

中国海洋渔业碳平衡状态及影响因素研究

田昊东, 孙圣杰, 李伟波, 乔之怡

(天津农学院 水产学院, 天津 300384)

摘要: 低碳是海洋循环经济实现的重要途径, 实现海洋渔业的碳平衡是海洋传统经济转变的重要发展方式。本文通过对 2013—2022 年全国及沿海 9 省(区)的海洋捕捞碳排放量与碳汇量测算, 在此基础上分析了全国及沿海 9 省(区)的碳平衡状态, 并利用灰色关联度分析碳平衡状态影响因素的关联度。结果表明除 2020 年-2022 年山东省的碳平衡状态为盈余外, 其他均为碳赤字状态。对于碳平衡状态的影响因素, 总体来看全国与沿海 9 省(区)关联度较大的是海洋捕捞产量、捕捞人员数量和海水养殖面积。最后从加快渔船的升级改造与更新淘汰、调整捕捞的作业方式、提高海水养殖贝藻类的养殖规模以及加快渔业专业合作组织的建立和加速推广渔业碳汇交易提出相关对策建议, 以期尽快地实现海洋渔业的碳平衡。

关键词: 海洋渔业; 碳平衡; 碳排放; 碳汇; 碳赤字

中图分类号: S931.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2023)9-0081-10

DOI: 10.11759/hyxx20221125001

近些年来, 全球受气候变化影响日益严重, 全球性的气候变暖也导致了自然灾害频发。2020 年 9 月中国提出了“力争在 2030 年前达到碳达峰, 2060 年前实现碳中和”的“双碳”目标。发展低碳经济产业, 有效地减少大气中二氧化碳等温室气体的排放, 已经成为了全球应对气候变化进而实现可持续发展的一个重要途径。海洋渔业在生产的过程中具有“碳源”和“碳汇”的双重特征^[1]。根据《联合国气候变化框架公约》里面对于“源”与“汇”的定义, 再结合海洋渔业的特点, 海洋捕捞渔船的燃油消耗是海洋渔业中重要的碳排放源^[1]。碳汇指的是从大气中移除二氧化碳、甲烷等导致温室效应的气体与气溶胶或初期形成的过程、活动和机制^[2]。TANG 等^[3]通过结合碳汇的概念, 提出了渔业碳汇的定义, 即通过渔业生产及收获活动, 将固定在水生生物产品中的碳移出水体的过程与机制。一般来说在渔业生产过程中不需要投食饵料的生产活动才具有碳汇功能, 例如海水养殖中的贝藻类的养殖。根据海洋渔业所具有的“碳源”和“碳汇”的双重特征, 海洋渔业是否能够转变其传统的经济发展方式, 能否实现海洋经济的循环发展, 海洋渔业碳平衡的实现在其中起到至关重要的作用。

目前国内外对海洋渔业碳排放开展了大量的研究。首先对于渔船作业过程碳排放的估算, 张祝利等^[4]

通过调研结果采用 CO₂ 排放量的计算方法, 对中国渔船的 CO₂ 排放量进行了估算, 结果表明: 2007 年中国捕捞作业单位产值碳排放量是农林渔牧行业平均水平的 3.4 倍。LEE 等^[5]利用生命周期评估法对韩国大型拖网、大型围网、丹麦式旋曳网和底层对拖网 4 种主要渔业类型的温室气体排放量进行了估算。其次岳冬冬等^[6]通过综合渔获量的规模、作业结构和作业类型对海洋捕捞渔业温室气体排放时序分析与因素分解, 总结出海洋捕捞渔业的温室气体排放呈现出稳定的上升趋势, 减排任务严峻。高源等^[7]首先基于泰尔指数、碳减排潜力模型对沿海各省海洋渔业碳排放的区域差异和减排潜力进行测算, 然后运用 GM(1, 1)模型对碳排放强度强度的变化进行预测, 结果表明, 碳排放强度 2020 年比 2005 年降低了 40%~45%, 海洋渔业碳排放强度可以实现“十四五”的减排目标。目前国内对贝藻类养殖的碳汇能力研究较多。国外对贝藻类养殖

收稿日期: 2022-11-25; 修回日期: 2023-02-05

基金项目: 天津市科学技术委员会生态环境治理科技重大专项 (18ZXSZSF00080)

[Foundation: Tianjin Science and Technology Commission, Science and Technology Major Project for Ecological and Environmental Management, No.18ZXSZSF00080]

作者简介: 田昊东(1995—), 男, 土家族, 贵州铜仁人, 在读硕士研究生, 主要从事渔业经济相关研究, E-mail: 15519074492@163.com; 乔之怡(1977—), 女, 通信作者, 天津人, 副教授, 主要从事水生态相关研究, E-mail: zhiyiqiao@tjau.edu.cn

的碳汇能力研究, ALVERA 等^[8]通过葡萄牙的 Tagus 河的藻类固碳量进行研究, 研究表明 Tagus 河的年固碳量超过 1.35×10^4 t。国内严立文等^[9]通过利用联合国粮食及农业组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)数据对中国 2009 年藻类碳汇量进行估算, 结果显示中国 2009 年藻类碳汇量为 78.38×10^4 t, 占世界的一半。还有部分专家学者对沿海各省市贝藻类养殖的碳汇能力进行了测算, 齐占会等^[10]测算出广东省 2009 年贝藻共吸收了 11×10^4 t 碳源, 碳汇的总价值在 $5\,940 \times 10^4 \sim 23\,800 \times 10^4$ 美元。李昂等^[11]测算出河北省 2010 年海水贝藻类养殖的碳汇量约为 2.75×10^4 t。纪建悦等^[12]测算出中国海水贝类 2012 年碳汇量为 97×10^4 t。于佐安等^[13]测算出辽宁省 2015 年-2017 年海水养殖贝藻碳汇年平均总量为 27.7×10^4 t。贺加贝等^[14]核算了烟台市 2010 年-2019 年海水养殖贝藻 10 年碳汇总量达 116.36×10^4 t, 相当于减排二氧化碳 426.65×10^4 t, 其价值约为 2.67 亿元。

