

DOI: 10.5846/stxb201712072206

盖美, 钟利达, 柯丽娜. 中国海洋资源环境经济系统承载力及协调性的时空演变. 生态学报, 2018, 38(22): - .

Gai M, Zhong L D, Ke L N. Spatio-temporal law and coordinated development of the carrying capacity of marine environmental resource and economic system in China. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(22): - .

# 中国海洋资源环境经济系统承载力及协调性的时空演变

盖 美<sup>1,2,\*</sup>, 钟利达<sup>1</sup>, 柯丽娜<sup>2</sup>

1 辽宁师范大学海洋经济与可持续发展研究中心, 大连 116029

2 辽宁师范大学城市与环境学院, 大连 116029

**摘要:** 中国海洋复合系统承载力研究对海洋标准化发展具有重要意义。引入环境 EKC 机理, 通过可变模糊识别算法, 结合相关研究构建承载力指标体系和评价体系对中国海洋资源环境经济 2006—2014 年承载力情况进行评价分析; 利用三元协调发展模型对复合系统承载力进行协调发展测度; 最后通过灰色关联模型测度承载力驱动因素以期为中国海洋复合系统可持续发展提供参考依据。研究表明: (1) 中国海洋复合系统承载力时序变化良好; 空间上天津、上海、海南承载力较高, 呈南北中“三足鼎立”格局, 河北、广西承载力较低; (2) 承载力协调发展状况也呈良性发展, 但区域间差异较大, 海南、山东协调性较高, 海南、上海、天津协调发展度较高, 其余大部分地区均有待提高。 (3) 海洋经济规模与产业结构、环境治理、资源丰富度分别影响着海洋经济、资源、环境承载力。

**关键词:** 海洋资源环境经济; 可变模糊; 承载力; 协调发展; 时空规律

## Spatio-temporal law and coordinated development of the carrying capacity of marine environmental resource and economic system in China

GAI Mei<sup>1,2,\*</sup>, ZHONG Lida<sup>1</sup>, KE Lina<sup>2</sup>

1 Center for Studies of Marine Economy and Sustainable Development, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China

2 College of Urban and Environment, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China

**Abstract:** The study of the carrying capacity of China's marine composite system is of great significance to the development of marine standardization. Based on the Environmental Kuznets Curve (EKC) hypothesis, the use of variable fuzzy identification algorithms, combined with relevant research to construct a carrying capacity index and evaluation system to evaluate the carrying capacity of China's marine environmental resource and economic system from 2006 to 2014. The coordinated development model measures the coordinated development of the carrying capacity of the composite system. Finally, we used gray relational analysis to measure the factors influencing the carrying capacity in order to provide a reference for the sustainable development of the marine composite system in China. The results of the study indicate that: (1) the time series of China's marine composite system's carrying capacity shows an increasing trend; the carrying capacities of Tianjin, Shanghai, and Hainan, the pattern of the "three pillars" in the north and south, are higher in space than other locations, but the carrying capacities of Hebei and Guangxi are relatively low; (2) the coordinated development of the carrying capacity also showed positive development, but the differences among regions were large, with higher coordinations in Hainan, Shandong, Shanghai and Tianjin than other locations. The development of most other regions needs

基金项目: 教育部人文社科重点研究基地重大项目(16JJD790021); 国家社科基金重大项目(14ZDB130)

收稿日期: 2017-12-07; 网络出版日期: 2018-00-00

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gaimei71@163.com

to be improved. (3) The scale of the marine economy and industrial structure, environmental governance, and richness of resources affect the changes in carrying capacity of the marine economy, environment, and resources.

**Key Words:** marine resource environment and economy; variable fuzzy recognition; carrying capacity; coordinated development; variation rules

中国是海洋大国,海洋复合系统承载力研究对于海洋合理开发布局、实现可持续发展具有重要意义。承载力起源于力学,马尔萨斯<sup>[1]</sup>和 Verhulst<sup>[2]</sup>将其引入到生态领域,20 世纪 60 年代后经济发展与资源环境之间矛盾日益突出,承载力研究开始被广泛关注<sup>[3-4]</sup>。研究内容由单一要素承载力研究向单系统研究再向多元系统<sup>[5-10]</sup>研究方向发展;研究对象由陆地开始,尤其是生态脆弱区<sup>[11]</sup>逐渐关注海岸带、海洋等方向<sup>[12-13]</sup>。关于承载力定义,高吉喜<sup>[14]</sup>和张燕<sup>[15]</sup>认为资源环境承载力是生态系统能支撑人类社会系统良性发展的能力,并应以协调发展为目标,狄乾斌<sup>[16]</sup>将经济承载力理解为资源条件和环境容量下经济可持续发展的规模等<sup>[17-18]</sup>。可以看出承载力核心内容始终围绕可支撑能力内涵,并且以可持续发展理论为指导思想。当前承载力研究侧重支撑水平和程度,十九大报告也指出,中国社会主要矛盾已经转化为人民日益增长的美好生活需要和不平衡不充分的发展之间的矛盾。海洋复合系统实际上是海洋经济、海洋资源、海洋环境三个子系统的有机构成,综上所述,本文将海洋资源环境经济复合系统承载力定义为:在现有海洋资源可支撑水平、不以牺牲海洋环境为代价实现海洋经济稳步增长,支撑人民生活水平提高的能力。

已有研究不足主要有:(1)海洋多元系统承载力研究较少,魏超等<sup>[19]</sup>利用状态空间法对南通市海岸带区域综合承载力研究未实现真正意义的海洋承载力研究;狄乾斌等<sup>[20]</sup>借鉴生物免疫学理论对辽宁省海域生态承载力研究缺少对包括海洋经济系统在内的海洋多元系统承载力思考,且对承载力变化规律的进一步探讨不足;(2)海洋是复杂开放式系统,与以往研究主体不同的是海洋变化较为稳定且不易察觉,是一个缓慢质变的过程,目前研究方法如主成分分析法、状态空间法、能值分析法、非线性模糊综合评价、突变级数法、熵权 TOPSIS 法等<sup>[21-22]</sup>对于数据的敏感程度较高,对海洋承载力状况反映不足;(3)现有研究<sup>[23-24]</sup>对海洋复合系统承载力驱动因素必要的定量分析较少,大部分研究从现象出发,缺少对相关关系的探讨,影响因素分析较为主观。

本文通过总结已有研究,考虑海洋经济系统构建海洋资源环境经济三元系统体系全面反映海洋复合系统承载力状态;引入环境 EKC 机理与可持续发展理论相结合,为海洋复合系统承载力演变规律提供了理论支撑;运用可变模糊识别 4 种参数模型对中国海洋资源环境经济承载力进行综合评价,减少了数据波动的影响,大大提高了计算结果的稳定性和科学性;将海洋资源环境经济作为整体复合系统,运用三元协调发展模型对承载力进行深入研究,拓展了海洋多元系统的研究广度和深度;最后采用灰色关联法定量计算承载力驱动因素,为提高中国海洋复合系统承载力,实现海洋可持续发展提供一定的参考依据。

