

基于组合思路的天津地区洪涝脆弱性评价研究

杜晓燕¹, 黄岁樑^{2,3}

(1. 安徽工业大学 建工学院, 安徽 马鞍山 243002; 2. 南开大学 环境科学与工程学院, 天津 300071; 3. 天津市城市生态环境修复与污染防治重点实验室, 天津 300071)

摘要: 洪涝灾害是世界主要自然灾害之一,对区域洪涝灾害脆弱性进行评价研究对防洪减灾工作有重大意义。在综合考虑天津地区 13 个区/县的自然条件、社会经济及防灾减灾情况基础上,建立了洪涝灾害脆弱性指标评价体系。为减少评价过程的主观性,采用组合的思路对传统的综合评价模型进行优化,并应用于天津地区洪涝灾害脆弱性综合评价研究中。评价结果表明,天津地区洪涝脆弱度总体水平较高,地区间脆弱度差异明显。在所有评价单元中以位于东部地区的塘沽、汉沽、宁河、东丽 4 区县脆弱度最高。该研究结果可为区域今后制定经济发展规划和开展防洪减灾工作提供理论支撑。

关键词: 洪涝灾害; 脆弱性评价; 组合; 天津地区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)01-0192-05

中图分类号: P426.616

Vulnerability Assessment for Flood Disasters in Tianjin Region Based on a Combination Idea

DU Xiao-yan¹, HUANG Sui-liang^{2,3}

(1. College of Construction, Anhui University of Technology, Maanshan, Anhui 243002, China;

2. College of Environmental Science and Technology, Nankai University, Tianjin 300071, China;

3. Tianjin Key Laboratory of Environmental Remediation and Pollution Control, Tianjin 300071, China)

Abstract: Flood disaster is one of the world's main natural disasters. The study of vulnerability assessment is greatly helpful to regional flood control. After considering natural conditions, socioeconomic situation, and disaster prevention/reduction measures in the 13 districts of Tianjin region, a flood vulnerability assessment index system was firstly established. In order to reduce the subjectivity in the assessing process, a combination idea was adopted to optimize traditional comprehensive assessment model and then assess the flood vulnerability in the region. Results from the assessment showed that Tianjin region was overall in a high level of flood vulnerability and vulnerabilities in different districts had significant difference. For all the assessment units, Tanggu, Hangu, Ninghe, and Dongli districts or counties in the eastern area of Tianjin region had the highest flood vulnerability. This conclusion may provide a theoretical support for Tianjin region to formulate economic development planning and carry on flood control works.

Keywords: flood disaster; vulnerability assessment; combination; Tianjin region

洪涝灾害是世界主要自然灾害之一,防治洪灾一直是世界各国关注的重点问题。然而,有洪水并不一定有洪涝灾害,因为灾害的最终承灾体必须是人类及人类社会的集合体,只有对承灾体部分或整体造成直接损害,洪水才可能演变为灾害。脆弱性评估正是基于这样一种思想,研究人类、人类活动及人类所处的环境(承灾体)在面对致灾因子(洪水)威胁时,抵抗这

种威胁的能力。在同一致灾强度下,灾害后果会随脆弱性的增大而增大。因此,对区域洪涝灾害脆弱性进行评价研究对防洪减灾工作有重大意义。

天津地处华北平原,渤海之滨。海河是流经该区的一条重要河流,五大支流汇合于此,属于海河流域尾闾,有“九河下梢”之称,易受上游暴雨、客水泄洪而造成洪涝灾害,即使本区在干旱年份仍应提高警惕,

收稿日期:2011-02-17

修回日期:2011-04-29

资助项目:天津市科技支撑计划重点项目“天津市水安全计算工具”(09YFSZSF02100)

作者简介:杜晓燕(1982—),女(汉族),山东省泰安市人,硕士,助教,主要从事自然灾害风险评价,安全技术及工程等方面研究。E-mail:me_1211dxy@163.com。

