

异质性环境规制、空间溢出与渔业碳排放效率

汪克亮, 袁鸿宇

(中国海洋大学经济学院 青岛 266100)

摘要:探索合理的环境规制手段和适当的环境规制力度以提高渔业碳排放效率,是中国渔业低碳发展的必由之路。文章基于中国 2004—2020 年的省级面板数据,运用包含非期望产出的超效率 SBM 模型对中国渔业碳排放效率进行测算。在此基础上,将环境规制分为命令型环境规制(CER)、市场型环境规制(MER)和自愿型环境规制(VER),采用空间计量模型实证检验 3 种环境规制对渔业碳排放效率的影响。结果表明:①从时间维度看,研究期内渔业碳排放效率年均增长率为 7.327%;从空间维度看,渔业碳排放效率呈现出中部低、东西两边高的特征。②空间杜宾模型结果表明,3 种环境规制对本地区渔业碳排放效率的作用存在显著的异质性,且 CER 和 MER 存在显著的空间溢出特征。③空间分位数模型结果显示,MER 对低层级渔业碳排放效率的促进作用较为明显,而 CER 与 VER 对高层级渔业碳排放效率的抑制作用更弱。

关键词:环境规制;渔业碳排放;空间溢出;非期望产出超效率 SBM 模型;空间分位数回归模型

中图分类号:F326.4;P74

文献标志码:A

文章编号:1005-9857(2023)02-0003-15

Heterogeneous Environmental Regulation, Spatial Spillover and Fishery Carbon Emission Efficiency

WANG Keliang, YUAN Hongyu

(School of Economics, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: It is the only way for China's fishery low-carbon development to explore reasonable means of environmental regulation and appropriate intensity of environmental regulation to improve fishery carbon emission efficiency. Based on China's provincial panel data from 2004 to 2020, a super-efficiency SBM model containing unexpected output was used to estimate China's fishery carbon emission efficiency. On this basis, environmental regulations were divided into CER, MER and VER, and the spatial econometric model was used to empirically test the impact of the three environmental regulations on fishery carbon emission efficiency. The results showed that: (1) from the time dimension, the average annual growth rate of fishery carbon emission efficiency was 7.327% during the study period. From the spatial dimension, the carbon emission efficiency of fishery was low in the middle and high in the east and west. (2) The re-

收稿日期:2022-06-28;修订日期:2022-12-15

基金项目:国家自然科学基金资助项目(71973131、71973132);国家社会科学基金重大专项研究项目(19VHQ002)。

作者简介:汪克亮,教授,博士生导师,博士,研究方向为资源环境经济

通信作者:袁鸿宇,硕士研究生,研究方向为资源环境经济

sults of spatial Dubin model showed that there was significant heterogeneity in the effects of the three environmental regulations on fishery carbon emission efficiency in this region, and CER and MER had significant spatial spillover characteristics. (3) The results of the spatial quantile model showed that MER had an obvious promotion effect on the carbon emission efficiency of lower-level fisheries, while CER and VER had a weaker inhibition effect on the carbon emission efficiency of higher-level fisheries.

Keywords: Environmental regulation, Fishery carbon emissions, Spatial spillover, Super-SBM-undesirable model, Spatial quantile regression model

0 引言

自 2003 年联合国发布《21 世纪议程》并宣布渔业经济发展的重要性以来,中国渔业经济迅速发展,中国渔业生产总值实现 2003—2019 年年均增速 9.6% 的“经济增长奇迹”^[1-3]。然而,渔业经济的粗放式发展模式导致资源环境约束日益趋紧,温室气体排放问题愈加突出。中国作为世界上最大的渔业国家,其渔业碳排放量占农业碳排放量的比重已超过三分之一,渔业单位产值碳排放量更是农业的 1.8 倍^[4],加快渔业节能减排是实现整体节能减排的重要路径。因此,在保持渔业经济平稳发展的前提下,推动渔业经济发展由外延式向内涵式转变,促进渔业碳排放效率提升成为中国渔业节能减排的关键所在。

环境规制是政府和公众实现节能减排的重要工具,可以分为命令型(CER)、市场型(MER)和自愿型(VER)3 类^[5-6]。自“碳达峰”和“碳中和”概念提出以来,各类环境规制政策和手段方兴未艾。《中国生态环境统计年报》显示,2021 年中国政府下发生态环境资金 572 亿元,污染罚款 116.9 亿元,接受群众反映环境问题 44 万件^[7]。环境规制作为填补环境方面市场失灵的重要方法,在节能减排中扮演着重要角色,也受到了政府的高度重视。因此在研究渔业碳排放效率时,环境规制这一因素值得高度关注。此外,地方政府的“逐底竞争”促使污染企业跨地区转移,导致高标准环境规制地区不能获得全部收益,这意味着环境规制具有显著的空间溢出特征。因此,在研究环境规制对渔业碳排放效率的影响时,环境规制的空间溢出效应不容忽视。

在此背景下,为加快推进渔业节能减排,有必

要进一步探究环境规制与渔业碳排放效率之间可能存在的影响。本研究使用考虑非期望产出的超效率 SBM 方法对碳排放效率进行测算,继而将异质性环境规制与渔业碳排放效率纳入同一分析框架,从空间溢出视角深入分析二者之间的关系,并进一步使用空间分位数模型探讨 3 种环境规制对渔业碳排放效率不同分位点的技术溢出效应及其变化趋势。本研究一方面有助于厘清 3 种环境规制与渔业碳排放效率之间的影响关系,另一方面可就因地制宜制定环境政策、加快推进渔业节能减排提供相应建议。

1 文献综述

目前国内外学者关于渔业碳排放效率的研究主要集中在测算方法^[4,8-9]和影响因素^[10-12]2 个方面。在渔业碳排放效率的测算上,学者们主要采用碳排放量占 GDP 的比重^[13]、GNP 与碳排放总量的比值^[14]、单位碳排放量能源消费的碳排放量^[15]等单一指标。但是单要素指标无法全面反映碳排放的效率且易受到经济波动的影响^[16]。有学者使用全要素指标来衡量碳排放效率,常用方法有随机前沿法(SFA)和数据包络法(DEA)。相较于 SFA 方法,DEA 方法不需要事先对变量间关系进行假定,在测量多投入、产出的决策单元效率方面有明显优势^[17]。传统的 DEA 模型中,相较于 CCR 和 BCC 模型,Tone^[18]提出的 SBM 模型具备在线性规划求解中无须设定生产函数、消除指标量纲以及可同时考虑多投入多产出等优点。此外考虑到在现实情况中,经济生产也有可能产生非期望产出,因此考虑非期望产出的 SBM 模型更加符合绿色发展的要求。目前,有部分学者使用考虑非期望产出的超效

率 SBM 方法对渔业碳排放效率进行测算,但在投入指标的选择上存在差异。冯伟等^[9]考虑渔业劳动力、资本存量和能源消耗的投入,科学测算出渔业碳排放效率;曾冰^[4]选取渔业从业人员、水产养殖面积和年末机动渔船总功率作为投入变量;张茱楠^[19]则选取海洋渔业劳动力、固定资产存量和中间消耗作为投入变量。总体来看,关于渔业碳排放效率的测算,学者们多使用单要素指标,仅有少部分学者使用超效率 SBM 方法,但投入指标体系较为单薄,无法全面反映渔业碳排放的效率。

