

基于 Stella 的防城港珍珠湾及其邻近海域渔业生态承载力分析

刘蔓婷¹, 王良明^{1,2}, 杨长平^{1,2}, 单斌斌^{1,2}, 刘岩^{1,2}, 王思涵¹, 孙典荣^{1,2*}

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东广州 510300; 2. 中国水产科学研究院海洋牧场技术重点实验室, 广东广州 510300)

摘要 [目的]了解防城港珍珠湾及其邻近海域渔业生态承载力状况。[方法]基于生态足迹的算法,对该海域2015—2020年的生态足迹进行计算,研究其渔业生态现状,并基于Stella软件建立渔业生态足迹动态模型。[结果]2015—2020年珍珠湾及其邻近海域渔业生态足迹处于逐步下降趋势;其中渔业生态足迹包括海水养殖及海洋捕捞两部分,前者占比较小,低于10%,且两者属于同步下降趋势。防城港周边海域海洋捕捞总量在2015—2020年呈下降趋势,渔业生态承载力同样处于下降趋势,说明珍珠湾及其邻近海域的渔业资源状况处于超载状态,难以满足人均需求。对研究结果进行模拟分析显示,珍珠湾附近海域海洋捕捞产量的模拟值与实际值差异相对较小,偏离度 D_i 介于1.01%~3.11%,满足95%的置信度要求。[结论]生态赤字较为明显,建议进一步完善渔业资源承载力预警机制,为推进渔业资源保护及养护提供理论支持。

关键词 珍珠湾及其邻近海域;Stella软件;渔业生态足迹;渔业生态承载力

中图分类号 F326.4 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2023)08-0058-05

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2023.08.014



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Analysis of the Fishery Ecological Carrying Capacity in Pearl Bay and Its Adjacent Waters Based on Stella

LIU Man-ting¹, WANG Liang-ming^{1,2}, YANG Chang-ping^{1,2} et al (1. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou, Guangdong 510300; 2. Key Laboratory of Marine Ranch Technology, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou, Guangdong 510300)

Abstract [Objective] To understand the status of fishery ecological carrying capacity in Fangchenggang Pearl Bay and its adjacent waters. [Method] Based on the ecological footprint algorithm, the ecological footprint of the sea area from 2015 to 2020 was calculated, the status quo of its fishery ecology was studied, and the dynamic model of fishery ecological footprint was established based on Stella software. [Result] From 2015 to 2020, the fishery ecological footprint in the waters near Pearl Bay was on a gradual decline. The fishery ecological footprint included mariculture and marine fishing, and the former accounts for a relatively small proportion, less than 10%, and both belong to a synchronous decline trend. The total capture of marine fishing in the sea area around Fangchenggang had a decreasing trend during 2015-2020, and the fishery ecological carrying capacity was also in a decreasing trend, indicating that the carrying capacity of fishery resources in Pearl Bay cannot meet the demand of fishery resources per capita, and the condition of fishery resources was in overload. Simulation analysis of the study results showed that the differences between the simulated and actual values of marine fishing production in the sea area near Pearl Bay were relatively low, and the deviation (D_i) ranged from 1.01% to 3.11%, which met the 95% confidence level requirement. [Conclusion] The ecological deficit is still relatively obvious, it is recommended to further improve the early warning mechanism of the fishery ecological carrying capacity, and provide theoretical support to promote the protection and conservation of fishery resources.

Key words Pearl Bay and its adjacent waters; Stella software; Fishery ecological footprint; Fishery ecological carrying capacity

珍珠湾海域位于防城港市江山半岛南端至京岛海域,海岸线长度约为65 km,海域面积约为166 km²。该海域具有优越的自然条件、丰富的饵料生物、较高的海洋生物多样性及优良的生态环境,是多种重要水生生物种质资源库,也是广西沿岸海域最重要的渔业水域之一。海湾环境适宜多种海洋生物的繁殖和生长,如珍珠、石斑鱼及鲷等具有较高经济价值的海产品,是发展增殖型渔业的适宜海域^[1-4]。渔业生态承载力可理解为在保证渔业资源可持续发展同时,对其达到最大限度的开发利用,即在追求生态平衡情况下合理合法地开发海洋渔业资源^[5-6]。近几十年来,随着人口增长和经济发展,近海渔业资源早已处于过度开发状态,日趋枯竭,资源形势不容乐观^[7]。先前的研究已表明对海洋可持续发展作出评价的前提是大力开展近海渔业生态承载力的分

