

基于属性识别模型的重庆市生态安全动态评价

易武英¹, 苏维词^{1,2}

(1. 重庆师范大学 地理与旅游学院, 重庆 400047; 2. 贵州省科学院 山地资源研究所, 贵阳 550001)

摘 要:根据“压力—状态—响应”模型构建生态安全评价指标体系,采用熵权法与属性识别耦合模型对重庆市九大主城区生态安全状况进行综合评价。评价结果表明:2006—2010 年,重庆九大区中沙坪坝区、渝北区及巴南区生态安全状况略有所改善,具有较好的发展趋势,生态安全得分有所增加;但渝中区、江北区及九龙坡区生态安全状况有所下降,由较安全等级向不安全等级转变,生态安全得分下降;大渡口区、南岸区和北碚区生态安全处于波动状况,发展趋势不确定性较大。与其他模型相比,属性识别模型计算过程简单,评价结果精度较高,能进行有效识别和比较分析,为生态安全评价提供一种新的思路。

关键词:生态安全评价; 属性识别模型; 重庆市

中图分类号:F301

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2013)02-0207-06

Dynamic Evaluation of Ecological Security of Chongqing City Based on Attribute Distinction Theory

YI Wu-ying¹, SU Wei-ci^{1,2}

(1. School of Geographic Science, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China;

2. Research Institute of Mountainous Resources, Guizhou Academy of Sciences, Guizhou 550001, China)

Abstract: The evaluation system of ecological security of Chongqing City was built according to the model of Pressure-State-Response, and the model of coupling of the entropy weight and attribute distinction theory was applied to comprehensively assess the nine districts of Chongqing City. The evaluation showed that the ecological security of Shapingba, Yubei District and Banan District in Chongqing had shown some improvement, evolving from low ecological security grade to the high grade, and the score of ecological security presented an increase trend. But the ecological security change trend and score of Yuzhong, Jiangbei and Jiulongpo Districts showed an opposite situation. The ecological security situation of Dadoukou, Nanyan and Beibei Districts fluctuated, and the development trend was uncertainty. Attribute distinction model has the advantage of simple calculation, high precision, and more effective identification as well as comprehensive analysis compared with the others models, which is regarded as a new way for ecological security evaluation.

Key words: evaluation of ecological security; attribute distinction theory; Chongqing City

目前生态安全已成为国内外学术界的研究热点,吸引众多学者围绕该课题展开研究。随着全球生态安全形势日益严峻,各种生态问题凸显,在一定程度上对人类生存与发展构成威胁,生态安全研究日益迫切^[1-3]。与国防安全、社会安全、经济安全类似,生态安全已成为国家安全的重要组成部分。随着城市化进程加速发展,城市生态安全受到的威胁不断加剧^[4],城市生态安全是一个国家或区域生态安全的基

础和核心^[5],其评价研究对维持整个城市生态系统健康、持续发展,以及城市生态环境综合整治具有重要意义。

城市生态评价多借鉴有关区域及流域生态安全评价模型及方法。目前主要评价模型框架有压力—状态—响应(PSR)模型^[6]、驱动力—状态—响应(DSR)模型^[7]、驱动力—压力—状态—影响—响应(DPSIR)模型^[8]、驱动力—压力—状态—响

收稿日期:2012-08-29

修回日期:2012-10-07

资助项目:国家自然科学基金(41261038);国家十二五科技支撑计划专题(2011BAC02B02,2011BAC09B01,2012BAJ25B09);贵州省重大科技专项(黔科合重大专项字 20126015)

