

海洋资源环境承载力评价研究进展

赖敏¹ 蒋金龙¹ 欧阳玉蓉¹ 谢敏² 吴耀建¹¹

(1. 自然资源部第三海洋研究所, 福建 厦门 361005;

2. 自然资源部信息中心, 北京 100812)

【摘要】: 我国海洋经济的高速增长导致近岸海洋资源趋紧、海洋环境污染加剧, 引起了社会各界对海洋资源环境过载问题的高度关注。近年来, 海洋资源环境承载力评价研究取得了诸多进展, 体现在: (1) 对海洋资源环境承载力的概念及内涵有了更加深刻的理解; (2) 推动了海洋资源环境单要素承载力和综合承载力评价方法研究; (3) 海洋资源环境承载力评价研究的综合应用。通过总结发现, 当前海洋资源环境承载力评价对象比较局限, 反映承载体与承载对象之间动态关系的评价方法还较为薄弱。因此, 在陆海统筹目标下的资源环境承载力综合集成评价需求下, 海洋分类评价研究的当务之急是建立基于多要素的海洋资源环境承载力评价技术框架。

【关键词】: 海洋资源承载力 海洋环境承载力 资源环境承载力

【中图分类号】: X171.1; X321 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1671-4407(2021)01-164-08

海洋自古以来就是人类生存和发展的基本环境, 也是世界主要沿海国家拓展经济和社会空间的重要载体^[1]。我国海洋资源潜力巨大, 随着陆域资源的不断消耗和人们对物质需求的日益提高, 合理开发利用海洋资源、推动海洋经济发展已逐渐成为我国当前缓解人口、资源与环境压力的战略方向。近期我国海洋经济一直保持高速增长, 然而海岸滩涂过度开发、围填海规模过大、浅海生物资源减少、近岸海水水质恶化等负面效应在各地区却普遍存在, 引起了学者们和决策者对海洋资源环境过载问题的高度关注。2013年11月, 党的十八届三中全会明确将“建立资源环境承载能力监测预警机制, 对水土资源、环境容量和海洋资源超载区域实行限制性措施”作为中央全面深化改革的一项重大任务。2016年国家发改委、国家海洋局等13部委联合印发《资源环境承载能力监测预警技术方法(试行)》, 将海域评价纳入资源环境承载能力监测预警技术方法体系中。2019年5月, 国务院发布《关于建立国土空间规划体系并监督实施的若干意见》, 要求在“双评价”的基础上, 科学有序统筹布局功能空间、划定空间管控边界以及各类海域保护线。同年7月, 自然资源部发布《资源环境承载能力和国土空间开发适宜性评价技术指南(试行)》, 提出了海岸防护重要性和海岸侵蚀敏感性评价方法, 为国土空间规划编制工作提供技术指导。国家一系列的战略决策、方法指南以及规划编制凸显对海洋资源环境承载力评价工作的重视和迫切需求。与之相适应, 学术界在海洋资源环境承载力基本理论、评价指标体系、量化方法等诸多方面也开展了大量研究, 积极对海洋资源优化配置和海洋生态环境保护发挥科学支撑作用。本文通过广泛文献调研, 在总结提出基本概念及内涵的基础上, 分别从承载规模测算与承载状态评价方法、单要素承载力与综合承载力评价以及应用实践等角度讨论了海洋资源环境承载力研究现状及研究重点, 为国内更深入地开展相关研究提供参考和借鉴。

1 海洋资源环境承载力的概念及内涵

作者简介: 赖敏, 博士, 助理研究员, 研究方向为海岸带资源保护与可持续利用。E-mail: laiimin@tio.org.cn

吴耀建, 教授级高级工程师, 研究方向为海洋空间规划。E-mail: xmwyj@tio.org.cn

基金项目: 国家重点研发计划项目“海洋资源资产负债表编制与海洋资源环境承载力评价技术与应用”(2016YFC0503503); 自然资源部第三海洋研究所基本科研业务费专项资金“基于福祉视角的海洋自然保护区生态补偿研究——以广西山口国家级红树林生态自然保护区为例”(海三科2016032); 自然资源部海洋预警监测司2019年海洋生态预警监测项目

学界鲜有海洋资源环境承载力的直接定义,与其含义比较接近的是海域承载力。国外海域承载力的概念最早出现于水产品养殖领域,它是指特定海域生物物理环境下所能承载的养殖强度与规模,相关研究方向大都集中于海洋鱼类、贝类等资源的承载力及可持续阈值^[2-6]。国内2004年狄乾斌等^[7]首次提出了海域承载力的概念,它被认作是一种特定的区域承载力范畴,关注对象为特定海域内的海洋资源、生态环境对人口、海洋经济的支撑能力以及海上和陆源污染物的承载能力^[8]。随着资源约束趋紧、环境污染严重、生态系统退化问题日趋严峻,众多学者纷纷在海洋生态承载力^[9-11]、海岸带综合承载力^[12-13]、海岸带环境承载力^[14-15]、海域环境承载力^[16]等领域做了延伸探讨与实证研究^[17],从而对海洋资源环境承载力的载体(海洋资源环境系统)、承载对象(涉海的各种社会经济活动)和外部环境(管理调控行为)之间的关系有了更加丰富、深刻的理解^[18]。综观已有研究成果,早期的概念要么关注于特定海域范围的资源供给能力和环境容量,忽略了海岸空间资源对沿海经济社会发展的支撑作用,要么注重于海陆交汇带资源环境综合考量,弱化了海洋资源环境子系统的承压贡献和承压阈值。近期的概念及内涵虽然突出了海洋资源环境子系统在“资源—生态环境—社会经济”耦合系统中与外部环境的相互关联、相互影响,但对载体、承载对象的表达有待量化。鉴于此,本文在前人研究的基础上,将海洋资源环境承载力定义为:一定时期和一定的社会经济发展水平下,以海洋资源环境可持续利用为原则,一定区域的海洋资源环境条件在该区域范围内所能支撑的最大人口数量与经济规模。它包括两层基本含义:一是海洋资源环境子系统的供给能力,即海洋资源承载力和海洋环境承载力的大小,此为海洋资源环境承载力的承压部分;二是人海经济子系统的发展能力,即海洋所能维持的具有一定生活水平的人口数量和经济规模,此为海洋资源环境承载力的压力部分。

