

# 基于 DPSIR 模型和耦合协调度模型的胶州湾海域承载力分析

夏正启<sup>1</sup>, 王 凯<sup>2</sup>, 彭道民<sup>3</sup>, 朱玉贵<sup>3</sup>, 张龙军<sup>1</sup>

(1. 中国海洋大学 环境科学与工程学院, 山东 青岛 266100; 2. 中国海洋大学 海洋生命学院, 山东 青岛 266003; 3. 中国海洋大学 水产学院, 山东 青岛 266003)

**摘要:** 海域承载力是海洋资源利用协调发展的重要指标, 本研究旨在根据胶州湾海域资源特征, 基于 DPSIR 模型构建海域承载力评价指标体系, 运用熵值法评价 2000—2020 年胶州湾海域承载力, 并运用耦合协调度模型分析胶州湾海域承载力子系统内部的耦合协调度。结果表明, 2000—2020 年胶州湾海域承载力和耦合协调度变化幅度范围分别为 0.70~0.95 和 0.73~0.85。研究结论如下: 1) 2000—2020 年胶州湾海域承载力处于强可载、近满载状态, 总体呈降低趋势; 2) 在压力层中的对海洋资源的需求是影响海域承载力的主要因素, 而 GDP (Gross Domestic Product) 增长率、海洋渔船数和海洋渔船功率、人均滩涂面积和人均用海面积、主要海洋产业增加值年增长率、人工增殖放流则分别是影响驱动力层、压力层、状态层、影响层、响应层的主要因素; 3) 2000—2020 年间胶州湾海域承载力整体耦合协调度总体呈“初级协调至良好协调”态势。

**关键词:** 胶州湾; 海域承载力; 熵值法; DPSIR 模型; 耦合协调度模型

中图分类号: X82; P74 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2023)6-0020-10

DOI: 10.11759/hyxx20220304003

随着海洋经济的日益增长, 人口、环境以及资源方面的压力不断增大, 近岸海域生态环境愈发恶化<sup>[1-3]</sup>。作为海洋经济发展的主要载体, 海域亦是人类可持续发展的基础<sup>[4-5]</sup>。合理开发和利用海洋资源, 对促进经济可持续发展以及增强国家综合实力都有重要作用<sup>[6]</sup>。中国海洋生态文明建设已被纳入海洋开发总布局<sup>[7]</sup>。

海域承载力是海洋可持续发展的重要判断依据, 在一定时期内, 海域承载力强调海洋资源的可持续利用和支持经济社会发展的能力, 这种承载力使得海洋能够支持社会、经济、资源和环境的协调发展<sup>[8-9]</sup>。表征承载力的指标有海洋环境容量、资源供给能力及产业发展程度, 通过这些指标进一步分析沿海的社会经济状况, 从而对海洋资源环境承载力的载体(海洋资源环境)、承载对象(社会经济)及外部环境(管理)的认知和理解更加丰富和深刻, 进而有助于实现海洋生态系统的健康发展和良性循环<sup>[10]</sup>。目前, 有关海域承载力的研究, 包括针对海洋渔业资源<sup>[11-12]</sup>和海岸带资源的依据<sup>[13]</sup>及区域经济带的评价<sup>[14]</sup>。

海域承载力的评价指标体系起初是由联合国可持续发展委员会在“驱动力(P)—状态(S)—响应(R)”概念基础上提出的一个理论框架, 后来其他组织丰富

了该指标体系<sup>[15]</sup>。例如, 毛汉英等<sup>[16]</sup>应用状态空间法, 综合考虑承载体与受载体之间的关系, 建立了承压类、压力类以及区际交流指标。金建君等<sup>[17]</sup>根据海岸带的可协调发展以及资源的可持续利用等特点构建了海岸带的评价指标体系, 包括总目标层、准则层和指标层 3 个层次。由“压力(P)、状态(S)和响应(R)”(PSR)发展起来的“驱动力(D)、压力(P)、状态(S)、影响(I)和响应(R)”(DPSIR)模型, 详细阐述了人类活动与生态环境之间的因果关系, 从而便于决策者做出合理决策<sup>[18]</sup>。该模型是在保护概念简单性和方法透明度的基础上, 进一步探究了不同因素之间的因果关系, 以反映研究系统中各部分的动态变化过程<sup>[19]</sup>。DPSIR 模型在研究气候变化、可持续发展以及生态环境治理等领域得到广泛应用和发展<sup>[20-23]</sup>。

中国经济最发达的区域当属海岸带, 这里集中了 70% 的大中城市, 创造了约 60% 的国内生产总值<sup>[24]</sup>。

收稿日期: 2022-03-04; 修回日期: 2022-03-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(42176234)

[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. 42176234]

作者简介: 夏正启(1975—), 男, 山东青岛人, 博士研究生, 研究方向为环境规划与管理, E-mail: xiazhq@126.com; 共同第一作者: 王凯(1998—), 女, 山东日照人, 硕士研究生, 研究方向为海洋生态学, E-mail: wangkai6632@stu.ouc.edu.cn; 朱玉贵(1980—), 男, 通信作者, 江苏泗阳人, 教授, 研究方向为渔业经济与管理, E-mail: zhuyugui@ouc.edu.cn

青岛是中国沿海重要中心城市,海洋经济总量排在全国各沿海城市前列,具有显著的优势和特色<sup>[25]</sup>。2018年,习近平总书记在视察青岛时指出:“发展海洋经济、海洋科研是推动我们强国战略很重要的一个方面,一定要抓好。”<sup>[26]</sup>由此,青岛市政府先后陆续出台了包括《“海洋+”发展规划》《建设国际先进的海洋发展中心行动计划》等规划措施,计划将青岛建设成为全球海洋中心城市<sup>[27-28]</sup>。

胶州湾是青岛的母亲湾,是山东半岛南部黄海伸入内陆最大的天然海湾,也是中国北方海区典型的半封闭海湾浅水海湾。本文对胶州湾海域承载力进行评价,并对其海域承载力子系统内部的耦合协调度进行分析,以探究影响其海域承载力水平的因素及其内在原因,这不仅可为海洋资源与环境管理者在开展环境资源利用与保护规划中提供科学依据,亦可为国内外众多临近海湾城市社会经济可持续发展提供良好示范和借鉴。

