

沿海地区环境承载力评价指标体系研究及应用

刘冀闽

河北省地质矿产勘查开发局第八地质大队

DOI:10.12238/jpm.v3i9.5264

[摘要] 本文在分析研究我国沿海地区自然环境状况的基础上,结合社会活动发展现状,构建了沿海地区环境承载力评价指标体系。以秦皇岛市为例,运用层次分析法确定了秦皇岛环境承载力评价指标体系评价指标权重,并采用综合评价法对秦皇岛环境承载力进行评价。评价结果为秦皇岛人类活动与自然环境的协调发展提供科学依据,也为其它沿海城市的环境承载力评价提供参考。

[关键词] 环境承载力; 评价指标体系; 层次分析法; 综合评价法; 秦皇岛

中图分类号: D922.68 **文献标识码:** A

Research and Application of Evaluation Index System for Environmental Carrying Capacity in Coastal Areas

Jimin Liu

Hebei Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration 8th Geological Brigade

[Abstract] Based on the analysis of the natural environment conditions and the development of social activities in the coastal areas of China, this paper established an evaluation index system for environment carrying capacity in coastal areas. Taking Qinhuangdao as an example, this paper determined the weight of evaluation index system for environment carrying capacity by AHP, and evaluated the environmental carrying capacity of Qinhuangdao with the comprehensive evaluation method. The evaluation results provide the scientific basis for the coordinated development of human activities and natural environment in Qinhuangdao and a reference for the evaluation of environmental carrying capacity in other coastal cities.

[Key words] environmental carrying capacity; evaluation index system; AHP; comprehensive evaluation method; Qinhuangdao

引言

环境是人类生存和发展的基础,既能够为人类活动提供空间和载体,又为人类活动提供资源并容纳废弃物,是人类社会不断持续发展的重要保障。环境承载力是指在一定时期与一定范围内,以及在一定自然环境的条件下,维持环境系统结构不发生质的改变,环境功能不遭受破坏的前提下,环境系统所能承受的人类活动的阈值^[1]。随着我国城市化发展的不断加快,生态系统退化、环境污染加剧等环境问题日益严重,环境保护与人类社会如何协调发展越来越受到人们的关注。近年来,国内专家学者对环境承载力评价方面做了一系列研究。周翟尤佳等^[2]总结了目前国内外环境承载力的主要评估方法和研究进展,并指出我国环境承载力的未来研究方向。郑佳怡等^[3]采用层次分析法建立了区域环境承载力评价指标体系,同时应用该评价指标体系对黄河上游流域的环境承载力进行评价。杨静等^[4]构建了海岸带环境承载力评价指标体系,并提出指标量化方法和综合承载力定量评价方法。环境承载力是连接人类活动与自然环境的纽带,

能够反映人类活动与环境系统之间的协调程度,开展环境承载力评价可以为人类活动与自然环境的协调发展提供科学依据。

本文在充分梳理分析以往研究资料的基础上,结合我国沿海地区的自然环境概况、社会发展和城市建设的需要,构建了沿海地区环境承载力评价指标体系,详细阐述了运用层次分析法确定评价指标权重的步骤,并以秦皇岛为例,对秦皇岛环境承载力进行评价,为秦皇岛市人类社会与自然环境系统的可持续提供基础依据。

1 评价指标体系建立的基本原则

为了使所构建的环境承载力评价指标体系既能够全面客观地反映环境承载状态,又方便实际工作的进行,在选取评价指标时需要遵循以下原则^[5-6]。

1.1 科学性原则

指标体系是否科学合理直接关系到评价的质量,所选取的指标要能客观、科学地反映环境承载力,能较好地量度各子系统的发展程度,综合地反映影响环境承载力变化的主要因素。

1.2 适宜性原则

指标体系大小力求适宜, 指标体系过大会因指标层次过多过细而将决策者的思维引导到偏离主要问题的思路, 过多的关注不重要的或不起决定性作用的细小问题上, 指标体系过小又会由于对指标划分的过粗而对承载力的真实水平无法充分反映。

