

# 江门市海洋生态系统服务价值评估及空间分布研究

文珍彬<sup>1</sup>, 索安宁<sup>2</sup>, 焦梦雨<sup>2</sup>

(1. 江门市海域使用动态监视监测中心 江门 529000; 2. 中国科学院南海海洋研究所 海洋环境工程中心 广州 510301)

**摘要:** 根据国际生态系统服务共同分类的标准, 海洋生态系统服务分为三大类、10亚类, 结合GIS技术与市场价格法、替代成本法、污染防治成本法等评估方法, 对江门市海洋生态系统供给、调节、文化服务价值进行量化评估和空间分布特征分析。结果表明:(1) 2022年, 江门市海洋生态系统服务总价值为174.96亿元, 由44.73%的供给服务、37.94%的调节服务和17.33%的文化服务组成, 单位面积服务价值为358.53万元/km<sup>2</sup>;(2) 近岸贝类养殖产业除提供食品供给外, 还能够提供额外的气候调节和废弃物调节服务价值, 约占海洋生态系统服务总价值的9%;(3) 生态系统服务价值空间分布密度从近岸到远海整体呈逐渐降低趋势, 近岸区内生态系统服务价值主要取决于养殖生产, 近海区生态系统服务价值主要取决于初级生产力。研究认为, 通过科学发展近海海域生态养殖产业, 合理开发利用海洋生态资源, 可有效提升生态系统服务功能, 实现生态保护与资源利用的协同推进。

**关键词:** 海洋生态系统; 服务价值评估; 空间分布; 贝类养殖; 江门市

中图分类号: X55; P7 文献标志码: A 文章编号: 1005-9857(2026)01-0112-11

## Evaluation and Spatial Distribution of Marine Ecosystem Service Value in Jiangmen City

WEN Zhenbin<sup>1</sup>, SUO Anning<sup>2</sup>, JIAO Mengyu<sup>2</sup>

(1. Jiangmen Municipal Marine Area Use Dynamic Monitoring and Surveillance Center, Jiangmen 529000, China;

2. Marine Environmental Engineering Center, South China Sea Institute of Oceanology,

Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China)

**Abstract:** Based on the Common International Classification of Ecosystem Services (CICES), marine ecosystem services were categorized into 3 major categories and 10 sub-categories. Integrating GIS technology with valuation methodologies including market price method, replacement cost method, and pollution prevention cost method, this study conducts a quantitative assessment and spatial distribution analysis of the provisioning, regulating, and cultural service values of marine ecosystems in Jiangmen City. The results showed that: (1) In 2022, the total marine ecosystem service value (MESV) of Jiangmen City reached  $174.96 \times 10^8$  RMB, comprising 44.73% provisioning services, 37.94% regulating services, and 17.33% cultural services, with the unit MESV of  $358.53 \times 10^4$  RMB/km<sup>2</sup>;

收稿日期: 2025-09-29; 修订日期: 2025-12-10

基金项目: 广东省现代化海洋牧场产业创新技术项目(2024-MRI-001-13).

作者简介: 文珍彬, 高级工程师, 研究方向为海洋资源监测

通信作者: 焦梦雨, 助理研究员, 博士, 研究方向为海洋空间信息技术应用

(2) The nearshore shellfish aquaculture industry not only provides food supply but also delivers additional climate regulation and waste regulation service values, accounting for approximately 9% of the total MESV; (3) The spatial distribution density of MESV generally shows a gradual decline from nearshore to offshore areas. Within nearshore zones, MESV primarily depends on aquaculture production, while in offshore areas, it is mainly determined by primary productivity. The study suggests that developing marine aquaculture in offshore areas and scientifically and rationally exploiting marine ecological resources can effectively enhance ecosystem service functions, thereby achieving the synergistic advancement of ecological conservation and resource utilization.

**Keywords:** Marine ecosystem service, Value assessment, Spatial distribution, Shellfish aquaculture, Jiangmen City

## 0 引言

生态系统服务 (Ecosystem service, ES) 的概念于 20 世纪 70 年代被首次提出, 并在 21 世纪初获得主流关注。海洋生态系统服务是指人类直接或间接地从海洋生态系统中获得的惠益<sup>[1]</sup>。受到栖息地破坏、过度捕捞、富营养化、塑料污染和气候变化等多种人类直接或间接活动的影响, 海洋生态系统发生了前所未有的变化, 从而限制了自然环境提供生态系统服务的能力<sup>[2]</sup>。海洋生态系统服务评估有助于海洋资源系统化管理, 是遏制海洋生态退化和实现海洋资源可持续利用的决策基础。

然而, 将生态系统服务的概念应用于海洋领域的研究进展相对缓慢, 关于海洋生态系统服务的研究仅占生态系统服务文献总量的较小部分 (< 9%)<sup>[3]</sup>, 这可能是由于相较于陆地, 海洋没有明显的景观区分, 数据获取难度较大。在陆地生态系统服务评估中, 土地利用/土地覆盖 (LULC)、森林覆盖率等空间数据相对容易通过卫星获取, 已被用作提供服务的替代性指标<sup>[4]</sup>。海洋生态系统服务评估也侧重评估各项服务的价值量, 仅有少数学者探讨其空间分布特征。基于地理信息系统 (GIS) 技术在空间分析中的优势, 马欢等<sup>[5]</sup>利用调查数据和年鉴文献报道数据计算柘林湾海洋牧场供给和调节服务价值并进行空间赋值。李爱等<sup>[6]</sup>根据统计资料计算温州海域供给服务并按照价值均匀化或权重化赋予相应图斑形成空间分布图。随着遥感卫星的发展, 利用海洋卫星数据快速且大面积估算海洋生态系统服务价值成为可能。例如, 叶卉等<sup>[7]</sup>利用中分辨率成像光谱仪 (MODIS) 遥感产品及相关统计资料

