

# Study on the Fuzzy Comprehensive Judgment Evaluation of Eco-Environmental Carrying Capacity in Shandong Peninsula Based on AHP

Na Li<sup>1</sup>, Kuifeng Wang<sup>2,3\*</sup>

<sup>1</sup>Shandong Xiehe University, School of Economics and Management, Jinan

<sup>2</sup>School of Resources and Earth Sciences, China University of Mining and Technology, Xuzhou

<sup>3</sup>Shandong Institute and Laboratory of Geological Sciences, Jinan

Email: [lina0704@126.com](mailto:lina0704@126.com), [maplewkf@126.com](mailto:maplewkf@126.com)

Received: Nov. 5<sup>th</sup>, 2013; revised: Dec. 10<sup>th</sup>, 2013; accepted: Dec. 23<sup>rd</sup>, 2013

Copyright © 2014 Kuifeng Wang, Na Li. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. In accordance of the Creative Commons Attribution License all Copyrights © 2014 are reserved for Hans and the owner of the intellectual property Kuifeng Wang, Na Li. All Copyright © 2014 are guarded by law and by Hans as a guardian.

**Abstract:** In this paper, we combine Shandong peninsula actual conditions with the principle of the evaluation index system, and evaluation index system of eco-environmental carrying capacity of Shandong Peninsula was established. The evaluation index system has been divided into four primary indexes: natural environment, ecological environment, population environment, contaminated environment. The evaluation index system used 18 typical evaluation indexes as secondary indexes which we choose from the primary indexes; the weight of each evaluation index is determined by AHP, and we adopt fuzzy comprehensive judgment to assess the eco-environment carrying capacity of six cities in Shandong Peninsula at the present stage. The results are: Weihai city is first rate, Qingdao, Yantai, Rizhao cities are secondary rate, Weifang city is tertiary rate, Dongying city is poor rate. Based on the evaluation results and analysis of each city, we provide the scientific basis for the eco-civilization construction.

**Keywords:** Eco-environmental Carrying Capacity; Fuzzy Comprehensive Judgement; Shandong Peninsula; Index System; Ahp

## 基于 AHP 的山东半岛生态环境承载力模糊综合评价

李娜<sup>1</sup>, 王奎峰<sup>2,3\*</sup>

<sup>1</sup>山东协和学院经济管理学院, 济南

<sup>2</sup>中国矿业大学资源与地球科学学院, 徐州

<sup>3</sup>山东省地质科学研究所, 济南

Email: [lina0704@126.com](mailto:lina0704@126.com), [maplewkf@126.com](mailto:maplewkf@126.com)

收稿日期: 2013 年 11 月 5 日; 修回日期: 2013 年 12 月 10 日; 录用日期: 2013 年 12 月 23 日

**摘要:** 本文结合山东半岛生态环境现状, 依据指标体系建立的原则, 通过对指标的筛选, 将山东半岛生态环境承载力指标体系划分为自然环境、生态环境、人口环境和污染环境四类一级指标, 每类一级指标各选择其典型二级指标构建了 18 项评价指标作为生态环境承载力的评价体系, 用层次分析法(AHP)确定了各个评价指标的权重, 然后将模糊综合评价模型的理论和方法应用于山东半岛生态环境承载力的评估, 对现阶段山东半岛 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, 青岛、烟台、日照市为 II 级良, 潍坊市为 III 级一般, 东营市为 IV 级差, 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。

\*通讯作者。

**关键词:** 生态环境承载力; 模糊综合评价; 山东半岛; 指标体系; 层次分析法

## 1. 引言

生态环境是人类社会生存与发展的基础,人与自然的和谐是构建和谐社会的基础,因此,生态文明建设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<sup>[1,2]</sup>。当前,在“可持续发展”理念的指导下,经济发展模式已经从过去以牺牲生态环境为代价去追求经济效益的发展,逐步转变到以生态环境为本、与生态环境共生的协调发展上来,其中“生态环境承载能力”成为可持续发展研究的一个基础理论和应用方向,是衡量可持续发展的重要标志<sup>[3-8]</sup>。生态环境承载力是指在人类活动和气候变化综合影响作用下,区域水、土等各种生态环境要素共同作用的支撑能力<sup>[9,10]</sup>。区域生态环境承载能力的研究,是一个复杂的系统协调发展问题,涉及社会、经济、生态、环境与资源、社会长远发展战略规划等多个领域的知识,涉及面广、内容复杂,目前尚无统一和成熟的方法。也正因如此,其研究呈现百家争鸣之势,各种新思想、新方法不断得到尝试和使用,不断拓宽延深了其研究水平<sup>[11-15]</sup>。