2 海洋资源环境承载力评价方法进展

2.1 单要素总量测算方法

2.1.1 海洋渔业资源量估算

海洋生物资源和海洋空间资源是对人类发展起到主要限制性作用的海洋资源。就海洋生物资源承载力评价而言,其首要任务是估算海洋渔业资源量。测算途径主要有两大方面:一种是根据渔业统计资料进行估算,例如利用 Logistic 模型、剩余产量模型等计算资源量与最大可持续产量。Logistic 数学公式由比利时数学家 Verhulst 于 1838 年首次用于描述一定种群生物量的增长趋势,此后被 Graham^[19]推广至渔业科学,用以表达一定环境条件下单种群渔业资源的负载容量。1954 年美国生物学家 Schaefer 根据海渔资源的生物特征及生态特性创立了其种群的基本模型,即 Schaefer^[20]剩余产量模型,后为很多学者采用和改进。剩余产量模型(surplus production model)又称总产量模型,它把资源群体的补充、生长和自然死亡综合起来作为资源群体大小的一个单变函数进行分析^[21],数据要求仅需要年总渔获量和捕捞努力量(或单位补充量渔获量),特别适合对不易鉴别渔获物年龄或不易区分渔获物组成的渔业资源进行评估^[22],但主要针对海洋捕捞分析。目前常用的 Walters-Hilborn(W-H 模型)^[23]、Schnute 模型^[24-25]、D-Fox 模型^[26]和 I-Fox 模型^[27]均源自 Logistic 模型变形而来的 Schaefer 剩余产量模型^[28]。

海洋渔业资源量的另一种测算途径是根据调查资料进行估算,例如扫海面积法、标志放流法、初级生产力法等。扫海面积法是目前国际上普遍采用的资源量评估方法,适用于资源大面调查结果的资源量评估。它根据拖网单位时间的扫海面积和单位时间拖网渔获量来估算单位面积内某种渔业资源的绝对数量^[29-30]。标志放流法即用各种标记法对鱼进行标志后放入水中,然后根据重捕结果估算群体的数量^[31]。初级生产力法是根据生态系统能量流动原理,估算某一种群(或群体、物种)在一定时间内产生的生命物质质量。常用的初级生产力模型包括营养动态模型^[32]、Cushing 模型^[33]以及 Tait 模型等^[34-35]。

2.1.2 海洋环境容量估算

不少研究认为环境承载力等同于环境容量,即区域环境系统的纳污能力^[36],因此海洋环境容量核算成为海洋环境承载力评价的重要组成。近年来,国内外学者不断开发和改进海洋环境容量的测算方法,比较主流的有标准自净容量法、水动力交换法、分担率法、最优化法等。标准自净容量法又被称为均匀混合法,它将目标海域海水视为一个污染物混合均匀的箱式水体,海洋环境容量在数值上等于污染物标准自净容量与标准蓄存量之和。标准自净容量法的优点在于计算方法简单,但它只适用于面积不大、

混合比较均匀的海湾水域,不适用于面积较大、潮流作用较强的海洋水体,也无法计算体现单一污染源的污染物分配容量^[37]。水动力交换法可以被看作是标准自净容量法的简化方法,主要针对海域面积小、水动力运输能力强的情况。该方法计算方便、便于操作,但因考虑因素过于简单,实际应用的结果往往存在较大误差^[38]。分担率法是在污染源调查和水质监测基础上,采用数值模拟方法,求得各个点源的响应系数场和分担率场,进而根据水质目标及现状浓度求得主要污染源和控制单元入海污染物的环境容量。分担率法具有容易理解、应用简便等优点,浓度场模拟不需太长时间且对所有排放源资料掌握全面,就能够得到比较稳定的响应系数场和比较准确的分担率场,但它忽略了在一定的排污布局下排污量可以在各污染源间合理分配的情况^[39]。最优化法则是将海洋环境容量计算归纳为线性规划问题,一方面要求目标海域各水质控制点海水满足一定等级的国家海水水质标准要求,另一方面要求通过优化各污染源的入海负荷分配率使各污染源允许的入海负荷之和达到最大^[40-41]。最优化法在数学上能够得到各个污染源允许排海通量之和的极大值,但在求解过程中有时会得到某些排污口的允许排放量为零的情况,而现实又不可能把现存排污口完全关闭,因此需要从经济发展、生活需求等角度对各污染源的排放量限制进行改进^[42]。

2.2 承载状态评价方法

2.2.1 状态空间法

状态空间法是欧式几何空间用于定量描述系统状态的一种有效方法,通常由表示系统各要素状态向量的三维状态空间轴组成^[43]。在人海资源环境系统表达中,处于理想状态的承载状态点即海洋资源环境承载力在状态空间中的位置,表示在现有经济技术条件和人类认识水平前提下,以可持续发展为准则,海洋资源环境所能支持的人类社会经济活动的量。由于现实的海洋资源环境承载状况同状态空间中理想的海洋资源环境承载力并不完全吻合,现实的海洋资源环境承载状况与理想的海洋资源环境承载力往往会产生一定的偏差。状态空间法能够较准确地判断某区域某时间段的资源环境承载力状态,但定量计算过程较为复杂,构建承载力曲面较为困难,且对于标准状态的确定方式较为主观^[44]。