密切关注上游降水情况。而且,近年来超量开采地下水等造成地面下陷,天津市各主要行洪河道泄洪能力大幅下降。洪涝一旦发生,不但会影响城市的基础设施,改变城市部分关键的自然和社会要素,而且可能导致霍乱等疾病的发生。因此,通过对天津地区洪涝灾害脆弱性进行评价及区划研究,希望为政府相关部门部署防洪减灾工作提供一定的理论支持。

目前,虽然在脆弱性评价方法和洪涝风险管理中对脆弱性给予了高度重视^[1-3],但仍缺乏系统的、便于操作的评估方法。目前最常用的思路是在建立指标体系基础上借助一定的数学模型或方法进行综合评价。例如,樊运晓等^[4-5]利用层次分析—模糊综合评判模型对承灾体脆弱性进行评价。然而,在评价过程中很多时候要依靠决策者或专家对事件做出估计,因此不可避免地掺杂着主观性。为此,本文试图将几种方法进行组合,优化传统的综合评价模型,以期尽可能减少评价过程中的主观因素,使评价结果更为客观、准确。

1 洪涝脆弱性指标体系建立及数据处理

根据综合评价指标选取原则^[6],影响洪涝脆弱性的因素,及指标原始数据的可获得性等选取天津地区洪涝脆弱性评价指标,并对原始数据进行标准化处理。

1.1 天津地区洪涝脆弱性影响因素分析及指标选取

一个地区的洪涝脆弱性影响因素可分为自然地理环境、社会经济两大类。在自然地理环境中尤以地貌地形、河流网络/水系分布、植被等影响因素最为显著。

(1) 地貌地形。地势对洪涝的影响有两方面。一是“水往低处流”,地势低的地方较地势高的地方更容易遭受水的侵袭,所以,绝对高程越低,涝灾的脆弱性越大;另一方面,地势平坦的地方,由于积水难以排泄而易致灾,即相对高程越低,越易积水成涝。天津的地势西北高东南低,除北部有窄小山地带外,大部分为地势低平的平原,平均海拔不到 5 m,滨海地区则为 1~3 m。

(2) 河流网络/水系分布。水在河道内的正常流动不会致灾,但一旦遇到大雨或暴雨,溢出河道则易导致水灾。所以,离河道愈近,水系愈密集的地区,遭受洪涝侵袭的可能性就越大。流经天津的河流有海河干流及南运河、北运河、子牙河等,构成天津水系。水田作为一种特殊的人工湿地,一般分布在地势较低及离河道较近的地方,所以水田密度,一定程度上表示了水系分布情况对洪涝的影响。

(3) 植被覆盖。植被因素对降水入渗有较大影响,从而影响区域的洪涝脆弱性。植被可以增强土壤

的蓄水保水能力,一旦雨季来临,可以减缓地表径流和水土流失,同时避免因水土流失而造成河流、水库淤塞。天津大部分为平原,地势平坦,森林覆盖率不高,但通过大量的人工造林工程及绿化设施很大程度上提高了天津的植被覆盖情况。所以,本文用绿化覆盖率来表示天津各区的植被生态环境情况。

(4) 人口因素。人是重要的社会承灾体。灾害对人类社会的影响首要表现即是人口大量伤亡,包括死亡、受伤、失踪、疾病以及紧急转移等。人口密度是灾害脆弱性评价的直接因子,与涝灾灾害脆弱性呈正相关关系,人口密度=评价单元的总人口数/评价单元的国土面积。

(5) 收入因素。人均收入水平的高低直接关系到减灾抗灾投入的能力和潜力,进而影响洪涝灾害脆弱性。

(6) 防灾减灾因素。水库水塘是重要的防洪抗涝措施。区域水利设施的完备情况直接影响着抗灾的潜力和强度,通过水利设施对水资源进行时空调配是降低区域洪涝脆弱性的重要措施之一,所以,我们用单位面积的水库水塘容量来代表某地区的防洪抗涝因素,它与涝灾脆弱性呈负相关关系。

