

引用格式:余粮红,高堃,高强.环境规制对海水养殖绿色水平的影响及机制[J].资源科学,2022,44(1):1-14.[Yu L H, Gao K, Gao Q. Influence of environmental regulations on green level of mariculture and its mechanism[J]. Resources Science, 2022, 44(1): 1-14.] DOI: 10.18402/resci.2022.01.01

环境规制对海水养殖绿色水平的影响及机制

余粮红,高堃,高强

(中国海洋大学管理学院,青岛 266100)

摘要:中国传统海水养殖仍未从根本上减轻对资源环境的依赖,已成为制约其绿色发展的突出短板。环境规制是实现海水养殖发展与环境保护协同共进的核心工具。本文构建异质性环境规制博弈模型并提出研究假说,采用PSR-ANP方法测度海水养殖绿色水平。在此基础上,选取沿海地区2008—2019年省级面板数据,利用动态空间杜宾模型实证检验环境规制对海水养殖绿色水平的影响及其作用机制。研究发现:①环境规制对海水养殖绿色水平产生显著正向影响,该结论经过一系列稳健性与内生性检验后依然成立。②不同规制工具的作用方式不同,命令型环境规制为立竿见影的治标之策,市场型环境规制为润物无声的治本之策,2种规制方式恰当组合实施方能标本兼治。③从时空效应来看,环境规制的长期效应大于短期效应,间接效应大于直接效应。④环境规制通过压力减缓机制、状态调整机制与响应提升机制作用于海水养殖绿色水平,当前中国海水养殖的响应提升机制尚不健全。研究结果可为政府合理选择环境规制类型,科学设定环境规制强度提供参考依据。

关键词:环境规制;海水养殖;绿色水平;时空效应;PSR;网络分析法;动态空间杜宾

DOI: 10.18402/resci.2022.01.01

1 引言

中国是传统海水养殖大国,在长期高密度、集约化发展方式下,中国海水养殖在养殖品种、产量、产值等方面取得举世瞩目的成就,逐渐成为海洋产业经济增长的重要支撑。然而,可观的经济效益与养殖环境不断恶化相伴而生,海水养殖过程中有机物与营养物的排放、化学药物的使用等对近岸海域生态环境产生严重负面影响,威胁海域生态环境安全、海产品质量安全与人类健康^[1]。为解决海水养殖业绿色发展面临的突出环境问题,近两年的中央1号文件均提出“推进水产绿色健康养殖”,为各部门防控海水养殖污染提供了行动指南。2020年,农业农村部提出实施水产绿色健康养殖“五大行动”的具体要求。2021年,生态环境部发布《关于加强海水养殖污染生态环境监管的意见》,要求对近岸

海水养殖排污进行监管。在各部门纷纷出台环境规制政策与行动的背景下,探究环境规制对海水养殖绿色水平的影响及作用机制,对环境规制政策的合理制定与海水养殖绿色水平的提升具有重要的现实价值。

关于海水养殖绿色水平测度与评价的研究成果主要聚焦于3个方向:一是海水养殖污染负荷评估^[2,3];二是构建评价指标体系,对特定海域养殖生态系统进行评价^[4],探讨海水养殖对海域生态环境的影响^[5-7];三是拓展生态系统内涵^[8],在此基础上评价海水养殖生态经济系统状态,测算其生态经济效率^[1]。现有研究成果隐含了评价指标互相独立的假设条件,但海水养殖绿色水平评价指标间必然存在相互关联,导致评价结果偏误。海水养殖绿色水平既涉及资源利用问题,又需要考虑对环境的影响,

收稿日期:2021-05-07;修订日期:2021-10-29

基金项目:国家自然科学基金项目(71904181);中央高校基本科研业务费专项(202061039);山东省社会科学规划项目(18CDCJ22;21CGLJ42)。

作者简介:余粮红,男,江西赣州人,博士研究生,研究方向为海洋产业管理。E-mail: oucylh@163.com

通讯作者:高强,男,山东青岛人,教授,博士生导师,研究方向为海洋产业管理。E-mail: gao1221@126.com

属于典型的资源环境评价。PSR模型为动态、系统地探究资源环境与可持续发展问题提供了适用性工具,但目前鲜有研究利用PSR模型对海水养殖绿色水平进行评价。在资源环境约束和高质量发展导向下,学者们开始对环境规制与绿色发展的关系进行探讨。部分学者验证了生产领域的“波特假说”,发现环境规制能够激发创新活力,从而促进生产率的提升^[9]。但也有研究发现,环境规制在促进绿色技术创新数量提升的同时也导致了创新质量下滑,并未实现“增量提质”^[10]。从规制方式来看,环境规制主要包括以环境税、环保补贴、环境权交易等为主的激励型规制和以法律、行政等手段为主的命令控制型方式^[11]。从影响形式来看,环境规制对绿色发展的影响存在行业异质性,主要表现为线性影响^[12-14]以及“倒U型”等非线性影响^[15]。那么,环境规制是否以及如何影响海水养殖绿色水平,目前学界尚未形成共识。

为此,本文构建环境规制的演化博弈模型并提出研究假说,利用PSR-ANP方法测度海水养殖绿色水平。选取沿海地区2008—2019年的省级面板数据,基于动态空间杜宾模型实证检验环境规制对海水养殖绿色水平的影响及其作用机制。与已有研究相比,本文的边际贡献如下:第一,基于PSR-ANP组合模型,构建既相互关联又相对独立的海水养殖绿色水平评价指标体系,有效规避现有研究中评价指标间不独立导致的评价偏误问题,使评价结果更合理。第二,构建演化博弈与动态空间计量模型验证了环境规制对海水养殖绿色水平的影响,有效规避因环境规制的时滞性与空间关联性导致的估计偏误问题。第三,将环境规制细分为命令型、市场型环境规制,分别检验其对海水养殖绿色水平的异质性影响,并进一步检验了环境规制影响海水养殖绿色水平的作用机制。

2 理论分析与研究假说

2.1 环境规制对海水养殖绿色水平影响的机理分析

海水养殖绿色水平是指在有效满足人类对安全、绿色海产品需求的基础上,将资源利用强度和环境影响程度控制在养殖海域资源环境承载力之内,能够为海水养殖生物正常生长繁殖提供必要生理、环境要素的绿色水平状态^[16]。可见,海水养殖绿

色水平是具有资源使用绿色、养殖环境绿色等内涵的系统性概念。本文中的环境规制是政府部门为提升海水养殖绿色水平而实施的一系列管制措施,包括对养殖区域、投入品使用、排污等方面的限制。“波特假说”理论认为适当的环境规制能够激发企业的绿色创新活力,从而提升企业竞争力^[9]。本文将该理论应用于渔业领域,认为适当的环境规制能激励海水养殖户(企)进行绿色技术创新或采纳绿色养殖技术,由此带来的“创新补偿”能够逐步抵消并最终超过“遵循成本”,从而提升海水养殖绿色水平。

本文构建演化博弈模型,推导环境规制对中国海水养殖绿色水平的影响。假设政府加大环境规制力度的概率为 x ,海水养殖户(企)提高绿色养殖水平的概率为 y ,则有 $x, y \in [0, 1]$ 。在绿色发展理念下,若政府对海水养殖污染监管不到位,将面临环保绩效考核损失,记为 $-S_{1-x}$ 。若政府加强监管,则需付出的监管成本为 C_x ,此时可获得环保绩效考核收益 S_x 。当前,中国海水养殖户(企)养殖绿色水平较低,其养殖成本记为 C ,经济收益记为 S 。在环境规制政策下,海水养殖户(企)选择不减排所需缴纳的排污费为 F_{1-y} ,选择技术升级或结构调整等减排措施所需付出的减排成本为 C_y 。根据上述条件,可得海水养殖排污监管博弈的收益矩阵如表1所示。