山东半岛地区是山东省发展水平最高、潜力最大、活力最强的经济区域,具有优越的发展条件和广阔的发展空间。近年来,通过加强生态环境建设,使得其生态环境恶化趋势得到一定程度的控制。但经济社会快速发展与生态环境承载力脆弱的矛盾、粗放型增长方式与资源短缺的矛盾依然非常突出,给山东半岛城市群的发展造成了巨大的压力<sup>[3,16-20]</sup>。在这样的背景下,结合山东半岛生态环境现状,开展山东半岛生态环境承载力评价指标体系及验证研究,具有重要的理论和现实意义,可为山东半岛生态文明建设及生态环境规划治理提供依据。由于生态环境承载力研究仍处于不断探讨阶段,生态环境所涉及的自然、人口环境等系统之间的协调问题关系复杂,使得本文的研究可能还存在这样或那样的不足,再加上时间仓促,作者资历尚浅,课题研究中错误和缺点在所难免,欢迎各界人士提出宝贵意见和建议<sup>[21,22]</sup>。

## 2. 山东半岛生态环境承载力指标体系的构建

构建生态环境承载力评价指标体系,是生态环境

承载力评价过程中很关键的一步,而指标的选取非常地重要,正确选择评价指标是真实地揭示生态环境优劣的前提和基础。只有在系统分析山东半岛生态环境问题的基础上,构建能有效反应该区域生态环境承载系统的指标体系,才能使评价结果真实、客观、正确地反映评价区生态环境承载力现状,为区域开发和国土规划提供科学、准确的依据与建议。

### 2.1. 选取指标的原则

在进行生态环境承载力评价时,指标体系选取遵循以下原则:1) 科学性原则:指标体系的设计必须具有一定的科学内涵,能够客观地反映半岛地区自然资源、经济、社会现状以及相互之间的协调发展关系。2) 可操作性原则:设置的指标意义明确,数据易于获取,易于计算、比较和分析,实践意义要明确,要简洁、有效、实用,并有利于生产及管理部门掌握和操作,使理论与实践紧密结合。3) 主导因素原则:影响生态环境的因素很多,应选择具有代表性、能直接反映区域生态环境承载力主要特征的主导性指标。4) 定量与定性相结合的原则:既有定性描述,又有定量分析。尽可能使定性问题数量化,便于用数学模型处理,以保证综合评价的客观理性<sup>[12,20-23]</sup>。

### 2.2. 评价指标体系的建立

山东半岛城市群是一个自然-经济-社会复合生态系统,即以人为中心,自然、经济、社会三个系统相互耦合在一起的复杂巨系统。它既包含有自然生态条件因素,又包含有社会属性的人类活动因素<sup>[22]</sup>。

本文以山东半岛所包含的6个城市(青岛、烟台、潍坊、威海、日照、东营)为研究对象,依据评价指标的选取原则,借鉴参考此方面专家学者近年的研究成果<sup>[12,13,15,24-30]</sup>,并组织相关领域专家学者研讨,确定了影响山东半岛生态环境承载力的四类一级指标,分别为:自然环境(B1)、生态环境(B2)、人口环境(B3)和污染环境(B4)。同时考虑到指标代表的信息以及指标间的相互关联性,结合山东半岛实际情况,最终选取了18项二级指标作为目标生态环境承载力的评价指标体系(表1)。

**Table 1. Evaluation index system scale and index weight of eco-environmental carrying capacity in Shandong Peninsula**  
**表1. 山东半岛生态环境承载力评价指标体系分级及指标权重表**