在渔业碳排放效率的影响因素研究上,国内外学者主要使用结构分解模型、LMDI 模型以及 Kaya 恒等式探究了技术进步、能源强度、能源结构等因素的影响^[20-22]。但以上模型可以考虑的因素有限,因此,有学者采用 Tobit 面板回归进一步探究经济发展水平、科技推广、产业结构、对外开放水平与基础设施对于渔业碳排放效率的影响^[4]。然而,渔业碳排放效率具有显著的空间溢出特征,忽略渔业碳排放效率的空间溢出现象会使实证结果产生严重偏误。因此,张茱楠^[19]使用空间计量模型探究渔业产业结构对于渔业碳排放效率的影响。但总体来看,现有研究在探究渔业碳排放效率时鲜有涉及空间溢出效应。

环境规制与碳排放效率的关系受到“倒逼减排”和“绿色悖论”的双重影响。有学者认为政府实施环境规制会倒逼碳密集企业减少化石能源的使用或加快技术创新从而提高碳排放效率^[23]。然而另有学者提出“绿色悖论”,指出碳税政策的颁布会影响企业的心理预期,企业为了减少未来的碳排放成本从而增加本期的碳排放^[24]。因此环境规制会给企业带来额外的负担,增加企业的成本,抑制碳排放效率的提升^[25]。进一步的,Gerlagh^[26]将“绿色悖论”的影响分为弱效应和强效应,并指出弱效应下的二氧化碳排放会在短期内增加,导致碳排放效率短期内大幅度下降,强效应下二氧化碳排放的净现值则会增加,导致碳排放效率在长期呈现下降的趋势。面对环境规制影响碳排放效率的 2 种机制,还有学者认为环境规制与碳排放的影响较为复杂,存在非线性关系^[27-28]和行业异质性^[29]。

在结合现有研究的基础上,本研究的边际贡献主要体现为:①在助力中国“双碳”目标实现的背景下,将研究视角细化到渔业行业的节能减排;进一步将渔业相关的人力、资本、土地、能源消耗作为投入变量,运用包含非期望产出的超效率 SBM 模型全面衡量中国渔业碳排放效率,弥补现有渔业碳排放效率指标选取的不足。②从环境治理助推渔业节能减排的视角,在渔业碳排放效率研究体系中引入环境规制因素,拓展渔业碳排放效率的研究体系;进一步将环境规制细分为命令型、市场型和自愿型 3 种,准确识别不同种类环境规制对于渔业碳排放效率的影响。③考虑到潜在的空间溢出效应,使用空间杜宾模型探究环境规制对渔业碳排放效率的影响,进一步采用空间分位数模型探讨 3 种环境规制对渔业碳排放效率不同分位点的技术溢出效应及其变化趋势。

2 理论分析与研究假设

2.1 环境规制对渔业碳排放效率的影响

鉴于环境规制手段的多样性,有学者提出环境规制可以分为命令型环境规制、市场型环境规制和自愿型环境规制 3 种,从而分析不同类型环境规制的作用机制和效果^[30-31]。其中,命令型环境规制一般指由政府发起的治理环境的手段,通常以制定环境标准的方式体现^[32]。在中国财政分权体制下,地方政府官员为提升政绩追求短期内环境治理成果最大化,倾向采取增加环境基础设施建设投资等收益高、见效快的手段。然而,此种举措在实现碳减排目标的同时也加大了渔业方面的资源投入,造成对渔业碳排放效率的抑制作用^[33-34]。此外,董书丽等^[35]研究发现,企业面对命令型环境规制政策给生产活动带来的约束作用,为降低成本追求更大的利益,往往会选择将资金投入末端治理方面,而非减排技术投入,进而可能会改变原有资金分配与生产模式,就此抑制生产效率的提升。在政府和企业的双重作用下,命令型环境规制的实施往往会造成渔业碳排放效率不增反降的现象。

与命令型环境规制不同,市场型环境规制一般指通过市场调节等经济行为来解决环境问题,一般采用征收排污费、排污权交易等方式^[36]。对企业征

收排污费将额外增加企业生产成本,渔业企业在有限的资金下只能减少捕捞等生产行为,减少对化石能源的需求,从而达到促进渔业企业节能减排的目的。与此同时,在以市场为主体调控的背景下,激烈的市场竞争倒逼渔业企业不断改革创新,渔业创新则进一步通过提高能源利用效率对渔业碳排放效率产生促进作用。成金华等^[37]则进一步认为实施市场型环境规制征收排污费时会对渔业行业有一定的倾斜,使得渔业行业具有比较优势,吸引更多的绿色金融资本、技术人才等要素流入,支持渔业企业绿色发展。在供求与市场竞争的双重作用下,市场型环境规制对于渔业碳排放效率提升具有显著的促进作用^[38]。

自愿型环境规制一般指社会团体自发性对环境的保护行为,通常采用人民代表大会提案、环境上访以及社会舆论等方式参与政府的环境治理工作^[39]。然而,环境上访等行为会对渔业企业的声誉产生严重打击,从而增加渔业企业的舆论成本,更有甚者可能对渔业企业的经济产出造成影响。在产出一定的前提下,投入成本的提高引致渔业碳排放效率下降^[40]。与此同时,Wang 等^[41]研究发现,随着企业内的环境工会等自发组织愈加正式和集权,会影响企业的协调能力从而增加企业运行成本,导致渔业碳排放效率下降。还有学者认为自愿型环境规制是象征性的环境管理行为,不会对碳排放造成实质的影响^[42]。因此,本研究提出假设 1:3 种环境规制基于不同的影响机制对渔业碳排放效率的影响存在差异。

2.2 环境规制的空间溢出效应

根据“污染避难所”假说,较高的环境规制标准会促使企业为降低成本向低环境规制标准地区转移。在中国财政分权体制下,地方官员为追求经济快速发展不惜争相降低环境规制标准吸引企业入驻,导致环境规制出现负向空间溢出效应^[43]。此外,由于渔业碳排放具有显著的空间溢出效应,邻近低环境规制标准地区产生的高渔业碳排放会通过碳排放外溢而对本地碳排放造成影响,造成环境规制的负向空间溢出现象^[44]。最后,由于技术创新具有显著的示范学习效应,邻近地区环境规制的技

术创新效应溢出会对本地区的渔业碳排放效率产生影响,存在“搭便车”现象^[45]。因此,本研究提出假设 2:环境规制对渔业碳排放效率的影响存在空间溢出效应。

3 变量、模型与数据

3.1 研究模型

3.1.1 包含非期望产出的超效率 SBM 模型

传统 DEA 模型基于径向角度测算效率的局限性,以致效率评估结果的真实性受到影响。因此 Andersen 等^[46]提出基于非径向、非角度且可以对效率值为 1 的决策单元进行区分的超效率 SBM 模型。假设有 n 个生产决策单元,每个决策单元由要素投入 X 、期望产出 Y 以及非期望产出 B 构成,定义为:

$$X = [x_1, x_2, \dots, x_n] \in R^{m \times n}$$

$$Y = [y_1, y_2, \dots, y_n] \in R^{q_1 \times n}$$

$$B = [b_1, b_2, \dots, b_n] \in R^{q_2 \times n}$$

那么,基于非期望产出的 SBM 模型的公式为:

$$\rho = \min \frac{1 + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{ik}}}{1 + \frac{1}{q_1 + q_2} \left(\sum_{r=1}^{q_1} \frac{s_r^+}{y_{rk}} + \sum_{t=1}^{q_2} \frac{s_t^{b-}}{b_{tk}} \right)}$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} x_i^k \geq \sum_{j=1, j \neq k}^n x_{ij} \lambda_j - s_i^- \\ y_{rk} \leq \sum_{j=1, j \neq k}^n y_{rj} \lambda_j + s_i^+ \\ b_{tk} \geq \sum_{j=1, j \neq k}^n b_{tj} \lambda_j - s_i^{b-} \\ 1 + \frac{1}{q_1 + q_2} \left(\sum_{r=1}^{q_1} \frac{s_r^+}{y_{rk}} + \sum_{t=1}^{q_2} \frac{s_t^{b-}}{b_{tk}} \right) \\ \lambda, s^+, s^-, s^{b-} \geq 0 \\ i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n (j \neq k) \\ r = 1, 2, \dots, q_1; t = 1, 2, \dots, q_2 \end{cases}$$