## 1 研究机理、方法与数据来源

### 1.1 研究机理

本文将环境 EKC<sup>[25-26]</sup>引用到海洋领域,认为海洋资源环境经济承载力演变轨迹呈“C 字型”(图 1)。初期海洋经济处于低水平,经济承载力较低,较少的人为干预使海洋环境质量较好,海洋资源相对丰富,海洋资源环境承载力相对较高;随着海洋经济发展,消耗海洋资源同时产生废弃物污染了海洋环境,降低了海洋资源环境承载力;随着海洋经济继续发展,经济承载力继续上升,相关技术进步为海洋环境改善提供支撑,海洋资源利用效率提高及海洋新能源开发等又提高了海洋资源承载力,最终海洋资源环境经济复合系统承载力达到较高水平和良好协调状态。但在海洋经济发展过程中,海洋资源环境都有一定承载能力,严重超过海洋资源环境的承受能力,海洋资源环境将难以恢复,海洋生态环境不断恶化、海洋资源逐渐枯竭,最终反向作用于海

洋经济,导致海洋经济发展畸形。避免海洋资源环境经济复合系统恶性发展需要明确海洋资源环境经济复合系统的承载能力、承载力变化趋势、协调情况以及寻找阻碍承载力良性发展的原因。

1.2 研究方法

1.2.1 韦伯-费希纳定律

韦伯-费希纳定律(W-F)<sup>[27]</sup>揭示了刺激量变化对于感知反映变化是由量变到质变的过程。将评价海洋资源环境经济系统的各项指标作为外界的刺激量  $c$ ,将承载力的等级变化对应于外界刺激量  $c$  的反映量  $k$ ,根据 W-F 定律, $k$  与  $c$  存在以下关系:

$$k = a \log c \quad (1)$$

式中, $a$  为韦伯常数。

经过推导以及已有研究成果,若将指标  $i$  分成5级,不难得到:

$$a_i = (c_{id}/c_{i0})^{1/6} \quad (2)$$

式中, $a_i$ 为指标  $i$  在同一等级上下界阈重要程度的比值, $c_{id}$ 是对应于  $i$  指标最高级别的上限阈值, $c_{i0}$ 是对应于  $i$  最低级别的下限域值。

1.2.2 可变模糊识别理论<sup>[28]</sup>

本文首次将可变模糊识别模型引入海洋复合系统承载力评价中,该模型评价承载力与以往方法相比优点和原理在于:不仅将要素的单一区间隶属度拓展到相邻区间的综合隶属度,而且通过可变化参数将模糊综合评价模型、理想点模型、Sigmoid 型函数、模糊优选模型 4 种数学模型结合起来对待评对象承载力进行综合评价,大大提高了结果的稳定性和科学性,更适合相对稳定且复杂的海洋复合系统承载力研究。

可变模糊识别模型为:

$$V_A(u) = 1/[1 + (d_g/d_b)^a] \quad (3)$$

式中, $V_A(u)$  为识别对象  $u$  对  $A$  的相对隶属度, $a$  为优化准则参数, $a=1$  为最小一乘方准则, $a=2$  为最小二乘方准则; $d_g$ 为距优距离, $d_g = \left\{ \sum_{i=1}^m [w_i(1 - \mu_A(u)_i)]^p \right\}^{\frac{1}{p}}$ ;  $d_b$ 为距劣距离, $d_b = \left\{ \sum_{i=1}^m [w_i(\mu_A(u)_i)]^p \right\}^{\frac{1}{p}}$ ,  $w_i$  为指标  $i$  的权重, $\mu_A(u)_i$  为指标  $i$  对应的相对隶属度向量。 $p$  为距离参数, $p=1$  为海明距离, $p=2$  为欧氏距离。

式中  $a$  与  $p$  有 4 种搭配:①当  $a=1, p=1$  时,式(3)可变为:  $V_A(u) = \sum_{i=1}^m w_i \mu_A(u)_i$ , 为模糊综合评判模型。②当  $a=1, p=2$  时,式(3)可变为:  $V_A(u) = d_g/d_g + d_b$ , 为理想点模型。③当  $a=2, p=1$  时,式(3)可变为:  $V_A(u) = 1/[1 + ((1 - d_g)/d_b)^2]$ , 为 Sigmoid 型函数,即 S 型函数,可描述神经网络系统中神经元的非线性特性或激励函数。④当  $a=2, p=2$  时,式(3)可变为:  $V_A(u) = 1/[1 + (d_g/d_b)^2]$ , 为模糊优选模型。

根据  $V_A(u)$  的计算结果,采用级别特征值公式,确定海洋资源环境经济复合系统所属等级,  $V_A(u)$  在不同级别上均存在相对隶属度, $h$  为  $V_A(u)$  相应的级别,  $H_u$  为最终级别特征值。公式如下:

$$H_u = \sum_{h=1}^c [V_A(u) \times h] \quad (4)$$

1.2.3 三元协调发展度模型

为进一步研究海洋资源、环境与经济承载力之间的相互协调关系,以便更好的反映海洋复合系统发展的状态,引入三元系统协调发展度模型<sup>[29]</sup>进行测算,公式如下:

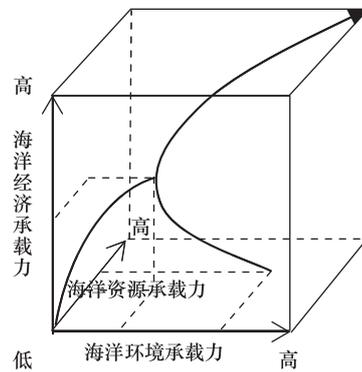


图1 基于 EKC 的海洋资源环境经济复合系统承载力动态演变机理

Fig. 1 Dynamic evolution mechanism of composite carrying capacity of marine resource environment and economy based on EKC

EKC:环境库兹涅茨曲线, Environmental Kuznets Curve

$$D = \sqrt{C \times T} \quad C = \left\{ \frac{u_1 u_2 u_3}{[(u_1 + u_2 + u_3) / 3]^3} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (5)$$

$$T = \alpha u_1 + \beta u_2 + \gamma u_3 \quad (6)$$

式中,  $D$  为系统协调发展度;  $C$  为协调度;  $T$  为发展度;  $\alpha, \beta, \gamma$  是待定权重;  $u_1, u_2, u_3$  分别是海洋资源、海洋环境、海洋经济承载力特征值的倒数。

### 1.3 数据来源

本文所采用的数据来源于 2006—2014 年间的《中国海洋统计年鉴》、《中国环境统计年鉴》、《中国国土资源统计年鉴》、《中国统计年鉴》、《中国城市统计年鉴》、《中国省市经济发展年鉴》以及沿海 11 省市的相关统计年鉴和统计公报。