2.2.2 供需分析法

资源环境承载状态的另一种表达方式是利用资源环境的供需状况来反映其承载水平,定量方法主要生态足迹法、AD-AS 模型和差量法。生态足迹指在特定的人口数量和特定的物质消费水平下,提供资源消费并吸收废弃物所需的生产性(承载性)陆地和水域面积^[45]。陆域生态足迹在计算中被折算成生态生产性土地面积和水域面积的总和,海域生态足迹在计算中被折算成为生物生产性海域面积^[46]。该方法能很好地展现全球生态环境承载力、国家或地区自然资源负债情况以及比较不同人群的生态消耗,但对于涉及跨区占用的情况,它无法反映本地生态环境的承载状态^[47]。AD-AS 模型(即总供给—总需求模型)是凯恩斯主流派—新古典综合派用于分析国民收入决定的一个工具^[48]。结合这一模型对海洋资源环境系统的供给量与人类对海洋资源环境系统的需求量进行分析,可计算得到海洋资源环境的承载力水平^[49]。差量法是根据区域社会经济对各种资源需求量之间的差量关系和该地区现有环境质量与当前人类所需环境质量之间的差量关系来衡量区域资源环境承载力^[50]。该方法简便易行,但忽略了各要素间的相互影响以及社会进步和人类生活水平等因素对承载力的影响。

2.2.3 指数评价法

指数评价法指选取反映区域经济、社会、资源环境、生态状况的关键指标,根据指标间的相互关联和重要程度,建立区域复合系统层次结构的指标体系,并在统一的标准下,对不同区域或同一区域不同时间的承载力进行量化评分,分析区域承载力空间差异或时间变化情况,逐层累加得到反映区域承载状况的承载力指数,并得出承载力水平“高”“低”等评价结论^[51-52]。

3 海洋资源环境承载力评价研究进展

3.1 单要素承载力评价

3.1.1 海洋渔业资源承载力评价

国外专门针对海洋渔业资源承载力的评价研究不多,且侧重于海洋捕捞资源量估算和海水养殖容量估算^[53-61]。国内学者最常采用非平衡剩余产量模型进行海洋渔业资源评估,例如许友伟等^[62]、杨洋等^[63]、ZHANG 等^[64]通过非平衡产量模型直接估算了某一时期不同地区的最大持续产量,而另一些学者则讨论了剩余产量模型中水温、环境、形状等参数对某一区域特定海洋渔业种群资源评估结果的影响^[65-67]。在海水养殖容量估算方面,根据研究范围的侧重点和复杂性,养殖容量可被划分为物理养殖容量、产量养殖容量、生态养殖容量和社会养殖容量 4 个功能类别^[68-69],其中,与海洋资源承载力含义相关联的是产量养殖容量^[70]。近年来,国内外学者主要在海水网箱、筏式贝类、滩涂贝类、底播贝类以及大型藻类等生物资源养殖容量评估方法及应用中取得了研究进展^[71-76]。海洋渔业资源承载力除了受海洋渔业资源供给能力的影响,还跟人类对海洋渔业资源的需求程度有很大关系。不同种类或相近种类之间的营养成分含量不尽相同,而不同生活水平下人均所需营养成分的标准也有所差异,因此,一些学者运用食物营养转化模型,首先将某一国家或区域的海渔产品折算成食物营养总产量,然后参照不同地区居民膳食营养摄入标准,估算海洋渔业资源人口承载力^[77]。

3.1.2 海洋空间资源承载力评价

海洋空间资源承载力评价是海洋资源承载力研究的一部分,在内容上与海岸带资源承载力、近岸海域资源承载力研究存在一定的交叉。以往研究多数从承载状态、承载水平等角度展开探讨,而从海岸滩涂、岸线资源、港口资源、海域资源承载规模入手,尤其是针对海洋空间资源承载力评价方法的研究比较缺乏。2016 年国家发改委印发的“方法”是当前国内较权威且应用最广的海洋空间资源承载力综合评价方法。不少学者以此为参考开展实证研究,例如:卫宝泉等^[78]构建了海洋功能区允许的海岸线开发利用强度标准及海岸线人工化指数,并在江苏省海域划定 13 个评价单元开展评价研究;张晓昱等^[79]选取连云港沿海 3 个县(区)为评价单元,开展了海域空间资源、海洋渔业资源、海洋生态环境和海岛资源环境 4 项要素的基础评价研究;孙信等^[80]对长江经济带邻近海域承载能力进行了综合评价。

3.1.3 海洋环境承载力评价

国外鲜有以“海洋环境承载力”为关键词的相关研究,而国内海洋环境承载力评价研究主要集中于滨海旅游环境承载力^[81-85]和海岸带环境承载力^[86]领域。从“容量”角度出发,针对海洋环境容量的测算方法及应用研究较为丰富,例如:龙颖贤等^[87]建立北部湾三维潮流水质数学模型,计算了北部湾近岸海域 24 个主要排污口 COD、无机氮和石油类的环境容量;王君陞等^[88]结合海洋环境容量研究案例,对海洋环境质量的评价方法以及环境容量的“本底浓度”确定进行了探讨;杨常亮等^[89]计算阳宗海总磷环境容量,解析阳宗海总磷变化规律及总磷超标原因;姜恒志等^[90]计算马家咀排污口的混合区面积及污染物浓度响应系数,测算马家咀排污口近期和远期环境容量;余静等^[91]、王长友等^[92]和翟大顺等^[93]也做了类似研究。

