

王奎峰, 李娜, 于学峰, 等. 山东半岛生态环境承载力评价指标体系构建及应用研究[J]. 中国地质, 2014, 41(3): 1018-1027.

Wang Kuifeng, Li Na, Yu Xuefeng, et al. The construction and application of the index system of eco-environmental carrying capacity in Shandong peninsula[J]. Geology in China, 2014, 41(3): 1018-1027(in Chinese with English abstract).

山东半岛生态环境承载力评价指标体系 构建及应用研究

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, 江苏 徐州 113001;

2.山东省地质科学研究院, 山东 济南 250013; 3.山东协和学院 经济管理学院, 山东 济南 250107)

摘要:经济发展、工业化进程的加快,不可避免地对生态环境产生巨大影响,从而影响人与自然的和谐。生态环境承载力是可持续发展研究的重要应用方向,也是践行生态文明建设的具体体现。本文结合山东半岛生态环境现状和特点,依据指标体系建立的原则,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4类一级指标,每类一级指标各选择其典型二级指标构建了17项评价指标作为其评价体系,采用层次分析法(AHP)确定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价,对现阶段山东半岛6个城市的生态环境承载力做出了评价。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。

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

中图分类号:X171.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2014)03-1018-10

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,建设以资源环境承载力为基础,以自然规律为准则及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^[1,2]。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^[3-8]。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^[9,10]。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^[11-19]。

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,随着《山东半岛蓝色经济区发展规划》通过国务院的批复实施,使得该区域的发展进入国家战略,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将更加突出^[3,20-24],这就迫切需要开展生态环境承载力方面的评价研究工作,通过参考以往资料

收稿日期:2013-10-22;改回日期:2014-01-12

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。

作者简介:王奎峰,男,1981年生,博士生,高级工程师,主要从事地质环境、地质勘查及相关科研方面的工作;E-mail:maplewkf@126.com。

发现^[1, 13, 14, 25-31], 目前关于该地区生态环境承载力指标体系建设及分析方面所做的研究工作很少, 且多侧重于某一城市或地区。国家已把“生态文明建设”上升到最高战略层面, 在这样的背景下, 笔者结合目前正在做的国家地质调查科研项目和山东省统计科研项目, 开展山东半岛生态环境承载力评价指标体系构建研究, 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国土资源合理配置、生态环境规划提供依据^[32, 33]。

1 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, 近年来, 前人在这方面曾开展过一定程度的研究, 如杜金辉等(2008)选取资源、环境、循环经济水平和经济社会支持能力4个方面的指标构建了山东省生态环境承载力指标体系^[12]; 邓宗成等(2009)运用主因子分析法选取人口和经济因素、海洋环境污染因素为评价指标, 对青岛市海洋生态环境承载力做过研究^[34]; 李树文等(2010)开展过生态地质环境承载力评价指标体系的探讨研究^[35]; 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, 运动承载指数方法, 分析了榆林市的生态环境承载力^[15]; 于谨凯等(2012)选取社会发展、经济发展、生态系统、自然环境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^[36], 等等。通过对以往文献的分析, 笔者发现, 生态环境承载力评价指标的选取非常重要, 是揭示生态环境优劣的前提和基础。因此, 本文在参考借鉴以往研究成果的基础上, 通过系统分析山东半岛生态环境现状和地域特点, 构建了能有效反映山东半岛生态环境承载系统的指标体系。

1.1 指标选取原则

本文构建生态环境承载力评价指标体系主要遵循以下原则: (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^[12, 24, 32, 33, 37]。

1.2 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3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^[33]。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^[12, 13, 15, 35, 36, 38-42], 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4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17项二级指标作为目标生态环境承载力的评价指标体系(图1)。