## 2 指标体系和评价标准

### 2.1 指标体系

依据整体性、科学性和可比性等原则, 结合魏超<sup>[19,27]</sup>等学者相关研究确定指标体系, 本文侧重于海洋复合系统对于人类发展的支撑作用, 具体表现为: 海洋经济子系统通过海洋总产值、海岸线经济密度、人均海洋产值等直接反映生活水平, 通过海洋产业结构、科研投入等反映海洋产业格局, 进而反映海洋经济系统支撑能力的合理性; 海洋环境子系统通过主要污染物和治理等显示海洋环境状况, 进而影响支撑人类生存和发展的能力; 海洋资源子系统是支撑人类生存与发展的基础, 海洋资源的丰富度影响着海洋经济水平和生活水平。采用 AHP 主观赋权和熵值客观赋权法确定指标权重。指标体系如表 1:

表 1 海洋资源环境经济承载力指标体系

Table 1 Indicator system of carrying capacity of marine resource environment and economy

系统层 System layer	准则层 Criterion layer	指标层 Basic index layer	AHP (主观权重) Subjective weight	熵值法 (客观权重) Objective weight	综合权重 Combined weight
海洋经济系统 Marine economic system	海洋经济规模	沿海地区海洋经济产值占 GDP 的比重 J1/%	0.0678	0.0448	0.0563
		海岸线经济密度 J2/(亿元/km)	0.0622	0.0381	0.0502
		人均海洋经济产值 J3/(万元/人)	0.0591	0.0381	0.0486
	经济变化 经济结构	海洋经济总产值增加率 J4/%	0.0456	0.0346	0.0401
		海洋第三产业比重 J5/%	0.0241	0.0381	0.0311
		海洋第二产业比重 J6/%	0.0141	0.0433	0.0287
		海洋科研实力	人均海洋科研经费 J7/(元/人)	0.0263	0.0402
海洋环境系统 Marine environment system	污染排放	海洋科研能力 J8(无量纲归一化值)	0.0307	0.0376	0.0342
		工业废水直排入海量 H1/(万 t)	0.0591	0.0402	0.0497
		化学需氧量排放总量 H2/(万 t)	0.0497	0.0477	0.0487
	污染治理	氨氮排放总量 H3/(万 t)	0.0473	0.0458	0.0465
		工业废水达标排放率 H4/%	0.0433	0.0387	0.0410
		工业废水处理能力 H5/(百万 t/台)	0.0397	0.0397	0.0397
		固体废弃物综合利用率 H6/%	0.0364	0.0394	0.0379
污染面积	海洋污染面积 H7/km <sup>2</sup>	0.0180	0.0399	0.0289	
环境投资	环保投资占 GDP 比重 H8/%	0.0364	0.0391	0.0378	
海洋资源系统 Marine resource system	海域、岸线资源	人均海岸线长度 Z1/(m/人)	0.0606	0.0473	0.0539
		人均海域面积 Z2/(m <sup>2</sup> /人)	0.0327	0.0408	0.0368
	渔业资源	单位养殖面积养殖产量 Z3/(万 t/hm <sup>2</sup> )	0.0354	0.0334	0.0344
		人均海水产品产量 Z4/(kg/人)	0.0260	0.0356	0.0308
		海水养殖面积 Z5/hm <sup>2</sup>	0.0281	0.0361	0.0321

续表

系统层 System layer	准则层 Criterion layer	指标层 Basic index layer	AHP (主观权重) Subjective weight	熵值法 (客观权重) Objective weight	综合权重 Combined weight
	货物吞吐	沿海港口货物吞吐量 Z6/(万标准箱)	0.0544	0.0434	0.0489
	矿产资源	人均海洋原油产量 Z7/(t/人)	0.0354	0.0387	0.0370
		人均海洋天然气产量 Z8/(m <sup>3</sup> /人)	0.0327	0.0365	0.0346
	盐业资源	人均海盐产量 Z9/(t/人)	0.0248	0.0428	0.0338

## 2.2 评价标准

科学的制定分级评价标准是承载力研究的关键。韦伯-费希纳定律(W-F)反映了心理量与物理量之间的数量关系,揭示了刺激量变化对于感知变化是由量变到质变的过程。引入 W-F 定律,根据式(1)、式(2)并参考孙才志<sup>[27]</sup>等人的研究,对中国海洋资源环境经济 25 个指标进行承载力评价分级,承载力分级评价标准如表 2。

表 2 海洋资源环境经济评价标准

Table 2 Evaluation criteria for marine resource environment and economy

子系统 Subsystem	指标代码 Code	指标类型 Efficacy	一级 (超高承载力) First lever	二级 (较高承载力) Second lever	三级 (中等承载力) Third lever	四级 (较低承载力) Forth lever	五级 (极低承载力) Fifth lever
海洋经济系统 Marine economic system	J1	正	>26	17.2—26	11.4—17.2	7.6—11.4	<7.6
	J2	正	>13.4	4.6—13.4	1.6—4.6	0.6—1.6	<0.6
	J3	正	>30000	20000—30000	12000—20000	8000—12000	<8000
	J4	正	>24	16—24	9—16	0—9	<0
	J5	正	54—64	47—54	41—47	36—41	31—36
	J6	负	36—41	41—47	47—53	53—61	61—69
	J7	正	>860	344—860	138—344	55—138	0—55
	J8	正	0.597—1	0.356—0.597	0.212—0.356	0.126—0.212	0—0.126
海洋环境系统 Marine environment system	H1	负	0—11	11—120	120—1250	1250—13350	>13350
	H2	负	9—17	17—31	31—57	57—105	105—199
	H3	负	0.76—1.4	1.4—2.7	2.7—5.4	5.4—10.7	10.7—23.1
	H4	正	90—100	81—90	73—81	65—73	<65
	H5	正	3.09—5.83	1.67—3.9	0.9—1.67	0.48—0.9	0—0.48
	H6	正	84—100	72—84	61—72	52—61	44—52
	H7	负	0—1	1—16	16—256	256—4092	>4092
	H8	正	>2.05	1.4—2.05	0.95—1.4	0.65—0.95	0.44—0.65
海洋资源系统 Marine resource system	Z1	正	0.302—0.816	0.122—0.302	0.049—0.122	0.02—0.049	0.008—0.02
	Z2	正	>18.3	3.3—18.3	0.6—3.3	0.11—0.6	0—0.11
	Z3	正	359—4920	26—359	2—26	0.14—2	0—0.14
	Z4	正	153—587	41—153	11—41	3—11	0—3
	Z5	正	>24000	609—24000	15—609	0.4—15	0—0.4
	Z6	正	1536—4753	519—1536	175—519	59—175	20—59
	Z7	正	1785—29612	108—1785	6.5—108	0.4—6.5	0—0.4
	Z8	正	71.73—528.77	9.62—71.73	1.3—9.62	0.17—1.3	0—0.17
	Z9	正	>680	60—680	5.3—60	0.5—5.3	0—0.5

根据表 2 评价标准,基于可变模糊识别模型的原理,其计算结果具有良好的表达性和可理解性,承载力特征值计算结果落在 1—5 之间,直接反映了承载力的大小,故此制定评价标准见表 3。