作者简介:易武英(1987—),女,湖南邵阳人,硕士研究生,主要从事区域生态环境与可持续发展研究。E-mail: yiwuyingsy@163.com

通信作者:苏维词(1965—),男,湖南绥宁人,研究员,主要研究领域:生态环境与可持续发展。E-mail: suweici@sina.com

(DPSR)模型^[9]。目前生态安全评价方法主要有生态足迹法^[10-11]、景观分析法^[12]、综合指数评价法^[13-14]、全排列图示指标法^[15]等。目前众多学者在城市生态安全评价方面取得了不少成果,如施晓清等^[16]阐述了城市生态安全的内涵;曾翠萍等^[17]基于 PSR 模型,运用层次分析法和综合指数法对庆阳市生态安全进行了评价;龚建周^[18]借助于 3S 技术,结合景观生态学理论对广州市生态安全进行了研究,李明月和赖笑娟^[19]运用 BP 神经网络模型对城市土地安全进行评价。城市生态系统具有复杂性、非线性及区域性特点,评价模型及评价方法应遵循因地制宜原则。与上述模型相比,属性识别模型更能进行有效识别和比较分析。

本文根据经济合作发展组织与联合国环境规划署(UNEP)共同提出的压力—状态—响应(PSR)概念模型,构建生态安全评价框架,选取最能反映重庆区域特点的指标,采用客观权重确定方法——熵权法来确定指标权重,将熵权法与属性识别模型进行耦合,对重庆市九大主城区 2006—2010 年生态安全状况进行综合评价和比较分析,以增加公众对城市目前生态状况的了解,为重庆市生态环境建设提供参考依据。

1 属性识别模型

属性识别模型由程乾生于 20 世纪 90 年代提出,以属性集、属性测度理论为基础,与其他数学方法相比,更能对事物进行有效识别和比较分析,近年来在预测、评价、决策等领域得到了广泛应用^[20]。部分学者将该模型引入生态环境研究中,目前已取得不少成果。如吴开亚和金菊良^[21]在区域生态安全评价研究中,提出以属性识别模型单指标评价思路;王国平等^[22]将属性识别模型运用到大气环境质量评价;赵青等^[23]将属性识别模型与综合评价模型进行对比研究。本文尝试运用属性识别模型对重庆市生态安全进行动态评价,旨在增加公众对主城区生态环境状况的了解,为主城区管理和社会经济系统可持续发展提供参考。

1.1 属性集

设 X 为研究对象的全体,称为对象空间。在 X 中取 n 个样品 x_1, x_2, \dots, x_n 。对每个样品要测量 m 个指标 I_1, I_2, \dots, I_m 。第 x_i 个样品的第 j 个评价指标 I_j 的测量值为 x_{ij} ,构建属性空间矩阵。再设 F 为 X 上某类属性空间, (C_1, C_2, \dots, C_k) 为属性空间 F 的有序分割类,且满足 $(C_1 > C_2 > \dots, C_k)$,其中 a_{jk} 满足 $a_{j1} < a_{j2} < \dots < a_{jk}$,或者 $a_{j1} > a_{j2} > \dots > a_{jk}$ 。

1.2 属性综合测度

假设 $a_{j1} < a_{j2} < \dots < a_{jk}$,首先求出第 i 个样品 x_i 的第 j 个指标值 x_{ij} 具有第 k 个属性集的属性 C_k 的属性测度 U_{ijk} 。

当 $x_{ij} \leq a_{j1}$ 时,取 $U_{ij1} = 1, U_{ij2} = \dots = U_{ijk} = 0$ 。

当 $x_{ij} \geq a_{jk}$ 时,取 $U_{ijk} = 1, U_{ij1} = \dots = U_{ijk-1} = 0$ 。

当 $a_{jl} < x_{ij} < a_{jl+1}$ 时,取 $U_{ijl} = \frac{|x_{ij} - a_{jl+1}|}{|a_j - a_{jl+1}|}$,

$$U_{ij+1} = \frac{|x_{ij} - a_{jl}|}{|a_{jl} - a_{jl+1}|}, U_{jk} = 0 (k < l \text{ 或 } k > l+1)。$$

(1)

设各指标的权重为 $W(W_1, W_2, \dots, W_m), W_j \geq 0$,

$$\sum_{j=1}^m w_j = 1$$

(2)