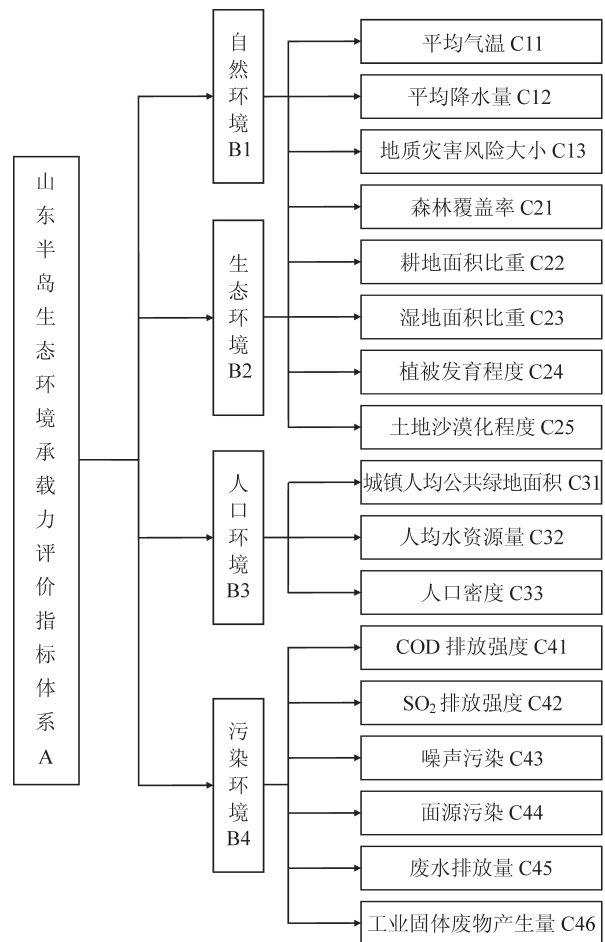


图1 山东半岛生态环境承载力评价指标体系图
Fig.1 Evaluation index system of eco-environmental carrying capacity in Shandong peninsula

1.3 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》、《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^[12, 22, 23]。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)。对于定量评价指标,又分为正指标和逆指标2类,分别用“+”、“-”符号表示,具体分级标准见表1。

1.4 指标权重(W_i)的确定

本文采用层次分析法^[33](AHP)计算各指标权重,具体流程不再赘述,对评价指标进行两两比较打分,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,说明各判断矩阵均具有满意一致性,得出的总权重和各子系统权重W_i的分配是合理的,一、二级指标权重见表1。

最大特征根 $\lambda_{\max}=4.605$, $CI=0.022$, 四阶矩阵(表2)的一致性指标 $RI=0.9$, $CR=CI/RI=0.0239<0.1$, 满足一致性检验。

$\lambda_{\max}=3.00$, $CI=0$, 三阶矩阵(表3)的一致性指标 $RI=0.58$, $CR=CI/RI=0<0.1$, 满足一致性检验。

$\lambda_{\max}=5.140$, $CI=0.035$, 五阶矩阵(表4)的一致性指标 $RI=1.12$, $CR=CI/RI=0.0312<0.1$, 满足一致性检验。

$\lambda_{\max}=3.009$, $CI=0.0046$, 三阶矩阵(表5)的一致性指标 $RI=0.58$, $CR=CI/RI=0.0079<0.1$, 满足一致性检验。

$\lambda_{\max}=6.014$, $CI=0.0027$, 六阶矩阵(表6)的一致性指标 $RI=1.24$, $CR=CI/RI=0.0022<0.1$, 满足一致性检验。