根据表1,可得海水养殖户(企)减排的期望收益(U_y)与不减排的期望收益(U_{1-y})如式(1)所示,减排策略的复制动态方程如式(2)所示。

$$\begin{cases} U_y = x(S - C - C_y) + (1 - x)(S - C - C_y) = S - C - C_y \\ U_{1-y} = x(S - C - F_{1-y}) + (1 - x)(S - C) = S - C - xF_{1-y} \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} F(y) &= \frac{dy}{dt} = y(U_y - \bar{U}) = y(1 - y)(U_y - U_{1-y}) \\ &= y(1 - y)(xF_{1-y} - C_y) \end{aligned} \quad (2)$$

记 $f(x) = xF_{1-y} - C_y$,式(2)可简化为 $F(y) = y(1 - y)f(x)$,则 $\dot{F}(y) = (1 - 2y)f(x)$ 。因 $\partial f(x)/\partial x =$

表1 海水养殖排污监管博弈的收益矩阵

Table 1 Revenue matrix of mariculture sewage regulation game

政府环境 规制策略	海水养殖户减排策略	
	减排(y)	不减排($1-y$)
规制力度大(x)	$S_x - C_x; S - C - C_y$	$F_{1-y} - S_{1-x} - C_x; S - C - F_{1-y}$
规制力度小($1-x$)	$S_x; S - C - C_y$	$-S_{1-x}; S - C$

2022年1月

$F_{1-y} > 0$, 故 $f(x)$ 是关于 x 的增函数。令 $f(x) = 0$, 得到其零点 $x_0 = C_y / F_{1-y}$ 。由微分方程稳定性定理知, 要使海水养殖户(企)减排策略处于稳定状态, 必须满足 $F(y) = 0$ 且 $\dot{F}(y) < 0$ 。当 $x = C_y / F_{1-y}$ 时, $f(x) = 0$, $F(y) = 0$ 且 $\dot{F}(y) = 0$, 则 $y \in [0, 1]$ 均具有稳定性, 此时无法确定海水养殖户(企)的稳定策略; 当 $x < C_y / F_{1-y}$ 时, $f(x) < 0$, $F(y) = 0$ 且 $\dot{F}(y) = 0$, 则 $y = 1$ 具有稳定性, 此时海水养殖户(企)的稳定策略是不减排; 当 $x > C_y / F_{1-y}$ 时, $f(x) > 0$, $F(y) = 1$ 且 $\dot{F}(y) = 0$, 则 $y = 1$ 具有稳定性, 此时海水养殖户(企)的稳定策略是减排。综上所述, 当环境规制力度较小时, 海水养殖户(企)将选择不减排, 而当环境规制力度较大时, 海水养殖户(企)会作出减排决策。也就是说, 随着政府环境规制的增强, 海水养殖户(企)倾向于采取一定的举措减少养殖污染的排放量, 从而逐步提升海水养殖绿色水平。据此, 本文提出如下假说。

H1: 环境规制对中国海水养殖绿色水平具有正向影响。

2.2 环境规制对海水养殖绿色水平影响的机制分析

本文遵循经典的“压力—状态—响应”因果逻辑链, 揭示作用机制。环境规制作为前因变量, 通过压力减缓机制、状态调整机制与响应提升机制作用于海水养殖绿色水平这一结果变量。具体分析如下:

(1) 压力减缓机制。一是环境规制能够倒逼海水养殖户(企)放弃落后的养殖方式, 推进养殖方式向工厂化、封闭化、水循环化方向升级, 从而弱化养殖水体污染压力, 实现海水养殖绿色发展。二是环境规制会带来“遵循成本”, 产生“挤出效应”^[11]。环境规制提升了海水养殖行业门槛, 淘汰散乱且治污能力差的小规模海水养殖户(企), 优化养殖主体结构, 从而减少海水养殖污染排放总量, 提升海水养殖绿色水平。三是环境规制存在“创新补偿”效应, 推动绿色技术进步^[17], 倒逼养殖主体更换新设备, 应用新技术(包括养殖污染控制技术和污染治理技术)以减少养殖污染排放, 实现海水养殖绿色转型。

(2) 状态调整机制。一是品种结构的调整。环境规制强度的提升迫使海水养殖户(企)调整养殖

结构, 适当缩减鱼虾类等产污量大的品种养殖量, 增加贝藻类等产污少的品种养殖比例, 从源头减少排污量, 实现海水养殖绿色转型。二是空间结构的调整。环境规制推动了产业的空间转移^[18,19], 推动海水养殖区域由近海向深远海拓展, 从而优化养殖空间结构, 降低近海污染密度, 提升海水养殖绿色水平。

(3) 响应提升机制。一方面, 随着农业农村部水域滩涂养殖规划和发证登记政策的落实, 各地渔业管理部门逐步划定禁止养殖区、限制养殖区和养殖区, 严格审批养殖区域, 从严发放养殖证, 缩减养殖面积, 提升海水养殖绿色水平。另一方面, 环保部门逐步落实环境税等惩罚性或环保补贴等激励性规制措施, 从而减少海水养殖污染排放^[20]。同时, 协同社会各主体开展污染治理投资, 防控养殖海域污染, 实现海水养殖绿色发展。基于以上作用机制分析, 本文提出如下假说:

H2: 环境规制对中国海水养殖压力水平具有负向影响。

H3: 环境规制对中国海水养殖状态水平具有正向影响。

H4: 环境规制对中国海水养殖响应水平具有正向影响。

3 变量选取、研究方法与数据来源

3.1 变量选取

3.1.1 核心解释变量

环境规制可分为命令型、市场型、自愿型和公众参与型4种^[21]。命令型环境规制主要包括法律法规与行政命令等, 市场型环境规制方式包括环境税与排污权交易等, 自愿型环境规制为市场主体自觉自愿进行的环保行为, 公众参与型环境规制是公众通过媒体、信访等方式表达环保诉求。命令型和自愿型工具是当前中国治理环境污染最主要的政策工具^[22], 由于海水养殖排污处理成本较高, 渔户(企)自愿主动处理的可能性极低。同时, 污水排海对公众生活影响较小, 鲜有公众参与监督举报。故本文选取的核心解释变量为环境规制(*rule*)、市场型环境规制(*market*)与命令型环境规制(*order*)。目前, 国内外学者主要从以下视角度量环境规制: ①基于政策数量视角, 用环境规制政策的数量表征^[23]; ②基

于治理投入视角,用污染治理投资总额和环保机构人数等指标衡量^[24];③基于污染排放视角,用污染物排放的数量、密度或政府排污费收入作为环境规制的代理变量^[25]。海水养殖生物生理活动产生的氨氮和磷酸盐等代谢废物是养殖污染的主要来源,故本文立足污染排放视角,用氮磷污染强度指标表征市场型环境规制强度,即氮磷污染强度=氮磷产排污量/海水养殖面积。其中,氮磷产排污量借鉴张懿等^[26]的排污系数法核算得出,即氮磷产排污量=养殖产量×产排污系数^①。本文基于治理投入视角,选用政府污染治理投资表征命令型环境规制强度,用环境污染治理投资额与项目数的综合值指标衡量。环境规制为命令型、市场型环境规制的综合值,本文以二者的均值表征。由于量纲不统一,无法直接加总。借鉴王宝义等^[27]使用熵值法计算综合污染指数的处理办法,本文采用式(3)的标准化方法,将命令型、市场型环境规制的数值标准化,再求二者的算术平均值,据此得到环境规制的数值。

3.1.2 被解释变量

本文选取的被解释变量为海水养殖绿色水平(*green*)。利用经典的PSR模型对中国海水养殖绿色水平进行综合评价。PSR模型将表征生态系统的评价因子细分为压力、状态和响应3部分,每部分包含若干解释指标。借鉴周美静等^[28]的研究并结合海水养殖绿色水平内涵,本文采取递阶层次结构,以海水养殖绿色水平为目标层,海水养殖绿色水平的压力、状态、响应作为维度层,各因子的衡量指标作为指标层,构建基于PSR模型的海水养殖绿色水平测度指标体系。

