

海洋碳汇渔业低碳绩效测度与时空差异性分析

郑 鹏, 赵丽男, 刘永权, 贾文静

(大连海洋大学 经济管理学院, 辽宁 大连, 116023)

摘 要:将海洋渔业固碳量与碳排放分别视为期望与非期望产出引入碳汇渔业生产绩效分析框架,以 2007—2021 年中国沿海九个百分点海洋渔业面板数据为样本,构建 DEA-Malmquist 模型评估我国沿海九个百分点碳汇渔业低碳绩效指数,并分析其时空差异。研究结果表明:2008—2021 年沿海九个百分点碳汇渔业低碳绩效指数呈现出明显差异,碳汇渔业低碳绩效指数的提高,主要是技术进步效率指数推动的;在研究时段内,沿海九个百分点碳汇渔业低碳绩效指数得到持续改善,河北省和江苏省的低碳绩效指数相对较低;碳汇渔业低碳绩效水平有一定的波动性,其增长动力比较单一,需要进一步改善技术效率,实现技术效率和技术进步的双重驱动。

关键词:海洋碳汇渔业; 低碳绩效评价; DEA-Malmquist 模型

中图分类号:F326.4

文献标识码:A

文章编号:1007-6336(2024)01-0057-07

Low carbon performance measurement and spatiotemporal difference analysis of Marine carbon sink fisheries

ZHENG Peng, ZHAO Linan, LIU Yongquan, JIA Wenjing

(Dalian Ocean University, School of Economics and Management, Dalian 116023, China)

Abstract: Carbon sequestration and carbon emission of marine fisheries are considered as expected and unexpected outputs, respectively, and introduced into the production performance analysis framework of carbon sink fisheries. Based on the panel data of marine fisheries in nine coastal provincial-level administrative regions of China from 2007 to 2021, a DEA-Malmquist model is constructed to evaluate the low-carbon performance index of carbon sink fisheries in nine coastal provincial-level administrative regions of China, and its temporal and spatial differences are analyzed. The results show that the low-carbon performance index of carbon sink fisheries in nine coastal provincial-level administrative regions shows obvious differences, the improvement of low-carbon performance index of carbon sink fishery in nine coastal provincial-level administrative regions in China is driven by the efficiency index of technological progress; The low carbon performance index of carbon sink fisheries in nine coastal provincial-level administrative regions has been continuously improved and Hebei province and Jiangsu province have the lowest low-carbon performance index from 2008 to 2021; The low-carbon level of carbon sink fishery fluctuates to a certain extent, and its growth momentum is relatively simple. It is necessary to further improve technical efficiency and realize the dual drive of technical efficiency and technical progress.

Key words: marine carbon sink fishery; low carbon performance evaluation; DEA-Malmquist model

收稿日期: 2023-03-20, 修订日期: 2023-09-08

基金项目: 辽宁省教育厅高等学校基本科研项目(碳中和目标下中国海洋渔业绿色发展评价体系研究, LJKR0259)

作者简介: 郑 鹏 (1972—), 男, 江苏南京人, 教授, 主要研究方向为海洋碳汇, E-mail: zhengpeng@dlou.edu.cn

海洋是全球最大的碳库,发展海洋碳汇,对我国“双碳”目标的实现具有十分重要的意义。

“渔业碳汇”是海洋碳汇的主要组成部分^[1],它是通过渔业生产活动促进水生生物吸收或使用水体中 CO_2 等温室气体,并通过收获把这些已经转化为生物产品的碳移出水体或通过生物沉积作用将其沉降于水底的过程和机制^[2]。在渔业生产活动中,发挥碳汇功能主要有以下三种方式:第一,养殖藻类海带、江蓠、麒麟菜等水生藻类,它们在生长繁殖过程中通过光合作用直接吸收水体中的 CO_2 ,发挥碳汇功能;第二,滤食性贝类和鱼类等养殖生物,在成长过程中通过大量滤食浮游植物及有机物碎屑等颗粒有机碳,以及贝壳形成过程中使用无机碳,均间接促进了碳汇功能的发挥;第三,渔业生物群体,包括以浮游生物、贝藻类以及较低营养层级种类为食的鱼类、甲壳类等生物资源,它们通过食物网机制,在不同营养层级使用碳产品,间接发挥碳汇功能。无论哪一种方式,渔业碳汇功能的过程都是通过水生植物在生长或繁殖过程中通过吸收水体中的 CO_2 等碳元素完成的,水生植物在渔业碳汇过程中发挥了重要作用。“碳汇渔业”是指依靠水生生物自有的固碳能力,清除或移出海水中溶解的 CO_2 气体,影响海洋碳循环能力的过程、活动或机制的渔业生产活动^[2]。实际上,凡是不需要投饵的渔业生产活动,就具有碳汇功能,我们称之为“碳汇渔业”。它主要包括藻类养殖、滤食性贝类和鱼类养殖等^[2]。而“低碳渔业”是指直接、间接发挥自身碳汇功能的渔业,或者借助低碳技术、理念对产业各环节进行低碳化改造后的渔业^[3]。渔业因其具有“碳源”与“碳汇”的双重功能,在我国努力转变经济社会发展方式的过程中,应积极发挥渔业的碳汇功能,缩减渔业产业发展过程中产生的碳排放量,实现渔业低碳发展。

