

# 基于 DPSIR-TOPSIS 模型的青海省生态承载力评价

李小勇<sup>1</sup>, 贾海发<sup>1,2</sup>, 赵万梅<sup>3</sup>

(1.青海大学 土木工程学院, 青海 西宁 810016; 2.青海省建筑节能材料与工程安全重点实验室, 青海 西宁 810016; 3.青海省国土空间规划研究院, 青海 西宁 810016)

**摘要:** [目的] 定量测度青海省以及各市州生态承载力, 并揭示其时空演变特征, 为青海省可持续发展提供科学参考。[方法] 基于 DPSIR 模型, 从驱动力、压力、状态、影响和响应 5 个方面构建生态承载力评价指标体系, 运用熵值法确定指标权重系数, 采用 TOPSIS 模型和障碍度模型, 对 2008—2019 年青海省及其各市州的生态承载力, 以及影响因素进行测算与分析。[结果] 从时间维度来看, 2008—2019 年青海省及其各市州的生态承载力呈上升趋势, 承载水平明显提升; 从空间维度来看, 青海省各市州间的生态承载力存在一定的差异性, 空间分布大致呈现出“东部两市高于其他地区”的特征; 从障碍度来看, 2008—2019 年青海省生态承载力的主要影响因素整体上经历了社会发展—环境污染—人口压力和经济增速的转变。[结论] 2008—2019 年青海省生态承载力显著增强, 但生态形势仍然严峻。应积极落实生态保护的各項政策, 加快社会经济的发展速度, 综合提升各市州生态承载力, 从而实现青海省高质量的可持续发展。

**关键词:** 生态承载力; DPSIR 模型; TOPSIS 模型; 障碍度模型; 青海省

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2022)02-0166-08

中图分类号: X171.1

**文献参数:** 李小勇, 贾海发, 赵万梅. 基于 DPSIR-TOPSIS 模型的青海省生态承载力评价[J]. 水土保持通报, 2022, 42(2): 166-173. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2022.02.023; Li Xiaoyong, Jia Haifa, Zhao Wanmei. Evaluation of ecological carrying capacity in Qinghai Province based on DPSIR-TOPSIS model [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(2): 166-173.

## Evaluation of Ecological Carrying Capacity in Qinghai Province Based on DPSIR-TOPSIS Model

Li Xiaoyong<sup>1</sup>, Jia Haifa<sup>1,2</sup>, Zhao Wanmei<sup>3</sup>

(1.College of Civil Engineering, Qinghai University, Xining, Qinghai 810016, China;

2.Qinghai Provincial Key Laboratory of Energy-saving Building Materials and Engineering Safety, Xining,

Qinghai 810016, China; 3.Qinghai Provincial Land and Space Planning Research Institute, Xining, Qinghai 810016, China)

**Abstract:** [Objective] The ecological carrying capacity of Qinghai Province and its cities and prefectures were quantitatively measured to reveal its spatial and temporal evolution characteristics, in order to provide a reference for the sustainable development of Qinghai Province. [Methods] The ecological carrying capacity evaluation index system was constructed using the DPSIR model and considering five factors: driving force, pressure, state, impact, and response. The entropy value method was applied to determine the weight coefficients of the indexes. The TOPSIS model and the obstacle degree model were used to measure and analyze the ecological carrying capacity and the impact factors for Qinghai Province and its cities and prefectures from 2008 to 2019. [Results] Ecological carrying capacity of Qinghai Province and its cities and prefectures increased significantly from 2008 to 2019. Ecological carrying capacity of cities and prefectures in Qinghai Province differed spatially, with the two eastern cities having greater carrying capacity than other regions. The main factors influencing ecological carrying capacity in Qinghai Province from 2008 to 2019 have generally undergone a transformation that follows the pattern of social development—environmental pollution—population

收稿日期: 2021-08-18

修回日期: 2021-11-30

资助项目: 2021 年度青海省哲学社会科学规划一般项目“基于 DPSIR 模型的青海省生态承载力评价及空间分异研究”(21005)

第一作者: 李小勇(1995—), 男(汉族), 山西省吕梁市人, 硕士研究生, 研究方向为城市与区域规划。Email: 15735103362@163.com。

通讯作者: 贾海发(1985—), 男(汉族), 青海省民和县人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事城市与区域规划研究。Email: jiahf2014@qhu.edu.cn。

pressure and economic growth rate. [Conclusion] The ecological carrying capacity of Qinghai Province has increased significantly during 2008—2019, but the ecological situation remains severe. Policies regarding ecological protection should be actively implemented, the speed of social and economic development should be accelerated, and the ecological carrying capacity of cities and prefectures should be comprehensively improved in order to achieve high-quality sustainable development in Qinghai Province.