一级指标	二级指标及权重		评价指标分级标准				
	指标	权重	优	良	中	差	
自然环境 B1	1	平均气温(C11)/ (°C)	0.023	10.00	13.70	14.20	15.00
	2	平均降水量(C12)/(mm/a) (+)	0.023	1000	800	600	100
	3	地质灾害风险大小(C13)	0.046	风险小	风险较小	风险中等	风险大
生态环境 B2	4	森林覆盖率(C21)/%(+)	0.182	45	35	25	20
	5	耕地面积比重(C22)/%(+)	0.040	50	40	30	20
	6	湿地面积比重(C23)/%(+)	0.182	30	15	10	5
	7	植被发育程度(C24)	0.098	发育	较发育	一般发育	不发育
	8	土地沙漠化程度(C25)	0.069	无	轻度	一定程度	严重
人口环境 B3	9	人口增长与素质水平(C31)	0.042	高	较高	一般	低
	10	公众参与生态建设水平(C32)	0.083	高	较高	一般	低
	11	人均水资源量(C33)/(m <sup>3</sup> /人) (+)	0.042	700	500	450	300
	12	人口密度(C34)/(人/km <sup>2</sup> ) (-)	0.042	500	600	700	800
污染环境 B4	13	COD 排放强度(C41)/(kg/万元 GDP) (-)	0.030	0.75	1.00	1.50	2.00
	14	SO <sub>2</sub> 排放强度(C42)/(kg/万元 GDP) (-)	0.030	2	3	4	5
	15	噪声污染(C43)	0.016	无	轻度	一定程度	严重
	16	面源污染(C44)	0.009	无	轻度	一定程度	严重
	17	废水排放量(C45)/(10 <sup>4</sup> t) (-)	0.030	12,000	20,000	25,000	30,000
	18	工业固体废物产生量(C46)/(10 <sup>4</sup> t) (-)	0.016	200	500	800	1000

### 2.3. 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》)及经验丰富的专家综合决定<sup>[12,18,19]</sup>。将评判等级分为四级,即生态环境承载力等级:优(I),良(II),中(III),差(IV)。对于定量评价指标,又分为正指标和逆指标两类,分别用“+”“-”符号表示,具体分级标准见表1。

### 2.4. 指标权重(Wi)的确定

本文采用层次分析法<sup>[22]</sup>(AHP)计算各指标权重,对山东半岛生态环境承载力评价指标进行两两比较打分,分别构造判断矩阵(表2~6),经各判断矩阵的平均随机一致性值 CR 计算,值均小于 0.1,说明各判

**Table 2. A-B1 total weight judgment matrix**  
**表2. A-B1总权重判断矩阵**

A	B1	B2	B3	B4	Wi
B1	1	1/5	1/2	1/2	0.092
B2	5	1	3	5	0.570
B3	2	1/3	1	2	0.208
B4	2	1/5	1/2	1	0.130

最大特征根  $\lambda_{max} = 4.605$ ,  $CI = 0.022$ , 四阶矩阵的一致性指标  $RI = 0.9$ ,  $CR = CI/RI = 0.0239 < 0.1$ , 满足一致性检验。

**Table 3. B1-C1j weight judgment matrix**  
**表3. B1-C1j判断矩阵**

B1	C11	C12	C13	Wi
C11	1	1	1/2	0.250
C12	1	1	1/2	0.250
C13	2	2	1	0.500

$\lambda_{max} = 3.00$ ,  $CI = 0$ , 三阶矩阵的一致性指标  $RI = 0.58$ ,  $CR = CI/RI = 0 < 0.1$ , 满足一致性检验。

**Table 4. B2-C2j weight judgment matrix**  
**表4. B2-C2j判断矩阵**

B2	C21	C22	C23	C24	C25	Wi
C21	1	3	1	2	2	0.319
C22	1/3	1	1/3	1/2	1/2	0.070
C23	1	3	1	2	2	0.319
C24	1/2	2	1/2	1	2	0.171
C25	1/2	2	1/2	1/2	1	0.121