由此可得各指标属性测度:

$$U_{ik} = U(x_i)U_{ik} = U(x_i \in C_k) = \sum_{j=1}^m W_j U_{ijk},$$

$$1 \leq i \leq n, 1 \leq k \leq K$$

(3)

1.3 属性识别与比较分析

根据置信度准则,置信度 λ (一般取 0.5~0.6,本研究中取 0.65),计算 k_i :

$$k_i = \min\{k: \sum_{l=1}^k U_{xi}(C_l) \geq \lambda, 1 \leq k \leq K\}$$

(4)

取 k_i 直到满足上式,则认为 x_i 属于 C_l 类。按照评分准则,计算 x_i 的分数:

$$q_{xi} = \sum_{l=1}^k n_l U_{xi}(C_l)$$

(5)

其中 n_l 为属性集 C_l 的分数, $l=1, 2, \dots, k$ 。通常对于 $C_1 > C_2 > \dots > C_k$ 的情形,取 $n_l = k+1-l$;对于 $C_1 < C_2 < \dots < C_k$ 的情形,取 $n_l = l$ 。最后可根据 q_{xi} 的大小对 x_i 进行比较和排序。

2 重庆市城市生态安全评价

2.1 研究区概况

重庆市位于长江上游,地处东经 $105^{\circ}11'$ — $110^{\circ}11'$ 、北纬 $28^{\circ}10'$ — $32^{\circ}13'$,属于亚热带湿润季风气候,地貌类型以山地、丘陵为主,受地形分割的影响,城市结构属于组团式。重庆是西南地区的经济增长极,而重庆主城区则是重庆市政治、经济、文化中心。本文以渝中区、江北、沙坪坝、九龙坡、南岸、大渡口、渝北、北碚、巴南九大区为研究对象。近年来,重庆市社会经济发展快速,取得巨大成就,尤其是 1997 年直辖以来。但快速的工业化、城市化进程,给重庆带来了一系列的生态环境问题,目前主城区人口拥挤,交通堵塞严重、用地紧张,城市热岛效应加剧,这在一定程度上对城市健康、持续发展构成了威胁。

2.2 生态安全评价指标体系

城市是一个社会—经济—自然复合系统,其生态安全受到自然因素和人文因素的综合影响,具有复杂性、动态性等特点。本文运用经济合作发展组织与联合国环境规划署(UNEP)共同提出的压力—状态—响应(PSR)概念模型,借鉴国内外相关的研究成果^[24-26],遵循科学性、完整性、可操作性原则,结合研究区生态系统的特点,构建生态安全评价体系。该评

价体系由目标层、准则层、指标层 3 个层次组成,城市生态安全综合指标为目标层,反映城市生态安全总的态势;“压力—状态—响应”为准则层;16 个表征社会经济的指标为指标层。

系统压力(B_1)包括 $C_1—C_3$ 共 3 个指标;系统状态(B_2)包括 $C_4—C_{12}$ 共 9 个评价指标;系统响应(B_3)包括以下包括 $C_{13}—C_{16}$ 共 4 个指标,各评价指标具体含义及分级情况如表 1 所示。

