Sustainable Development 可持续发展, 2024, 14(7), 1722-1729
Published Online July 2024 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/sd
https://doi.org/10.12677/sd.2024.147198

Hans汉斯

基于面板分位数回归的中国海洋渔业碳汇影响因素研究

邱舒萍，林佳敏

福建师范大学数学与统计学院统计学系，福建 福州

收稿日期：2024年6月5日；录用日期：2024年7月8日；发布日期：2024年7月22日

摘　要

当前，全球气候变化问题日趋严峻，碳汇渔业作为海洋渔业的重要组成部分不再仅仅是经济活动，而且是有益于环境的生态活动。以往关于海洋渔业碳汇影响因素研究大多是基于均值回归，忽视了不同分位点之间可能存在的异质效应。据此，本研究基于2006~2020年我国9个沿海省份的省际面板数据，采用物质量评估法测算不同地区的海水养殖碳汇量，使用面板分位数回归模型对我国海洋渔业碳汇的影响因素进行实证分析。研究发现海洋渔业碳汇的各影响因素对不同分位点的碳汇量表现出一致性和差异性，三个指标体系中，技术推广、渔业的产值比重和相对湿度是最主要的影响因素。据此，本研究建议充分利用各地区海洋碳汇渔业发展优势，弥补短板，重视区域协调问题，以促进海洋渔业高质量、均衡发展。

关键词

海洋渔业碳汇，海水养殖，面板分位数回归，影响因素

Study on the Influencing Factors of Carbon Sink in China’s Marine Fisheries Based on Panel Quantile Regression

Shuping Qiu, Jiamin Lin

Department of Statistics, School of Mathematics and Statistics, Fujian Normal University, Fuzhou Fujian

Received: Jun. 5th, 2024; accepted: Jul. 8th, 2024; published: Jul. 22nd, 2024

Abstract

At present, the global climate change problem is becoming more and more serious. As an important part of Marine fisheries, carbon sink fishery is not only an economic activity, but also an ecological

文章引用: 邱舒萍, 林佳敏. 基于面板分位数回归的中国海洋渔业碳汇影响因素研究[J]. 可持续发展, 2024, 14(7): 1722-1729. DOI: 10.12677/sd.2024.147198

activity that is beneficial to the environment. Most of the previous studies on the influencing factors of Marine fishery carbon sink were based on mean regression, and the possible heterogeneous effects between different loci were ignored. Based on the inter-provincial panel data of nine coastal provinces in China from 2006 to 2020, we used the material quality assessment method to calculate carbon sequestration of mariculture in different regions, and used panel quantial regression model to empirically analyze the influencing factors of carbon sequestration of Marine fisheries in China. We found that the influencing factors of carbon sink in Marine fisheries showed consistency and difference in different quantile scales of carbon sink. Among the three index systems, technology extension, the proportion of output value of fishery and relative humidity were the most important factors. In order to promote the high-quality and balanced development of Marine fisheries, we proposed to make full use of the development advantages of Marine carbon sink fisheries in various regions, make up for the shortcomings, and attach importance to regional coordination.

Keywords

Marine Fisheries Carbon Sink, Mariculture, Panel Quantile Regression, Influencing Factors

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

1. 引言

面对全球气候变化问题，发展碳减排增汇，促进低碳经济是可持续发展的必然选择。被称作“蓝碳”的海洋碳汇是全球最大的碳储存库，潜力巨大。海洋渔业碳汇作为蓝碳的重要一环，兼具碳源和碳汇双重属性，是最具扩增潜质的碳汇活动[1]。其中，贝藻类在固碳方面表现突出，对缓解气候变暖有重要作用。随着 2020 年末我国双碳目标的正式提出[2]，渔业碳汇的相关研究逐渐受到关注。目前国内外的研究主要侧重于海水养殖固碳机理及其作用[3]-[6]、海洋碳汇渔业经济与价值评估[7] [8]、碳汇能力与潜力评估[9] [10]和碳汇效率的测度[11]等四个方向，各方向从模型构建、影响因素分析、时空演化和空间格局[12] [13]等多个角度展开研究。现有关于海洋渔业碳汇影响因素研究大多是基于均值回归，反映的是自变量对因变量整体的影响趋势和变化情况。然而，对于一个分布而言，每个分位点都隐含着重要的信息，不同分位点之间可能存在着异质效应。基于此，本研究旨在构建测算体系，用基于面板数据的分位数回归模型，分析我国沿海省份海洋渔业碳汇在不同分位点的主要特征与影响因素，以期获得更精确的研究结果。