海水养殖绿色水平压力(*P*)是指人类海水养殖实践活动对海洋生态环境造成的影响,主要表现为资源消耗、污染排放的压力,是影响海水养殖绿色水平的直接原因。借鉴许瑶等^[29]关于养殖海域利用效率测算的研究,本文选取海水养殖面积、人员、中间消耗、柴油消耗量表征海水养殖压力。其中,面积、人员、中间消耗等生产要素投入越多,表明海水养殖资源消耗越大,对海水养殖生态环境造成的影

响越大。柴油消耗量越大,则污染气体排放越多,对海水养殖生态环境造成的压力越大。关于中间消耗的测算,由海水养殖中间消耗量=海水养殖总产值/渔业总产值×渔业中间消耗计算得出,柴油消耗量根据《国内机动渔船油价补助用油量测算参考标准》测算^②。

海水养殖绿色水平状态(*S*)是海水养殖在面临资源消耗、环境污染、生态损失等压力下所处的状况,主要指海水养殖生态、经济层面的状态。借鉴秦宏等^[16]构建的海水养殖生态经济系统状态评价指标体系,本文选取国家级良种场数量、海水养殖潜力、海水环境质量和渔药强度4个指标表征海水养殖绿色状态。其中,关于海水养殖潜力的测算,借鉴张兰婷等^[30]的研究,通过海水养殖潜力=(海域可养面积-已养殖面积)/海域可养面积计算得出。海水环境质量为海水增养殖区综合环境质量评价优良比例。渔药强度指标通过渔药支出占海水养殖面积的比重计算得出。具体指标释义见表2。

海水养殖绿色水平响应(*R*)是人类为缓解海水养殖资源环境压力,提升绿色养殖水平而采取的积极对策,包括建立水产种质资源保护区,推进养殖方式升级、污水达标排放和保护区建设。基于此,借鉴李华等^[31]关于海洋生态环境发展水平评价的PSR模型,选取国家水产种质资源保护区数量、现代养殖方式占比、沿海地区废水达标排放率、海洋自然保护区面积指标综合测评海水养殖绿色响应水平。其中,现代养殖方式占比=深水网箱和工厂化养殖产量/海水养殖总产量。

3.1.3 控制变量

本文选取养殖规模(*scale*)、病害受灾(*disaster*)、污染损失(*pollute*)、生活水平(*income*)、人口密度(*people*)和消费总量(*consume*)为控制变量。养殖规模包含海水养殖产量、单位产值等方面的信息,借鉴徐敬俊等^[32]的研究,本文选用海水养殖总产值表征海水养殖规模,选用病害受灾养殖面积占海水养殖总面积的比重表征病害受灾,选择污染受灾面积占海水养殖总面积的比重表征污染损失。海

① 产排污系数参照《第一次全国污染源普查公报》中水产养殖业污染源产排污系数手册。

② 柴油消耗量(t)=养殖渔船主机总功率(kW)×年平均作业时间(h)×0.000205(t/(kW·h))。

表2 基于PSR模型的海水养殖绿色水平测度指标体系

Table 2 Indicators for measuring the green level of mariculture based on pressure-state-response (PSR) model

目标层	维度层	指标层	指标释义	指标方向	权重
海水养殖绿色水平	压力(P)	柴油消耗	海水养殖过程中柴油消耗量/t	负向	0.027
		养殖面积	海水养殖面积/hm ²	负向	0.129
		从业人员	海水养殖从业人员数/万人	负向	0.028
		中间消耗	海水养殖中间消耗/亿元	负向	0.192
	状态(S)	养殖潜力	海水养殖可开发的潜力/%	正向	0.105
		良种场数量	国家级水产原良种场数量/个	正向	0.031
		环境质量	海水增养殖区综合环境质量评价优良比例/%	正向	0.025
		渔药强度	渔药强度=渔药支出/海水养殖面积/%	负向	0.126
	响应(R)	养殖方式升级	深水网箱等现代养殖方式占比/%	正向	0.105
		种质资源保护	国家水产种质资源保护区数量/个	正向	0.024
		污水达标排放	全年入海排污口达标排放比例/%	正向	0.137
		保护区建设	海洋自然保护区面积/km ²	正向	0.071

注:以上指标数据均来源于历年《中国渔业统计年鉴》《中国海洋统计年鉴》《中国海洋环境公报》。

水养殖绿色水平不仅与养殖活动本身有关,还与经济社会发展息息相关^[33]。一方面,沿海地区经济的快速发展带动了居民生活水平的提升,消费者对高品质海洋生物蛋白需求增加。另一方面,沿海地区城镇化进程的推进和人口数量的增长扩大了海产品内需。由此可见,经济和社会发展共同驱动海产品市场供给。据此,本文选取生活水平、人口密度和消费总量为控制变量。其中,生活水平采用居民人均可支配收入指标进行表征。沿海人口密度用“沿海9省年末人口总量/相应省市的土地面积”进行测度。消费总量指市场海水养殖产品的消费量,基于市场出清假设,本文用海水养殖产量与海水养殖净进口量之和表征消费总量。

3.2 研究方法

3.2.1 网络分析法

考虑到海水养殖绿色水平的评价指标间存在相关性,为有效规避这种关联对评价结果的影响,本文采用网络分析法(ANP)对海水养殖绿色水平进行评价,测算海水养殖绿色水平及其PSR贡献度。首先,构建系统分析结构。将海水养殖绿色水平测度指标体系中的二级指标视为元素,要素层指标视为元素集。基于元素集之间和元素集内部元素之间的关联分析,构建海水养殖绿色水平系统分析结构。元素集及元素间的关联关系如下:其一,不同要素层的指标间存在递阶影响关系。其二,同一要素层的指标间存在关联。其三,各要素层之间

存在因果关联,压力、状态、响应间的因果逻辑链是PSR模型的内在要求。据此分析出所有要素之间、指标之间可能存在的关联影响关系。其次,基于ANP原理计算指标权重。①分别以元素集中的任一元素为控制准则,对该元素集中其他元素的重要性进行两两比较,构建判断矩阵,计算元素权重。将基于所有控制准则得到的元素权重进行组合,得到各元素集的内部依存矩阵。②分别以任一元素集为控制准则,对其支配的所有元素集之间的相对重要性进行两两比较,构建判断矩阵,计算元素集权重,并将其与超矩阵融合得到加权超矩阵。③对加权超矩阵进行极限求解,得到具有稳态效应的指标 i 第 j 年的权重 W_{ij} ($W_{ij} \geq 0$,且 $\sum W_{ij} = 1$)即为海水养殖绿色水平评价指标权重,测算结果见表2。最后,测算海水养殖绿色指数及PSR贡献度。将指标数据代入式(3)得标准化数值 Z_{ij} ,再将指标权重代入式(4)进行线性加权,得到 R_n 地区海水养殖绿色指数 Q_n 。指数 Q_n 越高,表明海水养殖绿色水平越佳。

$$z_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})}, & x_{ij} \text{ 为正向指标} \\ \frac{\max(x_{ij}) - x_{ij}}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})}, & x_{ij} \text{ 为负向指标} \end{cases} \quad (3)$$

$$Q_n = \sum_{i=1}^9 W_{ij} Z_{ij}^n, n = 1, 2, \dots, N \quad (4)$$

利用指标权重对隶属于某一级指标 k 下各二级指标上的标准化值进行线性加权,得到 R_n 地区在 k 上的综合得分 Q_n^k 。将 Q_n^k 与海水养殖绿色指数 Q_n 代入式(5),得到一级指标 k 对海水养殖绿色指数的贡献率 S_n^k 。不难发现, $\sum S_n^k = S_n^P + S_n^S + S_n^R = 1$, S_n^k 的数值越大,表明一级指标对海水养殖绿色水平的贡献程度越高。

$$S_n^k = Q_n^k / Q_n, k \in \{P, S, R\} \quad (5)$$

3.2.2 动态空间杜宾模型

本文运用 Moran's I 对样本数据进行空间相关性检验^③。结果显示,2008—2019年中国海水养殖绿色水平的 Moran's I 均显著,表明中国海水养殖绿色水平未满足样本独立性假设,存在较强的空间相关性,需引入空间计量模型进行估计。基于理论分析与研究假说,借鉴韩峰等^[34]的研究,本文构建如下动态空间杜宾模型:

$$Y_{it} = \alpha_1 Y_{(i,t-1)} + \alpha_2 WY_{it} + \beta_1 Rule_{it} + \beta_2 WRule_{it} + \beta_3 Z_{it} + \beta_4 WZ_{it} + v_i + u_t + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