表 1 城市生态安全评价体系及生态安全等级

项目	单位	指标分级标准					
		安全	较安全	临界安全	较不安全	不安全	
压力(B_1)	人口密度(C_1)	人/ km^2	<150	$[150,350)$	$[350,500)$	$[500,800)$	≥ 800
	人口自然增长率(C_2)	$\%$	<0.7	$[0.7,3)$	$[3,5)$	$[5,7)$	$[7,12]$
	GDP 年增长率(C_3)	$\%$	$[18,10)$	$[10,8)$	$[8,5)$	$[5,3)$	≤ 3
	人均 GDP(C_4)	万元	>10	$[10,5)$	$[5,3)$	$[3,0.7)$	≤ 0.7
状态(B_2)	人均道路(C_5)	m	>28	$[28,20)$	$[20,15)$	$[15,10)$	≤ 10
	城镇化率(C_6)	$\%$	>50	$[50,40)$	$[40,30)$	$[30,20)$	≤ 20
	万元 GDP 能耗标煤(C_7)	t	<0.5	$[0.5,0.85)$	$[0.85,1.25)$	$[1.25,1.75)$	≥ 1.75
	人均公共绿地面积(C_8)	m^2	>16	$[16,10)$	$[10,7)$	$[7,4)$	≤ 4
	区域环境噪声均值(C_9)	dB	<47.5	$[47.5,52.5)$	$[52.5,57.5)$	$[57.5,60)$	≥ 60
	第三产业占 GDP 比重(C_{10})	$\%$	>80	$[80,60)$	$[60,50)$	$[50,40)$	≤ 40
	建成区绿化覆盖率(C_{11})	$\%$	>50	$[50,40)$	$[40,30)$	$[30,20)$	≤ 20
	城市居民恩格尔系数(C_{12})	$\%$	<30	$[30,40)$	$[40,50)$	$[50,60)$	≥ 60
响应(B_3)	环保投资占 GDP 比重(C_{13})	$\%$	$[6,4)$	$[4,3.5)$	$[3.5,2.5)$	$[2.5,1.5)$	≤ 1.5
	工业废水排放达标率(C_{14})	$\%$	100	$[100,90)$	$[90,80)$	$[80,70)$	≤ 70
	饮用水源水质达标率(C_{15})	$\%$	$[100,95)$	$[95,85)$	$[85,65)$	$[65,50)$	≤ 50
	工业固废综合利用率(C_{16})	$\%$	$[100,95)$	$[95,90)$	$[90,80)$	$[80,60)$	≤ 60

注:数据来源于重庆市统计年鉴(2007—2011)、重庆市环境统计公报(2006—2010)、中国城市统计年鉴(2007—2011)及重庆市各区国民经济和社会发展统计公报(2006—2010)。

2.3 评价指标权重的确定

目前权重确定方法主要有主观权重法、客观权重法和主客观相结合的方法。本文权重的确定采用客观权重法中的 Shannon 熵权法,从数据本身所反映的信息来确定权重,克服主观因素的影响,使权重的确定更客观、准确。首先构建由 n 个方案 m 个评价指标组成的判断矩阵:

$$R=(X_{ij})_{nm} \quad (i=1,2,\cdots,n;j=1,2,\cdots,m) \quad (6)$$

为了消除量纲的影响,必须对数据进行归一化处理,得到新判断矩阵 X'_{ij} ,其中收益性指标按公式(7)进行处理:

$$X'_{ij}=\frac{X_{ij}-\min(X_{ij})}{\max(X_{ij})-\min(X_{ij})} \quad (7)$$

成本性指标根据公式(8)进行处理:

$$X'_{ij}=\frac{\max(X_{ij})-X_{ij}}{\max(X_{ij})-\min(X_{ij})} \quad (8)$$

第 i 个评价指标下第 j 个待评价监测点评价价值比重 P_{ij} 为:

$$P_{ij}=X_{ij}'/\sum_{j=1}^nX_{ij} \quad (9)$$

第 i 个评价指标的的 Shannon 熵为:

$$e_i=-\frac{1}{mn}\sum_{j=1}^n P_{ij}\ln P_{ij} \quad (10)$$

如果 P_{ij} 为 0,则定义 $P_{ij}\ln P_{ij}=0$,第 i 个评价指标的权重为:

$$\overline{w_i}=(1-e_i)/\sum_{i=1}^n(1-e_i) \quad (11)$$

且满足:

$$\sum_{j=1}^m\overline{w_i}=1 \quad (12)$$

2.4 生态评价安全等级体系

目前城市生态安全评价等级划分没有形成统一的标准,本文参考国家或国际标准以及国家或国际公认的生态城市、园林城市、环保模范城市标准以及前人的研究成果^[27],把重庆市城市生态安全划分为 5 个等级,分别是安全、较安全、临近安全、较不安全、不安全,各等级具体情况及描述如表 2 所示。