1.3 可行性原则

在确定评价指标时, 既要秉承系统性、全面性原则, 又要注意评价体系的简单可操作性。在选取指标时要优先选取一些概括性比较强、信息量比较大、收集和统计起来比较方便的数据资料, 并且需要对数据获取以及指标量化的难易充分考虑, 最好选择一些由统计部门所公开发布的数据。

1.4 代表性原则

在构建评价指标体系时所选择的指标必须要与城市规划、统计指标以及一些常规性的监测项目和数据相适应。指标选取工作的成效如何在很大程度上是由指标体系中所选取的指标是否能实现所期望的代表性作用来决定的。

2 评价指标体系的构建

表1 沿海地区环境承载力评价指标体系

目标层	准则层	指标层
环境承载力	地质环境	地下水水质等级
		海水入侵面积
		工程地基稳定性
		地震动峰值加速度
		崩塌滑坡泥石流易发程度
		地面塌陷易发程度
	海洋环境	近岸海域水质状况
		近岸海域沉积物质量
		风暴潮灾害危险性
		赤潮灾害易发程度
		岸线侵蚀程度
	生态环境	生态环境状况指数
		人均公园绿地面积
		建成区绿化覆盖率
		森林覆盖率
		湿地面积比重
		生物多样性变化
		水土流失程度
	大气环境	优良天数比例
		空气质量综合指数
		SO ₂ 年均浓度
NO ₂ 年均浓度		
PM ₁₀ 年均		
PM _{2.5} 年均浓度		

基于评价指标体系建立的基本原则, 本研究结合我国沿海地区的自然环境现状和社会发展水平等, 构建了我国沿海地区环境承载力评价指标体系。该指标体系分三个层次, 分别为目标层、准则层和指标层。其中目标层为环境承载力, 准则层包括地质环境、海洋环境、生态环境、大气环境4个, 指标层包括24个具体指标, 见表1。

3 评价指标权重的确定方法

评价指标权重的确定是环境承载力评价过程中关键的一步, 对评价结果是否真实准确有很大影响。AHP是由美国运筹学家萨蒂提出的一种定性定量相结合的多目标、多准则的决策分析方法, 其原理简单、理论严谨、且易于操作, 被广泛地应用于复杂系统的分析与决策问题^[7]。

层次分析法进行赋权的具体步骤如下:

3.1 建立层次结构模型

针对需要解决的问题进行分析研究, 确定要达到的目标以及对其有影响的组成因素, 并对各因素之间的相互关系及层次关系进行分析, 形成一个层次结构模型。

3.2 构造判断矩阵

根据层次结构模型可以确定上下层间的隶属关系, 判断矩阵表示针对上一层次中的某因素而言, 该层次中各相关指标因子的相对重要性的比较, 将各层各因素进行两两比较, 即可得到量化的判断矩阵。

依据标度取值表, 见表2, 采用专家经验判断法即可得到判断矩阵。

表2 标度取值表

元素	标度	定义
a_{ij}	1	i 因素与 j 因素同样重要
	2	i 因素与 j 因素介于同样重要与略微重要之间
	3	i 因素与 j 因素略微重要
	4	i 因素与 j 因素介于略微重要与比较重要之间
	5	i 因素与 j 因素比较重要
	6	i 因素与 j 因素介于比较重要与非常重要之间
	7	i 因素与 j 因素非常重要
	8	i 因素与 j 因素介于非常重要与绝对重要之间
	9	i 因素与 j 因素绝对重要
	倒数	若 j 因素与 i 因素比较, 得到的判断值为标度值倒数

3.3 重要性排序

重要性排序主要是计算判断矩阵的最大特征值和特征向量, 这里采用特征根法来进行计算, 步骤如下。

3.3.1 计算判断矩阵每行所有元素的几何平均值, 公式如下:

$$\bar{w} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n a_{ij}} \quad i=1, 2, \dots, n$$