2. 数据来源与研究方法

2.1. 数据来源

本研究所选取的 2006~2020 年中国沿海省份各指标数据来源于《中国统计年鉴》《中国渔业统计年鉴》《中国气象年鉴》和相关省份的统计年鉴资料。所涉及的 9 个沿海省份包括：河北、山东、辽宁、江苏、浙江、福建、广东、海南和广西。考虑到台湾省与港澳地区相关数据不可获得；且上海市与天津市因为海水养殖规模太小，以致其缺失贝藻类海水养殖产量数据，与其他省份比较，恐有较大的结果误差，故本研究不纳入上海市、天津市、中国台湾、中国香港和中国澳门。

2.2. 变量选取

海洋渔业碳汇影响因素的选取，主要从投入要素、经济水平、环境因素这三个方面进行考虑。投入

要素包括：海水养殖面积 X_1、水产苗种总量 X_2、年末机动养殖渔船数 X_3、技术推广机构数 X_4、海洋渔业专业人员数 X_5；经济水平包括：渔民人均纯收入 X_6；渔业经济总产值 X_7、渔业占农业产值比重 X_8；环境因素包括：平均温度 X_9、平均日照时数 X_{10}、平均气压 X_{11}、平均降水 X_{12}、平均相对湿度 X_{13}、渔业灾害数量损失 X_{14}。贝藻类碳汇总量则是各省海洋渔业碳汇量，用 Y 表示。

在进行碳汇测算时，明确碳汇渔业问题时需要考虑渔业生产是否满足净吸收温室气体的条件[10]。我国海水养殖生产的水产品中鱼类、贝藻类、甲壳类占总产量的 95%以上。因为在鱼类和甲壳类养殖过程中，需要大量饵料，导致水体中输入碳的量超过移出碳的量，所以它们不属于碳汇渔业的研究范围。相比之下，贝藻类可以作为海水养殖的碳汇来源。因此，本研究把海水养殖碳汇界定为贝藻类碳汇。其中，海水养殖贝类主要品种有牡蛎、扇贝、贻贝、蛤和蛏，其他品种归为“其他类”。藻类主要品种有海带、紫菜、裙带菜、江蓠、麒麟菜、石花菜、羊栖菜和苔菜，其他品种归为“其他类”。

2.3. 研究方法

2.3.1. 碳汇测算方法

根据贝藻类的碳汇机理，其所吸收和固定的碳元素分别存储在它们的软组织、贝壳或藻体中。因此，海水养殖中的贝类碳汇总量包括软组织和贝壳中固定的碳，藻类固定的碳指其藻体的含碳量。碳汇系数是衡量生物碳汇量的指标，指生物碳汇量占该生物总重的比例，有干重与湿重之分。本研究贝藻类碳汇系数采用干重碳汇系数，参考张继红、岳冬冬、邵桂兰、李雪等[3] [10] [14] [15]文献得到贝藻类碳汇量测算方法和测算参数，贝藻类海产品碳汇量测算方法见表 1，贝类海产品碳汇能力测算参数见表 2、表 3。根据表 1~3，可计算出沿海各省 2006~2020 年的贝藻类碳汇总量。

Table 1. Measurement methods for carbon sequestration of shellfish algae and seafood
表 1. 贝藻类海产品碳汇量测算方法

类别	碳汇量计算公式
贝类	贝类碳汇量 = 软组织碳汇量 + 贝壳碳汇量 软组织碳汇量 = 贝类产量 × 干湿转换系数 × 软组织比重 × 软组织碳含量 贝壳碳汇量 = 贝类产量 × 干湿转换系数 × 贝壳比重 × 贝壳碳含量
藻类	藻类碳汇量 = 藻类产量 × 干湿转换系数 × 碳含量
总计	海水养殖碳汇总量 = 贝类碳汇量 + 藻类碳汇量
效率	碳汇效率 = 海水养殖碳汇总量/贝藻类养殖总量

