

# 基于熵权的川北城市生态系统健康综合评价

胡碧玉<sup>1,3</sup>, 胡昌升<sup>2</sup>, 郭郡郡<sup>3</sup>

(1. 四川职业技术学院, 四川 遂宁 629000; 2. 四川省遂宁市人民政府, 四川 遂宁 629000; 3. 西华师范大学  
区域经济研究所, 四川 南充 637009)

**摘 要:**从经济、社会、环境 3 个方面建立了城市生态系统健康评价的指标体系, 采用熵值法赋予指标权重, 应用模糊数学方法构建评价模型, 对川北城市生态系统状态进行了研究, 结果表明: 按最大隶属度原则, 川北各城市生态系统健康在经济要素和社会要素方面均处于病态, 在环境要素方面, 除南充处于很健康以外, 其他各城市均处于病态, 城市生态系统健康综合状况川北 6 市则均处于病态。在对各评语集赋予数值后, 川北 6 个城市生态系统健康综合状况的排序为: 南充、达州、广安、遂宁、广元、巴中。

**关键词:**生态系统健康; 熵权; 模糊数学; 川北城市

中图分类号: F291; X171.4

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)06-0158-05

## An Entropy Weight Approach on the Synthetic Assessment of the Northern Sichuan Urban Ecosystem Health

HU Bi-yu<sup>1,3</sup>, HU Chang-sheng<sup>2</sup>, GUO Jun-jun<sup>3</sup>

(1. Sichuan Vocational and Technical College, Suining, Sichuan 629000, China; 2. Government of Sichuan Suining, Suining, Sichuan 629000, China; 3. Regional Economic Institute of China West Normal University, Nanchong, Sichuan 637009, China)

**Abstract:** The state of urban ecosystem of northern Sichuan was studied based on the established health index system of urban ecosystem assessment in terms of the economic, social and environmental dimensions, weight indicators given by using entropy method, a model by the application of fuzzy evaluation method. The results showed that the northern city of ecosystem health in the economic and social elements were in a sick according to the principle of the largest membership. Nanchong is healthy and the other cities are sick with respect to the environmental factors. Integrated urban ecosystems of 6 cities in northern Sichuan are sick. According to the comments on the set of values, integrated ecosystem health status of 6 cities in northern of Sichuan were sorted from the best to the poor as the order of Nanchong, Dazhou, Guang'an, Suining, Guangyuan, Bazhong.

**Key words:** ecosystem health; entropy; fuzzy math; northern city of Sichuan

20 世纪 80 年代末, 在可持续发展思想的推动下, 相关学者提出了生态系统健康的概念, 生态系统健康指结合人类健康, 在生态学框架下对生态系统状态特征的一种系统诊断方式, 但目前关于这一概念的确切定义, 国内外学者并未达成共识<sup>[1-3]</sup>。伴随着人们对生态环境的日益关注, 对生态系统健康的研究也越来越深入, 众多学者分别从不同的学科视角和研究个案出发, 对生态系统健康的概念、生态系统健康的影响因子及评价指标的选择和方法等方面进行了研

究<sup>[4-6]</sup>。早期学者主要关注自然生态系统的健康, 大部分研究主要集中在湖泊/流域生态系统健康评价<sup>[7]</sup>, 森林生态系统健康长期监测<sup>[8]</sup>, 农业生态系统健康评价<sup>[9]</sup>等方面。但近年来, 对城市生态系统健康的研究逐渐成为理论界关注的热点, 例如 Jerry 等人<sup>[10]</sup>采用驱动力-压力-状态-暴露-影响-响应(DP-SEEA)探讨了城市生态系统健康的概念及建立评价指标体系的理论、方法的建立问题。郭秀锐等<sup>[11]</sup>从活力、组织结构、恢复力、生态系统功能的维持、人群

收稿日期: 2010-04-07

资助项目: 四川省哲学社会科学(SC09B036); 四川省科技厅 2008 软科学项目(2008ZR0187)

作者简介: 胡碧玉(1963-), 女, 四川成都人, 博士, 教授, 硕士生导师, 研究方向为区域可持续发展, 人口、资源与环境经济学。E-mail: kangweiyue1982@163.com