关于海洋渔业碳平衡领域国内外研究较少。岳冬冬等^[1]通过对 2010 年与 2014 年数据进行区域特征分析, 结果表明, 中国沿海省份海洋渔业处于碳赤字状态, 其中浙江省的碳赤字规模最大; 然后对碳平衡状态进行长期趋势拟合, 结果显示, 中国海洋渔业碳赤字特征正在以平均每年 1.58×10^4 t 的规模缩小。邵桂兰等^[15]通过核算山东省 2003—2016 年海洋捕捞碳排放量与海水养殖的碳汇量, 发现山东省海洋渔业存在碳赤字, 提出加大贝藻养殖的投入, 充分发挥其固碳的功能。

综上, 大多数的专家学者分别从海洋渔业碳排放量以及碳汇量两个方面进行测算研究, 极少数对两者进行整体研究。且现有研究数据较为老旧, 不能很好反映出最新海洋渔业碳排放及碳汇的发展趋势。从已有的研究中可得知, 海洋捕捞渔业中的燃油消耗与海水养殖贝藻类的碳汇量是海洋渔业碳排放和碳汇的主要来源。本文在前人研究的基础上, 基于 2013 年—2022 年的相关数据对中国以及沿海省(区)海水养殖贝藻类的碳汇量以及海洋捕捞碳排放量进行测算, 对海洋渔业碳平衡的动态变化特征进行研究, 分析海洋渔业发展中存在的问题。中国除港澳台外, 一共有 11 个沿海省(区), 由于受到海域自然环境等因素影响, 上海市和天津市相对来说难以进行海水贝藻养殖生产^[1], 所以本文只对其他 9 省(区)进行研究。然后对碳平衡状态影响因素进行分析, 研究影响海洋碳平衡状态的主要因素, 并提出相应的对策

建议。本研究对中国及沿海 9 省(区)海洋渔业的碳平衡状态及影响因素进行研究, 可以为中国海洋渔业的平衡发展起到一定的借鉴意义。

1 材料与方法

1.1 数据来源

本文对于碳平衡的研究分别从海洋捕捞渔业的碳排放与海水养殖碳汇量来进行。其中碳排放按照不同作业方式, 根据渔船的功率进行测算。海水养殖碳汇量主要是用海水养殖贝藻类产量进行测算。其数据均来源于历年《中国渔业统计年鉴》^[16-25]。

本文碳平衡影响因素从生产要素、国家政策以及灾害 3 个方面选取 10 个指标, 分别是海水养殖面积、海水养殖人员、贝类产量、藻类产量、海洋捕捞产量、捕捞人员数量、推广机构数量、推广人员数量、推广经费以及灾害, 由于灾害不太好量化, 本文选取台风、洪涝的受损害面积来进行分析。所有数据来源于历年《中国渔业统计年鉴》^[16-25]。

1.2 研究方法

1.2.1 碳排放的计算

本文碳排放计算借鉴张祝利等^[26]在对中国渔船作业的过程中碳排放量进行估算的方法。由于不同的渔船作业方式不同其碳排放量也不同, 故本文在碳排放的计算过程中根据农业农村部发布的《国内机动渔船油价补助用油量测算参考标准》^[27]不同作业方式对应用油系数对不同的作业方式渔船进行计算。

1.2.2 海水养殖贝藻类碳汇测算方法

中国作为全球最大的水产养殖生产大国, 海水养殖产量与面积均为世界首位, 由海水养殖方向是促进海洋“低碳转型”经济发展方式的重要途径之一。2022 年海水养殖总产量 $2\,275.70 \times 10^4$ t, 其中贝类养殖量 $1\,569.58 \times 10^4$ t, 占海水养殖总量的 68.97%; 藻类养殖量为 271.39×10^4 t, 占海水养殖总量的 11.93%。贝类与藻类作为中国海水养殖的重要组成部分, 其养殖量占海水养殖的 80%以上。

本文对海水养殖贝类碳汇量的测算, 参考岳冬冬等^[28]对海水养殖贝类的直接碳汇核算的方法; 海水养殖藻类的碳汇量测算参照张继红等^[29]的核算方法。由于本文中所采用的藻类产量数据来源于历年《中国渔业统计年鉴》, 其统计的藻类产量均为淡干产量, 所以此处计算时不用考虑干湿的转换。

根据历年《中国渔业统计年鉴》，中国海水养殖贝类主要种类有牡蛎(Oyster)、鲍(Haliotis)、螺(Snail)、蚶(Bloodclam)、贻贝(Mussel)、江珧(*Atrina pectinata*)、扇贝(Scallop)、蛤(Clam)、蛭(*Sinonovacula constricta*)等 9 种，海水养殖藻类主要种类分别是海带(*Laminaria japonica*)、裙带菜(*Undaria pinnatifida*)、紫菜(*Porphyra tenera*)、江蓠(*Gracilaria lemaneiformis*)、麒麟菜(*Euचेuma serra*)、石花菜(*Gelidium amansii*)、羊栖菜(*Sargassum fusiforme*)、苔菜(*Enteromorpha prolifera*)等 8 种。目前部分贝藻种类尚未有其碳含量的详细参数，故本文借助现有研究成果对海水养殖贝藻类的碳汇量进行测算。

计算过程中，养殖贝藻类测算的干湿系数与碳含量参考岳冬冬等^[30]、周毅等^[31]、林贞贤等^[32]以及纪建悦等^[33]的相关研究。具体参数见表 1、表 2。

表 1 贝类碳汇测算参数

Tab. 1 Parameters for measuring shellfish carbon sinks

参数(%)	蛤 ^[30]	贻贝 ^[30]	扇贝 ^[30]	牡蛎 ^[30]	其他 ^[30]
贝类干湿转换系数	52.55	75.28	63.89	65.10	64.21
软体组织质量比质量	1.98	8.47	14.35	6.14	11.41
贝壳质量比质量	98.02	91.53	85.65	93.86	88.59
软体组织含碳量	44.9	44.4	43.9	45.89	43.87
贝壳含碳量	11.52	11.76	11.4	12.68	11.44

表 2 藻类碳汇测算参数

Tab. 2 Parameters for measuring algal carbon sinks

参数(%)	海带 ^[31]	江蓠 ^[31]	紫菜 ^[32]	裙带菜 ^[33]	其他 ^[33]
含碳量	31.2	20.6	38.19	26.4	30.36