2 生态环境承载力模糊综合评价

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

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

一级指标及权重		二级指标及权重			评价指标分级标准			
指标	权重	指标	权重	综合权重	优	良	中	差
自然环境 B1	0.092	1 平均气温(C11)/℃ (-)	0.25	0.023	10.00	13.70	14.20	15.00
		2 平均降水量(C12)/(mm/a) (+)	0.25	0.023	1000	800	600	100
		3 地质灾害风险大小(C13)	0.5	0.046	风险小	风险较小	风险中等	风险大
生态环境 B2	0.57	4 森林覆盖率(C21)/% (+)	0.32	0.182	45	35	25	20
		5 耕地面积比重(C22)/% (+)	0.07	0.040	50	40	30	20
		6 湿地面积比重(C23)/% (+)	0.32	0.182	30	15	10	5
		7 植被发育程度(C24)	0.17	0.098	发育	较发育	一般发育	不发育
		8 土地沙漠化程度(C25)	0.12	0.069	无	轻度	一定程度	严重
人口环境 B3	0.208	9 城镇人均公共绿地面积(C31)/(m ² /人) (+)	0.54	0.112	25	18	12	9
		10 人均水资源量(C32)/(m ³ /人) (+)	0.297	0.062	700	500	450	300
		11 人口密度(C33)/(人/km ²) (-)	0.163	0.034	500	600	700	800
污染环境 B4	0.13	12 COD排放强度(C41)/(kg/万元GDP) (-)	0.23	0.030	0.75	1.00	1.50	2.00
		13 SO ₂ 排放强度(C42)/(kg/万元GDP) (-)	0.23	0.030	2	3	4	5
		14 噪声污染(C43)	0.121	0.016	无	轻度	一定程度	严重
		15 面源污染(C44)	0.07	0.009	无	轻度	一定程度	严重
		16 废水排放量(C45)/(10 ⁴ t) (-)	0.23	0.030	12000	20000	25000	30000
17 工业固体废物产生量(C46)/(10 ⁴ t) (-)	0.121	0.016	200	500	800	1000		

表2 A-B1总权重判断矩阵

Table 2 A-B1 total weight judgment matrix

A	B1	B2	B3	B4	W_i
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

表3 B1-C1j判断矩阵

Table 3 B1-C1j weight judgment matrix

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

表4 B2-C2j判断矩阵

Table 4 B2-C2j weight judgment matrix

B2	C21	C22	C23	C24	C25	W_i
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

表5 B3-C3j判断矩阵

Table 5 B3-C3j weight judgment matrix

B3	C31	C32	C33	W_i
C31	1	2	3	0.540
C32	1/2	1	2	0.297
C33	1/3	1/2	1	0.163

表6 B4-C4j判断矩阵

Table 6 B4-C4j weight judgment matrix

B4	C41	C42	C43	C44	C45	C46	W_i
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

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值矩阵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^[33]。

2.1 单因素评价指标的赋值

本文进行的生态环境承载力现状评价,以山东半岛地区6大城市作为评价单元,根据前面构建的评价指标体系,对每个评价单元进行赋值,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^[24, 33]。

2.2 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^[24, 33, 43]。

对于定量评价指标,分为正指标和逆指标2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

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

当 $j=2, 3$ 时, 正指标 逆指标

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

当 $j=4$ 时, 正指标 逆指标

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

而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, $(u_I, u_{II}, u_{III}, u_{IV})=(0,0,0,1)$ 。

2.3 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 $B=(b_1, b_2, \dots, b_n) (0 \leq b_i \leq 1)$ 。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年青岛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 。

$(0.023, 0.023, 0.046, 0.182, 0.04, 0.182, 0.098, 0.069, 0.112, 0.062, 0.034, 0.03, 0.03, 0.016, 0.009, 0.03, 0.016)$;

(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 。

$$R = \begin{bmatrix} 0.24 & 0.76 & 0 & 0 \\ 0 & 0.59 & 0.41 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.6 & 0.4 & 0 \\ 0.59 & 0.41 & 0 & 0 \\ 0 & 0.87 & 0.13 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0.43 & 0.57 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0.01 & 0.99 \\ 0.72 & 0.28 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0.45 & 0.55 \end{bmatrix}$$

(3) 根据 $B=A \cdot R$, 得出指标的综合隶属度值模糊集 $B=(0.081, 0.516, 0.271, 0.134)$

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, 4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。

2.4 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2)。

2.5 生态环境承载力分析

在本次山东半岛生态环境承载力指标建设及分析过程中, 我们发现山东半岛6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。

