弱性、暴露性与恢复能力 3 个方面,构建了江苏省南通市环境灾害风险评价的指标体系。基于 Topsis 方法,应用 AHP 方法赋权,对南通环境灾害风险的区域差异进行了分析。结果表明,南通市 7 个不同区域的环境灾害风险差异较大,海安风险最小,而如皋风险最大,风险由小到大的顺序依次为:海安<海门<通州区<南通市区<如东<启东<如皋。环境风险的主要原因在于工业化与城市化影响下工业“三废”对环境的潜在影响,以及环保投入的力度等。因此,南通市应减少人为环境影响,增加环保投入,以降低环境灾害风险。

关键词:Topsis 方法; 环境灾害; 风险评价; 南通市

中图分类号:X820.4

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2013)04-0230-05

Risk Assessment on Environmental Disaster in Nantong City Based on AHP-Topsis Method

YE Zheng-wei^{1,3}, SUN Yan-li²

(1. School of Urban and Environmental Sciences, Huaiyin Normal University, Huaian, Jiangsu 223300, China; 2. Department of Urban and Environmental Science, Xuchang College, Xuchang, He'nan 461000, China; 3. Jiangsu Key Laboratory for Eco-agricultural Biotechnology around Hongze Lake, Huaian, Jiangsu 223300, China)

Abstract:Based on the three aspects of vulnerability, exposure and resilience for the environmental risks, an assessment system on environmental disaster was constructed for Nantong City. The regional disparity of environmental disaster risk was analyzed by using a combinative method of Topsis and AHP. Results show that environmental disaster risk varies greatly in the 7 different regions in Nantong city. The spatial risk can be ranged in the increasing sequenced of Haian, Haimen, Tongzhou district, Main city of Nantong, Rudong and Qidong, where the minimum risk occurs in Haian while the maximum in Rugao. Potential influence factors are waste air emission, waste water and waste solid, which are caused by the industrialization and the urbanization, as well as the environmental investment are the major reason for the environmental risk. Thus, in order to reduce the environmental risk in Nantong city, the reduction of human activities on the environment and more investment on the environment could be an effective way.

Key words:Topsis method; environmental disaster; risk assessment; Nantong City

我国是世界上自然灾害最严重的国家之一,每年因自然灾害所造成的直接经济损失占 GDP 的 3%~6% 左右^[1]。面对自然灾害带来的巨大危害,诸多学者开展了包括灾害的损失评估、等级划分、风险评估与脆弱性评价等方面的研究^[2-6],但相对而言,对环境灾害的综合研究较少,尤其是针对经济发展大战略背景下的环境灾害风险研究,以及将灾害环境系统作为一个整体考虑的环境灾害风险评价分析还较少。在

气候变化与城市化加速发展的背景下,人类经济活动与城市化加速、土地利用与覆被变化快速发展等,都对环境灾害产生了“放大效应”^[3]。因此,有效的灾害风险管理是区域可持续发展的重要保障,而灾害风险评估则是灾害风险管理的核心内容,因而,对环境灾害风险的综合研究具有重要的现实意义。

随着“江苏沿海大开发”国家战略、南通“江海联动”和“大通道”建设战略的开展,南通市社会经济面

收稿日期:2012-11-29

修回日期:2013-01-13

资助项目:国家自然科学基金重点项目(40730635);水利部公益性行业科研专项经费项目(200901042);教育部人文社会科学研究一般项目(10YJC790342);江苏省教育厅高校哲学社会科学(2011SJB790005);江苏省高校“青蓝工程”优秀青年骨干教师资助项目

作者简介:叶正伟(1973—),男,安徽黄山人,博士,副教授,主要从事水文水资源与环境风险方面的研究。E-mail:leafyzw@163.com

临跨越式发展,尤其是工业的快速发展,增加了对环境系统的压力,致使环境灾害风险增加。近年来,南通市就出现了十余起由化工事故引起的环境灾害事件,造成了严重的经济损失。然而,当前对沿海大开发战略背景下的环境灾害风险的研究还未开展,因此,本文以南通市为例,采用指标构建与 AHP 层次分析赋权,基于 Topsis 方法,评价南通市环境灾害风险的差异,为政府相关部门防灾减灾提供决策参考。