**Keywords: ecological carrying capacity; DPSIR model; TOPSIS model; obstacle degree model; Qinghai Province**

生态承载力是可持续发展的理论支撑,是经济社会发展的基础<sup>[1]</sup>。承载力最初指的是制造对象或系统的机械或工程属性,最早用于航运<sup>[2]</sup>。1921年,“承载力”一词首次应用在生态学中, Park<sup>[3]</sup>从种群数量的视角将承载力定义为:“某个特定环境条件下,某种生物个体所能存在数量的最高极限”。随着资源短缺、环境破坏、人口剧增等问题的出现,为保障生态系统的健康运转,关于承载力的研究不断深入,其内涵也不断丰富。至今为止,大致经过种群承载力—资源承载力—环境承载力—生态承载力 4 个阶段。生态承载力的提出,使承载力的研究从单一要素转变为整个生态系统<sup>[4]</sup>。由于生态系统结构和功能的复杂性,不同研究领域的学者对生态承载力的定义仍不尽相同。目前国内较为认可的概念是高吉喜<sup>[1]</sup>在《可持续发展理论》中所提及的,即生态承载力是指“生态系统的自我维持、自我调节的能力、资源与环境的共生、相容能力以及其可维持的社会经济活动强度和具有一定生活水平的人口数量”。国外对生态承载力的研究主要集中于对大尺度区域或流域承载状况的现状分析,评价方法通常采用生态足迹法和净初级生产力估测法。Rees 等<sup>[5]</sup>提出了生态足迹模型,并运用该模型测度了 52 个国家以及全球的生态足迹和生态承载力状况。Yaranga 等<sup>[6]</sup>探究了秘鲁安第斯高地湿地的植物多样性、净初级生产力以及生态条件和畜牧承载力,并得出了应频繁评估湿地状况的结论。相比国外的研究成果,国内更加细化和延伸了生态承载力的研究范围,也对生态承载力评价方法进行了创新。从研究区域来看,涉及全国<sup>[7]</sup>,省级<sup>[8]</sup>,市级<sup>[9]</sup>,县级<sup>[10]</sup>、乡镇等<sup>[11]</sup>多个层次。从研究领域来看,主要涉及水生态承载力<sup>[12]</sup>、土地生态承载力<sup>[13]</sup>、森林生态承载力<sup>[14]</sup>、旅游生态承载力等<sup>[15]</sup>。评价生态承载力的方法主要包括状态空间法<sup>[8]</sup>、综合指标评价法<sup>[1,7,9,12,14]</sup>、生态足迹法<sup>[13,15]</sup>、净初级生产力估测法<sup>[16]</sup>、系统模型法<sup>[17]</sup>以及生态系统服务消耗评价法等<sup>[18]</sup>。综上所述,定量评价区域生态承载力的研究已逐渐成熟,但大多数以探究区域整体生态承载力在研究时段内的变化特征为重点,而忽视了对区域内部单元间生态承载力差异性的研究。因此,本文从时间、空间两个维度综合评价青海省生态承载力并分析

各市州生态承载力的差异性,在一定程度上完善了区域生态承载力的评价方法,也为区域生态承载力研究提供更多的思路。

青海省作为全国生态大省、多民族省份和欠发达地区,如何协调社会—经济—生态的关系,促进青海省可持续发展是目前亟需研究的重点。而准确测度与评价青海省生态承载力,掌握其时空演变特征是进行深入研究的基础和前提。但目前国内关于生态承载力评价的研究以东部和中部地区居多,而针对西部地区尤其是关于青海省生态承载力评价的研究寥寥无几。基于此,本文运用 DPSIR-TOPSIS 模型,构建青海省生态承载力指标体系,定量评价 2008—2019 年青海省及其各市州的生态承载力,并基于障碍度模型识别制约青海省生态承载力发展的主要影响因素,一方面为相关政策的提出提供参考,为青海省可持续发展提供依据;同时也丰富青海省关于生态承载力的研究成果,为西部其他地区生态承载力评价提供借鉴和经验。

## 1 研究区概况

青海省位于中国大陆西北地区,东、北两个方向与甘肃相邻,东南毗邻四川省,西南与西藏接壤,西北与新疆相连。全省辖西宁和海东 2 个地级市,以及海北藏族自治州(海北州)、黄南藏族自治州(黄南州)、海南藏族自治州(海南州)、果洛藏族自治州(果洛州)、玉树藏族自治州(玉树州)和海西蒙古族藏族自治州(海西州)6 个自治州,国土面积较大约占全国的 7.5%。青海省平均海拔超过 3 500 m,有 4/5 以上的地区是高原;年平均日照时数超过 2 700 h,太阳辐射较强;气候寒冷干燥,气温日差较大;是典型的高原大陆性气候。青海省是我国经济发展水平较为落后的地区,截至 2019 年底,全省地区生产总值为 2 965.95 亿元,人均 GDP 仅为 48 981 元。青海省拥有丰富的生态资源,是世界上最大的湿地保护区,也是世界上生物多样性最集中的高海拔地区,生态系统较为复杂。自 2008 年提出“生态立省”以来,青海省一直注重对生态的保护和宣传,青海生态战略地位的重要性也日益得到认识。

## 2 研究方法与数据来源

### 2.1 研究方法

2.1.1 DPSIR 模型 DPSIR 模型是由驱动力 (driving)、压力 (pressure)、状态 (state)、影响 (impact) 和响应 (response) 5 个子系统构成, 它的基本假设是社会或经济驱动力的发展对生态系统产生压力, 并导致生态状态发生改变, 这将对社会造成潜在的影响, 最终引起政府提出政策对驱动力进行响应, 或者该响应直接作用在压力、状态、影响上<sup>[19]</sup>。基于 DPSIR 模型各部分间的相互联系, 在应用该模型构建指标体系时, 可形成对整个生态系统动态模拟的效果, 有利于分析生态系统承载状况。顾家明、包蕊和李明杰等<sup>[20-22]</sup> 人, 运用 DPSIR 模型分别对江苏省、内蒙古锡林郭勒盟和广州市的生态承载力进行评价, 并证实了该模型在生态承载力评价研究中的适用性。因此, 引用 DPSIR 模型对青海省及其各市州生态承载力进行评价是可行的。

2.1.2 生态承载力评价指标体系构建 构建指标体系是评价青海省生态承载力的基础, 而评价因子的选取是构建评价指标体系的关键。通过大量的文献阅读发现, 学者们对生态承载力评价体系的构成看法不一, 但仔细对比可发现指标体系中评价因子的选取具有一致性。因此, 本文摘选了重复率较高的评价因子, 并结合青海省实际以及统计年鉴等资料, 最终选取 22 个指标对青海省生态承载力进行表征: 驱动力子系统选取人均 GDP、居民恩格尔系数、居民人均可支配收入等指标反映社会经济发展状况。压力子系统选取污染物排放量、牲畜数量、城镇人口比重等指标反映环境、资源、社会压力状况。状态子系统选取年降水量、卫生机构数、城镇失业率等指标表征生态系统状况。影响子系统选取人均耕地面积、地方财政收入、社会消费品零售额支出等指标反映生态对社会、经济带来的影响。响应子系统选取在校学生人数、卫生技术人员个数、第三产业占比等指标反映政府对生态承载力提高的响应力度。

