

DOI: 10.13671/j.hjkxxb.2014.0661

王奎峰, 李娜, 于学峰, 等. 2014. 基于 P-S-R 概念模型的生态环境承载力评价指标体系研究——以山东半岛为例[J]. 环境科学学报, 34(8): 2133-2139

Wang K F, Li N, Yu X F, et al. 2014. Eco-environmental carrying capacity evaluation index system based on the concept of P-S-R model -A case study in Shandong Peninsula[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 34(8): 2133-2139

基于 P-S-R 概念模型的生态环境承载力评价指标体系研究

——以山东半岛为例

王奎峰^{1,2,*}, 李娜³, 于学峰², 王岳林², 刘洋²

1. 中国矿业大学 资源与地球科学学院, 徐州 113001

2. 山东省地质科学研究所, 济南 250013

3. 山东协和学院 经济管理学院, 济南 250107

收稿日期: 2013-11-19

修回日期: 2014-03-05

录用日期: 2014-03-16

摘要: 结合山东半岛生态环境现状, 根据该区域的社会经济和环境特点, 采用压力-状态-响应(P-S-R)概念模型, 选取了 25 项指标构建了其生态环境承载力评价指标体系, 运用层次分析法(AHP)确定各指标权重, 然后将模糊数学综合评价的理论和方法应用于山东半岛生态环境承载力的评估, 对 2009 及 2012 年度山东半岛 6 个城市的生态环境承载力做出评价。评价结果为威海市生态环境承载力为 I 级优, 承载力稳中有升, 青岛、烟台、日照市为 II 级良, 青岛、烟台承载力略升, 日照略有下降, 潍坊市为 III 级中等, 承载力有所下降, 东营市由 IV 级差变为 III 级中等, 承载力明显好转。同时, 并对每个城市的生态环境承载力做了分析说明, 以期为推进生态文明建设提供科学依据。

关键词: P-S-R 模型; 生态环境承载力; 模糊综合评价; 山东半岛; 指标体系

文章编号: 0253-2468(2014)08-2133-07

中图分类号: X196

文献标识码: A

Eco-environmental carrying capacity evaluation index system based on the concept of P-S-R model -A case study in Shandong Peninsula

WANG Kuifeng^{1,2,*}, LI Na³, YU Xuefeng², WANG Yuelin², LIU Yang²

1. School of Resources and Earth Sciences, China University of Mining and Technology, Xuzhou 113001

2. Shandong Institute of Geological Sciences, Jinan 250013

3. Shandong Xiehe University, School of Economics and Management, Jinan 250107

Received 19 November 2013;

received in revised form 5 March 2014;

accepted 16 March 2014

Abstract: In consideration of the eco-environmental status and the societal and economical characteristics of Shandong Peninsula, the ecological carrying capacity (ECC) evaluation index system based on 25 indexes was set up by using the pressure-state-response (P-S-R) concept model. The index weight was firstly defined according the analytic hierarchy process (AHP), and ECC of 6 cities in Shandong peninsula in 2009 and 2012 was then estimated by fuzzy comprehensive evaluation method. The result indicates that: ① The ECC of Weihai was excellent (Grade I) and kept improving year by year; ② The ECC of Qingdao, Yantai, and Rizhao were good (Grade II). ECC valuation of Qingdao and Yantai rose steadily from 2009 to 2012, but Rizhao dropped slightly; ③ The ECC of Weifang was medium (Grade III) and the ECC valuation dropped slightly year by year; ④ The ECC of Dongying rose steadily (from Grade IV to III) from 2009 to 2012. By analyzing the ECC of each city, this study provides a scientific basis for ecological development.

Keywords: P-S-R model; eco-environmental carrying capacity; fuzzy comprehensive evaluation; Shandong Peninsula; index system

1 引言(Introduction)

生态环境是人类赖以生存的基础, 然而, 人类

对自然界的改造强度不断加大所致的资源耗竭、环境污染等问题, 严重威胁着人类社会的可持续发展。因此, 加强生态文明建设, 建设以资源环境承载力

基金项目: 山东省统计科研重点研究课题 (No. KT13060); 中国地质调查局地调科研项目 (No. 12120113007200)

Supported by the Program of Shandong Province Bureau of Statistics (No. KT13060) and CGSL Scientific Research Funds (No. 12120113007200)

作者简介: 王奎峰(1981—), 男, 高工, 博士研究生, E-mail: maplewfk@126.com; * 通讯作者(责任作者)