1 南通市概况

南通市位于江苏省东南部,是江苏沿海开发的重要城市,南与上海、苏州隔江相望,西与泰州市接连,北与盐城市接壤^[7]。南通处长江三角洲北岸,经济发展水平在全国属于中等水平,2011 年城镇化率 57.6%,是中国首次开放的 14 个沿海城市之一。南通市行政区域上由南通市区、通州区、如东、如皋、海门、海安、启东以及下属乡镇共同组成^[8]。2011 年人口 728.9 万,其中,城镇人口为 419.85 万人,GDP 为 4 080.22 亿元^[9-10]。南通属北亚热带湿润性气候区,由于地处中纬度地带、海陆过渡带,常见的环境灾害有洪涝、干旱、梅雨、台风、环境污染事件、海平面上升影响等^[7]。

2 评价方法与指标体系

2.1 Topsis 方法

Topsis(Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)方法是一种逼近于理想解的技术^[11],Topsis 基于数据归一化后的转换矩阵,找出有限方案中的最优方案和最劣方案(分别用最优向量和最劣向量表示),然后分别计算出评价对象与最优方案和最劣方案的距离,获得各评价对象与最优方案的相对接近程度,以此作为评价依据。具体方法为:

设有 n 个评价对象,本文中评价对象即为南通市不同区域的环境灾害风险, m 个评价指标,原始指标数据可表达为矩阵:

$$X=(X_{ij})_{n\times m}\tag{1}$$

对矩阵中高优(越大越好)、低优(越小越好)指标分别进行归一化变换,即:

$$\begin{aligned}Z_{ij}&=\frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n X_{ij}^2}}\quad (\text{高优指标})\quad \text{或} \\Z_{ij}&=\frac{1/X_{ij}}{\sum_{i=1}^n (1/X_{ij})^2}\quad (\text{低优指标})\end{aligned}\tag{2}$$

在归一化过程中,可对各指标进行权重赋值,本文采用较为成熟的 AHP 层次分析方法得到权重^[12]。归一化后得到转化矩阵:

$$Z=(Z_{ij})_{n\times m}\tag{3}$$

矩阵各评价指标中最大、最小值构成的最优、最劣向量分别为:

$$\begin{aligned}Z^+&=(Z_{\max 1},Z_{\max 2},\cdots,Z_{\max m}) \\Z^-&=(Z_{\min 1},Z_{\min 2},\cdots,Z_{\min m})\end{aligned}\tag{4}$$

则第 i 个评价对象与最优、最劣方案的距离分别为:

$$\begin{aligned}D_i^+&=\sqrt{\sum_{j=1}^m (Z_{\max j}-Z_{ij})^2} \\D_i^-&=\sqrt{\sum_{j=1}^m (Z_{\min j}-Z_{ij})^2}\end{aligned}\tag{5}$$

因此,第 i 个评价对象与最优方案的接近程度 CI (值越大,风险越高)可表示为:

$$CI=1-[D_i^-/(D_i^++D_i^-)]\tag{6}$$

从而,按每个评价区域的相对接近度 CI 的大小排序,找出满意解。由于 Topsis 方法评价为效益型评价模式,而本文评价的是环境灾害风险程度,也即值越低,风险越小。而在指标权重判定上采用 AHP 法^[12],从而形成综合的 AHP-Topsis 方法。利用 Topsis 法进行综合评价,可得出良好的可比性评价排序结果。

2.2 指标体系构建

基于南通市自然、社会、经济与环境的基本特征,结合环境灾害的不同属性,本文从环境灾害风险系统的脆弱性、暴露性、恢复力 3 个方面选择指标。也即,环境灾害风险是这 3 个方面要素相互作用的产物。为此,根据代表性、系统性、独立性和可操作性的原则,以及数据的可获得性,结合环境与经济的脆弱性,暴露性及恢复能力 3 个方面^[13-16],构建南通市不同区域环境灾害风险评价的指标体系(表 1)。

本文研究时段为 2010 年,数据来源于江苏统计年鉴、南通统计年鉴^[9-10]、江苏省水资源公报等,以此评价南通市区、通州区、如东、如皋、海门、海安、启东 7 大区域的环境灾害风险差异,南通市 7 大区域评价指标的原始值见表 2。

3 环境灾害风险评价结果与分析

3.1 指标权重与类型

利用 AHP 层次分析法,经专家打分及层次分析一致性检验,南通市环境灾害风险评价的指标权重结果见表 3。由表 3 可知,所有评价指标中, X_{11} 、 X_4 、 X_{10} 、 X_6 、 X_7 、 X_5 权重值较大。这表明, X_{11} 环保投入占 GDP 比重是减少环境灾害风险的重要形式,而其次 X_4 工业废水排放、 X_{10} 火灾次数则是现代社会经济快速发展的较大危险因素,这主要是由于工业废水污染对经济发展的直接威胁,以及火灾的毁灭性及其