近些年,国内外学者针对低碳渔业展开了丰富的研究,主要集中在以下三个方面:(1)碳汇渔业概念及发展对策研究。岳冬冬等从渔业碳汇功能和低碳技术角度出发对低碳渔业进行了定义,分析了我国低碳渔业的三种可行路径及其特点^[3]。唐启升等对现代渔业发展现状进行阐述,

对“渔业碳汇”与“碳汇渔业”进行了区分,对渔业发展新模式和渔业工程技术体系进行了阐述^[2]。(2)海洋渔业碳汇能力评价研究。杨林等把贝藻通过释放POC和DOC形成的碳汇纳入测算模型,评估中国海洋渔业碳汇能力。研究发现:2020年中国海洋渔业碳汇能力达302.63万吨/年,区域差异显著;预计2030年海洋渔业碳汇能力为335.51~399.92万吨/年,碳汇增长潜力有限^[4]。孙立伟等基于常见的11种养殖贝类的固碳系数和蛋白质含量对贝类养殖低碳效应进行评价,核算发现贝类固碳量不能忽视,贝类固碳强度大,其提供的蛋白质相比于牛肉源蛋白可减少4048.74万吨的 CO_2 排放当量^[5]。于佐安等从物质质量评估和价值量评估两方面对2015—2017年辽宁省贝藻类养殖的碳汇能力进行定量评估,结果表明:辽宁省海水养殖贝藻类平均每年移除碳约27.77万吨,相当于101.82万吨 CO_2 ,减排这些 CO_2 所需费用约1.60亿元,辽宁省碳汇渔业具有巨大生态效益和经济效益^[6]。张麋鸣等评估了福建省贝藻类养殖碳汇潜力,发现福建省在全国贝藻类养殖中碳汇强度占比较大,且逐年递增,具有较强的海水贝藻类养殖碳汇潜力^[7]。(3)碳汇渔业绿色效率测度及空间效应研究。国外学者Huguenin和Rothwell以单位面积产量表征海洋网箱养殖效率,第一次对海水养殖的效率进行了评估^[8]。张樨樨等运用超效率模型对我国海洋碳汇渔业绿色效率进行测度,研究发现中国海洋碳汇渔业绿色效率呈现区域差异与时序变化特征且不同省份海洋碳汇渔业绿色效率存在空间关联性^[9]。徐敬俊等运用空间杜宾模型发现中国海水养殖碳汇量各省份存在明显差异且在空间分布上具备显著的相关性^[10]。朱爱方等运用包含生态环境的随机前沿生产函数、泰尔指数量化我国海洋渔业绿色生产效率,研究发现,我国海洋渔业绿色生产效率呈逐年上升趋势,区域差距逐渐缩小^[11]。

综上所述,前期的研究成果为本文提供了较为充盈的启发,但目前国内外关于低碳的研究多集中在工业碳排放和低碳农业上,针对碳汇渔业低碳绩效的研究还相对匮乏。低碳绩效能从多角度全方位分析低碳发展程度与效率水平,反映

渔业经济与低碳发展水平之间的关系。故本文在前人对渔业碳汇能力测算基础之上, 借鉴低碳绩效在工业领域的研究思路, 全面对沿海九个省份海洋碳汇渔业低碳绩效展开深入研究, 充分考虑“碳源”与“碳汇”双重属性, 将海洋渔业碳汇与碳排放分别视为期望与非期望产出引入渔业生产绩效分析框架, 运用 DEA-Malmquist 模型评估海洋碳汇渔业低碳绩效水平, 并进行时空差异性分析。