析;同时,近年来对渔业资源最大利用限度的相关研究已逐步成为重要的热点之一,相关研究对渔业经济可持续发展具有非常重要的意义^[5]。目前生态承载力评价的方法可概括为以下4类^[8-9]:种群数量的Logistic法、供需平衡法、指标体系法、系统模型法。其中属于供需平衡法的生态足迹法被应用于该研究中,加拿大著名学者William E Rees于1992年首次提出了生态足迹(ecological footprint)概念,基于此概念发展了一种对生态可持续发展能进行定量测算的方法^[10-11],这一方法本质上是通过将某一地区内消费的所有资源及对所有废弃物进行吸收并转化为生产性土地面积,并将其与该地区所能提供的生产性土地面积进行定量比较,从而进一步分析地区生态利用的可持续性^[12-13]。渔业生态承载力也可认为是某海域所能提供的渔业资源的生产性海域面积,经William E Rees学者进一步改进和发展后,已形成较为完善的生态足迹模型,成为一种度量人类活动等行为对生态系统影响的新途径^[10],目前国内外针对生态足迹的研究逐渐增多,相关研究主要包括生态足迹的理论发展^[14-15]、计算方法^[16-17]及区域评估案例^[18-19]等;然而国内在应用生态足迹法评估区域海域渔业生态承载力方面相对缺乏,该研究以防城港珍珠湾及其邻近海域为例,借助数学建模方法,建立该

基金项目 防城港市珍珠湾海域渔业发展规划编制项目(FZCZ2020-G1-10050-JGJD);中国水产科学研究院南海水产研究所中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(2021TS05);农业农村部渔业渔政管理局政府购买服务项目(17200044)。

作者简介 刘蔓婷(1995—),女,广东普宁人,研究实习员,从事渔业资源增殖方向研究。*通信作者,研究员,硕士,从事渔业资源调查评估与养护研究。

收稿日期 2022-05-05;修回日期 2022-05-12

海域的生态足迹模型,为渔业生态承载力评估提供一定的技术支撑,从而促进资源的可持续利用。

1 资料与方法

1.1 研究区域概况 研究区域选择防城港珍珠湾及其邻近海域,位于我国北部湾沿岸海域,地理位置为 $21^{\circ}19.5' \sim 21^{\circ}35.5'N$ 、 $108^{\circ}9' \sim 108^{\circ}14.5'E$ (图 1)。根据此次调查的站点布设范围并结合相关资料,珍珠湾内面积超过 100 km^2 ,湾外调查海域面积超过 200 km^2 ,试点海域的总面积超过 300 km^2 ;该研究选取防城港市珍珠湾周边海域作为试点区域,综合分析海域资源、生态环境及社会经济等方面的因素,运用 Stella 软件中的指标体系分析法探讨试点海域内渔业资源的可载情况,结合渔业生态足迹算法,定量分析试点海域渔业资源对人类开发活动等的承载力状况,从而更好地为广西其他海域的渔业资源承载能力评估提供参考依据。



图 1 防城港珍珠湾及其邻近海域调查站点布设

Fig.1 Survey stations deployment in Fangchenggang Pearl Bay and its adjacent waters

1.2 渔业生态足迹模型构建 该研究主要基于 Stella 9.1.3 软件,模型构建主要结合渔业生态足迹原理^[20],构造了防城港珍珠湾及其邻近海域简单的渔业生态足迹动态模型。模型主要包含饵料、渔业资源、渔业生态承载力、渔业生态足迹 4 个模块。图 2 详细描述了模块间的相互关系。饵料模块包括浮游植物、浮游动物和底栖生物的资源变动,该模块与渔业资源模块间能产生直接的相互作用,同时饵料模块中饵料的变动对区域内渔业资源容量的变动具有决定性作用;渔业资源模块还与物种生长、死亡和饵料丰度具有显著的相关性。