损失的严重性所决定的。而同时,权重偏大的单位面积工业废气、固体废物及农药施用量都反映了工农业对水、土环境影响的严重性,因而权重相对偏大。环

境灾害风险评价指标权重也表明,南通环境灾害风险的主要因素在于城市化的快速发展,尤其是工业化影响下废水、废气、废渣等“三废”对环境的影响。

表 1 南通市环境灾害风险评价指标体系

| 类型 | 指标 | 代码 | 指标意义 | 属性 |
|-----|---|----------|-------------|----|
| 脆弱性 | 人均 GDP/元 | X_1 | 表征经济实力 | 高优 |
| | 单位面积 GDP/(万元 \cdot km $^{-2}$) | X_2 | 表征经济密度 | 高优 |
| | 人口密度/(人 \cdot km $^{-2}$) | X_3 | 表征人口的脆弱性 | 低优 |
| 暴露性 | 单位面积工业废水排放量/(万 t \cdot km $^{-2}$) | X_4 | 表征水环境的暴露性 | 低优 |
| | 单位面积工业废气排放量/(亿 m $^3\cdot$ km $^{-2}$) | X_5 | 表征大气环境的暴露性 | 低优 |
| | 单位面积工业固体废物产生量/(万 t \cdot km $^{-2}$) | X_6 | 表征地表环境的暴露性 | 低优 |
| | 单位面积化学农药施用量/(t \cdot km $^{-2}$) | X_7 | 表征污染的强度 | 低优 |
| | 单位 GDP 能耗(t 标准煤/万元) | X_8 | 表征单位经济的污染能力 | 低优 |
| | 规模以上工业企业用水比重/% | X_9 | 表征水环境的干扰 | 低优 |
| | 火灾次数/起 | X_{10} | 表征技术灾害强度 | 低优 |
| 恢复力 | 环保投入占 GDP 比值/% | X_{11} | 表示环境灾害治理能力 | 高优 |
| | 卫生机构床位数/张 | X_{12} | 反映环境灾害救治能力 | 高优 |
| | 水利、环境与公共管理业从业人数比重/% | X_{13} | 反映环境灾害应急能力 | 高优 |
| | 空气质量达标天数/天 | X_{14} | 反映大气环境治理效应 | 高优 |
| | 自然保护区面积占土地面积比重/% | X_{15} | 表征自然环境的恢复能力 | 高优 |
| | 环境噪声达标面积占土地面积比重/% | X_{16} | 表征工业环境的控制能力 | 高优 |

表 2 南通市环境灾害风险评价指标原始值

| 指标 | 南通市区 | 通州区 | 海安 | 如东 | 启东 | 如皋 | 海门 |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| X_1 | 62132 | 45536 | 41374 | 35592 | 44745 | 34296 | 55634 |
| X_2 | 9157.13 | 4356.78 | 3209.12 | 2033.24 | 3560.43 | 2888.74 | 5324.81 |
| X_3 | 1390.53 | 1066.90 | 844.31 | 606.46 | 925.50 | 945.04 | 1063.37 |
| X_4 | 4.85 | 1.23 | 1.47 | 1.21 | 1.18 | 1.27 | 1.38 |
| X_5 | 0.78 | 0.03 | 0.05 | 0.05 | 0.42 | 0.10 | 0.05 |
| X_6 | 0.13 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.10 | 0.02 | 0.02 |
| X_7 | 45.17 | 0.001 | 0.001 | 20.81 | 20.69 | 0.001 | 0.001 |
| X_8 | 1.00 | 0.55 | 0.59 | 0.61 | 0.42 | 0.63 | 0.57 |
| X_9 | 7.44 | 0.64 | 0.58 | 0.55 | 0.34 | 0.52 | 0.97 |
| X_{10} | 104 | 29 | 21 | 26 | 25 | 26 | 20 |
| X_{11} | 3.99 | 0.63 | 13.88 | 0.31 | 3.02 | 0.20 | 17.84 |
| X_{12} | 11508 | 3610 | 3149 | 2664 | 2367 | 3510 | 3095 |
| X_{13} | 1.66 | 0.75 | 0.80 | 0.49 | 0.85 | 0.52 | 1.04 |
| X_{14} | 330 | 325 | 347 | 342 | 337 | 341 | 341 |
| X_{15} | 0.92 | 6.95 | 82.22 | 0.001 | 17.80 | 0.001 | 20.23 |
| X_{16} | 5.46 | 0.77 | 0.72 | 0.92 | 1.24 | 0.60 | 1.60 |