表 3 承载力特征值评价标准

Table 3 Carrying capacity characteristic value evaluation result

承载力特征值所属范围 The carrying capacity characteristic value	承载力评定标准 Standard for evaluation of carrying capacity	承载力特征值所属范围 The carrying capacity characteristic value	承载力评定标准 Standard for evaluation of carrying capacity
[1,1.5]	高承载力	(3,4)	较低承载力
(1.5,2.5)	较高承载力	[4,5]	低承载力
[2.5,3]	中等承载力		

### 3 结果与分析

#### 3.1 中国海洋资源环境经济系统承载力分析

##### 3.1.1 中国海洋复合系统承载力时空变化分析

将中国沿海 11 省市海洋资源环境经济指标体系数据(2006—2014 年)结合评价标准代入可变模糊识别式(3)、式(4),计算承载力特征值,计算结果如表 4、图 2。根据表 4 结果,中国海洋复合系统承载力的时序变化总体呈现先升后降再升的“N 型”波动上升规律。大体分为 3 个阶段:第一阶段(2006—2010 年)承载力由 2.873 上升到 2.657,年均上升率为 1.5%,该阶段处于中国海洋“十一五”规划阶段,海洋经济发展较快,海洋科研和环保投入明显增加、资源利用效率显著提高;第二阶段(2011—2012 年)承载力由 2.657 下降到 2.88,年均下降率为 4.2%,这一阶段正处于 2008 年国际金融危机的后效作用影响阶段,同时海洋自然灾害频发,海洋环境管理的松懈,海洋复合系统承载力有所下降;第三阶段(2013—2014 年)承载力由 2.88 上升到 2.703,年均上升率为 3.1%,国际金融危机后效作用影响逐渐减小以及海洋环境的不断恶化引起了有关部门的重视,开始加大对海洋环境的治理力度,使海洋复合系统承载力重新向良好方向转变。

表 4 中国海洋资源环境经济复合系统综合承载力特征值

Table 4 China's marine resource environment and economy composite system carrying capacity characteristic value

可变参数\年份 Variable parameter\Year	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
$\alpha = 1, \rho = 1$	2.878	2.791	2.803	2.782	2.684	2.818	2.868	2.750	2.724
$\alpha = 1, \rho = 2$	2.957	2.910	2.916	2.898	2.832	2.912	2.971	2.888	2.871
$\alpha = 2, \rho = 1$	2.752	2.599	2.619	2.609	2.451	2.627	2.758	2.535	2.491
$\alpha = 2, \rho = 2$	2.904	2.807	2.814	2.793	2.658	2.795	2.923	2.746	2.725
综合 Synthesis	2.873	2.777	2.788	2.770	2.657	2.788	2.880	2.730	2.703

由图 2 可以看出,中国海洋复合系统承载力的空间分异明显,呈北中南“三足鼎立”格局。北部天津、中部上海、南部海南 3 个地区海洋复合承载力特征值分别为 2.101、2.511、2.344,总体属于较高承载力水平;天津是中国北方最重要的港口城市,海上区位优势突出、海洋资源丰富;海南是中国重要的旅游地,且地广人稀,人均海洋资源占有量具有明显优势。河北和广西两地海洋复合承载力较低,承载力特征值分别为 3.240、3.263,河北海洋资源贫瘠、海洋生态环境恶化以及受周边地区“极化效应”的影响等;广西海洋经济占比低、结构不尽合理,同时海洋灾害频繁。其余各地区海洋复合系统承载力均属于中等承载力水平,且有着以上海为中心,南北两侧呈现对称状态的中等承载力分布规律。

除上海和海南地区以外,其余各地区承载力呈现波动中上升的趋势。2006 年中国海洋复合承载力水平较高、中等、较低的地区分别为 3 个、3 个、5 个;2010 年承载力中等水平地区由 3 个增加到 6 个,承载力水平较低的地区由 5 个减少到 2 个,江苏、浙江、福建 3 个地区承载力水平显著提升,由较低水平发展到中等水平;2014 年较高承载力、中等承载力、较低承载力的地区分别为 2 个、7 个、2 个。上海海洋复合承载力有明显下降,从较高承载力转变为中等承载力,外向型经济受国际经济变化影响较大,同时海洋资源人均占有量不足制

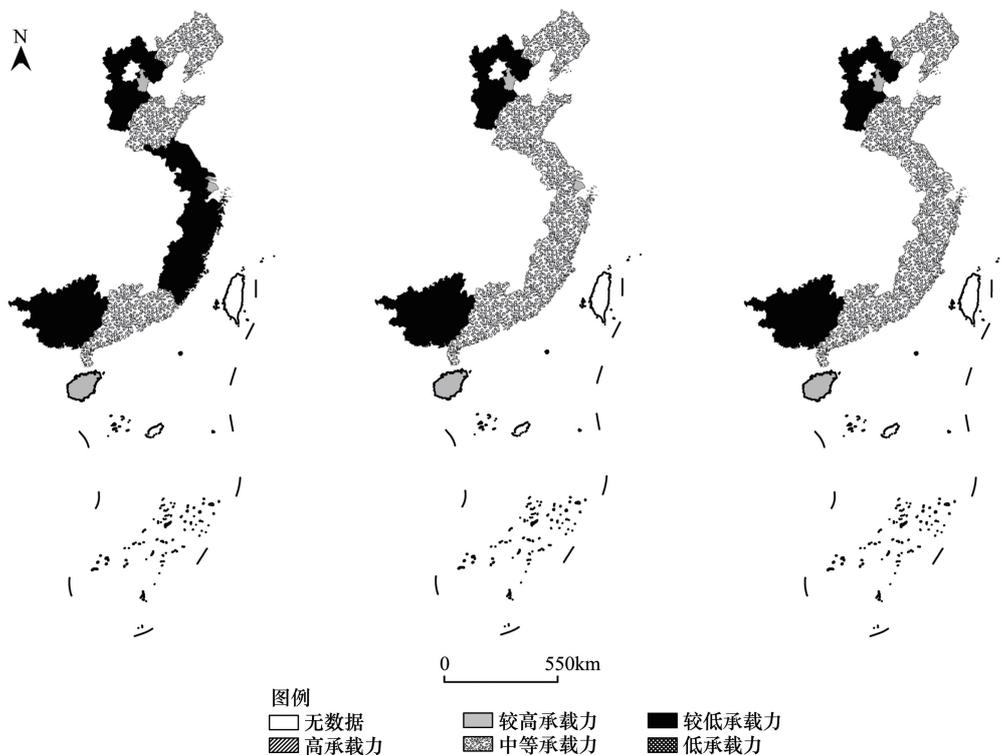


图 2 2006—2014 中国海洋资源环境经济复合系统承载力空间分布

Fig.2 Spatial distribution of carrying capacity of marine resource environment and economy of China from 2006 to 2014

约了海洋复合承载力;海南海洋复合承载力略有下降,海南海洋复合承载力水平起点较高,海洋经济发展主要依靠良好的海洋环境和丰富的海洋资源,近年来大量利用海洋资源来发展海洋经济,一定程度上释放了海洋资源潜能,同时也加剧了海洋环境污染,制约了其海洋资源环境经济复合系统承载力的提高。