本文以《国家生态文明建设示范市县建设指标》为参考, 以 DPSIR 模型的基本假设为依据, 并充分借鉴前人的研究成果<sup>[7, 20-22]</sup>, 最终构建由目标层、准则层、指标层组成的青海省生态承载力指标体系 (表 1)。其中目标层为青海省生态承载力, 准则层为驱动力、压力、状态、影响和响应 5 个子系统, 指标层由 22 个指标构成。在指标层中, 依据指标对生态承载力评价结果的影响可将其分为正向和负向两类, 正

向指标的参数值越大, 评价结果越好; 负向指标的参数值越小对评价越有利。

表 1 青海省生态承载力指标体系

目标层	准则层	指标层	单位	指标类型
青海省生态承载力	驱动力(D)	人均 GDP( $D_1$ )	元	+
		GDP 增长率( $D_2$ )	%	+
		城镇居民恩格尔系数( $D_3$ )	%	-
		城镇居民人均可支配收入( $D_4$ )	元	+
		农村居民人均可支配收入( $D_5$ )	元	+
	压力(P)	二氧化硫排放量( $P_1$ )	$10^4$ t	-
		化学需氧量排放( $P_2$ )	$10^4$ t	-
		年末草食牲畜存栏总数( $P_3$ )	万头(只四)	-
		第二产业占 GDP 比重( $P_4$ )	%	-
		城镇化率( $P_5$ )	%	-
	状态(S)	年降水量( $S_1$ )	mm	+
		接待游客( $S_2$ )	万人次	-
		卫生机构个数( $S_3$ )	个	+
		年末城镇登记失业率( $S_4$ )	%	-
		卫生机构病床数( $I_1$ )	张	+
	影响(I)	人均耕地面积( $I_2$ )	hm <sup>2</sup>	+
		地方财政收入( $I_3$ )	万元	+
		社会消费品零售总额( $I_4$ )	万元	+
		注册在校学生人数( $R_1$ )	人	+
	响应(R)	卫生技术人员( $R_2$ )	人	+
		第三产业占 GDP 比重( $R_3$ )	%	+
		全社会固定资产投资总额( $R_4$ )	亿元	+

2.1.3 熵值法 熵值法的原理是依据各项指标值的变异程度来确定指标权数, 避免人为因素带来各项偏差的一种客观赋权法。熵值可用来判断一个指标的无序程度, 无序程度越高, 熵值越小, 所含信息量越多。采用熵值法确定指标权重步骤为<sup>[9]</sup>:

数据标准化处理, 其中  $X_{ij}$  表示第  $i$  年第  $j$  项指标的原始数据:

$$\text{正向指标: } X_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \quad (1)$$

$$\text{负向指标: } X_{ij} = \frac{\max x_{ij} - x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \quad (2)$$

为保证计算结果有效, 需对标准化后的数据进一步处理: 对无量纲后的数据平移 0.001 即  $X_{ij} = X_{ij} + 0.001$ , 之后再行下一步的计算。

计算指标值所占比重  $P_{ij}$ , 其中  $P_{ij}$  是指第  $i$  年第  $j$  项指标占该指标总值的比重:

$$P_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^n X_{ij}} \quad (3)$$

计算指标的熵值  $E_j$ , 其中  $k = 1/\ln n$ ,  $E_j$  是指  $j$

指标所含信息熵的大小:

$$E_j = -k \times \sum_{i=1}^n P_{ij} \times \ln P_{ij} \quad (4)$$

计算指标的差异系数  $D_j$ :

$$D_j = 1 - E_j \quad (5)$$

计算指标权重  $W_j$ :

$$W_j = \frac{D_j}{\sum_{i=1}^n D_j} \quad (6)$$

2.1.4 TOPSIS 模型 TOPSIS(technique for order preference by similarity to an ideal solution)模型是依据评价指标与理想解的距离进行排序的一种客观评价方法,常在多目标决策的综合评价中使用。本文依据 TOPSIS 模型对青海省生态承载力综合得分进行计算,具体计算步骤为<sup>[12]</sup>:

计算评价对象的最优解与  $A^+$  最劣解  $A^-$ , 依据指标权重  $W_j$  和标准化值  $X_{ij}$  的乘积构成矩阵  $(A_{ij})_{m \times n} = (W_j \times X_{ij})_{m \times n}$ 。最优解与  $A^+$  与最劣解  $A^-$  计算公式为:

$$A^+ = \{\max A_{ij} \mid j = 1, 2, \dots, n\} \\ = \{A_1^+, A_2^+, \dots, A_n^+\} \quad (7)$$

$$A^- = \{\min A_{ij} \mid j = 1, 2, \dots, n\} \\ = \{A_1^-, A_2^-, \dots, A_n^-\} \quad (8)$$

计算评价对象与最优解和最劣解的距离  $D_i^+$  和  $D_i^-$ ,  $D_i^+$  越小说明与最优解越接近,  $D_i^-$  越大说明距最劣解越远。  $D_i^+$  和  $D_i^-$  计算公式如下:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (A_{ij} - A_j^+)^2} \quad (9)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (A_{ij} - A_j^-)^2} \quad (10)$$

计算贴近度  $C_i$ 。  $C_i$  值是表明评价对象结果的好与坏,在本文是指生态承载力综合得分值,计算公式为:

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (11)$$

2.1.5 障碍度模型 障碍度模型是对生态承载力评价的进一步研究,其主要目的是分析生态承载力障碍因素变动状况,使得研究更加深入。本文选取因子贡献度、指标偏离度和障碍度构建障碍度模型,并对青海省生态承载力各障碍因素进行分析。计算步骤为<sup>[20]</sup>:

计算指标偏离度  $I_{ij}$ ,  $I_{ij}$  是指第  $i$  年  $j$  指标的实际值与最优值之差:

$$I_{ij} = 1 - A_{ij} \quad (12)$$

计算障碍度  $O_{ij}$ :

$$O_{ij} = \frac{I_{ij} \cdot W_j}{\sum_{j=1}^n I_{ij} \cdot W_j} \quad (13)$$

式中:  $W_j$  指因子贡献度,通常用指标权重代替。

## 2.2 数据来源

本文数据主要从《青海统计年鉴(2008—2019年)》《中国统计年鉴(2008—2019年)》《青海省环境状况公报(2008—2019年)》《青海省各市州国民经济与发展统计公报(2008—2019年)》,以及青海省人民政府、青海省各市州人民政府网站获取,个别缺失数据通过取算术平均、灰色预测等方法计算而得。