式中: Y_{it} 表示 i 地区 t 时期的海水养殖绿色水平; W 为空间权重矩阵,本文选取地理距离空间权重矩阵,记为 $W_{ij}^d = e^{-d_{ij}}$; d_{ij} 为地理单元 i 与地理单元 j 的省会城市间欧式距离; $Rule_{it}$ 表示 i 地区 t 时期环境规制强度; Z_{it} 表示 i 地区 t 时期的控制变量向量; α 、 β 为待估参数向量; v_i 、 u_t 为地区效应和时间效

应; ε_{it} 为随机扰动项。

3.3 数据来源

本文利用2008—2019年中国沿海9省海水养殖的省级面板数据^④,实证检验环境规制对海水养殖绿色水平的影响及其作用机制。海水养殖面积、产量、产值、苗种数量、专业从业人员数、渔药支出、养殖病害受灾面积、养殖污染受灾面积等数据来源于《中国渔业统计年鉴》,氮磷污染量数据依据上文排污系数法计算得出;海洋环境污染治理投资额与投资项目数来源于《中国海洋统计年鉴》;渔业中间消耗数据来源于《中国农村统计年鉴》;城镇居民人均可支配收入、沿海地区人口数量与国土面积、海水养殖进口量与出口量来源于《中国统计年鉴》。各变量的定义及描述性统计如表3所示。

4 结果与分析

4.1 环境规制强度及海水养殖绿色水平测度

基于2008—2019年中国海水养殖面板数据,根据式(3)测算海水养殖环境规制强度指数,结果见图1。根据式(4)、(5)测算海水养殖绿色水平及PSR贡献率,测算结果如图2所示。

借鉴相关研究^[35],本文将环境规制强度划分为较弱 ($0 \leq rule < 0.3$)、中等 ($0.3 \leq rule < 0.7$)、较强 ($0.7 \leq rule \leq 1$) 3个等级。由图1知,从整体来看,2008—2019年中国海水养殖环境规制强度的均值

表3 变量定义及描述性统计

Table 3 Variables and descriptive statistics

变量范畴	变量名称	变量定义及其计算方法	均值	标准差
被解释变量	绿色水平(<i>green</i>)	中国海水养殖绿色水平	0.607	0.108
解释变量	环境规制(<i>rule</i>)	命令型、市场型环境规制的综合值	0.558	0.154
	命令型环境规制(<i>order</i>)	海洋环境污染治理投资额与项目数的综合值	0.717	0.706
	市场型环境规制(<i>market</i>)	海水养殖氮磷产排污强度	0.404	0.247
控制变量	养殖规模(<i>scale</i>)	海水养殖总产量/百万 t	1.944	1.531
	病害受灾(<i>disaster</i>)	养殖病害受灾面积占养殖总面积的比重	0.066	0.094
	污染损失(<i>pollute</i>)	养殖污染受灾面积占养殖总面积的比重	0.019	0.089
	生活水平(<i>income</i>)	沿海城镇居民人均可支配收入/万元	2.897	0.962
	人口密度(<i>people</i>)	沿海地区人口密度/(万人/km ²)	4.456	1.856
	消费总量(<i>consume</i>)	海产品消费量/千万 t	1.915	1.601

注:海水养殖绿色水平由前文计算得出,综合值为对应指标经式(3)标准化值之和。

③ 囿于篇幅限制,此处不报告 Moran's I 的具体结果。

④ 天津市和上海市海水养殖面积与产量小,且相关数据缺失严重,故本文剔除2直辖市样本。

2022年1月

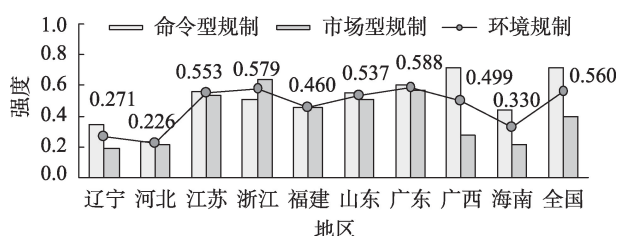


图1 环境规制强度测度结果

Figure 1 Results of environmental regulation intensity

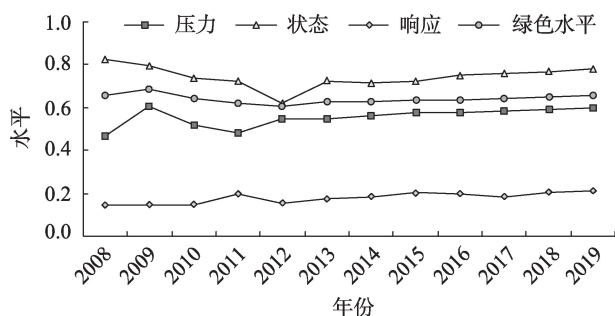


图2 海水养殖绿色水平及PSR贡献率

Figure 2 Green level of mariculture and pressure-state-response model (PSR) contribution rate

为0.560,处于中等水平。从各省规制强度来看,河北、辽宁、海南3省的环境规制强度较低,而广东、浙江的环境规制强度较高。这可能是由于河北、辽宁、海南3省经济发达程度相对较低,为提升经济总量,承接了来自发达省份高污染海水养殖产业的转移,对海水养殖产业污染的容忍度较高,环境规制水平较低。而广东、浙江2省经济发展水平高,消费结构不断升级,消费者对绿色水产品的需求旺盛,与此相适应,2省环境规制强度也处于较高水平。而从不同的规制工具来看,命令型环境规制强度为0.717,处于较高水平,市场型环境规制强度为0.404,处于中等水平。命令型环境规制强度最高的省份是广西,最低的是河北。广西大力推进入海排污口清理整治工作,污染治理投入较多。截至2019年底,114个入海排污口中已有113个完成整治。相比之下,河北治理投资力度较小,资金缺口较大。市场型环境规制强度最高的省份是浙江,最低的是辽宁,这可能是由于浙江市场环境较好,环境规制体系不断优化,市场型环境规制工具推广较快,而辽宁情况则相反。全国层面的命令型环境规制强度高于市场型环境规制强度,这可能是由于命令型环境规制易操作、见效快,受到环境规制政策制定

者的青睐。仅有浙江省市场型环境规制强度大于命令型环境规制强度,这可能是由于浙江经济发展水平高且更加注重市场在资源配置中的作用。

借鉴高乐华等^[36]的研究,本文将海水养殖绿色水平分为恶劣($0 \leq green < 0.2$)、较差($0.2 \leq green < 0.4$)、一般($0.4 \leq green < 0.6$)、良好($0.6 \leq green < 0.8$)、理想($0.8 \leq green \leq 1$)5个等级。由图2知,从全国平均水平来看,2008—2019年中国海水养殖绿色水平介于0.6~0.7之间,总体处于良好等级,波动较小。从时间趋势来看,海水养殖绿色水平整体呈现相对平稳态势,2009年海水养殖绿色水平达到峰值,2012年跌至低谷,之后逐渐回升。这可能是由于2009年中国兴起了以参鲍海珍品养殖为代表的第5次海水养殖浪潮,参鲍需要优质的养殖环境且污染排放少。养殖品种结构的调整提升了海水养殖绿色水平,使其达到峰值。但随着海水养殖规模的快速扩张直至超过环境承载力,2012年海水养殖绿色水平降到低谷。随后,在绿色发展理念指导下,海水养殖结构不断优化,绿色水平逐渐回升。在海水养殖绿色水平PSR贡献率方面,2008—2019年中国海水养殖压力水平(P)在0.6上下波动,总体呈不断上升趋势。这表明中国海水养殖的污染压力一直处于高位,且呈现不断增大的态势。这可能是由于环境规制力度偏弱,海水养殖户不良竞争所致。在养殖环境污染压力下,2008—2012年中国海水养殖状态值(S)总体呈不断下降趋势,2012年跌至低谷。然而,2008—2019年中国海水养殖响应水平(R)却严重不足,处于0.2左右,2012年后虽有不断提升趋势,但生态环境保护“旧账”较多,存在下降惯性,故提升速度缓慢。在这种“压力”较大,“状态”较差而“响应”不足的情况下,海水养殖绿色水平持续下降。