依据各模块之间的因果关系,该研究采用 Stella 9.1.3 软件对各模块因子进行流程图构建。首先确定某一变量的初始值,而后通过模型的进一步运算得到所设置变量的值或曲

线^[21]。建模过程中,首先将模型参数及各个变量等对应的图表输入至模型的 Model 页面中,然后将各个元素用黑色箭头来联系创立一定的函数关系,最后切换到模型中的 Equation 界面来输入最终的函数表达式(图 3)。

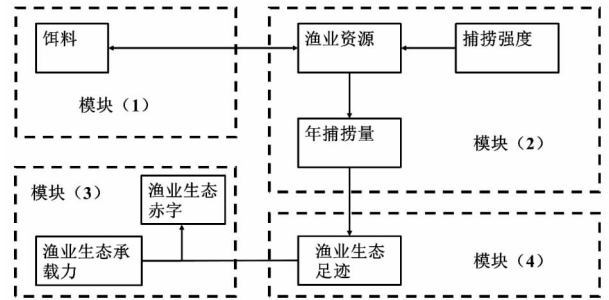


图 2 防城港珍珠湾及其邻近海域渔业生态足迹模型各模块间相互关系

Fig.2 Interrelationships between modules of fishery ecological footprint model in Fangchenggang Pearl Bay and its adjacent waters

1.2.1 饵料模块。在近海海洋生态系统中,浮游植物作为生产者能通过食物链将能量和营养物质传递给浮游动物、底栖动物和其他高级消费者。根据此次试点海域的 2 个航次海洋生态调查结果,珍珠湾周边海域浮游植物的初级生产力为 $21.18 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ (以 C 计),根据此次调查的站点布设范围并结合相关资料,珍珠湾及其邻近海域的总面积超过 300 km^2 ^[2-3],经计算得出该海域的年产碳量为 $2.32 \times 10^6 \text{ kg}$ 。将 1 g 碳换算为 10 g 鲜重物质,得出试点海域浮游植物的鲜重为 $2.32 \times 10^7 \text{ kg}$,并将该值作为浮游植物生物量的初始值。根据中国水产科学研究院南海水产研究所 2007—2008 年在南海北部调查取得的分析结果显示,南海海域初级生产者向上传递能量的平均转化效率为 11.5%,故可简易逐级推算出食物链各级组成的生物量。为了保证模型的运行,结合珍珠湾及其邻近海域生态系统的基本组成特征,将资源生物发育至成熟状态的平均需饵率估算为 0.15,各类群饵料生物的生长与死亡率估算为 0.2。

对珍珠湾及其邻近海域生态系统的渔业资源年生产力(即渔业资源容纳量)的估算按以下公式进行^[22]:

$$B = P \times E^n \quad (1)$$

式中, B 为渔业资源年生产力; P 为饵料生物的年生产量(鲜重); E 为生态效率; n 为估算对象的营养级。生态效率按照南海近岸海域的能量传递效率取值 0.15。估算对象的营养级使用南海北部大陆架海域平均营养级来表示,取值为 2.80^[23-24]。

1.2.2 渔业资源模块。渔业资源的生物存量主要取决于补充量、死亡量和捕捞总量,前者是增长因素,后者是减少因素。模型中将渔业资源生物量设置状态变量,捕捞总量、死亡量和补充量为相应的流率变量。该模块中,捕捞总量作为生态足迹模块中渔业生态足迹计算所需的流率变量,该数值变化直接决定着水产品生产捕捞所需的水域面积。为了保