表 2 重庆市生态安全评价分级标准

等级	生态安全得分	生态状况	指标特征
I	≥2.0	安全	生态环境质量高,生态结构处于自然理想状况、人类生产生活活动对生态功能未造成任何影响,不存在任何严重生态环境问题
II	1.8~2.0	较安全	生态结构完整、生态功能正常发挥,生态过程安全进行,人类施加的压力在系统可承载范围内,系统仍有序、健康运行
III	1.65~1.8	临近安全	生态结构受到一定的干扰,但对绝大部分生态功能正常发挥影响不大。生态破坏、环境污染在可修复范围内,处于正负演化的边缘地区,一旦保护力度下降,环境极易恶化,该阶段生态环境具有高度敏感性
IV	1.55~1.65	较不安全	生态结构遭到破坏,部分生态功能发挥受阻,生态平衡受到严重干扰。生态环境的恶化危及人类身体健康,生态修复需投入巨大的人力、物力、财力,部分生态问题无法得到根治
V	<1.55	不安全	生态结构受到严重破坏,部分生态功能完全丧失,生态环境严重失衡。人类施加的压力远超出环境可承载范围,生态环境修复、重建难度巨大

3 结果与分析

3.1 生态安全影响因子

由表 3 可知,2006—2010 年不同年份重庆市生态安全主要影响因子略有不同,但人口密度、人口增长率、万元 GDP 能耗标煤、建成区绿化覆盖率、工业固体废弃物利用率、工业废水排放达标率及第三产业占 GDP 比重均为重庆市生态安全的重要影响因子,所占权重较大。重庆市人口密度大,是住房紧张、交通拥挤问题的源头,劳动密集型产业不占优势的重庆,丰富的劳动力资源难以得到高效利用,反而在一定程度上成为经济发展的限制因子。

表 3 2006—2010 年重庆市生态安全各评价指标权重情况

年份	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年
C ₁	0.075	0.077	0.075	0.071	0.069
C ₂	0.07	0.065	0.064	0.069	0.073
C ₃	0.067	0.066	0.066	0.066	0.059
C ₄	0.052	0.057	0.054	0.061	0.065
C ₅	0.048	0.045	0.053	0.051	0.054
C ₆	0.056	0.065	0.063	0.057	0.054
C ₇	0.069	0.074	0.067	0.069	0.071
C ₈	0.052	0.055	0.057	0.061	0.063
C ₉	0.05	0.054	0.055	0.057	0.055
C ₁₀	0.068	0.069	0.069	0.071	0.067
C ₁₁	0.069	0.067	0.070	0.063	0.068
C ₁₂	0.053	0.056	0.053	0.055	0.053
C ₁₃	0.067	0.057	0.056	0.059	0.068
C ₁₄	0.07	0.065	0.065	0.062	0.057
C ₁₅	0.065	0.062	0.064	0.069	0.071
C ₁₆	0.069	0.066	0.069	0.059	0.053
B ₁	0.212	0.208	0.205	0.206	0.201
B ₂	0.517	0.542	0.541	0.545	0.550
B ₃	0.271	0.25	0.254	0.249	0.249

目前重庆以重工业为主的产业结构未被扭转,能耗大、污染重,经济发展的环境成本高、可持续性差,重庆要实现经济健康、持续、快速发展,必须调整产业结构使其合理化,发展循环经济、低碳产业,降低经济发展的环境成本,以实现社会、环境、经济三者的协调、健康、持续发展。

3.2 生态安全得分评价

2006—2010 年重庆市九大区生态安全评价综合得分及生态安全状况隶属等级情况如表 4 所示。表 4 说明,不同区县或同一个区县即使隶属同一个等级,但生态安全得分有所不同,根据生态安全得分可进一步进行比较分析。巴南区、渝北区、沙坪坝区具有良好的发展趋势,生态安全得分总体上呈增加趋势;但江北区、九龙坡区生态状况有向逆向演替的趋势,生态安全得分随着时间推移略有所下降;大渡口区、南岸区、北碚区以及渝中区生态安全状况处于波动状况,未来发展趋势具有不确定性。