## 3 结果与分析

生态承载力等级评判标准是评价青海省生态承载力的重要依据,参考已有研究成果<sup>[9,20]</sup>的划分标准,为使青海省生态承载力综合评价结果在研究时段内的变化情况表现得更加明显。本文在五分法的基础上进行了局部修正,将生态承载力等级划分为 5 个层次。具体划分如下:  $C_i \in [0, 0.3)$  为差水平,  $C_i \in [0.3, 0.5)$  为较差水平,  $C_i \in [0.5, 0.7)$  为一般水平,  $C_i \in [0.7, 0.9)$  为较好水平,  $C_i \in [0.9, 1]$  为优秀水平。

### 3.1 省域生态承载力综合评价

3.1.1 青海省生态承载力评价结果与分析 本文基于 DPSIR 模型构建青海省生态承载力评价指标体系,应用 TOPSIS 模型对青海省 2008—2019 年的生态承载力综合得分进行计算,最终结果详见表 2。2008—2019 年青海省生态承载力总体呈现波动上升的趋势,综合得分由 0.38 增长到 0.71,年增长率为 5.82%,由较差进入较好水平。其中 2008—2011 年青海省生态承载力呈现下降趋势,综合得分由 0.38 降低到 0.29,由较差下降为差水平,这与 2008—2011 年青海省产业结构失衡有关。

通过青海省三次产业占 GDP 比重分析发现,2008—2011 年第二产业占比达 50% 以上并逐年增加,第二产业的快速发展使得环境污染、生态破坏较为严重,从而造成青海省生态承载力的下降。2011—2019 年青海省生态承载力不断提升,综合得分由 0.29 增长到 0.71,由差提升到较好水平,这是因为“十二五”规划以来,青海省积极响应国家号召,以科学发展为主题,把转变经济发展方式作为主线,增强经济发展的协调性、稳定性和可持续性,同时把生态效益放置于和经济效益、社会效益同等位置,从而使生态承载水平显著提高。

3.1.2 各子系统评价结果与分析 ① 驱动力子系统。2008—2019 年驱动力指数由 0.43 上升到 0.57,承载力由较差转化为一般水平。其中,2008—2009 年,驱动力综合得分由 0.43 降低到 0.20,这主要是由于受到了国际金融危机的影响,全省各行业发展

不景气,社会发展受到极大制约。2010 年经济逐步复苏,社会发展回归正常。2010—2019 年驱动子系统综合得分从 0.45 增长到 0.57,说明青海省经济社会持续向好。但从整体来看,驱动子系统仍处于一般水平,说明青海省社会经济发展速度较为缓慢。

②压力子系统。2008—2019 年压力指数由 0.53 增长到 0.75,承载力由一般转变为较好水平。2011—2015 年压力子系统一直处于差水平,这主要是因为随着城镇化不断发展,各种污染物排放量不断增多所导致的。2016 年开始,青海省人民政府从资源利用、环境质量、生态保护等多方面出台了考核办法对各市州生态建设进行评价考核,使得生态压力得到缓解,2017—2019 年压力子系统综合得分一直处于较好水平。③状态子系统。2008—2019 年状态指数从 0.26

上升到 0.69,承载力由差转变为一般水平,说明青海省生态状况有了一定的改善。但从整体来看,状态子系统仍处于一般水平,说明生态环境保护形势依然比较严峻。④影响子系统。2008—2019 年影响指数从 0.15 增加到 0.81,承载力由差提高到较好水平。虽然 2016 年和 2019 年影响子系统综合得分有轻微的下降,但仍处于较好水平,属于正常波动。影响子系统综合得分不断上升,说明生态环境保护对青海省社会、经济发展起到了正向的促进作用,且影响程度越来越高。⑤响应子系统。2008—2019 年响应指数由 0.10 增加到 1,承载力由差提高到优秀水平。响应子系统综合得分的大幅增长,说明政府在提高生态承载力方面制定的诸多政策得以有效实施并取得了良好成效。

表 2 青海省生态承载力综合得分与各准则层得分

年份	综合		驱动力		压力		状态		影响		响应	
	贴适度	水平	贴适度	水平	贴适度	水平	贴适度	水平	贴适度	水平	贴适度	水平
2008	0.38	较差	0.43	较差	0.53	一般	0.26	差	0.15	差	0.10	差
2009	0.34	较差	0.20	差	0.52	一般	0.35	较差	0.16	差	0.14	差
2010	0.36	较差	0.45	较差	0.42	较差	0.29	差	0.16	差	0.12	差
2011	0.29	差	0.42	较差	0.22	差	0.29	差	0.25	差	0.17	差
2012	0.32	较差	0.41	较差	0.23	差	0.44	较差	0.34	较差	0.22	差
2013	0.35	较差	0.43	较差	0.22	差	0.36	较差	0.58	一般	0.30	较差
2014	0.41	较差	0.50	一般	0.21	差	0.49	较差	0.69	一般	0.36	较差
2015	0.43	较差	0.51	一般	0.25	差	0.38	较差	0.81	较好	0.44	较差
2016	0.53	一般	0.53	一般	0.51	一般	0.43	较差	0.75	较好	0.49	较差
2017	0.63	一般	0.53	一般	0.71	较好	0.47	较差	0.84	较好	0.68	一般
2018	0.66	一般	0.56	一般	0.71	较好	0.59	一般	0.88	较好	0.82	较好
2019	0.71	较好	0.57	一般	0.75	较好	0.69	一般	0.81	较好	1.00	优秀

### 3.2 各市州生态承载力综合评价

基于 DPSIR-TOPSIS 模型对青海省各市州生态承载力综合得分进行测算(表 3),并以国家“十二五”“十三五”规划起始年份为节点,运用 ArcGIS 软件对青海省生态承载力空间分布进行分析(图 1)。总体来看,2008—2019 年青海省各市州生态承载力综合得分均呈现出增长趋势,其中西宁市与海东市增长幅度最大,年增长率分别为 35.07%,29.97%;海北州与玉树州增长幅度最低,年增长率分别为 10.80%和 9.75%,青海省生态承载力空间分布总体呈现出“东部两市高于其他地区”的特征。