$\lambda_{max} = 5.140$ ,  $CI = 0.035$ , 五阶矩阵的一致性指标  $RI = 1.12$ ,  $CR = CI/RI = 0.0312 < 0.1$ , 满足一致性检验。

**Table 5. B3-C3j weight judgment matrix**  
**表5. B3-C3j判断矩阵**

B3	C31	C32	C33	C34	Wi
C31	1	1/2	1	1	0.200
C32	2	1	2	2	0.400
C33	1	1/2	1	1	0.200
C34	1	1/2	1	1	0.200

$\lambda_{max} = 4.000$ ,  $CI = 0$ , 四阶矩阵的一致性指标  $RI = 0.90$ ,  $CR = CI/RI = 0 < 0.1$ , 满足一致性检验。

**Table 6. B4-C4j weight judgment matrix**  
**表6. B4-C4j判断矩阵**

B4	C41	C42	C43	C44	C45	C46	Wi
C41	1	1	2	3	1	2	0.230
C42	1	1	2	3	1	2	0.230
C43	1/2	1/2	1	2	1/2	1	0.121
C44	1/3	1/3	1/2	1	1/3	1/2	0.070
C45	1	1	2	3	1	2	0.230
C46	1/2	1/2	1	2	1/2	1	0.121

$\lambda_{max} = 6.014$ ,  $CI = 0.0027$ , 六阶矩阵的一致性指标  $RI = 1.24$ ,  $CR = CI/RI = 0.0022 < 0.1$ , 满足一致性检验。

断矩阵均具有满意一致性, 得出的总权重和各子系统权重  $Wi$  的分配是合理的, 类别层和要素层权重见表 1。

### 3. 山东半岛生态环境承载力模糊综合评价及验证

本文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, 最后得出评价结果及分区图。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<sup>[22]</sup>。

#### 3.1. 单因素评价指标的赋值

本文进行的生态环境承载力评价, 以山东半岛地区六大城市作为评价单元, 根据前面构建的评价指标体系, 对评价单元进行赋值, 个别指标数据无法直接获得, 需要整理计算。评价指标根据其特征可分为定量和定性指标。定量指标数据特征为实数, 定性指标数据特征为特征状态。对于实数型的定量指标, 主要根据 2012 年统计资料得来; 对于特征状态的定性指标, 主要参考以往研究结果和实际情况定性确定<sup>[20,22]</sup>。

#### 3.2. 隶属度函数的选用

用模糊综合评判法进行生态环境承载力评价的关键是确定隶属度函数: 即用隶属函数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<sup>[20,22]</sup>。

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  $R$ 。

当  $j = 1$  时, 正指标 逆指标

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

当  $j = 2, 3$  时, 正指标                      逆指标

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

当  $j = 4$  时, 正指标                      逆指标

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

### 3.3. 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:

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

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  $R_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im})$  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,  $b_j = \max\{b_{ij}\}$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$  所对应的分级即为承载力等级。

下面以 2012 年烟台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  $A$ 。

$$(0.023, 0.023, 0.046, 0.182, 0.04, 0.182, 0.098, 0.069, 0.042, 0.083, 0.042, 0.042, 0.03, 0.016, 0.009, 0.03, 0.016)$$

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  $R$ 。

$$R = \begin{bmatrix} 0.43 & 0.57 & 0 & 0 \\ 0.17 & 0.83 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0.4 & 0.6 & 0 & 0 \\ 0 & 0.24 & 0.76 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.8 & 0 & 0 \\ 0.93 & 0.07 & 0 & 0 \\ 0.16 & 0.84 & 0 & 0 \\ 0.78 & 0.22 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.9 & 0.1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

3) 根据  $B = A \cdot R$ , 得出指标的综合隶属度值模糊集  $B = (0.344, 0.536, 0.103, 0.019)$

与上面计算过程相同, 可以得出其他城市生态环境承载力综合隶属度值(表 7), 从上面计算结果可以看出, 这四个数值中 0.516 最大, 属于 II 级, 根据最大隶属度原则, 2012 年青岛市生态环境承载力属于 II 级, 即承载力为良。