式中: ρ 为渔业碳排放效率值; m 表示要素投入数量; s_1 和 s_2 分别为期望和非期望产出数量; s_i^- 、 y_r^d 和 y_t^{nd} 分别为要素投入、期望和非期望产出松弛矩阵; λ 表示权重; k 为决策单元。当 $\rho > 1$ 时,表示渔业碳排放效率有效;若 $0 < \rho < 1$,则代表渔业碳排放效率存在改进空间。

3.1.2 计量模型

3.1.2.1 空间计量模型

首先构建基准回归分析探究环境规制对渔业

碳排放效率的影响,以命令型环境规制为例,计算公式为:

$$FCEE_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 ER_{it} + \sum_{j=2}^n \alpha_j X_{it} + \epsilon_{it}$$

式中: i 为省份; t 为年份; $FCEE$ 为渔业碳排放效率; ER 为命令型环境规制; α 为变量的系数; ϵ_{it} 是服从正态分布的误差项。

在前文理论机制中已经初步论证环境规制具有显著的空间溢出特征,如果在实证分析中忽略空间效应将会出现估计结果偏误。因此,在探究环境规制与渔业碳排放效率之间关系的时候,将各变量同时纳入空间分析框架则非常重要。较为常用的空间计量模型主要有 SAR、SEM 与 SDM 模型,分别为:

$$FCEE_{it} = \omega_0 + p\mathbf{W} \cdot FCEE_{it} + \omega_1 ER_{it} +$$

$$\sum_{j=2}^n \omega_j X_{it} + \epsilon_{it}$$

$$FCEE_{it} = \theta_0 + \theta_1 ER_{it} + \sum_{j=2}^n \theta_j X_{it} + \epsilon_{it}$$

$$FCEE_{it} = \mu_0 + p\mathbf{W} \cdot FCEE_{it} + \sigma\mathbf{W} \cdot ER_{it} +$$

$$\mu_1 ER_{it} + \sum_{j=2}^n \mu_j X_{it} + \epsilon_{it}$$

式中: ω 、 θ 、 μ 、 p 、 σ 均为变量的系数; ϵ_{it} 为误差项; $\mathbf{W}$ 是空间权重矩阵。

本研究采用地理距离矩阵作为空间权重矩阵,采用经济地理矩阵作为稳健性检验的空间权重矩阵。市场型环境规制和自愿型环境规制与命令型

环境规制的计量模型类似,不再详细列出。

3.1.2.2 空间分位数模型

为进一步探究整体条件分布状态并削减极端值的影响,本研究采用空间分位数模型探讨 3 种环境规制对渔业碳排放效率不同分位点的技术溢出效应及其变化趋势,其表达式为:

$$Q_{Y_{it}}(\tau | X_{it}) = a_i + \mathbf{X}_{it}^T \beta(\tau) + \epsilon_i$$
$$(i = 1, 2, \cdots, n; t = 1, 2, \cdots, T)$$

$$\beta(\theta) = \min \sum_{k=1}^q \sum_{l=1}^n \omega_k \rho_{\tau_k} [Y_{it} - a_i - X_{it}^T \beta(\tau)]$$

式中: $Q_{Y_{it}}$ 为渔业碳排放效率的条件分位函数; Y_{it} 为渔业碳排放效率; a_i 为常数项; $\mathbf{X}_{it}^T$ 为自变量向量; $\beta(\tau)$ 表示 τ 分位下的影响系数; q 为分位数数组数量; k 为分位数的第 k 组; ρ_{τ_k} 为分位数损失函数; ω_k 为第 k 分位数的权重系数。

3.2 数据来源

本研究使用 2004—2020 年中国 28 个省级行政区域的面板数据,鉴于中国台湾、香港、澳门、西藏、宁夏和甘肃的相关数据存在缺失,未将其纳入样本。所涉及的数据来源于《中国渔业统计年鉴》《中国渔业年鉴》《中国统计年鉴》《中国环境年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国能源统计年鉴》和 ERA-Interim 数据库。具体的各个变量的描述性统计如表 1 所示。

表 1 变量描述性统计
Table 1 Descriptive statistics of variables

变量名称	变量符号	均值	标准差	最大值	最小值
渔业碳排放效率	FCEE	0.372	0.271	1.412	0.012
命令型环境规制	CER	2.139	1.626	11.960	0.080
市场型环境规制	MER	5.881	4.949	28.734	0.156
自愿型环境规制	VER	0.019	0.016	0.120	0.001
渔业经济发展水平	ED	12 365.633	6 671.134	40 796.148	1 163.070
渔业产业结构	IS	0.188	0.120	0.791	0.010
渔业能源消耗	EC	296 107 146.584	463 597 772.156	2 154 733 380.000	186 281.672
渔业创新能力	IC	5 903.525	5 851.897	36 422.000	20.000
水产品贸易	TD	565 454.986	121 887.966	637 492.500	0.050

3.3 变量选取

被解释变量:渔业碳排放效率(FCEE)。如上

文,由包含非期望产出的超效率 SBM 模型计算而来。投入要素为渔业从业人员数量、水产养殖面

积、渔业资本存量和渔业能耗,期望产出为渔业生产总值,非期望产出为渔业碳排放量。其中渔业资本存量、渔业能耗与渔业碳排放量的计算采用如下公式,具体计算过程参考冯伟等^[9]的研究。

渔业资本存量 = 渔业生产总值 × 各地区资本存量 / 各地区生产总值

渔业能耗 = 捕捞业耗能 · D/0.7

式中:D 代表柴油与标准煤的转化系数。

核心解释变量:环境规制(ER)。可以分为命令型环境规制(CER)、市场型环境规制(MER)与自愿型环境规制(VER)。命令型环境规制采用环境污染治理投资与地区生产总值的比值来衡量^[47],市场型环境规制采用排污费来表示^[48],自愿型环境规制则采用人大环境提案数来衡量^[49]。

控制变量:考虑到其他可能影响渔业碳排放效率的因素,分别选取渔业经济发展水平(ED)、渔业产业结构(IS)、渔业能源消耗(EC)、渔业创新能力(IC)和水产品贸易(TD)作为控制变量。

(1)收入是衡量地区经济发展水平的重要指标,经济发展水平与碳排放也存在库兹涅茨曲线,因此渔业经济发展水平(ED)以渔民人均纯收入表示^[50]。

(2)产业结构作为考虑产业结构升级的重要指标,决定着产业碳排放效率的变化方向,考虑到渔业第三产业是低碳渔业的新方向,采用渔业第三产业生产总值占比表示渔业产业结构(IS)^[51]。