1 材料与方法

1.1 研究方法

1.1.1 渔业碳排放量测算方法

碳排放量的计算借鉴张祝利等^[12] 估算渔船碳排放量的方法, 采用美国橡树岭国家实验室 (ORNL) 提出来的化石燃料燃烧释放 CO₂ 的算法^[13], 计算公式如下:

$$Q_C = Q_E \times F_C \times C \times \xi \quad (1)$$

式中: Q_C 为碳量 (t); Q_E 为有效氧化分数 0.982; F_C 为每吨标煤含碳量 0.73257; C 为耗煤量; ξ 为在获得相同热能的情况下, 燃油排放 CO₂ 与燃煤排放 CO₂ 的比值, 为常数 0.813。

应用于本文中海洋捕捞业碳排放的测算公式可变形为:

$$Q_{\text{燃油}} = Q_E \times F_C \times P_{\text{燃油}} \times h \times \xi \quad (2)$$

式中: $Q_{\text{燃油}}$ 为渔船碳排放量 (t); $P_{\text{燃油}}$ 为海洋捕捞业渔船燃油消耗量, h 是燃油折标准煤系数 1.4571^[14]。

$$Q_{\text{CO}_2} = Q_{\text{燃油}} \times \omega \quad (3)$$

式中: Q_{CO_2} 为 CO₂ 释放量; ω 为碳换算二氧化碳常数 3.67 (以 CO₂ 的碳含量为 0.2727 计算)。

同时, 在计算燃油消耗量 $P_{\text{燃油}}$ 时, 根据渔船作业方式的不同按如下公式计算, 不同作业方式用油系数参见表 1 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》。

$$P_{\text{燃油}} = \sum_{j=1,2,\dots,6} (\text{作业方式功率}_j \times \text{用油系数}_j) \quad (4)$$

表 1 渔船功率系数

Tab.1 Power factor of fishing vessels

渔船类型	拖网	围网	刺网	张网	钓具	其他
用油系数 t/w	0.48	0.49	0.45	0.34	0.33	0.31

1.1.2 渔业固碳量测算方法

海水增养殖是我国海洋渔业碳汇发展的主要方式^[9], 我国海水增养殖品种主要包括贝类、藻类、鱼类、甲壳类和其他, 相应的海水养殖碳汇也应包括上述几类。由于鱼类、甲壳类等养殖过程中需要投入饵料, 而贝藻类养殖不需要投放饵料, 通过直接固碳的方式可获得大量可移出碳汇, 是中国海水养殖碳汇的主要品种, 因此本文的海水养殖碳汇主要包括贝类和藻类碳汇。借鉴邵桂兰等^[15] 的研究方法, 运用物质质量评估法来估算沿海省份的海洋渔业固碳量, 具体碳汇量核算公式如下:

$$C_{\text{碳汇总量}} = C_{\text{贝类固碳量}} + C_{\text{藻类固碳量}} \quad (5)$$

$$C_{\text{贝类固碳量}} = C_{\text{软组织中碳含量}} + C_{\text{壳中碳含量}} \quad (6)$$

$$C_{\text{软组织中碳含量}} = P_{\text{软组织产量}} \times \phi_1 \quad (7)$$

$$C_{\text{壳中碳含量}} = M_{\text{壳的质量}} \times \phi_2 \quad (8)$$

$$P_{\text{软组织产量}} = P_{\text{贝类产量}} \times \omega_1 \quad (9)$$

$$M_{\text{壳的质量}} = P_{\text{壳类产量}} \times \omega_2 \quad (10)$$

式中: ϕ_1 、 ϕ_2 分别表示软组织的碳含量比例和壳的碳含量比例, ω_1 、 ω_2 分别表示软组织质量比重和壳的质量比重, 具体见表 2。

表 2 主要贝类碳汇参数^[16-17]

Tab.2 Main shellfish carbon sink parameters

碳汇参数	牡蛎	贻贝	扇贝	蛤	蛏子	其他
干湿比系数	0.65	0.75	0.64	0.53	0.71	0.64
贝壳干质量占比	0.94	0.92	0.86	0.98	0.97	0.89
贝壳含碳量/(%)	12.68	11.76	11.4	11.52	13.24	11.44
软组织干质量占比	0.06	0.09	0.14	0.02	0.03	0.11
软组织含碳量/(%)	45.98	44.4	43.9	44.9	44.99	43.87

$$C_{\text{藻类固碳量}} = P_{\text{藻类产量}} \times \lambda(c) \quad (11)$$

式中: $\lambda(c)$ 表示不同藻类的碳含量比例, 见表 3。

表 3 主要藻类碳汇参数^[18]

Tab.3 Main algal carbon sink parameters

碳汇参数	海带	紫菜	裙带菜	江蓠	石花菜	其他
干湿比系数	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
含碳量/(%)	31.20	27.39	26.40	20.60	30.70	27.76