得到 $\bar{w} = (\bar{w}_1, \bar{w}_2, \dots, \bar{w}_n)^T$

3.3.2 将 \bar{w} 进行归一化处理, 公式如下:

$$w_i = \frac{\bar{w}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{w}_i} \quad i=1, 2, \dots, n$$

得到 $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$, 即为所求的各指标的权重向量。

3.3.3 计算判断矩阵的最大特征值 λ_{max} :

$$\lambda_{max} = \sum_{i=1}^n \frac{(Aw)_i}{(nw)_i}$$

式中 A_{wi} 为向量 Aw 的第 i 个元素; A 为判断矩阵。

3.3.4 一致性检验

计算一致性比例 $CR = \frac{CI}{RI}$

其中 CI 为一致性指标: $CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$

RI 为平均随机一致性指标, 平均随机一致性指标取值见表3。

表3 平均随机一致性指标取值表

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

当 $CR < 0.1$ 时, 认为判断矩阵的一致性是可以接受的, 则确定的各指标权重是合理的, 如果不满足条件, 则应对判断矩阵作适当的修正, 直至得到满意的一致性检验。

4 实例分析

本研究以秦皇岛为例, 运用已构建的环境承载力评价指标体系对秦皇岛环境承载力进行评价, 详细阐述。

4.1 数据来源

本次评价所涉及到的原始数据主要来源于《2019年秦皇岛市生态环境状况公报》《2019年河北省生态环境状况公报》、《2019年河北省水资源公报》、《秦皇岛市2019年国民经济和社会发展统计公报》及秦皇岛市统计局、秦皇岛市生态环境局等官网上公布的相关统计数据, 还有一部分数据是来源于资料收集、野外调查和综合研究等手段获取的数据资料。

4.2 指标权重的确定

采用层次分析法计算评价指标体系中各评价指标权重, 首先需要建立层次结构模型(图1), 然后根据各层次各因素的重要程度, 对评价指标进行两两比较打分, 构造判断矩阵(表4~表8), 对各判断矩阵进行一致性检验, 计算各判断矩阵的最大特征值 λ_{max} 、一致性指标 BI 、平均随机一致性指标 RI 及一致性比例 BR , 计算结果显示, 各判断矩阵均通过一致性检验。

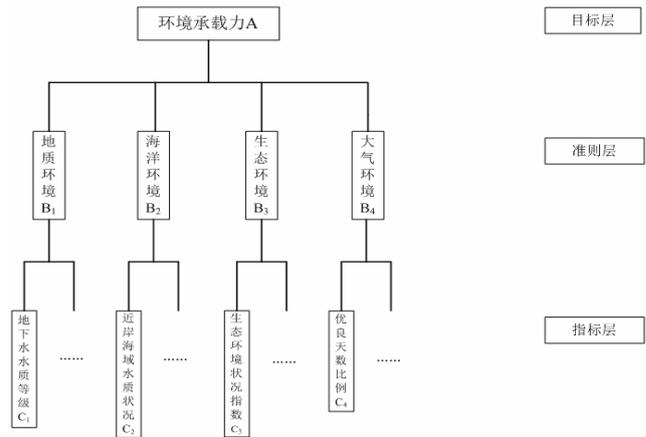


图1 环境承载力评价指标体系递阶层次结构图

表4 环境承载力判断矩阵(A-B)

A	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄
B ₁	1	2	1	2
B ₂	1/2	1	1/2	1
B ₃	1	2	1	2
B ₄	1/2	1	1/2	1

表5 地质环境承载力判断矩阵(B₁-C)

B ₁	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
C ₁	1	2	2	3	1/2	4
C ₂	1/2	1	1	2	1/3	3
C ₃	1/2	1	1	2	1/3	3
C ₄	1/3	1/2	1/2	1	1/4	2
C ₅	2	3	3	4	1	5
C ₆	1/4	1/3	1/3	1/2	1/5	1

表6 海洋环境承载力判断矩阵(B₂-C)