Biography: WANG Kuifeng (1981—), male, senior engineer, Ph.D. candidate, E-mail: maplewfk@126.com; * **Corresponding author**

为基础、以自然规律为准则、以可持续发展为目标的资源节约型、环境友好型社会,是关系整个人类和社会发展、举足轻重的大事,已经上升到国家战略层面.随着工业化、城镇化的推进,社会经济系统对自然资源的需求量和污染物的排放量大增,多种因素已严重影响到生态环境的健康.可持续发展理论是解决区域发展过程资源环境瓶颈中的一把钥匙,已成为地球科学以及环境科学研究的热点领域,通过研究区域生态环境承载力来分析评估区域可持续发展是一个重要方面,也是一种有效工具(Graymore *et al.*, 2010).

对于生态环境承载力的研究,前人如 Fang and Lin(2009)曾对中国城市化进程中的生态环境保障程度做过研究;邓宗成等(2009)运用主因子分析法选取评价指标,对青岛市海洋生态环境承载力做过研究;郭娜等(2011)选取资源和环境要素构建生态环境承载力指标体系,分析了榆林市的生态环境承载力;于谨凯和杨志坤(2012)选取社会、经济、生态、环境 4 个方面的指标体系,对近海海域生态环境承载力做了研究,Zhu 等(2010)对海河流域生态环境承载力时空差异做过研究,等等.但关于山东半岛地区生态环境承载力指标体系建设及评价方面所做的研究目前还没有,该地区是经济发展水平相当高的区域,也是国家海洋发展战略和区域协调发展战略的重要组成部分,经济社会快速发展与生态环境承载力脆弱的矛盾非常突出,生态环境质量的持

续下降已对该地区的发展构成了严重的威胁.在这样的背景下,笔者结合目前正在做的科研项目,开展山东半岛生态环境承载力指标模型构建及评价,将为该区域的国土规划、管理以及保护,提升生态文明建设提供依据,对促进社会经济和资源环境的和谐发展有重要意义.

2 生态环境承载力评价模型 (Evaluation model of eco-environmental carrying capacity)

2.1 评价指标体系的建立

构建合理的生态环境承载力评价指标体系,是生态环境承载力评价的前提和基础(殷培杰等, 2011),本文通过课题组研讨以及借鉴以往文献,最终采用 P-S-R 模型来构建山东半岛生态环境承载力评价指标体系.P-S-R 模型,即压力 (Pressure)-状态 (State)-响应 (Response) 模型,是国际经济合作与开发组织 (OECD) 与联合国环境规划署 (UNEP) 共同提出的,该模型框架具有非常清晰的因果关系(刘雅爱等, 2013),即人类活动对生态环境施加了一定的压力,从而生态环境状态发生了一定的变化,而另一方面人类社会应当对环境的变化作出响应,以恢复生态环境质量或防止环境退化,目前,P-S-R 模型在环境、生态、地球科学等领域中被广泛承认和使用(吴书光和张红凤,2013;杨予静等, 2013;蒋依依和张敏, 2013;秦磊等, 2013;彭靓宇和徐鹤, 2013;张军以等, 2011;方庆等, 2013;Xu *et al.*, 2003).

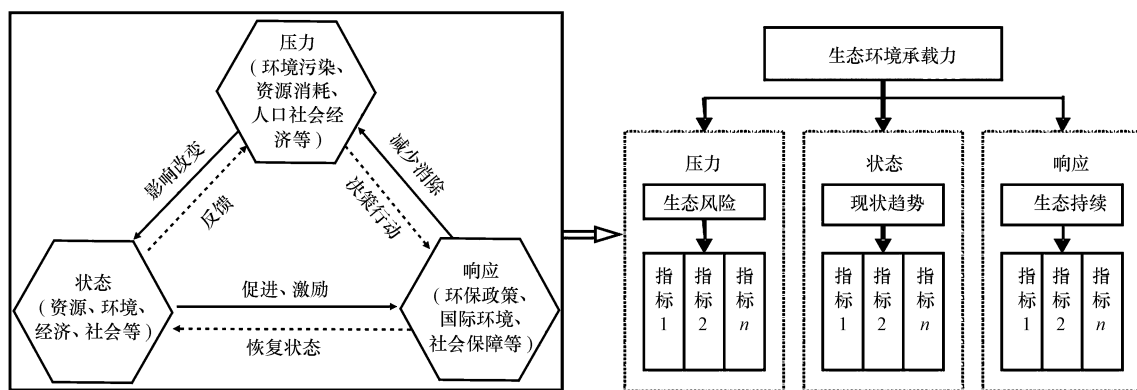


图1 生态环境承载力评价 P-S-R 概念模型(据张秀梅,2011;彭建等,2012 略改)