依据上述影响洪涝脆弱性的因素,考虑到综合评价指标选取原则及数据的可获得性,以天津 13 个区/县为评价单元,选取以下指标进行洪涝灾害脆弱性评价研究。表 1 为各指标的原始数据。

1.2 数据标准化处理

由于各指标的单位 and 量级均不同,指标间存在着不可公度性,给综合评价带来不便。为排除指标单位不同及数值量级间的悬殊带来的影响,必须对指标进行标准化处理,包括一致化处理和无量纲化处理。本文中我们分别采用下面公式(1)和(2)进行标准化处理。在上述指标中(表 1),水田面积比(I_2)、人口密度(I_4)与涝灾脆弱度呈正相关关系,即其值越大涝灾脆弱度也越大,因此采用公式(1)进行处理;平均海拔(I_1)、绿化覆盖率(I_3)、人均收入(I_5)及水利设施密度(I_6)与涝灾脆弱度呈负相关关系,即其值越大涝灾脆弱度越小,因此采用公式(2)处理。处理后,所有指标均消除了量纲且全部统一为正向指标。

$$X_i^* = \frac{X_i}{X_{i(\max)}} \quad (1)$$

$$X_i^* = \frac{X_{i(\min)}}{X_i} \quad (2)$$

式中: X_i ——各指标原始数值; $X_{i(\max)}$, $X_{i(\min)}$ ——同类指标中的最大值、最小值; X_i^* ——各指标标准化处理后的相对值。

表 1 天津地区洪涝脆弱性评价指标原始数据

评价单元	平均海拔 I_1 / m	水田面积 比 I_2 / %	绿化覆盖 率 I_3 / %	人口密度 I_4 / (人 · km ⁻²)	人均收入 I_5 (万元/人)	水利设施密度 I_6 / (10 ⁴ m ³ · km ⁻²)
市六区	3.5	27.51	33.37	21 692	2.743 5	5.444
塘沽区	2.5	67.88	35.00	641	10.336 7	9.573
汉沽区	3.0	52.42	35.00	418	2.531 3	8.431
大港区	3.4	5.89	37.00	355	7.599 9	52.498
东丽区	3.3	51.76	37.00	676	6.107 7	4.598
西青区	4.0	19.32	37.67	587	8.115 8	5.562
津南区	3.4	30.42	34.16	1 007	3.002 3	7.648
北辰区	2.8	8.53	45.00	723	6.326 1	3.966
武清区	7.9	0.79	35.54	524	1.894 3	1.702
宝坻区	4.1	13.54	38.80	436	1.391 3	3.002
宁河县	3.6	50.26	25.54	285	1.675 3	1.852
静海县	8.4	1.00	41.03	358	2.802 0	12.198
蓟县	10.0	5.00	42.70	511	1.530 8	98.069

注：(1) 数据来源：《2007 天津统计年鉴》；中国自然资源数据库(<http://www.data.ac.cn/zrzy/G52.asp>)；中国宏观数据挖掘分析系统(<http://number.cnki.net/cyfd/AreaNavi.aspx?code=xj02>)。(2) 蓟县北部小部分为山地，最高海拔 1 000 m 多，远高于天津平均海拔，与其他地区没有相对比较价值；而且，在此强调灾害是自然因素与社会因素共同作用结果。出于以上两点考虑，在确定蓟县平均海拔数据时，排除了山地这部分地势突然增高的区域，而以蓟县大部分地区的平均海拔值为准。(3) 市六区面积狭小，没有水库水塘等水利设施，但海河干流流经，扮演着行洪的角色，有防汛除涝作用，所以，此处用市郊 4 区的平均水利设施密度表示市六区情况。

2 天津地区洪涝灾害脆弱性综合评价

2.1 基于组合优化思路的脆弱性综合评价模型

指标是评价系统的参量，每一个指标反映和刻画事物的一个侧面。在确定了系统参量即指标体系基础上，需要对这些参量进行分析，从而给出最终的评价结果。总体上可分为指标权重值的确定及结合权重结果确定评价方法或模型两大过程。沿袭这种思路，本文试图在确定权重值及评价模型上采用方法组合的手段优化传统的综合评价过程(图 1)。