B ₂	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁
C ₇	1	1	5	3	2
C ₈	1	1	5	3	2
C ₉	1/5	1/5	1	1/3	1/4
C ₁₀	1/3	1/3	3	1	1/3
C ₁₁	1/2	1/2	4	3	1

表7 生态环境承载力判断矩阵(B₃-C)

B ₃	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	C ₁₆	C ₁₇	C ₁₈
C ₁₂	1	4	1/2	1/3	3	5	2
C ₁₃	1/4	1	1/5	1/5	1/2	2	1/3
C ₁₄	2	5	1	1/2	4	5	3
C ₁₅	3	5	2	1	5	5	4
C ₁₆	1/3	2	1/4	1/5	1	3	1/2
C ₁₇	1/5	1/2	1/5	1/5	1/3	1	1/4
C ₁₈	1/2	3	1/3	1/4	2	4	1

表8 大气环境承载力判断矩阵(B_i-C)

B _i	C ₁₉	C ₂₀	C ₂₁	C ₂₂	C ₂₃	C ₂₄
C ₁₉	1	1/3	1/2	1/2	1/2	1/4
C ₂₀	3	1	2	2	2	1/2
C ₂₁	2	1/2	1	1	1	1/3
C ₂₂	2	1/2	1	1	1	1/3
C ₂₃	2	1/2	1	1	1	1/3
C ₂₄	4	2	3	3	3	1

表9 秦皇岛环境承载力评价指标体系各评价指标权重

目标层	准则层	权重	指标层	权重	综合权重
环境承载力	地质环境	0.333	地下水水质等级	0.232	0.077
			海水入侵面积	0.136	0.045
			工程地基稳定性	0.136	0.045
			地震动峰值加速度	0.080	0.027
			崩塌滑坡泥石流易发程度	0.365	0.122
			地面塌陷易发程度	0.051	0.017
	海洋环境	0.167	近岸海域水质状况	0.320	0.053
			近岸海域沉积物质量	0.320	0.053
			风暴潮灾害危险性	0.051	0.009
			赤潮灾害易发程度	0.102	0.017
			岸线侵蚀程度	0.207	0.035
	生态环境	0.333	生态环境状况指数	0.164	0.027
			人均公园绿地面积	0.047	0.008
			建成区绿化覆盖率	0.242	0.040
			森林覆盖率	0.336	0.056
			湿地面积比重	0.070	0.012
			生物多样性变化	0.034	0.006
	大气环境	0.167	水土流失程度	0.107	0.018
			优良天数比例	0.067	0.022
			空气质量综合指数	0.218	0.073
			SO ₂ 年均浓度	0.120	0.040
NO ₂ 年均浓度			0.120	0.040	
PM ₁₀ 年均浓度			0.121	0.040	
			PM _{2.5} 年均浓度	0.354	0.118

环境承载力判断矩阵(A-B):

$\lambda_{max}=4.000, BI=0.000, RI=0.90, BR=0<0.1$, 通过一致性检验。

权重向量为 $w=(0.333, 0.167, 0.333, 0.167)^T$ 。

地质环境承载力判断矩阵(B₁-C):

$\lambda_{max}=6.073, BI=0.015, RI=1.24, BR=0.012<0.1$, 通过一致性检验。

权重向量为 $w=(0.232, 0.136, 0.136, 0.080, 0.365, 0.051)^T$ 。

海洋环境承载力判断矩阵(B₂-C):

$\lambda_{max}=5.111, BI=0.028, RI=1.12, BR=0.025<0.1$, 通过一致性检验。

权重向量为 $w=(0.320, 0.320, 0.051, 0.102, 0.207)^T$ 。

生态环境承载力判断矩阵(B₃-C):

$\lambda_{max}=7.286, BI=0.048, RI=1.32, BR=0.036<0.1$, 通过一致

性检验。

权重向量为 $w=(0.164, 0.047, 0.242, 0.336, 0.070, 0.034, 0.107)^T$ 。

大气环境承载力判断矩阵(B₄-C):