## 1 数据来源与方法

### 1.1 数据来源

本研究将胶州湾海域及2000—2020年分别作为海域承载力研究的空间和时间范围,相关数据来源于《青岛统计年鉴》《青岛市海洋环境公报》《青岛市环境状况公报》《青岛市生态环境状况公报》《山东渔业统计年鉴》《中国海洋统计年鉴》及地方政府内部数据。

### 1.2 指标体系

胶州湾海域是一个复杂、综合、开放以及动态

的系统,评价其承载力需要一套具有针对性,科学性且丰富的指标体系。本研究考虑社会经济活动、海洋资源和环境容量3个方面<sup>[10,29]</sup>。鉴于海洋资源子系统和社会经济子系统之间有相互作用,以及DPSIR模型框架一般用于评价复杂动态非线性因果关系的资源环境系统,根据DPSIR模型的理论 and 系统内部各要素之间的关系,将胶州湾海域系统划分为驱动力(D)、压力(P)、状态(S)、影响(I)和响应(R)等5个子系统<sup>[30]</sup>。

驱动力是造成海域承载力变化的原动力,包括人口、社会和经济3方面。压力是驱动力表现的结果,对海域生态系统直接产生作用,通常是负向因子。研究中包括经济发展状况、人口数量变化、环境污染及对海洋资源的需求。状态是在上述驱动力和压力共同作用下,海域实际变化情况,如海水水质状况和供人类使用的海域面积。影响是海域所处上述状态对环境、资源和经济活动的影响。响应是人类为应对海域资源环境变化而主动采取的一些措施,以此来预防和减少负面影响,具体表现为固废处理进行环境治理和人工增殖放流对渔业资源的修复<sup>[30]</sup>。

因此,本研究根据2015年国家海洋局发布的《海洋资源环境承载能力监测预警指标体系和技术方法指南》和2017年山东省质量技术监督局发布的地方标准《近岸海域海洋资源承载力评估技术规程》(DB37/T2910—2017),考虑胶州湾海域自然资源分布现状及特点,综合海域资源供给与需求因素,从资源、环境、社会和经济等方面,选取37个指标,构建了胶州湾海域承载力评价指标体系(表1)。

表1 胶州湾海域承载力评价指标体系

Tab. 1 Evaluation index system of the marine carrying capacity of Jiaozhou Bay

目标层	准则层	要素层	指标层	编号	权重	属性	
驱动力 D		人口规模	人口总数/万人	I1	0.022	-	
		社会进步	恩格尔系数	I2	0.027	+	
		经济增长	GDP 增长率/%	I3	0.032	-	
承载力			人口自然增长率/‰	I4	0.029	-	
			人口要素	人口密度/(人·km <sup>-2</sup> )	I5	0.025	-
			压力 P	城镇化率/%	I6	0.022	-
				废水排放总量/(10 <sup>4</sup> t)	I7	0.031	-
				固废产生量/(10 <sup>4</sup> t)	I8	0.028	-
				环境污染	石油类污染物浓度/(mg·L <sup>-1</sup> )	I9	0.019
			无机氮污染物浓度/(mg·L <sup>-1</sup> )		I10	0.021	-
			磷酸盐污染物浓度/(mg·L <sup>-1</sup> )		I11	0.018	-

续表

目标层	准则层	要素层	指标层	编号	权重	属性	
承载力	压力 <i>P</i>	资源需求	水产养殖产量/(10 <sup>4</sup> t)	I12	0.029	-	
			海洋捕捞量/(10 <sup>4</sup> t)	I13	0.023	-	
			海水养殖面积/hm <sup>2</sup>	I14	0.021	-	
			水产养殖渔船数/艘	I15	0.029	-	
			海洋渔船数/艘	I16	0.025	-	
			海洋渔船功率/kW	I17	0.023	-	
			游客数/万人	I18	0.022	-	
			港口吞吐量/(10 <sup>4</sup> t)	I19	0.026	-	
			单位浅海养殖产量/(t·km <sup>-2</sup> )	I20	0.024	-	
			单位滩涂养殖产量/(t·km <sup>-2</sup> )	I21	0.031	-	
	承载力	经济发展		人均可支配收入/万元	I22	0.037	+
				GDP 总额/亿元	I23	0.029	-
				海洋产业总值/亿元	I24	0.027	-
				海洋产业产值增长率/%	I25	0.024	-
				旅游总收入/亿元	I26	0.025	-
				海洋渔业总产值/亿元	I27	0.023	-
				状态 <i>S</i>	海洋环境		一、二类海水面积比例/%
	近岸海域功能区达标率/%	I29	0.026				+
	海洋资源		人均滩涂面积/(亩·人 <sup>-1</sup> )		I30	0.035	+
			人均用海面积/(亩·人 <sup>-1</sup> )		I31	0.028	+
	影响 <i>I</i>	环境影响		赤潮面积/km <sup>2</sup>	I32	0.021	-
资源影响			主要海洋产业增加值年增长率/%	I33	0.027	-	
经济影响			风暴潮灾害直接经济损失/亿元	I34	0.023	-	
响应 <i>R</i>	环境治理		废水处理率/%	I35	0.028	+	
			固废处理率/%	I36	0.023	+	
	资源修复		人工增殖放流/万尾	I37	0.072	+	

注：1 亩≈666.7 m<sup>2</sup>。

### 1.2.1 正负向指标

本研究将所有指标分为两类：一类是正向指标，对海域承载力起到促进作用，这类指标的指数值越大越好；另一类是负向指标，对海域承载力起到抑制作用，这类指标的指数值越小越好<sup>[31]</sup>。如表 1 所示，将本文中的恩格尔系数、人均可支配收入、一类二类海水面积比例、近岸海域功能区达标率、人均滩涂面积、人均用海面积、废水处理率、固废的处理率和人工增殖放流设为正向指标，其他均设为负向指标。

### 1.2.2 数据归一化

由 2000—2020 年间的数据库构建原始数据矩阵，对原始数据矩阵进行标准化和归一化处理：

正向指标：

$$x_{ij} = [X_{ij} - \min(X_{ij})] / [\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})]. \quad (1)$$