3.2 综合承载力评价

3.2.1 海域承载力评价

海域承载力是衡量海洋资源环境能否支持海洋经济良性发展的重要标志,其评价的关键步骤之一是评价指标体系构建。在众多资源环境承载力评价指标构建方法中,“压力—状态—响应”(PSR)指标框架能够较好地反映自然、经济、环境和资源之间相互依存的关系,受到了研究者们的广泛认可^[94-95]。随后出现的驱动力—状态—响应(DSR)、压力—状态—影响—响应(PSIR)以及驱动力—压力—状态—影响—响应(DPSIR)等多种变形的结构模型,都是对 PSR 框架的进一步补充和完善^[96-97]。除此之外,从压力、承载体和区际交流 3 个维度挑选指标,并利用状态空间法进行海域承载力现状评价的做法也较为常见,例如:狄乾斌和韩增林^[98]对辽宁海域承载力的承载现状分析,李志伟和崔力拓^[99]对河北省近海海域承载力的现状评价,许冬兰和李玉强^[100]对我国全域海洋生态环境承载力的评价分析,等等。还有一些研究则从经济发展、资源供给、生态环境和科技管理等方面选取评价指标及确定综合

权重, 然后对区域海域承载力水平进行了评价^[101-102]。

3.2.2 海岸带承载力评价

海岸带是人类生息和活动的地球关键带, 评价海岸带区域的承载能力是促进沿岸经济与资源环境协调发展的重要科学手段。我国当前主要是针对海岸带承载力的某些方面(如海岸带生态承载力^[103-104]、海岸带土地承载力、海岸带旅游承载力等)进行研讨, 尚未开展对海岸带综合承载力理论体系、评估方法和判定标准的系统研究, 但在海岸带综合承载力评价指标体系构建、海岸带可持续发展评价研究等方面也做了有益尝试^[105-106]。例如: 刘康和霍军^[107]、苏蔚潇^[108]根据 PSR 模型构建了海岸带承载力评估指标体系; 蔡悦萌^[109]借鉴以辽宁省海岸带可持续发展水平评价为代表的海岸带相关指标体系, 构建了海岸带综合承载力评价体系; 苏盼盼等^[48]和韩美等^[13]在构建海岸带生态系统综合承载力评估指标体系的基础上, 分别对舟山市海岸带和东营市海岸带区域进行了应用示范研究。

4 海洋资源环境承载力研究应用

4.1 海洋空间布局优化

资源环境承载力评价是引导资源空间配置向可持续性转变的重要依据^[110-111], 海洋资源环境承载力评价可最具体地支撑海洋空间布局及海洋产业管理等应用需求。任新君^[112]通过构建海域承载力与海水养殖业布局的内在作用机理模型, 提出了优化青岛市海水养殖业布局的政策建议。王启尧^[113]研究了包括海洋养殖渔业在内的临海产业布局与海域承载力之间的作用关系, 并基于海域承载力视角提出“区域分块布局、协调发展”的优化建议。于谨凯等^[96, 114]利用海洋渔业空间布局合理性评价模型和响应面法分别进行了海洋渔业空间布局合理性评价和海洋渔业空间布局适应性优化, 同时对山东半岛蓝区作了实证分析。单春红和林羞月^[115]基于耦合协调度模型研究了山东省养殖海域承载力和海洋空间资源利用之间的协调度。

4.2 海洋产业规划

服务于海洋产业规划的海洋资源环境承载力研究可分为两类: 一是海洋产业发展对海洋资源环境承载力的影响研究, 例如: 滕欣等^[116]运用灰色综合分析和关联模型相结合的方法研究了天津区域承载力与海洋产业集聚水平的动态效应; 狄乾斌等^[117-118]运用基于数列的匹配度计算方法测度了辽宁省海域承载状况与海洋产业结构水平的匹配度, 以及运用中国沿海 11 个省市 1996—2014 年的海洋产业结构和海域承载力的相关数据, 分析发现我国海洋产业结构对海域承载力存在正负向影响程度不同且存在明显差异。二是海洋资源环境承载力约束条件下的海洋产业规划研究, 如基于纳污海区的自净规律, 计算受纳水体的海洋环境容量并将计算结果用于涉海区域规划^[119]。

4.3 可持续发展能力分析

承载力研究是解决人口、资源、环境协调发展问题的重要内容之一。协调好海洋与人类经济活动关系、实现海洋可持续发展, 是海洋资源环境承载力研究的最终目标。韩增林等^[77]从海洋可持续发展的角度出发, 结合辽宁省海洋水产资源开发利用现状, 对海域承载力问题做了初步探索。王恩辰^[120]从海域综合承载力的角度, 对环渤海区域社会经济发展及渤海海域生态环境状态的可持续协调发展进行了定量研究。王萌和狄乾斌^[121]采用熵值法测度了环境渤海地区海洋资源环境承载力和海洋经济发展潜力。郑金花和狄乾斌^[122]采用改进的耦合度、耦合协调度模型以及核密度估计等方法, 对 2000—2014 年环渤海地区海洋经济发展水平和海域承载力进行了综合评价。