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

承载力等级	青岛	烟台	潍坊	威海	日照	东营
I	0.081	0.38	0.14	0.779	0.128	0.239
II	0.516	0.5	0.214	0.197	0.483	0.086
III	0.271	0.103	0.507	0.025	0.217	0.302
IV	0.134	0.019	0.141	0.000	0.174	0.375

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

城市	青岛	烟台	潍坊	威海	日照	东营
最大隶属度	0.516	0.5	0.507	0.779	0.483	0.375
承载力等级	II	II	III	I	II	IV

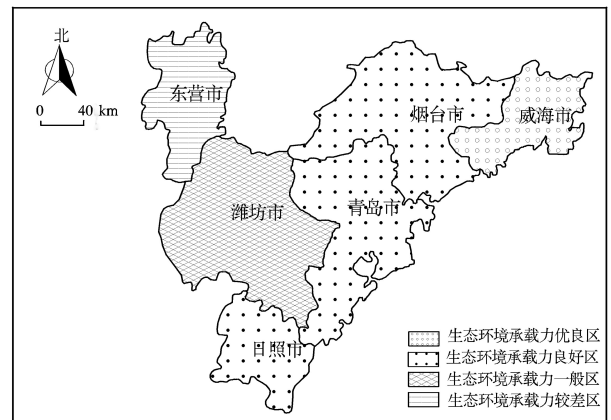


图2 山东半岛地区六城市生态环境承载力评价图
Fig.2 Eco-environmental carrying capacity evaluation of six cities in Shandong peninsula

(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。威海市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:是山东省经济中心,人口密度大,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,如:水土流失量大面广,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、海洋及海岸带污染、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^[33]。

(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高居不下,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,但其他指标较差,导致其整体指标呈现较差特征,该地区生态环境系统发育过程短,抗逆能力差,落地油污染较多,土壤盐碱含量高,地下水水位易被海水渗透,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。应根据其生态经济发展目标,大力培育石油替代产业,考虑其自然资源的约束,确保其自然资源存量的稳定。

3 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17个二级指标所组成,通过层次分析法(AHP)来确定指标权重,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6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)山东半岛生态环境承载力指标体系的构建中,选用的每个指标都有其自身的城市特点和发展趋势,因此,要针对具体的城市生态环境承载力特征,因地制宜,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。

参考文献(References):