(3)渔业能耗(EC)是渔业碳排放效率的决定性因素,采取前文的计算公式计算得出。

(4)创新是碳排放效率提升的重要动力,使用水产技术推广经费来表示渔业创新能力(IC)。

(5)中国是水产品贸易大国,水产品贸易隐含碳排放的存在使其对渔业整体碳排放效率有着重要的影响,选取水产品出口金额作为水产品贸易(TD)的衡量指标,并依据当年人民币兑换美元汇率转化为人民币的计量单位。

4 结果与讨论

4.1 渔业碳排放效率

本研究运用包含非期望产出的超效率 SBM 模型测算 2004—2020 年中国 28 个地区的渔业碳排放

效率。为了更直观地显示其空间分布特征,以 2004 年、2009 年、2014 年和 2019 年为例将 28 个地区的渔业碳排放效率按照分位数划分为 4 种类型:低水平(渔业碳排放效率位于整体水平的 25% 水平以下)、较低水平(渔业碳排放效率位于整体水平的 25%~50%)、较高水平(渔业碳排放效率位于整体水平的 50%~75%)和高水平(渔业碳排放效率位于整体水平的 75% 以上),如表 2 所示。

表 2 代表性年份渔业碳排放效率分级

Table 2 Classification of fishery carbon emission efficiency in representative years

等级	2004 年	2009 年	2014 年	2019 年
低水平	河北、内蒙古、吉林、黑龙江、江苏、安徽、江西、河南、湖北、湖南、广东、广西、重庆、四川、贵州、陕西	河北、内蒙古、吉林、黑龙江、安徽、江西、河南、湖南、重庆、四川、贵州、云南、陕西、青海	吉林、黑龙江、贵州	—
	辽宁、浙江、福建、山东、海南、云南、新疆	辽宁、江苏、浙江、湖北、广东、广西、新疆	内蒙古、安徽、江西、河南、湖南、重庆、四川、青海	内蒙古、吉林
较高水平	天津、山西、上海	天津、山西、上海、福建、山东、海南	河北、浙江、湖北、广东、广西、云南、新疆	辽宁、黑龙江、江西、河南、湖南、重庆、贵州、青海
				北京、天津、河北、山西、上海、江苏、山西、辽宁、浙江、安徽、上海、江苏、福建、山东、福建、山东、湖北、广东、海南、陕西、广西、海南、四川、云南、陕西、新疆
高水平	北京、青海	北京		

从空间维度看,渔业碳排放效率较高的地区主要集中在东部沿海地区、长江流域和黄河流域。具体而言,北京、辽宁、浙江、福建、山东、山西、云南和新疆的渔业碳排放效率相对最高,处于第一梯队。以上地区所处位置水系发达,渔业平均发展水平高于其他地区,因此具有更高的渔业碳排放效率。其

中东部沿海地区的经济发展水平、工业发展水平以及对外贸易水平相较于内陆地区尤为突出,因此东部沿海地区具有更高的投入产出效率。

从时间维度看,各地区渔业碳排放效率呈现较为明显的增长趋势。渔业碳排放效率处于低水平的地区由 2004 年的 16 个降低到 2019 年的 0 个,较高水平及以上的地区由 2004 年的 5 个提升到 2019 年的 26 个,其中分布在高水平的地区由 2004 年的 2 个提升到 2019 年的 18 个,说明中国渔业低碳发展取得了显著成效。此外,各地区渔业碳排放效率呈现出潜力大、增速快的特点。研究期内全国渔业碳排放效率实现 7.327% 的年均增长率,其中湖北、江苏、浙江、陕西和重庆的年均增长率均达到 10% 以上,对于其他地区有一定的借鉴意义。

4.2 空间计量回归

在进行空间计量回归前,首先需要对被解释变量进行空间相关性检验,本研究计算了渔业碳排放效率在地理距离矩阵下的 Moran's I 指数,结果如表 3 所示。

表 3 Moran's I 指数回归结果
Table 3 Moran's I index regression results

年份	Moran's I	Z 值	年份	Moran's I	Z 值
2004	-0.012***	2.699	2013	-0.013**	2.582
2005	-0.014**	2.496	2014	-0.014**	2.518
2006	-0.014**	2.511	2015	-0.014**	2.462
2007	-0.014**	2.480	2016	-0.014**	2.452
2008	-0.014**	2.473	2017	-0.014**	2.460
2009	-0.009***	2.664	2018	-0.043	-0.195
2010	0.013***	2.884	2019	-0.043	-0.228
2011	-0.012***	2.701	2020	-0.043	-0.212
2012	-0.013***	2.615			

注:*** 表示 $p < 0.01$, ** 表示 $p < 0.05$, * 表示 $p < 0.1$ 。

渔业碳排放效率的全局 Moran's I 指数基本通过显著性检验,初步表明中国渔业碳排放效率存在显著的空间负相关性特征。因此,在实证分析环境规制对渔业碳排放效率的影响时,如果忽视其空间效应问题,将会导致估计结果出现偏误。

本研究分别使用 SAR、SEM 与 SDM 模型探究命令型环境规制、市场型环境规制和自愿型环境规制是否对渔业碳排放效率存在影响。对 SDM 模型

进行 Wald 检验和 LR 检验, P 值均在 1% 的水平下显著为 0,表明 SDM 模型具有最优的拟合效果。基于此,选择空间 SDM 模型进行分析。核心解释变量基本都显著,说明 3 种环境规制对渔业碳排放效率的影响存在显著的空间溢出效应,邻近地区的环境规制往往可以通过邻里模仿行为对本地区渔业碳排放效率产生影响。在影响方向上,对于命令型环境规制,其系数为负且在 10% 的水平上显著,说明随着命令型环境规制水平的提高,渔业碳排放效率出现下降的趋势。在中国财政分权体制下,地方政府官员为提升政绩追求短期内环境治理成果最大化,倾向采取增加环境治理投资等收益高、见效快的手段。然而,此种举措在降低渔业碳排放的同时也加大了资源消耗,造成渔业碳排放效率不增反降^[33-34]。市场型环境规制的系数显著为正,说明市场型环境规制与渔业碳排放效率呈正向的促进关系。从供求角度看,对企业征收排污费将增加企业生产成本,从而减少关于化石能源的需求,促进碳排放效率提升;从市场竞争角度看,市场型环境规制以市场为主体调控,市场竞争倒逼企业不断提升创新水平,提高能源利用效率,从而提升碳排放效率^[38]。渔业排污费制度已在中国实施 30 余年,拥有大量的实践基础,在供求和市场竞争的双重激励下,市场型环境规制的节能减排效果尤为显著。自愿型环境规制与渔业碳排放效率呈负向的抑制关系。一方面,自愿型环境规制强度的提升意味着公众环保意识的增强,这会促进碳排放效率的提升;另一方面,环境上访和环境提案的增加会对企业的声誉造成影响,从而增加企业运营的隐形成本,进而抑制碳排放效率的提升^[40]。自愿型环境规制的估计系数为负,说明对于渔业行业,自愿型环境规制的成本效应大于公共意识提升效应。

对于控制变量,渔业产业结构、渔业能源消耗和渔业创新能力的系数基本均显著为负,表明渔业第三产业产值比重的增加、渔业能耗的增长以及水产技术推广经费的增加都会导致渔业碳排放效率的损失。这一结果与已有研究结果一致,即随着经济发展,产业分工逐渐细化和多样化,能源消耗进一步增加,产业结构优化对碳排放起促进作用。

Jin 等^[52]也提出技术效率提高带来的减排效果不能抵消劳动效率提高带来的碳排放增长效果,即技术创新会导致企业对于能耗的需求增加而导致更多的碳排放。水产品贸易的系数为正。出口的增加为接受国提供了更多的商品和服务,而留给本地区消费的商品和服务减少,因此会对本地区的碳排放起到抑制的作用^[53]。