### 3.4. 模糊综合评价结果

与上面计算过程相同, 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 7), 可以得出 2012 年山东半岛地区各个城市隶属的承载力等级, 即最后评价结果(表 8、图 1)。

### 3.5. 生态环境承载力验证分析

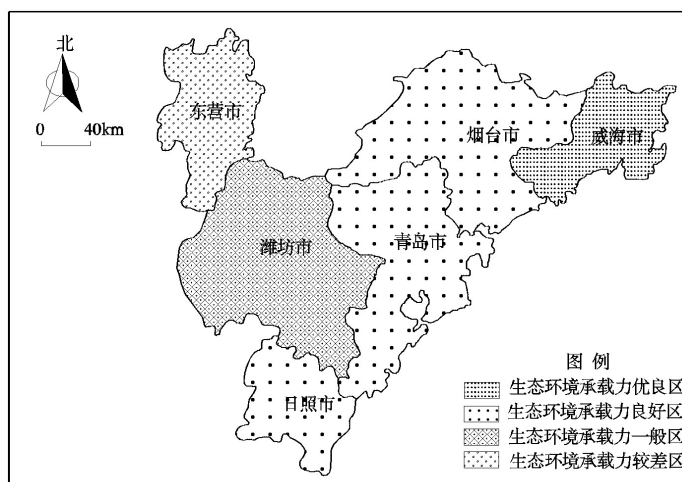
在本次山东半岛生态环境承载力指标建设及验

**Table 7. Eco-environmental carrying capacity degree of membership value in Shandong Peninsula city group region**  
**表 7. 山东半岛城市群生态环境承载力评价隶属度值**

隶属度值	城市	青岛	烟台	潍坊	威海	日照	东营
I		0.206	0.344	0.06	0.873	0.08	0.247
II		0.467	0.536	0.315	0.104	0.552	0.211
III		0.208	0.103	0.507	0.025	0.201	0.259
IV		0.122	0.019	0.121	0.000	0.17	0.287

**Table 8. Eco-environmental carrying capacity evaluation results in Shandong Peninsula city group region**  
**表 8. 山东半岛城市群生态环境承载力评价结果**

城市	青岛	烟台	潍坊	威海	日照	东营
最大隶属度	0.467	0.536	0.507	0.873	0.552	0.287
承载力等级	II	II	III	I	II	IV



**Figure 1. Eco-environmental carrying capacity evaluation of six cities in Shandong Peninsula**  
**图 1. 山东半岛地区六城市生态环境承载力评价图**

证过程中，我们发现山东半岛六城市，每个指标及生态环境承载力都有其城市特点和发展趋势。

1) 生态环境承载力优的威海市，该地区属于低山丘陵区，经济发展水平较高，生态建设与环境保护成绩显著。指标体系中，多数指标为优良级别，森林覆盖率为 40%，居山东半岛首位，水资源量、人口密度、空气质量级别都很高，地面水质、近岸海域水质、环境噪声区域平均值均达到了相应功能区标准要求。2003 年 10 月 6 日获得联合国人居奖的中国城市，被认为是世界上最适合人类居住的城市之一，2009 年 5 月 7 日被评选为国家森林城市。但也存在个别生态环境问题，如滨海丘陵地带农业生产条件较差，农业劳动力不足，内陆低山丘陵地带水资源不足，过度捕捞

海洋资源，生物多样性锐减等。

2) 生态环境承载力良的地区：青岛市、烟台市、日照市

青岛市：青岛市是山东省经济中心，具有良好的经济基础和生态保护意识，经过长期的生态环境保护与恢复，生态保护和建设取得了一定成效，但还存在一定的生态问题，具体表现在：水土流失但仍量大面广，森林生态系统不能满足城市功能的需要。城市环境污染重点指标有所好转，城市绿地面积不断增加，人居环境随着社会经济的发展不断提高，但城市环境污染总体上仍维持在较高水平上，湿地数量剧减，功能衰退，海岸带破坏严重，人工岸线取代自然岸线，赤潮频发，渔业功能下降。