1.1.3 渔业碳汇边际碳减排成本测算方法

在本文投入要素中引入渔业碳排放边际减

排成本,以使得渔业低碳绩效指数的测算结果更加准确。渔业碳排放边际减排成本以影子价格来表征。即在某一特定投入下,单位渔业碳排放变化量所引起的渔业经济总产值变化量,该变化量即为每减少一单位的渔业碳排放所消减的渔业经济产出值。

1.1.4 碳汇渔业低碳绩效测度方法

本文运用数据包络分析(DEA-Malmquist)模型对我国沿海九个省份的海洋碳汇渔业低碳绩效进行测度与评价。根据碳汇渔业投入与产出变量测算碳汇渔业低碳绩效水平,根据绩效指数与分解指数的时空差异进行分析与区域比较。

1.2 模型设定

Malmquist 指数可分解为技术效率变化(EC)和技术变化(TC):

$$M(x^{t+1},y^{t+1},x^t,y^t)$$
$$=\frac{D^{t+1}(x^{t+1},y^{t+1})}{D^t(x^t,y^t)}\sqrt{\frac{D^t(x^t,y^t)D^t(x^{t+1},y^{t+1})}{D^{t+1}(x^t,y^t)D^{t+1}(x^{t+1},y^{t+1})}}$$
$$=EC\times TC$$

(12)

式中: M 表示被测算决策单元 Malmquist 指数; t 表示研究的时期; (x^t,y^t) 与 (x^{t+1},y^{t+1}) 分别代表决策单元在 t 和 $t+1$ 时期内投入与产出的变量; D^t 与 D^{t+1} 分别表示 t 和 $t+1$ 时期为参考前沿的距离函数; EC 表示技术效率; TC 表示技术变化。当 $M>1$ 时,表示生产率提高;当 $M<1$ 时,表示生产率下降;当 $M=1$ 时,表示生产率没有变化。

在规模收益 VRS 可变条件下,技术效率变化(EC)可拆分为纯技术效率(PEC)变化和规模效率(SEC)。所以,可将 Malmquist 指数表达为:

$$M(x^{t+1},y^{t+1},x^t,y^t)$$
$$=PEC\times SEC\times TC$$
$$=PEC\times SEC\times PTC\times STC$$

(13)

1.3 变量选取

基于柯布-道格拉斯生产函数可知资本和劳动力是重要的生产要素,本文在借鉴农业低碳发展相关研究成果^[19-20]与碳汇渔业低碳发展相关研究成果^[10-11]基础之上,遵循数据的可获得性、准确性原则,采用已有的农业低碳绩效测算方法,将环境因素、碳汇渔业碳排放边际减排成本等因素纳入测算体系,构建含有期望产出与非期望产出的碳汇渔业低碳指标体系。选取碳汇渔

业生产过程中机械总动力、渔业从业人员、海水养殖面积、科技推广经费和碳汇渔业碳排放边际减排成本作为碳汇渔业投入指标。其中,机械总动力用《中国渔业统计年鉴》中海水养殖渔船功率表示;借鉴张桦樨^[9]等提出的用海水养殖经济总产出和海洋渔业碳汇量作为碳汇渔业期望产出;渔业生产必然会带来非期望的碳排放产出,本文选用不同作业方式的渔船碳排放量表征非期望产出变量,具体指标体系见表 4。

表 4 碳汇渔业低碳绩效指标体系

Tab.4 Low carbon performance indicator system of carbon sink fisheries

类别	对象	指标解释
投入指标	海水养殖面积	海洋渔业养殖面积
	机械总动力	海水养殖渔船功率
	劳动力投入	海洋渔业从业人员数量
	科技投入	科技推广业务经费
期望产出	碳排放边际减排成本	渔业碳排放边际减排成本
	海洋渔业经济价值	海洋渔业总产值
	海洋渔业碳汇量	$C_{\text{碳汇总量}}=C_{\text{贝类固碳量}}+C_{\text{藻类固碳量}}$
非期望产出	海洋渔业碳排放量	不同作业方式的渔船燃油碳排放量

2 结果与讨论

2.1 数据来源与描述性分析

研究对象为中国沿海九个省份(天津、上海因为数据缺失以及渔业规模较小,对回归结果不会产生太大影响,故不予考虑在内)。投入和产出变量中,渔业碳排放量与碳汇量的测算结果由前文提到的测算方法得到,渔业碳排放边际减排成本由影子价格的测算结果表示,其他数据均来自 2007—2022 年《中国渔业统计年鉴》《中国渔业年鉴》《中国统计年鉴》以及中国海洋信息网发布的统计年鉴和统计公报等。描述性统计分析结果见表 5 所示。