对黄海海域生态系统服务价值进行了评估。

海水养殖是近海的一项重要社会生产活动, 为人类贡献了大量的海产品。桑沟湾渔业生产带来的直接经济价值 (6.86 亿元), 占该区域总生态系统服务价值的 65.29%<sup>[8]</sup>。但是, 早期盲目的养殖规模扩大并未给养殖户带来更多的经济效益, 反而使养殖区生态系统服务价值大幅度降低。例如, 大鹏澳牡蛎养殖区在 2012—2013 年生态系统服务价值由 3 460.52 万元降低至 814.10 万元<sup>[9]</sup>。随着人民生活水平的不断提高, 对高蛋白质海洋水产品的需求逐年增加。当前我国近岸海域养殖设施分布密集, 2023 年、2024 年和 2025 年连续 3 年中央一号文件均提到支持深远海养殖。因此, 养殖规模扩大并向深远海拓展是不可阻挡的趋势。

本文以广东省海洋渔业大市——江门市近海区作为研究对象, 将价值评价与地理空间分析相结合, 定量分析江门市管辖海域养殖区与非养殖区供给、调节和文化服务价值, 探究江门市近海海洋生态系统服务价值构成及空间分布特征, 识别管辖海域内生态系统服务高价值区, 以期为政府科学合理地利利用和管理海洋生态系统提供科学依据。

## 1 研究区概况

江门市是广东省地级市, 是粤港澳大湾区重要节点城市, 在粤港澳大湾区中处于“承东启西”的位置。江门市海域辽阔, 海岸形态曲折, 海域面积 4 880 km<sup>2</sup>, 岸线长度 691 km, 水深范围在 0 ~ 48 m, 平均水深 17.45 m。江门市水产资源丰富, 是国家农产品质量安全市, 拥有“台山青蟹、台山蚝、台山鳗鱼”3 个“国家农产品地理标志”, 排名全省第一位。2022 年,

江门市渔业总产值 251.71 亿元，在全市农林牧渔业中排名第一位，在全省排名第二位。全市海水渔业产值同比增长 77.86%。然而，江门市目前用海类型以开放式、粗放型海洋渔业为主，近岸海域养殖设施分布密集，海洋生态资源利用率仍然较低。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源

以 2022 年为基础进行评估，本文的数据来源可分为 4 个部分：①统计年鉴公报数据，包括《广东农村统计年鉴（2023）》《广东海洋经济发展报告（2023）》《2022 年广东省生态环境状况公报》《2022 年中国海洋生态环境状况公报》和《中国海洋经济统计年鉴（2022）》等；②遥感数据，基于中分辨率成像光谱仪—水（MODIS-Aqua）卫星产品和垂直广义生产模型（VGPM）反演得到的研究区初级生产力，以及基于高分一号（GF-1）目视解译的江门市海上养殖范围<sup>[10]</sup>；③水深数据，该数

据源于美国国家海洋和大气管理局—国家环境信息中心（NOAA-NCEI）公开提供的全球水深点，通过克里金插值方法将其插值为水深面；④本文实地调查测定数据，包括研究区主要养殖品种香港牡蛎的干壳重系数、含碳量和含氮量等。

### 2.2 海洋生态系统服务分类与计算

目前，在海洋生态系统应用较为广泛的生态系统服务分类是千年生态系统评估（MA）和国际生态系统服务的共同分类（CICES）<sup>[11]</sup>。CICES 将海洋生态系统服务分为供给服务、调节服务和文化服务 3 类，最初在 MA 中定义的支持服务类别被排除在外。因为学者认为支持服务是生态系统结构、过程和功能的一部分，是供给、调节、文化等服务所必需的基础服务，包括初级生产、营养物质循环和物种多样性维持<sup>[12]</sup>。本文参考 CICES 分类方法与前人的研究<sup>[13-14]</sup>，结合江门市海洋现状和评估数据的可获得性，将江门市海洋生态系统服务划分为 3 个大类、10 个亚类（表 1）。

表 1 江门市海洋生态系统服务类型及价值计算方法

Table 1 Classification and value calculation of marine ecosystem services in Jiangmen marine

海洋生态系统服务类型	计算公式	评估方法
食品供给 ( $V_f$ )	$V_f = P_c + P_a$	市场价格法
供给 原材料供给 ( $V_m$ )	$V_m = P_m \times S + P_c \times S$	市场价格法
基因资源 ( $V_g$ )	$V_g = P_g \times S$	成果参照法
气候调节 ( $V_{CO_2}$ )	$Q_{CO_2,a} = Q_{PP} \times S \times 365 \times 10^{-3} \times \frac{44}{12}$ ; $Q_{CO_2,b} = Q \times S_s \times C_s \times \frac{44}{12}$ $V_{CO_2} = (Q_{CO_2,a} + Q_{CO_2,b}) \times P_{CO_2}$	替代成本法
空气调节 ( $V_{O_2}$ )	$Q_{O_2} = Q_{PP} \times S \times 365 \times 10^{-3} \times \frac{32}{12}$ $V_{O_2} = Q_{O_2} \times P_{O_2}$	替代成本法
调节 废弃物调节 ( $V_w$ )	$Q_{N,a} = Q_{PP} \times S \times 365 \times 10^{-3} \times \frac{16}{106} \times \frac{14}{12}$ ; $Q_{P,a} = Q_{PP} \times S \times 365 \times 10^{-3} \times \frac{1}{106} \times \frac{31}{12}$ $Q_{N,b} = Q \times S_s \times N_s$ ; $Q_{P,b} = Q \times S_s \times P_s$ $Q_{COD} = \sum_{j=1}^4 Q_{COD} \times S_j \times D_{eph} \times 10^{-6}$ ; $Q_{OIL} = \sum_{j=1}^4 Q_{OILj} \times S_j \times D_{eph} \times 10^{-6}$ $V_w = (Q_{N,a} + Q_{N,b}) \times P_N + (Q_{P,a} + Q_{P,b}) \times P_P + Q_{COD} \times P_{COD} + Q_{OIL} \times P_{OIL}$	污染防治成本法
生物防治 ( $V_b$ )	$V_b = P_b \times S$	成果参照法
干扰调节 ( $V_d$ )	$V_d = P_d \times S$	成果参照法