- [1] 张彦英, 樊笑英. 生态文明建设与资源环境承载力[J]. 中国国土资源经济, 2011, 24(4): 9-11.
Zhang Yanying, Fan Xiaoying. Eco-civilization construction and resource-environmental carrying capacity[J]. Natural Resource Economic of China, 2011, 24(4): 9-11(in Chinese with English abstract).
- [2] 王丽. 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, 2009, 34(1): 58-61.
Wang Li. Application of Ecological footprint analysis method in Eco-environmental Carrying Capacity[J]. Environment and Sustainable Development, 2009, 34(1): 58-61(in Chinese with English abstract).
- [3] 刘钧仁. 山东半岛城市群地区生态环境可持续发展研究[D]. 山东大学硕士论文, 2012.
Liu Junren. Study on the Sustainable Development of the Ecological Environment in Shandong Peninsula city group[D]. Master Thesis of Shandong University, 2012(in Chinese with English abstract).
- [4] 赵传松. 山东半岛城市群生态环境评价与可持续发展能力建设[D]. 山东师范大学硕士论文, 2006.
Zhao Chuansong. The Ecological Environmental Evaluation and Construction of Sustainable Development Capacity in Shandong Peninsula Urban Agglomeration[D]. Master Thesis of Shandong Normal University, 2006(in Chinese with English abstract).
- [5] 袁丙华. 中国西南岩溶石山地区地下水资源及生态环境地质研究[M]. 西安: 电子科技大学出版社, 2007.
Yuan Binghua. Karst Areas of Southwestern China Groundwater Resources and Ecological Environmental Geology Research[M]. Xi'an: University of Electronic Science and Technology Press, 2007(in Chinese).
- [6] 孙家驹. 全球关注: 生态环境与可持续发展走向[M]. 南昌: 江西人民出版社, 2006.
Sun Jiaju. Global Focus: To the Ecological Environment and Sustainable Development[M]. Nanchang: Jiangxi People's Publishing House, 2006(in Chinese).
- [7] 卢耀如. 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[M]. 南京: 河海大学出版社, 2003.
Lu Yaoru. Geo-ecological Environment and Sustainable Development: Development of Southwest China and Neighboring Karst Areas[M]. Nanjing: Hohai University Press, 2003(in Chinese).
- [8] 高吉喜. 可持续发展理论探索: 生态承载力理论, 方法与应用[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2001.
Gao Jixi. Exploring the Sustainable Development Theory: Ecological Carrying Capacity Theory, Method and Application[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2001(in Chinese).
- [9] 沈渭寿. 区域生态承载力与生态安全研究[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2010.
Shen Weitao. Study on the Ecological Carrying Capacity and Ecological Security Region[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2010(in Chinese).
- [10] 邢永强, 冯进城, 窦明. 区域生态环境承载能力理论与实践[M]. 北京: 地质出版社, 2007.
Xing Yongqiang, Feng Jincheng, Dou Ming. The Theory and Practice of Carrying Capacity of the Regional Ecological environment[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007(in Chinese).
- [11] 谭映宇, 张平, 刘容子, 等. 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, 2012, 22(12): 7-12.
Tan Yingyu, Zhang Ping, Liu Rongzi, et al. Comparative study on the carrying capacity of marine resources, ecology and environment in three bays of Bohai Sea[J]. China Population Resources and Environment, 2012, 22(12): 7-12(in Chinese with English abstract).
- [12] 杜金辉, 吕培茹, 甄文栋, 等. 山东省生态环境承载力评价指标体系探讨[J]. 中国环境管理干部学院学报, 2008, 18(1): 10-14.
Du Jinhui, Lv Peiru, Zhen Wendong, et al. Study on the valuation index system of eco-environmental carrying capacity in Shandong Province[J]. Journal of Environmental Management College of China, 2008, 18(1): 10-14(in Chinese with English abstract).
- [13] 夏军, 王中根, 左其亨. 生态环境承载力的一种量化方法研究——以海河流域为例[J]. 自然资源学报, 2004, 19(6): 786-794.
Xia Jun, Wang Zhonggen, Zuo Qiting. Study on eco-environment carrying capacity: A quantifying method and case study in the Haihe Basin, China[J]. Journal of Natural Resources, 2004, 19(6): 786-794(in Chinese with English abstract).
- [14] 李朝辉, 魏贵臣. 生态环境承载力评价方法研究及实例[J]. 环境科学与技术, 2005, 28(1): 75-76.