通信作者: 胡昌升(1963-), 男, 江西高安人, 博士, 研究方向为区域经济管理。E-mail: hcs@suining.gov.cn

健康状况等方面构建了城市生态系统健康评价指标体系, 并采用模糊数学方法建立了评价模型。曾勇等<sup>[12]</sup>用压力- 状态- 响应机制建立了评价指标体系, 并用模糊优选模型对上海市城市生态系统健康进行了时间序列评价。官东杰等<sup>[13]</sup>从城市生态系统结构功能、可持续利用能力和动态变化等方面出发, 提出评价城市生态系统健康的初级指标体系, 并用模糊综合评价法对重庆的城市生态系统健康进行了评价。

综合而言, 已有的城市生态系统健康研究主要是对单个城市的评价, 城市之间的比较研究相对较少, 在对生态系统健康评价指标的选择方面, 国内外学者也未达成一致意见<sup>[10]</sup>。针对目前的研究现状, 在总结以往学者研究成果的基础上, 本文尝试构建城市生态系统健康评价的指标体系, 并对川北地级城市南

充、达州、遂宁、广安、巴中、广元进行比较研究。

# 1 评价指标体系的建立

## 1.1 评价指标的选择

理论界并没有公认的城市生态系统健康评价应的指标体系。Rapport 认为<sup>[1]</sup>, 生态系统健康是指一个生态系统所具有的稳定性和可持续性, 这一概念是针对一般的生态系统而言, 而城市生态系统是受人类活动干扰最强烈的地区, 它已经演化成为一种高度人工化的自然- 社会- 经济复合生态系统。国家环保局也将环境保护, 经济发展, 社会进步 3 个方面作为我国生态城市的评价标准。因此, 在参考了相关文献的基础上<sup>[14-15]</sup>, 本文从经济、社会、环境 3 个方面构建城市生态系统健康评价的指标体系(表 1)。

表 1 川北城市生态系统健康评价指标体系

要素	类别	具体指标	南充	达州	遂宁	广安	巴中	广元	
经济	活力	人均 GDP $x_1$ / 万元	0.823	0.897	0.857	0.905	0.764	0.563	
		GDP 增长率 $x_2$ / %	14.400	14.500	14.800	14.300	12.000	14.300	
		第三产业占 GDP 比重 $x_3$ / %	30.130	28.840	28.100	35.710	35.620	35.240	
	效率	万元 GDP 能耗标煤 $x_4$ / t	1.090	1.940	1.500	2.800	0.850	1.210	
		万元工业增加值能耗标煤 $x_5$ / t	2.630	7.640	3.590	5.250	2.890	3.640	
		总资产贡献率 $x_6$ / %	18.540	15.970	10.920	16.050	12.280	11.160	
	持续发展能力	R&D 经费占 GDP 比重 $x_7$ / %	0.380	0.070	0.640	0.040	0.080	0.230	
		科技活动经费占 GDP 比重 $x_8$ / %	0.720	0.170	1.120	0.100	0.400	0.670	
		环保投资占 GDP 比重 $x_9$ / %	0.300	0.660	1.030	0.050	0.130	0.340	
	发展力	城市人口失业率 $x_{10}$ / %	4.600	4.100	4.600	4.000	4.200	4.800	
城镇居民恩格尔系数 $x_{11}$		46.600	43.860	49.330	48.4000	55.800	43.000		
社会	服务能力	万人拥有公交车辆 $x_{12}$ / 台	2.230	4.330	1.380	0.320	0.610	1.340	
		万人拥有病床数 $x_{13}$ / 张	17.930	17.130	16.550	12.280	14.820	28.830	
		城市用水普及率 $x_{14}$ / %	97.070	96.370	85.290	86.170	76.400	89.750	
		城市燃气普及率 $x_{15}$ / %	95.780	91.400	75.290	74.190	59.080	73.410	
		人口自然增长率 $x_{16}$ / ‰	1.700	2.800	2.00	2.300	3.500	1.700	
	人类	百人公共图书馆藏书 $x_{17}$ / 册	26.680	46.090	12.710	93.740	15.750	33.440	
		健康	城市人口密度 $x_{18}$ / (人 · km <sup>- 2</sup> )	749.110	885.140	780.850	807.680	512.120	201.100
	每万人刑事案件发案率 $x_{19}$		5.770	23.440	7.170	5.140	7.630	24.280	
	环境		结构	市区人均公共绿地面积 $x_{20}$ /m <sup>2</sup>	12.170	15.610	9.640	5.880	2.880
		市区绿化覆盖率 $x_{21}$ / %		1.040	1.840	0.830	0.580	0.220	0.270
人均城市道路面积 $x_{22}$ /m <sup>2</sup>		4.930		3.160	3.390	2.690	1.980	3.450	
建成区绿地覆盖率 $x_{23}$ / %		38.510		17.700	29.630	50.000	26.350	19.030	
恢复能力		城镇生活污水处理率 $x_{24}$ / %	24.120	49.970	14.130	17.010	33.800	7.450	
		工业废水排放达标率 $x_{25}$ / %	91.080	68.870	95.440	74.900	93.950	78.270	
		工业固废综合利用率 $x_{26}$ / %	99.470	85.240	99.780	39.800	61.030	82.700	