障模型的正常运行,结合珍珠湾及其邻近海域渔业资源的特点,该模型将重点渔业生物的繁殖率估算为 0.5,将渔业生物

的死亡系数估算为 0.23。

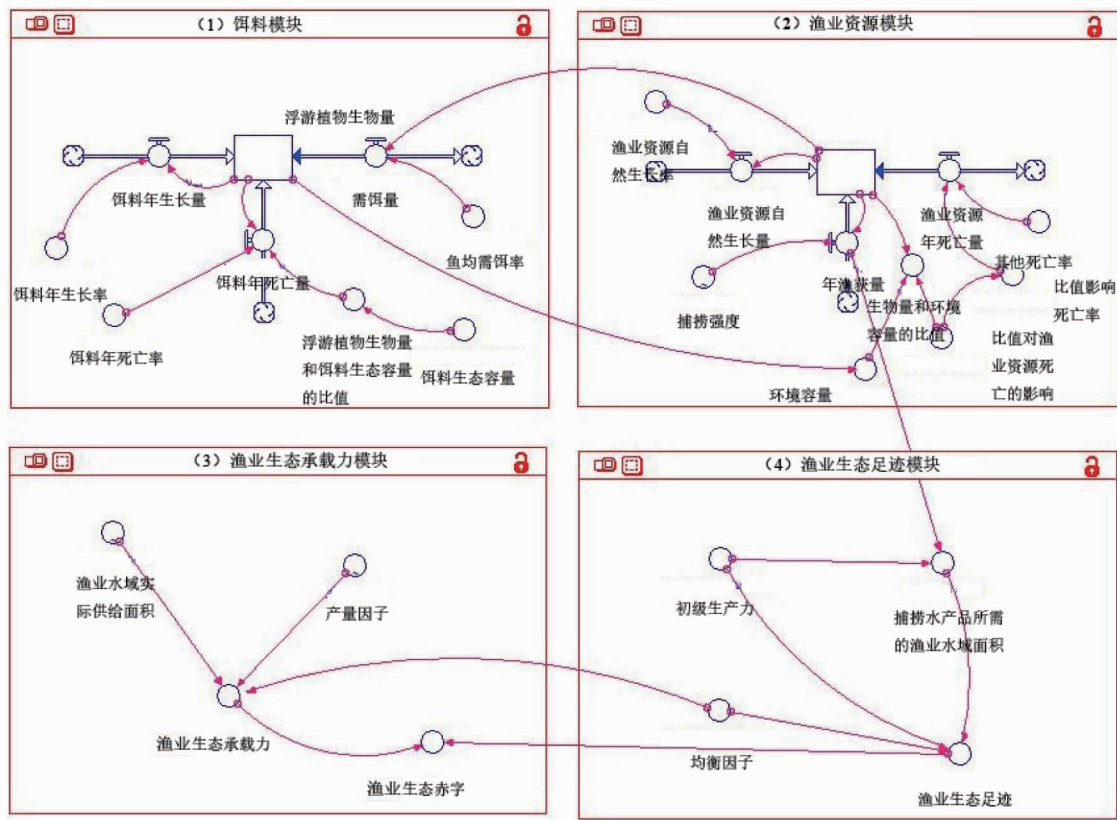


图 3 基于 Stella 的防城港珍珠湾及其邻近海域渔业生态承载力分析流程

Fig.3 Analysis flow of fishery ecological carrying capacity of Fangchenggang Pearl Bay and its adjacent waters based on Stella

1.2.3 渔业生态足迹模块。该研究中,根据现有的可获取的统计数据,在计算渔业生态足迹过程中,分别计算了海洋捕捞和海水养殖 2 个部分。首先将捕捞的各类水生生物通过均衡因子转化成生产这些渔业生物所需的生产性水域面积,而后进一步计算得出试点水域的渔业生态足迹。

水产种质资源保护区等)^[16]。

渔业生态赤字(ED)计算公式如下:

$$ED = EC - EF \quad (5)$$

捕捞水产品所需的渔业水域面积计算公式如下:

$$S = P/Y \quad (2)$$

式中, S 为试点海域捕捞水生生物所需的水域面积(hm^2); P 为年捕捞总量(kg); Y 为试点水域的初级生产力(kg/hm^2),参考全球平均水域初级生产力,取值为 $29 \text{ kg}/\text{hm}^2$ ^[10]。

式中, EC 为渔业生态承载力(hm^2); EF 为渔业生态足迹(hm^2)。当渔业生态赤字为正或负数时,分别代表着渔业生态承载力为可载或超载状态。当渔业生态赤字为 0 时,区域渔业资源处于上述 2 种状态的临界点。通常情况下不存在这种情况。