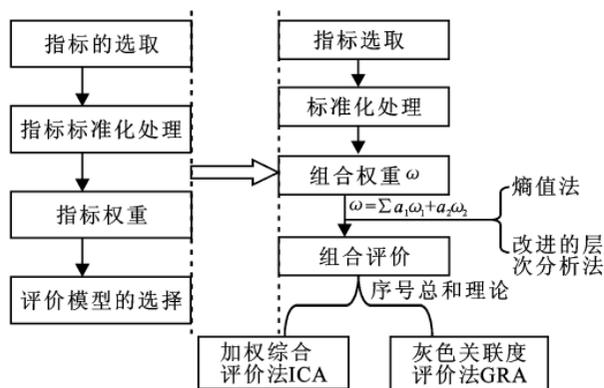


图 1 基于组合优化思路的综合评价模型

2.2 组合权重

权重是综合评价的重要信息，由评价因子的社会价值，决策者的管理目的及评价者的个人知识等因素决定。权重确定方法有多种，如层次分析法^[7]、熵值法^[8]、主成分分析法^[9]等。

本文采用 2 种方法结合进行组合赋权。

首先在主观赋权法和客观赋权法内部各找出一种主、客观方法。考虑到所获得的数据及计算要求，本文选用熵值法和改进的层次分析法。熵值法是客观赋权法中的一种，适用于具有原始数据的情况，具有计算结果可信度较大，自适应功能强等特点^[10]。改进的层次分析法属于主观赋权法，较之常用的层次分析法更为简单、实用、准确。主要是它采用 3 标度代替传统的 9 标度，使判断矩阵的最大特征值最小，而且一致性指标最小，指标权重的精度较好^[11-12]。

其次，根据具体情况确定主、客观赋权法权重系数所占的比例，本文默认主、客观权重同样重要，比例各占 0.5 即 $\alpha_1 = \alpha_2 = 0.5$ 。

最后，求出组合权重系数。计算结果见表 2。

表 2 不同方法下天津地区涝灾脆弱性评价指标权重

编号	指标	赋权方法		
		改进的层次 分析法 ω_1	熵值 法 ω_2	组合 权重 ω
I_1	平均海拔	0.162 3	0.064 5	0.113 4
I_2	水田面积比	0.418 2	0.392 3	0.405 3
I_3	绿化覆盖率	0.085 4	0.009 3	0.047 4
I_4	人口密度	0.045 4	0.053 3	0.049 4
I_5	人均产值	0.025 3	0.171 9	0.098 6
I_6	水利设施密度	0.263 4	0.308 7	0.286 1

2.3 综合评价

随着科技的进步，除传统的加权综合评分法外，一些新兴的方法逐渐被用到综合评价中，如模糊数学

法^[13]、数据包络法^[14]、灰色关联度法^[15]等。不同的方法都是从不同的角度对社会、经济现象进行描述,并且只反映事物的一个侧面,提供事物的一部分信息。为此,在对天津涝灾脆弱性进行综合评价时,选择加权综合评分(ICA, index of comprehensive assessment)和灰色关联度评价(GRA, gray relation analysis)^[16]两种方法。最后,根据序号总和理论^[17]对这两种方法的结果进行汇总,从而给出最终的评价结果(表 3)。

表 3 不同方法下天津地区涝灾脆弱性评价结果

编号	区名	线性加权综合评分法排序	灰色关联度评价法排序	序号总和	总排序
D_1	市六区	5	7	12	4
D_2	塘沽区	2	1	3	1
D_3	汉沽区	4	4	8	2
D_4	大港区	12	12	24	9
D_5	东丽区	3	5	8	2
D_6	西青区	10	10	20	7
D_7	津南区	8	8	16	5
D_8	北辰区	9	9	18	6
D_9	武清区	7	3	10	3
D_{10}	宝坻区	6	6	12	4
D_{11}	宁河县	1	2	3	1
D_{12}	静海县	13	13	26	10
D_{13}	蓟县	11	11	22	8