5 结论与建议

20 世纪 70 年代以来,资源环境承载力研究经历了从定性到定量、从单一到综合、从静态到动态、由外在表象到复合系统内在机制的发展过程,资源环境承载力评价方法趋于多样化和系统化^[123]。对于沿海地区而言,资源—环境—经济复合系统各要素之间的交互关系更加复杂,海洋资源环境承载力评价不仅有助于衡量区域经济社会可持续发展水平,而且有助于调控优化“生态、生产、生活”空间布局,促进发展方式转变和产业结构升级^[18]。然而,通过梳理相关研究发现,当前海洋资源环境承载力评价对象比较局限,缺乏不同尺度、不同范围内海洋资源环境子系统各要素之间的相互作用分析,海洋资源环境承载力评价方法较为薄弱,难以量化载体与承载对象之间的动态关系。今后海洋资源环境承载力评价研究不仅需要突破海洋资源环境承载力阈值界定、关键参数率定及定量评价技术,更重要的是服务于陆海统筹目标下的资源环境承载力综合集成评价,因此,当务之急是建立基于多要素的海洋资源环境承载力评价技术框架,保证海洋分类评价对资源环境承载力评价综合集成的技术支持。本文提出的研究思路与具体步骤如下:(1)以人口和经济规模为承载对象,分别筛选海洋资源承载力评价指标和海洋环境承载力评价指标,构建多要素海洋资源环境承载力评价指标体系。在现有的科技水平和社会经济条件下,存量巨大且难以计量的海水资源、海洋矿产资源和不可耗减、不可控的海洋能资源可被视为无穷大,对人类发展来说是非限制性因素,因而作为评价对象的海洋资源载体主要有海洋渔业资源和可供人类生产、生活和娱乐使用的海洋空间资源。海洋环境承载力的载体是海洋环境。(2)利用渔业统计资料和调查资料,测算海洋捕捞资源量和海水养殖容量。从人粮关系的角度出发,依据居民膳食营养摄入标准,分别测算海洋捕捞资源人口规模和海水养殖资源人口规模。(3)从海洋空间资源与经济要素的数量关系角度出发,结合海洋空间资源供给能力、海洋产业资源利用效率和区域经济发展状况等因素,研究测算海洋空间资源经济规模(包括功能性用海经济规模和非功能性用海经济规模)。(4)根据海洋纳污能力、污染控制能力与海洋功能区划水质管理目标,估算特定海域所能支撑的最大经济规模和生活人口数量。一是结合产业排污控制总量、产业排污强度以及区域经济发展状况等因素,估算海洋环境对产业排污的承载能力(即海洋环境经济承载力)。二是结合生活排污控制总量、生活排污强度等因素,估算海洋环境对生活排污的承载能力(即海洋环境人口承载力)。(5)根据海洋资源环境单要素评价结果,按照“短板效应”原则开展海洋资源环境承载能力集成评价,即运用求最小值方法确定某一时期某一地区的海洋资源环境综合经济承载力和综合人口承载力。

参考文献:

- [1]王泽宇,孙才志,韩增林,等.海洋经济可持续发展研究——以环渤海地区为例[M].北京:科学出版社,2018.
- [2]Dame R F,Prins T C.Bivalve carrying capacity in coastal ecosystems[J].Aquatic Ecology,1997,31(4):409-421.
- [3]Luo J G,Harman K J,Brandt S B,et al.A spatially-explicit approach for estimating carrying capacity:An application for the Atlantic menhaden (*Brevoortia tyrannus*) in Chesapeake Bay[J].Estuaries and Coasts,2001,24(4):545-556.
- [4]Vasconcellos M,Gasalla M A.Fisheries catches and the carrying capacity of marine ecosystems in southern Brazil[J].Fisheries Research,2001,50(3):279-295.
- [5]Chadenas C,Pouillaude A,Pottier P.Assessing carrying capacities of coastal areas in France[J].Journal of Coastal Conservation,2008,12(1):27-34.
- [6]Filgueira R,Grant J.A box model for ecosystem-level management of mussel culture carrying capacity in a coastal bay[J].Ecosystems,2009,12(7):1222-1233.
- [7]狄乾斌,韩增林,刘锴.海域承载力研究的若干问题[J].地理与地理信息科学,2004(5):50-53.
- [8]苏子龙,袁国华.我国海域承载力研究综述[J].资源与产业,2016(6):15-20.

-
- [9]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[J].自然资源学报,2014(2):256-264.
- [10]靳超,周劲风,李耀初,等.基于系统动力学的海洋生态承载力研究——以惠州市为例[J].海洋环境科学,2017(4):537-543.
- [11]杜元伟,周雯,秦曼,等.基于网络分析法的海洋生态承载力评价及贡献因素研究[J].海洋环境科学,2018(6):899-906.
- [12]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[J].生态学报,2013(18):5893-5904.
- [13]韩美,路广,史丽华,等.东营市海岸带区域综合承载力评估[J].中国人口·资源与环境,2017(2):93-101.
- [14]熊永柱,张美英.海岸带环境承载力概念模型初探[J].资源与产业,2008(4):129-132.
- [15]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(S1):178-185.
- [16]韩立民,罗青霞.海域环境承载力的评价指标体系及评价方法初探[J].海洋环境科学,2010(3):446-450.
- [17]孙才志,于广华,王泽宇,等.环渤海地区海域承载力测度与时空分异分析[J].地理科学,2014(5):513-521.
- [18]关道明,张志锋,杨正先,等.海洋资源环境承载能力理论与测度方法的探索[J].中国科学院院刊,2016(10):1241-1247.
- [19]Graham M.Modern theory of exploiting a fishery and applications to North Sea trawling[J].Journal of Marine Science,1935,10(3):264-274.
- [20]Schaefer M B.Some aspects of the dynamics of populations important to the management of the commercial marine fisheries[J].Bulletin of Mathematical Biology,1954,1:25-56.
- [21]刘尊雷,严利平,袁兴伟,等.基于多源数据的东海小黄鱼资源评估与管理[J].中国水产科学,2013(5):1039-1049.
- [22]官文江,田思泉,朱江峰,等.陈新军渔业资源评估模型的研究现状与展望[J].中国水产科学,2013(5):1112-1120.
- [23]Hilborn R,Walters C J.Adaptive control of fishing systems[J].Journal of the Fisheries Research Board of Canada,1976,33:145-159.
- [24]Schnute J.Improved estimates from the Schaefer production model:theoretical considerations[J].Journal of the Fisheries Board of Canada.1977,34(5):583-603.
- [25]Schnute J T,Richards L J.Use and abuse of fishery models[J].Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences,2001,58(1):10-17.
- [26]Fox W W.An exponential yield model for equations from fishery science and a new formulation[J].Transactions of the American Fisheries Society,1970,99:80-88.