## 1.2 评价标准

目前学术界尚无统一认可的城市生态系统健康评价标准, 在参照以往学者研究的基础上<sup>[16-18]</sup>, 依据国家对健康城市的要求和国家环保局健康城市建设的标准, 我们将城市生态系统健康评价标注分为 5 个等级, 即病态, 不健康, 临界状态, 健康, 很健康(见表

2)。并以国内的园林城市、环保模范城市的建议值作为很健康的标准值, 以全国最低值为病态的限定值, 在前者基础上向下浮动 20% 作为健康和临界状态的划分标准值, 在后者基础上向上浮动 20% 作为不健康和临界状态的划分标准值, 前后两次确定的临界状态标准值相互调整得到最终值。

表 2 川北城市生态系统健康评价指标分级标准

要素	具体指标	病态	不健康	临界状态	健康	很健康
经济	$X_1$ /万元	< 0.7	0.7~ 3	3~ 6	6~ 8	8~ 12
	$X_2$ / %	< 4	4~ 6	6~ 9	9~ 12	12~ 15
	$X_3$ / %	< 30	30~ 40	40~ 60	60~ 80	> 80
	$X_4$ / t	> 0.5	0.5~ 0.35	0.35~ 0.25	0.25~ 0.1	< 0.1
	$X_5$ / t	> 2.0	2.0~ 1.5	1.5~ 1.0	1.0~ 0.5	< 0.5
	$X_6$ / %	< 10	10~ 15	15~ 25	25~ 30	> 30
	$X_7$ / %	< 1.0	1.0~ 2.5	2.5~ 4	4~ 5	> 5
	$X_8$ / %	< 3	3~ 5	5~ 8	8~ 10	> 10
	$X_9$ / %	< 1.0	1.0~ 2.0	2.0~ 3.5	3.5~ 5.0	> 5.0
社会	$X_{10}$ / %	> 4.8	4.8~ 3.6	3.6~ 2.4	2.4~ 1.2	< 1.2
	$X_{11}$	> 50	50~ 40	40~ 30	30~ 20	< 20
	$X_{12}$ / 台	< 10	10~ 16	16~ 22	22~ 30	> 30
	$X_{13}$ / 张	< 20	20~ 40	40~ 60	60~ 80	80~ 100
	$X_{14}$ / %	< 65	65~ 75	75~ 85	85~ 95	95~ 100
	$X_{15}$ / %	< 65	65~ 75	75~ 85	85~ 95	95~ 100
	$X_{16}$ / ‰	> 11	11~ 9	9~ 7	7~ 5	< 5
	$X_{17}$ / 册	< 50	50~ 100	100~ 200	200~ 300	> 300
	$X_{18}$ / (人· km <sup>-2</sup> )	> 6000	6000~ 5000	5000~ 4000	4000~ 3000	< 3000
环境	$X_{19}$	> 100	100~ 80	80~ 50	50~ 20	< 20
	$X_{20}$ / m <sup>2</sup>	< 4	4~ 8	8~ 13	13~ 18	> 18
	$X_{21}$ / %	< 0.5	0.5~ 1.5	1.5~ 3	3~ 4	> 4
	$X_{22}$ / m <sup>2</sup>	< 10	10~ 15	15~ 20	20~ 25	> 25
	$X_{23}$ / %	< 10	10~ 20	20~ 30	30~ 40	> 40
	$X_{24}$ / %	< 10	10~ 30	30~ 60	60~ 80	80~ 100
	$X_{25}$ / %	< 70	70~ 80	80~ 90	90~ 95	95~ 100
	$X_{26}$ / %	< 60	60~ 70	70~ 80	80~ 90	90~ 100