内生性问题的存在可能会使估计结果产生偏误。借鉴 Zhang 等^[54]使用时间空间双滞后的动态空间面板模型处理内生性问题。回归结果如表 4 第(2)列、第(4)列、第(6)列所示,核心解释变量除回归系数值有所变化外,其显著性及正负号均没有发生明显变化。动态空间面板模型在一定程度上缓解了可能存在的内生性问题。

表 4 空间计量回归结果
Table 4 Spatial econometric regression results

项目	CER		MER		VER	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
FCEE	—	0.604 *** (0.041)	—	1.286 *** (0.041)	—	0.887 *** (0.041)
W · FCEE	—	3.659 *** (0.346)	—	18.021 *** (0.349)	—	8.697 *** (0.347)
CER	−0.147 * (0.077)	−0.253 * (0.141)	—	—	—	—
MER	—	—	0.007 ** (0.003)	0.012 *** (0.003)	—	—
VER	—	—	—	—	−1.439 ** (0.686)	5.132 *** (0.591)
ln ED	−0.018 (0.019)	0.003 (0.018)	−0.039 * (0.020)	0.038 ** (0.017)	−0.022 (0.019)	0.036 ** (0.017)
ln IS	−0.033 *** (0.017)	−0.048 *** (0.014)	−0.030 * (0.017)	−0.066 *** (0.014)	−0.035 ** (0.017)	−0.061 *** (0.014)
ln EC	−0.157 *** (0.015)	−0.066 *** (0.014)	−0.160 *** (0.015)	0.026 * (0.014)	−0.161 *** (0.015)	−0.007 (0.014)
ln IC	−0.049 *** (0.016)	0.006 (0.015)	−0.046 *** (0.016)	0.017 (0.015)	−0.053 *** (0.016)	0.031 ** (0.015)
ln TD	0.006 (0.006)	0.011 ** (0.005)	0.005 (0.006)	0.023 *** (0.005)	0.006 (0.006)	0.015 *** (0.005)
W _x × CER	−0.238 * (0.132)	—	—	—	—	—
W _x × MER	—	—	−0.021 *** (0.008)	—	—	—
W _x × VER	—	—	—	—	−2.326 (1.889)	—
相关系数	0.242 * (0.131)	0.011 ** (0.005)	0.231 * (0.139)	9.979 *** (0.210)	0.223 * (0.135)	4.092 *** (0.210)
观测值	448	420	448	420	448	420
R ²	0.081	0.227	0.072	0.003	0.076	0.053

注: *、** 和 *** 分别表示在 10%、5%和 1%下显著。

当存在空间溢出效应时,直接使用估计系数解 释经济现象是不严谨的。鉴于此,本研究将 3 种环

境规制对渔业碳排放效率的影响效应进行分解,分为直接效应、间接效应与总效应,回归结果如表 5 所示。实证结果表明,命令型环境规制直接效应、间接效应和总效应的系数显著为负,说明命令型环境规制不仅对本地的渔业碳排放效率起到抑制作用,而且与邻近地区的渔业碳排放效率也呈现负向作

用的关系;市场型环境规制直接效应系数显著为正,间接效应系数显著为负,表示市场型环境规制会促进本地区的渔业碳排放效率提升,但会对邻近地区的渔业碳排放效率起到一定的抑制作用;自愿型环境规制主要抑制本地区的渔业碳排放效率,对于邻近地区的渔业碳排放效率的影响不显著。

表 5 空间效应分解
Table 5 Spatial effect decomposition

项目	CER			MER			VER		
	直接效应	间接效应	总效应	直接效应	间接效应	总效应	直接效应	间接效应	总效应
CER	-0.135 * (0.079)	-0.363 ** (0.183)	-0.498 * (0.290)	—	—	—	—	—	—
MER	—	—	—	0.008 *** (0.003)	-0.019 ** (0.009)	-0.011 (0.009)	—	—	—
VER	—	—	—	—	—	—	-1.433 ** (0.705)	-2.816 (2.202)	-4.249 * (2.277)
控制变量	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
观测值	448	448	448	448	448	448	448	448	448
R ²	0.081	0.081	0.081	0.072	0.072	0.072	0.076	0.076	0.076

注: *、** 和 *** 分别表示在 10%、5% 和 1% 下显著。

4.3 稳健性检验

采用替换空间权重矩阵以及替换被解释变量 2 种策略,对基准回归结果进行稳健性检验。

4.3.1 替换空间权重矩阵

选取经济地理矩阵替代地理矩阵进行稳健性

检验。经济地理矩阵考虑的经济和地理双重因素,能全面地反映研究对象的空间关联程度。回归结果如表 6 所示,在经济地理矩阵下,命令型环境规制、市场型环境规制和自愿型环境规制的系数符号均保持一致,且系数大小变化不大。

表 6 SBM 模型稳健性检验结果
Table 6 Robustness test results of SBM model

项目	CER		MER		VER	
	地理矩阵	经济地理矩阵	地理矩阵	经济地理矩阵	地理矩阵	经济地理矩阵
CER	-0.147 * (0.077)	-0.154 ** (0.077)	—	—	—	—
MER	—	—	0.007 ** (0.003)	0.004 ** (0.002)	—	—
VER	—	—	—	—	-1.439 ** (0.686)	-1.391 ** (0.677)
W _x ×CER	-0.238 * (0.132)	-0.220 * (0.134)	—	—	—	—
W _x ×MER	—	—	-0.021 *** (0.008)	-0.018 *** (0.005)	—	—
W _x ×VER	—	—	—	—	-2.326 (1.889)	-1.303 (0.948)
控制变量	YES	YES	YES	YES	YES	YES

续表 6

项目	CER		MER		VER	
	地理矩阵	经济地理矩阵	地理矩阵	经济地理矩阵	地理矩阵	经济地理矩阵
相关系数	0.242 * (0.131)	0.236 *** (0.052)	0.231 * (0.139)	0.213 *** (0.052)	0.225 * (0.135)	0.251 *** (0.051)
观测值	448	448	448	448	448	448
R ²	0.081	0.163	0.072	0.217	0.076	0.158

注：*、** 和 *** 分别表示在 10%、5% 和 1% 下显著。

4.3.2 替换被解释变量

原被解释变量渔业碳排放效率采取包含非期望产出的超效率 SBM 方法测量,现使用同样的原始数据,利用包含非期望产出的超效率 EBM 方法

测量新的渔业碳排放效率替换原被解释变量(表 6 与表 7)。可以看到,3 种环境规制的系数符号大小和方向基本不变。因此,前文的基准回归结果具有较强的稳健性。

表 7 EBM 模型稳健性检验结果
Table 7 Robustness test results of EBM model

项目	CER		MER		VER	
	地理矩阵	经济地理矩阵	地理矩阵	经济地理矩阵	地理矩阵	经济地理矩阵
CER	-0.132 * (0.076)	-0.149 ** (0.076)	—	—	—	—
MER	—	—	0.007 *** (0.003)	0.005 * (0.003)	—	—
VER	—	—	—	—	-1.112 * (0.677)	-1.044 (0.672)
W _x ×CER	-0.274 ** (0.127)	0.246 * (0.132)	—	—	—	—
W _x ×MER	—	—	-0.014 * (0.008)	-0.008 * (0.005)	—	—
W _x ×VER	—	—	—	—	-1.794 (1.838)	-0.520 (0.935)
控制变量	YES	YES	YES	YES	YES	YES
相关系数	0.202 * (0.123)	0.238 *** (0.052)	0.286 ** (0.127)	0.224 *** (0.052)	0.289 ** (0.124)	0.230 *** (0.052)
观测值	448	448	448	448	448	448
R ²	0.122	0.262	0.131	0.270	0.137	0.254