在该研究中所需的年海洋捕捞总量以及渔业水域实际供给面积等数据主要来自 2015—2020 年《中国渔业统计年鉴》和《防城港市统计年鉴》等资料^[25]。

1.2.5 其他主要计算公式。运用于该研究模型分析过程的其他计算公式如下:

$$\text{渔业资源生物量: } F(t) = 4 \times 10^8 (t-dt) + (G_j - D_j - C) \times dt \quad (6)$$

$$\text{饵料生物量: } P(t) = 1.43 \times 10^{10} (t-dt) + (G_b - D_b - \text{Con}) \times dt \quad (7)$$

$$\text{年捕捞总量: } C = F \times FE \quad (8)$$

$$\text{渔业资源生长量: } G_j = F \times G_r \quad (9)$$

$$\text{渔业资源死亡率: } D_j = F \times M \quad (10)$$

$$\text{饵料年生长量: } G_b = P \times G_{br} \quad (11)$$

$$\text{需饵量: } \text{Con} = F \times \text{Con}_r \quad (12)$$

渔业生态足迹的计算公式如下:

$$EF = S \times f \quad (3)$$

式中, EF 为渔业生态足迹(hm^2); S 为水产品捕捞中所需要的水域面积(hm^2); f 为渔业水域的均衡因子,为了使计算结果与先前的研究具有可比性,将该研究中均衡因子定为 0.2。

1.2.4 渔业生态承载力模块。在该模块中,将渔业生态赤字设置为核心数据转换器。渔业生态承载力计算公式如下:

$$EC = S' \times f \times y \times (1 - 12\%) \quad (4)$$

式中, EC 为渔业生态承载力(hm^2); S' 为渔业水域实际供给面积(hm^2); f 为渔业水域的均衡因子; y 为产量因子(按照国际惯例设置为 1);研究中出于渔业生态安全考虑,扣除 12% 作为生物多样性保留的水域面积(如各级渔业生态保护区、

式中, F 为渔业资源生物量 (kg); FE 为捕捞强度; P 为饵料生物量 (kg); t 为时间 (a); C 为年海洋捕捞量 (kg); G_r 为自然增长率; M 为自然死亡率; D_b 为饵料年死亡率; G_{br} 为饵料年增长率; Con_r 为鱼均需饵率。

1.3 模型有效性验证 该研究以防城市周边海域的捕捞总量为例, 使用历史检验方法来判断模型的可适性^[26]。即在模型中将主要变量的初始参数输入进行模拟运算, 从而得到模拟结果, 而后将其与实际数值进行对比, 参考以下公式计算其偏离度^[27]:

$$D_t = (X_t' - X_t) / X_t \times 100\% \quad (13)$$

式中, D_t 、 X_t' 、 X_t 分别代表偏离度、第 t 年的模拟结果及第 t 年的实际值。

2 结果与分析

2.1 防城港珍珠湾及其邻近海域渔业生态足迹现状 该研究中渔业生态足迹包括海水养殖生态和海洋捕捞两部分, 结合渔业生态足迹估算方法, 得出海水养殖和海洋捕捞的生态足迹具体结果见表 1。从表 1 可以看出, 珍珠湾及其邻近海域海洋捕捞生态足迹在 2015—2020 年处于缓慢下降趋势, 从 20 634.66 hm^2 降至 16 837.45 hm^2 。从海水养殖生态面积来看, 虽然海水养殖量逐年增加, 但随着养殖技术的不断提升, 加之地区人口数量不断攀升, 导致海水养殖生态面积呈下降趋势, 2020 年出现明显的回升, 2020 年海水养殖生态足迹处于最高值 (821.68 hm^2), 最低值出现在 2019 年 (553.37 hm^2), 将渔业生态足迹的海水养殖方面与海洋捕捞