-
- [27]Yoshimoto S S,Clarke R P.Comparing dynamic versions of the Schaefer and Fox production models and their application to lobster fisheries[J].Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences,1993,50(1):181-189.
- [28]蔡莉.中国新东部海洋渔业资源人口承载力研究(2010—2020)[M].北京:中国社会科学出版社,2012.
- [29]黄良敏,李军,张雅芝,等.闽江口及附近海域渔业资源现存量评析[J].热带海洋学报,2010(5):142-148.
- [30]黄良敏,谢仰杰,张雅芝,等.厦门海域渔业资源现存量评析[J].集美大学学报(自然科学版),2010(2):81-87.
- [31]汤建华,促霞铭,刘培廷,等.渔业资源增殖放流加标方法的比较[J].现代渔业信息,2005(9):13-15.
- [32]王增焕,李纯厚,贾晓平.应用初级生产力估算南海北部的渔业资源量[J].海洋水产研究,2005(3):9-15.
- [33]Cushing D H.Upwelling and the production of fish[J].Advances in marine biology,1971,9:255-334.
- [34]沈国英,施并章.海洋生态学[M].厦门:厦门大学出版社,1990.
- [35]张琪,陈磊,潘婷婷,等.三峡水库香溪河库湾基于初级生产力的渔产潜力估算[J].水生生物学报,2015(5):948-953.
- [36]张会涓,陈然,赵言文.基于模糊物元模型的区域水环境承载力研究[J].水土保持通报,2012(2):186-189.
- [37]王金坑.入海污染物总量空间技术与方法[M].北京:海洋出版社,2013.
- [38]虞洋,彭昌盛,虞兰兰,等.莱州湾石油烃海洋环境容量计算——基于非线性规划的排海通量最优化法[J].海洋环境科学,2014(2):293-299.
- [39]朱静,王靖飞,田在峰,等.海洋环境容量研究进展及计算方法概述[J].水科学与工程,2009(4):8-11.
- [40]宿俊英,刘树坤,何少苓,等.太湖水环境容量的研究[J].水利学报,1992(11):22-36.
- [41]李适宇,李耀初,陈炳禄,等.分区达标控制法求解海域环境容量[J].环境科学,1999(4):96-99.
- [42]王晓玮,赵骞,赵仕兰.海洋环境容量及入海污染物总量控制研究进展[J].海洋环境科学,2012(5):765-769.
- [43]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(4):549-555.
- [44]余丹林,毛汉英,高群.状态空间衡量区域承载状况初探——以环渤海地区为例[J].地理研究,2003(2):201-210.
- [45]Ress W,Wackernagel M.Urban ecological footprints:Why cities cannot be sustainable—And why they are a key to sustainability[J].Environmental Impact Assess Review,1996,16:223-248.
- [46]王若凡.厦门与罗源湾近岸海域生态足迹对比研究[D].厦门:厦门大学,2008.

-
- [47]牛方曲,封志明,刘慧.资源环境承载力评价方法回顾与展望[J].资源科学,2018(4):655-663.
- [48]苏盼盼,叶属峰,过仲阳,等.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[J].生态学报,2014(3):718-726.
- [49]狄乾斌,韩雨汐,高群.基于改进的AD-AS模型的中国海洋生态综合承载力评估[J].资源与产业,2015(1):74-78.
- [50]王中根,夏军.区域生态环境承载力的量化方法研究[J].长江职工大学学报,1999(4):9-12.
- [51]Kyushik O, Yeunwoo J, Dongkun L, et al. Determining development density using the urban carrying capacity assessment system[J]. Landscape and Urban Planning, 2005, 73(1):11-15.
- [52]刘年磊,卢亚灵,蒋洪强,等.基于环境质量标准的环境承载力评价方法及其应用[J].地理科学进展,2017(3):296-305.
- [53]Branch T A, Jensen O P, Richard D, et al. Contrasting global trends in marine fishery status obtained from catches and from stock assessments[J]. Conservation Biology, 2011, 25(4):777-786.
- [54]Ghosh, S, Muktha M, Rao MVH, et al. Assessment of stock status of the exploited fishery resources in northern Bay of Bengal using landed catch data[J]. Indian Journal of Fisheries, 2015, 62(4):23-30.
- [55]Gaichas S K, Aydin K Y, Francis R C, et al. Using food web model results to inform stock assessment estimates of mortality and production for ecosystem-based fisheries management[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science, 2010, 67(9):1490-1506.
- [56]Fairclough D V, Brown J I, Carlish B J, et al. Breathing life into fisheries stock assessments with citizen science[J]. Scientific reports, 2014, 4(28):1-10.
- [57]Kinas P G. Bayesian fishery stock assessment and decision making using adaptive importance sampling[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science, 1996, 53(2):414-423.
- [58]Punt A E, Hilborn R. Fisheries stock assessment and decision analysis: The Bayesian approach[J]. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 1997, 7(1):35-63.
- [59]Maunder, Mark N. Paradigm shifts in fisheries stock assessment: From integrated analysis to Bayesian analysis and back again[J]. Natural Resource Modeling, 2003, 16(4):465-475.
- [60]Michielsens C G J, McAllister M K, Kuikka S, et al. Combining multiple Bayesian data analyses in a sequential framework for quantitative fisheries stock assessment[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science, 2008, 65(5):962-974.
- [61]Petitgas P. Geostatistics in fisheries survey design and stock assessment: Models, variances and applications[J]. Fish and Fisheries, 2001, 2(3):231-249.