4.2 环境规制对海水养殖绿色水平的影响

在海水养殖环境规制强度及绿色水平测度的基础上,本文基于2008—2019年沿海9省海水养殖绿色水平的面板数据,利用动态空间杜宾模型实证分析环境规制强度对海水养殖绿色水平的影响。一般而言,对于省级区域的空间计量分析,固定效应是较优选择,且经Hausman检验,本文宜采用固定效应模型。据此,基于距离空间权重矩阵,利用

STATA15.0软件分析环境规制强度对海水养殖绿色水平的影响。为使数据更加平稳,对所有变量取对数处理,基准回归结果见表4。

由表4知,模型(1)–(3)的 ρ 和 σ^2 值均显著,表明模型拟合较好,估计结果可信度较高。模型(1)中环境规制强度变量的系数(0.104)在1%的水平上显著为正,表明环境规制强度对海水养殖绿色水平产生显著正向影响,假说H1得以验证,符合“波特假说”理论预期。海水养殖绿色水平的一阶滞后项系数(0.519)在1%的水平上显著为正,表明海水养殖绿色水平存在路径依赖。也就是说,若当期海水养殖绿色水平较高,下一期将持续升高。模型(2)中,命令型环境规制变量的系数(0.069)显著为正,表明命令型环境规制对海水养殖绿色水平的提升具有促进作用。模型(3)中,市场型环境规制变量的系数(0.012)显著为正,表明市场型环境规制能够提升海水养殖绿色水平。通过对比模型(2)与模型(3)可见,命令型环境规制变量的系数大于市场型环境规制变量的系数,这表明与市场型环境规制相比,命令型环境规制对海水养殖绿色水平的影响程度更深。通过对比3个模型发现,环境规制变量的系数大于命令型环境规制变量系数和市场型环境规制变量系数,说明命令型和市场型两种手段综合利用的规制效果佳,在环境规制政策制定时需处理

好市场与政府的关系,打好政策组合拳。控制变量的回归结果与预期基本相符。

为了更细致地考察环境规制强度的时空效应,本文将环境规制强度模型总效应进行进一步分解,得到环境规制强度对海水养殖绿色水平的短期直接效应、短期间接效应、长期直接效应和长期间接效应,如表5所示。

环境规制变量中,由表5知,从时间效应来看,环境规制强度变量的长期直接效应(0.208)大于短期直接效应(0.100),长期间接效应(0.458)大于短期间接效应(0.214)。这表明,无论是对本地区还是周边地区来说,环境规制强度对海水养殖绿色水平的长期效应比短期效应更明显,说明环境规制是一项长期任务,政府制定环境规制政策时要高瞻远瞩,做好长远规划。从空间效应来看,环境规制强度变量的长期间接效应(0.458)大于长期直接效应(0.208),短期间接效应(0.214)大于短期直接效应(0.100)。这表明,无论是长期还是短期内,环境规制对周边地区海水养殖绿色水平的影响都大于其对本地区的影响,说明政府环境规制政策存在较强的空间溢出效应,各地区在制定环境规制政策时要规避“各扫自家门前雪”的相互独立状态,充分考虑环境规制政策的省际协同性。

命令型环境规制变量中,由表5知,命令型环境

表4 环境规制对海水养殖绿色水平影响的实证结果

Table 4 Empirical results of environmental regulation intensity and green level of mariculture

变量	(1)环境规制模型	(2)命令型规制模型	(3)市场型规制模型
<i>rule</i>	0.104***		
<i>order</i>		0.069*	
<i>market</i>			0.012*
<i>green_{t-1}</i>	0.519***	0.532***	0.499***
<i>scale</i>	0.014	0.290***	0.140***
<i>disaster</i>	0.021***	0.095*	0.045**
<i>pollute</i>	-0.019	-0.082	-0.042
<i>income</i>	0.019**	-0.099	-0.047
<i>people</i>	-0.103***	-0.457***	-0.225***
<i>consume</i>	-0.008	-0.224***	-0.111**
ρ	0.021*	0.004*	0.0558*
σ^2	0.001***	0.001***	0.001***
<i>log L</i>	-153.006	-679.102	130.403

注: *、**、***分别表示在10%、5%、1%水平上显著,下同。

2022年1月

表5 环境规制对海水养殖绿色水平影响的效应分解

Table 5 Effect decomposition of environmental regulation intensity and green level of mariculture

变量	直接效应		间接效应		总效应	
	短期效应	长期效应	短期效应	长期效应	短期效应	长期效应
<i>rule</i>	0.100***	0.208**	0.214***	0.458***	0.315***	0.666***
<i>order</i>	0.013*	0.032	0.065**	0.145*	0.078**	0.176
<i>market</i>	0.065	0.137*	0.095	0.208*	0.160	0.346*
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

规制的短期总效应(0.078)显著而长期总效应不显著,表明命令型环境规制的短期效应强于长期效应,即命令型环境规制能达到立竿见影的效果。这也是目前政府更倾向于采取命令型环境规制的重要原因。从直接效应来看,命令型环境规制的短期直接效应(0.013)显著,说明命令型环境规制能够提升本地区海水养殖绿色水平。从间接效应来看,命令型环境规制的长期间接效应(0.145)大于短期间接效应(0.065),说明命令型环境规制存在空间溢出效应,能显著提升周边地区海水养殖绿色水平,且这种空间溢出效应随着时间的延长而愈发明显。

市场型环境规制变量中,由表5知,市场型环境规制的长期总效应(0.346)显著而短期总效应不显著,表明市场型环境规制的长期效应强于短期效应,即市场型环境规制并不会立即发挥政策效果,而是具有一定的时滞性,对海水养殖绿色水平产生润物无声的正向影响。这要求市场型环境规制切不可操之过急,政府应着眼于全局,长计远虑。从时间效应来看,市场型环境规制的长期直接效应(0.137)大于短期直接效应(0.065),长期间接效应

(0.208)大于短期间接效应(0.095),这表明无论是对本地区还是对周边地区来说,市场型环境规制对海水养殖绿色水平的长期效应强于短期效应。从空间效应来看,市场型环境规制的长期间接效应(0.208)大于长期直接效应(0.137),短期间接效应(0.095)大于短期直接效应(0.065),说明无论是长期还是短期,市场型环境规制对本地区海水养殖绿色水平的影响都小于其对周边地区的影响,这种正外部性可能导致海水养殖污染治理的“公地悲剧”。

4.3 环境规制对海水养殖绿色水平的影响机制检验

在以上基准回归分析的基础上,进一步对作用机制进行实证检验。遵循前文ANP模型式(5)的计算方法,分别测算压力、状态、响应因子对海水养殖绿色水平的贡献率。在此基础上,分别以环境规制、命令型环境规制、市场型环境规制为核心自变量,以海水养殖压力、状态、响应水平为因变量进行回归,得到环境规制对海水养殖压力、状态、响应水平的影响程度及方向,估计结果如表6模型(1)~(9)所示。