负向指标：

$$x_{ij} = [\max(X_{ij}) - X_{ij}] / [\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})], \quad (2)$$

式中， $X_{ij}$  为第  $i$  个指标第  $j$  年的初始值； $x_{ij}$  为第  $i$  个指标第  $j$  年的标准化后数值， $i=1, 2, \dots, m$ ， $m$  为评价指标数； $j=1, 2, \dots, n$ ， $n$  为评价年份数，经公式计算后得到标准化矩阵。

### 1.3 熵值法

熵值法是对指标进行客观赋权的一种方法<sup>[32]</sup>。计算公式为：

$$P_{ij} = x_{ij} / (x_{i1} + x_{i2} + \dots + x_{im}), \quad (3)$$

$$e_i = [-1 / \ln(n)] / [P_{i1} \ln(P_{i1}) + P_{i2} \ln(P_{i2}) + \dots + P_{in} \ln(P_{in})], \quad (4)$$

$$w_i = (1 - e_i) / [(1 - e_1) + (1 - e_2) + \dots + (1 - e_m)], \quad (5)$$

其中，当  $P_{ij} = 0$  时，则  $P_{ij} \times \ln(P_{ij}) = 0$ 。式中， $P_{ij}$  为指标数值标准化后第  $i$  年第  $j$  项指标所占比重， $e_i$  为各指

标差异性系数,  $w_i$  为各指标权重。各指标权重结果见表 1。

### 1.4 海域承载力及承载状态

#### 1.4.1 海域承载力

确定好各指标的权重后, 利用归一化处理后的指标值去计算海域承载力  $C_R$ , 计算公式为:

$$C_R = w_1 \times x_1 + w_2 \times x_2 + \dots + w_n \times x_n. \quad (6)$$

#### 1.4.2 承载状态标准

参照有关海洋环境承载状态的划分标准<sup>[33]</sup>, 这

里将指标进行标准化处理后的理想值设为 1( $n=37$ ), 则海域的理想承载力  $M$  为:

$$M = w_1 + w_2 + \dots + w_n = 1. \quad (7)$$

将理想承载力  $M$  与实际承载力  $C_R$  进行比较, 对实际承载状况进行判断:

当  $C_R > 1$  时, 海域环境为超载; 当  $C_R = 1$  时, 海域环境为满载; 当  $C_R < 1$  时, 海域环境为可载。

为进一步细化承载力水平, 在上述基础上进一步将其划分, 具体如表 2 所示。

表 2 承载力状态划分标准

Tab. 2 Classification criteria of the marine carrying capacity state

数值范围	承载力状态	数值范围	承载力状态
$C_R \leq 0.80$	强可载	$C_R = 1.00$	满载
$0.80 < C_R \leq 0.90$	较强可载	$1.00 < C_R \leq 1.25$	略微超载
$0.90 < C_R \leq 0.99$	近满载	$C_R > 1.25$	严重超载

### 1.5 耦合协调度模型

海域承载力系统结构组成要件及变量, 因时空差异而具有复杂性、动态性、因果性及反馈性等特征。胶州湾海域利用涉及驱动力( $D$ )、压力( $P$ )、状态( $S$ )、影响( $I$ )和响应( $R$ )等 5 个子系统, 整体构成复杂的非线性系统, 而耦合协调度模型常用于评价系统间的协调发展关系, 衡量结果具客观性和可比性, 注重各指标间的相互联动关系, 可清晰发现海域承载力下各子系统之间的协调发展关系和水平, 故可利用耦合协调度模型来分析胶州湾海域承载力上述各子系统之间的协调性, 本文利用耦合协调度模型对其进行分析, 具体公式如下:

$$H = \sqrt{C \times T}, \quad (8)$$

$$C = 5 \left\{ \frac{D(x) \cdot P(x) \cdot S(x) \cdot I(x) \cdot R(x)}{[D(x) + P(x) + S(x) + I(x) + R(x)]^5} \right\}^{\frac{1}{5}}, \quad (9)$$

$$T = \partial D(x) + \beta P(x) + \gamma S(x) + \varphi I(x) + \delta R(x), \quad (10)$$

其中,  $H$  为耦合协调度指数, 其数值区间划分及其表征耦合协调状态如表 3 所示<sup>[34]</sup>;  $C$  为海域承载力各子系统的耦合度, 其取值范围为  $[0, 1]$ ,  $C$  值越接近于 1 则其各子系统耦合越好, 而越接近于 0 则表明各子系统协调性越差<sup>[35]</sup>;  $T$  为海域承载力 5 个子系统综合评价,  $D(x)$ 、 $P(x)$ 、 $S(x)$ 、 $I(x)$  及  $R(x)$  分别为驱动力、压力、状态、影响和响应等各子系统承载力水平,  $\partial$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 、 $\varphi$  及  $\delta$  等为承载力评估中各子系统(驱动力  $D$ 、压力  $P$ 、状态  $S$ 、影响  $I$  和响应  $R$  等 5 个子系统)的权

重, 分别为 0.081、0.611、0.114、0.071 和 0.123。

表 3 耦合协调状态判定准则

Tab. 3 Determination criteria of the coupling coordination state

耦合协调度指数	状态类型	耦合协调度指数	状态类型
0.00~0.09	极度失调	0.50~0.59	勉强协调
0.10~0.19	严重失调	0.60~0.69	初级协调
0.20~0.29	中度失调	0.70~0.79	中级协调
0.30~0.39	轻度失调	0.80~0.89	良好协调
0.40~0.49	濒临失调	0.90~1.00	优质协调

## 2 结果与分析

### 2.1 承载力及承载状态分析

计算结果表明, 2000—2020 年胶州湾海域承载力变化整体呈现降低趋势, 变化幅度范围在 0.70~0.95(图 1)。2013 年达到历史低值, 为 0.70。按承载状态类型划分, 胶州湾的承载力在研究年份均处于未超载状态(均小于 0.99, 处于强可载、较强可载、近满载状态), 但环境治理依然面临重大挑战[图 2(f)], 如 2008 年以来浒苔多次大规模季节性暴发<sup>[36-37]</sup>。为解决这一问题, 各级政府采取多种积极措施, 如努力推进“湾长制”和“河长制”, 持续实施“生态岛礁”“蓝色海湾”等海洋生态修复工程措施。与已有研究相同, 结果认为青岛市的经济水平承载力较大, 今后应对自然资源与社会资源重点关注, 其次是生态环境<sup>[38-39]</sup>。