-
- [62] 许友伟, 张魁, 陈作志. 基于 CEDA 和 ASPIC 软件的南大西洋长鳍金枪鱼渔业资源评估研究[J]. 海洋湖沼通报, 2015(3):46-54.
- [63] 杨洋, 刘志国, 何彦龙, 等. 基于非平衡产量模型的海洋渔业资源承载力评估——以浙江省为例[J]. 海洋环境科学, 2016(4):534-539.
- [64] Zhang K, Zhang J, Xu Y W, et al. Application of a catch-based method for stock assessment of three important fisheries in the East China Sea[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2018, 37(2):102-109.
- [65] 李纲, 郑晓琼, 朱国平, 等. 基于水温因子的东、黄海鲈鱼剩余产量模型建立[J]. 上海海洋大学学报, 2011(1):108-113.
- [66] 郑晓琼, 李纲, 陈新军. 基于环境因子的东、黄海鲈鱼剩余产量模型及应用[J]. 海洋湖沼通报, 2010(3):41-48.
- [67] 易炜, 陈新军, 余为. 基于环境因子的西北太平洋秋刀鱼剩余产量模型建立[J]. 广东海洋大学学报, 2017(4):55-60.
- [68] Inglis G J, Hayden B J, Ross A H. An overview of factors affecting the carrying capacity of coastal embayments for mussel culture[R]. Ministry for the Environment, 2000.
- [69] McKindsey C W, Thetmeyer H, Landry T, et al. Review of recent carrying capacity models for bivalve culture and recommendations for research and management[J]. *Aquaculture*, 2006, 261(2):451-462.
- [70] 刘慧, 蔡碧莹. 水产养殖容量研究进展及应用[J]. 渔业科学进展, 2018(3):158-166.
- [71] Price C, Black K D, Hargrave B T, et al. Marine cage culture and the environment: Effects on water quality and primary production[J]. *Aquaculture Environment Interactions*, 2015, 6(2):151-174.
- [72] Gibbs M T. Interactions between bivalve shellfish farms and fishery resources[J]. *Aquaculture*, 2004, 240(1-4):267-296.
- [73] Grant J, Curran K J, Guyondet T L, et al. A box model of carrying capacity for suspended mussel aquaculture in Lagune de la Grande-Entrée, Îles-de-la-Madeleine, Québec[J]. *Ecological Modeling*, 2007, 200(1-2):193-206.
- [74] 刘学海, 王宗灵, 张明亮, 等. 基于生态模型估算胶州湾菲律宾蛤仔养殖容量[J]. 水产科学, 2015(12):733-740.
- [75] 朱春华, 申玉春, 谢恩义, 等. 湛江流沙湾马氏珠母贝的养殖容量[J]. 热带海洋学报, 2011(3):76-81.
- [76] 方建光, 孙慧玲, 匡世焕, 等. 桑沟湾海带养殖容量的研究[J]. 海洋水产研究, 1996(2):7-17.
- [77] 韩增林, 狄乾斌, 刘锴. 辽宁省海洋水产资源承载力与可持续发展探讨[J]. 海洋开发与管理, 2003(2):52-57.
- [78] 卫宝泉, 索安宁, 杨正先, 等. 基于海洋功能区划的江苏省海岸线开发承载能力评价[J]. 海洋环境科学, 2018(4):514-520.