压力减缓机制检验。表6模型(1)中环境规制

表6 作用机制的估计结果

Table 6 Estimated results of mechanism of action

变量	压力减缓机制			状态调整机制			响应提升机制		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
<i>rule</i>	-0.028*			0.036**			0.001*		
<i>market</i>		-0.005*			0.026***			0.042*	
<i>order</i>			0.023			-0.081*			0.067
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
ρ	-0.423***	-0.429***	-0.431***	0.564***	0.573***	0.537***	-0.565***	-0.625***	-0.468***
σ^2	0.004***	0.004***	0.004***	0.008***	0.008***	0.008***	0.002***	0.002***	0.002***
$\log L$	-22.037	-22.037	-22.037	-22.037	-22.037	-22.037	-22.037	-22.037	-22.037

变量的系数(-0.028)在10%的水平上显著为负,说明环境规制对海水养殖的压力水平有缓释作用,通过环境规制的“创新补偿”效应,不断推动海水养殖绿色水平提升。假说H2得以验证。但环境规制工具的异质性可能会影响以上作用机制的影响程度与方向。为此,进一步分析异质性规制工具对海水养殖绿色水平的影响机制。利用与基准回归相同的数据、模型与方法进行回归分析,得到实证结果如模型(2)和模型(3)所示。可见,模型(2)中市场型环境规制变量的系数为-0.005,在10%的水平上显著,表明市场型环境规制能减缓海水养殖的压力水平。模型(3)中命令型环境规制变量的系数不显著,表明命令型环境规制未对海水养殖的压力水平产生影响。也就是说,环境规制对海水养殖压力水平的缓释作用主要通过市场型环境规制实现。

状态调整机制检验。表6模型(4)中环境规制变量的系数(0.036)在5%的水平上显著为正,说明环境规制对海水养殖的状态水平产生调整作用,有利于海水养殖状态的提升。假说H3得以验证。从划分规制类型视角来看,模型(5)中市场型环境规制变量的系数(0.026)在1%的水平上显著为正,表明市场型环境规制能有效提升海水养殖的状态水平。模型(6)中命令型环境规制变量的系数为-0.081,在10%的水平上显著,说明命令型环境规制会降低海水养殖的状态水平。由此可见,2种规制方式在海水养殖状态调整中发挥相反的作用,但市场型环境规制能够抵消命令型环境规制的负向影响,从而使环境规制在海水养殖状态调整中发挥积极作用。

响应提升机制检验。表6模型(7)中环境规制

变量的系数(0.001)在10%的水平上显著为正,表明环境规制对海水绿色养殖的响应水平产生促进作用,假说H4得以验证。但该系数较小,说明环境规制对响应水平的提升作用有限。从不同规制类型视角来看,模型(8)中市场型环境规制变量的系数为0.042,在10%的水平上显著,说明市场型环境规制能够提升海水养殖的响应水平。但模型(9)中命令型环境规制变量的系数不显著,表明命令型环境规制并未发挥提升海水养殖绿色响应的作用,市场型环境规制是提升海水养殖绿色响应水平的主要路径。

4.4 稳健性与内生性检验

稳健性检验。为检验以上估计结果是否可靠,本文分别采用空间权重变换、因变量替换和模型更换3种方法进行稳健性检验。首先以变换空间权重法检验动态空间杜宾模型估计结果的稳健性,分别采用0-1型邻接空间权重矩阵、经济空间权重矩阵与资源空间权重矩阵进行测算。邻接空间权重矩阵为离散函数,当两地区不相邻时,取值为0,当两地区相邻时,值为1。借鉴余泳泽等^[37]的方法,将经济空间权重矩阵表示为 $W_{ij}^e = W_{ij}^d \text{diag}(E_1/E, \dots, E_n/E)$,其中, E_i 为第*i*地区2008—2019年GDP的均值, E 为所有样本地区的GDP均值。同理可得海水养殖资源空间权重矩阵 $W_{ij}^r = W_{ij}^d \text{diag}(R_1/R, \dots, R_n/R)$,其中 R_i 为第*i*地区2008—2019年海水养殖总产值均值, R 为所有样本地区渔业总产值均值。基于3种权重矩阵的回归结果如表7列(1)–(3)所示,结果显示,回归模型中变量的符号及显著性与基准回归模型基本一致。其次,本文使用层次分析法(AHP)重新测度海水养殖绿色水平,将其作为网络分析法

表7 稳健性与内生性检验结果

Table 7 Regression results of robustness and endogeneity tests

变量	空间权重矩阵变换			因变量替换	模型更换	内生性检验
	邻接权重(1)	经济权重(2)	资源权重(3)	AHP(4)	静态SDM(5)	工具变量(6)
$green_{t-1}$	0.499***	0.568***	0.659***	0.614***		
$rule$	0.085***	0.156***	0.128***	0.124***	0.143***	0.164*
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
ρ	0.278***	0.027*	0.017*	0.029*	0.033*	
σ^2	0.001***	0.001***	0.001***	0.001***	0.001***	
$\log L$	125.294	117.323	133.059	173.049	-153.006	

2022年1月

计算结果的代理变量,得到回归结果如表7列(4)所示。可见,回归模型中变量的符号及显著性与基准回归模型基本一致。最后,通过更换计量模型对结果进行稳健性检验。由于基准回归模型采用的是地理距离空间权重下的动态空间杜宾模型,考虑到本文所采用的面板数据特征,选择静态空间杜宾模型进行稳健性检验。由表7列(5)可知,静态空间杜宾模型中变量的符号及显著性与基准回归模型基本一致。以上检验方法得出的结果均表明基准回归的结果具有稳健性。

内生性检验。内生性的来源主要包括样本自选择、测量误差、遗漏变量和反向因果等。由于中国环境规制普遍存在,本文出现样本自选择问题的可能性较小。同时,本文使用了固定效应模型与公开统计数据,在一定程度规避了因遗漏变量、测量误差导致的内生性问题。然而,海水养殖绿色水平可能反过来影响环境规制,例如,海水养殖绿色水平的提升会促进消费升级,提升整个社会对水产品高品质的追求和美好环境的向往,与之相适应,政府环境规制的强度也会随之提升,故本文可能的内生性偏误主要来自于反向因果关系。为此,本文使用解释变量的一阶滞后项作为工具变量进行系统GMM估计,结果如表7列(6)所示。对于核心解释变量环境规制而言,估计系数的大小、符号与显著性均与基准回归结果保持了较高的一致性,这表明环境规制对海水养殖绿色水平呈正向影响关系的结论具有可靠性。

5 结论与建议

5.1 结论

在海水养殖绿色转型背景下,本文探讨了环境规制对海水养殖绿色水平的影响及其作用机制。首先构建基于演化博弈的理论模型,提出研究假说。其次,基于海水养殖绿色水平评价的PSR模型,采用网络分析法测算中国海水养殖绿色水平。在此基础上,选取沿海地区2008—2019年的省级面板数据,采用动态空间杜宾模型实证检验了环境规制对海水养殖绿色水平的影响及机制。得到如下主要结论:

(1)2008—2019年中国海水养殖环境规制强度的均值为0.56,处于中等水平。中国海水养殖绿色

水平介于0.6~0.7之间,总体处于良好等级,波动较小。总体来看,环境规制对海水养殖绿色水平具有显著的正向影响,适度的环境规制水平能够有效提升海水养殖绿色水平,符合理论预期。

(2)异质性分析表明,命令型与市场型环境规制的作用方式与效果存在差异。与市场型环境规制相比,命令型环境规制见效快,对海水养殖绿色水平的影响程度更深。命令型和市场型2种手段综合利用的规制效果强于单一手段。

(3)时空效应分解结果显示,环境规制的长期效应大于短期效应,间接效应大于直接效应。命令型环境规制具有立竿见影的正向空间溢出效应,其短期效应大于长期效应,间接效应大于直接效应。市场型环境规制具有润物无声的正向空间溢出效应,其长期效应大于短期效应,间接效应大于直接效应。