2 评价方法

2.1 指标权重的确定

指标权重确定的方法很多,概括起来主要有主观赋权法,客观赋权法以及组合赋权法 3 类。本文应用客观赋权法中的熵值法赋予指标权重,熵值法就是根据各指标传输给决策者的信息量的大小来确定指标权数的方法。某项评价指标的差异越大,熵值越小,该指标包含和传输的信息越多,相应权重越大。其步骤为<sup>[19]</sup>:

(1) 将各项指标数值进行归一化处理

$$a_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^n x_{ij} \quad i=1, 2, 3, \dots, n; j=1, 2, 3, \dots, m$$

(1)

式中:  $a_{ij}$  ——第  $i$  个参评对象第  $j$  个评价指标的标准化值;  $x_{ij}$  ——第  $i$  个参评对象第  $j$  个评价指标的原始值;  $n$  ——参评对象的个数;  $m$  ——评价指标的个数。

(2) 计算评价指标的熵值  $H_j$

$$H_j = -k \sum_{i=1}^n a_{ij} \ln a_{ij}$$

(2)

式中:  $k$  ——调节系数,且  $k=1/\ln n$ ;  $a_{ij}$  ——第  $i$  个参评对象第  $j$  个评价指标的标准化值。

(3) 将熵值转换为反映差异大小的权数  $w_j$ 。

$$w_j = \frac{1 - H_j}{m - \sum_{j=1}^m H_j}$$

(3)

根据以上步骤,将川东北 6 个城市的各指标现状值(表 1)代入,求得川东北城市生态系统健康评价指标权重(表 3)。

表 3 川东北城市生态系统健康评价指标权重

经济		社会		环境	
(W= 0.341712)		(W= 0.392146)		(W= 0.266141)	
指标	权重	指标	权重	指标	权重
$X_1$	0.021768	$X_{10}$	0.035383	$X_{20}$	0.031798
$X_2$	0.020209	$X_{11}$	0.023573	$X_{21}$	0.029305
$X_3$	0.043998	$X_{12}$	0.050477	$X_{22}$	0.053782
$X_4$	0.023638	$X_{13}$	0.04469	$X_{23}$	0.050251
$X_5$	0.022947	$X_{14}$	0.026308	$X_{24}$	0.041491
$X_6$	0.05262	$X_{15}$	0.029117	$X_{25}$	0.033771
$X_7$	0.064465	$X_{16}$	0.025178	$X_{26}$	0.025743
$X_8$	0.043735	$X_{17}$	0.063114		
$X_9$	0.048332	$X_{18}$	0.055021		
		$X_{19}$	0.039285		

2.2 城市生态系统健康的综合评价

生态系统健康水平是一个相对的概念, 可以作为一个模糊问题处理, 采用模糊数学的方法判断城市复合生态系统的健康水平, 其步骤为<sup>[20-21]</sup>:

- (1) 确定被评价对象的因子论域  $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$  和评语论域  $V = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_m\}$ 。
- (2) 在被评价对象的因子论域  $X$  与评语等级  $V$  之间进行单因子评价, 建立模糊关系矩阵  $R$ , 即:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{1m} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{n1} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