3.2.1 时间序列分析 2008—2011 年海东市生态承载力变化最明显,承载水平从差提高到一般;其次为西宁市、玉树州、海西州,承载水平从差转变为较差;海北州、黄南州、海南州、果洛州生态承载力变化较小,仍处于差水平。2011—2015 年海南州、黄南州、果洛州综合

得分年增长率最高,分别为 25.90%,25.20%,19.99%。2015 年,海北州生态承载力仍处于较差水平,西宁市与海东市已进入较好水平,其他州处于一般水平。2016—2019 年青海省各市州的生态承载力较“十二五”规划时期又有了明显的提升。其中西宁市与海东市生态承载力于 2018 年率先进入优秀水平,2019 年玉树州、海西州、黄南州、海南州、果洛州生态承载力均处于较好水平,海北州仍处于一般水平。

3.2.2 空间分异分析 为进一步揭示青海省生态承载力的空间分异,选取 2019 年为时间节点,基于 2019 年各市州以及准则层综合得分测算结果(表 3—4),对区域生态承载力差异进行分析(图 1)。总体来看,各市州生态承载力水平从高到低依次为:西宁市、海东市、海南州、果洛州、黄南州、玉树州、海西州、海北州。其中,各市州驱动力子系统得分较高且相差不大,介于 0.84~0.95,说明 2019 年各市州社会经济发

展速度整体差异较小。相比较而言,黄南州、海南州发展较快,海北州、玉树州相对较慢。各市州压力子系统得分较低,介于 0.47~0.72,其中西宁市、海北州、玉树州处于较好层次,海南州处于较差水平,其他均是一般水平,说明各市州尤其是海南州在缓解生态压力、保护环境方面还需加强。各市州状态子系统得分介于 0.59~0.96,其中海东市、西宁市、果洛州的状态子系统得分最高,已处于优秀水平,而海北州得分最差,处于一般水平,说明海北州生态现状不容乐观。

各市州影响子系统得分两极分化较为严重,介于 0.23~0.99。西宁市得分是海北州的 4 倍多,说明生态状况对西宁市社会经济发展影响较大,而对海北州的影响相对较小。各市州响应子系统得分介于 0.65~1,其中西宁市、海东市、黄南州、海南州的响应子系统得分最高处于优秀水平,玉树州响应子系统得分最低处于一般水平,说明西宁市、海东市、黄南州、海南州在提高生态承载力方面制定的政策实施效果较好,而玉树州实施效果相对较弱。