方面相比较, 结果表明前者对整体渔业生态足迹贡献相对较小, 占比在 10% 水平以下。从总体上看, 2015 年以来珍珠湾及其邻近海域渔业生态足迹处于平稳下降趋势, 可能因为部分海域逐渐被划入禁捕区域导致可供捕捞的海域面积减少, 但由于实施了海洋捕捞“双控”政策 (即渔船总量和渔船总功率的零增长和负增长), 传统的捕捞产量持续下降, 实施的各项控制捕捞产量的政策措施, 使得总体捕捞量有所下降, 导致海洋捕捞均衡生态足迹面积在 2015 年后呈下降趋势。在海水养殖方面, 自 2015 年开始, 珍珠湾及其邻近海域养殖面积呈显著下降趋势, 但养殖总产量处于明显上升的趋势, 表明存在高密度等养殖现象, 这种过度投放饲料的高密度养殖方式使得水体环境的污染现象加剧, 同样对渔业资源的可持续发展具有不利的影响。

基于该研究构建的渔业生态足迹模型, 可计算得出珍珠湾及其邻近海域近年来人均渔业生态足迹、渔业生态承载力和渔业生态赤字变化情况 (表 2)。从表 2 可看出, 试点海域的海洋捕捞总量在 2015—2020 年呈下降趋势, 且海洋渔业资源的生态承载力一直处于下降趋势, 说明珍珠湾海域的渔业生态承载力不能满足人均渔业资源的需求, 渔业资源状况处于超载状态。虽然随着渔业“双控”政策的实施, 海洋捕捞量持续下降, 但海洋渔业生态足迹仍高于渔业生态承载力, 仍出现明显的生态赤字, 随着捕捞量的降低, 渔业生态赤字有减缓趋势。

表 1 防城港珍珠湾及其邻近海域渔业生态足迹

Table 1 Fishery ecological footprint of Fangcheng Port Pearl Bay and its adjacent waters

单位: hm^2

年份 Year	海水养殖生态面积 Mariculture ecological area	海水养殖生态足迹 Mariculture ecological footprint	海洋捕捞生态面积 Marine fishing ecological area	海洋捕捞生态足迹 Marine fishing ecological footprint	海洋生态足迹 Marine ecological footprint
2015	3 959.41	791.88	103 173.29	20 634.66	21 426.54
2016	3 968.98	793.80	99 567.36	19 913.47	20 707.27
2017	3 214.11	642.82	93 266.80	18 653.36	19 296.18
2018	2 908.45	581.69	84 996.63	16 999.33	17 581.02
2019	2 766.85	553.37	79 053.29	15 810.66	16 364.03
2020	4 108.40	821.68	84 187.27	16 837.45	17 659.13

表 2 防城港珍珠湾及其邻近海域渔业生态承载力及生态赤字

Table 2 Ecological carrying capacity and ecological deficit of fisheries in Fangchenggang Pearl Bay and its adjacent waters

年份 Year	海洋捕捞总量 Total marine fishing//t	生态足迹 EF hm^2	生态承载力 EC hm^2	生态赤字 ED hm^2
2015	119 550.00	21 426.54	18 855.36	-2 571.18
2016	117 855.00	20 707.27	18 222.40	-2 484.87
2017	111 962.00	19 296.18	16 980.64	-2 315.54
2018	102 041.00	17 581.02	15 471.29	-2 109.72
2019	98 005.00	16 364.03	14 400.34	-1 963.69
2020	90 645.00	17 659.13	15 540.04	-2 119.09

2.2 基于 Stella 渔业生态足迹的模型拟合 基于该研究应用的 Stella 软件构建的渔业生态足迹模型, 对 2015—2020 年

海洋捕捞总产量进行模拟, 再将模拟结果和实际值带入偏离度 D_t 计算公式, 得出结果见表 3。综合模拟分析结果发现, 珍珠湾及其邻近海域海洋渔业捕捞产量的模拟值与实际值差异相对较小, 偏离度 D_t 介于 -1.01% ~ 3.11%, 满足 95% 的置信度要求, 通过历史检验法得到的结果误差在合理的范围内。此外, 基于渔业生态足迹模型对渔业资源产量模拟结果与实际产量结果两者间的变化趋势基本一致, 表明该研究设置的主要变量的初始参数较合理, 该模型适合于防城港及其邻近海域渔业生态足迹的仿真模拟。