3.3 生态安全空间格局分析

重庆市 2006—2010 年生态安全状况空间分布如图 1 所示,2006 年重庆市较安全、临近安全、较不安全及不安全所占面积比重分别为 4.05%,14.67%,54.28%,27%;2007 年分别为 4.05%,60.04%,9.31%,29.60%;2008 年分别为 1.89%,51.31%,20.2%,26%;2009 年分别为 33.44%,12.95%,53.61%,0%;2010 年分别为 33.4%,24.89%,41.27%,0.4%。研究期间处于较安全的面积比重基本增加,不安全所占面积比重不断下降,临近安全及较不安面积比重总体上呈先增加后减少的趋势。总体来看,重庆市生态环境状况并不乐观,虽较安全面积比重与 2006 年相比得到了很大程度的提升,但较不安全隐患面积比重仍较大,在改善环境质量上仍需努力。

表 4 重庆市各个区生态安全状况隶属等级及生态得分

区县	2006 年		2007 年		2008 年		2009 年		2010 年	
	等级	得分	等级	得分	等级	得分	等级	得分	等级	得分
渝中区	V	1.614	IV	1.629	IV	1.635	IV	1.642	V	1.559
大渡口区	III	1.638	IV	1.778	II	1.878	III	1.681	IV	1.635
江北区	II	1.817	II	1.801	III	1.758	III	1.691	III	1.664
沙坪坝区	IV	1.617	IV	1.637	IV	1.613	III	1.673	III	1.829
九龙坡区	III	1.659	III	1.633	IV	1.627	IV	1.619	IV	1.607
南岸区	III	1.676	III	1.641	IV	1.609	IV	1.608	IV	1.613
北碚区	IV	1.689	III	1.746	III	1.619	IV	1.615	III	1.655
渝北区	V	1.526	V	1.535	V	1.547	IV	1.629	IV	1.642
巴南区	IV	1.545	III	1.751	III	1.781	II	1.854	II	1.922