注：*、** 和 *** 分别表示在 10%、5% 和 1% 下显著。

4.4 进一步分析

普通的空间杜宾模型着重分析渔业碳排放效率的集中趋势,忽视了对整体条件分布的探究,且结果易受极端值的影响^[55]。因此,为进一步探讨 3 种环境规制对渔业碳排放效率不同分位点的技术

溢出效应及其变化趋势,本研究采用空间分位数模型,选择具有代表性的 25%、50% 和 75% 3 个分位点进行估计,估计结果如表 8 所示。回归结果显示,核心解释变量与控制变量的结果基本与预期一致,但不同分位点的系数大小和变化趋势不同。命令

型环境规制对渔业碳排放效率起抑制作用,且随着分位点的提高,抑制作用呈现下降的趋势,再次印证了前文关于命令型环境规制对于渔业碳排放效率的影响处于“U”型曲线拐点左侧的假设。市场型环境规制对渔业碳排放效率依然起促进作用,且渔

业碳排放效率越低,市场型环境规制的促进作用越强。与命令型环境规制一致,自愿型环境规制对渔业碳排放效率在各分位点上都为抑制作用,且随着渔业碳排放效率的提升,这种抑制作用逐渐减弱。

表 8 空间分位数回归结果
Table 8 Spatial quantile regression results

项目	CER			MER			VER		
	q25	q50	q75	q25	q50	q75	q25	q50	q75
W · FCEE	0.155 ** (0.061)	0.304 *** (0.091)	0.203 *** (0.070)	0.178 ** (0.077)	0.306 *** (0.095)	0.301 *** (0.088)	0.178 ** (0.077)	0.465 *** (0.094)	0.343 *** (0.070)
CER	−0.276 ** (0.130)	−0.181 * (0.095)	−0.1219 (0.122)	—	—	—	—	—	—
MER	—	—	—	0.006 ** (0.003)	0.008 *** (0.002)	0.005 * (0.003)	—	—	—
VER	—	—	—	—	—	—	−2.553 *** (0.890)	−2.428 ** (1.207)	−1.665 * (0.987)
ln ED	0.128 *** (0.026)	0.110 *** (0.041)	0.073 * (0.040)	0.115 *** (0.028)	0.118 *** (0.029)	0.074 * (0.041)	0.127 *** (0.031)	0.119 *** (0.027)	0.101 ** (0.043)
ln IS	−0.009 (0.012)	−0.027 * (0.016)	−0.045 ** (0.021)	−0.019 (0.014)	−0.016 (0.012)	−0.031 (0.022)	−0.010 (0.014)	−0.026 * (0.015)	−0.046 ** (0.020)
ln EC	−0.019 ** (0.009)	−0.036 *** (0.010)	−0.052 *** (0.013)	−0.024 ** (0.011)	−0.024 *** (0.010)	−0.048 *** (0.015)	−0.019 * (0.011)	−0.048 *** (0.009)	−0.044 *** (0.013)
ln IC	0.006 (0.016)	−0.042 ** (0.019)	−0.029 * (0.017)	−0.013 (0.017)	−0.055 *** (0.018)	−0.036 * (0.020)	−0.008 (0.018)	−0.046 ** (0.020)	−0.070 *** (0.024)
ln TD	0.010 *** (0.003)	0.021 *** (0.005)	0.026 *** (0.006)	0.011 *** (0.004)	0.013 *** (0.005)	0.025 *** (0.007)	0.010 *** (0.004)	0.022 *** (0.004)	0.022 *** (0.007)
观测值	448	448	448	448	448	448	448	448	448

注：*、**和***分别表示在10%、5%和1%下显著。

5 结论与建议

本研究在运用包含非期望产出的超效率 SBM 模型测算 2004—2020 年中国 28 个地区渔业碳排放效率的基础上,采用空间计量的方法和中介效应模型进一步考察命令型环境规制、市场型环境规制和自愿型环境规制对渔业碳排放效率的影响及其作用机制。

渔业碳排放效率存在显著的区域异质性和集聚特征。从空间维度看,渔业碳排放效率较高的地区主要集中在东部沿海地区、长江流域和黄河流

域。从时间维度看,各地区渔业碳排放效率呈现较为明显的增长趋势且呈现出潜力大、增速快的特点。研究期内全国渔业碳排放效率年均增长率为 7.327%。

3 种环境规制对渔业碳排放效率的影响存在显著的异质性,且 CER 和 MER 存在显著的空间溢出特征。命令型环境规制与本地及邻近地区的渔业碳排放效率都存在显著负向关系;市场型环境规制对本地渔业碳排放效率起显著促进作用,对邻近地区渔业碳排放效率起抑制作用;自愿型环境规制对

于本地渔业碳排放效率起抑制作用,对邻近地区的作用不明显。在考虑潜在的内生性问题后该结论依旧成立。

3种环境规制对渔业碳排放效率的影响在多个分位点上均存在显著异质性。命令型环境规制与自愿型环境规制的抑制作用随着渔业碳排放效率的提升而减弱。市场型环境规制的促进作用在渔业碳排放效率较低地区更为明显。这意味着对于渔业碳排放效率较低地区,市场型环境规制是主要的效率提升手段,而对于渔业碳排放效率较高地区,命令型环境规制和自愿型环境规制的抑制作用更弱,可以更好地发挥效果。

以上结论为中国的渔业碳排放治理提供了重要的政策启示。

(1)构建区域协调机制,形成地区间共同发展、协同管理的联合控碳治碳格局。邻近区域环境规制与渔业碳排放效率间的空间溢出现象,意味着只依赖本区域环境规制的实施仅能获得碳减排的短期效果。长期来看,地区间的联合控碳治碳管理不应局限于地方政府,还需要地区间的协同合作,且从宏观、中观及微观等多层面建立联合治理的行动纲要。

(2)环境规制政策工具的选择要根据本地区的实际情况,并适当加大执行力度,最大限度地发挥环境规制对于渔业碳排放效率的提升作用。环境规制是一项需要长期执行的政策,尤其是命令型环境规制,其效用的体现需要一定的时间累计。低碳发展是中国渔业实现可持续发展的必然选择,地区政府应持续建立高效的沟通机制以及反馈渠道,增强公众的环保意识,重视各个环节的环境规制执行力度,建立长期的环境规制手段。

(3)渔业碳排放效率较高地区应重视命令型环境规制与自愿型环境规制的建设,加快制定渔业环境治理政策,提高公众环保意识,缓解命令型环境规制与自愿型环境规制对于渔业碳排放效率的抑制作用。对于渔业碳排放效率较低地区,应该大力发展市场型环境规制,借“看不见的手”调节企业内需求与企业间竞争,倒逼渔业企业加快实行节能减排。

参考文献(References):