由表 5 投入与产出变量描述性分析可知,我国沿海九个省份渔业碳汇与碳排放量差距巨大。渔业碳汇量最大值为 666568.6 吨,最小值仅为 234.77 吨,均值为 170754 吨,三者相差较大,表明各省份的碳汇能力相差比较大,技术的进步使渔业产量有了明显的提升,但由于各地区间渔

表 5 投入与产出变量描述性分析

Tab.5 Descriptive analysis of input-output variables

投入与产出变量	单位	均值	最大值	最小值	标准差
渔业碳排放量	吨	2016413	5016647	410333.9	1281701
渔业碳汇量	吨	170754	666568.6	234.77	186087.8
海水养殖经济总产出	万元	2927104	10700000	250937	2502951
养殖渔船功率	千瓦	1260599	3862075	233	1089174
海水养殖面积	公顷	224698.3	942050	9120	230170.6
渔业从业人员	人	788427.3	1876285	84471	411204
水产技术推广经费	万元	10785.68	38603.48	337	9320.21
碳排放边际减排成本	元/吨	65.75	2656.90	0.19	251.70

业品种与单位面积产量存在差异,进而产生碳汇差距。海水养殖经济总产出最大值与最小值的差异仍然很大,沿海九个省份在渔业碳汇经济发展上有一些差异。养殖渔船功率,最大值为 3862075 千瓦,最小值仅为 233 千瓦,均值为 1260599 千瓦,三者差距较大,表明从时间与空间来说,沿海九个省份渔船功率投入程度差距大;海水养殖面积最大值为 942050 公顷,最小值

为 9120 公顷,两者相差高达 103.29 倍。劳动力投入量的最大值为 1876285 人,最小值为 84471 人,相差了 22.21 倍,表明沿海九个省份渔业碳汇生产原动力差距巨大;技术推广经费最大值为 38603.48 万元,最小值为 337 万元,均值为 10785.68 万元,表明沿海九个省份经费投入存在巨大差距;碳排放边际减排成本最大值为 2656.90 元/吨,最小值仅为 0.19 元/吨,说明各省份之间渔业碳汇减排程度存在较大差异。

2.2 碳汇渔业低碳绩效测度与时空比较分析

本文在构建 DEA-Malmquist 模型的基础上,对沿海九个省份 2007—2021 年碳汇渔业低碳绩效水平进行了测度。为了比较传统绩效与低碳绩效指数之间的差异,本文还针对未考虑渔业碳排放与碳吸收的传统绩效指数进行了测量。由表 6 可知,2008—2021 年沿海九个省份碳汇渔业低碳绩效指数呈现明显的差异。碳汇渔业低碳绩效指数的提高,是由于技术进步效率指数推动的,技术进步效率在大部分年份中提高了碳汇渔业的低碳表现。

表 6 2008—2021 年碳汇渔业低碳绩效指数动态特征

Tab.6 Dynamic characteristics of low carbon performance index of carbon sink fisheries from 2008 to 2021

年份	渔业低碳绩效					渔业传统绩效				
	<i>effch</i>	<i>techch</i>	<i>pech</i>	<i>sech</i>	<i>ML</i>	<i>effch</i>	<i>techch</i>	<i>pech</i>	<i>sech</i>	<i>ML</i>
2008	1.001	0.983	1.000	1.001	0.984	0.994	1.003	0.995	0.999	0.997
2009	1.000	0.967	1.000	1.000	0.967	1.004	0.987	1.004	1.000	0.991
2010	1.002	1.033	1.000	1.002	1.035	0.997	1.053	0.992	1.005	1.050
2011	1.000	1.055	1.000	1.000	1.055	1.007	1.123	1.004	1.003	1.131
2012	1.000	1.053	1.000	1.000	1.053	0.993	1.104	1.002	0.991	1.096
2013	1.000	1.026	1.000	1.000	1.026	0.993	1.072	0.994	0.999	1.065
2014	1.000	1.075	1.000	1.000	1.075	0.985	1.154	0.998	0.987	1.137
2015	0.998	1.058	1.000	0.998	1.056	0.993	1.209	0.988	1.005	1.200
2016	0.999	1.049	0.998	1.001	1.048	1.006	1.078	1.008	0.998	1.084
2017	1.002	1.084	1.001	1.001	1.086	0.983	1.213	0.982	1.001	1.192
2018	0.997	1.023	0.997	1.000	1.020	0.993	1.064	0.998	0.995	1.057
2019	1.000	1.011	1.001	0.998	1.011	0.983	1.073	0.998	0.985	1.055
2020	1.000	1.054	1.000	1.000	1.054	1.021	1.151	1.007	1.013	1.174
2021	1.001	1.036	1.000	1.001	1.037	1.007	1.074	0.997	1.008	1.079
均值	1.000	1.036	1.000	1.000	1.036	0.997	1.097	0.998	0.999	1.094