### 3.1.2 中国海洋复合系统承载力分解分析

海洋经济系统、环境系统、资源系统是海洋复合系统的三个子系统,为深入探究中国海洋资源环境经济承载力的时空规律,对复合系统进行分解分析,结果如图 3、图 4、图 5。

#### (1) 海洋经济系统承载力分析

由图 3 可知,中国海洋经济系统承载力在 2006—2014 年的时序变化呈现波动中上升规律,海洋经济承载力由 3.14 上升到 2.49,这是中国大力发展海洋经济的结果;2011 年前后出现波动,受到 2008 年国际金融危机后效作用影响,海洋经济增长速度较上年放缓 2.5%,承载力由 2.69 下降到 2.74。空间上天津、上海、海南 3 个地区海洋经济承载力水平较高,承载力特征值分别为 1.94、1.59、1.86,这三个地区的海洋经济比重较大,占到了地区总 GDP 的 1/4 强,人均海洋 GDP 也是中国沿海地区的前三强;除河北、广西以外的大部分地区海洋经济承载力由较低水平发展到中等水平;河北和广西的海洋经济承载力处于较低水平,其特征值分别为 3.79 和 4.05,主要原因是两地忽视海洋经济发展,两地的海洋 GDP 仅占到 5.7% 和 5.2%,人均海洋 GDP、海洋科研实力也处于沿海地区的后两位。

#### (2) 海洋环境系统承载力分析

由图 4 可知中国海洋环境承载力呈“倒 U 型”变化规律,2006—2011 年海洋环境承载力特征值由 2.52 升到 1.83,2006—2010 是中国海洋“十一五”规划阶段,海洋环境建设取得初步成效。但自 2011 年以后,海洋环境有恶化趋势,承载力由 1.83 下降到 2.78,可能是由于新一轮海洋“十二五”规划加快了海洋经济发展,新的海洋经济发展带来了新的海洋环境恶化。空间上天津、海南两地的环境承载力较高,平均值分别为 1.87 和 1.94,天津环境治理力度较大,污染物排放总量较少,海南初期发展重点是污染较少的第一、三产业;广西、江苏、

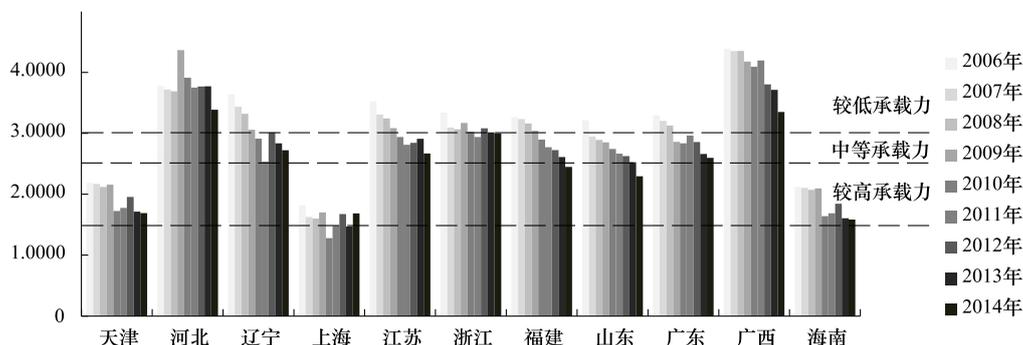


图3 中国沿海 11 省市海洋经济系统承载力动态变化(2006—2014 年)

Fig.3 Dynamic change of carrying capacities of marine economy system in 11 provinces of China (from 2006 to 2014)

辽宁 3 地区海洋环境承载力处于中国沿海地区的后三位,平均值分别为 2.84、2.66 和 2.65,均属于中等承载力水平,主要原因是海洋污染物排放较多,同时海洋环保投资也较低,多年平均值仅有 1%左右。

### (3) 海洋资源系统承载力分析

由图 5 可知中国海洋资源系统承载力特征值在 2.36—2.48 之间,基本上处于较高承载力,主要分为 2 个阶段:第一阶段(2006—2011 年)承载力特征值由 2.48 上升到 2.36,主要原因是海洋经济在宏观政策的指导下向着集约化的方向发展,资源利用效率显著提高,人均海洋原油、天然气占有量由 0.13t/人、24m<sup>3</sup>/人分别上升到 0.26t/人和 26m<sup>3</sup>/人;第二阶段(2011—2014 年)海洋资源系统承载力略有下降,原因是新一轮海洋经济发展加大了对海洋资源的消耗量,但是在科学发展观指导下,总体上海洋资源系统承载力还在可控范围之内。海洋资源承载力较高的地区是山东(2.2)和辽宁(2.29),总体来看两地区无论是资源总量还是人均占有量都具有优势;而天津、上海、广东三个地区的海洋资源承载力较低,平均值分别为 2.71、2.8、2.5,均属于中等承载力水平,人均海域面积、人均海岸线长度不到全国平均水平的 10%,人均海洋资源不足限制了海洋资源承载力的发展。

### 3.2 中国海洋资源环境经济系统承载力协调性分析

中国海洋资源环境经济承载力特征值的变化反映了承载力的时空变化趋势,其最终目的是指导中国海洋资源环境经济复合系统可持续发展,但海洋资源环境经济承载力水平的提高既可能是三个子系统间协调稳步的提高,又可能是单或双子系统承载力的提高牵引复合系统承载力的提高,因此需要深入探究中国海洋复合系统承载力协调发展情况,全面而深入地探索中国海洋资源环境经济承载力发展规律。

#### 3.2.1 海洋资源环境经济承载力协调度时空分布规律分析

将海洋资源环境经济三个系统的承载力数据代入式(5),利用 ArcGIS 空间自然断裂法对协调度进行分级计算,自然断裂法根据数据固有特点,对数据相似程度进行判断,在差异性较大处进行间断,尽可能体现数据内容,结果如图 6:

(1) 总体上好转,且有向北移动的趋势。2016—2014 年期间,中国海洋复合系统承载力协调情况有所好

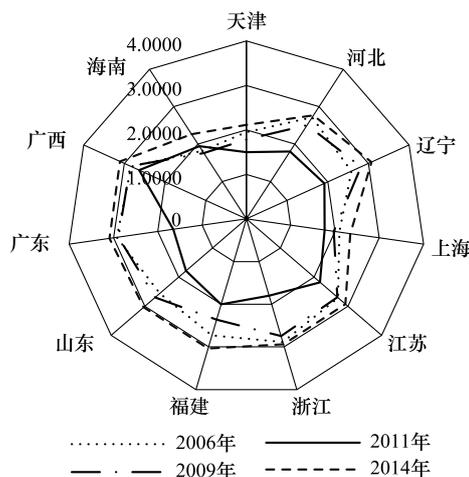


图4 中国沿海 11 省市海洋环境系统承载力动态变化(2006—2014 年)