- [1] JIANG Xuzhao, LIU Tieying, SU Chiwei. China's marine economy and regional development[J]. *Marine Policy*, 2014, 50: 227—237.
- [2] 鲍旭腾, 黄一心, 孟菲良, 等. 中国渔业节能减排状况及发展建议[J]. *渔业现代化*, 2021, 48(3): 10—17.
BAO Xuteng, HUANG Yixin, MENG Feiliang, et al. Current situation and development suggestions of fishery energy conservation and emission reduction in China[J]. *Fishery Modernization*, 2021, 48(3): 10—17.
- [3] 周应祺, 陈新军. 国际海洋渔业管理的发展历史及趋势[J]. *上海水产大学学报*, 2000(4): 348—354.
ZHOU Yingqi, CHEN Xinjun. Development history and trend of international marine fishery management[J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2000(4): 348—354.
- [4] 曾冰. 长江经济带渔业经济碳排放效率空间格局及影响因素研究[J]. *当代经济管理*, 2019, 41(2): 44—48.
ZENG Bing. Spatial pattern and influencing factors of carbon emission efficiency of fishery economy in the Yangtze River Economic Belt[J]. *Contemporary Economic Management*, 2019, 41(2): 44—48.
- [5] ZHAO Xiaoli, YIN Haitao, ZHAO Yue. Impact of environmental regulations on the efficiency and CO₂ emissions of power plants in China[J]. *Applied Energy*, 2015, 149: 238—247.
- [6] 王双龙, 周海华. 正式与非正式的环境规制对企业绿色创新的影响机制研究[J]. *软科学*, 2016, 30(8): 47—51.
WANG Shuanglong, ZHOU Haihua. Research on the influence mechanism of formal and informal environmental regulation on enterprise green innovation[J]. *Soft Science*, 2016, 30(8): 47—51.
- [7] 董战峰, 郝春旭, 葛察忠, 等. 国家环境经济政策进展评估报告 2020[J]. *中国环境管理*, 2021, 13(2): 10—15.
DONG Zhanfeng, HAO Chunxu, GE Chazhong, et al. National environmental and economic policy progress assessment report 2020[J]. *China Environmental Management*, 2021, 13(2): 10—15.
- [8] CHEN Lili, HE Feng, WANG Jianjian. Allocative efficiency of carbon emission allowances among sectors in China[J]. *Polish Journal of Environmental Studies*, 2018, 27(2): 557—564.
- [9] 冯伟, 李晨, 邵桂兰. 中国省域渔业全要素碳排放效率时空分异[J]. *经济地理*, 2018, 38(5): 179—187.
FENG Wei, LI Chen, SHAO Guilan. Spatial and temporal variation of total factor carbon emission efficiency of provincial fishery in China[J]. *Economic Geography*, 2018, 38(5): 179—187.

- [10] WANG Qiang, WANG Shasha. Carbon emission and economic output of China's marine fishery: a decoupling efforts analysis [J]. *Marine Policy*, 2022, 135: 104831.
- [11] 迟萍, 李晨, 邵桂兰. 我国远洋渔业碳排放与行业经济增长的响应关系研究: 基于脱钩理论与 LMDI 分解的实证分析 [J]. *科技管理研究*, 2016, 36(6): 233—237.
CHI Ping, LI Chen, SHAO Guilan. Research on the response relationship between carbon emission and economic growth of pelagic fishery in China: empirical analysis based on decoupling theory and LMDI decomposition [J]. *Science and Technology Management Research*, 2016, 36(6): 233—237.
- [12] 李昊玉, 李晨, 孔海峥, 等. 中国渔业生产系统隐含碳排放结构特征及驱动因素分解 [J]. *资源科学*, 2021, 43(6): 1166—1177.
LI Haoyu, LI Chen, KONG Haizheng, et al. Structural characteristics and driving factors of embodied carbon emissions in China's fishery production system [J]. *Resources Science*, 2021, 43(6): 1166—1177.
- [13] YAMAJI K, MATSUHASHI R Y, NAGATA Y. A study on economic measures for CO₂ reduction in Japan [J]. *Energy Policy*, 1993, 21(2): 123—132.
- [14] SUN Jiwu. The decrease of CO₂ emission intensity is decarbonization at national and global levels [J]. *Energy Policy*, 2005, 33(8): 975—978.
- [15] MIELNIK O, GOLDEMBERG J. The evolution of the carbonization index in developing countries [J]. *Energy Policy*, 1999, 27(5): 307—308.
- [16] WU Jie. Environmental efficiency evaluation of industry in China based on a new fixed sum undesirable output data envelopment analysis [J]. *J. Clean Prod.*, 2014, 74: 96—104.
- [17] KUOSMANEN T. Stochastic nonparametric envelopment of data: combining virtue of SFA and DEA in a unified framework [R]. MTT. Discussion Paper, 2006.
- [18] TONE K A. Slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis [J]. *European Journal of Operational Research*, 2001, 130: 498—509.
- [19] 张荧楠. 海洋渔业产业结构优化对碳排放效率的影响: 基于我国沿海地区的空间计量分析 [J]. *海洋开发与管理*, 2021, 38(4): 3—15.
ZHANG Yingnan. Impact of marine fishery industrial structure optimization on carbon emission efficiency: based on spatial econometric analysis in China's coastal areas [J]. *Ocean Development and Management*, 2021, 38(4): 3—15.
- [20] YABE N. An analysis of CO₂ emissions of Japanese industries during the period between 1985 and 1995 [J]. *Energy Policy*, 2004, 32(5): 595—610.
- [21] 漆雁斌, 戴小文, 唐宏. 1990—2010 年中国农业隐含碳排放及其驱动因素研究 [J]. *资源科学*, 2015, 37(8): 1668—1676.
QI Yanbin, DAI Xiaowen, TANG Hong. Research on agricultural embodied carbon emission and its driving factors in China from 1990 to 2010 [J]. *Resources Science*, 2015, 37(8): 1668—1676.
- [22] 马海良, 王若梅, 王锦. 基于水-土要素匹配视角的农业碳排放时空分异及影响因素: 以长江经济带为例 [J]. *资源科学*, 2019, 41(8): 1450—1461.
MA Hailiang, WANG Ruomei, WANG Jin. Spatial-temporal variation of agricultural carbon emissions and its influencing factors from the perspective of water-soil element matching: a case study of the Yangtze River Economic Belt [J]. *Resources Science*, 2019, 41(8): 1450—1461.
- [23] FLOROS N, VLACHOUB A. Energy demand and energy-related CO₂ emissions in Greek manufacturing: assessing the impact of a carbon tax [J]. *Energy Economics*, 2005, 27(3): 387—413.
- [24] EICHNER T, PETHIG R. International economic review [J]. *International Economic Review*, 2011, 52(3): 767—805.
- [25] SINN H W. Public policies against global warming: a supply side approach [J]. *Social Science Electronic Publishing*, 2008, 15(4): 360—394.
- [26] GERLAGH R. Too much oil [J]. *Working Papers*, 2011, 57(1): 79—102.
- [27] MONSERRATE Z, MANUEL A. Is there an inverted U-shaped curve? Empirical analysis of the environmental Kuznets Curve in Singapore [J]. *Asia-Pacific Journal of Accounting and Economics*, 2016, 1(18): 1—18.
- [28] YUAN Baolong, XIANG Qiulian. Environmental regulation, industrial innovation and green development of Chinese manufacturing: based on an extended CDM model [J]. *J. Clean Prod.*, 2018, 176: 895—908.
- [29] WANG Y, SHEN N. Environmental regulation and environmental productivity: the case of China [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, 62: 758—766.
- [30] FÉRES J, REYNAUD A. Assessing the impact of formal and informal regulations on environmental and economic performance of Brazilian manufacturing firms [J]. *Environ Resource Econ*, 2012, 52: 52.
- [31] 朱方明, 赵玉民, 贺立龙. 环境规制的界定、分类与演进研究 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2009, 19(6): 85—90.
ZHU Fangming, ZHAO Yumin, HE Lilong. Research on definition, classification and evolution of environmental regulation [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2009, 19(6): 85—90.