Fig.1 The P-S-R concept framework for eco-environment carrying capacity evaluation (modified from Zhang, 2011 and Peng *et al.*, 2012)

一个区域的发展与人口、资源、经济与环境的关系密不可分,生态环境与经济社会的和谐发展,其实就是研究社会经济-资源-环境之间的相互耦合关系,而 P-S-R 模型则恰好揭示出生态环境中人地

相互作用的链式关系,构成可持续研究的基本框架(彭建等, 2012).本文结合山东半岛地区自然条件及社会经济发展现状,根据 P-S-R 模型中各模块的涵义,依据代表性、系统性、独立性和可操作性的原

则,通过几次计划项目及子项目的阶段性成果专家座谈研讨,课题组最终选取 25 项评价指标,构建山东半岛生态环境承载力评价的 PSR 模型指标体系(表 1),其中,“压力”层指标 8 项,“状态”层指标 10 项,“响应”层指标 7 项,涵盖了自然资源、生态环境和社会经济的各个方面,具有较强的合理性和适用性.具体含义解释如下.

压力指标:主要反映自然因素、人为因素以及社会经济发展水平给生态环境所带来的消极影响,主要考虑生态环境压力和开发强度对生态环境承载力的负面影响,主要选择人口密度、废水排放量、

固体废弃物产生量、万元 GDP 能耗等指标.

状态指标:主要反映区域资源环境及社会经济发展的实际状况,针对区域的现实情况进行分析,主要在人均可利用资源、生态环境现状等方面选取指标.

响应指标:主要反映生态环境系统受到自然、人为、社会经济等因素影响而导致区域承载力下降,有关部门或个人采取的维护资源、环境、人口、社会经济等协调发展的响应措施,可从三废治理、森林绿化、公共环保参与等方面选择指标.

表 1 山东半岛生态环境承载力 PSR 模型评价指标体系及指标权重表

Table 1 Evaluation index system scale and index weight of eco-environmental carrying capacity in Shandong peninsula

目标层	准则层	指标层				评价指标分级标准			
		序号	指标	权重	属性	优	良	中	差
生态环境承载力	压力(P)	1	人口密度/(人·km ⁻²)	0.033	负	500	600	700	800
		2	人均 GDP/万元	0.050	正	8	6	5	4
		3	万元 GDP 能耗/(吨标准煤·万元 ⁻¹)	0.067	负	0.75	1.00	1.25	1.50
		4	万元 GDP 的 COD 排放强度/kg	0.042	负	0.75	1.00	1.50	2.00
		5	万元 GDP 的 SO ₂ 排放强度/kg	0.042	负	2	3	4	5
		6	噪声污染	0.033	负	无	轻度	一定程度	严重
		7	废水排放量/10 ⁴ t	0.033	负	12000	20000	25000	30000
		8	工业固体废物产生量/10 ⁴ t	0.033	负	200	500	800	1000
	状态(S)	9	人均水资源量/(m ³ ·人 ⁻¹)	0.042	正	700	500	450	300
		10	人均公园绿地面积/(m ² ·人 ⁻¹)	0.033	正	25	18	12	9
		11	人均拥有道路面积/m ²	0.023	正	30	25	22	18
		12	平均气温/℃	0.025	负	8.0~10.0	10.0~13.7	13.7~14.2	>15.0
		13	平均降水量/(mm·a ⁻¹)	0.025	正	1500~1000	800~1000	600~800	<200
		14	地质灾害风险大小	0.028	负	风险小	风险较小	风险中等	风险大
		15	耕地面积比重	0.037	正	50%	40%	30%	20%
		16	湿地面积比重	0.042	正	30%	15%	10%	5%
		17	植被发育程度	0.045	正	发育	较发育	一般发育	不发育
		18	土地沙漠化程度	0.033	负	无	轻度	一定程度	严重
	响应(R)	19	污水处理率	0.042	正	96%	94%	92%	90%
		20	工业固废综合利用率	0.042	正	99%	96%	93%	90%
		21	工业废水排放达标率	0.042	正	100%	98%	95%	93%
		22	森林覆盖率	0.067	正	45%	35%	25%	20%
		23	公众参与生态建设水平	0.042	正	高	较高	一般	低
		24	环保投入占 GDP 比值	0.042	正	3.0%	2.5%	2.0%	1.5%
		25	城市绿化覆盖率	0.058	正	45%	42%	40%	38%