Table 2. Calculation parameters of carbon sink capacity of shellfish and seafood
表 2. 贝类海产品碳汇能力测算参数

品种	干湿转换系数(%)	质量占比(%)		碳含量(%)		碳汇系数(%)
		软组织	贝壳	软组织	贝壳	
牡蛎	65.10	6.14	93.86	45.89	12.68	9.59
扇贝	63.89	14.35	85.65	43.90	11.40	10.17
贻贝	75.28	8.47	91.53	44.40	11.76	10.93
蛤	52.55	1.98	98.02	44.90	11.52	6.40
蛏	70.48	3.26	96.74	44.99	13.24	10.06
其他	64.21	11.41	88.59	43.87	11.44	9.72

Table 3. Calculation parameters of carbon sink capacity of algal seafood
表 3. 藻类海产品碳汇能力测算参数

品种	干湿转换系数(%)	碳含量(%)	品种	干湿转换系数(%)	碳含量(%)
海带	20	31.2	石花菜	20	26.37
裙带菜	20	26.40	羊栖菜	20	23.00
紫菜	20	27.39	苔菜	20	32.60
江蓠	20	20.60	其他	20	26.48
麒麟菜	20	24.25			

2.3.2. 面板分位数回归模型

分位数回归(Quantile Regression)是一种系统研究因变量位置、规模和分布的方法，该思想由 Koenker 和 Bassett (1978) [16]开创性提出，从中位数回归推广而来，是传统线性回归的拓展与补充。分位数回归相较于传统线性回归模型，假设条件更为宽松，更符合实际情况，该模型中不需要对误差项进行任何分布假定，因此具有极高的稳健性。该方法不仅可以揭示因变量在整体自变量影响下的均值水平，而且还能进一步分析任意分位数受自变量影响的情况，其利用条件分布来建模，通过最小化加权残差绝对值之和来对参数进行估计。

分位数回归模型可以定义为：

$$y=\beta_{\tau 0}+\beta_{\tau 1}x_{\tau 1}+\beta_{\tau 2}x_{\tau 2}+\cdots+\beta_{\tau k}x_{\tau k}+\mu_{\tau}. \tag{2-1}$$

$$Q_{\tau}\left(y|x\right)=\beta_{\tau 0}+\beta_{\tau 1}x_{\tau 1}+\beta_{\tau 2}x_{\tau 2}+\cdots+\beta_{\tau k}x_{\tau k}. \tag{2-2}$$

其中 $Q_{\tau}\left(y|x\right)$ 表示因变量 y 的第 τ 个分位数，$\beta_{\tau i}$，$i=1,2,\cdots,k$，为待估参数 u_{τ} 为随机扰动项，$0<\tau<1$。τ 分位数下待估参数的估计如下：

$$\hat{\beta}_{\tau i}=\arg\min_{\beta}\sum_{y_i\geq x_i'\beta}\theta\left|y_i-x_i'\beta\right|+\sum_{y_i<x_i'\beta}\left(1-\theta\right)\left|y_i-x_i'\beta\right|. \tag{2-3}$$

由于被解释变量与解释变量之间的数量级有所差距，所以对原始数据采取对数变换，能够使估计的系数更具解释性、降低样本异方差程度、减少变量波动使得序列更为平稳。基于以上说明，构建固定效应面板回归模型进行拟合，采用逐步回归法筛选出显著的影响因素纳入面板分位数回归模型中，得到最终用于实证分析的碳汇计量模型：

$$Q_{\tau}\left(\ln Y_{it}\right)=\left(\ln a\right)_{\tau}+\beta_{1\tau}x_{1i\tau}+\beta_{2\tau}x_{2i\tau}+\beta_{3\tau}x_{4i\tau}+\beta_{4\tau}x_{5i\tau}+\beta_{5\tau}x_{8i\tau}+\beta_{6\tau}x_{9i\tau}+\beta_{7\tau}x_{10i\tau}+\beta_{8\tau}x_{13i\tau} \tag{2-4}$$