Fig.4 Dynamic change of carrying capacities of marine environment system in 11 provinces of China (from 2006 to 2014)

转,协调度由 0.986 上升到 0.989,体现了海洋子系统间有协调发展的趋势。极高协调地区由 2 个上升到 3 个,较高协调地区在 2010 年前后由 2 个上升到 3 个,较低协调地区由 3 个下降到 2 个。通过对海洋子系统承载力进行研究发 现,海洋经济子系统承载力一直呈现上升趋势;而资源子系统的变化较小,状态平稳;2006 年的渤海环境保护总体规划、2010 年关于印发《十二五近岸海域污染防治规划编制工作方案》等环保措施相继出台,一定程度上改善了海洋环境,多数地区的直排入海量有所减少、废弃物处理率和环保投资总额有所增加,提高了海洋环境的承载能力,缩小了与海洋经济承载力转好态势之间的变化差距,从而实现了海洋资源环境经济三系统承载力的协调稳步上升。同时协调地区呈现由海南向广东福建再向浙江江苏的北移趋势。

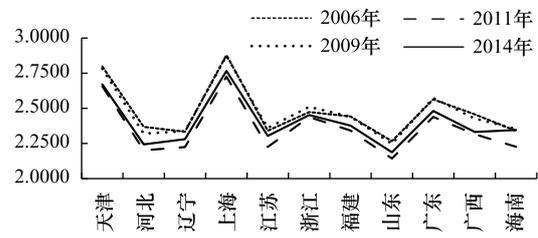


图 5 中国沿海 11 省市海洋资源系统承载力动态变化 (2006—2014 年)

Fig.5 Dynamic change of carrying capacities of marine resource system in 11 provinces of China (from 2006 to 2014)

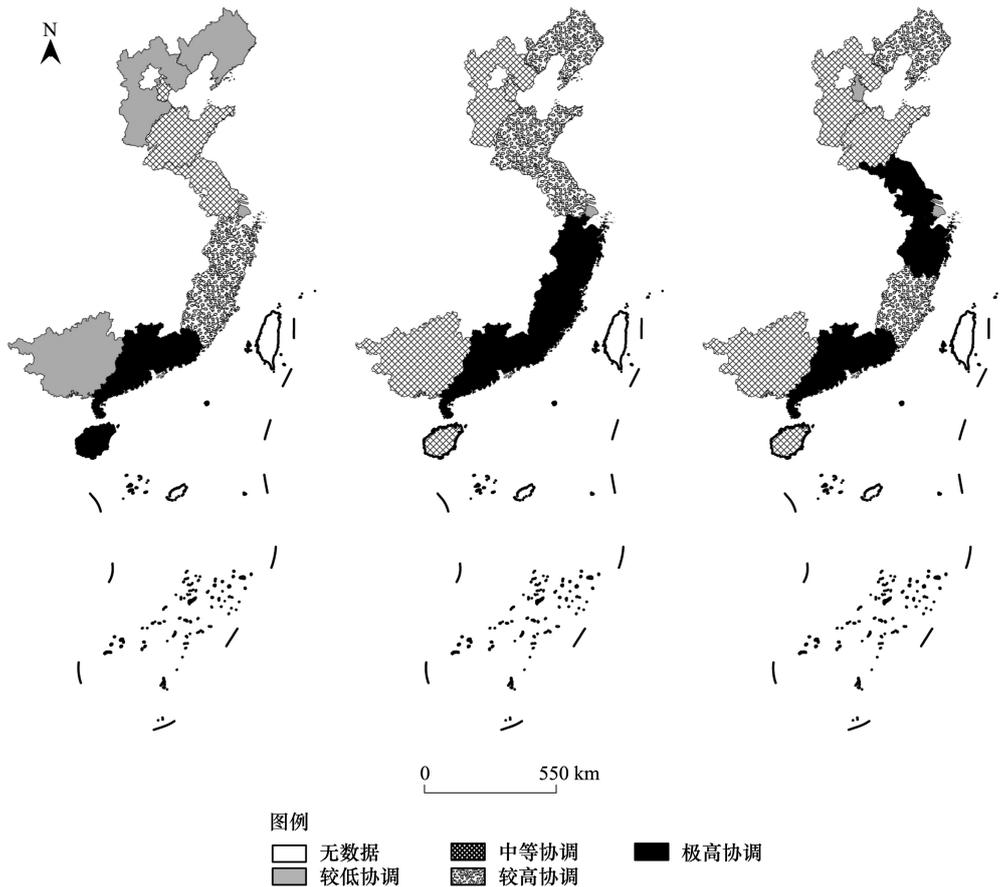


图 6 2006—2014 年中国海洋资源环境经济系统承载力协调性时空分布

Fig.6 Spatial and temporal distribution of carrying capacity coordination of marine resource environment and economy system in China from 2006 to 2014

(2)空间差异明显,协调度相近的省份有一定的聚集现象。中国海洋复合系统承载力协调度在空间上呈现较大差距,总体上南方地区协调性优于北方地区,主要原因是北方地区和南方地区海洋产业结构存在较大不同,北方地区相比于南方地区海洋第二产业比重很大,有些地区甚至超过海洋第一产业与第三产业之和(如天津的海洋三次产业的比例为 1:65:34,河北的海洋三次产业比例为 3:50:47);而南方地区的海洋二、三产

业比重与北方地区正好相反。结果还显示协调度相近的省份具有一定的集聚性,由北至南,分别是:较低协调型(辽宁—河北)、中等协调型(天津—山东—江苏)、较高协调型(浙江—福建)、高度协调型(广东—海南)。

### 3.2.2 海洋资源环境经济系统承载力协调发展度分析

协调度的高低不能完全反映一个地区的发展情况,因此引入协调发展度,将海洋资源环境经济三系统的承载力以及三系统协调度计算结果代入式(6),得到中国海洋各地区资源环境经济复合系统协调发展度,计算结果如表5:

表5 中国海洋资源环境经济协调发展度计算结果

Table 5 The result of coordinated development degree of marine resource environment and economy in China

年份\地区 Year\Region	天津	河北	辽宁	上海	江苏	浙江	福建	山东	广东	广西	海南
2006	0.4212	0.3193	0.3315	0.4171	0.3350	0.3372	0.3479	0.3616	0.3362	0.2821	0.4701
2007	0.4325	0.3321	0.3326	0.4315	0.3513	0.3631	0.3709	0.3852	0.3551	0.2885	0.4807
2008	0.4320	0.3314	0.3392	0.4205	0.3575	0.3777	0.3707	0.4001	0.3628	0.2839	0.4726
2009	0.4278	0.2880	0.3586	0.4249	0.3624	0.3512	0.3751	0.3790	0.3589	0.2928	0.4730
2010	0.4461	0.3201	0.3798	0.4253	0.3801	0.3628	0.3848	0.3928	0.3874	0.2999	0.5283
2011	0.4668	0.3334	0.4408	0.4538	0.4074	0.3938	0.4104	0.4369	0.3907	0.2962	0.5023
2012	0.4341	0.3196	0.3807	0.3910	0.3630	0.3479	0.3617	0.3876	0.3731	0.3040	0.4387
2013	0.4589	0.3263	0.3824	0.4219	0.3752	0.3584	0.3897	0.4272	0.3943	0.3189	0.4749
2014	0.4401	0.3423	0.3633	0.4147	0.3744	0.3533	0.3745	0.3863	0.3622	0.3296	0.4631