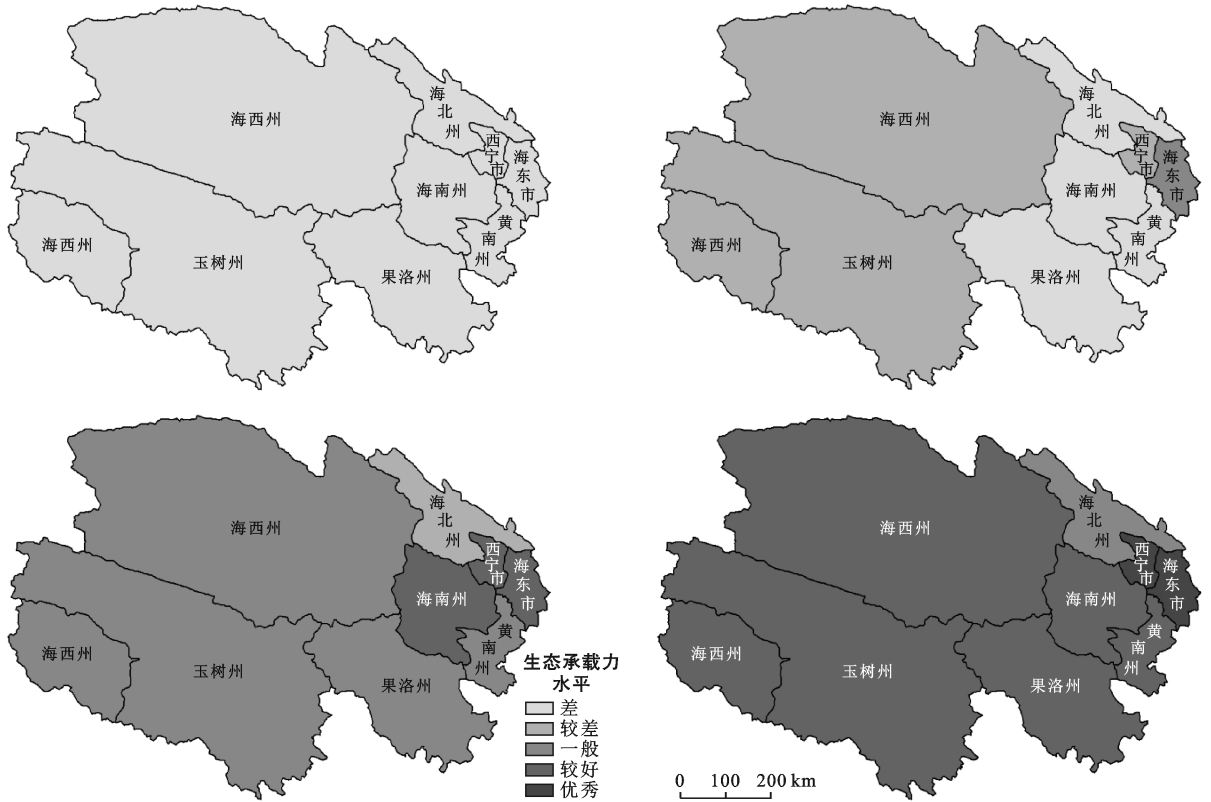


图 1 青海省生态承载力空间分布

表 3 青海省各市州生态承载力综合得分

年份	西宁市		海东市		海北州		黄南州		海南州		果洛州		玉树州		海西州	
	贴适度	水平	贴适度	水平	贴适度	水平	贴适度	水平	贴适度	水平	贴适度	水平	贴适度	水平	贴适度	水平
2008	0.04	差	0.05	差	0.18	差	0.13	差	0.14	差	0.20	差	0.28	差	0.15	差
2009	0.13	差	0.06	差	0.16	差	0.13	差	0.15	差	0.21	差	0.26	差	0.16	差
2010	0.33	较差	0.68	一般	0.18	差	0.19	差	0.18	差	0.26	差	0.28	差	0.26	差
2011	0.39	较差	0.70	较好	0.25	差	0.22	差	0.25	差	0.27	差	0.33	较差	0.36	较差
2012	0.45	较差	0.73	较好	0.29	差	0.32	较差	0.35	较差	0.33	较差	0.37	较差	0.48	较差
2013	0.53	一般	0.78	较好	0.60	一般	0.40	较差	0.43	较差	0.39	较差	0.41	较差	0.55	一般
2014	0.66	一般	0.81	较好	0.35	较差	0.47	较差	0.55	一般	0.48	较差	0.45	较差	0.54	一般
2015	0.73	较好	0.85	较好	0.41	较差	0.54	一般	0.64	一般	0.57	一般	0.50	一般	0.53	一般
2016	0.75	较好	0.86	较好	0.46	较差	0.61	一般	0.70	较好	0.63	一般	0.56	一般	0.56	一般
2017	0.84	较好	0.87	较好	0.49	较差	0.70	较好	0.73	较好	0.68	一般	0.63	一般	0.79	较好
2018	0.91	优秀	0.92	优秀	0.53	一般	0.79	较好	0.81	较好	0.77	较好	0.70	较好	0.88	较好
2019	0.97	优秀	0.96	优秀	0.56	一般	0.86	较好	0.88	较好	0.87	较好	0.78	较好	0.76	较好

表 4 青海省各市州 2019 年生态承载力准则层得分

地区	驱动力	压力	状态	影响	响应
西宁市	0.93	0.72	0.96	0.99	1.00
海东市	0.91	0.51	0.98	0.93	1.00
海北州	0.85	0.71	0.59	0.23	0.83
黄南州	0.94	0.60	0.75	0.56	1.00
海南州	0.93	0.47	0.63	0.84	1.00
果洛州	0.89	0.64	0.92	0.62	0.80
玉树州	0.84	0.70	0.88	0.68	0.65
海西州	0.91	0.57	0.89	0.60	0.97

### 3.3 障碍度诊断

依据障碍度模型,计算出 2008—2019 年青海省生态承载力指标层的障碍度并对其进行排序(表 5),结果发现生态承载力主要影响因素的变化大致可分为 3 个阶段:①2008—2010 年,主要影响因素依次为:年末城镇登记失业率、二氧化硫排放量;②2011—2015 年,主要影响因素依次为:二氧化硫排放量、化学需氧量排放;③2016—2019 年,主要影响因素依次为:GDP 增长率、城镇化率。

表 5 青海省生态承载力指标层主要障碍因素及障碍度

年份	项目	指标顺序				
		1	2	3	4	5
2008	障碍因子	$S_4$	$D_3$	$P_1$	$R_1$	$I_1$
	障碍度	0.10	0.08	0.08	0.07	0.07
2009	障碍因子	$S_4$	$P_1$	$D_3$	$R_2$	$D_2$
	障碍度	0.09	0.08	0.08	0.07	0.06
2010	障碍因子	$S_4$	$P_1$	$D_3$	$R_2$	$R_3$
	障碍度	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07
2011	障碍因子	$P_1$	$S_4$	$P_2$	$R_3$	$D_3$
	障碍度	0.11	0.09	0.09	0.07	0.07
2012	障碍因子	$P_1$	$P_2$	$R_3$	$S_4$	$P_4$
	障碍度	0.12	0.10	0.07	0.07	0.07
2013	障碍因子	$P_1$	$P_2$	$S_4$	$R_3$	$R_1$
	障碍度	0.13	0.10	0.07	0.07	0.06
2014	障碍因子	$P_1$	$P_2$	$D_2$	$R_3$	$R_1$
	障碍度	0.14	0.12	0.10	0.07	0.07
2015	障碍因子	$P_1$	$P_2$	$D_2$	$S_4$	$R_1$
	障碍度	0.14	0.13	0.12	0.08	0.07
2016	障碍因子	$D_2$	$R_2$	$S_4$	$P_2$	$S_1$
	障碍度	0.14	0.08	0.08	0.08	0.07
2017	障碍因子	$D_2$	$S_4$	$P_5$	$P_3$	$R_1$
	障碍度	0.21	0.11	0.10	0.08	0.07
2018	障碍因子	$D_2$	$P_5$	$S_4$	$P_3$	$S_2$
	障碍度	0.27	0.14	0.12	0.07	0.07
2019	障碍因子	$D_2$	$P_5$	$S_2$	$S_1$	$I_2$
	障碍度	0.38	0.22	0.13	0.12	0.10

由此可见,在研究时段内,青海省生态承载力的主要影响因素整体呈现出由社会发展占主导—环境污染占主导—经济增速和人口压力占主导的变化趋势。依据指标层障碍度的分析结果,可进一步对青海省生态承载力准则层障碍度进行测算(表 6)。研究发现,2008—2019 年影响和响应子系统的障碍度总体呈现下降趋势,压力障碍度先升后降,驱动力和状态障碍度呈现上升趋势。依据 2019 年各准则层障碍度,对青海省生态承载力障碍因素进行排序,表现为:驱动力>状态>压力>影响>响应的结果,说明驱动力子系统是青海省生态承载力主要影响因素。

表 6 青海省生态承载力准则层障碍度

年份	驱动力	压力	状态	影响	响应
2008	0.26	0.15	0.15	0.19	0.26
2009	0.31	0.16	0.11	0.18	0.24
2010	0.24	0.21	0.13	0.18	0.25
2011	0.22	0.29	0.12	0.15	0.22
2012	0.23	0.31	0.09	0.15	0.23
2013	0.23	0.33	0.13	0.09	0.22
2014	0.22	0.38	0.11	0.07	0.23
2015	0.22	0.37	0.16	0.05	0.21
2016	0.23	0.31	0.17	0.08	0.22
2017	0.29	0.24	0.21	0.07	0.18
2018	0.32	0.30	0.19	0.06	0.13
2019	0.41	0.25	0.25	0.10	0.00