2.2 数据来源

本文进行的生态环境承载力现状评价,以山东半岛地区 6 大城市(青岛、烟台、潍坊、威海、日照、东营)作为评价单元,评价指标根据其特征可分为定量和定性指标.定量指标数据主要来源于 2009 和 2012 年《中国城市统计年鉴》、《山东统计年鉴》、《山东环境状况公报》、《山东各市国民经济和社会发展统计公报》、《山东各市环境质量报告书》等,一

些原始数据可以直接用来进行评价,如人口密度、万元 GDP 能耗等,有的原始数据则需要按指标的物理意义进行量化处理(谭映宇等, 2012; 王丽, 2009).定性指标主要参考以往的相关研究报告和研究成果来确定,如地质灾害风险大小、土地沙漠化程度参考了贺可强等(贺可强等, 2010; 姚春梅等, 2013)的研究成果.

2.3 指标权重的确定

权重是指在评价过程中,被评价对象不同侧面程度的定量分配,是对各评价因子在总体评价中的作用进行区别对待.不同的评估指标对于综合评价的贡献率不同,在评估中应赋予不同的权重系数(李新等, 2011).本文采用层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 来确定生态环境承载力评价指标的权重系数. AHP 方法是指标权重确定的一种有效方法,它将相互关联的要素按隶属关系划分为若干层次,建立层次清晰的指标体系结构,建立准则层-要素层、要素层-指标层的判断矩阵(叶正伟和孙艳丽, 2013),并计算判断矩阵的随机一致性比例,且要求一致性比例 CR 小于 0.1,最后求得各指标的综合权重(表 1).

2.4 评价指标分级标准的建立

本文生态环境承载力评价指标分级参考相关标准(《山东生态省建设规划纲要》、《生态县、生态市、生态省建设指标》、《国家级生态村创建标准》、《生态环境状况评价技术规范(HJ/T 192-2006)》、《联合国可持续发展委员会(UNCSD)可持续发展指标体系》)及经验丰富的专家研讨综合决定.将评判等级分为 4 级,即生态环境承载力等级:优(I)、良(II)、中(III)、差(IV).具体分级标准见表 1.

3 山东半岛生态环境承载力模糊综合评价(Fuzzy comprehensive evaluation of eco-environmental carrying capacity in Shandong Peninsula)

生态承载力的优良与否是相对于标准值而言的,很难对某一个生态环境系统是不是健康得出明确的结论.因此,区域生态环境承载力的优良与否可以作为一个模糊数学问题来处理.模糊数学法的基本思想是用模糊关系合成的原理,根据被评价对象本身存在的隶属上的亦此亦彼性,从数量上对其所属成分给以刻画(郭秀锐等, 2002).本文即选用模糊综合评判方法,对现阶段山东半岛地区六大城市的生态环境承载力进行了评价与分析.具体过程大致有以下几个步骤:①首先列出评价指标权重矩阵 A ;②参照评价指标分级标准,根据隶属度函数计算出各评价因素的隶属度值,确定模糊矩阵 R ;③然后对权重矩阵 A 和模糊矩阵 R 进行相乘计算,即 $B = A \cdot R$,然后根据最大隶属度原则,得出评价结果.

3.1 隶属度函数的选用

隶属函数用来确定每一个评价指标对生态环境承载力等级的隶属程度,对于实数型的定量因

素,本文采用直线型隶属函数来确定评价因素对生态环境承载力等级的隶属度;对于特征状态的定性因素,采用资料搜集、专家经验法等方法确定评价因素对生态环境承载力等级的隶属度.

对于定性因素的隶属度,取值如下:当定性因素为 I 级时, $(u_I, u_{II}, u_{III}, u_{IV}) = (1, 0, 0, 0)$;当定性因素为 II 级时, $(u_I, u_{II}, u_{III}, u_{IV}) = (0, 1, 0, 0)$;当定性因素为 III 级时, $(u_I, u_{II}, u_{III}, u_{IV}) = (0, 0, 1, 0)$;当定性因素为 IV 级时, $(u_I, u_{II}, u_{III}, u_{IV}) = (0, 0, 0, 1)$.