1.2.3 碳平衡计算

基于第一节中所说，碳平衡即是海洋捕捞渔业碳排放量等于海水养殖贝藻类碳汇量，我们就可以认为海洋渔业实现了碳平衡。用公式表达如下：

$$C_T(m) = C_N(m) - C_{CO_2}(m), \quad (1)$$

$$C_N(m) = C_S(m) \times \beta, \quad (2)$$

式中： m 为年份， $C_T(m)$ 为 m 年的碳平衡状态(t)， $C_N(m)$ 为 m 年根据单位 CO_2 中所含碳的质量(27.27%)将海水养殖贝藻类碳汇量换算成减排 CO_2 的量(t)， β 为根据单位 CO_2 中所含碳的质量(27.27%)的碳换算二氧化碳常数 3.76， $C_S(m)$ 为 m 年海水养殖贝藻类碳汇总量(t)， $C_{CO_2}(m)$ 为 m 年海洋捕捞渔业的 CO_2 排放量(t)。根据以上公式：

当 $C_T(m)=0$ 时，该年处于碳平衡状态；当 $C_T(m)>0$ 时，该年处于碳盈余状态；当 $C_T(m)<0$ 时，该年则处于碳赤字状态。

1.2.4 碳平衡影响因素

本文采用灰色关联度分析法来分析各影响因素与价格之间的关联度。灰色关联分析是一种用灰色关联度顺序来描述因素之间关系的强弱、大小、次序的方法。其基本的思想是：以因素的数据为依据，用数学的方法来研究因素之间的几何对应关系。实际上就是对动态指标的量化分析，充分体现了动态意义^[34]。

第一步，选取数据，确立分析序列。设参考序列为：

$$x_0(k) = \{x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n)\}, k = 1, 2, \dots, n, \quad (3)$$

设比较序列为：

$$x_i(k) = \{x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n)\}, \quad (4)$$

$$k = 1, 2, \dots, n; i = 1, 2, \dots, m.$$

第二步，变量序列的无量纲化。由于各个数据的纲量不一，为了消除不同单位数值之间产生的影响保证计算结果的可靠性，需要采用某种方法对数据进行无量纲化，本文采用均值化法对数据进行无量纲化。

$$x_{0i}(k)' = \frac{x_i(k)}{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_i(k)}. \quad (5)$$

第三步，计算差序列。

$$\Delta_{0i}(k) = |x_{0i}(k)' - x_0(k)'|. \quad (6)$$

第四步，计算两级的最大差和最小差。

$$\Delta_{\max} = \max_i \max_k \Delta_{0i}(k), \quad (7)$$

$$\Delta_{\min} = \min_i \min_k \Delta_{0i}(k).$$

第五步，计算关联系数。 ρ 为分辨系数， $\rho \in (0, 1)$ 一般情况下取中间值 0.5。

$$\xi_{0i}(k) = \frac{\Delta_{\min} + \rho \Delta_{\max}}{\Delta_{0i}(k) + \rho \Delta_{\max}}. \quad (8)$$

第六步，计算关联度。

$$\gamma_{0i} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_{0i}(k). \quad (9)$$

2 结果与分析

2.1 碳排放结果分析

经计算得到全国以及沿海 9 个省(区)的海洋捕捞渔业碳排放估算值见表 3，全国碳排放 2013 年-2016 年呈现上升趋势，2017 年开始呈下降趋势，到 2020 年出现回升后又呈现出下降的趋势。各省(区)

来看碳排放最大的是浙江省, 2022 年碳排放量达到 403.19×10^4 t, 占全国的 23.95%。碳排放最少的是河北省, 2022 年其碳排放量为 39.30×10^4 t 占全国碳排放总量的 2.33%。根据趋势来看, 2013—2022 年沿海 9 省(区)都呈现出一定的上下波动趋势。不论从全国

的碳排放量还是从沿海各省(区)来看, 虽然中国以及各省(区)在减少海洋渔业碳排放方面实行了许多的措施, 但仍然有许多不足, 这需要我们不断对节能减排进行研究, 控制碳排放量, 争取早日实现蓝色经济建设。

表 3 海洋捕捞渔业碳排放估算结果(单位: 10^4 t)

Tab. 3 Estimated results of carbon emissions from marine capture fisheries

年份	全国	河北	辽宁	江苏	浙江	福建	山东	广东	广西	海南
2013	1 744.68	44.02	153.44	74.64	450.40	252.87	207.21	265.75	83.11	157.82
2014	1 805.78	45.74	155.08	74.28	455.62	265.33	223.73	267.83	82.13	179.40
2015	1 853.57	47.04	170.61	81.35	454.43	284.95	231.31	263.58	80.51	182.73
2016	1 843.01	42.84	154.94	80.58	439.96	282.58	236.44	259.32	84.72	187.01
2017	1 782.04	41.09	149.82	85.09	431.07	276.78	224.31	249.27	83.96	182.63
2018	1 761.98	41.17	158.31	83.47	434.73	282.27	213.12	235.84	82.43	180.40
2019	1 745.49	42.36	152.89	78.37	437.34	287.71	207.95	230.46	82.10	173.41
2020	1 817.40	42.35	156.19	74.67	442.54	286.31	201.65	216.59	75.20	180.18
2021	1 714.11	40.26	173.41	63.70	426.80	292.93	193.02	207.52	70.81	193.62
2022	1 683.29	39.30	166.33	53.86	403.19	304.13	195.50	221.82	70.89	181.47

2.2 海水养殖碳汇量结果分析

根据测算参数以及贝藻产量, 通过公式换算, 如图 1、图 2 所示, 全国养殖贝类中对碳汇贡献度最大的是牡蛎, 藻类贡献度最大的品种是海带。

2022 年牡蛎碳汇量达 59.40×10^4 t, 占养殖贝藻类养殖碳汇总量的 27.30%, 海带碳汇量 44.63×10^4 t, 占碳汇总量的 20.51%, 是中国主要的两种养殖贝藻类碳汇品种。