$\lambda_{max}=6.032, BI=0.006, RI=1.24, BR=0.005<0.1$, 通过一致性检验。

权重向量为 $w=(0.067, 0.218, 0.120, 0.120, 0.121, 0.354)^T$ 。

通过以上计算得到秦皇岛环境承载力评价指标体系中各评价指标的权重, 见表9。

4.3 环境承载力评价

由于环境承载力评价受较多不确定性因素的影响, 评价指标体系既有定性指标又有定量指标, 本次评价采用综合评价法^[8]对环境承载力进行评价。

综合评价法是首先将指标数据无量纲化处理之后, 然后确定各评价指标的权重, 最后运用综合评价模型对环境承载力进行综合评价。

$$F = \sum_{i=1}^m y_i \cdot w_i$$

式中F为承载力综合评价值;

y_i 为第i个指标标准化后的指标值;

w_i 为第i个指标权重。

秦皇岛环境承载力评价结果见表10、图2。

表10 秦皇岛环境承载力综合评价结果

区县等级	权重	海港区	北戴河区	山海关区	抚宁区	昌黎县	青龙县	卢龙县
地质环境	0.333	0.7394	0.5920	0.6463	0.6521	0.6170	0.5950	0.6767
海洋环境	0.167	0.8980	0.8980	1.0000	0.7930	0.7930	-	-
生态环境	0.333	0.4073	0.7321	0.5124	0.4249	0.2088	0.5346	0.2120
大气环境	0.167	0.6178	0.7403	0.6142	0.4318	0.5755	0.9739	0.0491
综合评价价值	0.6350	0.7145	0.6554	0.5632	0.5035	0.5388	0.3041	
承载力等级		较高	较高	较高	中等	中等	中等	较低

5 分析与结论

(1) 本文在分析研究我国沿海地区自然环境状况的基础上, 充分考虑评价指标体系建立的基本原则, 构建了沿海地区环境承载力评价指标体系, 以秦皇岛市为例, 运用层次分析法计算了秦皇岛环境承载力评价指标体系中各评价指标权重。

(2) 基于确定的秦皇岛环境承载力评价指标体系各评价指标权重, 采用综合评价法对秦皇岛环境承载力进行评价, 评价结果能够为秦皇岛市的社会经济发展规划提供决策依据, 也为其它沿海城市的环境承载力评价提供参考。

(3) 根据秦皇岛环境承载力评价结果分析表明, 秦皇岛环境承载力总体处于中等以上水平, 其中海港区、北戴河区和山海关区自然环境对人类社会的承载力较高, 抚宁区、昌黎县和青