对于定量评价指标,又分为正指标和逆指标两类,可用下式计算其隶属度 r_{ij} ,从而求得隶属度矩阵 R .

$$\text{当 } j=1 \text{ 时,} \quad \begin{array}{cc} \text{正指标} & \text{逆指标} \end{array}$$

$$r_{ij} = \begin{cases} 1 & u_i \geq v_i & u_i \leq v_i \\ \frac{u_i - v_{i2}}{v_{i1} - v_{i2}} & v_{i2} < u_i \leq v_{i1} & v_{i1} < u_i \leq v_{i2} \\ 0 & u_i \leq v_{i2} & u_i \geq v_{i2} \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{当 } j=2,3 \text{ 时,} \quad \begin{array}{cc} \text{正指标} & \text{逆指标} \end{array}$$

$$r_{ij} = \begin{cases} 0 & u_i \geq v_{j-1}, u_i \leq v_{j+1} & u_i \leq v_{j-1}, u_i \geq v_{j+1} \\ \frac{u_i - v_{j-1}}{v_j - v_{j-1}} & v_j < u_i \leq v_{j-1} & v_{j-1} < u_i \leq v_j \\ \frac{u_i - v_{j+1}}{v_j - v_{j+1}} & v_{j+1} < u_i \leq v_j & v_j \leq u_i < v_{j+1} \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{当 } j=4 \text{ 时,} \quad \begin{array}{cc} \text{正指标} & \text{逆指标} \end{array}$$

$$r_{ij} = \begin{cases} 0 & u_i \geq v_{i3} & u_i \leq v_{i3} \\ \frac{u_i - v_{i3}}{v_{i4} - v_{i3}} & v_{i4} < u_i \leq v_{i3} & v_{i3} < u_i \leq v_{i4} \\ 1 & u_i \leq v_{i4} & u_i \geq v_{i4} \end{cases} \quad (3)$$

3.2 隶属度值的计算

设 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ 为评价指标集, $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ 为承载力等级集,评价指标论域和承载力等级论域之间的模糊关系用矩阵 R 来表示:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

式中, r_{ij} 表示就指标 u_i 而言被评为 v_j 的隶属度;矩阵 R 中第 i 行 $R_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in})$ 为第 i 个评价指标 u_i 的单因素评判,它是 V 上的模糊子集.

因为不同指标在生态环境承载力评价中所起作用有大小之分,所以我们还必须考虑指标的权重

问题. 设 a_1, a_2, \dots, a_m 分别是 u_1, u_2, \dots, u_m 的权重, 且满足 $a_1 + a_2 + \dots + a_m = 1$, 令 $A = (a_1, a_2, \dots, a_m)$, 则 A 为权重的模糊集, 即权向量. 由权向量 A 与模糊矩阵 R 得到综合隶属度 B , 即通过 $B = A \cdot R$, 求出模糊集 $B = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ ($0 \leq b_j \leq 1$). 根据最大隶属度原则, $b_{ij} = \max\{b_{ij}\}$, $i = 1, 2, \dots, m$ 所对应的分级即为承载力等级.

下面以 2009 年威海市为例进行具体的计算:

(1) 根据前面运用层次分析法得出的各指标权重, 列出权重矩阵 A .

(0.033, 0.050, 0.067, 0.042, 0.042, 0.033, 0.033, 0.033, 0.042, 0.033, 0.023, 0.025, 0.025, 0.028, 0.037, 0.042, 0.045, 0.033, 0.042, 0.042, 0.042, 0.067, 0.042, 0.042, 0.058)

(2) 根据隶属函数计算出各个二级指标的隶属度值, 确定模糊矩阵 R .

$$R = \begin{pmatrix} 0.84 & 0.16 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0.76 & 0.24 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.32 & 0.68 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.92 & 0.08 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.32 & 0.68 & 0 & 0 \\ 0.13 & 0.87 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.37 & 0.63 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.94 & 0.06 & 0 \\ 0 & 0.91 & 0.09 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.83 & 0.17 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

(3) 根据 $B = A \cdot R$, 得出 2009 年度威海市生态环境承载力指标的综合隶属度值模糊集 $B = (0.7,$

$0.221, 0.03, 0.05)$, 以及 2012 年度的综合隶属度值模糊集 $B = (0.746, 0.212, 0.043, 0)$. 与上面计算过程相同, 可以得出 2009 及 2012 年度山东半岛其他城市的生态环境承载力综合隶属度值, 见表 2.

表 2 山东半岛城市群生态环境承载力评价隶属度值表

Table 2 Eco-environmental carrying capacity degree of membership value of six cities in Shandong peninsula

年份	等级	隶属度值					
		青岛	烟台	潍坊	威海	日照	东营
2012	I	0.170	0.385	0.122	0.746	0.132	0.219
	II	0.522	0.501	0.324	0.212	0.495	0.115
	III	0.175	0.103	0.417	0.043	0.211	0.339
	IV	0.134	0.012	0.138	0	0.163	0.328
2009	I	0.098	0.355	0.125	0.700	0.135	0.189
	II	0.503	0.485	0.360	0.221	0.478	0.136
	III	0.272	0.112	0.371	0.030	0.217	0.321
	IV	0.128	0.049	0.145	0.050	0.171	0.355

注: 表中加粗数据为各地市的综合评价最大隶属度值.