## 4 讨论与结论

### 4.1 讨论

本文基于 DPSIR 模型,从驱动力、压力、状态、影响和响应 5 个方面构建生态承载力评价指标体系,运用熵值法确定指标权重系数,采用 TOPSIS 模型和障碍度模型,综合评价 2008—2019 年青海省及其各市州生态承载力,揭示其时空演变特征并分析其主要影响因素,对青海省社会—经济—生态协调发展具有重要的现实意义。

Wei 等<sup>[7]</sup>对全国各省生态承载力波动变化的分析结果表明,2006—2017 年青海省水资源承载力呈下降趋势,土地、环境承载力有了一定提升,能源承载力在中等与高水平之间波动。Guo 等<sup>[23]</sup>用生态足迹模型研究了青海省 2007—2017 年生态承载状态,表明青海省人均生态承载力不断提高但增长速度缓慢,并预测青海省生态系统在未来会向着可持续不断发展。与已有研究成果不同的是,本文以包括人类社会在内的复合生态系统为研究对象,重点考虑人类活动对生态系统的正负反馈作用,从社会、经济、环境、资源等

多个领域构建了青海省生态承载力评价指标体系,并对青海省生态承载力的时空演变特征进行了分析。总体上来看,青海省以及各市州生态承载力显著提高,但承载水平仍有较大的提升空间。同时,由于受地理位置以及经济发展水平等多方面的影响,各市州间的生态承载力存在一定的差异。本文的研究结果一方面揭示了青海省生态承载力的主要影响因素,并通过识别青海省生态承载力相对薄弱的区域,能够为有关部门精准施策提供依据和参考。2008—2019年,青海省生态承载力总体上有了较大幅度的提升,这得益于自2008年提出“生态立省”以来,青海省在经济发展、社会进步和生态保护方面做出了诸多努力。如:在经济方面,大力发展第三产业、实体经济、循环经济;在社会方面,加大民生投入,完善基本公共服务体系、提高居民生活水平;在生态方面,持续推进生态文明建设、积极响应节能减排、绿色发展国家政策等。但当下青海省生态承载水平仍有较大的提升空间,证实了实现生态价值是一个长久的过程,把绿水青山变为金山银山是青海省长远的目标。作为我国乃至东南亚的重要生态屏障,综合提升青海省以及各市州的生态承载力是实现青海省高质量的可持续发展和保护我国生态安全的重中之重。

生态承载力是判断复合生态系统是否协调的重要依据,也是生态文明建设的重要支撑。本文综合评价了2008—2019年青海省的生态承载力,其结果变化趋势与苟延佳<sup>[24]</sup>和贾海发等<sup>[25]</sup>运用指标体系法对青海省生态文明建设的评价结果相契合,但在模型应用、指标选取、等级划分等方面与前人的研究稍有差异。同时,相较于已有的研究成果,本文增加了对各市州间生态承载力差异性的分析,使得研究内容更加深入。但由于生态承载力内涵极其丰富且青海省生态系统非常复杂,本文构建的评价指标体系很难涵盖全面,因此还需在后续的研究中进一步补充和完善。

#### 4.2 结论

本文以青海省为研究案例,分别以省域和市州两个层次为评价单元,从时间、空间两个维度综合评价青海省生态承载力,并对其主要影响因素进行了分析。研究表明,2008—2019年,青海省及各市州生态承载力总体上呈现波动上升的趋势。①从准则层来看,响应子系统综合得分较高,其次为影响子系统和压力子系统,驱动力子系统和状态子系统得分相对较低。说明青海省生态保护政策实施效果较好,环境污染问题有所改善,但仍存在着经济发展缓慢,生态状况较为严峻等问题。②各市州生态承载力均有了一定的提高,但不同区域间存在一定的差异性,相

比较而言,西宁市与海东市生态承载力增幅较高,其次为海南州、果洛州、黄南州、海西州,而海北州与玉树州增幅较低。因此,政府在制定政策时,应立足整体、统筹全局,综合考虑各市州发展的差异与特点,提高青海省整体生态承载力。③从障碍度来看,青海省生态承载力的主要影响因素转变明显,现阶段影响生态承载力的关键因素主要表现为快速城镇化带来的城市人口增长和粗放的经济展方式两个方面。

#### [参考文献]

- [1] 高吉喜.可持续发展理论探索[M].北京:中国环境科学出版社,2001.
- [2] Sayre N F. The genesis, history, and limits of carrying capacity [J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 2008,98(1):120-134.
- [3] Park R E, Burgess E W. Introduction to the science of sociology: Including an index to basic sociological concepts [M]. US, Chicago: University of Chicago Press, 1970.
- [4] 向芸芸,蒙吉军.生态承载力研究和应用进展[J].生态学报,2012,31(11):2958-2965.
- [5] Rees W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out [J]. *Environment and Urbanization*, 1992,4(2):121-130.
- [6] Yaranga R. High-Andean wetland of Peru: Floristic diversity, primary net aerial productivity, ecological condition, and carrying capacity [J]. *Scientia Agropecuaria*, 2020,11(2):213-221.
- [7] Wei Xiaoxuan, Shen Liyin, Liu Zhi, et al. Comparative analysis on the evolution of ecological carrying capacity between provinces during urbanization process in China [J]. *Ecological Indicators*, 2020, 112(C): 106179.
- [8] 纪学朋,白永平,杜海波,等.甘肃省生态承载力空间定量评价及耦合协调性[J].生态学报,2017,37(17):5861-5870.
- [9] 王维,张涛,王晓伟,等.长江经济带城市生态承载力时空格局研究[J].长江流域资源与环境,2017,26(12):1963-1971.
- [10] 王慧慧,曾维华,马冰然,等.保护地生态承载力不确定性多目标优化模型研究:以黄河源区玛多县为例[J].中国环境科学,2021,41(3):1300-1310.
- [11] 李海东,赵立君,张龙江,等.村镇建设生态承载力:内涵、对象测算和提升路径[J].生态与农村环境学报,2021,37(7):834-842.
- [12] 岳启蒙,文倩,贺奕,等.水生态文明城市建设对城市水生态承载力的影响:以武汉市为例[J].生态学报,2021,41(14):5586-5597.
- [13] 苏子龙,袁国华,周伟.基于改进三维生态足迹模型的安徽省土地生态承载力评价[J].水土保持研究,2020,27(3):256-262.