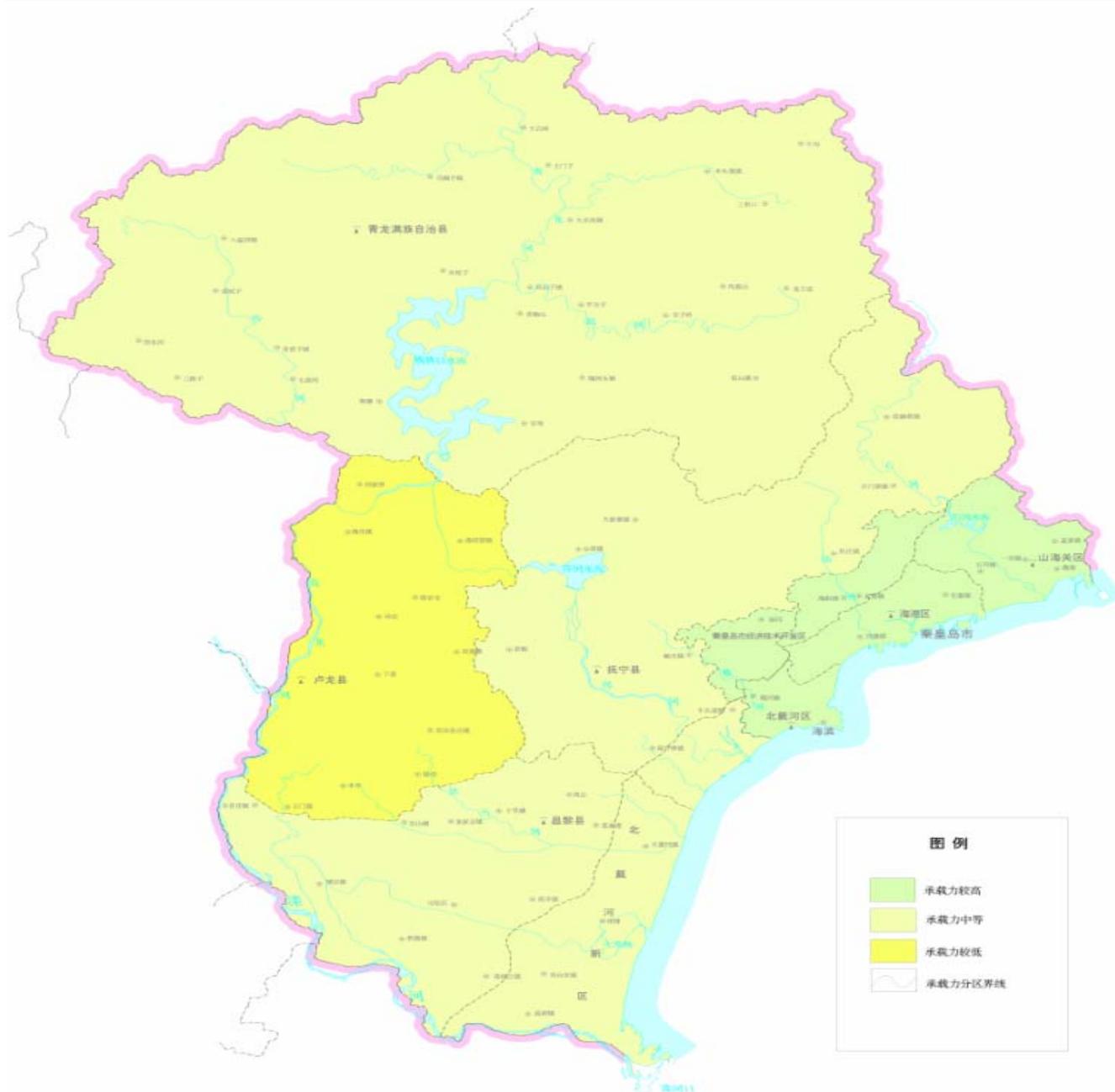


图2 秦皇岛环境承载力评价分区图

龙县环境承载力中等, 卢龙县环境承载力较低, 在今后要加强可持续观念, 建立社会发展与自然环境供给相匹配的结构体系, 确保人类活动与自然环境的可持续协调发展。

[参考文献]

[1]曾维华,王华东,薛纪渝,等.人口、资源与环境协调发展关键问题之一——环境承载力研究[J].中国人口·资源与环境,1991,1(2):33-37.

[2]周翟尤佳,张惠远,郝海广.环境承载力评估方法研究综述[J].生态经济,2018,34(4):164-168.

[3]郑佳怡,付晓,王辰星,等.区域环境承载力评价指标体系的构建——以黄河上游水电开发区域为例[J].生态学杂

志,2014,33(8):2228-2234.

[4]杨静,张仁铎,翁士创,等.海岸带环境承载力评价方法研究[J].中国环境科学,2013,33(S1):178-185.

[5]郑宣宣.西安市资源环境承载力研究[D].西安:长安大学,2015:21-22.

[6]孙强.京津冀区域中心城市资源环境承载力评价研究[D].保定:河北大学,2017:26-27.

[7]苗丽娟,王玉广,张永华,等.海洋生态环境承载力评价指标体系研究[J].海洋环境科学,2006,35(3):75-77.

[8]经卓玮.安徽省资源环境承载力评价体系研究[D].安徽农业大学,2015.