3.3 模糊综合评价结果

参照生态环境承载力分级标准, 根据最大隶属度原则, 由前面计算出的隶属度值(表 2), 可以得出 2012 和 2009 年山东半岛地区各个城市隶属的承载力等级, 即: 2012 年度威海市生态环境承载力为优(I), 烟台市、青岛市、日照市为良(II), 东营市、潍坊市为中等(III), 2009 年度威海市为优(I), 烟台市、青岛市、日照市为良(II), 潍坊市为中等(III), 东营市为差(IV)(图 2).

3.4 生态环境承载力分析

通过模糊综合评判的结果分析, 我们发现山东半岛 6 城市, 在 2009 年及 2012 年度每个指标及生态环境承载力都有其城市特点和变化趋势, 这一点从搜集两年的统计资料及承载力等级隶属度直方图(图 3)可以明显看出, 具体分析如下.

(1) 威海市两个年度的承载力等级皆为优, I 级隶属度值有所增高, 表明其生态环境质量更加完善优化, 生态文明建设与环境保护成绩显著, 尤其是在环保投入及工业固废综合利用方面, 投入力度更大, 公众参与生态建设的水平逐年提升, 如万元 GDP 能耗由 0.85 下降到 0.79 吨标准煤·万元⁻¹, 工业废水排放达标率达到 100%, 固废综合利用率由 93.2% 上升到 95.7%, 人均公园绿地面积上升到 24.76%, 建成区绿化覆盖率达到 47.59%, 等等. 作为世界上最适合人类居住的城市之一, 其生态环境方面的建设走到了山东省乃至全国的前列.

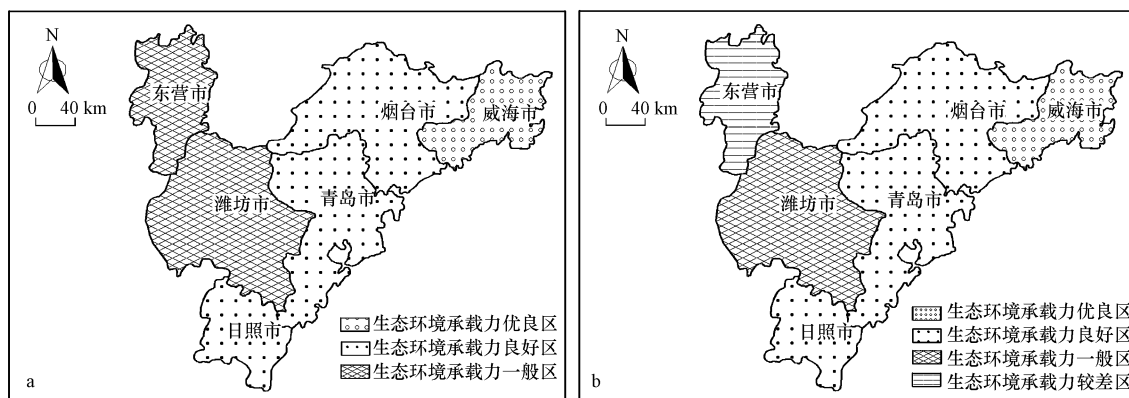


图2 山东半岛地区六城市 2012 年度 (a) 及 2009 年度 (b) 生态环境承载力评价图

Fig.2 Eco-environmental carrying capacity evaluation of six cities in Shandong peninsula

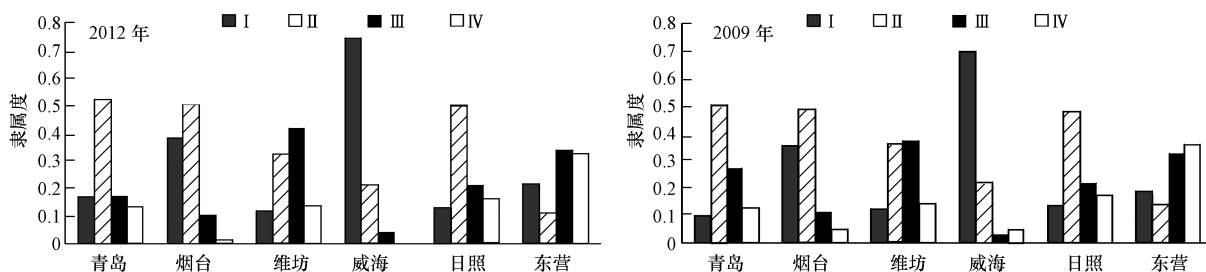


图3 山东半岛地区六城市 2012 年度及 2009 年度生态环境承载力隶属度对比直方图

Fig.3 Degree membership histogram of eco-environmental carrying capacity evaluation of six cities in Shandong peninsula