注: *effch* 为综合技术效率变化指数; *techch* 为技术进步变化指数; *pech* 为纯技术效率变化指数; *sech* 为规模效率变化指数; *ML* 为 Malmquist 分解指数即绩效指数

从 *Malmquist* 指数和分解指数的变化趋势来看, 2008 年和 2009 年碳汇渔业的低碳绩效指数均小于 1, 且在 2009 年达到最小的峰值, 表明这两个年度, 碳汇渔业低碳绩效出现负增长。究其原因, 是这两个年度内技术方面没有提高, 尤其是 2009 年, 技术进步效率负增长达到 3.3%, 这对碳汇渔业的低碳发展造成了很大的影响。在其他年度, 碳汇渔业的低碳绩效指数均高于 1。这表明, 在这一时期, 沿海九个省份碳汇渔业的低碳绩效指数表现出明显的上升趋势, 尤其在 2017 年达到了 8.6%, 这意味着在 2016—2017 年, 沿海九个省份碳汇渔业的低碳绩效表现最为显著, 这与同年技术进步指数出现了一个峰值, 进而对碳汇渔业的低碳绩效产生了 8.4% 的贡献率有关。然而, 2008 年、2009 年, 碳汇渔业的传统绩效指数也呈现负发展的趋势。这是因为, 在

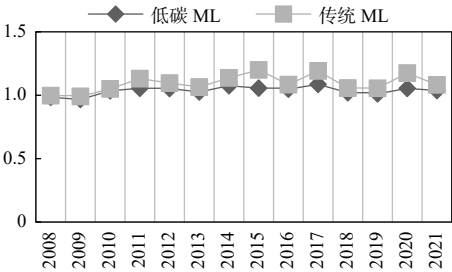


图 1 2008—2021 年沿海九省碳汇渔业低碳绩效水平与传统绩效水平发展趋势比较

Fig. 1 Comparison of the development trend of low carbon performance level and traditional performance level of carbon sink fisheries in nine coastal provincial-level administrative regions from 2008 to 2021

这两个年度内, 综合技术效率降低, 使得碳汇渔业传统绩效水平降低。结合图 1, 在整个研究范围内, 由于受到低碳约束的影响, 传统绩效水平都比低碳绩效水平要高。在 2015 年、2016 年和 2018 年, 综合技术效率的数值分别为 0.998、0.999 和 0.997, 均小于 1。这表明以上几个年份的综合技术效率出现一定程度的退化。在整个研究期间, 除了两年的技术效率小于 1, 其余年份均大于 1。这表明, 技术进步效率在大部分年份中提高了碳汇渔业的低碳表现, 特别是在 2017 年, 技术进步效率对碳汇渔业低碳绩效的贡献率为 8.4%。规模技术效率在 2015 年和 2019 年均低于 1, 说明以上年份规模技术效率有所下降, 这在一定程度上制约了碳汇渔业低碳表现。

2.3 沿海九个省份碳汇渔业低碳绩效空间差异分析

本文将 2008—2021 年我国沿海九个省份碳汇渔业低碳绩效指数与分解指数(综合技术效率指数、技术进步指数、纯技术效率指数、规模效率指数)的均值进行了测算。

从表 7 可以看出, 江苏省和河北省的碳汇渔业低碳绩效指数均值低于 1, 其余省份的碳汇渔业低碳绩效指数均值大于 1, 所占比例为 77.8%。这表明, 除这两个省份外, 研究区域的碳汇渔业低碳绩效指数都有显著的提高, 江苏省和河北省的碳汇渔业低碳绩效指数没有提高。究其原因是技术进步效率没有较高的提升。受限制于低碳约束目标的影响, 我国沿海九个省份碳