从表5中可以看出,中国海洋资源环境经济复合系统协调发展程度大致分为四个梯队:第一梯队:以“海南、天津、上海”3个地区为代表的协调发展程度较高地区,其协调发展度均超过了0.4,这3个地区的海洋复合系统承载力也是沿海地区的前三位;第二梯队:以“山东、福建、江苏”3个地区为代表,协调发展度在0.37—0.39之间,这些地区协调发展度也上升的最快,年均上升1.31%;第三梯队:以“辽宁、广东、浙江”3个地区为代表,协调发展度在0.35—0.37之间;第四梯队:以“河北、广西”两个地区为代表,协调发展度在0.32—0.35之间,两地无论是协调度还是复合系统承载力的发展情况都不容乐观。

### 3.3 中国海洋资源环境经济系统承载力驱动因素分析

本文利用灰色关联模型定量测算承载力驱动因素,限于篇幅及方法较成熟不再做详细介绍,将海洋复合系统25个指标代入公式计算出关联度最大的9个因素,结果如表6:

表6 指标体系下与海洋复合系统承载力关联度排名前九位指标

Table 6 Key factors of carrying capacity of marine resource environment and economy system

地区\系统 Region\System	海洋经济系统(0.725) Marine economic system			海洋环境系统(0.579) Marine environment system			海洋资源系统(0.866) Marine resource system		
天津	J1(0.783)	J6(0.769)	J8(0.728)	H6(0.776)	H4(0.735)	H8(0.558)	Z3(0.657)	Z6(0.597)	Z1(0.569)
河北	J6(0.855)	J5(0.897)	J8(0.851)	H4(0.900)	H5(0.774)	H6(0.759)	Z1(0.913)	Z6(0.912)	Z4(0.827)
辽宁	J1(0.822)	J5(0.763)	J6(0.736)	H4(0.855)	H1(0.769)	H6(0.686)	Z1(0.900)	Z4(0.709)	Z6(0.697)
上海	J8(0.918)	J5(0.917)	J6(0.892)	H6(0.952)	H4(0.928)	H2(0.913)	Z2(0.866)	Z9(0.824)	Z8(0.802)
江苏	J5(0.904)	J6(0.882)	J1(0.856)	H6(0.931)	H8(0.916)	H4(0.832)	Z6(0.948)	Z7(0.948)	Z8(0.948)
浙江	J5(0.822)	J8(0.768)	J6(0.731)	H6(0.873)	H4(0.751)	H5(0.613)	Z6(0.727)	Z7(0.727)	Z8(0.727)
福建	J5(0.940)	J1(0.863)	J6(0.833)	H6(0.850)	H4(0.821)	H5(0.734)	Z3(0.849)	Z7(0.840)	Z8(0.840)
山东	J5(0.905)	J1(0.879)	J6(0.863)	H8(0.892)	H6(0.881)	H4(0.880)	Z3(0.868)	Z6(0.860)	Z1(0.850)
广东	J5(0.900)	J6(0.877)	J1(0.875)	H6(0.909)	H4(0.889)	H5(0.688)	Z5(0.867)	Z4(0.812)	Z3(0.812)
广西	J5(0.926)	J1(0.895)	J8(0.642)	H8(0.801)	H6(0.792)	H4(0.778)	Z1(0.934)	Z6(0.934)	Z7(0.934)
海南	J5(0.922)	J1(0.886)	J4(0.816)	H4(0.887)	H6(0.871)	H5(0.758)	Z5(0.812)	Z6(0.822)	Z7(0.822)

括号外表示影响因素代码(见表1指标层),括号内关联系数表示关联程度

天津海洋复合承载力较高的驱动因素是海洋GDP比重大(1/3强)、海洋科研实力强、海洋污染排放较

少、港口货物吞吐量较大等,但较高的第二产业比重(63%)、人均海岸线资源匮乏(仅全国人均的10%左右)阻碍了天津的良性发展,因此应该继续发挥海洋经济规模优势,并借鉴山东“蓝色海洋”和上海发展经验,发展如海洋生物医药、海洋信息服务业等新型海洋产业,促进产业结构优化升级;

河北海洋复合承载力较低的主要原因是海洋资源不足、二三次产业比重过高,应扬长避短,调整海洋产业结构,避免产业趋同,寻找和发展有特色的产业。辽宁废弃物排放多降低了海洋复合承载力,政府应加强对污水处理的监管力度;人均海洋资源不足、海洋第二产业比重过高、产业单一,也影响了海洋复合承载力,应注意优化产业结构,健全产业体系。

上海海洋复合承载力较高的原因是海洋经济规模大、海洋科研实力强、海洋环境治理较好,但要注意到产业结构单一、人均海洋自然资源不足等,应继续发挥海洋经济优势,多方位发展海洋产业以提高抵抗海洋经济风险的能力;江苏、福建、广西人均海洋资源量不足,发展海洋经济时也应该扬长避短,结合本地的区位优势,避免产业趋同,发展相对优势产业;

阻碍浙江和广东两地海洋复合系统承载力良性发展的原因是海洋产业重心偏向第二产业,加重了海洋资源环境的负担,应引导产业结构向“三二一”结构转变;山东海洋复合系统承载力近年来提升速度较快,继续发挥海洋优势,保持多元化和对外交流,打造本土品牌走向世界;海南海洋复合系统承载力虽然水平较高,但发展趋势并不乐观,以旅游业为主的单一第三产业比重近60%不利于抵抗外部经济的风险,应加强自身的经济结构稳定性,合理范围内发展多元经济,避免只发展片面的几种产业。

## 4 结论与对策建议

### 4.1 结论

海洋复合系统可持续发展是合理开发海洋所必须遵循的,可变模糊识别搭配四种可变参数模型相比于其他方法对于非线性复杂的海洋系统具有良好的可识别性和稳定性,为研究海洋系统提供了技术支持;复合系统承载力应遵循协调发展而不是单一系统片面发展,通过协调发展模型对承载力进行协调度和协调发展度测算推动了承载力向更深层面发展。

研究表明:(1)中国海洋资源环境经济复合系统承载力总体向着良好态势发展,承载力由2.87上升到2.7;但区域间差异性较大,呈现“南北中”较高承载力的三足鼎立格局;经济、资源、环境子系统承载力的总体变化趋势分别为上升、“倒型U”、上升;(2)中国海洋复合系统承载力协调性和协调发展度总体上也呈现上升趋势,空间上协调性和协调发展较好的地区分别为海南、山东、福建和海南、上海、天津;从复合系统承载力和协调性的匹配来看,复合系统承载力较高的地区,子系统间承载力的发展并不协调,表明了综合承载力的发展是由单一子系统发展所牵引;(3)对复合系统承载力变化的影响因素进行分析,发现中国各地区的海洋资源环境经济承载力的影响因素存在不同,大体上经济规模与经济结构、海洋科研实力、海洋环境治理、海洋资源禀赋等因素是阻碍海洋复合系统承载力发展的主要影响因素。