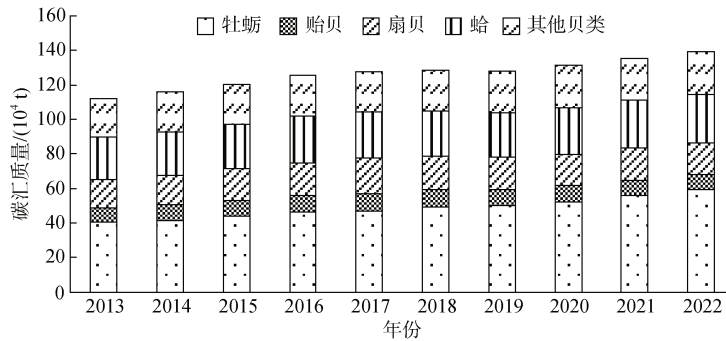


图 1 2013—2022 年海水养殖贝类从海水中移出的碳汇质量

Fig. 1 Mass of carbon sinks removed from seawater by mariculture shellfish, 2013-2022

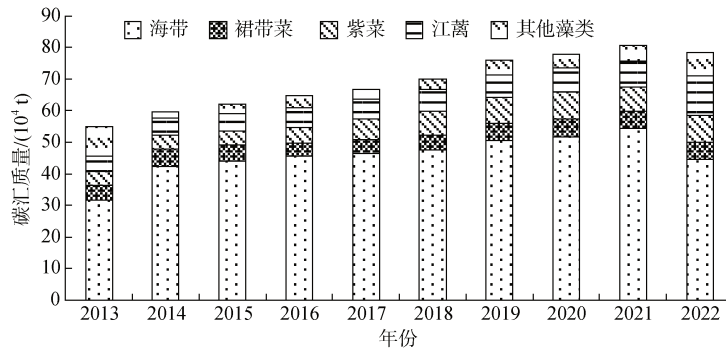


图 2 2013—2022 年海水养殖藻类从海水中移出的碳汇质量

Fig. 2 Mass of carbon sinks removed from seawater by mariculture algae, 2013-2022

根据表 4, 2013 年—2022 年全国海水养殖贝藻类累积碳汇量为 $1\,954.32 \times 10^4 \text{ t}$, 年平均量为 $195.43 \times 10^4 \text{ t}$, 根据单位 CO_2 中所含碳的质量(27.27%)计算, 相当于全国年平均减排 CO_2 量 $716.65 \times 10^4 \text{ t}$ 。从趋势来看全国呈现缓慢上升的状态, 沿海各省区福建省、广西壮族自治区以及浙江省呈缓慢上升, 其他省区

都呈现一定幅度的波动。各省区中山东、福建、辽宁 3 省在 2013 年—2022 年间排名均为前三, 海南省一直为碳汇量最少的省份。2022 年福建省海水养殖贝藻类碳汇量最大为 $68.12 \times 10^4 \text{ t}$, 山东省次之, 碳汇规模为 $58.02 \times 10^4 \text{ t}$ 。海南为碳汇规模最小的省份, 碳汇量仅为 $0.21 \times 10^4 \text{ t}$ 。

表 4 养殖贝藻类从海水中移出的碳汇质量(单位: 10^4 t)

Tab. 4 Mass of carbon sinks removed from seawater by cultured shellfish

年份	全国	河北	辽宁	江苏	浙江	福建	山东	广东	广西	海南
2013	167.17	4.05	27.88	6.83	8.19	45.02	48.24	19.4	6.58	0.79
2014	175.61	4.44	28.91	6.64	8.44	47.43	52.17	19.63	6.85	1.06
2015	182.22	4.56	29.24	6.35	8.91	50.67	54.26	19.88	7.26	1.03
2016	190.34	4.55	30.14	6.44	9.74	54.63	55.73	20.25	7.71	1.07
2017	193.94	4.72	29.93	7.02	11.58	56.53	56.33	18.87	8.14	0.75
2018	198.34	4.34	28.47	6.94	12.31	60.9	56.79	19.4	8.64	0.55
2019	203.93	3.56	31.77	6.88	13.09	64.74	54.95	19.68	8.95	0.32
2020	209.17	3.79	32.2	7.24	14.57	66.55	56.34	18.93	9.23	0.33
2021	216.01	4.19	34.06	7.07	14.58	68.98	58.92	18.28	9.96	0.29
2022	217.59	4.29	34.63	7.28	16.17	68.12	58.02	17.47	10.44	0.21

2.3 碳平衡结果分析

根据前两节对碳排放与碳汇量的测算结果, 再通过碳平衡的计算, 得出 2013—2022 年全国以及沿海 9 省(区)的海洋渔业碳平衡的状态见表 5。2013—2022 年间除山东省在 2020—2022 年是盈余的状态外, 全国及沿海 9 省(区)都呈现赤字的状态。全国 2013 年—2019 年赤字情况呈现逐渐减小, 2020 年有所增加, 随后呈现减小后又增加。沿海的各省(区)

由于地理位置、经济发展水平、气候条件等条件的不同, 在发展贝藻类养殖及海洋捕捞的方面也呈现出不同的特征, 所以在海洋渔业的碳平衡状态上也存在差异。浙江省的海洋渔业碳平衡赤字最为严重, 年均赤字达 $394.49 \times 10^4 \text{ t}$, 广东省次之, 年均 $166.55 \times 10^4 \text{ t}$ 。各省(区)的碳平衡赤字均呈现波动状态, 其中海南省的波动较大, 其他省份整体呈现减小的趋势。

表 5 中国海洋渔业碳平衡状态估算结果(单位: 10^4 t)