续表 1

海洋生态系统服务类型	计算公式	评估方法
文化		
旅游娱乐 ( $V_t$ )	$V_t = P_t \times S$	市场价格法
科研服务 ( $V_r$ )	$V_r = P_r \times R$	科研成本法

注:  $P_e$  和  $P_a$  分别为江门市海水养殖和海洋捕捞产值 (万元);  $Q_{CO_2,a}$ 、 $Q_{CO_2,b}$ 、 $Q_{N,a}$ 、 $Q_{N,b}$ 、 $Q_{P,a}$  和  $Q_{P,b}$  分别代表浮游植物和养殖贝类固定  $CO_2$ 、N 和 P 的物质量,  $Q_{O_2}$  为浮游植物初级生产提供的氧气量,  $Q_{COD_j}$  和  $Q_{OIL_j}$  分别为第  $j$  类水质可容纳 COD 和石油烃污染物的量, 单位为  $t/a$ ;  $P_{CO_2}$  为人工固碳成本,  $P_{O_2}$  为人工生产氧气成本,  $P_N$ 、 $P_P$ 、 $P_{COD}$  和  $P_{OIL}$  为污水中 N、P、COD 和石油烃的处理成本, 单位为元  $/t$ ;  $S$  为江门市海域面积 ( $km^2$ ),  $Q_{PP}$  代表浮游植物的初级生产力 ( $mg/m^2 \cdot d$ ),  $Q$  为贝类养殖湿重产量 ( $t/a$ ),  $S_s$  和  $C_s$  分别为贝类干壳重系数和贝类贝壳的含碳量,  $N_s$  和  $P_s$  分别为贝类贝壳的含氮量和含磷量;  $S_j$  为海洋功能区第  $j$  类水质标准的面积 ( $m^2$ ),  $D_{epb}$  为水深 ( $m$ ); 44/12 为贝壳含碳量换算成含二氧化碳量的系数, 32/12 为浮游植物固碳量换算成产氧量的系数, 16/106 和 1/106 分别为元素 N 与元素 C 以及元素 P 和元素 C 在浮游植物细胞内的物质的量的比, 14/12 和 31/12 分别为元素 N 与元素 C 以及元素 P 和元素 C 的物质的量的比,  $P_m$ 、 $P_e$ 、 $P_g$ 、 $P_b$ 、 $P_d$ 、 $P_i$  分别为单位面积生物医药资源、化工资源、基因资料、生物防治、干扰调节和旅游娱乐服务价值 (万元  $/km^2$ );  $P_r$  为海洋领域科技论文平均经费投入 (万元  $/篇$ ),  $R$  为以研究区域为主题发表的论文数量 (篇)。

### 2.3 海洋生态系统服务价值空间赋值

基于 ArcGIS 10.8 软件, 将评估海域划分成边长为  $1 km \times 1 km$  的单元格。将海水养殖食物供给价值、养殖贝类气候调节服务、废弃物调节服务价值分配到江门市海上养殖区域, 捕捞服务价值分配到江门市海上非养殖区域, 浮游植物气候调节服务、空气调节服务和浮游植物废弃物调节服务价值基于初级生产力计算, 按单元格分配价值; 化学需氧量 (COD) 和石油烃废弃物调节价值根据不同功能区水质标准, 按平均水深计算, 单元格分配价值; 生物医药资源、化工资源、基因资料、生物防治、干扰调节、旅游娱乐与科研服务价值分配至整个评估区域。最后, 叠加计算上述所有服务的单位价值, 得到江门市海洋生态系统服务价值的空间分布。

捕捞的产值。因此, 本文按照 2021 年江门市海水养殖和海洋捕捞在海洋渔业总产值中的占比, 间接计算得到 2022 年江门市养殖服务和捕捞服务价值分别为 390 922.41 万元和 272 107.45 万元 (表 2)。江门市贝类养殖食品供给价值采用遥感解译获得的江门市海上贝类养殖面积 ( $74.01 km^2$ )<sup>[10]</sup>, 乘以单位面积海水养殖服务价值的方法计算, 可得其价值为 153 755.78 万元。

表 2 江门市海洋食品供给服务价值

Table 2 Value of food provision services in Jiangmen marine

食品供给	海洋渔业产值		面积 $/km^2$	单位面积服务价值 $/ (万元 \cdot km^2)$
	2021 年 / 万元	占比 $/\%$		
海水养殖	219 782.57	58.96	390 922.41	188.17
海洋捕捞	153 002.43	41.04	272 107.45	56.62

注: 海水养殖面积源自《广东农村统计年鉴 (2023)》, 包括海上养殖面积和滩涂养殖面积。海洋捕捞面积 = 领海线以内面积 - 海上养殖面积。

## 3 结果

### 3.1 江门市海洋生态系统服务总价值与构成特征

#### 3.1.1 供给服务价值

##### 3.1.1.1 食品供给服务价值

食品供给是指海洋生态系统为人类直接提供的各种海洋食品, 包括海水养殖和海洋捕捞两部分, 其价值根据市场价格法进行评估。根据《广东农村统计年鉴 (2023)》, 2022 年江门市海洋渔业总产值为 663 029.86 万元, 即为江门市海洋生态系统食品供给服务的总价值, 并未单独列出海水养殖和海洋

##### 3.1.1.2 原材料供给服务价值

原材料供给服务是指海洋生态系统为人类提供生产性原材料和生物化学物质的能力, 包括日用品、装饰品、燃料和药物等。受资料的可获得性和有效性限制, 本文中海洋原材料供给服务主要考虑

生物医药资源和化工资源,根据市场价格法进行评估。

(1) 生物医药资源。根据《广东海洋经济发展报告(2023)》,2022年广东省海洋生物医药增加值为67.8亿元,全省海域面积419 300 km<sup>2</sup>,其单位面积海洋生物医药价值为16 169.81元/km<sup>2</sup>,江门市海洋生态系统为海洋生物医药提供原材料供给价值约为7 890.87万元。