-
- [79] 张晓昱, 袁广旺, 矫新明, 等. 连云港市海洋资源环境承载力评估研究[J]. 海洋环境科学, 2018(4): 537-544.
- [80] 孙倩, 路波, 索安宁, 等. 基于综合赋权法的海洋资源环境承载能力综合评价研究——以长江经济带邻近海域为例[J]. 海洋环境科学, 2018(4): 570-578.
- [81] 黄震方, 袁林旺, 葛军连, 等. 海滨型旅游地环境承载力评价研究——以江苏海滨湿地生态旅游地为例[J]. 地理科学, 2008(4): 578-584.
- [82] 刘伟. 海岛旅游环境承载力及开发研究——以辽宁长山群岛为例[D]. 大连: 辽宁师范大学, 2009.
- [83] 杨松艳. 海岛旅游环境承载力及其预警研究——以山东长岛为例[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
- [84] 刘真真. 基于旅游环境承载力的中国海岛县(区)旅游功能区划分与定位研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
- [85] 朱正涛. 基于云模型的海岛旅游环境承载力多层次模糊综合评价——以青岛灵山岛为例[D]. 青岛: 国家海洋局第一海洋研究所, 2015.
- [86] 郭晶, 何广顺, 赵昕. 因子分析——BP神经网络整合方法的沿海地区环境承载力预测[J]. 海洋环境科学, 2011(5): 707-710.
- [87] 龙颖贤, 陈隽, 韩保新. 环北部湾经济区近岸海域环境容量研究[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2014(1): 83-88.
- [88] 王君陞, 张珞平. 海湾环境质量评价以及环境容量研究中“本底浓度”确定的探讨[J]. 海洋环境科学, 2009(5): 522-525.
- [89] 杨常亮, 陈建中, 贺彬, 等. 阳宗海总磷环境容量与总磷超标的原因分析[J]. 环境科学导刊, 2008(1): 44-46.
- [90] 姜恒志, 崔雷, 于大涛, 等. 大连长兴岛马家咀排污口海域环境容量研究[J]. 应用海洋学学报, 2017(2): 202-209.
- [91] 余静, 孙英兰, 张越美, 等. 宁波—舟山海域入海污染物环境容量研究[J]. 环境污染与防治, 2006(1): 21-24.
- [92] 王长友, 王修林, 李克强, 等. 东海陆扰海域铜、铅、锌、镉重金属排海通量及海洋环境容量估算[J]. 海洋学报(中文版), 2010(4): 62-76.
- [93] 翟大顺, 张坤, 孙海燕. 洋浦经济开发区近岸海域海洋环境容量的研究[J]. 河南农业大学学报, 2014(3): 348-353.
- [94] 霍军. 海域承载力影响因素与评估指标体系研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.
- [95] 王玉良. 河北省海洋资源环境承载力研究[D]. 石家庄: 河北师范大学, 2016.
- [96] 于谨凯, 刘星华, 纪瑞雪. 基于投影寻踪模型的我国近海海域承载力评价[J]. 大连理工大学学报(社会科学版), 2015(1): 1-6.

-
- [97]蔡悦萌. 海岸带综合承载力评价研究——以温州市海岸带为例[D]. 北京:中国科学院大学, 2013.
- [98]狄乾斌, 韩增林. 海域承载力的定量化探讨——以辽宁海域为例[J]. 海洋通报, 2005(1):47-55.
- [99]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(4):87-94.
- [100]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[J]. 统计与决策, 2013(18):58-60.
- [101]秦伟山. 海岛经济发展及其资源环境承载状态评价研究[D]. 北京:中国科学院大学, 2014.
- [102]孙才志, 于广华, 王泽宇, 等. 环渤海地区海域承载力测度与时空分异分析[J]. 地理科学, 2014(5):513-521.
- [103]范小杉, 何萍, 董敬儒. 基于项目可持续发展规划的海岸带生态承载力评价研究进展[J]. 地球科学进展, 2017(1):90-100.
- [104]张绪良, 张朝晖, 苏蔚潇. 黄河三角洲海岸带生态承载力综合评价[J]. 安全与环境学报, 2015(6):364-369.
- [105]韩立民, 栾秀芝. 海域承载力研究综述[J]. 海洋开发与管理, 2008(9):32-36.
- [106]杨传霞. 我国海岸带资源环境承载力评价初步研究[J]. 海洋开发与管理, 2016(6):109-112.
- [107]刘康, 霍军. 海岸带承载力影响因素与评估指标体系初探[J]. 中国海洋大学学报(社会科学版), 2008(4):8-11.
- [108]苏蔚潇. 典型区域海岸带综合承载力评估——以天津滨海新区为例[D]. 青岛:中国海洋大学, 2013.
- [109]蔡悦荫. 海岸带综合承载力评价研究:以温州市海岸带为例[D]. 北京:中国科学院研究生院, 2013.
- [110]Wang L Y, Li F X, Gong Y, et al. A quality assessment of national territory use at the city level:A planning review perspective[J]. Sustainability, 2016, 8(2):145.
- [111]吕一河, 傅微, 李婷, 等. 区域资源环境综合承载力研究进展与展望[J]. 地理科学进展, 2018(1):130-138.
- [112]任新君. 海域承载力和海水养殖业布局的内在作用机理研究[D]. 青岛:中国海洋大学, 2010.
- [113]王启尧. 海域承载力评价与经济临海布局优化理论与实证研究[D]. 青岛:中国海洋大学, 2011.
- [114]于谨凯, 孔海峥. 基于海域承载力的海洋渔业空间布局合理度评价——以山东半岛蓝区为例[J]. 经济地理, 2014(9):112-117.
- [115]单春红, 林羞月. 山东省养殖海域承载力与海洋空间资源利用协调度研究[J]. 海洋经济, 2016(3):33-39.
- [116]滕欣, 徐伟, 董月娥, 等. 区域承载力与海洋产业集聚的动态效应——以天津市为例[J]. 海洋开发与管理, 2016(1):27-32.

-
- [117] 狄乾斌, 王萌, 孟雪. 海洋产业结构与海域承载力的匹配关系探讨——以辽宁省为例[J]. 海洋开发与管理, 2016(4):14-18.
- [118] 狄乾斌, 李霞. 中国沿海 11 省市海洋产业结构与海域承载力脉冲响应分析[J]. 海洋环境科学, 2018(4):561-569.
- [119] 郑洪波, 刘素玲, 陈郁, 等. 区域规划中纳污海域海洋环境容量计算方法研究[J]. 海洋环境科学, 2010(1):145-147.
- [120] 王恩辰. 海域综合承载力视角下环渤海地区可持续发展能力分析——基于投影寻踪模型[J]. 环渤海经济瞭望, 2009(11):41-43.
- [121] 王萌, 狄乾斌. 环渤海地区海洋资源承载力与海洋经济发展潜力耦合关系研究[J]. 海洋开发与管理, 2016(1):33-39.
- [122] 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(5):37-46.
- [123] 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(4):164-168.