- [32] 张鹭,张明,宋妍.异质性环境规制、空间溢出与雾霾污染[J].中国人口·资源与环境,2021,31(12):53—61.
ZHANG Lu,ZHANG Ming,SONG Yan.Heterogeneous environmental regulation,spatial spillover and haze pollution[J].China Population,Resources and Environment,2021,31(12):53—61.
- [33] 孙慧,郭卫香.环境规制、技术创新对全要素碳生产率的影响研究:基于中国省域的空间面板数据分析[J].科技管理研究,2020,40(23):239—247.
SUN Hui,GUO Weixiang.Impact of environmental regulation and technological innovation on total factor carbon productivity:based on spatial panel data analysis of provinces in China[J].Science and Technology Management Research,2020,40(23):239—247.
- [34] 涂君如,彭小兵.中国式财政分权与环境污染:环境群体性事件的经济根源[J].重庆大学学报(社会科学版),2016,22(6):51—61.
TU Junru,PENG Xiaobing.Chinese fiscal decentralization and environmental pollution:the economic root of environmental mass incidents[J].Journal of Chongqing University (Social Science Edition),2016,22(6):51—61.
- [35] 董书丽,马海良.不同类型环境规制对碳排放效率的影响[J].北京理工大学学报(社会科学版),2020,22(4):1—10.
DONG Shuli,MA Hailiang.Effects of different types of environmental regulations on carbon emission efficiency [J].Transactions of Beijing Institute of Technology (Social Science Edition),2020,22(4):1—10.
- [36] ZHANG Ming.The influence of multiple environmental regulations on haze pollution: evidence from China [J].Atmospheric Pollution Research,2020,11(6):170—179.
- [37] 成金华,高苇,张均.异质性环境规制对矿业绿色发展的影响[J].中国人口·资源与环境,2018,28(11):150—161.
CHENG Jinhua,GAO Wei,ZHANG Jun.Impact of heterogeneous environmental regulation on green development of mining industry [J].China Population,Resources and Environment,2018,28(11):150—161.
- [38] 郑晶晶,任胜钢,刘东华,等.排污权交易机制是否提高了企业全要素生产率:来自中国上市公司的证据[J].中国工业经济,2019(5):5—23.
ZHENG Jingjing,REN Shenggang,LIU Donghua,et al.Does emission trading system improve total factor productivity:evidence from chinese listed companies[J].China Industrial Economics,2019(5):5—23.
- [39] REN Shenggang.The effects of three types of environmental regulation on eco-efficiency:a cross-region analysis in China [J].J.Clean Prod.,2018,173:245—255.
- [40] WU Lei.Impact of heterogeneous environmental regulation on green total factors productivity [J].China Population Resources and Environment,2020,30(10):82—92.
- [41] WANG Yan,SHEN Neng.Environmental regulation and environmental productivity:the case of China[J].Renewable & Sustainable Energy Reviews,2016,62:758—766.
- [42] 王杰,刘斌.环境规制与企业全要素生产率:基于中国工业企业数据的经验分析[J].中国工业经济,2014(3):44—56.
WANG Jie,LIU Bin.Environmental regulation and total factor productivity of enterprises:empirical analysis based on the data of Chinese industrial enterprises[J].China Industrial Economics,2014(3):44—56.
- [43] 钟奥,王艳丽.地方政府竞争、环境规制与高耗能产业转移:基于“逐底竞争”和“污染避难所”假说的联合检验[J].山西财经大学学报,2016,38(8):46—54.
ZHONG Ao,WANG Yanli.Local government competition,environmental regulation and transfer of energy-intensive industries:ajoint test based on “Competition to the bottom” and “Pollution refuge” hypothesis[J].Journal of Shanxi University of Finance and Economics,2016,38(8):46—54.
- [44] 李欣,邵帅,曹建华,等.中国雾霾污染治理的经济政策选择:基于空间溢出效应的视角[J].经济研究,2016,51(9):73—88.
LI Xin,SHAO Shuai,CAO Jianhua,et al.Economic policy options for haze pollution control in China:from the perspective of spatial spillover effect [J].Economic Research Journal,2016,51(9):73—88.
- [45] 沈坤荣,金刚.以邻为壑还是以邻为伴?环境规制执行互动与城市生产率增长[J].管理世界,2018,34(12):43—55.
SHEN Kunrong,JIN Gang.Beggar-thy-neighbour or partner? Environmental regulation enforcement interaction and urban productivity growth[J].Management World,2018,34(12):43—55.
- [46] ANDERSEN P,PETERSEN N C.A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis [J].Management Science,1993,39(10):1261—1264.
- [47] 钟莹,刘海英.中国工业节能与减排效率一致性影响因素:基于 NDDF-面板 Tobit 两步法的实证研究[J].数量经济研究,2019,10(1):67—81.
ZHONG Ying,LIU Haiying.Consistency and influencing factors of industrial energy saving and emission reduction efficiency in China:an empirical study based on NDDF-Panel Tobit two-step method[J].Journal of Quantitative Economics,2019,10(1):67—81.
- [48] LEVINSON A.Environmental regulations and manufacturers' location choices:evidence from the census of manufactures

[J].Journal of Public Economics,1996,65:5—29.

[49] 贾晓燕,吴磊,吴超,等.异质型环境规制对中国绿色全要素生产率的影响[J].中国人口·资源与环境,2020,30(10):82—92.

JIA Xiaoyan,WU Lei,WU Chao,et al.The impact of heterogeneous environmental regulation on green total factor productivity in China[J].China Population,Resources and Environment,2020,30(10):82—92.

[50] 代亚楠,郑慧.中国海洋渔业空间生态格局探究:以我国沿海11个省市为例[J].海洋经济,2019,9(4):44—54.

DAI Ya'nan,ZHENG Hui.Study on spatial ecological pattern of marine fishery in China: a case study of 11 coastal provinces and cities in China[J].Marine Economics,2019,9(4):44—54.

[51] 汪琳琳,李晨,邵桂兰.水产品贸易对渔业碳排放强度的影响:基于中介模型与门槛模型的检验[J].资源科学,2021,43(10):2130—2145.

WANG Linlin,LI Chen,SHAO Guilan.Effects of aquatic products trade on fishery carbon emission intensity:based on mediation model and threshold model[J].Resources Science,2021,43(10):2130—2145.

[52] JIN Peizhen,ZHANG Yabin,PENG Xing.The double-edged effect of technological progress in carbon dioxide emissions reduction:empirical evidence from 35 sub-industrial sectors in China[J].Stud.Sci.Sci,2014,32:706—716.

[53] 张为付,杜运苏.中国出口贸易隐含碳排放增长及其驱动因素研究[J].国际贸易问题,2012(3):97—107.

ZHANG Weifu,DU Yunsu.Study on the growth and driving factors of implicit carbon emissions from China's export trade [J].International Trade Issues,2012(3):97—107.

[54] ZHANG Qian,YANG Jin,SUN Zhongxiao,et al.Analyzing the impact factors of energy-related CO₂ emissions in China: what can spatial panel regressions tell us? [J].J.Clean Prod.,2017,161:1085—1093.

[55] 丁军军,陈建宝.分位数回归技术综述[J].统计与信息论坛,2008(3):89—96.

DING Junjun,CHEN Jianbao.A review of quantile regression techniques[J].Statistics and Information Forum,2008(3):89—96.