(2) 化工资源。与生物医药资源类似,利用《广东海洋经济发展报告(2023)》中的海洋化工业的增加值代表海洋生态系统服务为海洋化工资源提供的原材料价值。2022年,广东省海洋化工增加值为706.9亿元,其单位面积海洋化工价值为168 590.51元/km<sup>2</sup>,江门市海洋生态系统为海洋化工提供的原材料供给价值约为82 272.17万元。

### 3.1.1.3 基因资源服务价值

利用成果参照法,De Groot等<sup>[15]</sup>研究得出生态系统提供基因资源服务的单位面积价值为6~112美元/(hm<sup>2</sup>/a);李志勇等<sup>[16]</sup>认为,广东近海位于热带海区,应取最高值的80%作为广东海域单位面积提供基因资源服务的价值,即60 265.86元/(km<sup>2</sup>/a)(按2022年人民币对美元汇率年平均中间价6.7261换算,下同)。因此,江门市海洋生态系统的基因资源服务价值为29 409.74万元。

### 3.1.2 调节服务价值

#### 3.1.2.1 气候调节服务价值

气候调节是指海洋生态系统通过影响水文循环、温度调节和大气中影响气候的物质,对维持有利气候的贡献。受数据获取的限制,本文主要考虑海洋生态系统对CO<sub>2</sub>的调节作用。固碳服务的物质质量包括浮游植物、大型藻类和贝类固定二氧化碳的量<sup>[17]</sup>。《广东农村统计年鉴(2023)》显示,2022年江门市贝类养殖产量为139 992 t,藻类养殖产量为0 t,藻类捕捞产量为99 t,仅占总捕捞产量的0.15%,大型藻类固碳量在江门市海域占比较少。贝类固碳又可以分为贝壳固碳和贝类软组织固碳,贝壳的主要成分为CaCO<sub>3</sub>,每形成1 mol的碳酸钙,会释放1 mol CO<sub>2</sub>,同时吸收2 mol的碳酸氢根<sup>[18]</sup>。贝类软组织生长主要通过滤食海水中的浮游植物和颗粒有机碳固

碳,该部分固碳量会在浮游植物固碳中体现。综上所述,江门市海洋生态系统固碳主要体现在两个方面:①浮游植物固碳量;②养殖贝类的贝壳固碳量。据此,进一步计算江门市海洋生态系统的气候调节服务价值。

根据江门市海域面积为4 880 km<sup>2</sup>,浮游植物的初级生产力为858.91 mg/(m<sup>2</sup>·d)<sup>[10]</sup>,主要贝类养殖品种香港牡蛎干壳重系数为0.7917,贝壳的含碳量为12.41%,计算得到江门市浮游植物固碳量为5 609 598.47 t/a,养殖贝类固碳量为50 432.10 t/a。人工固碳成本取国内人工造林成本(250元/t)和国际通用碳税率(0.15美元/kg,折合人民币1 009元/t)的均值629.5元/t,计算得到江门市海洋生态系统气候调节价值356 298.92万元。

#### 3.1.2.2 空气调节

海洋生态系统对有益气体和有害气体浓度的影响,其计量指标可采用O<sub>2</sub>的释放量和有害气体(H<sub>2</sub>S、SO<sub>2</sub>、CO)的吸收量等<sup>[19]</sup>。由于缺乏H<sub>2</sub>S、SO<sub>2</sub>、CO等有害气体吸收的数据,本文主要评估海洋生态系统通过释放O<sub>2</sub>带来的空气调节价值。氧气生产物质量采用海洋植物光合作用的产氧量进行评估。江门市大型海藻生物量很少,因此江门市海域氧气生产数据主要根据浮游植物的初级生产力,结合光合作用方程计算获得江门市氧气生产物质量4 084 807.61 t/a。人工生产O<sub>2</sub>成本采用国内人工造林成本(250元/t)和工业制氧成本(400元/t)的均值325元/t,计算江门市海洋生态系统空气调节价值为132 756.25万元。

#### 3.1.2.3 废弃物处理

根据《2022年广东省生态环境状况公报》,广东省近海海域主要超标指标为无机氮和活性磷酸盐。《2022年中国海洋生态环境状况公报》显示,广东省共有70个直排海排口,排放污水量106 372万t,其中COD含量18 245 t、石油类含量24 t、总氮含量6 504 t、总磷含量148 t。江门市大量的养殖贝类将海水中的营养物质(N、P)以贝壳和软组织生长的形式加以固定,贝类收获后可直接从海洋生态系统中移除。

Redfield等<sup>[20]</sup>研究发现,海洋浮游植物细胞

内和海水中的 C : N : P 原子比为 106 : 16 : 1, 即 Redfield 比值, 浮游植物对营养盐的吸收也接近这个比例。因此, 根据该比例和 2022 年江门市海域的初级生产力, 可计算出该海区浮游植物对氮和磷的固定量。养殖贝类对 N、P 的移除量按照贝类贝壳中的 N、P 含量比例进行计算。江门市海域主要养殖的贝类品种牡蛎贝壳的 N 含量和 P 含量分别为 0.35% 和 0.06%<sup>[9]</sup>。江门市浮游植物和养殖贝类固定 N 和 P 的物质量分别为 387.91 t 和 66.50 t。

COD 和石油类污染物量参照江门市海洋功能区不同水质标准 (表 3) 要求的浓度限值进行环境容量估算。在江门近海海水质量达标率为 100% 的前提下, 计算可得江门海洋生态系统可容纳 COD 含量 177 379.33 t/a, 石油类含量 4 775.08 t/a。由此可知, 江门市海域内每年移除的 N、P、COD 和石油类的总量已远超广东省每年向海直排污水中的 N、P、COD 和石油类的总量。

表 3 海水水质标准

Table 3 Marine water quality standard

水质标准	mg/L			
	一类	二类	三类	四类
COD	2	3	4	5
石油类	0.05	0.05	0.3	0.5

注: 参考《海水水质标准》(GB 3907—1997)。

废弃物处理是水质净化的过程和结果。通过计算人工处理排海污染物所需要的费用来间接评估其价值。污水中 N 和 P 的处理成本分别为 1 500 元/t 和 2 500 元/t<sup>[21]</sup>; COD 和石油类的处理成本分别为 4 300 元/t 和 7 000 元/t<sup>[22]</sup>。利用污染防治成本法计算出江门市海洋生态系统的废弃物处理价值为 129 423.95 万元。