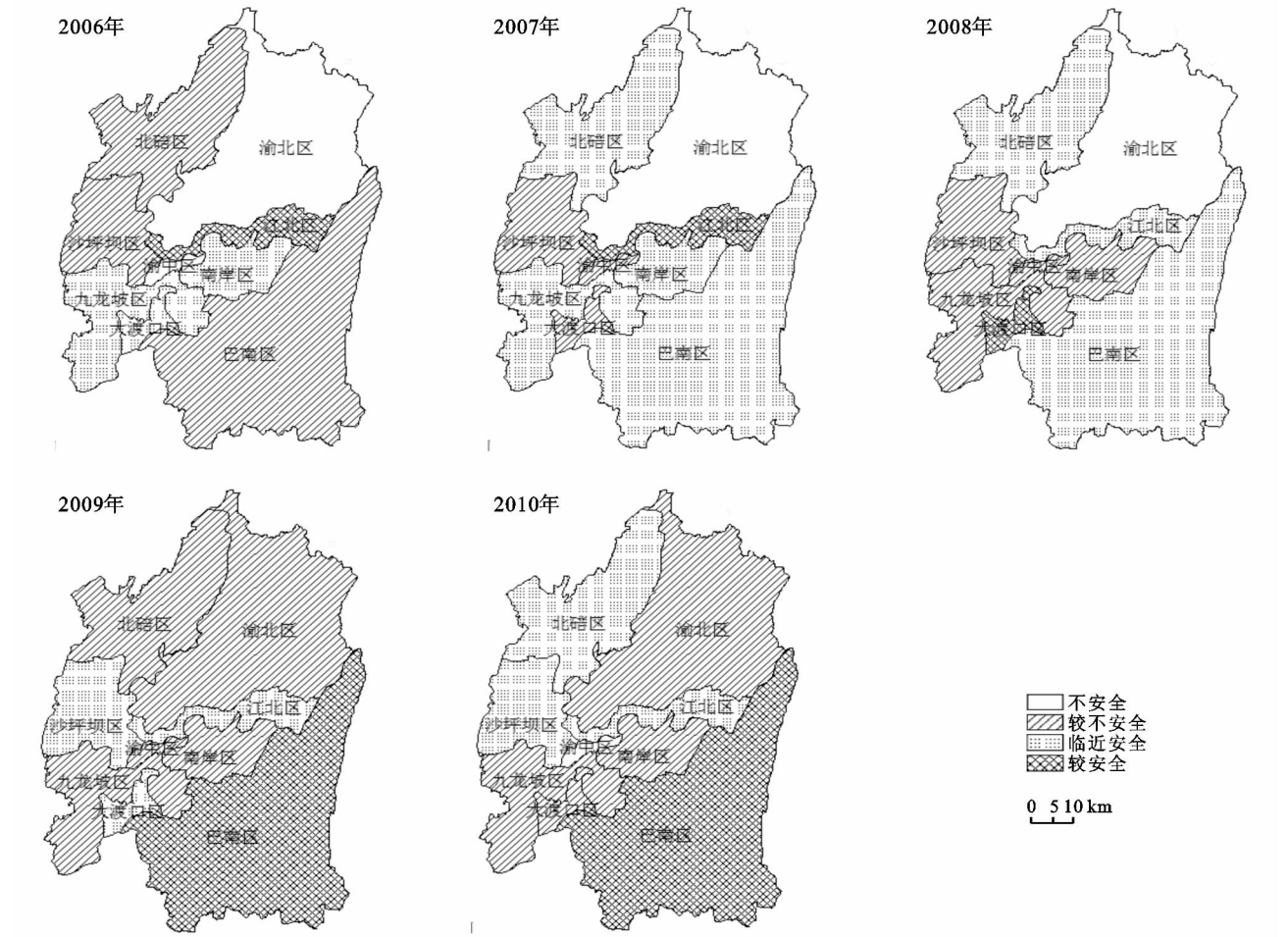


图 1 2006—2010 年重庆市九大主城区生态安全等级空间分布

4 结论与讨论

城市生态安全评价对城市生态安全问题有有效、及时预防、预警的作用,对加强城市生态环境综合整治,促进城市健康、持续发展具有重要意义。重庆市生态安全的问题主要由于人口密度大,以重工业为主的产业结构,以及快速的城市化进程所导致。以重工业为主的产业结构物耗能耗高、环境污染严重,具有极大的脆弱性和不安全性,不利于整个城市社会经济和生态环境的协调和可持续发展。总体上重庆市的

生态安全状况呈改善的方向发展,但不安全所占面积比重还是较大,根据评价结果以及经济状况应采取相应的预防措施,防止环境的进一步恶化。

本文采用熵权属性耦合模型对重庆市 1999—2010 年生态环境安全状况进行了评价,评价结果与实际情况基本符合,属性识别模型计算过程简单、可操作性强,为生态安全评价提供了一种新思路。但属性识别模型中置信度 λ 值的确定带有一定的主观性,目前尚未有统一的标准,还有待进一步完善。此外,PSR 概念模型缺乏对自然压力的考虑,但把该模型运

用到受人类活动强烈影响进行城市生态安全评价是可行的。

参考文献:

- [1] 张洁,马蔚纯,HO HonHing. 基于 LUCC 的城市生态安全研究进展[J]. 生态学报,2007,27(5):2109-2117.
- [2] 肖笃宁,陈文波,郭福良. 论生态安全的基本概念与研究方法[J]. 应用生态学报,2002,13(3):354-358.
- [3] 李双江,罗晓,胡亚妮. 快速城市化进程中石家庄城市生态系统健康评价[J]. 水土保持研究,2012,19(3):245-249.
- [4] 和春兰,饶辉,赵筱青. 中国生态安全评价研究进展[J]. 云南地理环境研究,2010,22(3):105-110.
- [5] 杨春红,张正栋,田楠楠,等. 基于 P—R—S 模型的汕头市土地生态安全评价[J]. 水土保持研究,2012,19(3):209-214.
- [6] 刘世梁,郭旭东,连纲,等. 黄土高原典型脆弱区生态安全多尺度评价[J]. 应用生态学报,2007,18(7):1554-1559.
- [7] 张楠,孟伟,张远,等. 辽河流域河流生态系统健康的多指标评价方法[J]. 环境科学研究,2009,22(2):162-172.
- [8] 张继权,伊坤朋,Hiroshi Tani,等. 基于 DPSIR 的吉林省白山市生态安全评价[J]. 应用生态学报,2011,22(1):189-195.
- [9] 孙晓蓉,邵超峰. 基于 DPSIR 模型的天津滨海新区环境风险变化趋势分析[J]. 环境科学研究,2010,23(1):68-73.
- [10] 陈景东,张志强,程国栋,等. 中国 1999 年的生态足迹分析[J]. 土壤学报,2002,39(3):441-445.
- [11] 任志远. 陕北黄土高原生态安全动态变化定量分析[J]. 干旱区地理,2005,28(5):642-646.
- [12] 角媛梅,肖笃宁. 绿洲景观空间邻接特征与生态安全分析[J]. 应用生态学报,2004,15(1):31-35.
- [13] 高长波,韦朝海,陈新庚. 区域生态安全评价时间序列动态分析:以广东省为例[J]. 地理与地理信息科学,2005,21(6):105-107.
- [14] 曾翠萍,邱慧珍,张文明,等. 基于 PSR 模型的庆阳市生态安全评价[J]. 干旱区资源与环境,2010,24(12):67-72.
- [15] 饶清华,邱宇,王菲凤,等. 福建省山仔水库生态安全评价[J]. 水土保持研究,2011,18(5):221-225.
- [16] 施晓清,赵景柱,欧阳志云. 城市生态安全及其动态评价方法[J]. 生态学报,2005,25(12):3237-3243.
- [17] 曾翠萍,邱慧珍,张文明,等. 基于 PSR 模型的庆阳市生态安全评价[J]. 干旱区资源与环境,2010,24(10):67-72.
- [18] 龚建周,夏北成,陈健飞. 基于 3S 技术的广州市生态安全景观格局分析[J]. 生态学报,2008,28(9):4323-4333.
- [19] 李明月,赖笑娟. 基于 BP 神经网络方法的城市土地生态安全评价:以广州市为例[J]. 经济地理,2011,31(2):289-293.
- [20] 程乾生. 属性识别理论模型及其应用[J]. 北京大学学报:自然科学版,1997,33(1):19-33.
- [21] 吴开亚,金菊良. 区域生态安全评价的熵组合权重属性识别模型[J]. 地理科学,2008,28(6):754-758.
- [22] 王国平,杨洁,王洪光. 大气环境质量属性识别理论评价模型及应用[J]. 环境科学与管理,2007,32(10):179-182.
- [23] 赵青,王子龙,姜秋香. 属性识别理论模型在土壤肥力综合评价中的应用[J]. 农业系统科学与综合研究,2007,23(3):265-271.
- [24] 官冬杰,苏维词. 城市生态系统健康评价方法及其应用研究[J]. 环境科学学报,2006,26(10):1716-1722.
- [25] 和春兰,饶辉,赵筱青. 中国生态安全评价研究进展[J]. 云南地理环境研究,2010,22(3):104-110.
- [26] 蔡宗玺,陈燕. 生态安全的研究进展与展望[J]. 环境科学与管理,2010,35(2):126-129.
- [27] 胡碧玉,胡昌升,郭郡郡. 基于熵权的川北城市生态系统健康综合评价[J]. 水土保持研究,2010,17(6):158-168.