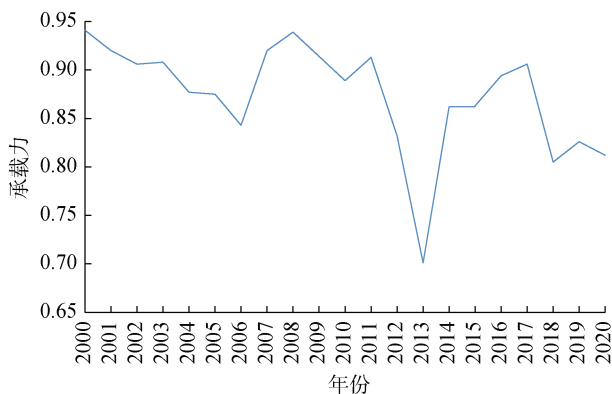


图 1 2000—2020 年胶州湾海域承载力的变化趋势

Fig. 1 Change trend of marine carrying capacity in Jiaozhou Bay from 2000 to 2020

## 2.2 承载力各准则层结果

海域承载力是由多种因素组成的，较为复杂，故本研究在上述总承载力评价基础上，再利用各评价指标进一步对各准则层(驱动力  $D$ 、压力  $P$ 、状态  $S$ 、影响  $I$  和响应  $R$ )的状况进行分析，找出可能影响胶州湾海域承载状况变化的因素。

### 2.2.1 驱动力层

从驱动力层因素的变化趋势来看，2000—2020 年胶州湾海域所承受的驱动力变化不大[图 2(a)]，主要原因在于随着青岛社会经济发展水平持续提升，人口总量虽持续增加，但因 2008 年起因户籍管理力度增强，从而导致人口数量上升幅度受限。由图 2(b)可知，胶州湾海域驱动力的变化与经济的增长趋势基本一致，其驱动力主要是青岛经济发展。其中，青岛海洋生产总值年均增长 10.5%，2020 年达到 3 580 亿元。

### 2.2.2 压力层

从压力层因素的变化趋势来看，胶州湾海域所承受的压力整体变化也不大[图 2(a)]。在五类准则中，压力值最大，且与海域承载力变化趋势基本一致，在 2013 年也出现降低趋势[图 2(a)]，故胶州湾海域承载力的变化主要受其所面临的压力的影响。另外，由图 2(c)可知，2000—2020 年胶州湾海域压力值变化趋势与资源需求的变化趋势基本一致，其压力主要是受到青岛海洋资源需求的影响，主要原因在于 2000 年以来围填海工程、开放式海域养殖活动规模和强度、人工鱼礁建设、港口开发和建设、滨海旅游业及其他临海产业发展等涉海活动，导致海洋资源需求旺盛，利用强度和广度持续提升，同时海洋生态环境亦面临较大压力。

### 2.2.3 状态层

从状态层因素的变化趋势来看，2000—2020 年胶州湾海域状态值变化趋势与海洋资源的变化趋势基本一致[图 2(d)]，故胶州湾海域状态主要受青岛海洋资源水平下降带来的影响，具体表现为人口增长和围海造地所导致的人均滩涂和用海面积的减少。相较于 20 世纪 50 至 90 年代胶州湾盐田建设、围垦海农业建设、滩涂围垦养殖、港口开发、滨海公路建设及临港工程建设等大规模围海工程，2000 年以来围海造地速度相对下降，但围填海规模依然可观，如胶州湾水域面积由 2005 年的 357 km<sup>2</sup> 降至 2008 年的 348 km<sup>2</sup>，胶州湾湿地面积由 1988 年的 508.51 km<sup>2</sup> 降至 2008 年的 348.25 km<sup>2</sup>，加上同期人口数量的增长，导致滩涂和用海面积人均占有量明显下降。

### 2.2.4 影响层

从影响层的变化趋势来看，它与状态值变动趋势较为一致[图 2(a)]。具体而言，尽管这一影响受资源、环境及经济共同作用，但主要受资源变动的影响[图 2(e)]，即：受主要海洋产业增加值年增长率的影 响(表 1)，故要维持其增加值年增长率的稳步增长，有必要进一步提升当前优势态势较为显著、生态友好型和资源开发附加值较高的海洋生物医药产业和滨海旅游业的发展，促进其提质增效和高质量发展，同时适当限制海洋渔业利用程度并加强海洋生物资源养护，实现海域生态系统的动态平衡及其结构和功能的稳定，从而有助于实现海域利用可持续发展。

### 2.2.5 响应层

从响应层的变化趋势来看，2000—2020 年胶州湾海域响应值在 2013 年之前整体变化不大，之后在 2016—2019 年上升，2019—2020 年下降([图 2(a)]。另外，2000—2020 年胶州湾海域响应值的变化趋势与资源修复的变化趋势基本一致[图 2(f)]，故胶州湾海域响应值主要受海洋生态修复带来的影响，如人工增殖对海洋渔业资源的恢复起到促进作用，以及固废和废水处理率维持在较高水平。2013 年以来，为实现整体保护和综合治理，青岛统筹考虑全市海岸带、海域及陆域空间，建立全要素生态修复总体框架，实施了一系列系统修复工程，如胶州湾海域的水质提升工程、湿地生物栖息地修复工程、陆域污染面源控制工程、入海河口污染控制工程。