其中，$Q_{\tau}\left(\ln Y_{it}\right)$ 和 $\left(\ln a\right)_{\tau}$ 分别表示碳汇量与截距项在第 τ 个分位数的值，$Q_{\tau}\beta_{i\tau}$ 分别表示海水养殖面积、水产苗种总量、技术推广机构数、海洋渔业专业人员数、渔业占农业产值比重、平均温度、平均日照时数、平均相对湿度这八个指标对数变换后在第 τ 个分位数的回归参数。

3. 实证分析

当模型包含的指标很多时，指标之间可能存在高度线性相关关系，影响回归效果，使结果不可靠，故需要检验模型是否存在多重共线性。本研究采用克莱因法进行检验，计算因变量两两间的相关系数，将其与回归模型的拟合系数 R^2 进行对比，若相关系数的值大于拟合系数，则认为该相关系数所对应的两个变量之间存在多重共线性，否则认为不存在多重共线性。各指标的相关系数矩阵见图 1，对数据采用固定效应面板回归模型进行拟合，得到拟合系数 $R^2=0.922$，可以看出，各指标的相关系数均小于模型拟

合系数，表明模型不存在多重共线性问题，将各指标纳入模型是合理的。

在进行面板分位数回归的过程中，本研究报告了回归结果的代表性分位点，包括第 10、25、50、75 和 90 这五个分位点，深入分析其估计结果。根据 2006~2020 年间各省的年平均贝藻类碳汇量，按照分位点将各省份分为 4 个组别，具体见表 4。从表中可以发现，一些省份间经济发展水平虽然存在差距，但碳汇量差异不大。

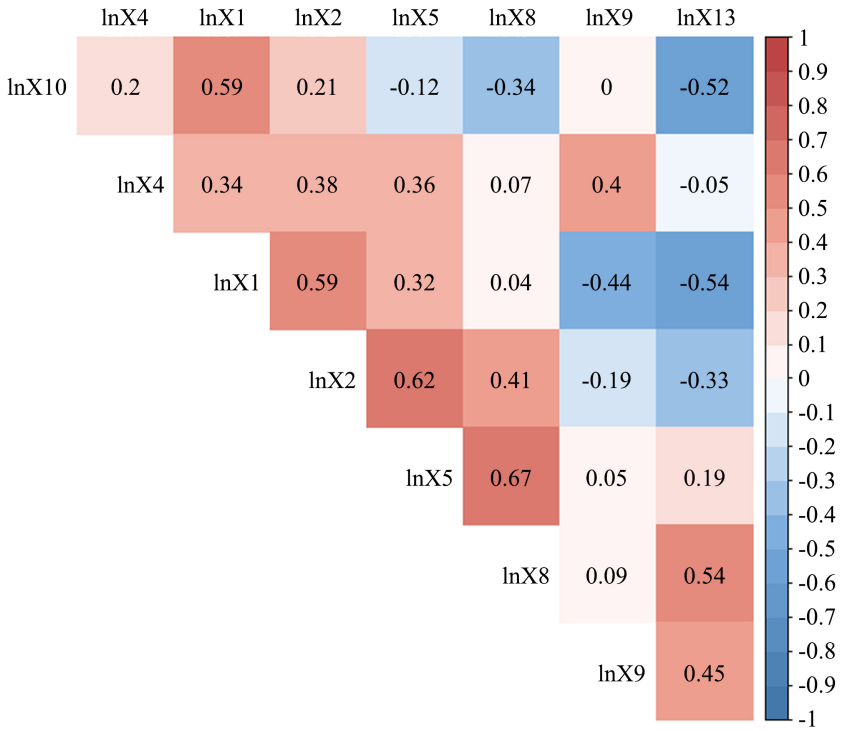

Figure 1. Matrix diagram of correlation coefficients of each index
图 1. 各指标相关系数矩阵图

Table 4. The provincial distribution of carbon sinks in China's marine fisheries
表 4. 中国海洋渔业碳汇省域分布