表 7 沿海九个省份碳汇渔业低碳绩效指数均值表

Tab.7 The mean value of the low carbon performance index of fishery carbon sinks in nine coastal provincial-level administrative regions						
省份	<i>effch</i>	<i>echch</i>	<i>pech</i>	<i>sech</i>	ML 指数	传统 ML 指数
辽宁	1.000	1.032	1.000	1.000	1.032	1.064
河北	1.000	0.997	1.000	0.997	0.997	1.075
山东	1.000	1.037	1.000	1.000	1.037	1.088
江苏	1.000	0.999	1.000	1.000	0.999	1.037
浙江	1.000	1.046	1.000	1.000	1.046	1.098
福建	1.000	1.031	1.000	1.000	1.031	1.089
广东	1.000	1.025	1.000	1.000	1.025	1.074
广西	1.000	1.047	1.000	1.000	1.024	1.065
海南	1.000	1.042	1.000	1.000	1.027	1.087

汇渔业低碳绩效水平低于碳汇渔业传统绩效水平。

从地区来看, 碳汇渔业低碳绩效水平依次为: 浙江省>山东省>辽宁省>福建省>海南省>广东省>广西壮族自治区>江苏省>河北省。由分解指数可知, 我国沿海九个省份碳汇渔业低碳绩效指数的提高, 是由于技术进步效率指数推动的, 其增长动力比较单一。因此, 要想提升碳汇渔业低碳绩效指数, 纯技术效率与规模效率将会有较

大的提升空间。

2.4 碳汇渔业低碳绩效与传统绩效比较分析

碳汇渔业低碳绩效指数与传统绩效指数在驱动因素和时空发展上都有很大的不同, 为研究两者之间的区别, 并对两者之间的区别进行更精确的度量, 绘制了 2008—2021 年我国沿海九个省份碳汇渔业绩效指数以及主要的驱动力技术进步效率指数的柱状图, 用以比较分析, 具体见图 2。

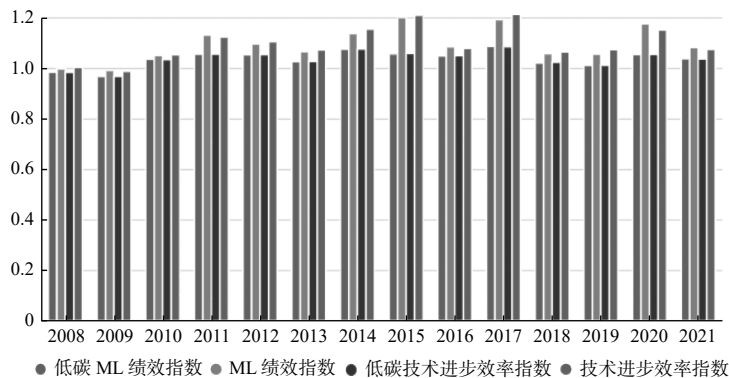


图2 2008—2021年沿海九个省份碳汇渔业低碳绩效指数与传统绩效指数差异比较

Fig. 2 Comparison of the difference between low carbon performance index and traditional performance index of carbon sink fisheries in nine coastal provincial-level administrative regions from 2008 to 2021

通过前面的分析可以看出, 传统碳汇渔业没有考虑碳排放和碳吸收, 2008—2021年, 中国沿海九个省份碳汇渔业传统绩效指数均值为 1.094, 然而, 我国沿海九个省份在低碳约束条件下, 海洋碳汇渔业低碳绩效指数均值为 1.036。结果说明, 样本期间内, 忽略了碳排放和碳吸收会高估碳汇渔业低碳绩效指数, 使得碳汇渔业低碳水平测度不准确。从分解指数来看, 未考虑低碳环境因素, 导致其综合技术效率、纯技术效率和规模效率被高估。虽然碳汇渔业低碳绩效指数比传统绩效指数要低, 但是从长远来看碳汇渔业低碳绩效指数改善势头较好, 潜力较大。

3 结论

(1) 应加强碳汇渔业低碳创新与技术革新。继续研究捕捞渔船等科技新技术, 使用清洁燃料, 减少碳排放, 依托低碳技术为碳汇渔业低碳发展提供技术支持。

(2) 应加强碳汇渔业低碳资源的合理配置。

碳汇渔业结构和投入的不同, 导致碳汇渔业低碳绩效出现差距, 根据地区的实际情况, 对各个投入资源进行合理分配, 避免造成资源过度浪费的情况。

(3) 应加大对渔业碳排放量与碳汇量核算方法研究力度。渔业的碳排放量是由多种因素决定的, 目前对于渔业碳源的研究, 只考虑了渔船的燃料燃烧, 对于碳汇量的测算, 只考虑了养殖贝类、藻类, 不够全面, 未来要加强核算方法的研究。

参考文献:

- [1] TANG Q S, ZHANG J H, FANG J G. Shellfish and seaweed mariculture increase atmospheric CO₂ absorption by coastal ecosystems[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2011, 424: 97-104.
- [2] 唐启升, 蒋增杰, 毛玉泽. 渔业碳汇与碳汇渔业定义及其相关问题的辨析[J]. *渔业科学进展*, 2022, 43(5): 1-7.
- [3] 岳冬冬, 王鲁民. 中国低碳渔业发展路径与阶段划分研究[J]. *中国海洋大学学报(社会科学版)*, 2012 (5): 15-21.