- Li Chaohui, Wei Guichen. The ecological environment carrying capacity evaluation method and case study[J]. *Environmental Science and Technology*, 2005, 28(1): 75-76(in Chinese).
- [15] 郭娜, 王伯铎, 崔晨, 等. 榆林市生态环境承载力评价分析[J]. *中国人口, 资源与环境*, 2011, 21(3): 104-107.
- Guo Na, Wang Boduo, Cui Chen. Evaluation and analysis on the ecological environment carrying capacity in Yulin City[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2011, 21(3): 104-107(in Chinese with English abstract).
- [16] 毛汉英, 余丹林. 区域承载力定量研究方法探讨[J]. *地球科学进展*, 2001, 16(4): 549-555.
- Mao Hanying, Yu Danlin. A Study on the Quantitative Research of Regional Carrying Capacity[J]. *Advance in Earth Sciences*, 2001, 16(4): 549-555(in Chinese with English abstract).
- [17] 张雷, 刘慧, 陈文言. 国家资源环境安全的要素综合评价[J]. *地球科学进展*, 2004, 19(2): 283-288.
- Zhang Lei, Liu Hui, ChenWenyan. Comprehensive evaluation of the elements of national resources environmental security[J]. *Advances in Earth Sciences*, 2004, 19(2): 283-288(in Chinese with English abstract).
- [18] 秦大河, 丁一汇, 等. 中国西部生态环境变化与对策建议[J]. *地球科学进展*, 2002, 17(3): 314-319.
- Qin Dahe, Ding Yihui. The changes and countermeasures of ecological environment in Western China[J]. *Advances in Earth Sciences*, 2002, 17(3): 314-319(in Chinese with English abstract).
- [19] 徐中民, 程国栋. 生态环境损失价值计算初步研究—以张掖地区为例[J]. *地球科学进展*, 1999, 14(5): 498-504.
- Xu Zhongmin, Chen Guodong. Preliminary study of Zhangye area as an example to calculate the ecological environment loss value[J]. *Advances in Earth Sciences*, 1999, 14(5): 498-504(in Chinese with English abstract).
- [20] 张海峰. 山东半岛城市群生态环境与经济协调发展模式研究[D]. 中国海洋大学博士论文, 2005.
- Zhang Haifeng. The city group in Shandong Peninsula ecological Environment and Economy Coordinated Development Pattern Research[D]. Ph. D Dissertation of Ocean University of China, 2005(in Chinese with English abstract).
- [21] 王江炜. 山东半岛中小城市生态环境与经济社会协调发展的研究[D]. 中国海洋大学博士论文, 2008.
- Wang Jingwei. Research on Social Coordinated Development of Shandong Peninsula City Ecological Environment and the Economy of Small and Medium-sized Cities[D]. Ph. D Dissertation of Ocean University of China, 2008(in Chinese with English abstract).
- [22] 赵传松, 任建兰. 山东半岛城市化进程中的生态环境问题[J]. *国土与自然资源研究*, 2006, 1: 49-50.
- Zhao Chuansong, Ren Jianlan. The environmental problem in the process of urbanization in Shandong Peninsula[J]. *Territory & Natural Resources Study*, 2006, 1: 49-50(in Chinese with English abstract).
- [23] 王丽红, 贺可强. 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[J]. *资源调查与环境*, 2010, 31(4): 303-310.
- Wang Lihong, He Keqiang. Study on evaluation of the coordination between geo-ecological environment and economic development in grouped cities areas, Shandong peninsula[J]. *Resources Survey & Environment*, 2010, 31(4): 303-310(in Chinese with English abstract).
- [24] 王丽红. 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[D]. 青岛理工大学硕士论文, 2009.
- Wang Lihong. Study on the Coordination between Geo-Ecological Environmental Quality and Economic Development of Shandong Peninsula City Group Region[D]. Master thesis of Qingdao Technological University, 2009(in Chinese with English abstract).
- [25] 黄敬军, 缪世贤, 张丽. 江苏省地质环境综合区划研究[J]. *中国地质*, 2013, 40(6): 1982-1992.
- Huang Jingjun, Miao Shixian, Zhang Li. The comprehensive division of geo-environment in Jiangsu Province[J]. *Geology in China*, 2013, 40(6): 1982-1992(in Chinese with English abstract).
- [26] 黄敬军, 甘义群, 缪世贤, 等. 江苏省地质环境区划评价指标体系初步研究[J]. *中国地质*, 2011, 38(6): 1599-1606.
- Huang Jingjun, Gan Yiqun, Miao Shixian, et al. A preliminary study of the evaluation index system for geo-environment regionalization in Jiangsu[J]. *Geology in China*, 2011, 38(6): 1599-1606(in Chinese with English abstract).
- [27] 何芳, 徐友宁, 乔冈, 等. 中国矿山环境地质问题区域分布特征[J]. *中国地质*, 2010, 37(5): 1520-1529.
- He Fang, Xu Youning, Qiao Gang, et al. Regional distribution characteristics of mine environmental geological problems in China[J]. *Geology in China*, 2010, 37(5): 1520-1529(in Chinese with English abstract).
- [28] 何芳, 徐友宁, 袁汉春. 矿山环境地质问题综合评价客观权值确定方法探讨[J]. *中国地质*, 2008, 35(2): 337-343.
- He Fang, Xu Youning, Yuan Hanchun. Method for the determination of objective weight-values in the comprehensive evaluation of mine environmental geological problems[J]. *Geology in China*, 2008, 35(2): 337-343(in Chinese with English abstract).
- [29] 林军. 海峡西岸城市群地质环境特征研究[J]. *中国地质*, 2006, 33(2): 444-450.
- Lin Jun. Geo-environmental characteristics in cities of southern Fujian at the west coast of the Taiwan Strait[J]. *Geology in China*, 2006, 33(2): 444-450(in Chinese with English abstract).
- [30] 张智全. 庆阳市生态承载力与生态环境评价研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学博士论文, 2010.
- Zhang Zhiquan. Study on Ecological Capacity and Environment Evaluation of Qingyang, GanSu[D]. Lanzhou: GanSu Agricultural University Doctoral Thesis, 2010(in Chinese with English abstract).