分位数	省份
0.25 以下分位数	海南，河北
0.25~0.50 分位数	江苏，广西
0.50~0.75 分位数	浙江，广东
0.75 以上分位数	辽宁，福建，山东

面板分位数回归的估计结果见表 5 和图 2，为了便于比较分析，在表 5 中对面板固定效应模型的回归结果也进行展示。图 2 由四部分构成，蓝色部分代表参数估计的置信区间；灰色虚线代表不同分位数回归的参数估计；红色实线代表固定效应回归的参数估计；红色虚线代表固定效应回归的置信区间。表 5 的结果表明，固定效应回归模型中显著的变量，在各个分位点上不一定显著。在变量指标中，养殖面积、苗种数量、技术推广、专业人员、日照时数、相对湿度这六个指标的回归系数均为正数，说明它们

对渔业碳汇而言存在着正向影响；渔业产值比重的回归系数均为负数，说明它对碳汇存在着负向影响，渔业产值比重越大，越不利于碳汇的存储。温度总体上对碳汇产生负向影响，在不同分位点表现出不同的特征，该变量在 0.1 分位点处该指标有显著的负向作用，在其它分位点上没有显著影响，表明温度的升高会抑制海洋渔业的碳汇能力。

从指标体系所构建的三个类别来看，投入要素中技术推广的弹性系数最大，说明技术推广是投入要素中的主要影响因素，其次是养殖面积、海洋渔业专业人员数、苗种数量，它们均为碳汇带来积极影响；经济水平中渔业的产值比重是主要的影响因素，它给碳汇带来消极影响；环境因素中相对湿度的弹性系数最大，表明它对碳汇具有重要影响，其次是日照时数和温度。总体而言，在各分位数下，相对湿度的弹性系数是最大的。

此外，各指标在不同分位点上的变化趋势存在差异。养殖面积对渔业碳汇的影响随着分位数的增加而增大；苗种总量和渔业产值比重随着分位点的增加，对渔业碳汇的影响呈现先减小后增大再减小的趋势，对 0.75 分位点的省份影响最强；技术推广和专业人员对渔业碳汇的影响随着分位点的增加而减小；温度、日照时数和相对湿度随着分位点的增加，对碳汇的影响呈现出先增加后减少再增加的特点，对处在分位数右端的省份影响较大。