(4)作用机制分析表明,压力减缓、状态调整与响应提升是环境规制影响海水养殖绿色水平的作用机制。环境规制对海水养殖压力水平产生负向影响,对海水养殖状态水平与响应水平产生正向影响。当前中国海水养殖的响应提升机制最为不足,压力减缓机制与状态调整机制次之。

5.2 政策建议

在“绿水青山就是金山银山”理念的指引下,海水养殖面临经济与环境双重压力,环境规制无疑是缓解这一压力的有力工具。本文的研究结论对科学制定与合理设计环境规制强度及形式,进而推动中国海水养殖业绿色转型具有重要的现实意义。在制定和实施规制政策时需注意以下方面:

(1)适度提升海水养殖环境规制强度。在不严重影响海水养殖产业发展和养殖渔民生计的范围内,管理部门应完善海水养殖环境治理相关的法律法规,建立健全海水养殖污染监管体系、排污权交易体系、治理体系等,适度提升环境规制强度,以加速推进海水养殖业绿色转型。此外,还需因地制宜,对环境规制强度较高的省份,应继续保持现有的环境规制强度,充分利用市场型环境规制激发绿色养殖技术创新活力;对环境规制强度较低的省份则应继续加大规制强度,实现海水养殖与环境保护协调发展。

(2)综合利用命令型与市场型环境规制。在海水养殖污染较为严重,甚至影响生态安全时,可审时度势实施命令型环境规制措施,以快速达到治理效果。同时,要高瞻远瞩,长计远虑实行市场型环境规制措施,切不可急功近利。最重要的是,政府在环境规制政策制定时需奖惩并施,标本兼治。

(3)统筹海水养殖环境规制的时空效应。政府制定环境规制政策时既要深谋远虑,做好长远规划,充分考虑环境规制的长期性与整体性。同时,各地区在制定环境规制政策时要规避“各扫自家门前雪”的相互独立状态,构建省际协同的环境规制政策体系。

(4)重点提升海水养殖的绿色响应水平。应大力推广深水网箱等现代养殖方式,适度增加水产种质资源保护区数量,扩大海洋自然保护区面积,提高海水养殖污水达标排放比例,以加快提升中国海水养殖的绿色响应水平。

参考文献(References):

- [1] 秦宏, 张莹, 卢云云. 基于SBM模型的中国海水养殖生态经济效率测度[J]. 农业技术经济, 2018, (9): 67-79. [Qin H, Zhang Y, Lu Y Y. Measurement and analysis of China's mariculture eco-economic efficiency: Based on SBM model[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2018, (9): 67-79.]
- [2] Jayanthi M, Selvasekar T, Samynathan M, et al. Assessment of land and water ecosystems capability to support aquaculture expansion in climate-vulnerable regions using analytical hierarchy process based geospatial analysis[J]. Journal of Environmental Management, 2020, DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.110952.
- [3] Bienson V, Wendy A, Michael Y. Inorganic carbon utilization of tropical calcifying macroalgae and the impacts of intensive mariculture-derived coastal acidification on the physiological performance of the rhodolith sporolithon[J]. Environmental Pollution, 2020, DOI: 10.1016/j.envpol.2020.115344.
- [4] Stoll J S, Leslie H M, Britsch M L, et al. Evaluating aquaculture as a diversification strategy for Maine's commercial fishing sector in the face of change[J]. Marine Policy, 2019, DOI: 10.1016/j.marpol.2019.103583.
- [5] Ghamkhar R, Boxman S E, Main K L, et al. Life cycle assessment of aquaculture systems: Does burden shifting occur with an increase in production intensity[J]. Aquacultural Engineering, 2021, DOI: 10.1016/j.aquaeng.2020.102130.
- [6] Bohnes F A, Laurent A. Environmental impacts of existing and future aquaculture production: Comparison of technologies and feed options in Singapore[J]. Aquaculture, 2021, DOI: 10.1016/j.aqua-culture.2020.736001.
- [7] Masaya Y, Takashi N, Yoshiyuki T, et al. Modeling seagrass bed dynamics under environmental impacts of intensive mariculture activities in Bolinao and Anda, the Philippines, Estuarine[J]. Coastal and Shelf Science, 2021, DOI: 10.1016/j.ecss.2020.107152.
- [8] Young N, Brattland C, Digiovanni C, et al. Limitations to growth: Social-ecological challenges to aquaculture development in five wealthy nations[J]. Marine Policy, 2019, 104: 216-224.
- [9] Santis R D, Esposito P, Lasinio C J. Environmental regulation and productivity growth: Main policy challenges[J]. International Economics, 2021, 65(5): 264-277.
- [10] 陶锋, 赵锦瑜, 周浩. 环境规制实现了绿色技术创新的“增量提质”吗? 来自环保目标责任制的证据[J]. 中国工业经济, 2021, (2): 136-154. [Tao F, Zhao J Y, Zhou H. Does environmental regulation improve the quantity and quality of green innovation? Evidence from the target responsibility system of environmental protection[J]. China Industrial Economics, 2021, (2): 136-154.]
- [11] 熊航, 静峥, 展进涛. 不同环境规制政策对中国规模以上工业企业技术创新的影响[J]. 资源科学, 2020, 42(7): 1348-1360. [Xiong H, Jing Z, Zhan J T. Impact of different environmental regulatory tools on technological innovation of Chinese industrial enterprises above designated size[J]. Resources Science, 2020, 42(7): 1348-1360.]
- [12] 展进涛, 徐钰娇. 环境规制、农业绿色生产率与粮食安全[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(3): 167-176. [Zhan J T, Xu Y J. Environmental regulation, agricultural green TFP and grain security[J]. China Population, Resources and Environment, 2019, 29(3): 167-176.]
- [13] Javeed S A, Latief R, Jiang T, et al. How environmental regulations and corporate social responsibility affect the firm innovation with the moderating role of Chief Executive Officer (CEO) power and ownership concentration[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.127212.
- [14] Sónia A N, António C M, Margarida P. Determinants of CO₂ emissions in European Union countries: Does environmental regulation reduce environmental pollution[J]. Economic Analysis and Policy, 2020, 68: 114-125.
- [15] 王丽霞, 陈新国, 姚西龙. 环境规制政策对工业企业绿色发展绩效影响的门限效应研究[J]. 经济问题, 2018, (1): 78-81. [Wang L X, Chen X G, Yao X L. A study of threshold effect of environmental regulation on industrial green development performance[J]. On Economic Problems, 2018, (1): 78-81.]
- [16] 秦宏, 叶川川, 张莹. 海水养殖生态经济系统状态评价研究: 以山东省为例[J]. 经济问题, 2017, (9): 100-105. [Qin H, Ye C C, Zhang Y. Research on the state of mariculture ecological eco-economic system: A case of Shandong Province[J]. On Economic Problems, 2017, (9): 100-105.]
- [17] 董直庆, 王辉. 环境规制的“本地-邻地”绿色技术进步效应[J].