由表 3 可知,除 D_9 (武清区)由加权评分下的第 7 名最终变为第 3 名外, D_1 (市六区), D_2 (塘沽区), D_5

(东丽区), D_{11} (宁河县)在各方法下名次均只有小幅变动,其他区则没有变化。说明这两种方法下各区排名波动不大,结果基本一致。

最终,我们得到天津各区/县洪涝脆弱性大小顺序为:塘沽区=宁河县>东丽区>汉沽区>武清区>市六区=宝坻区>津南区>北辰区>西青区>蓟县>大港区>静海区。

3 洪涝脆弱性等级区划及结果分析

为便于比较不同地区的脆弱性和为决策者提供帮助,根据表 4 结果,对天津地区洪涝脆弱度情况进行等级区划。

将天津涝灾脆弱度分为 5 个等级(I 强度,II 较强度,III 中度,IV 低度,V 微度),依据上述系统聚类结果,洪涝脆弱度区划结果见表 4 中第 2,3 列。最后,结合表 3 中涝灾脆弱度的总排序($D_2 = D_{11} > D_5 > D_3 > D_9 > D_1 = D_{10} > D_7 > D_8 > D_6 > D_8 > D_4 > D_{12}$),经过分析比较,给出最终等级区划结果(表 4)。

比较依据加权综合评分(ICA)和灰色关联度(GRA)2 类数据的聚类结果发现,除 D_2, D_9, D_7 外其他区/县聚类情况均一致。 D_2, D_9 分别由 ICA 下的 II, III 级到 GRA 的 I, II 级,而 D_7 则由 III 级下降为 IV 级。

进一步对比发现,最终结果与灰色关联度评价(GRA)结果更为一致,只有 D_9 由原来的较强度脆弱等级变为中度脆弱度等级,说明在本案例中 GRA 法要优于 ICA 法。

表 4 不同依据下天津各区涝灾脆弱度聚类(区划)结果

等级	加权综合评分	灰色关联度评价	综合结果
强度 I	D_{11}	D_2, D_{11}	D_2, D_{11} (塘沽区,宁河县)
较强度 II	D_2, D_3, D_5	D_3, D_5, D_9	D_3, D_5 (汉沽区,东丽区)
中度 III	D_1, D_7, D_9, D_{10}	D_1, D_{10}	D_1, D_9, D_{10} (武清区,市六区,宝坻区)
低度 IV	D_6, D_8	D_6, D_7, D_8	D_6, D_7, D_8 (津南区,北辰区,西青区)
微度 V	D_4, D_{12}, D_{13}	D_4, D_{12}, D_{13}	D_4, D_{12}, D_{13} (蓟县,大港区,静海县)

为更直观表述天津地区洪涝脆弱度分布情况,绘制洪涝脆弱度分布图(附图 11)。从附图 11 看出,在 13 个评价单元中有 4 个属于较强及强度脆弱等级,占 30.7%;有 6 个属于中、低度脆弱等级,占 46.2%;有 3 个属于微度脆弱等级,占 23.1%。这说明总体上天津地区的洪涝脆弱性程度较高。

在所有评价单元中位于东南部的 4 个区/县洪涝脆弱性最大,这些地区主要位于东南沿海,海拔较低,而且地面坑塘洼淀众多,一旦降水不及时排出就易形成洪涝。

一般情况下,洪涝灾害与地势关系密切,地势越高洪涝脆弱性越小,反之越大。天津地势大体呈西北高东南低趋势,但从图 2 发现脆弱度分布与此并不完全一致,尤其位于西部的武清区(中度)及位于东南的大港(微度)。

此外,虽然天津地区有山地、丘陵和平原 3 种地形,但平原面积占 94%,也就是说区域间地势差别不大,但从图 2 中发现天津地区脆弱度分区规律却比较明显。这说明影响天津地区洪涝脆弱度的主要因素并不是地势。