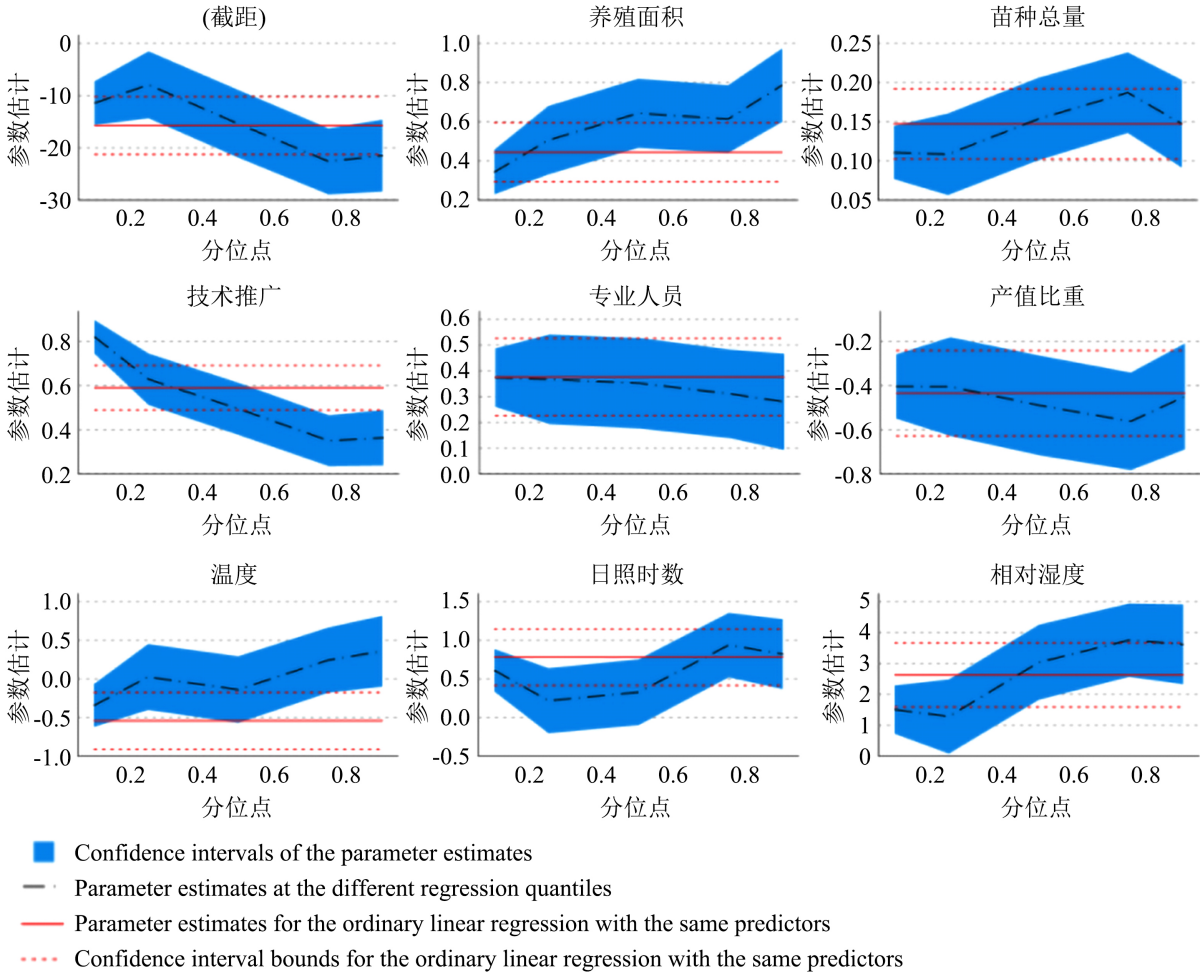

Figure 2. Panel quantile regression and panel fixed effects regression parameter fitting results
图 2. 面板分位数回归及面板固定效应回归参数拟合结果

Table 5. Panel quantile regression and panel fixed effect regression parameter fitting results
表 5. 面板分位数回归及面板固定效应回归参数拟合结果

变量简称	分位数					固定效应
	0.10 位点	0.25 位点	0.50 位点	0.75 位点	0.90 位点	
截距项	−11.425***	−7.942**	−15.424***	−22.595***	−21.497***	−15.74***
养殖面积	0.343***	0.505***	0.643***	0.613***	0.786***	0.444***
苗种总量	0.111***	0.108***	0.153***	0.187***	0.147***	0.147***
技术推广	0.820***	0.628***	0.494***	0.35***	0.364***	0.590***
专业人员	0.374***	0.367***	0.352***	0.311***	0.280***	0.376***
产值比重	−0.404***	−0.405***	−0.491***	−0.562***	−0.449***	−0.435***
温度	−0.343**	0.025	−0.139	0.244	0.358	−0.542***
日照时数	0.611***	0.218	0.327	0.938***	0.821***	0.781***
相对湿度	1.505***	1.283**	3.039***	3.753***	3.618***	2.628***

注：***，**分别表示在 0.01，0.05 检验水平下显著。

4. 结论与讨论

本研究基于 2006~2020 年我国 9 个沿海省份的面板数据，重点探讨了各影响因素对于处在不同分位点下的海洋渔业碳汇的不同效应。研究结果表明：各影响因素对不同分位点的碳汇量表现出特定的一致性和差异性。首先，三个指标体系中，技术推广、渔业的产值比重和相对湿度是最主要的影响因素。其中，相对湿度带来的影响最大，受 Lebrija Trejos 等人(2023) [17]的启发，认为这可能是因为在高湿度的环境下，海洋中的微生物更为活跃，使得生物的种类更加多样化，进而提升碳汇能力。其次，个体养殖户可能由于观念或技术落后，大多仍依靠经验进行粗放式生产，难以实现技术创新，进而影响养殖产量，同时也对碳汇量造成了影响。因此，碳汇量处于低分位点的省份应该更加加强对海洋渔业的技术推广与专业人员的培养的投入力度，通过技术进步和人才培养等手段，提高海水养殖生产的总体素质，加快养殖模式的转变，进而提高碳汇能力；处于中分位点的省份应适当减小捕捞力度，降低渔业产值的比重，注重增加水产苗种总量，加强对固碳作用的认识，提升当地的碳汇潜力；处于高分位点的省份应注重渔业养殖面积，扩大养殖范围，与此同时也要注意由于日照、空气湿度带来的正向影响，扩大自身碳汇优势。