- abstract).
- [31] 杜新波, 秦静. 基于生态足迹的区域生态环境承载力评价——以青海省海西州为例[J]. 资源与产业, 2010, (5): 56–60.
Du Xinbo, QIN Jing. A case study on Haixi County, Qinghai Province: Regional eco–environmental load assessment based on ecological footprint[J]. Resources & Industries, 2010, (5): 56–60(in Chinese with English abstract).
- [32] 贺可强, 卢耀如, 李关宾, 等. 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评价[M]. 济南: 山东大学出版社, 2009.
He Keqiang, Lu Yaoru, Li Guanbin, et al. Geological Resources in Shandong Peninsula City Group Area and Environment and Its Bearing Capacity of Comprehensive Analysis and Evaluation[M]. Ji'nan: Shandong University Press, 2009(in Chinese).
- [33] 贺可强, 侯新文, 尹明泉, 等. 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, 2010.
He Keqiang, Hou Xinwen, Yin Mingquan. The Geological and Ecological Environment and Economy Coordinated Development and Spatial Database of the City Group in Shandong Peninsula Area Analysis as an Example[M]. Beijing: Science Press, 2010(in Chinese).
- [34] 邓宗成, 孙英兰, 周皓, 等. 沿海地区海洋生态环境承载力定量化研究——以青岛市为例[J]. 海洋环境科学, 2009, 28(4): 438–441.
Deng Zongcheng, Sun Yinglan, Zhou Hao, et al. A study on quantification of environmental capacity of marine ecology in coastal area—Qingdao city[J]. Marine Environmental Science, 2009, 28(4): 438–441(in Chinese with English abstract).
- [35] 李树文, 康敏娟. 生态—地质环境承载力评价指标体系的探讨[J]. 地球与环境, 2010, 38(1): 85–90.
Li Shuwen, Kang Minjuan. A discussion on the evaluation index system of eco–geological environmental carrying capacity[J]. Earth and Environment, 2010, 38(1): 85–90(in Chinese with English abstract).
- [36] 于谨凯, 杨志坤. 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, 2012, 15(3): 54–60.
Yu JinKai, Yang Zhikun. Study on bearing capacity of Bohai coastal sea area ecological environment based on fuzzy comprehensive evaluation[J]. Shandong Economy, 2012, 15(3): 54–60(in Chinese with English abstract).
- [37] 何政伟, 刘峻杉, 赵银兵, 等. 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[J]. 地球与环境, 2011, 39(2): 237–241.
He Zhengwei, Liu Junshan, Zhao Yinbing, et al. Discussion on the geo– ecological environmental carrying capacity of mineral resource exploitation in western regions[J]. Earth and Environment, 2011, 39(2): 237–241(in Chinese with English abstract).
- [38] 刘明. 岛群资源、生态环境承载力评估理论和方法基本框架初探[J]. 发展研究, 2013, (4): 79–84.
Liu Ming. Preliminary study on the basic theory and method of carrying capacity assessment in island group resources, ecological environment[J]. Development Research, 2013, (4): 79–84.
- [39] 王娟娟. 甘南生态环境承载力的评价[J]. 统计与决策, 2010, (21): 76–78.
Wang Juanjuan. Evaluation of Gannan ecological carrying capacity[J]. Statistics and Decision Making, 2010, (21): 76–78(in Chinese with English abstract).
- [40] 闫波. 秦皇岛市生态环境承载力分析[J]. 西北师范大学学报: 自然科学版, 2012, 48(3): 116–120.
Yan Bo. Analysis of ecological capacity of Qinhuangdao City[J]. Journal of Northwest Normal University (Natural Science), 2012, 48(3): 116–120(in Chinese with English abstract).
- [41] 王中根, 夏军. 区域生态环境承载力的量化方法研究[J]. 长江理工大学学报, 1999, 16(04): 9–12.
Wang Zhonggen, Xia Jun. Quantitative analysis on bearing capacity of ecological environment[J]. Journal of Changjiang Vocational University, 1999, 16(04): 9–12(in Chinese with English abstract).
- [42] 孙海军, 张沛, 刘靖. 陕西关中地区生态环境承载力及其保护[J]. 济南大学学报: 自然科学版, 2009, 23(2): 200–204.
Sun HaiJun, Zhang Pei, Liu Jing. Eco– environmental bearing capacity and protection of Guanzhong region in Shaanxi[J]. Journal of Ji'nan University (Science & Technology), 2009, 23(2): 200–204(in Chinese with English abstract).
- [43] 卢耀如, 贺可强, 李相然, 等. 山东半岛城市群地区地质–生态环境与可持续发展研究[M]. 北京: 地质出版社, 2010.
Lu Yaoru, He Keqiang, Li Xiangran, et al. Research on Geo–Ecological Environment and Sustainable Development of the city agglomeration in Shandong Peninsula[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2010(in Chinese).