Tab. 5 Estimated results of the carbon balance state of China's marine fisheries

年份	全国	河北	辽宁	江苏	浙江	福建	山东	广东	广西	海南
2013	-1 131.65	-29.16	-51.22	-49.60	-420.36	-87.78	-30.33	-196.68	-58.97	-154.92
2014	-1 161.80	-29.45	-49.08	-49.94	-424.66	-91.40	-32.44	-191.58	-57.01	-175.51
2015	-1 185.38	-30.32	-63.38	-58.07	-421.77	-99.14	-32.34	-186.43	-53.87	-178.95
2016	-1 145.02	-26.14	-44.39	-56.95	-404.23	-82.26	-32.08	-175.03	-56.44	-183.07
2017	-1 070.86	-23.80	-40.07	-59.36	-388.59	-69.48	-17.73	-166.64	-54.12	-179.87
2018	-1 034.66	-25.26	-53.92	-58.04	-389.57	-58.94	-4.87	-159.31	-50.76	-178.39
2019	-997.68	-29.29	-36.38	-53.13	-389.35	-50.29	-6.45	-144.41	-49.29	-172.24
2020	-1 050.35	-28.45	-38.11	-48.11	-389.12	-42.29	4.94	-147.17	-41.33	-178.97
2021	-655.66	-24.88	-48.50	-37.79	-373.35	-39.98	23.06	-140.47	-34.30	-192.55
2022	-756.59	-23.57	-39.34	-27.17	-343.88	-54.33	17.27	-157.77	-32.60	-180.70

2.4 碳平衡影响因素分析

通过将碳平衡的状态作为参考序列,各影响因素指标作为比较序列,将数据导入灰色系统软件进行灰色关联度的计算,得到各影响因素的关联度值(表 6),关联度值介于 0~1,该值越大表明关联度越大。根据表 6 的结果来看,影响因素的关联度的值均大于 0.5。说明本文选取的影响因素具有一定的合理性。全国及沿海 9 省(区)碳平衡影响因素如下:

(1)全国:与全国碳平衡状态关联度最高的是海洋捕捞产量,其次是捕捞人员数量与推广机构数量,排名最低的是推广经费,其值为 0.647。

(2)河北:影响河北省碳平衡状态的因素中排名前三的分别是海水养殖面积、海水养殖人员与捕捞人员数量,藻类产量为排名最低的影响因素。

(3)辽宁:与辽宁碳平衡关联度最高的影响因素是海水养殖面积,其次依次是捕捞人员数量、海水养殖人员,其值均大于 0.9,表明关联程度很高。排名后三的分别是藻类产量、贝类产量以及灾害。

(4)江苏:关联度较高的依次是海洋捕捞产量、推广机构数量、推广人员数量、海水养殖面积、捕

捞人员数量以及海水养殖人员,其值均大于 0.85。

(5)浙江:海水养殖面积与浙江碳平衡状态关联度最高,其值为 0.952;最低的是灾害,关联度值为 0.553。

(6)福建:福建碳平衡状态关联度排名前 3 的分别是推广人员数量 0.681、海洋捕捞产量 0.681、海水养殖面积 0.676;排名后 3 的分别是推广经费 0.616、藻类产量 0.613、灾害 0.589。

(7)山东:山东碳平衡影响因素关联度最高的是海洋捕捞产量 0.769,关联度最低的是灾害 0.551。

(8)广东:关联度高于 0.9 的依次是捕捞人员数量、海洋捕捞产量、海水养殖面积、海水养殖人员、贝类产量以及藻类产量;关联度最低的是推广经费为 0.619。

(9)广西:与广西碳平衡关联度最高的是海洋捕捞产量 0.959,关联度最低的是灾害 0.7。藻类产量由于广西的地理位置、气候条件的限制,渔业年鉴中藻类产量为 0,所以其关联度值为 0。

(10)海南:关联度前三的分别是海水养殖人员 0.966、海洋捕捞产量 0.964 与捕捞人口数量 0.961,最低的是灾害 0.745。

表 6 中国海洋渔业碳平衡状态与影响因素的关联度

Tab. 6 Correlation between the state of the carbon balance of China's marine fisheries and the influencing factors

2013—2022 年	全国	河北	辽宁	江苏	浙江	福建	山东	广东	广西	海南
海洋捕捞产量(万吨)	0.932	0.946	0.887	0.903	0.903	0.681	0.769	0.957	0.959	0.964
捕捞人员数量(人)	0.882	0.97	0.939	0.883	0.95	0.674	0.745	0.969	0.901	0.961
推广机构数量(个)	0.877	0.953	0.819	0.896	0.911	0.676	0.757	0.829	0.85	0.922
推广人员数量(人)	0.865	0.969	0.859	0.896	0.793	0.681	0.758	0.884	0.881	0.933
海水养殖面积(千公顷)	0.846	0.977	0.946	0.893	0.952	0.655	0.726	0.947	0.861	0.948
海水养殖人员(人)	0.801	0.973	0.903	0.869	0.935	0.657	0.737	0.923	0.889	0.966
贝类产量(万吨)	0.796	0.954	0.786	0.675	0.791	0.621	0.723	0.916	0.841	0.932
藻类产量(万吨)	0.727	0.662	0.786	0.675	0.661	0.613	0.731	0.917	0	0.826
灾害(千公顷)	0.66	0.748	0.669	0.681	0.553	0.589	0.551	0.619	0.7	0.745
推广经费(万元)	0.647	0.907	0.821	0.769	0.767	0.616	0.68	0.649	0.738	0.896

3 讨论与建议

3.1 讨论

根据海洋渔业具备“碳源”与“碳汇”的双重特征,从海水养殖贝藻类碳汇与海洋捕捞碳排放来分析海洋渔业碳平衡状态。本文通过对 2013—2022 年中国整体与沿海 9 省(区)的碳平衡状态进行测算,结果表明除了山东省 2020—2022 年碳平衡状态为盈余外,其他的年份均为赤字的状态。从 2013—2022

年全国的碳平衡长期趋势来看,中国的碳平衡状态具有缓慢的减小趋势。通过加大对相关管理政策的制定与技术措施的支持,有效地减小海洋渔业的碳赤字,有助于推动海洋渔业绿色、低碳发展。根据海洋渔业碳平衡的影响因素的结果来看,影响全国及沿海 9 省市(区)海洋渔业碳平衡重要的一个因素是海洋捕捞产量,应当加快对捕捞渔船进行更新替换及加大对清洁能源的研究,进而减少碳排放量,有利于中国海洋渔业早日实现碳平衡。