(下转第 73 页)

- 2015.
- [28] 宫君琳,姚小红.南海大气颗粒物数浓度(N_{CN})与云凝结核数浓度(N_{CCN})分布特征及不同来源颗粒物活化特性分析[J].中国海洋大学学报(自然科学版),2023,53(8):16-25.
- [29] 汤沛,邵士勇,刘强,等.基于船载测量亚微米海洋气溶胶粒径分布特征分析[J].光学学报,2023,43(6):0601008.
- [30] AN J L, WANG H L, SHEN L J, et al. Characteristics of new particle formation events in Nanjing, China: effect of water-soluble ions[J]. *Atmospheric Environment*, 2015, 108: 32-40.
- [31] WANG Z B, HU M, SUN J Y, et al. Characteristics of regional new particle formation in urban and regional background environments in the North China Plain[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2013, 13(24): 12495-12506.
- [32] ZHANG X H, ZHANG Y M, SUN J Y, et al. Characterization of particle number size distribution and new particle formation in an urban environment in Lanzhou, China[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2017, 51: 342-351.
- [33] ZHU Y J, LI K, SHEN Y J, et al. New particle formation in the marine atmosphere during seven cruise campaigns[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2019, 19(1): 89-113.
- [34] 吴志军,胡敏,岳珂利,等.重污染和新粒子生成过程中城市大气颗粒物数谱分布演变过程[J].中国科学:地球科学,2011,41(8):1192-1199.
- [35] 陈晨,胡敏,吴志军,等.四川乡村点新粒子生成特征及其对云凝结核数浓度的贡献[J].中国环境科学,2014,34(11):2764-2772.
- (本文编辑:曲丽梅)

(上接第63页)

- [4] 杨林,郝新亚,沈春蕾,等.碳中和目标下中国海洋渔业碳汇能力与潜力评估[J].资源科学,2022,44(4):716-729.
- [5] 孙立伟,杨创业,冯景春,等.我国海水贝类养殖低碳效应评价[J].海洋通报,2022,41(5):593-600.
- [6] 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.
- [7] 张麋鸣,颜金培,叶旺旺,等.福建省贝藻类养殖碳汇及其潜力评估[J].应用海洋学报,2022,41(1):53-59.
- [8] HUGUENIN J E, ROTHWELL G N. The problems, economic potentials and system design of large future tropical marine fish cage systems[J]. *Proceedings of the World Mariculture Society*, 1979, 10(1/2/3/4): 162-181.
- [9] 张樨樨,郑珊,余粮红.中国海洋碳汇渔业绿色效率测度及其空间溢出效应[J].中国农村经济,2020(10):91-110.
- [10] 徐敬俊,张洁,余翠花.海洋碳汇渔业绿色发展空间外溢效应评价研究[J].中国人口·资源与环境,2020,30(2):99-110.
- [11] 朱爱方,平瑛.基于SFA模型的我国海洋渔业绿色生产效率时空分异研究[J].海洋开发与管理,2023,40(3):133-143.
- [12] 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.
- [13] ORNL. Estimate of CO₂ emission from fossil fuel burning and cement manufacturing[M]. ORNL/CDIAC-25. Oak Ridge: Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, 1990.
- [14] 唐启升,刘慧.海洋渔业碳汇及其扩增战略[J].中国工程科学,2016,18(3):68-73.
- [15] 邵桂兰,孔海峥,李晨.中国海水养殖的净碳汇及其与经济耦合关系[J].资源科学,2019,41(2):277-288.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 张继红.滤食性贝类养殖活动对海域生态系统的影响及生态容量评估[D].中国科学院研究生院(海洋研究所),2008.
- [19] 吴贤荣,张俊飏,程琳琳,等.中国省域农业碳减排潜力及其空间关联特征——基于空间权重矩阵的空间Durbin模型[J].中国人口·资源与环境,2015,25(6):53-61.
- [20] 陈儒,姜志德.中国低碳农业发展绩效与政策评价[J].华南农业大学学报(社会科学版),2017,16(5):28-40.
- (本文编辑:曲丽梅)