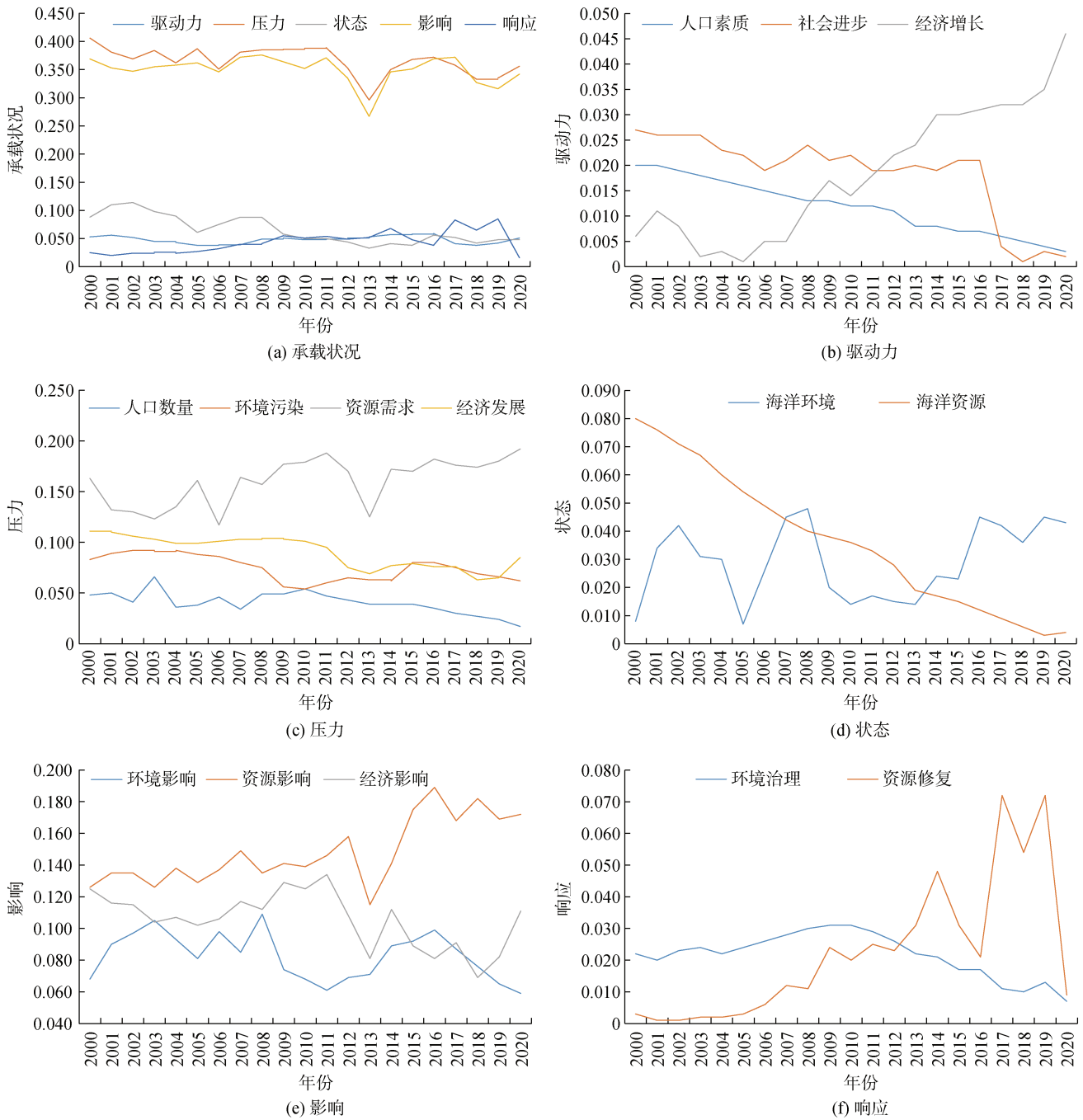


图 2 2000—2020 年胶州湾海域驱动力、压力、状态、影响和响应各影响因素的变化趋势  
 Fig. 2 Change trend of driving force, pressure, status, impact, and response factors in Jiaozhou Bay from 2000 to 2020

### 2.3 承载力子系统协调度分析

2000—2020 年, 胶州湾海域承载力子系统耦合协调度虽波动幅度较大, 但总体呈“良好协调至中级协调”的下降态势(图 3)。具体而言, 2000—2007 年耦合协调度处于良好协调状态并总体呈上升态势, 这主要得益于胶州湾海域近岸开发强度虽然较高但整体开发强度较适宜, 但 2008 年以来因浒苔暴发而导致耦合协

调度出现更大幅度波动, 严重影响了子系统之间原有的相对稳定的相互作用关系, 并于 2013 年由良好协调下降至中级协调<sup>[36-37]</sup>, 但由于政府及时采取海洋大型藻类灾害专项监视监测预警体系和治理措施, 最大限度降低其对胶州湾海域的影响, 使得其耦合协调度水平依然维持在终极协调水平。但是, 2020 年耦合协调度显著下降。

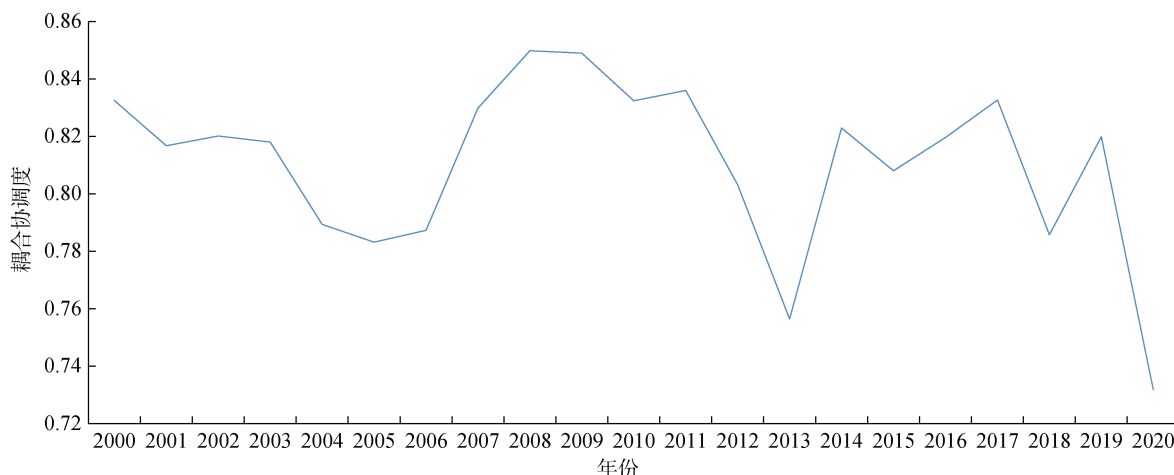


图3 胶州湾海域承载力子系统耦合协调度

Fig. 3 Coupling coordination degree of the marine carrying capacity for the subsystem in Jiaozhou Bay