The construction and application of the index system of eco-environmental carrying capacity in Shandong peninsula

WANG Kui-feng^{1,2}, LI Na³, YU Xue-feng², WANG Yue-lin², LIU Yang²

(1. School of Resources and Earth Sciences, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, Jiangsu, China;

2. Shandong Institute and Laboratory of Geological Sciences, Jinan 250013, Shandong, China;

3. School of Economics and Management, Shandong Xiehe University, Jinan 25010, Shandong, China)

Abstract: The accelerated process of urbanization and economy inevitably impacts the ecological environment, affects the function of traditional eco-environment, and destroys the harmony of human beings and nature. Eco-environmental bearing capacity is an important application direction of sustainable development research, and also the embodiment of the construction of ecological civilization. In this paper, the evaluation index system of eco-environmental carrying capacity of Shandong peninsula was established. In combination with actual conditions and characteristics based on the principle of establishing the evaluation index system, the evaluation index system was divided into four primary indexes: natural environment, ecological environment, population environment, and contaminated environment, and then the evaluation index system constructed 17 typical evaluation indexes as secondary indexes that we chose from the primary indexes, with the weight of each evaluation index determined by AHP. The authors adopted fuzzy comprehensive judgment to assess the eco-environment carrying capacity of six cities in Shandong peninsula at the present stage, and the results show that Weihai City is of the first rate, Qingdao, Yantai, Rizhao are of the second rate, Weifang City is of the third rate, and Dongying City is of the lowest rate. Based on the evaluation results and analysis of each city, the authors provide the scientific basis for the eco-civilization construction.

Key words: eco-environmental carrying capacity; fuzzy comprehensive judgement; Shandong peninsula; index system; AHP

About the first author: WANG Kui-feng, male, born in 1981, doctor candidate, senior engineer, mainly majors in geological environment and geological exploration as well as related studies; E-mail: maplewkf@126.com.