式中:  $r_{ij}$  ——因子论域  $X$  中第  $i$  个因素  $x_i$  对应于评语论域  $V$  中第  $j$  个等级  $v_j$  的相对隶属度。相对隶属度的计算是模糊数学方法的关键, 相对隶属度的计算分正向指标和负向指标, 等级健康的标准值取范围的平均值。

对正向指标, 其计算公式为: 当  $x_i \geq s_{i5}$  时,  $r_{i5} = 1$ ,  $r_{i1} = r_{i2} = r_{i3} = r_{i4} = 0$ ; 当  $s_{ij} \leq x_i \leq s_{j+1}$  时,  $r_{ij+1} = \frac{x_i - s_{ij}}{s_{j+1} - s_{ij}}$ ,  $r_{ij} = 1 - r_{ij+1}$ ; 当  $x_i \leq s_{i1}$  时,  $r_{i1} = 1$ ,  $r_{i2} = r_{i3} = r_{i4} = r_{i5} = 0$ 。

对负向指标, 其计算公式为: 当  $x_i \geq s_{i1}$  时,  $r_{i1} = 1$ ,  $r_{i2} = r_{i3} = r_{i4} = r_{i5} = 0$ ; 当  $s_{j+1} \leq x_i \leq s_j$  时,  $r_{ij+1} = \frac{s_j - x_i}{s_j - s_{j+1}}$ ,  $r_{ij} = 1 - r_{ij+1}$ ; 当  $x_i \leq s_{i5}$  时,  $r_{i5} = 1$ ,  $r_{i1} = r_{i2} = r_{i3} = r_{i4} = 0$ 。

式中:  $r_{ij}$  ——第  $i$  个指标对第  $j$  级标准的相对隶属度;  $x_i$  ——第  $i$  个指标的现状值;  $s_j$  ——第  $i$  个指标的第  $j$  级健康标准值。

- (3) 确定模糊矩阵综合评价模型为:  $B = W_i \cdot R = (B_1, B_2, B_3, B_4, B_5)$ ,  $W_i = (w_1, w_2, w_3, \dots, w_i)$ , 式中:  $B$  ——城市生态系统健康判断结果;  $W_i$  ——用熵权法确定的各评价指标对城市生态系统健康的权重。

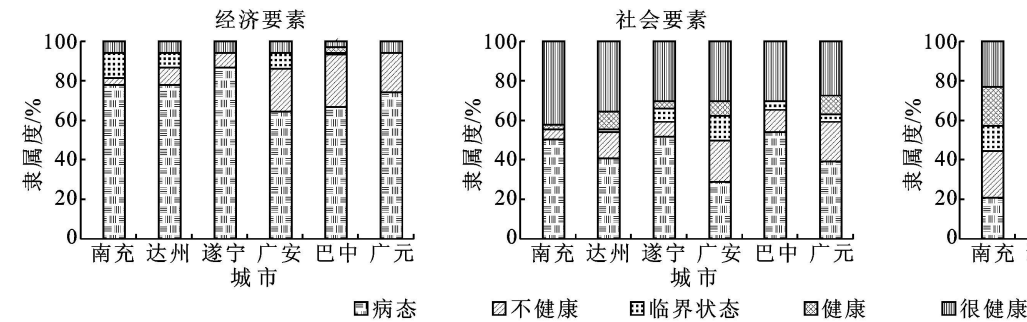


图2 川北城市各要素生态系统健康评价结果

- (3) 按最大隶属度原则, 川北城市生态系统健康状况均处于病态, 除南充的环境要素属于很健康外, 川北城市的经济、社会、环境各要素也均处于病态。

3 评价结果与讨论

3.1 评价结果

将川北城市各指标的现状值代入综合评价模型, 并分别赋予评语很健康, 健康, 临界状态, 不健康, 病态分数为 10, 8, 6, 4, 2, 可得川北城市生态系统健康评价结果:

- (1) 川北城市生态系统健康总评价结果为:  $\{4.855, 4.536, 4.338, 4.502, 4.021, 4.128\}$ , 从整体上看, 川北城市生态系统的健康优劣排序为南充, 达州, 广安, 遂宁, 广元, 巴中。按最大隶属度原则, 川北城市生态系统健康水平均属于病态(图 1), 且病态隶属度分别为  $\{0.517, 0.511, 0.57, 0.451, 0.575, 0.532\}$ , 广安对病态的隶属度最小, 为 0.451, 但南充对健康和很健康的隶属度之和为 0.308, 明显高于其他城市。

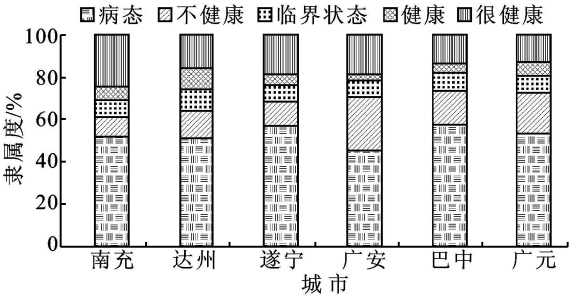


图1 川北城市生态系统健康评价结果

- (2) 川北城市生态系统各评价要素的健康优劣排序结果如图 2 所示: 经济要素的健康最优为广安(3.219), 按最大隶属度原则均处于病态, 且对病态隶属度最小的为广安(0.064 7); 社会要素的健康最优为广安(5.799), 按最大隶属度原则均处于病态, 且对病态隶属度最小的为广安(0.284); 环境要素的健康最优为南充(6.034), 按最大隶属度原则除南充属于很健康外, 其余 5 个城市均属于病态, 但南充对病态和不健康的隶属度之和要高于对健康和很健康的隶属度之和。

经济发展的主要问题在于, 资源利用的效率低以及可持续发展的能力差。社会进步主要受城市的服务能力的影响。环境结构层次低以及环境恢复能力差则

成为环境要素病态的主要原因。值得一提的是,在创建全国优秀旅游城市的过程中,南充加强了对环境保护的重视,并加大了环保基础设施的投入,取得了不错的效果,其环境要素是川北 6 市中唯一处于很健康状态的要素。

(4) 对各评语集赋予分数后表明,相对而言,南充是川北 6 市中生态系统健康状况最好的城市,城市生态系统健康综合排名在川北 6 市中居第一,经济、社会和环境 3 个要素的生态系统健康则分别位于川北 6 市中的第二、第三和第一。但是与其他 5 市相比,南充的优势并不明显,例如经济要素的生态系统健康劣于广安,社会要素的生态系统健康则劣于广安和达州。因此,以城市生态系统健康为视角,川北并没有明显的区域中心城市。

### 3.2 讨论

由于城市生态系统健康及其评价是一门正在兴起的学科,其理论和方法还不成熟,很多问题还有待进一步研究和解决。

(1) 评价指标体系的确定带有一定的主观性。从不同角度出发,采用不同方法,就有许多不同的指标值得重视和考虑。且由于数据的获得性等原因的制约,还有许多因子并未考虑,这为城市生态系统健康指标体系的研究留下了空间。

(2) 由于城市生态系统是一个经济-社会-环境复合生态系统,城市系统中各要素不是孤立地存在,每个要素在系统中都处于一定的位置上,起着特定的作用。要素之间相互关联、互相依存、互相影响,构成了一个不可分割的有机整体。但我们在评价过程中并未综合考虑他们之间的相互作用,这也是今后的研究值得特别关注的问题。

## 4 结语

在总结目前提出的一般生态系统健康的概念和分析城市生态系统特征基础上,本文归纳了城市生态系统健康的内涵及城市生态系统健康评价的理论,并从经济、社会、环境 3 个方面建立了城市生态系统健康评价的指标体系,采用熵值法赋予指标权重,应用模糊数学方法构建评价模型,对川东北 6 市的城市生态系统状况进行了评价和比较。本研究采用熵值法确定各评价指标的权重,避免了其他赋权方法的主观性,使评价指标权重的确定更趋科学、合理。同时采用模糊数学方法评价城市生态系统健康级别隶属度状态,从而避免了城市生态系统健康评价标准难以确定的问题。