调查发现河网分布与水利设施情况对洪涝脆弱度的影响更为明显。例如,虽然武清区反映河网情况的水田面积比较小,但由于水利设施情况较差(在 13 个区/县中排名最后),因此,虽然其处于地势相对较高的西部,洪涝脆弱度依然不乐观;与此相反的是大港,其虽处地势不利的东南,但由于水利设施情况较好(仅此于蓟县,排名第 2),面对洪涝威胁反而有很好的抵抗能力,洪涝风险较低。

综上所述,天津地区洪涝脆弱度总体水平较高,特别是东部地区。因此,塘沽、汉沽、宁河、东丽 4 个区/县应是今后防洪减灾工作的重点,建议开展一些开挖水库水塘,加固防洪堤,疏通河道等建设,必要时对人口及产业布局进行适当调整。

4 结论

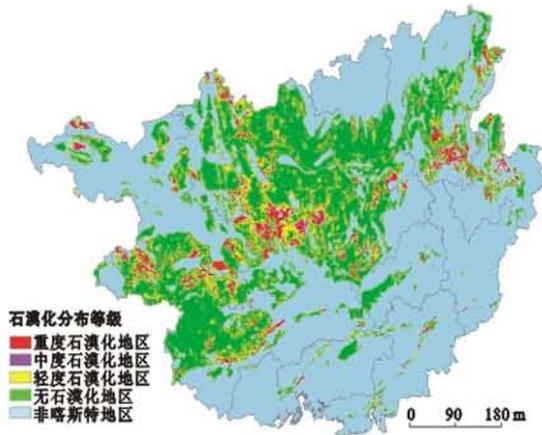
通过优化传统的综合评价过程对天津地区洪涝脆弱性进行评价,最终确定涝灾脆弱度排序:塘沽区 > 宁河县 > 武清区 > 汉沽区 > 东丽区 > 宝坻区 > 市六区 > 津南区 > 北辰区 > 西青区 > 蓟县 > 大港区 > 静海县。并且,按微度、低度、中度、较强度、强度 5 个等级进行聚类,结果表明,面对洪涝威胁,2 个区/县属于强度脆弱区,2 区/县属于较强度脆弱区,均位于天津东部。因此,以后防洪抗涝工作中应着力降低东部沿海的洪涝脆弱度。

进行脆弱性综合评价时合理选取评价指标是关键。由于区域脆弱性一般受到该地区自然环境、社会经济和防灾减灾等因素的综合影响,而这些因素随着区域的发展也在不断变化,所以,如何建立全面、准确的旱涝灾害脆弱性评价指标体系还需深入探讨。

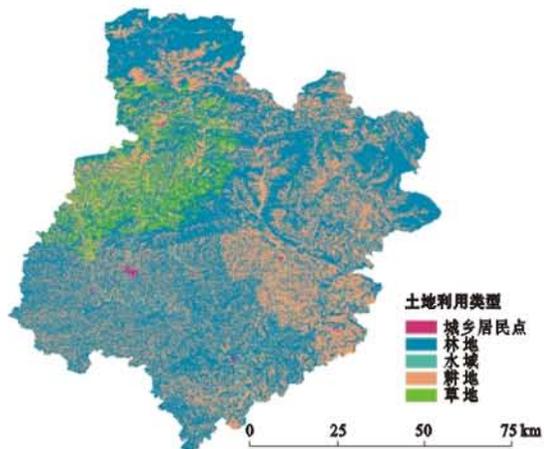
为使综合评价过程更为客观、准确,本文采用了“组合”的思路,即改进的层次分析法+熵值法,加权综合评分+灰色关联度两块组合。然而,评价方法多种多样,随着科技进步也会不断涌现出新方法,如何选择这些方法及找出最优组合,这一点值得我们进一步探讨和研究。

[参 考 文 献]