3 讨论

近年来, 随着众多经济发展规划的实施, 以能源及石化等为首的重大海上工业项目陆续实施, 在对社会经济发展起到一定推动作用的同时, 也造成了部分海域环境污染、生态破坏及渔业资源损坏等问题^[28]; 同时, 20 世纪 70 年代以来

表3 防城港珍珠湾及其邻近海域海洋渔业捕捞产量模拟结果

Table 3 Simulation results of marine fishery fishing yield in Fangchenggang Pearl Bay and its adjacent waters

年份 Year	海洋捕捞总量 Total marine fishing//t	海洋捕捞总量模拟值 Simulated value of total marine fishing//t	偏离度 Deviation %
2015	119 550	118 343	-1.01
2016	117 855	119 835	1.68
2017	111 962	111 301	-0.59
2018	102 041	103 714	1.64
2019	98 005	101 053	3.11
2020	90 645	91 878	1.36

近海捕捞的快速发展,捕捞强度持续增大,早已使得近海渔业资源日趋枯竭,渔业生态承载力现状也不容乐观^[7,29]。该研究中构建的渔业生态足迹模型结果显示,2015—2020年防城港珍珠湾及其邻近海域的海洋渔业生态足迹处于下降趋势,但下降趋势减缓,此外,渔业生态足迹均超过渔业生态承载力,表明目前珍珠湾及其邻近海域的渔业生态足迹超过该海域的生态支持能力,对于该海域水产品资源的过度利用将使得近海海域的海洋渔业发展处于不可持续的状态。对比先前同样运用生态足迹算法研究的江苏沿海^[30-32]、厦门近岸海域^[19]及全国沿岸海域^[15]的研究结果表明,较长时间尺度上,近海海域生态足迹变化基本上均呈倒U型抛物线曲线,即在20世纪70年代开始呈上升趋势,而后在2000年左右开始呈下降趋势,中间存在一拐点年份,分析发现可能与当时全国实施的“零增长政策”等措施有关^[33]。该研究为时间尺度较短的生态足迹变化趋势,其结果与其他海域基本相似。因此,研究表明渔业生态足迹模型既是度量可持续发展的新方法之一,也是度量生态系统变化对人类活动响应模式的途径之一,在渔业生态承载力评估中具有极其重要的意义,可为资源的可持续利用及发展等提供有益的支持。同时,该研究中的计算结果较先前相似研究的误差均更小^[31,34],结果也更为精确,其中模拟结果的变化趋势也与实际情况相符合,因此该研究中变量设置相对准确,该模型能适用于珍珠湾及其邻近海域的渔业生态承载力评估。

4 结论

该研究中计算了海水养殖和海洋捕捞两部分的生态足迹,基于生态足迹的计算公式,根据防城港2015—2020年捕捞产量,对其渔业生态足迹进行计算和分析,得出结论如下:从总体上看,2015年以来珍珠湾及其邻近海域海水养殖及海洋捕捞生态足迹均处于平稳下降趋势,2020年出现回升,且渔业生态承载力同样呈下滑趋势,生态赤字有所缓解仍较为明显,表明珍珠湾及其邻近海域渔业处于不可持续发展状态。研究表明该模型所得结果合理、准确,适合运用于防城港及其邻近海域渔业生态足迹的模拟分析。