### 3 结论和讨论

本研究根据胶州湾海域资源、环境、社会和经济特点，首先构建一套包含 37 个指标的综合评价指标体系，其次利用熵值法和 DPSIR 模型对 2000—2020 年胶州湾海域承载力进行评估，并对其中的 5 类准则层进行分析，最后探究影响胶州湾海域承载力变化的原因，得出如下结论：

1) 2000—2020 年胶州湾海域承载力处于强可载、近满载状态，总体呈现降低趋势；

2) 对资源需求的压力是影响胶州湾海域承载力的主要原因，而在各准则层中，驱动力主要受 GDP 增长率的影响，压力主要受海洋渔船数和海洋渔船功率的影响，状态主要受人均滩面积涂和人均用海面积的影响，影响主要受主要海洋产业增加值年增长率的影响，响应则主要受人工增殖放流的影响。

3) 2000—2020 年，胶州湾海域承载力耦合协调度总体呈上升态势，并从初级协调上升至良好协调，但 2008 年以来多次暴发浒苔导致协调度出现较大幅度波动。

根据研究结论，为改善胶州湾海域承载力，提出如下建议：

第一，减轻海域压力，提升资源开发水平，促进海洋经济发展。尽管当前胶州湾海域承载力还未出现过载状况，但在个别年份呈现显著下降的趋势，因而有必要减少对海洋资源环境产生的压力，减轻海域压力。同时，有关部门继续加大培养海洋科技人才的投入，提升海洋经济发展水平<sup>[40]</sup>。

第二，提升海洋生态修复水平，加强海洋生态

环境养护。海域承载力具有一定的阈值，若海域的开发利用超过这一阈值，可能会导致生态平衡等一系列问题产生，海域所能提供的资源量亦将下降，但可以通过海域利用调控、科技进步等措施和手段逐步予以恢复<sup>[41]</sup>。通过人工增殖放流、蓝色海湾工程、渤海攻坚行动计划、海洋保护地建设和海洋牧场等措施，进一步提升该海域的承载能力。

第三，加强海洋环境监管，减少污染物的排放。设立专项资金研究浒苔预防治理和废水处理技术，制定相关排放标准，建立排污权交易机制，加强污染物排放的监管力度，努力降低污染物排放量，确保海洋生态资源环境的利用不超过其海域承载力，从而有助于海域可持续发展利用。

#### 参考文献

[1] 狄乾斌, 韩增林, 孙才志. 海域承载力理论与海洋可持续发展研究[J]. 海洋开发与管理, 2008, 111(1): 52-55.  
DI Qianbin, HAN Zenglin, SUN Caizhi. Study on the theory of sea area carrying capacity and marine sustainable development[J]. Ocean Development and Management, 2008, 111(1): 52-55.

[2] 狄乾斌, 郑金花. 中国沿海地区海洋经济发展水平与海域承载力耦合分析[J]. 中国海洋经济, 2017, 3(1): 119-137.  
DI Qianbin, ZHENG Jinhua. Coupling analysis between marine economic development level and the carrying capacity of marine space in China's coastal[J]. Marine Economy in China, 2017, 3(1): 119-137.

[3] 王何, 逢爱梅. 我国三大都市圈中心城市功能效应比较[J]. 城市规划学刊, 2003(2): 72-76, 96.