(1) 川东北 6 市的城市生态系统健康受社会要素

的影响较大,经济要素的影响要小于社会要素,而环境要素的影响最小。

(2) 按最大隶属度原则,川东北 6 市的城市生态系统健康均处于病态,且病态隶属度最小的为广安;经济要素和社会要素的生态系统健康,川东北 6 市均处于病态,且对病态隶属度最小的均为广安,环境要素除南充处于很健康外,其余 5 市均处于病态。

(3) 在对各评语集赋予数值后,川东北 6 个城市生态系统健康综合状况的排序为:南充,达州,广安,遂宁,广元,巴中。

### 参考文献:

- [1] Rapport D J. What constitutes ecosystem health? [J]. *Perspect Biol Med.*, 1998, 33(2): 120-132.
- [2] McMichael A J, Bolin B, Costanza R, et al. Globalization and the sustainability of human health: an ecological perspective [J]. *Bioscience*, 1999, 49: 205-210.
- [3] Schaefer D J, Henricks E E, Kerster H W. Ecosystem health I: Measuring ecosystem health [J]. *Environ Manage*, 1988, 12(3): 445-455.
- [4] Nordin M, Azrina L A. Training and research for measuring and monitoring ecosystem health of a large scale ecosystem [J]. *Ecosyst Health*, 1998, 4(3): 188-190.
- [5] Callicott J B. The value of ecosystem health [J]. *Environmental Values*, 1995, 4: 345-346.
- [6] Rapport D J. Gaining respectability: development of quantitative methods in ecosystem Health [J]. *Ecosystem Health*, 1999, 5: 1-2.
- [7] 赵臻彦, 徐福留, 詹巍. 湖泊生态系统健康定量评价方法 [J]. *生态学报*, 2005, 25(6): 1466-1474.
- [8] Noble L R, Dirzo R. Forests as human-dominated ecosystems [J]. *Science*, 1997, 277: 522-525.
- [9] 谢花林, 李波, 刘黎明. 基于压力-状态-响应模型的农业生态系统健康评价方法 [J]. *农业现代化研究*, 2005, 26(5): 366-369.
- [10] Jerry M S, Mariano B, Annalee Y, et al. Developing ecosystem health Indicators in centro habana: A community based approach [J]. *Ecosystem Health*, 2001, 7(1): 15-26.
- [11] 郭秀锐, 杨居荣, 毛显强. 城市生态系统健康评价初探 [J]. *中国环境科学*, 2002, 22(6): 525-529.
- [12] 曾勇, 沈根祥, 黄沈发. 上海城市生态系统健康评价 [J]. *长江流域资源与环境*, 2005, 14(2): 208-212.
- [13] 官东杰, 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.
- [14] 官东杰, 苏维词. 城市生态系统健康及其评价指标体系研究 [J]. *水土保持研究*, 2006, 13(5): 70-73.

(下转第 168 页)

布不均匀,形成两极分化,高的上千,低的只有几十。密度高的主要集中在沿海的几个比较发达的城市。应大力推动人口向内地迁移。推动空间城市化的动力来自人口密度,而推动人口密度平衡发展的动力来自于经济的平衡发展。社会城市化是福建省的主要薄弱环节。

(3)从整体上看福建省生态环境与城市化的耦合协调关系,中强度中协调的地区比较多,低强度低协调的地区比较少。福建省生态环境与城市化耦合关系较好,协调度比较高,生态环境和城市化的整体协同效应比较好。二者协同发展的能力比较强,对于福建省这个高森林覆盖率的省份,是一个很好的契机。