有关于海洋渔业碳排放和海洋渔业碳汇的标准核算体系尚未建立,本研究主要关注海洋渔业生产的碳平衡状态,将海洋渔业“碳源”也就是海洋渔业碳排放限定为海洋捕捞渔船的油料消耗产生的碳排放,将“碳汇”只限定为海水养殖贝类与藻类产量的范围。但是,从实际的情况来看,对于“碳源”来说除了本研究所计算的海洋捕捞渔船油料消耗外,还存在其他的如养殖过程中所使用的水、电所产生的碳排放与近海或离岸外海在生产过程中使用渔船所产生的碳排放等。同样对于“碳汇”本研究主要参考其他专家学者大量的研究利用养殖贝藻类的产量来进行,但除了养殖贝藻类会产生碳汇外,滤食性鱼类养殖、增殖放流及捕捞渔业等都可能形成生物碳汇。而且贝藻类除了收获所移出的碳外,还包括其在生长过程中所使用的碳。如藻类生长过程中产生的碎屑有机碳,一部分会成为其他生物的食物来源,一部分则通过直接的沉降作用最终沉积埋藏于海底。另外,大型藻类在生长过程中释放的溶解有机碳(dissolved organic carbon, DOC)和颗粒有机碳(particulate organic carbon, POC),可以在微食物网作用下,进入食物网或形成惰性有机碳(recalcitrant dissolved organic carbon, RDOC)而长期驻留在海水中^[35-36]。所以这样的限定减少了一部分的重要内容,对于海洋渔业碳平衡状态的测算结论会有一些影响。为了可以准确、全面地对海洋渔业碳平衡状态特征进行测算,首先应对贝藻类整个生长过程中所使用的碳进行研究,建立其碳源汇的收支模型,减少碳汇计算的不确定性。然后从海洋捕捞渔业的碳排放以及海水养殖业的碳排放完整地来分析整个海洋渔业的碳排放规模;与此同时从海水养殖贝藻类碳汇、海洋捕捞渔业碳汇以及海洋的增殖放流等几个角度分析海洋渔业的碳汇规模。在此基础上,对海洋渔业的碳平衡状态进行全面的评估分析。

从本文的研究结果来看,中国海洋渔业碳平衡状态整体处于赤字的状态,减少海洋捕捞渔业的碳排放、增加海水养殖贝藻类的产量是减少海洋渔业赤字状态与发展低碳渔业的重要内容之一。根据碳平衡影响因素的研究结果来看本文选取的指标与碳平衡状态均会产生一定的影响,通过对影响因素进行调整可以实现海洋渔业的节能减排,对发展绿色、低碳的海洋渔业起到一定的促进作用。

3.2 对策与建议

3.2.1 加快渔船的升级改造与更新淘汰

中国海洋捕捞渔船的数量庞大、装备较为落后且小型渔船与老旧渔船较多,加快对渔船装备升级,更新淘汰木质、老旧渔船能有效减少碳排放。中央与地方可以设立一些专项补贴来鼓励企业和渔民来对渔船装备进行升级、对落后的老旧渔船进行更新淘汰。加大对清洁能源的使用,尽可能地使用清洁能源来替代柴油,从而实现低能耗的能源使用。

3.2.2 调整捕捞的作业方式

不同的作业方式对海洋渔业资源及生态环境有着不同的影响,拖网、围网和张网有较大的负面影响。首先应当调整渔业资源保护费的征收标准,对资源破坏性大的作业类型应该加大其征收的标准,相反对于资源影响较小的则可以少收或者是免去其相应的费用。其次调整渔业油补的政策,现行的油补政策主要是考虑降低渔业经营主体的油价成本,忽略了对渔业资源保护、降低捕捞强度所产生的负面影响。因此,建议对作业类型、资源保护、燃油排放等方面进行综合考虑来对油补标准进行调整。最后应当严格执行钓具的准入制度,减少钓具的不合理使用导致对海洋渔业资源的破坏。

3.2.3 提高海水养殖贝藻类的养殖规模

海水养殖贝藻类是形成渔业碳汇的重要部分,所以通过直接或间接的方式增加海水养殖贝藻类的产量就是增加海洋渔业的碳汇量。在适合大型藻类生长的相关海域扩大其养殖的面积,加大对含碳量较高的海带、紫菜等品种的养殖规模。对于贝类可以通过整体加大其养殖产量,每个品种只增不减,通过调整养殖结构增加含碳量高的牡蛎、贻贝与扇贝等品种的养殖产量。还可以创新养殖的模式,开展多层次的养殖技术,来实现贝类与藻类混养,从而提高产量。不断对贝藻类的养殖进行研究,让贝藻类的养殖可以适用于中国的各海域,进而实现贝藻类的增产。最后还可以延长产业链,通过贝藻类的自身特点来延长产业链,提高市场需求,增加其养殖产量。

3.2.4 加快渔业专业合作组织的建立,加速推广渔业碳汇交易

建设渔业合作组织在生产、疫病防治与流通等方面起到积极作用,可以有效减少灾害与疫病对贝藻类产量的影响,提高生产的规模,也可以有效地提高生产者的市场溢价能力,提高生产者

的弱势地位,促进贝藻类养殖产量的增加。2022年5月19日全国首例双壳贝类碳汇交易项目在莆田市秀屿区依托海峡资源环境交易中心完成,卖方林蚝(福建)水产有限公司额外增加收入20多万元。加快推广渔业碳汇交易不仅可以使养殖企业或渔民增加额外的收入,还可以提高其对贝藻类养殖的积极性,从而增加贝藻类的产量以及碳汇量,为中国实现“双碳”目标起到促进作用。

参考文献:

- [1] 岳冬冬,王鲁民,方海,等. 基于碳平衡的中国海洋渔业产业发展对策探析[J]. 中国农业科技导报, 2016, 18(4): 1-8.
YUE Dongdong, WANG Lumin, FANG Hai, et al. An analysis of countermeasures for the development of China's marine fisheries industry based on carbon balance[J]. China Agricultural Science and Technology Herald, 2016, 18(4): 1-8.
- [2] 高风. 联合国气候变化框架公约[J]. 世界知识, 1998, 2: 15.
GAO Feng. The united nations framework convention on climate change[J]. World Knowledge, 1998, 2: 15.
- [3] TANG Q, ZHANG J, FANG J. Shellfish and seaweed mariculture increase atmospheric CO₂ absorption by coastal ecosystems[J]. Marine Ecology Progress Series, 2011, 424(Mar.1): 97-104.
- [4] 张祝利,王玮,何雅萍. 我国渔船作业过程碳排放的估算[J]. 上海海洋大学学报, 2010, 19(6): 848-852.
ZHANG Zhuli, WANG Wei, HE Yaping. Estimation of carbon emissions from fishing vessel operations in China[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2010, 19(6): 848-852.
- [5] LEE J H, LEE C W. A quantitative analysis of GHG emissions from the Korean offshore large scale fisheries using an LCA method[J]. Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2011, 44(4): 383-389.
- [6] 岳冬冬,王鲁民,阮雯,等. 中国海洋捕捞渔业温室气体排放时序分析与因素分解[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(8): 1057-1063.
YUE Dongdong, WANG Lumin, RUAN Wen, et al. Time series analysis and factor decomposition of greenhouse gas emissions from marine capture fisheries in China[J]. Yangtze River Basin Resources and Environment, 2014, 23(8): 1057-1063.
- [7] 高源,付忠伟,张兆敏. 中国海洋渔业碳排放减排潜力及预测[J]. 广东海洋大学学报, 2022, 42(3): 39-44.
GAO Yuan, FU Zhongwei, ZHANG Zhaomin. Carbon emission reduction potential and prediction of marine fisheries in China[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2022, 42(3): 39-44.
- [8] AVERA-AZEARATE A, FERREIRA J G, NUNES J P. Modelling eutrophication in mesotidal and macrotidal estuaries. The role of intertidal seaweeds[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2003, 57(4): 715-724.
- [9] 严立文,黄海军,陈纪涛,等. 我国近海藻类养殖的碳汇强度估算[J]. 海洋科学进展, 2011, 29(4): 537-545.
YAN Liwen, HUANG Haijun, CHEN Jitao, et al. Estimation of carbon sink intensity of offshore algae farming in China[J]. Advances in Marine Science, 2011, 29(4): 537-545.
- [10] 齐占会,王珺,黄洪辉,等. 广东省海水养殖贝藻类碳汇潜力评估[J]. 南方水产科学, 2012, 8(1): 30-35.
QI Zhanhui, WANG Jun, HUANG Honghui, et al. Assessment of the carbon sink potential of mariculture-shellfish in Guangdong Province[J]. Southern Fisheries Science, 2012, 8(1): 30-35.
- [11] 李昂,刘存歧,董梦荟,等. 河北省海水养殖贝类与藻类碳汇能力评估[J]. 南方农业学报, 2013, 44(7): 1201-1204.
LI Ang, LIU Cunqi, DONG Menghui, et al. Assessment of carbon sink capacity of shellfish and algae in mariculture in Hebei Province[J]. Southern Journal of Agriculture, 2013, 44(7): 1201-1204.
- [12] 纪建悦,王萍萍. 海水养殖贝类碳汇分解研究——基于修正的 Laspeyres 指数分解法[J]. 中国渔业经济, 2016, 34(5): 79-84.
JI Jianyue, WANG Pingping. Decomposition of carbon sink of mariculture shellfish based on the modified Laspeyres index decomposition method[J]. China Fisheries Economy, 2016, 34(5): 79-84.
- [13] 于佐安,谢玺,朱守维,等. 辽宁省海水养殖贝藻类碳汇能力评估[J]. 大连海洋大学学报, 2020, 35(3): 382-386.
YU Zuo'an, XIE Xi, ZHU Shouwei, et al. Assessment of carbon sink capacity of marine aquaculture shellfish in Liaoning Province[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2020, 35(3): 382-386.
- [14] 贺加贝,孙俊荣,赵强,等. 烟台市贝藻养殖的碳汇贡献及能力评价[J]. 海洋湖沼通报, 2022, 44(3): 117-122.
HE Jiabei, SUN Junrong, ZHAO Qiang, et al. Evaluation of the carbon sink contribution and capacity of shellfish aquaculture in Yantai[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2022, 44(3): 117-122.
- [15] 邵桂兰,褚蕊,李晨. 基于碳排放和碳汇核算的海洋渔业碳平衡研究——以山东省为例[J]. 中国渔业经济, 2018, 36(4): 4-13.
SHAO Guilian, CHU Rui, LI Chen. Research on the carbon balance of marine fisheries based on carbon emission and carbon sink accounting - an example from Shandong Province[J]. China Fisheries Economy, 2018,