- WANG He, PANG Aimei. The comparison of the central cities' function in three China-Metropolitan Areas[J]. *Urban Planning Forum*, 2003(2): 72-76, 96.
- [4] 赖敏, 蒋金龙, 欧阳玉蓉, 等. 海洋资源环境承载力评价研究进展[J]. *生态经济*, 2021, 37(1): 164-171.  
LAI Min, JIANG Jinlong, OUYANG Yurong, et al. Research progress on evaluating marine resources and environment carrying capacity[J]. *Ecological Economy*, 2021, 37(1): 164-171.
- [5] 苏子龙, 袁国华. 我国海域承载力研究综述[J]. *资源与产业*, 2016, 18(6): 15-20.  
SU Zilong, YUAN Guohua. Research overview of marine carrying capacity in China[J]. *Resources & Industries*, 2016, 18(6): 15-20.
- [6] 狄乾斌, 韩增林, 刘镭. 海域承载力研究的若干问题[J]. *地理与地理信息科学*, 2004, 20(5): 50-53, 71.  
DI Qianbin, HAN Zenglin, LIU Kai. Some questions of research on carrying capacity of marine space[J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2004(05): 50-53, 71.
- [7] 狄乾斌, 吕东晖. 我国海域承载力与海洋经济效益测度及其响应关系探讨[J]. *生态经济*, 2019, 35(12): 126-133, 169.  
DI Qianbin, LV Donghui. Research on measurements and response relationship between carrying capacity of marine region and marine economic benefits in China[J]. *Ecological Economy*, 2019, 35(12): 126-133, 169.
- [8] 林秀春, 刘睿. 莆田市近海海域生态环境承载力评价[J]. *莆田学院学报*, 2019, 26(2): 94-99.  
LIN Xiuchun, LIU Rui. Evaluation on environmental carrying capacity of offshore area of Putian[J]. *Journal of Putian University*, 2019, 26(2): 94-99.
- [9] 余璇, 胡求光. 中国海域承载力空间差异及其收敛性分析[J]. *海洋开发与管理*, 2020, 37(7): 23-32.  
YU Xuan, HU Qiuguang. Analysis of spatial difference and its convergence of China's marine carrying capacity[J]. *Ocean Development and Management*, 2020, 37(7): 23-32.
- [10] 吴国栋, 高俊国, 刘大海. 山东半岛蓝色经济区海域承载力评价[J]. *海岸工程*, 2017, 36(2): 63-70.  
WU Guodong, GAO Junguo, LIU Dahai. Evaluation of carrying capacity of marine space in the Shandong Peninsula Blue Economic Zone[J]. *Coastal Engineering*, 2017, 36(2): 63-70.
- [11] MYERS R A, MACKENZIE B R, BOWEN K G, et al. What is the carrying capacity for fish in the ocean? A meta-analysis of population dynamics of North Atlantic cod[J]. *Canadian Journal of Fisheries & Aquatic Sciences*, 2001, 58(7): 1464-1473.
- [12] 李艳玲, 顾波军. 舟山海洋渔业捕捞海域承载力评价研究[J]. *中国渔业经济*. 2021, 39(3): 91-100.  
LI Yanling, GU Bojun. Study on carrying capacity evaluation of fishing area of Zhoushan marine fishery[J]. *Chinese Fishery Economics*, 2021, 39(3): 91-100.
- [13] ROUSSEL S, CRINQUANT N, BOURDAT E. In search of coastal zone sustainability by means of social carrying capacity indicators construction: lessons learned from the Thau lagoon case study (Region Languedoc-Roussillon, France)[J]. *International Journal of Sustainable Development*, 2007, 10(1): 175-194.
- [14] 郑金花, 狄乾斌. 环渤海地区海洋经济发展水平与海域承载力耦合分析[J]. *海洋经济*, 2017, 7(5): 37-46.  
ZHENG Jinhua, DI Qianbin. Coupling analysis of marine economic development level and sea-shore carrying capacity in Round-the-Bohai Region[J]. *Marine Economy*, 2017, 7(5): 37-46.
- [15] 李志伟, 崔力拓. 河北省近海海域承载力评价研究[J]. *海洋湖沼通报*, 2010, 127(4): 87-94.  
LI Zhiwei, CUI Lituo. Assessment on the carrying capacity of Hebei province offshore[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2010, 127(4): 87-94.
- [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 quantitative research of regional carrying capacity[J]. *Advances in Earth Science*, 2001, 16(4): 549-555.
- [17] 金建君, 恽才兴, 巩彩兰. 海岸带可持续发展及其指标体系研究——以辽宁省海岸带部分城市为例[J]. *海洋通报*, 2001, 20(1): 61-66.  
JIN Jianjun, YUN Caixing, GONG Cailan. Concept and index system of coastal zone sustainable development-A case study on part of the cities in the Liaoning province Coastal Zone[J]. *Marine Science Bulletin*, 2001, 20(1): 61-66.
- [18] RIGHI S. Environmental indicators: Typology and overview[R]. Copenhagen, Denmark: European Environment Agency, 1999.
- [19] BALDWIN C, LEWISON R L, LIESKE S N, et al. Using the DPSIR framework for transdisciplinary training and knowledge elicitation in the Gulf of Thailand[J]. *Ocean & Coastal Management*, 2016(134): 163-172.
- [20] KAGALOU I, LEONARDOS I, ANASTASIADOU C, et al. The DPSIR approach for an integrated river management framework. A preliminary application on a Mediterranean Site (Kalamas River-NW Greece)[J]. *Water Resources Management*, 2012, 26(6): 1677-1692.
- [21] MOSS E D, EVANS D M, ATKINS J P. Investigating the impacts of climate change on ecosystem services in UK agro-ecosystems: An application of the DPSIR framework[J]. *Land Use Policy*, 2021(105): 105394.
- [22] MUKUVARI I, MAFWILA S K, CHIMUKA L. Measuring the recovery of the Northern Benguela Current Large Marine Ecosystem (BCLME): An application of



- the DPSIR framework[J]. *Ocean & Coastal Management*, 2014(119): 227-233.
- [23] SHAO C, GUAN Y, CHU C, et al. Trends analysis of ecological environment security based on DPSIR Model in the coastal zone: A survey study in Tianjin, China[J]. *International Journal of Environmental Research*, 2014, 8(3): 765-778.
- [24] 李鹏, 普思寻, 李振洪, 等. 2000 年以来胶州湾海岸线光学与 SAR 多源遥感变化监测研究[J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2020, 45(9): 1485-1492.  
LI Peng, PU Sixun, LI Zhenhong, et al. Coastline change monitoring of Jiaozhou Bay from multi-source SAR and optical remote sensing images since 2000[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2020, 45(9): 1485-1492.
- [25] 姜红, 刘俐娜. 新旧动能转换在海洋经济发展质量中的作用评析——以青岛市为例[J]. *海洋湖沼通报*, 2021, 43(3): 159-166.  
JIANG Hong, LIU Lina. Study on the conversion of new and old marine economic kinetic energy—Take Qingdao, for example[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2021, 43(3): 159-166.
- [26] 赵立波. 关于改革创新助力青岛蓝色硅谷发展的思考[J]. *中共青岛市委党校青岛行政学院学报*, 2020, 264(6): 43-45.  
ZHAO Libo. Thoughts on reform and innovation to promote the development of blue silicon valley in Qingdao[J]. *Journal of the Party School of C.P.C Qingdao Municipal Committee Qingdao Administrative Institute*, 2020, 264(6): 43-45.
- [27] 吴米加, 刘振东. 农业政策性金融服务青岛海洋强市战略思考[J]. *农业发展与金融*, 2021, 320(1): 32-34.  
WU Mijia, LIU Zhendong. Strategic thinking on agricultural policy-based finance strengthening marine Qingdao[J]. *Agricultural Development and Finance*, 2021, 320(1): 32-34.
- [28] 周乐萍. 全球海洋中心城市之争[J]. *决策*, 2020, 368(12): 30-33.  
ZHOU Leping. The battle for a global marine central city[J]. *Decision Making*, 2020, 368(12): 30-33.
- [29] 钟舜彬, 何均琳. 东海近海海域承载力评价研究[J]. *厦门理工学院学报*, 2016, 24(6): 39-45.  
ZHONG Shunbin, HE Junlin. Evaluation of marine carrying capacity in offshore area of East China Sea[J]. *Journal of Xiamen University of Technology*, 2016, 24(6): 39-45.
- [30] 张峰. 基于 SD 和 DPSIRM 模型的饮马河流域生态脆弱性评价[D]. 长春: 东北师范大学, 2019.  
ZHANG Feng. Ecological vulnerability assessment of Yinma River Basin based on SD and DPSIRM model[D]. Changchun: Northeast Normal University, 2019.
- [31] 崔文婧. 天津市滨海新区海岸带资源环境承载力综合评价与预测[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2020.  
CUI Wenjing. Comprehensive evaluation and prediction of carrying capacity of coastal resources and environment in Tianjin Binhai New Area[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2020.
- [32] 许晓冬, 刘金晶. 基于熵值-PLS 的营商环境建设动态及影响因素分析[J]. *商业研究*, 2021, 528(4): 10-16.  
XU Xiaodong, LIU Jinjing. An analysis of dynamic and influence factors of business environment construction based on entropy-PLS[J]. *Commercial Research*, 2021, 528(4): 10-16.
- [33] 叶文祯. 福建省县域单元海域承载力评价研究[J]. *科技传播*, 2014, 6(8): 67, 90-91.  
YE Wenzhen. Assessment on the carrying capacity of Fujian Province offshore[J]. *Public Communication of Science & Technology*, 2014, 6(8): 67, 90-91.
- [34] 汪永生, 李宇航, 揭晓蒙, 等. 中国海洋科技—经济—环境系统耦合协调的时空演化[J]. *中国人口·资源与环境*, 2020, 30(8): 168-176.  
WANG Yongsheng, LI Yuhang, JIE Xiaomeng, et al. Coupling between marine technology, economy and environment systems in China[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2020, 30(8): 168-176.
- [35] 刘波, 龙如银, 朱传耿, 等. 江苏省海洋经济高质量发展水平评价[J]. *经济地理*, 2020, 40(8): 104-113.  
LIU Bo, LONG Ruyin, ZHU Chuangeng, et al. Comprehensive measurement of index system for marine economy high-quality development in Jiangsu Province[J]. *Economic Geography*, 2020, 40(8): 104-113.
- [36] 王宗灵, 傅明珠, 周健, 等. 黄海浒苔绿潮防灾减灾现状与早期防控展望[J]. *海洋学报*, 2020, 42(8): 1-11.  
WANG Zongling, FU Mingzhu, ZHOU Jian, et al. Current situation of prevention and mitigation of the Yellow Sea green tide and proposing control measurements in the early stage[J]. *Haiyang Xuebao*, 2020, 42(8): 1-11.
- [37] 曲同飞, 侯承宗, 于子山, 等. 浒苔绿潮对青岛近岸潮间带底栖动物群落的生态效应[J]. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2020, 50(12): 59-69.  
QU Tongfei, HOU Chengzong, YU Zishan, et al. Ecological effects of Ulva prolifera green tide on zoobenthos in Qingdao intertidal Area[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2020, 50(12): 59-69.
- [38] 苟露峰, 汪艳涛, 金炜博. 基于熵权 TOPSIS 模型的青岛市海洋资源环境承载力评价研究[J]. *海洋环境科学*, 2018, 37(4): 586-594.  
GOU Lufeng, WANG Yantao, JIN Weibo. Empirical study about the carrying capacity evaluation of marine resources and environment based on the entropy-weight TOPSIS model[J]. *Marine Environmental Science*, 2018, 37(4): 586-594.