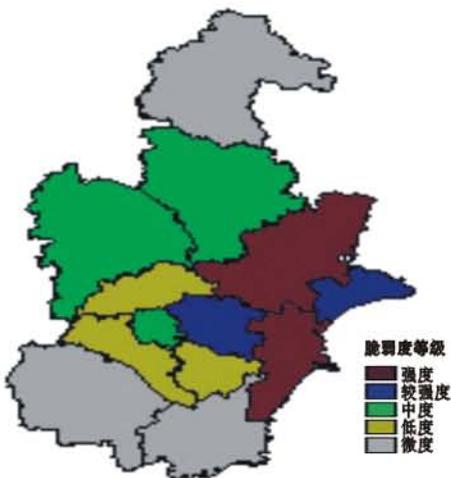
- [1] 周成虎,万庆,黄诗峰,等. 基于 GIS 的洪水灾害风险区划研究[J]. 地理学报,2000,55(1):15-24.
- [2] 魏成阶,王世新,刘亚岚. 1998 年全国洪涝灾害遥感监测评估的主要成果[J]. 自然灾害学报,2000,9(2):16-20.
- [3] 冯利华,吴樟荣. 区域易损性的模糊综合评判[J]. 地理学与国土研究,2001,17(2):63-66.
- [4] 樊运晓,罗云,陈庆寿. 区域承灾体脆弱性评价指标体系研究[J]. 现代地质,2001,15(1):113-116.
- [5] 樊运晓,高朋会,王红娟. 模糊综合评判区域承灾体脆弱性的理论模型[J]. 灾害学,2003,18(3):20-23.
- [6] 高吉喜,潘英姿,柳海鹰,等. 区域洪水灾害易损性评价[J]. 环境科学研究,2004,17(6):30-34.
- [7] 苏鹏程,韦方强,徐爱淞,等. 四川省汶川地震灾区震后山地灾害综合风险评价[J]. 水土保持通报,2011,31(1):231-237.
- [8] 张成科. 基于熵的水质模糊评价模型及应用[J]. 系统工程理论与实践,1998,6(6):80-85.
- [9] 蔡艺. 主成分方法在综合评价中的应用[J]. 中国统计,2005(2):24-26.
- [10] 张卫民. 北京城市可持续发展综合评价研究[D]. 北京:北京工业大学,2002.
- [11] 朱瑞祥. 农业机械化管理学[M]. 长春:吉林科学技术出版社,2000.
- [12] 陈衍泰,陈国宏,李美娟. 综合评价方法分类及研究进展[J]. 管理科学学报,2004,7(2):77-76.
- [13] 张俊香,卓莉,刘旭拢. 广东省台风风暴潮灾害社会经济系统脆弱性分析:模糊数学方法[J]. 自然灾害学报,2010,19(1):116-121.
- [14] 程翠云,钱新,盛金保,等. 基于数据包络分析的溃坝洪水灾害脆弱性评价[J]. 水土保持通报,2010,30(3):144-157.
- [15] 李秀珍,王成华,邓宏艳. 灰色关联度法和距离判别分析法在溪洛渡库区潜在滑坡判别中的应用[J]. 中国地质灾害与防治学报,2010,21(4):77-81.
- [16] 叶义成,柯丽华,黄德育. 系统综合评价技术及其应用[M]. 北京:冶金工业出版社,2006:180-184.
- [17] 夏萍. 定点医院医疗保险业务监督评价指标体系的建立及综合评价方法的应用探讨[D]. 成都:四川大学,2004.