(2) 青岛市、日照市、烟台市两个年度的承载力等级皆为良好 (II 级), 其中, 青岛、烟台经过近几年的生态环境保护与恢复, 生态保护和建设取得了一定成效, 承载力 (II 级) 隶属度值有所增高, 具体表现在植树造林、三废治理、生态示范项目建设等方面, 城市绿地面积逐年增加, 环保投入及居民环保意识逐渐增强, 城市环境污染重点指标有所好转, 如青岛、烟台的建成区绿化覆盖率分别由 41.25%、40.34% 上升到 44.69%、43.20%, 工业废水排放达标率分别由 95.26%、97.38% 上升到 98.06%、100%, 等等, 保持了蓝天、碧海的环境优势。但个别指标如水土流失没得到有效控制, 湿地数量有所减少, 人工岸线取代自然岸线, 渔业功能下降。日照市 2012 年比 2009 年的承载力隶属度值有所稍减, 主要是存在局部地区生态破坏、污染现象, 甚至呈现逐年恶化趋势, 海岸带受到一定程度的破坏, 影响了整体质量。

(3) 潍坊市近年来经济发展稳中有升, 两个年度承载力等级皆为中等 (III 级), 但其 III 级隶属度值有所下降, 表现在以煤炭为主的能源结构方式转变困难, 汽车尾气污染物的增排, 废气排放量有所增

加, 由 4014.34 上升到 4275.25 (亿标 m^3), 超过其环境容量, 人均耕地面积由 1.37 下降到 1.32 亩, 噪声污染的立体化发展更加突出, 尤其是近几年滨海新区围海造陆的建设, 对海岸带的生态环境影响较大, 渔业衰退, 自然海岸线急剧减少。

(4) 东营市指标呈现两极化趋势, 湿地面积、人口密度、人均 GDP、固体废弃物产生量等指标优等, 但其它指标较差, 导致其整体指标呈现较差特征, 近年来, 作为黄河三角洲高效生态经济区的中心城市, 国家和山东省对其生态环境保护有了较大的政策扶持, 通过一系列的立项和治理措施, 如湿地保护、落地油污染治理、土壤盐渍化治理、海岸带生态环境调查等, 生态环境质量不断改善, 承载力等级由差 (IV) 变为中等 (III 级)。

4 结论 (Conclusions)

1) 提出了基于 P-S-R 概念的生态环境承载力指标评价模型, 并确定了压力、状态、响应 3 方面的评价指标 25 项, 研究发现, 该模型从 P (压力)-S (状态)-R (响应) 多个相关性较强的指标中筛选出评价指标, 降低主观因素对评价结果的影响, 反映了生

态环境承载力的总体特征,大大提高了评价的准确性和科学性。

2) 本文将模糊数学评判方法应用于山东半岛 6 城市的生态环境承载力评价,采用层次分析法确定指标权重,用隶属函数值来表述生态环境承载力分级。从评价结果来看,2009 年和 2012 年两个年度,山东半岛 6 城市中,威海市生态环境承载为优秀级别(I 级),生态环境质量不断增高,青岛和烟台市为良好级别(II 级),生态环境不断改善,日照市为良好级别(II 级),但生态环境隶属度值略有下减,潍坊市为中等级别(III 级),但生态环境隶属度值有所下降,东营市 2009 年为差(IV)级别,2012 年为中等级别(III 级),生态环境质量不断改善。

3) 在研究过程中,发现一些统计数值较难获取且有所失真,同时,由于资料有限只选取了 2 个年度的数据作为对比参考,对生态环境承载力的演化趋势分析不够,希望在以后的研究中,能够弥补不足,力求研究的更深入,更具科学性。

责任作者简介:王奎峰(1981—),男,高级工程师,博士研究生。主要从事地质环境、资源环境及相关方面的科研生产工作。E-mail: maplewkf@126.com。

参考文献(References):