### 3.1.2.4 生物防治

利用成果参照法, Costanza 等<sup>[23]</sup>研究表明, 单位面积海岸带生物控制服务的价值为 38 美元/(hm<sup>2</sup>·a), De Groot 等<sup>[15]</sup>研究得出生态系统提供生物控制服务的单位面积价值为 2 ~ 78 美元/(hm<sup>2</sup>·a)。考虑到广东近海海区生物资源相对丰富, 单位面积价值方面, 本文取 De Groot 提出的单位最高价值的 80% 与 Costanza 等提出数据的平均值 50.2 美元/(hm<sup>2</sup>·a),

即 33 765.02 元/(km<sup>2</sup>·a)。江门市海洋生态系统的生物控制服务价值为 16 477.33 万元。

### 3.1.2.5 干扰调节

利用成果参照法, Costanza 等<sup>[23]</sup>的研究表明, 单位面积近海海域的干扰调节服务价值为 88 美元/(hm<sup>2</sup>·a), 即 59 189.68 元/(km<sup>2</sup>·a)。江门市海洋生态系统的生物控制服务价值为 28 884.56 万元。

### 3.1.3 文化服务

#### 3.1.3.1 旅游娱乐

江门市海岸线绵长, 海岛众多, 滨海旅游业蓬勃发展, 已形成新会沿海、台山沿海和川岛三大旅游区。养殖区内筏架等设施为海洋生物提供了庇护场所, 贝类丰富的代谢物质也为海洋生物提供了丰富的饵料, 养殖区不仅成为各种生物聚集和栖息的良好场所, 还吸引了不少垂钓者来此休闲娱乐。本文选用《广东海洋经济发展报告(2023)》中的海洋旅游业增加值代表海洋生态系统服务的旅游娱乐价值。海洋旅游业是指以亲海为目的开展的观光游览、休闲娱乐、度假住宿和体育运动等活动的产业。2022 年, 广东省海洋旅游业增加值为 2 599.4 亿元, 单位海域旅游娱乐价值为 619 937.99 元/km<sup>2</sup>, 江门市海洋生态系统旅游娱乐价值约为 302 529.74 万元。

#### 3.1.3.2 科研服务

评估科研服务, 常用的方法有专家评估法和科研成本法。本文采用科研成本法评估。根据《中国海洋经济统计年鉴 2022》, 2021 年广东省海洋科技项目投入经费 25.92 亿元, 发表学术论文 4 460 篇。据此估算, 广东省海洋领域论文对应的平均科研经费投入为 58.12 万元/篇。根据国家海洋局发布的《2005 年海洋科技年报》数据计算, 海洋领域科技论文的平均科研经费投入为 35.76 万元/篇。16 年间, 我国海洋类论文投入每篇增加 22.36 万元。随着海洋战略的实施, 海洋科技投入将不断加大, 海洋生态服务系统的科研服务价值将会逐步提高。

通过在中国知网 (<https://www.cnki.net/>) 设定“江门”“海洋”为文献题名或关键词检索, 获得 2022 年发表的相关论文 10 篇; 在国际科学论文查询平台 (<https://webofscience.clarivate.cn/>) 检索 2022 年发表的同类论文 1 篇; 合计 11 篇。按照广

东省学术论文科研经费投入平均水平计算, 2022年江门市科研经费投入约为639.32万元, 即为江门市海洋科研服务价值的保守估算。

### 3.1.4 生态系统服务价值的构成特征

综上所述, 2022年江门市海洋生态系统服务总价值为174.96亿元。从价值构成(表4)来看, 供给服务价值占比最高, 达78.26亿元(44.73%), 调节服务价值为66.39亿元(37.94%), 文化服务价值为30.31亿元(17.33%)。在十大服务亚类中, 食

品供给(37.90%)、气候调节(20.36%)和旅游娱乐(17.29%)是价值贡献最大的3个核心服务, 三者合计占总价值的75.55%。值得注意的是, 近岸贝类养殖产业除直接提供食品供给价值之外, 还通过贝壳固碳和移除营养盐等生态过程, 额外创造了显著的气候调节和废弃物调节服务价值, 其总价值量约为15.75亿元, 约占海洋生态系统服务总价值的9%。这表明贝类养殖具有突出的生态与经济协同效应。

表4 江门市海洋生态系统服务价值构成

Table 4 Composition of marine ecosystem service value in Jiangmen

生态系统	服务类型	价值量 / 亿元	百分比 / %	小计 / 亿元	百分比 / %
供给	食品供给	66.30	37.90	78.26	44.73
	原材料供给	9.02	5.15		
	基因资源	2.94	1.68		
调节	气候调节	35.63	20.36	66.39	37.94
	空气调节	13.28	7.59		
	废弃物调节	12.94	7.40		
	生物防治	1.65	0.94		
	干扰调节	2.89	1.65		
文化	旅游娱乐	30.25	17.29	30.31	17.33
	科研服务	0.06	0.04		
合计		174.96		174.96	

### 3.2 江门市海洋生态系统服务价值的空间分布

基于核密度估计方法, 图1呈现了江门市海上养殖区与非养殖区生态系统服务价值随离岸距离的空间分布特征。2022年, 江门海洋生态系统服务价值的空间分布区间在187.76万~2392.99万元/km<sup>2</sup>, 整体呈现从近岸向远海逐渐递减的趋势。高价值区在空间上与近岸海上养殖区高度重叠, 其生态系统服务价值主要取决于养殖生产活动, 养殖区平均服

务价值达2365.72万元/km<sup>2</sup>。相比之下, 未开展养殖活动的近海区, 其生态系统服务价值主要受海洋初级生产力水平支配, 与离岸距离呈负相关关系, 平均服务价值为276.09万元/km<sup>2</sup>, 显著低于近岸养殖区。这一空间格局表明, 人类生产活动(养殖)是塑造近岸海域生态系统服务价值空间分布的主导因素。