基于上述结论，本研究提出以下政策建议：

第一，应注重技术推广与专业人员培养，提高海洋渔业产业总体素质。处在低分位点的海南和河北应高度重视科学技术所带来的作用，通过技术培训、推广与人才培养，对海水养殖主体进行有效引导，对传统渔业进行升级，积极采用生态养殖模式，提高对科学用药的认识，进一步提高生态和碳汇效率。

第二，要优化养殖结构，提升碳汇经济价值，促进海洋渔业碳汇创造更大的经济和环境效益。处在中分位点的江苏、广西、浙江和广东，应注重水产苗种的投入，合理布局养殖密度和结构，对海洋空间资源的利用效率进行优化，提高碳汇潜力。处在高分位点的辽宁、福建和山东，在扩大养殖面积的同时，应发挥带头作用，调控空间格局，增加碳汇量的同时，也要注意将碳汇总量控制在环境能承载的范围内，为可持续发展奠定良好基础。

参考文献

[1] 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.

[2] 习近平. 在第七十五届联合国大会一般性辩论上的讲话[N]. 人民日报, 2020-09-23(03).

[3] 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.

[4] 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.

[5] 宋金明, 李学刚, 袁华茂, 等. 中国近海生物固碳强度与潜力[J]. 生态学报, 2008, 28(2): 551-558.

[6] 徐晴晴. 厚壳贻贝生理活动对近海碳循环的影响[D]: [硕士学位论文]. 舟山: 浙江海洋大学, 2018.

[7] Zhou, Y., Yang, H., Zhang, T., Liu, S., Zhang, S., Liu, Q., *et al*. (2006) Influence of Filtering and Biodeposition by the Cultured Scallop Chlamys Farreri on Benthic-Pelagic Coupling in a Eutrophic Bay in China. *Marine Ecology Progress Series*, **317**, 127-141. https://doi.org/10.3354/meps317127

[8] 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.

[9] 孙康, 崔茜茜, 苏子晓, 等. 中国海水养殖碳汇经济价值时空演化及影响因素分析[J]. 地理研究, 2020, 39(11): 2508-2520.

[10] 纪建悦, 王萍萍. 我国海水养殖业碳汇能力测度及其影响因素分解研究[J]. 海洋环境科学, 2015, 34(6): 871-878.

[11] 邵桂兰, 刘冰, 李晨. 我国主要海域海水养殖碳汇能力评估及其影响效应——基于我国 9 个沿海省份面板数据[J]. 生态学报, 2019, 39(7): 2614-2625.

[12] 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.

[13] Bakker, D.C.E., Pfeil, B., Olsen, A., Sabine, C.L., Metzl, N., Hankin, S., *et al*. (2012) Global Data Products Help Assess Changes to Ocean Carbon Sink. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, **93**, 125-126. https://doi.org/10.1029/2012eo120001

[14] 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.

[15] 李雪, 刘子飞, 赵明军, 等. 我国水产养殖与捕捞业“双碳”目标及实现路径[J]. 中国农业科技导报, 2022, 24(11): 13-26.

[16] Koenker, R. and Bassett, G. (1978) Regression Quantiles. *Econometrica*, **46**, 33-50. https://doi.org/10.2307/1913643

[17] Lebrija-Trejos, E., Hernández, A. and Wright, S.J. (2023) Effects of Moisture and Density-Dependent Interactions on Tropical Tree Diversity. *Nature*, **615**, 100-104. https://doi.org/10.1038/s41586-023-05717-1