参考文献

- [1] 夏德鹏.白龙珍珠湾海洋牧场综合型渔港码头规划设计研究[D].南京:南京农业大学,2015.
- [2] 蒙珍金,覃盈盈.珍珠湾海域水环境状况与评价[J].安徽农业科学,2009,37(30):14845-14847.
- [3] 蒙珍金,覃盈盈,何祥英,等.珍珠湾海水增殖区2004~2008年丰水季节的水环境变化趋势分析[J].广西科学院学报,2011,27(1):25-28.
- [4] 裴琨,吴一桂,杨润琼.中国最早的人工鱼礁试验地:防城港市白龙珍珠湾海洋牧场人工鱼礁建设概述[J].河北渔业,2020(6):22-27,63.
- [5] 冯菲,周文礼,陈森,等.近海渔业资源承载力的研究进展[J].天津农学院学报,2021,28(1):59-66.
- [6] 冯菲,陈森,周艳波,等.广东省海洋渔业资源承载力分析[J].渔业信息与战略,2019,34(4):250-256.
- [7] 龙进霞,陈佳怡,徐汉祥,等.基于绿色发展的我国近海渔业可持续性战略思考[J].海洋开发与管理,2021,38(11):11-17.
- [8] 石月珍,赵洪杰.生态承载力定量评价方法的研究进展[J].人民黄河,2005,27(3):6-8.
- [9] 王开运,邹春静,孔正红,等.生态承载力与崇明岛生态建设[J].应用生态学报,2005,16(12):2447-2453.
- [10] REES W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out[J]. Environment & urbanization, 1992, 4(2): 121-130.
- [11] 孙逊,成洪山,陈章和.基于生态足迹模型的城市可持续发展定量评估与预测[J].生态科学,2007,26(4):343-350.
- [12] 徐中民,张志强,程国栋.甘肃省1998年生态足迹计算与分析[J].地理学报,2000,55(5):607-616.
- [13] 张志强,徐中民,程国栋.生态足迹的概念及计算模型[J].生态经济,2000,16(10):8-10.
- [14] 赵玉涛,徐姗姗,齐占会,等.渔业生态足迹指数模型研究进展[J].渔业现代化,2015,42(2):67-71.
- [15] 陈东景,李培英,杜军,等.基于生态足迹和人文发展指数的可持续发展评价:以我国海洋渔业资源利用为例[J].中国软科学,2006(5):96-103.
- [16] 吴隆杰.基于渔业生态足迹指数的渔业资源可持续利用测度研究[D].青岛:中国海洋大学,2006.
- [17] 宋亚洲,韩宝平,朱国平,等.基于生态足迹的江苏省渔业资源可持续利用评价[J].水生态学杂志,2010,31(2):17-22.
- [18] 张靳,姚仕喜.基于渔业生态足迹广东海洋渔业生态可持续利用评价[J].河北渔业,2016(11):46-51.
- [19] 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.
- [20] 王其藩.系统动力学[M].北京:清华大学出版社,1994:25-27.
- [21] 狄乾斌,徐东升,周乐萍.基于STELLA软件的海湾经济可持续发展系统动力学模型研究[J].海洋开发与管理,2012,29(3):90-94.
- [22] 詹秉义.渔业资源评估[M].北京:中国农业出版社,1995:257-270.
- [23] 陈闲晓.基于EwE模型的北部湾生态系统营养结构研究[D].厦门:厦门大学,2015.
- [24] 贾晓平,李纯厚,陈作志.南海北部近海渔业资源及其生态系统水平管理策略[M].北京:海洋出版社,2012.
- [25] 农业部渔业渔政管理局.中国渔业统计年鉴[M].北京:中国农业出版社,2015-2020.
- [26] 陈永霞,薛惠锋,王媛媛,等.基于系统动力学的环境承载力仿真与调控[J].计算机仿真,2010,27(2):294-298.
- [27] 师满江,徐中民.张掖市可持续发展系统动力学模拟分析[J].冰川冻土,2010,32(4):851-859.
- [28] 广西北部湾经济区规划建设管理委员会办公室.广西北部湾经济区发展规划(2006—2020)[Z].南宁:广西人民出版社,2008.
- [29] 莫珍妮,赖廷和,何斌源,等.广西钦州湾海域游泳动物群落种类组成及多样性研究[J].应用海洋学学报,2020,39(2):206-213.
- [30] 杨山,王玉婷.基于生态足迹修正模型的江苏省海洋经济可持续发展分析[J].应用生态学报,2011,22(3):748-754.
- [31] 王子超,晁敏.基于Stella的江苏近海海域生态足迹模拟分析[J].中国水产科学,2017,24(3):576-586.
- [32] 王子超.海州湾渔业资源对海洋开发活动的生态承载力分析[D].上海:上海海洋大学,2017.
- [33] 郑奕.中国近海渔业捕捞能力的控制与量化研究[D].南京:南京农业大学,2007.