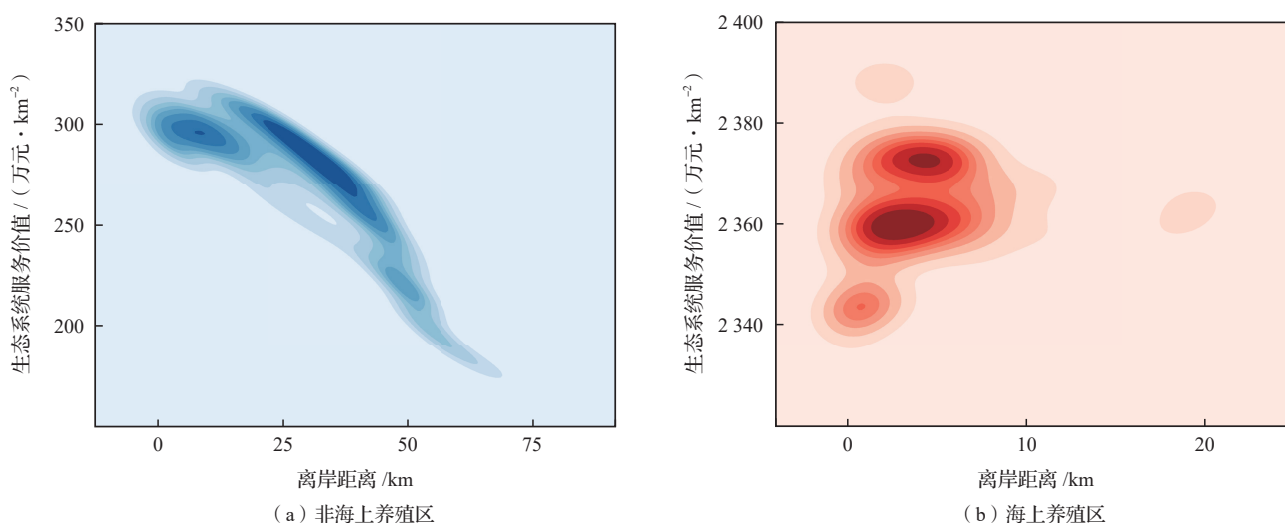


图 1 江门市养殖区与非养殖区生态系统服务价值及离岸距离分布特征

Fig.1 Distribution characteristics of ecosystem service value and offshore distance in aquaculture and non-aquaculture areas in Jiangmen

## 4 讨论与结论

### 4.1 研究方法科学性探讨

本文采用国际通用的 CICES 分类框架, 结合市场价格法、替代成本法等多种价值量化方法与 GIS 空间分析技术, 构建了一套适用于区域尺度的海洋生态系统服务价值评估体系。首先, 该评估体系的 CICES 生态系统服务分类确保了评估的系统性和可比性; 其次, 根据明确的海上养殖区域边界及海洋初级生产力空间信息, 引入 GIS 技术实现了抽象价值向具体空间单元的映射, 使揭示空间分布规律成为可能。

然而, 本方法体系也存在一定的局限性。例如, 在评估贝类养殖的额外调节服务时, 由于浮游植物与贝类软组织在固碳和营养盐移除过程中的贡献重叠<sup>[24]</sup>, 本文未能完全剥离贝类在其中的贡献, 虽然总体价值不变, 但贝类养殖贡献的价值被低估。此外, 对于文化服务中的旅游娱乐价值, 采用海洋旅游业增加值进行估算, 虽数据可得性强, 但未能区分直接亲海活动与间接关联产业, 可能致使评估结果偏大; 而基因资源、干扰调节等服务依赖成果参照法, 参考了 Costanza 等<sup>[23]</sup> 和 De Groot 等<sup>[15]</sup> 的全球性研究成果, 对应到江门市海域针对性较

弱, 其价值可能存在低估。未来的研究可引入更精细化的生态模型和条件价值评估法等, 以进一步提升评估的准确性。

### 4.2 结果合理性分析与对比

本文评估的江门市单位面积海洋生态系统服务价值为 358.53 万元 / km<sup>2</sup>, 与海南省 (281.12 万元 / km<sup>2</sup>)<sup>[25]</sup>、江苏省 (361.91 万元 / km<sup>2</sup>)<sup>[26]</sup> 和浙江省 (377.82 万元 / km<sup>2</sup>)<sup>[27]</sup> 近海生态系统以及深澳湾 (598 万元 / km<sup>2</sup>)<sup>[28]</sup> 和桑沟湾 (643.79 万元 / km<sup>2</sup>)<sup>[29]</sup> 浅海养殖生态系统服务价值平均值处于同一量级, 表明本文对江门市海洋生态系统服务价值的估算处于相对合理的范围。

在江门市海洋生态系统各亚类服务中, 食品供给 (37.90%) 和气候调节 (20.36%) 服务价值排在前两位, 与李志勇等<sup>[16]</sup> 提出的广东省近海以旅游娱乐 (48.14%) 和食品供给 (13.98%) 服务主导的结论存在差异。其主要原因在于江门市是海洋渔业大市, 其发达的近岸贝类养殖产业不仅贡献了巨额的食物供给价值, 更通过其独特的生态功能 (如贝壳长期固碳、生物过滤净化水体) 显著提升了调节服务的价值占比。这一发现反映了区域特色产业对生态系统服务价值构成的深刻影响。

从江门市海洋生态系统服务价值空间分布来看, 近岸养殖区成为“价值高地”, 而广阔的近海区价值

主要依赖于自然过程的初级生产力,这从空间维度上证实了贝类养殖对提升局部海域生态系统服务总量的显著作用。“近岸高一远海低”的格局符合人类活动强度随离岸距离增加而减弱的基本认知。对比江苏省近海生态系统服务价值主要集中在距离海岸线0~5.56 km的区域<sup>[26]</sup>,江门市拥有上川岛和下川岛两大海岛,服务价值高值区最远可以达到21.05 km。