表 3 南通市环境灾害风险评价指标的 AHP 权重结果

| 指标 | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_5 | X_6 | X_7 | X_8 |
|----|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 权重 | 0.0569 | 0.0472 | 0.0438 | 0.074 | 0.0653 | 0.0721 | 0.0704 | 0.0521 |
| 指标 | X_9 | X_{10} | X_{11} | X_{12} | X_{13} | X_{14} | X_{15} | X_{16} |
| 权重 | 0.0653 | 0.073 | 0.0938 | 0.0629 | 0.0454 | 0.0562 | 0.0613 | 0.0613 |

为进一步分析不同指标体系所反映的影响类型,本文采用因子分析方法对评价指标数据进行分类,评价指标主因子的特征值、贡献率及最大正交旋转后的因子载荷矩阵结果见表 4。

由表 4 可以看出,前 3 个 >1 的因子特征值分别

为 11.146 8,2.216 2 和 1.208 1,且前 3 个主因子的方差累积贡献率达到了 91.069 2%,说明这 3 个因子包含了原始数据 16 个指标的足够信息。因此,根据提取特征值 >1 的因子为主因子的原则,共提取 3 个主因子。

表 4 评价指标的主因子的特征值、贡献率及最大正交旋转后的因子载荷矩阵

| 因子 | 特征值 | 贡献率% | 累积贡献率% | 指标 | 第一主因子 | 第二主因子 | 第三主因子 |
|----|----------|----------|---------|----------|---------|---------|---------|
| 1 | 11.1468 | 69.6674 | 69.6674 | X_1 | 0.4728 | 0.8257 | 0.1553 |
| 2 | 2.2162 | 13.8510 | 83.5185 | X_2 | 0.6504 | 0.7582 | -0.0146 |
| 3 | 1.2081 | 7.5507 | 91.0692 | X_3 | 0.4476 | 0.8460 | -0.1071 |
| 4 | 0.8147 | 5.0919 | 96.1611 | X_4 | 0.8880 | 0.4249 | -0.0506 |
| 5 | 0.4118 | 2.5736 | 98.7347 | X_5 | 0.8827 | 0.2691 | -0.1696 |
| 6 | 0.2025 | 1.2653 | 100 | X_6 | 0.8077 | 0.2401 | -0.1097 |
| 7 | 7.02E-16 | 4.39E-15 | 100 | X_7 | 0.9145 | 0.0214 | -0.2587 |
| 8 | 3.13E-16 | 1.96E-15 | 100 | X_8 | 0.8062 | 0.3187 | -0.0706 |
| 9 | 1.66E-16 | 1.04E-15 | 100 | X_9 | 0.8712 | 0.4536 | -0.0919 |
| 10 | 2.68E-17 | 1.68E-16 | 100 | X_{10} | 0.8793 | 0.3958 | -0.2134 |
| 11 | -7.3E-17 | -4.5E-16 | 100 | X_{11} | -0.1485 | 0.3546 | 0.8981 |
| 12 | -1.1E-16 | -6.9E-16 | 100 | X_{12} | 0.8398 | 0.4660 | -0.1353 |
| 13 | -3.5E-16 | -2.2E-15 | 100 | X_{13} | 0.7063 | 0.6812 | 0.1504 |
| 14 | -3.8E-16 | -2.4E-15 | 100 | X_{14} | -0.1115 | -0.6245 | 0.7054 |
| 15 | -4.5E-16 | -2.8E-15 | 100 | X_{15} | -0.1451 | -0.1036 | 0.8562 |
| 16 | -2.7E-15 | -1.7E-14 | 100 | X_{16} | 0.8687 | 0.4792 | -0.0612 |

第一主因子上,指标 $X_4, X_5, X_7, X_9, X_{10}$ 具有较大载荷,反映的是工业“三废”排放密度、工业用水以及农业农药的施用量,也即第一主因子反映的是人类经济活动对环境的影响与潜在风险。第二主因子载荷较大的为指标 X_1, X_2, X_3 ,反映的主要是人类经济活动的强度,第三主因子中载荷较大的为 X_{11}, X_{14}, X_{16} ,反映的是社会经济系统对环境保护的力度与效应。可见,因子分析也能较好地反映指标选择的合理