- 36(4): 4-13.
- [16] 农业部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴-2014[M]. 北京: 中国农业出版社, 2014.
Fisheries and Fishery Administration of the Ministry of Agriculture. China Fisheries Statistical Yearbook-2014[M]. China Agricultural Press, 2014.
- [17] 农业部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴-2015[M]. 北京: 中国农业出版社, 2015.
Fisheries and Fishery Administration of the Ministry of Agriculture. China Fisheries Statistical Yearbook-2015[M]. China Agricultural Press, 2015.
- [18] 农业部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴-2016[M]. 北京: 中国农业出版社, 2016.
Fisheries and Fishery Administration of the Ministry of Agriculture. China Fisheries Statistical Yearbook-2016[M]. China Agricultural Press, 2016.
- [19] 农业部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴-2017[M]. 北京: 中国农业出版社, 2017.
Fisheries and Fishery Administration of the Ministry of Agriculture. China Fisheries Statistical Yearbook-2017[M]. China Agricultural Press, 2017.
- [20] 农业农村部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴-2018[M]. 北京: 中国农业出版社, 2018.
Bureau of Fisheries and Fishery Administration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs. China Fisheries Statistical Yearbook-2018[M]. China Agricultural Press, 2018.
- [21] 农业农村部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴-2019[M]. 北京: 中国农业出版社, 2019.
Bureau of Fisheries and Fishery Administration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs. China Fisheries Statistical Yearbook-2019[M]. China Agricultural Press, 2019.
- [22] 农业农村部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴-2020[M]. 北京: 中国农业出版社, 2020.
Bureau of Fisheries and Fishery Administration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs. China Fisheries Statistical Yearbook-2020[M]. China Agricultural Press, 2020.
- [23] 农业农村部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴-2021[M]. 北京: 中国农业出版社, 2021.
Bureau of Fisheries and Fishery Administration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs. China Fisheries Statistical Yearbook-2021[M]. China Agricultural Press, 2021.
- [24] 农业农村部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴-2022[M]. 北京: 中国农业出版社, 2022.
Bureau of Fisheries and Fishery Administration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs. China Fisheries Statistical Yearbook-2021[M]. China Agricultural Press, 2022.
- [25] 农业农村部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴-2023[M]. 北京: 中国农业出版社, 2023.
Bureau of Fisheries and Fishery Administration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs. China Fisheries Statistical Yearbook-2021[M]. China Agricultural Press, 2023.
- [26] 张祝利, 王玮, 何雅萍. 我国渔船作业过程碳排放的估算[J]. 上海海洋大学学报, 2010, 19(6): 848-852.
ZHANG Zhuli, WANG Wei, HE Yaping. Estimation of carbon emissions from fishing vessel operations in China[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2010, 19(6): 848-852.
- [27] 农业部办公厅. 国内机动渔船油价补助用油量测算参考标准[S]. 农办渔[2010]1号, 2010.
General Office of the Ministry of Agriculture. Reference Standard for Measuring Fuel Consumption for Motorised Fishing Vessel Fuel Price Subsidy in China[S]. Agriculture and Fisheries [2010] No.1, 2010.
- [28] 岳冬冬, 王鲁民. 中国海水贝类养殖碳汇核算体系初探[J]. 湖南农业科学, 2012, 15: 120-122.
YUE Dongdong, WANG Lumin. A preliminary study on carbon sink accounting system for marine shellfish aquaculture in China[J]. Hunan Agricultural Science, 2012, 15: 120-122.
- [29] 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, 3: 359-365.
ZHANG Jihong, FANG Jianguang, TANG Qisheng. The contribution of shallow sea shellfish aquaculture to the ocean carbon cycle in China[J]. Advances in Earth Sciences, 2005, 3: 359-365.
- [30] 岳冬冬, 王鲁民. 基于直接碳汇核算的长三角地区海水贝类养殖发展分析[J]. 山东农业科学, 2012, 44(8): 133-136.
YUE Dongdong, WANG Lumin. Analysis of the development of marine shellfish aquaculture in the Yangtze River Delta based on direct carbon sink accounting[J]. Shandong Agricultural Science, 2012, 44(8): 133-136.
- [31] 周毅, 杨红生, 刘石林, 等. 烟台四十里湾浅海养殖生物及附着生物的化学组成、有机净生产量及其生态效应[J]. 水产学报, 2002, 1: 21-27.
ZHOU Yi, YANG Hongsheng, LIU Shilin, et al. Chemical composition, net organic production and ecological effects of shallow mariculture and attached organisms in Yantai Shili Bay[J]. Journal of Aquaculture, 2002, 1: 21-27.
- [32] 林贞贤, 汝少国, 杨宇峰. 大型海藻对富营养化海湾生物修复的研究进展[J]. 海洋湖沼通报, 2006, 4: 128-134.
LIN Zhenxian, RU Shaoguo, YANG Yufeng. Progress of bioremediation of eutrophic bays by macroalgae[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2006, 4: 128-134.
- [33] 纪建悦, 王萍萍. 我国海水养殖藻类碳汇能力及影响因素研究[J]. 中国海洋大学学报(社会科学版), 2014, 4: 17-20.
JI Jianyue, WANG Pingping. Study on the carbon sink capacity of mariculture algae in China and the influencing factors[J]. Journal of Ocean University of China (Social Science Edition), 2014, 4: 17-20.

- [34] 谭学瑞, 邓聚龙. 灰色关联分析: 多因素统计分析新方法[J]. 统计研究, 1995, 3: 46-48.
TAN Xuerui, DENG Julong. Grey correlation analysis: a new approach to multi-factor statistical analysis[J]. *Statistical Research*, 1995, 3: 46-48.
- [35] 张永雨, 张继红, 梁彦韬, 等. 中国近海养殖环境碳汇形成过程与机制[J]. 中国科学: 地球科学, 2017, 47(12): 1414-1424.
ZHANG Yongyu, ZHANG Jihong, LIANG Yantao, et al. Processes and mechanisms of carbon sink formation in China's offshore aquaculture environment[J]. *China Science: Earth Science*, 2017, 47(12): 1414-1424.
- [36] 张继红, 刘纪化, 张永雨, 等. 海水养殖践行“海洋负排放”的途径[J]. 中国科学院院刊, 2021, 36(3): 252-258.
ZHANG Jihong, LIU Jihua, ZHANG Yongyu, et al. Ways for mariculture to practice "negative ocean emissions"[J]. *Journal of the Chinese Academy of Sciences*, 2021, 36(3): 252-258.

State of carbon balance and impact factors of marine fishery in China

TIAN Hao-dong, SUN Sheng-jie, LI Wei-bo, QIAO Zhi-yi
(College of Aquatic, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China)

Received: Nov. 25, 2022

Key words: marine fisheries; carbon balance; carbon emissions; carbon sinks; carbon deficit

Abstract: Low carbon is crucial in realizing the circular economy of the ocean, and achieving carbon balance in marine fisheries is a critical development method for transforming the traditional economy of the ocean. This study analyzes the carbon balance in China in general and nine coastal provinces (districts) in particular on the basis of the carbon emissions and sinks in marine fishing from 2013 to 2022. The results show that except for Shandong Province, which has a carbon balance status of surplus in 2020-2022, all others have a carbon deficit status. As for the factors affecting the carbon balance status, in general, the factors that have a greater correlation with the nine coastal provinces (districts) in the country are marine capture production, the number of fishing personnel and the area of mariculture. Finally, we propose countermeasures to accelerate the upgrade and renovation of fishing vessels, adjust the operation mode of fishing, and increase the scale of mariculture shellfish and algae farming. Furthermore, we provide recommendations for hastening the establishment of professional fishery cooperative organizations and accelerating the promotion of fishery carbon trading to achieve carbon balance in marine fisheries as soon as possible.

(本文编辑: 谭雪静)