#### 4.3 影响因素与优化路径

海洋生态系统服务价值受到自然因素与人为因素的双重驱动。气候变化(如水温升高、海洋酸化)可能影响初级生产力及贝类生长,从而动摇服务价值的基础;而陆源污染和过度捕捞等人类活动的压力则可能损害生态系统的健康状况与可持续供给能力。基于本文结论,针对江门市未来海洋开发与管理,提出以下建议。

(1) 实施基于生态价值的海洋空间规划:依据本文绘制的生态系统服务价值空间分布图,对近岸高价值养殖区实施优先保护,维持生态平衡。同时,在生态承载力允许且初级生产力较高的近海区域,科学规划与发展深远海生态养殖,拓展新的“蓝色粮仓”和“碳汇基地”。

(2) 推动养殖业的生态化与高值化转型:大力扶持像贝类养殖这样兼具供给与调节功能的“生态

友好型”产业。鼓励探索“贝—藻”混养等复合养殖系统,推动“养殖—修复”协同模式,如与海草场、红树林修复相结合,从而最大化其废弃物处理等调节服务功能<sup>[29-30]</sup>。

(3) 促进海洋产业多元化与科技赋能:针对基因资源开发、科研服务等技术含量较高、服务价值占比较低的问题,建议加大海洋科技投入,引导产业向海洋生物医药、功能性制品等高附加值领域延伸,构建现代化的海洋产业体系。

#### 4.4 主要结论

(1) 本文系统评估了2022年江门市海洋生态系统服务价值,总量为174.96亿元,结构上由供给服务(44.73%)、调节服务(37.94%)和文化服务(17.33%)共同构成,其中贝类养殖贡献了约9%的总价值,展现显著的生态经济效益。

(2) 江门市海洋生态系统服务价值在空间上呈现“近岸高一远海低”的分布规律,近岸价值由养殖活动驱动,远海价值则由初级生产力主导,养殖区的平均单位面积价值是未养殖区的8.6倍。

(3) 在遵循生态规律的前提下,于近海海域科学发展海水养殖产业,是协同提升江门市生态系统服务功能与资源利用效率,实现生态保护与经济发展双赢的有效路径。

#### 参考文献 (References):

- [1] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and human well-being: Synthesis[M]. Washington DC: Island Press, 2005.
- [2] BUONOCORE E, GRANDE U, FRANZESE P P, et al. Trends and evolution in the concept of marine ecosystem services: an overview[J]. Water, 2021, 13: 2060.
- [3] TOWNSEND M, DAVIES K, HANLEY N, et al. The challenge of implementing the marine ecosystem service concept[J]. Frontiers in Marine Science, 2018, 5: 359.
- [4] 聂睿, 诸葛亦斯, 李国强, 等. 基于土地利用的盐津河流域生态系统服务价值时空变化分析[J/OL]. 水生态学杂志, [2025-07-25]. <https://link.cnki.net/urlid/42.1785.X.20250430.0925.002>.  
NIE Rui, ZHUGE Yisi, LI Guoqiang, et al. Analysis of spatial and temporal changes in ecosystem service values in the Yanjin River Basin based on land use change[J/OL]. Journal of Hydroecology, [2025-07-25]. <https://link.cnki.net/urlid/42.1785.X.20250430.0925.002>.
- [5] 马欢, 秦传新, 陈丕茂, 等. 柘林湾海洋牧场生态系统服务价值评估[J]. 南方水产科学, 2019, 15(1): 10-19.  
MA Huan, QIN Chuanxin, CHEN Pimao, et al. Valuation of ecosystem service of marine ranching in Zhelin Bay[J]. South China Fisheries Science, 2019, 15(1): 10-19.
- [6] 李爱, 杨正先, 温泉. 温州海域生态系统的供给服务价值评估[J]. 应用海洋学学报, 2016, 35(1): 65-74.  
LI Ai, YANG Zhengxian, WEN Quan. Valuation on provisioning service in marine ecosystem of Wenzhou[J]. Journal of Applied Oceanography, 2016, 35(1): 65-74.