### 4.2 对策建议

天津、河北、江苏、浙江、广东等地应积极调整海洋产业结构,降低重污染高耗能产业比重,发展海洋新能源产业、海洋生物医药业等第三产业,促进产业结构向“三二一”结构转变;上海应引导海洋经济建设向多元化方向发展,继续培育海洋金融服务业、信息服务业、海洋文化创意产业等以抵抗外部经济风险;河北、福建、广西、海南应借鉴山东海洋科技发展经验,合作建设海洋科技产业园,努力提高海洋科研实力;辽宁、福建应加强海洋环境保护与治理,借鉴山东“蓝色海洋”发展经验,建设海洋生态园,加大环保投资;天津、上海、江苏、福建、广西应通过提高海洋资源利用效率,立体利用海洋资源,发展海洋集约产业,发展如海水淡化业、海洋新能源业等海洋新兴产业解决人均海洋资源不足的问题。

致谢:感谢指导老师—辽宁师范大学海洋经济与可持续发展研究中心的盖美老师在论文构思、格式、后期修改

等方面给予的悉心指导;感谢师姐展亚荣耐心讲解可变模糊识别模型的原理;感谢满谦宁和谢永顺同学对 ArcGIS 制图后期完善的指导;感谢编辑部老师和论文评阅专家老师们对我论文格式规范、写作技巧以及逻辑性、严谨性论证的指导。

#### 参考文献 (References):

- [ 1 ] Maltus T R. An Essay on the Principle of Population. London: Pickering, 1798: 7-10.
- [ 2 ] Verhulst P F. Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement. Correspondance mathematique et physique publiee par A. Quetelet, 1838, 10: 113-121.
- [ 3 ] Meadows D H, Meadows D L, Randers J, Behrens III W W. The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind. New York: Universe Books, 1972: 15-18.
- [ 4 ] 张林波, 李文华, 刘孝富, 王维. 承载力理论的起源、发展与展望. 生态学报, 2009, 29(2): 878-888.
- [ 5 ] 张红, 张毅, 张洋, 周鹏. 基于修正层次分析法模型的海岛城市土地综合承载力水平评价——以舟山市为例. 中国软科学, 2017(1): 150-160.
- [ 6 ] 郭倩, 汪嘉杨, 张碧. 基于 DPSIRM 框架的区域水资源承载力综合评价. 自然资源学报, 2017, 32(3): 484-493.
- [ 7 ] 赵宏波, 马延吉, 苗长虹. 基于熵值-突变级数法的国家战略经济区环境承载力综合评价及障碍因子——以长吉图开发开放先导区为例. 地理科学, 2015, 35(12): 1525-1532.
- [ 8 ] 金悦, 陆兆华, 檀菲菲, 张萌, 张红玉. 典型资源型城市生态承载力评价——以唐山市为例. 生态学报, 2015, 35(14): 4852-4859.
- [ 9 ] 张引, 杨庆媛, 闵婕. 重庆市新型城镇化质量与生态环境承载力耦合分析. 地理学报, 2016, 71(5): 817-828.
- [ 10 ] 许明军, 杨子生. 西南山区资源环境承载力评价及协调发展分析——以云南省德宏州为例. 自然资源学报, 2016, 31(10): 1726-1738.
- [ 11 ] 纪学朋, 白永平, 杜海波, 王军邦, 周亮. 甘肃省生态承载力空间定量评价及耦合协调性. 生态学报, 2017, 37(17): 5861-5870.
- [ 12 ] 苏盼盼, 叶属峰, 过仲阳, 宋韬. 基于 AD-AS 模型的海岸带生态系统综合承载力评估——以舟山海岸带为例. 生态学报, 2014, 34(3): 718-726.
- [ 13 ] 狄乾斌, 张洁, 吴佳璐. 基于生态系统健康的辽宁省海洋生态承载力评价. 自然资源学报, 2014, 29(2): 256-264.
- [ 14 ] 高吉喜. 可持续发展理论探索——生态承载力理论、方法与应用. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 3-10.
- [ 15 ] 张燕, 徐建华, 曾刚, 胡青. 中国区域发展潜力与资源环境承载力的空间关系分析. 资源科学, 2009, 31(8): 1328-1334.
- [ 16 ] 狄乾斌, 韩帅帅. 城市经济承载力的综合评价及其时空差异研究——以中国 15 个副省级城市为例. 经济地理, 2015, 35(9): 57-64.
- [ 17 ] 毛汉英, 余丹林. 环渤海地区区域承载力研究. 地理学报, 2001, 56(3): 363-371.
- [ 18 ] 许冬兰, 李玉强. 基于状态空间法的海洋生态环境承载力评价. 统计与决策, 2013, (18): 58-60.
- [ 19 ] 魏超, 叶属峰, 过仲阳等. 海岸带区域综合承载力评估指标体系的构建与应用——以南通市为例. 生态学报, 2013, 33(18): 5893-5904.
- [ 20 ] 狄乾斌, 吴佳璐, 张洁. 基于生物免疫学理论的海域生态承载力综合测度研究——以辽宁省为例. 资源科学, 2013, 35(1): 21-29.
- [ 21 ] 刘锦怡, 陈斯典, 江天久. 海洋生态环境承载力研究——以深圳东部海域为例. 海洋环境科学, 2017, 36(4): 560-565.
- [ 22 ] 屈小娥. 陕西省水资源承载力综合评价研究. 干旱区资源与环境, 2017, 31(2): 91-97.
- [ 23 ] 韩帅帅, 狄乾斌. 城市经济承载力量化方法探讨——以大连市为例. 国土与自然资源研究, 2014, (4): 32-35.
- [ 24 ] 臧正, 郑德凤, 孙才志. 区域资源承载力与资源负荷的动态测度方法初探——基于辽宁省水资源评价的实证. 资源科学, 2015, 37(1): 52-60.
- [ 25 ] Kuznets S. Economic growth and income equality. The American Economic Review, 1955, 45(1): 1-28.
- [ 26 ] Grossman G M, Krueger A B. Economic growth and the environment. The Quarterly Journal of Economics, 1995, 110(2): 357-377.
- [ 27 ] 孙才志, 于广华, 王泽宇, 刘锴, 刘桂春. 环渤海地区海域承载力测度与时空分异分析. 地理科学, 2014, 34(5): 513-521.
- [ 28 ] 陈守煜. 可变模糊集合理论与可变模型集. 数学的实践与认识, 2008, 38(18): 146-153.
- [ 29 ] 周成, 冯学钢, 唐睿. 区域经济—生态环境—旅游产业耦合协调发展分析与预测——以长江经济带沿线各省市为例. 经济地理, 2016, 36(3): 186-193.