日照市：本区生态环境承载力总体较好，全区通过植树造林、水土流失治理、生态示范项目建设等项目的实施，生态环境质量得到优化，大气质量、近岸海域水质、饮用水源水质稳定在优良水平，保持了蓝天、碧海的环境优势。但仍然存在局部地区生态破坏、污染现象，个别指标甚至呈现逐年恶化趋势，海岸带及海洋资源受到一定程度的破坏，渔业资源衰退，海洋生物多样性下降，部分区域水土流失日渐严重，市区空气污染物在逐年增长，超量不合理使用化肥、农药导致土壤退化、农业面源污染呈扩大和加重趋势。

烟台市：本区生态环境承载力总体较好，存在的主要生态环境问题是，农业面源污染(农药、化肥)仍在加重，因工程建设、资源的不合理开采等原因造成的植被破坏、水土流失、地面沉降和塌陷、海水入侵、滩涂破坏和山地挖掘等多重生态问题，没有得到有效的解决，部分问题还相当严重，生态保护的管理体制主要采用传统的分要素管理模式，急需建立统一监督管理、分工负责的体制。

3) 生态环境承载力中等的潍坊市，位于山东半岛中部，近年来经济发展取得了一些成就，污染加剧的趋势得到初步控制，但生态破坏环境污染问题依然存在。一定时期内以煤炭为主的能源结构难以从根本上改变，加上汽车尾气污染物的排放，大气污染物排放量超过其环境容量。垃圾的大量排放和噪声污染的立体化发展，农药、化肥的大量使用，加重了农业面源和畜禽养殖污染，使得污染物排放量与环境容量的矛盾更加突出。目前，潍坊市污染物排放总量和污染负荷仍居高不下，浪费资源、污染环境的落后生产方式没有得到彻底淘汰，重点治污工程建设、严格控制污染物排放总量等措施仍需加强。

4) 生态环境承载力较差的地区：东营市处于黄河三角洲地区，指标呈现两极化趋势，湿地面积、人口密度、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，陆地和草甸植被形成时间短，土壤盐碱含量高，地下水位易被海水渗透，海岸防护体系不健全，土地盐碱化程度较高，土地沙漠化严重，生物多样性减少和生态退化，自我恢复的能力很弱。

## 4. 结论与分析

1) 山东半岛是东部沿海的重要区域，也是山东省

的区域经济和文化中心，通过借鉴前人生态环境承载力的研究经验，依据指标体系的原侧，构建了山东半岛的生态环境承载力指标体系，由4类一级指标及18个二级指标所组成，指标权重，通过层次分析法(AHP)来确定，大大提高了评价的准确性和科学性。

2) 将模糊数学方法应用于生态环境承载力评价，用隶属函数来表述生态环境承载力分级，利用隶属程度来描述差异的中介过渡状态，能够刻画界线的模糊性，提高了评价结果的科学性。通过本次综合评价，我们得出，山东半岛六城市中，威海市生态环境承载力最高，为优秀级别，青岛市、烟台市、日照市为良好，潍坊市为中等，东营市为较差级别。

3) 在山东半岛生态环境承载力指标体系的构建和评价中，每个指标都有其自身的城市特点和发展趋势，我们要针对具体的城市生态环境承载力特征，因地制宜，有针对性的采取合理的生态环境防治和保护措施，促进人与社会的和谐发展。

4) 山东半岛地区的发展重在生态环境与社会经济的协调发展，不能顾此失彼。只追求经济发展，忽视生态环境保护是不可行的，而单纯地保护资源环境不发展经济缺乏实际性；因此，寻求合理的发展模式，最大限度地发挥资源环境效益，获取最大的经济社会效益，才是最根本的解决途径。