- 究[J].安徽农业科学,2011,39(16):10022-10024.
- [17] 李蒙,朱勇,周建琴,等.基于气候生产潜力的云南人粮关系及其未来变化[J].中国农业气象,2019,40(2):96-104.
- [18] 封志明,杨艳昭,张晶.中国基于人粮关系的土地资源承载力研究:从分县到全国[J].自然资源学报,2008,23(5):865-875.
- [19] 谢晓彤,朱嘉伟,周琳琳.河南省 1999—2014 年人粮关系时空变化分析[J].河南农业大学学报,2017,51(2):266-273.
- [20] 郭志伟.北京市土地资源承载力综合评价研究[J].城市发展研究,2008(5):24-30.
- [21] 王江思,马传明,王文梅.郑州市土地资源承载力分析[J].湖北农业科学,2013,52(16):3799-3804.
- [22] 李新刚,王双进,孙钰.土地承载力与经济动态效应和耦合协调:基于京津冀城市群的实证研究[J].经济理论与经济管理,2018(12):98-109.
- [23] Malaj E, Liber K, Morrissey C A. Spatial distribution of agricultural pesticide use and predicted wetland exposure in the Canadian Prairie Pothole Region [J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 718: 134765.
- [24] 陈百明.“中国土地资源生产能力及人口承载量”项目研究方法概论[J].自然资源学报,1991,6(3):197-205.
- [25] Zhou Wei, Elshkaki A, Zhong Shuai, et al. Study on Relative Carrying Capacity of Land Resources and Its Zoning in 31 Provinces of China [J]. *Sustainability*, 2021,13(3):1459.
- [26] 中华人民共和国中央人民政府·中华人民共和国国民经济和社会发展第 14 个 5 年规划和 2035 年远景目标纲要[EB/OL].(2021-3-13)[2021-11-04]. [http://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content\\_5592681.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content_5592681.htm).
- [27] Wang Jinfeng, Li Xihu, Christakos G, et al. Geographical detectors-based health risk assessment and its application in the neural tube defects study of the Heshun region, China [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2010,24(1):107-127.
- [28] Wang Jinfeng, Hu Yi. Environmental health risk detection with GeogDetector [J]. *Environmental Modelling & Software*, 2012, 33: 114-115.
- [29] 王劲峰,徐成东.地理探测器:原理与展望[J].地理学报,2017,72(1):116-134.
- [30] 邓聚龙.灰色理论基础[M].湖北武汉:华中科技大学出版社,2002.
- [31] 杨国华,颜艳,杨慧中. GM(1,1)灰色预测模型的改进与应用[J].南京理工大学学报,2020,44(5):575-582.
- [32] 韦燕飞,潘润秋.基于加权平均增长法的人口预测模型在土地利用规划中的应用[J].资源开发与市场,2008(9):789-790.
- [33] 吴明发,欧名豪,纪昌品,等.广东耕地数量预测方法对比研究[J].广东农业科学,2011,38(19):207-210.
- [34] 陕西省人民政府·陕西省人民政府关于印发国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要的通知[EB/OL].(2021-03-16)[2021-12-28]. [http://www.shaanxi.gov.cn/zfxxgk/fdzdgknr/zcwj/szfwj/szf/202103/t20210316\\_2156630.html](http://www.shaanxi.gov.cn/zfxxgk/fdzdgknr/zcwj/szfwj/szf/202103/t20210316_2156630.html)

(上接第 173 页)

- [14] 李岩,黄超傑,王珂,等.安徽省森林生态承载力及其重心迁移研究[J].长江流域资源与环境,2021,30(1):87-96.
- [15] 陈丽军,苏金豹,万志芳.生态文明视域下森林公园旅游生态承载力的时序演变研究[J].林业经济,2019,41(8):25-29.
- [16] 宫一路,李雪铭.城市中心区绿地系统生态承载力空间格局研究[J].生态经济,2021,37(3):223-229.
- [17] Fang Yiping, Zhu Fubiao, Yi Shuhua, et al. Ecological carrying capacity of alpine grassland in the Qinghai-Tibet Plateau based on the structural dynamics method [J]. *Environment, Development and Sustainability*, 2021,23(8):12550-12578.
- [18] 曹智,闵庆文,刘某承,等.基于生态系统服务的生态承载力:概念、内涵与评估模型及应用[J].自然资源学报,2015,30(1):1-11.
- [19] 黄经南,敖宁谦,谢雨航.国际常用发展指标框架综述与展望[J].国际城市规划,2019,34(5):94-101.
- [20] 顾家明,胡卫卫,田素妍.基于 DPSIR-TOPSIS 模型的江苏省生态承载力评价及障碍因素诊断[J].水土保持通报,2019,39(2):246-252.
- [21] 包蕊,邱莎,唐明方,等.基于 DPSIR 模型的锡林郭勒盟生态承载力评价[J].生态经济,2020,36(8):139-145.
- [22] Li Mingjie, Zhang Jie, Zhu Yulin. Evaluation on the warning-degree of the ecological carrying capacity of Guangzhou City based on the DPSIR model [J]. *WSEAS Transactions on Business and Economics*, 2020, 17: 869-878.
- [23] Guo Jing, Ren Jun, Huang Xiaotao, et al. The dynamic evolution of the ecological footprint and ecological capacity of Qinghai Province [J]. *Sustainability*, 2020, 12(7): 3065.
- [24] 苟廷佳,陆威文.基于组合赋权 TOPSIS 模型的生态文明建设评价:以青海省为例[J].统计与决策,2020,36(24):57-60.
- [25] 贾海发,邵磊,罗珊.基于熵值法与耦合协调度模型的青海省生态文明综合评价[J].生态经济,2020,36(11):215-220.