[39] 马颖, 王立华. 基于“三生空间”视角的城市资源环境承载力研究——以山东省青岛市为例[J]. 国土资源科技管理, 2020, 37(1): 1-12.  
 MA Ying, WANG Lihua. On urban resource environment capacity based on the perspective of “Ecological-production-living” space: A case of Qingdao, Shandong province[J]. Scientific and Technological Management of Land and Resources, 2020, 37(1): 1-12.

[40] 杨林, 刘耀雷. 基于 P-E-R 模型城市人口承载力的判断与提升路径研究——以青岛市为例[J]. 经济与管理评论, 2016, 32(3): 139-145.

YANG Lin, LIU Yaolei. A study of the judgment and improving ways of the urban population carrying capacity based on P-E-R model—A case of Qingdao City[J]. Review of Economy and Management, 2016, 32(3): 139-145.

[41] 李京梅, 许玲. 青岛市蓝色经济区建设的海洋资源承载力评价[J]. 中国海洋大学学报(社会科学版), 2013, 130(6): 8-13.  
 LI Jingmei, XU Ling. Evaluation of marine resource carrying capacity in the construction of Qingdao blue economy zone[J]. Journal of Ocean University of China (Social Sciences), 2013, 130(6): 8-13.

## Analysis of marine region carrying capacity in Jiaozhou Bay based on the DPSIR model and coupling coordination degree model

XIA Zheng-qi<sup>1</sup>, WANG Kai<sup>2</sup>, PENG Dao-min<sup>3</sup>, ZHU Yu-gui<sup>3</sup>, ZHANG Long-jun<sup>1</sup>

(1. College of Environmental Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 2. College of Marine Life Science, Ocean University of China, Qingdao 266003, China; 3. College of Fisheries, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

**Received:** Mar. 4, 2022

**Key words:** Jiaozhou Bay; marine carrying capacity; entropy method; DPSIR model; coupling coordination degree model

**Abstract:** Marine carrying capacity is a key indicator for the coordinated development of marine resource utilization. In this study, based on the resource characteristics of Jiaozhou Bay and the DPSIR model, an indicator system is developed to evaluate the marine carrying capacity of Jiaozhou Bay and the entropy method is subsequently used to distribute the evaluation index weight of each indicator. Moreover, the coupling coordination degree model is used to analyze the coupling coordination degree within the carrying capacity subsystem of Jiaozhou Bay in 2000–2020 to provide a good demonstration and reference for the sustainable socioeconomic development of many adjacent Gulf cities at home and abroad. The findings reveal that between 2000 and 2020, the variation range of the marine carrying capacity is 0.70–0.95, and the coupling coordination degree of Jiaozhou Bay is 0.73–0.85. The conclusions of this study are as follows: 1) the overall carrying capacity of Jiaozhou Bay exhibits a downward trend from 2000 to 2020, which corresponds to the trend from strong load capacity to critical load capacity, respectively; 2) the demand for marine resources in the pressure layer is the main factor affecting the carrying capacity, and the GDP growth rate, number and power of marine fishing vessels, per capita beach and sea areas, annual growth rate of the added value of major marine industries, and artificial proliferation and release are the main factors affecting the driving force layer, pressure layer, state layer, influence layer, and response layer, respectively; and 3) the change in the coupling coordination degree of the system in the evaluation range approximately exhibits an overall trend of “primary coordination to good coordination.”

(本文编辑: 丛培秀)