- 邓宗成,孙英兰,周皓,等. 2009. 沿海地区海洋生态环境承载力定量研究——以青岛市为例[J]. 海洋环境科学, 28(4): 438-441
- Fang C L, Lin X Q. 2009. The eco-environmental guarantee for China's urbanization process [J]. Journal of Geographical Sciences, 19(1): 95-106
- 方庆,董增川,刘晨,等. 2013. 基于 PSR 模型的唐山地区生态系统健康评价[J]. 中国农村水利水电, 23(6): 26-29
- Graymore M L M, Sipe N G, Rickson R E. 2010. Sustaining human carrying capacity: A tool for regional sustainability assessment Ecological Economic[J]. Ecological Economics, 69(3): 459-468
- 郭娜,王伯铎,崔晨,等. 2011. 榆林市生态环境承载力评价分析[J]. 中国人口·资源与环境, 21(3): 104-107
- 郭秀锐,杨居荣,毛显强. 2002. 城市生态系统健康评价初探[J]. 中国环境科学, 22(6): 525-529
- 贺可强,侯新文,尹明泉,等. 2010. 地质生态环境与经济协调发展及其空间数据库研究:以山东半岛城市群地区分析为例[M]. 北京: 科学出版社
- 蒋依依,张敏. 2013. 基于 PSR 模型的旅游地生态持续性空间差异评价——以云南省玉龙纳西族自治县为例[J]. 资源科学, 35(2): 332-340
- 李新,石建屏,曹洪. 2011. 基于指标体系和层次分析法的洱海流域水环境承载力动态研究[J]. 环境科学学报, 31(6): 1338-1344
- 刘雅爱,葛京凤,梁彦庆,等. 2013. 基于 PSR 模型的张家口地区生态安全综合评价[J]. 水土保持通报, 33(3): 270-274
- 彭建,吴健生,潘雅婧,等. 2012. 基于 PSR 模型的区域生态持续性评价概念框架[J]. 地理科学进展, 31(7): 933-940
- 彭靓宇,徐鹤. 2013. 基于 PSR 模型的区域环境绩效评估研究——以天津市为例[J]. 生态经济(学术版), 21(1): 358-362
- 秦磊,韩芳,宋广明,等. 2013. 基于 PSR 模型的七里海湿地生态脆弱性评价研究[J]. 中国水土保持, 34(5): 69-72
- 谭映宇,张平,刘容子,等. 2012. 渤海内主要海湾资源和生态环境承载力比较研究[J]. 中国人口·资源与环境, 22(12): 7-12
- 王丽. 2009. 生态足迹法评价生态环境承载力的应用案例[J]. 环境与可持续发展, 34(1): 58-61
- 吴书光,张红凤. 2013. 基于 PSR 模型的土地可持续利用指标体系构建与实证研究——以山东省为例[J]. 经济与管理评论, 15(6): 66-70
- Xu L Y, Yang Z F, Li W. 2003. Review on urban ecosystem carrying capacity[J]. Urban Environment & Urban Ecology, 16(6): 60-62
- 姚春梅,高峰,王振涛,等. 2013. 山东省山丘区 1:5 万地质灾害调查与综合研究报告[R]. 2011. 济南: 山东省地质环境监测总站. 1-150
- 杨予静,李昌晓,丽娜·热玛赞. 2013. 基于 PSR 框架模型的三峡库区忠县汝溪河流域生态系统健康评价[J]. 长江流域资源与环境, 22(S1): 66-74
- 叶正伟,孙艳丽. 2013. 基于 PSR 模型的江苏沿海大开发地区水环境安全评价——以盐城市为例[J]. 水土保持研究, 20(6): 197-202
- 殷培杰,杜世勇,白志鹏. 2011. 2008 年山东省 17 城市生态承载力分析[J]. 环境科学学报, 31(9): 2048-2057
- 于谨凯,杨志坤. 2012. 基于模糊综合评价的渤海近海海域生态环境承载力研究[J]. 经济与管理评论, 15(3): 54-60
- 张军以,苏维词,张凤太. 2011. 基于 PSR 模型的三峡库区生态经济区土地生态安全评价[J]. 中国环境科学, 31(6): 1039-1044
- 张秀梅. 2011. 基于 PSR 模型的煤炭资源型城市生态安全评价研究[D]. 北京: 北京林业大学
- Zhu Y H, Drake S, Lü H S, et al. 2010. Analysis of temporal and spatial differences in eco-environmental carrying capacity related to water in the Haihe River Basins, China[J]. Water Resources Management, 24(6): 1089-1105