- [ 7 ] 叶卉, 谢小平, 贾艳红, 等. 基于 VGPM 模型的黄海海域生态系统服务价值评估[J]. 鲁东大学学报(自然科学版), 2017, 33(2): 171-176.  
YE Hui, XIE Xiaoping, JIA Yanhong, et al. Ecosystem services value evaluation of the Yellow Sea based on VGPM model[J]. Journal of Ludong University(Natural Science Edition), 2017, 33(2): 171-176.
- [ 8 ] 石洪华, 郑伟, 丁德文, 等. 典型海洋生态系统服务功能及价值评估: 以桑沟湾为例[J]. 海洋环境科学, 2008 (2): 101-104.  
SHI Honghua, ZHENG Wei, DING Dewen, et al. Valuation of typical marine ecosystem services: a case study in Sanggou Bay[J]. Marine Environmental Science, 2008 (2): 101-104.
- [ 9 ] 于宗赫, 江涛, 夏建军, 等. 大鹏澳牡蛎养殖区生态服务价值评估[J]. 水产学报, 2014, 38(6): 1-8.  
YU Zonghe, JIANG Tao, XIA Jianjun, et al. Ecosystem service value assessment for an oyster farm in Dapeng Cove[J]. Journal of Fisheries of China, 2014, 38(6): 1-8.
- [ 10 ] 焦梦雨. 江门市牡蛎养殖型海洋牧场多要素空间规划方法研究[D]. 广州: 中国科学院南海海洋研究所, 2024.  
JIAO Mengyu. Multi-factor spatial planning method for oyster aquacultural marine ranching in Jiangmen offshore waters[D]. Guangzhou: South China Sea Institute of Oceanology, CAS, 2024.
- [ 11 ] CULHANE F E, FRID C L J, GELABERT E R, et al. Assessing the capacity of European regional seas to supply ecosystem services using marine status assessments[J]. Ocean & Coastal Management, 2020, 190: 105154.
- [ 12 ] 张红会, 朱爱意, 王雪辉, 等. 珠海外伶仃海洋牧场生态系统服务价值评估研究[J]. 中国水运, 2023, 23(22): 51-54.  
ZHANG Honghui, ZHU Aiyi, WANG Xuehui, et al. Ecosystem service value evaluation of Zhuhai Wailingding marine ranch[J]. China Water Transport, 2023, 23(22): 51-54.
- [ 13 ] KUMAR P. The economics of ecosystems and biodiversity: ecological and economic foundations [M]. London: Earthscan, 2010.
- [ 14 ] BALMFORD A, FISHER B, GREEN R E, et al. Bringing ecosystem services into the real world: an operational framework for assessing the economic consequences of losing wild nature[J]. Environmental and Resource Economics, 2011, 48: 161-175.
- [ 15 ] DE GROOT R S, Wilson M A, Boumans R M J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services[J]. Ecological Economics, 2002, 41: 393-408.
- [ 16 ] 李志勇, 徐颂军, 徐红宇, 等. 广东近海海洋生态系统服务功能价值评估[J]. 广东农业科学, 2011, 38(23): 136-140.  
LI Zhiyong, XU Songjun, XU Hongyu, et al. Value assessment of offshore marine ecosystem service in Guangdong Province[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2011, 38(23): 136-140.
- [ 17 ] 郝林华, 何帅, 陈尚, 等. 海洋生态系统调节服务价值评估方法及应用: 以温州市为例[J]. 生态学报, 2020, 40(13): 4264-4278.  
HAO Linhua, HE Shuai, CHEN Shang, et al. Evaluation method and application on regulating service value in marine ecosystem: Wenzhou city's practice[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(13): 4264-4278.
- [ 18 ] 张继红, 方建光, 唐启升. 中国浅海贝藻养殖对海洋碳循环的贡献[J]. 地球科学进展, 2005, 20(3): 359-365.  
ZHANG Jihong, FANG Jianguang, TANG Qisheng. The contribution of shellfish and seaweed mariculture in China to the carbon cycle of coastal ecosystem[J]. Advances in Earth Science, 2005, 20(3): 359-365.
- [ 19 ] 张朝晖, 吕吉斌, 丁德文. 海洋生态系统服务的分类与计量[J]. 海岸工程, 2007, 26(1): 57-63.  
ZHANG Zhaohui, LYU Jibin, DING Dewen. Classification and quantification of marine ecosystem services[J]. Coastal Engineering, 2007, 26(1): 57-63.
- [ 20 ] REDFIELD A C, KETCHUM B H, RICHARDS F A. The influence of organisms on the composition of seawater[M]. New York: Wiley-Interscience, 1963.
- [ 21 ] 赵同谦, 欧阳志云, 王效科, 等. 中国陆地地表水生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J]. 自然资源学报, 2003 (4): 443-452.  
ZHAO Tongqian, OUYANG Zhiyun, WANG Xiaoke, et al. Ecosystem services and their valuation of terrestrial surface water system in China[J]. Journal of Natural Resources, 2003(4): 443-452.
- [ 22 ] 程飞, 纪雅宁, 李倨莹, 等. 象山港海湾生态系统服务价值评估[J]. 应用海洋学学报, 2014, 33(2): 222-228.  
CHENG Fei, JI Yaning, LI Juying, et al. Valuation of ecosystem services in Xiangshan Bay[J]. Journal of Applied Oceanography, 2014, 33(2): 222-228.
- [ 23 ] COSTANZA R, D'ARGE R, DE GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387: 253-260.

- [ 24 ] BRICKE S B, FERREIRA J G, ZHU Changbo, et al. The role of shellfish aquaculture in the reduction of eutrophication in an urban estuary[ J ]. *Environmental Science & Technology*, 2018, 52: 173-183.
- [ 25 ] 俞花美, 周宗尧, 李佳桐. 海南省近海生态系统服务功能价值评估[ J ]. *安徽农业科学*, 2016, 44(33): 68-71.  
YU Huamei, ZHOU Zongyao, LI Jiatong. Function value assessment of offshore marine ecosystem service in Hainan Province[ J ]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2016, 44(33): 68-71.
- [ 26 ] 夏涛, 陈尚, 张涛, 等. 江苏近海生态系统服务价值评估[ J ]. *生态学报*, 2014, 34(17): 5069-5076.  
XIA Tao, CHEN Shang, ZHANG Tao, et al. Valuation of ecosystem services in Jiangsu coastal waters[ J ]. *Acta Ecological Sinica*, 2014, 34(17): 5069-5076.
- [ 27 ] 黎鹤仙, 谭春兰. 浙江省海洋生态系统服务功能及价值评估[ J ]. *江苏农业科学*, 2013, 41(4): 307-310.  
LI Hexian, TAN Chunlan. Function value assessment of marine ecosystem service in Zhejiang Province[ J ]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2013, 41(4): 307-310.
- [ 28 ] 王兆礼, 张汉华, 朱长波, 等. 深澳湾养殖生态系统服务功能价值评估[ J ]. *海洋环境科学*, 2014, 33(3): 378-382.  
WANG Zhaoli, ZHANG Hanhua, ZHU Changbo, et al. Evaluation function of mariculture ecosystem service in Shen'ao Bay[ J ]. *Marine Environmental Science*, 2014, 33(3): 378-382.
- [ 29 ] 张朝晖, 吕吉斌, 叶属峰, 等. 桑沟湾海洋生态系统的服务价值[ J ]. *应用生态学报*, 2007, 18(11): 2540-2547.  
ZHANG Zhaohui, LYU Jibin, YE Shufeng, et al. The service value of marine ecosystem in Sanggou Bay [ J ]. *Journal of Applied Oceanography*, 2007, 18(11): 2540-2547.
- [ 30 ] KIM J K, KRAEMER G P, YARISH C. Field scale evaluation of seaweed aquaculture as a nutrient bioextraction strategy in Long Island Sound and the Bronx River Estuary[ J ]. *Aquaculture*, 2014, 433: 148-156.