#### 参考文献:

- [1] 许学强,周一星,宁越敏.城市地理学[M].北京:高等教育出版社,1996:36-39.
- [2] 杨士弘.城市生态环境学[M].北京:科学出版社,2003:4-5.
- [3] 黄金川,方创琳.城市化与生态环境交互耦合机制与规律性分析[J].地理研究,2003,22(2):212-220.
- [4] 陈述彭.地学信息图谱的探索研究[M].北京:商务印书馆,2001:6-8.
- [5] 陈述彭,岳天祥,励惠国.地学信息图谱研究及其应用[J].地理研究,2000,19(4):337-343.
- [6] 廖克,秦建新,张青年.地球信息图谱与数字地球[J].地理研究,2001,20(1):55-61.
- [7] 陈燕,齐清文,杨桂山.地学信息图谱的基础理论探讨[J].地理科学,2006,26(3):306-310.
- [8] 齐清文,池天河.地学信息图谱的理论与方法研究[J].地理学报,2001,56(增刊):8-18.
- [9] 廖克.21世纪的地球信息科学及其应用[J].测绘科学,2001,26(2):1-7.
- [10] 陈菁.基于地学信息图谱的福建省生态环境脆弱性分析[J].世界地理研究,2009,18(2):169-176.
- [11] 张洪岩,王钦敏,鲁学军,等.地学信息图谱方法研究的框架[J].地球信息科学,2003,5(4):101-103.
- [12] 齐清文.地球信息图谱的最新进展[J].测绘科学,2004,29(6):15-23.
- [13] 陈媛媛,翟亮.基于三维动态可视化技术的生态环境地学信息图谱研究[J].测绘科学,2007,32(2):78-80.
- [14] 鲍文东,侯志华,吴泉源.基于地学信息图谱的土地利用动态变化研究:以山东省龙口市为例[J].地域研究与开发,2007,26(3):80-85.
- [15] 李慧珍.地学信息图谱的应用探讨:以福州市为例[D].福州:福建师范大学,2006.
- [16] 陈燕,齐清文,杨桂山.地学信息图谱时空维的诠释与应用[J].地球科学进展,2006,21(1):10-13.
- [17] 陈菁.生态环境综合信息图谱的研究:以福建省为例[M].北京:气象出版社,2008:8-10.
- [18] 谢先全,晏路明.福建城市化类型的数值划分[J].地域研究与开发,2004,23(1):21-24.
- [19] 吴大进,曹力,陈立华.协同学原理和应用[M].武汉:华中理工大学出版社,1990:9-17.
- [20] 吴跃明,张子珩,朗东锋.新型环境经济协调度预测模型及应用[J].南京大学学报:自然科学版,1996,32(3):466-473.
- [21] 刘耀彬,宋学锋.城市化与生态环境的耦合度及其预测模型研究[J].中国矿业大学学报,2005,34(1):91-96.
- [22] 刘耀彬,李仁东,宋学锋.中国城市化与生态环境耦合度分析[J].自然资源学报,2005,20(1):105-112.
- [23] 刘耀彬,宋学锋.区域城市化与生态环境耦合性分析:以江苏省为例[J].中国矿业大学学报,2006,35(2):182-187.
- [24] 孟庆松,韩文秀,金锐.科技-经济系统协调模型研究[J].天津师范大学学报:自然科学版,1998,18(4):8-12.
- [25] 刘耀彬,李仁东,宋学锋.中国区域城市化与生态环境耦合的关联分析[J].地理学报,2005,60(2):237-247.
- (上接第162页)
- [15] 彭建,王仰麟,吴健生,等.区域生态系统健康评价:研究方法进展[J].生态学报,2007,27(11):4877-4885.
- [16] 宋永昌,戚仁海,由文辉,等.生态城市的指标体系与评价方法[J].城市环境与城市生态,1999,12(5):16-19.
- [17] 鲁敏,李英杰.生态城市理论框架及特征标准[J].山东省青年管理干部学院学报,2005(1):117-120.
- [18] 胡廷兰,杨志峰,何孟常,等.一种城市生态系统健康评价方法及其应用[J].环境科学学报,2005,25(2):270-273.
- [19] 杨宇.多指标综合评价中赋权方法评析[J].统计与决策,2006(7):17-19.
- [20] 胡著邦,徐建民.全为民.模糊评价法在湖泊富营养化评价中的应用[J].农业环境保护,2002,21(6):535-536.
- [21] 高长波,陈新庚,韦朝海,等.熵权模糊综合评价法在城市生态安全评价中的应用[J].应用生态学报,2006,17(10):1923-1927.