性,也即环境灾害风险分析的指标体系体现了危险性、暴露性与恢复能力 3 个方面。

3.2 风险评价结果

基于南通市环境灾害风险评价指标原始值(表 2),结合各指标权重,利用 Topsis 方法,计算获得南通不同地区环境灾害风险评价指标体系原始值的归一化转换向量矩阵,并提取评价指标向量矩阵中各指标的最优向量与最劣向量(表 5)。

表 5 南通市环境灾害风险评价指标归一化转换矩阵

| 指标 | 南通市区 | 通州区 | 海安 | 如东 | 启东 | 如皋 | 海门 | 最优向量 | 最劣向量 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| x_1 | 0.0287 | 0.021 | 0.0191 | 0.0164 | 0.0207 | 0.0158 | 0.0257 | 0.0287 | 0.0158 |
| x_2 | 0.0335 | 0.0159 | 0.0117 | 0.0074 | 0.0130 | 0.0106 | 0.0195 | 0.0335 | 0.0074 |
| x_3 | 0.0107 | 0.0139 | 0.0176 | 0.0245 | 0.0161 | 0.0157 | 0.0140 | 0.0245 | 0.0107 |
| x_4 | 0.0078 | 0.0308 | 0.0258 | 0.0313 | 0.0321 | 0.0298 | 0.0275 | 0.0321 | 0.0078 |
| x_5 | 0.0017 | 0.0443 | 0.0266 | 0.0266 | 0.0032 | 0.0133 | 0.0266 | 0.0443 | 0.0017 |
| x_6 | 0.0033 | 0.0434 | 0.0217 | 0.0434 | 0.0043 | 0.0217 | 0.0217 | 0.0434 | 0.0033 |
| x_7 | 0.0000 | 0.0352 | 0.0352 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0352 | 0.0352 | 0.0352 | 0.0000 |
| x_8 | 0.0113 | 0.0206 | 0.0192 | 0.0186 | 0.0270 | 0.0180 | 0.0199 | 0.0270 | 0.0113 |
| x_9 | 0.0019 | 0.0217 | 0.0239 | 0.0252 | 0.0408 | 0.0267 | 0.0143 | 0.0408 | 0.0019 |
| x_{10} | 0.0068 | 0.0244 | 0.0338 | 0.0273 | 0.0284 | 0.0273 | 0.0354 | 0.0354 | 0.0068 |
| x_{11} | 0.0162 | 0.0026 | 0.0562 | 0.0013 | 0.0122 | 0.0008 | 0.0722 | 0.0722 | 0.0008 |
| x_{12} | 0.0525 | 0.0165 | 0.0144 | 0.0122 | 0.0108 | 0.0160 | 0.0141 | 0.0525 | 0.0108 |
| x_{13} | 0.0301 | 0.0136 | 0.0145 | 0.0089 | 0.0154 | 0.0094 | 0.0189 | 0.0301 | 0.0089 |
| x_{14} | 0.0208 | 0.0204 | 0.0218 | 0.0215 | 0.0212 | 0.0215 | 0.0215 | 0.0218 | 0.0204 |
| x_{15} | 0.0006 | 0.0049 | 0.0581 | 0.0000 | 0.0126 | 0.0000 | 0.0143 | 0.0581 | 0.0000 |
| x_{16} | 0.0556 | 0.0078 | 0.0073 | 0.0094 | 0.0126 | 0.0061 | 0.0163 | 0.0556 | 0.0061 |

依据表 5,采用公式(4)―(5)计算不同评价区域中各指标与最优、最劣向量之间的距离,并评价区域对象与最优方案的接近程度 CI 值(表 6)。同时对接近程度 CI 值进行从小到达排序,以反映风险程度。CI 值越小,则其排序越靠前,也表明该区域的环境灾害风险越小。对表 6 中 CI 值进行分析可以看出:

(1) 环境灾害风险评价的结果显示,CI 值由小到大的顺序依次为:海安<海门<通州区<南通市区<如东<启东<如皋。由此表明,南通市 2010 年环境灾害风险评价中,不同区域间的环境灾害风险的差别较大,最安全的为海安,其风险最小,而风险最大的为如皋,环境安全性最低。