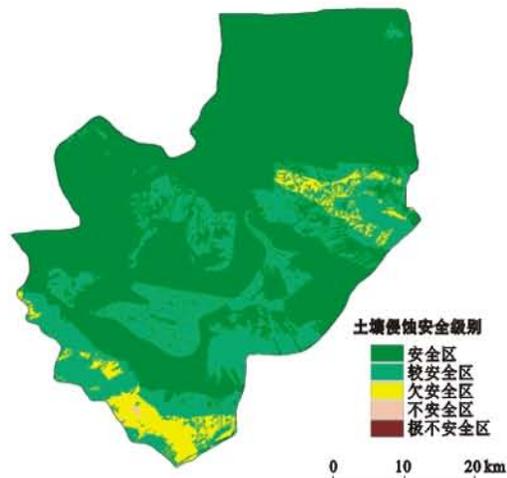
附图9 2007年广西壮族自治区喀斯特石漠化分布



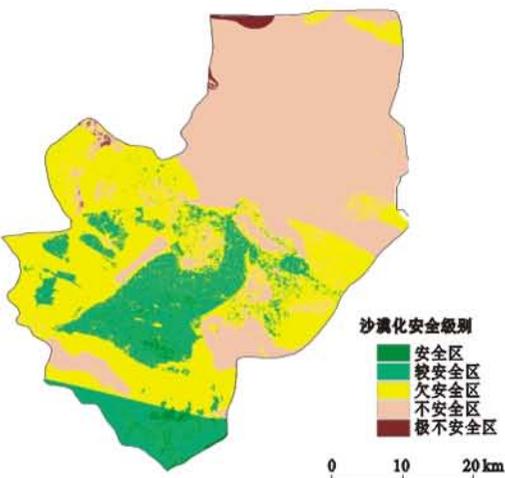
附图10 2007年陕西省巴中市土地利用状况



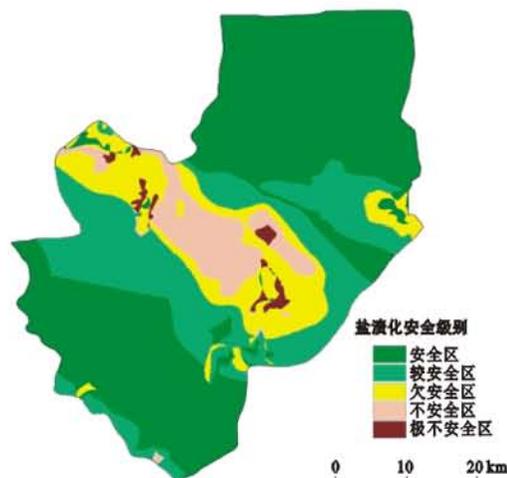
附图11 天津地区洪涝脆弱度等级区划



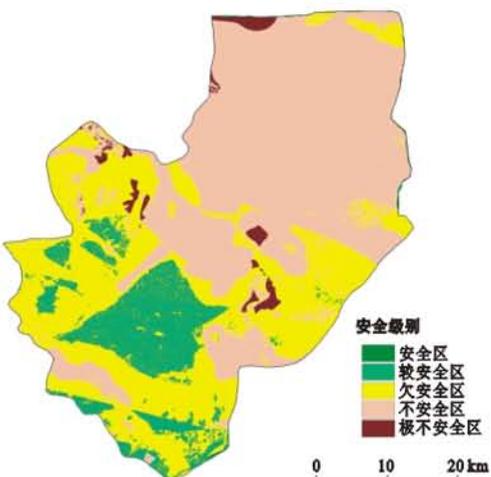
附图12 甘肃省张掖市甘州区土壤侵蚀安全评价分级



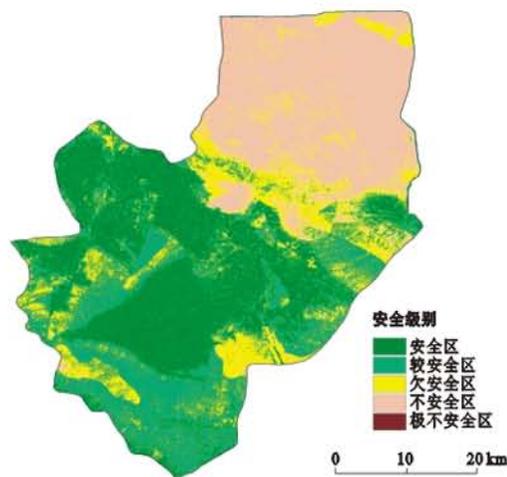
附图13 甘肃省张掖市甘州区沙漠化安全评价分级



附图14 甘肃省张掖市甘州区盐渍化安全评价分级



附图15 甘肃省张掖市甘州区土地利用规划前(2007年)的环境影响评价结果



附图16 甘肃省张掖市甘州区土地利用规划后(2020年)的环境影响评价结果