2022年1月

- 中国工业经济, 2019, (1): 100-118. [Dong Z Q, Wang H. Local-neighborhood effect of green technology of environmental regulation[J]. China Industrial Economics, 2019, (1): 100-118.]
- [18] 金刚, 沈坤荣. 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. [Jin G, Shen K R. Polluting thy neighbor or benefiting thy neighbor: Enforcement interaction of environmental regulation and productivity growth of Chinese cities[J]. Management World, 2018, 34(12): 43-55.]
- [19] 罗知, 齐博成. 环境规制的产业转移升级效应与银行协同发展效应: 来自长江流域水污染治理的证据[J]. 经济研究, 2021, 56(2): 174-189. [Luo Z, Qi B C. The effects of environmental regulation on industrial transfer and upgrading and banking synergistic development: Evidence from water pollution control in the Yangtze River Basin[J]. Economic Research Journal, 2021, 56(2): 174-189.]
- [20] 左喆瑜, 付志虎. 绿色农业补贴政策的环境效应和经济效应: 基于世行贷款农业面源污染治理项目的断点回归设计[J]. 中国农村经济, 2021, (2): 106-121. [Zuo Z Y, Fu Z H. The environmental and economic effects of green agricultural subsidy policies: A regression of discontinuity design based on agricultural non-point source pollution control programs with the World Bank's loan agricultural in Guangdong Province[J]. China Rural Economy, 2021, (2): 106-121.]
- [21] 张坤民, 温宗国, 彭立颖. 当代中国的环境政策: 形成、特点与评价[J]. 中国人口·资源与环境, 2007, (2): 1-7. [Zhang K M, Wen Z G, Peng L Y. Environmental policies in China: Evolution, features and evaluation[J]. China Population, Resources and Environment, 2007, (2): 1-7.]
- [22] 王红梅. 中国环境规制政策工具的比较与选择: 基于贝叶斯模型平均(BMA)方法的实证研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(9): 132-138. [Wang H M. Comparison and selection of environmental regulation policy in China: Based on Bayesian Model averaging approach[J]. China Population, Resources and Environment, 2016, 26(9): 132-138.]
- [23] Levinson A. State taxes and interstate hazardous wastes shipments[J]. The American Economic Review, 1999, 89(3): 666-677.
- [24] Bu M L, Liu Z B, Wagner M, et al. Corporate social responsibility and the pollution haven hypothesis: Evidence from multinationals' investment decision in China[J]. Asia-Pacific Journal of Accounting & Economics, 2013, 20(1): 85-99.
- [25] 纪建悦, 张懿, 任文茜. 环境规制强度与经济增长: 基于生产性资本和健康人力资本视角[J]. 中国管理科学, 2019, 27(8): 57-65. [Ji J Y, Zhang Y, Ren W H. Research on the relationship between environmental regulation intensity and China's economic growth rate: Based on physical capital and human capital perspective[J]. Chinese Journal of Management Science, 2019, 27(8): 57-65.]
- [26] 张懿, 纪建悦. 中国海水养殖生态经济系统耦合关系及驱动因素分解[J]. 农业技术经济, 2020, (4): 94-106. [Zhang Y, Ji J Y. The decoupling and influencing factors analysis of blue granary eco-economy system[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2020, (4): 94-106.]
- [27] 王宝义, 张卫国. 中国农业生态效率的省际差异和影响因素: 基于1996-2015年31个省份的面板数据分析[J]. 中国农村经济, 2018, (1): 46-62. [Wang B Y, Zhang W G. Cross-provincial differences in determinants of agricultural eco-efficiency in China: An analysis based on panel data from 31 provinces in 1996-2015[J]. Chinese Rural Economy, 2018, (1): 46-62.]
- [28] 周美静, 黄健柏, 邵留国, 等. 中国稀土政策演进逻辑与优化调整方向[J]. 资源科学, 2020, 42(8): 1527-1539. [Zhou M J, Huang J B, Shao L G, et al. Change and adjustment direction of China's rare earth policy[J]. Resources Science, 2020, 42(8): 1527-1539.]
- [29] 许瑶, 纪建悦, 许玉洁. 中国养殖海域利用效率空间非均衡格局及成因[J]. 资源科学, 2020, 42(11): 2158-2169. [Xu Y, Ji J Y, Xu Y J. Spatial disequilibrium of mariculture areas utilization efficiency in China and causes[J]. Resources Science, 2020, 42(11): 2158-2169.]
- [30] 张兰婷, 刘康, 韩立民. “蓝色粮仓”建设潜力评估: 来自我国沿海11省市的经验[J]. 中国农业大学学报, 2019, 24(6): 235-248. [Zhang L T, Liu K, Han L M. Construction potential evaluation of “Blue Granary”: An empirical study of 11 provinces and cities along the coast of China[J]. Journal of China Agricultural University, 2019, 24(6): 235-248.]
- [31] 李华, 高强, 吴梵. 环渤海地区海洋经济发展进程中的生态环境响应及其影响因素[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(8): 36-43. [Li H, Gao Q, Wu F. Ecological environment response to marine economy development and the influence factors in Bohai Bay Rim Areas[J]. China Population, Resources and Environment, 2017, 27(8): 36-43.]
- [32] 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. [Xu J J, Zhang J, She C H. Evaluation of spatial spillover effect of green development of marine carbon-sink fisheries[J]. China Population, Resources and Environment, 2020, 30(2): 99-110.]
- [33] 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. [Zhang X X, Zheng S, Yu L H. Green efficiency measurement and spatial spillover effect of China's Marine carbon sequestration fishery[J]. China Rural Economy, 2020, (10): 91-110.]
- [34] 韩峰, 阳阳高. 生产性服务业集聚如何影响制造业结构升级: 一个集聚经济与熊彼特内生增长理论的综合框架[J]. 管理世界, 2020, 36(2): 72-94. [Han F, Yang L G. How does the agglomeration of producer services promote the upgrading of manufacturing structure: An integrated framework of agglomeration economies and Schumpeter's endogenous growth theory[J]. Management World, 2020, 36(2): 72-94.]
- [35] 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 J, Liu B. Environmental regulation and enterprises' TFP: An empirical analysis based on China's industrial enterprises data[J]. China Industrial Economics, 2014, (3): 44–56.]
- [36] 高乐华, 高强. 中国海洋生态经济系统协调发展预警机制研究[J]. 山东社会科学, 2018, (2): 123–128. [Gao L H, Gao Q. Research on Early Warning Mechanism of Coordinated Development of Marine Eco-economic System in China[J]. Shandong Social Sciences, 2018, (2): 123–128.]
- [37] 余泳泽, 刘大勇. 中国区域创新效率的空间外溢效应与价值链外溢效应: 创新价值链视角下的多维空间面板模型研究[J]. 管理世界, 2013, (7): 6–20. [Yu Y Z, Liu D Y. The effect of the space outflow of China's regional innovation and the effect of the outflow of value chains: A study, from the perspective of the innovative value chain, on the model of the panel of multidimensional space[J]. Management World, 2013, (7): 6–20.]

Influence of environmental regulations on green level of mariculture and its mechanism

YU Lianghong, GAO Kun, GAO Qiang

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

Abstract: Traditional Chinese mariculture has not fundamentally reduced its dependence on resources and environment, which has become a prominent shortcoming that restricts its green development. Environmental regulation is an important tool to realize the synergy between mariculture development and environmental protection. In this study, a game model of heterogeneous environmental regulation was constructed and a research hypothesis was put forward. The pressure-state-response and analysis of net process (PSR-ANP) method was used to measure the green level of mariculture. On this basis, the provincial panel data of China's coastal areas from 2008 to 2019 were selected, and the dynamic spatial Durbin model was used to empirically test the impact of environmental regulation on the green level of mariculture and its mechanism. The findings are as follows: (1) Environmental regulation has a significant positive impact on the green level of mariculture, which is still valid after a series of robustness and endogeneity tests. (2) Different regulatory tools have varied functioning patterns. Command-and-control environmental regulation has immediate policy impacts but often fails to address the fundamental problems, while market-based environmental regulation is a type of fundamental policy that works well in the long run. Only when the two regulatory tools are properly combined and implemented can both the symptoms and root causes be addressed. (3) From the perspective of spatial and temporal effects, the long-term effect of environmental regulation is greater than the short-term effect, and the indirect effect is greater than the direct effect. (4) Through the pressure relief mechanism, state adjustment mechanism, and response promotion mechanism, environmental regulation can mediate the mariculture green level. Currently, the response promotion mechanism of mariculture in China is still deficient. The research results can provide references for the government to choose the type of environmental regulation and scientifically determine the intensity of environmental regulation.

Key words: environmental regulation; mariculture; green level; spatiotemporal effect; pressure-state-response; network analysis; dynamic spatial Dubin model