## 基金项目

山东省统计科研重点研究课题(KT13060)及中国地质调查局项目(12120113007200)联合资助。

## 参考文献 (References)

- [1] 张彦英, 樊笑英 (2011) 生态文明建设与资源环境承载力. *中国国土资源经济*, 4, 9-11.
- [2] 王丽 (2009) 生态足迹法评价生态环境承载力的应用案例. *环境与可持续发展*, 1, 58-61.
- [3] 刘钧仁 (2012) 山东半岛城市群地区生态环境可持续发展研究. 硕士学位论文, 山东大学, 济南.
- [4] 赵传松 (2006) 山东半岛城市群生态环境评价与可持续发展能力建设. 硕士学位论文, 山东师范大学, 济南.
- [5] 袁丙华 (2007) 中国西南岩溶石山地区地下水资源及生态环境地质研究. 电子科技大学出版社, 西安.
- [6] 孙家驹 (2006) 全球关注: 生态环境与可持续发展走向. 江西人民出版社, 南昌.
- [7] 卢耀如 (2003) 地质 - 生态环境与可持续发展: 中国西南及邻近岩溶地区发展途径. 河海大学出版社, 南京.
- [8] 高吉喜 (2001) 可持续发展理论探索: 生态承载力理论, 方法与应用. 中国环境科学出版社, 北京.

- [9] 沈渭寿 (2010) 区域生态承载力与生态安全研究. 中国环境科学出版社, 北京.
- [10] 邢永强, 冯进城, 窦明 (2007) 区域生态环境承载能力理论与实践. 地质出版社, 北京.
- [11] 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. *中国人口资源与环境*, **12**, 7-12.
- [12] 杜金辉, 吕培茹, 甄文栋, 等 (2008) 山东省生态环境承载力评价指标体系探讨. *中国环境管理干部学院学报*, **1**, 10-14.
- [13] 夏军, 王中根, 左其亭 (2004) 生态环境承载力的一种量化方法研究——以海河流域为例. *自然资源学报*, **6**, 786-794.
- [14] 李朝辉, 魏贵臣 (2005) 生态环境承载力评价方法研究及实例. *环境科学与技术*, **1**, 75-76.
- [15] 郭娜, 王伯铎, 崔晨, 等 (2011) 榆林市生态环境承载力评价分析. *中国人口资源与环境*, **S1**, 104-107.
- [16] 张海峰 (2005) 山东半岛城市群生态环境与经济协调发展模式研究. 博士论文, 中国海洋大学, 青岛.
- [17] 王江伟 (2008) 山东半岛中小城市生态环境与经济社会协调发展的研究. 博士论文, 中国海洋大学, 青岛.
- [18] 赵传松, 任建兰 (2006) 山东半岛城市化进程中的生态环境问题. *国土与自然资源研究*, **1**, 49-50.
- [19] 王丽红, 贺可强 (2010) 山东半岛城市群地区地质生态环境与经济发展协调性评价研究. *资源调查与环境*, **4**, 303-310.
- [20] 王丽红 (2009) 山东半岛城市群地区地质生态环境质量与经济发展协调性研究. 硕士论文, 青岛理工大学, 青岛.
- [21] 贺可强, 卢耀如, 李关宾, 等 (2009) 山东半岛城市群地区地质资源与环境及其承载力综合分析与评价. 山东大学出版社, 济南.
- [22] 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. 科学出版社, 北京.
- [23] 何政伟, 刘峻杉, 赵银兵, 等 (2011) 西部矿产资源开发的地质生态环境承载力理论与方法探讨. *地球与环境*, **2**, 237-241.
- [24] 刘明 (2013) 岛群资源、生态环境承载力评估理论和方法基本框架初探. *发展研究*, **4**, 79-84.
- [25] 王娟娟 (2010) 甘南生态环境承载力的评价. *统计与决策*, **21**, 76-78.
- [26] 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. *经济与管理评论*, **3**, 54-60.
- [27] 闫波 (2012) 秦皇岛市生态环境承载力分析. *西北师范大学学报: 自然科学版*, **3**, 116-120.
- [28] 王中根, 夏军 (1999) 区域生态环境承载力的量化方法研究. *长江职工大学学报*, **4**, 9-12.
- [29] 孙海军, 张沛, 刘靖 (2009) 陕西关中地区生态环境承载力及其保护. *济南大学学报: 自然科学版*, **2**, 200-204.
- [30] 李树文, 康敏娟 (2010) 生态-地质环境承载力评价指标体系的探讨. *地球与环境*, **1**, 85-90.