表 6 环境灾害风险评价指标的最优、最劣向量及 CI 值排序

| 区域 | D^+ | D^- | 指标 CI | 排序 |
|------|--------|--------|--------|----|
| 海安 | 0.0779 | 0.1018 | 0.4336 | 1 |
| 海门 | 0.0833 | 0.0970 | 0.4621 | 2 |
| 通州区 | 0.1120 | 0.0785 | 0.5879 | 3 |
| 南通市区 | 0.1202 | 0.0756 | 0.6139 | 4 |
| 如东 | 0.1241 | 0.0632 | 0.6625 | 5 |
| 启东 | 0.1205 | 0.0572 | 0.6780 | 6 |
| 如皋 | 0.1234 | 0.0578 | 0.6812 | 7 |

(2) 从区域划分上看,南通市 7 个区域的环境灾害风险大体可以分为三大类型。CI 值较大的如皋、启东、如东 3 个地区是环境灾害风险的较高区域,而南通市区与通州区则是环境灾害风险的中等区域,风险最小的则为海门与海安地区。

(3) 综合指标权重以及评价指标数据可以发现,海安、海门两地在保持经济较高发展的同时,工业“三废”的排放相对也较少,而且环保投入也占了较大的比重,有利于降低环境灾害风险。相反,如皋、启东、如东经济实力相对较弱,在经济发展的同时,却出现了较大的环境牺牲,工业“三废”排放较高,且环保投入亦较低,因而导致这 3 个地区具有较高的环境灾害风险。

由此,在南通市“江海联动”发展以及“江苏沿海大开发”战略中,应当充分考虑到潜在的环境灾害风险。环境灾害风险较大的地区如皋、启东、如东应当注重加强环保投入,减少工业“三废”排放,同时还应加速经济发展,提升单位面积 GDP 比重,以利于更多的环保经费投入,从而达到减小环境灾害风险和高风险地区安全指数的目的,为区域社会经济的可持续发展提供保障。

4 结论

在经济快速发展与江苏沿海大开发战略的驱动与影响下,南通市经济将进入高速发展的时期。为保证区域经济可持续发展,本文结合指标体系构建与 AHP 方法权重分析,基于 Topsis 方法,对南通市环境灾害风险的区域差异进行了评价。结果表明,在环境变化背景下,南通市不同地区的环境灾害风险具有较大的差异,总体而言,海安风险最小,而如皋风险最大,区域风险由小到大的顺序依次为:海安<海门<通州区<南通市区<如东<启东<如皋。

南通市环境灾害风险的主要诱发因素在于经济发展,尤其是城市化与工业化背景下工业“三废”对环境的影响,同时,环保投入占 GDP 比重的多少也是决

定风险高低的重要原因。因此,在区域经济快速发展的同时,应当加强对环境的保护力度,并积极减少人为活动对环境系统的不利影响,同时还应加强环境保护治理的投入力度与强度。

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] 刘焱序,李春越,任志远,等.基于 LUCC 的生态型城市土地生态敏感性评价[J].水土保持研究,2012,19(4):125-130.

[3] 高超,朱继业,戴科伟,等.快速城市化进程中的太湖水环境保护:困境与出路[J].地理科学,2003,23(6):746-750.

[4] 赵卫权,郭跃.基于主成份分析法和 GIS 技术的重庆市自然灾害社会易损性分析[J].水土保持研究,2007,14(6):305-308.

[5] 李强,杨娟,徐刚,等.泉州海岸带自然灾害易损性的模糊综合分析与评判[J].水土保持研究,2007,14(6):136-138.

[6] 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.

[7] 单树模,王庭槐,金其铭.江苏省地理[M].南京:江苏教育出版社,1986.

[8] 王千,金晓斌,周寅康.江苏沿海地区耕地景观生态安全格局变化与驱动机制[J].生态学报,2011,31(20):5903-5909.

[9] 南通市统计局.南通统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2012.

[10] 江苏省统计局.江苏统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2012.

[11] Olson D L. Comparison of weights in TOPSIS models [J]. Mathematical and Computer Modeling, 2004, 40(7/8):103-115.

[12] Saaty T L. The Analytic Hierarchy Process [M]. USA:McGraw Hill,1980.

[13] 张士锋,陈俊旭,华东,等.水资源系统风险构成及其评价:以北京市为例[J].自然资源学报,2010,25(11):1855-1863.

[14] 贾绍凤,张军岩,张士锋.区域水资源压力指数与水资源安全评价指标体系[J].地理科学进展,2002,21(6):538-544.

[15] 韩宇平,阮本清.区域水安全评价指标体系初步研究[J].环境科学学报,2003,23(2):267-272.

[16] 崔明哲,杨凤海,李佳.基于组合赋权法的哈尔滨市耕地生态安全评价[J].水土保持研究,2012,19(6):184-187,192.