

中国海洋碳汇渔业绿色效率测度 及其空间溢出效应*

张樾樾^{1,2} 郑 珊¹ 余粮红¹

摘要：本文基于扎根理论，从资源投入、经济增长、环境影响三个方面构建分析框架，将碳汇产出、氮磷污染纳入海洋碳汇渔业绿色效率的评价指标体系，并利用 Super-SBM 模型测算中国海洋碳汇渔业绿色效率，分析其时空特征。在此基础上，本文采用空间杜宾模型分析中国海洋碳汇渔业绿色效率的影响因素及空间溢出效应。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；从直接效应来看，渔技推广、收入水平、固碳能力、渔药使用对本地区海洋碳汇渔业绿色效率产生直接促进效应，经济规模、产量结构、海域污染、渔业灾情对本地区海洋碳汇渔业绿色效率产生直接抑制效应；从空间溢出效应来看，渔业科技、收入水平、消费总量、固碳能力因素具有负向空间溢出效应，产量结构具有正向空间溢出效应。对此，应充分考虑海洋碳汇渔业绿色效率的区域关联性，从整体上制定综合性海洋碳汇渔业发展空间规划。

关键词：海洋碳汇渔业 绿色效率 扎根理论 空间溢出效应

中图分类号：F014.4 **文献标识码：**A

21 世纪以来，二氧化碳等温室气体排放量骤增，全球变暖等气候变化已成为人类社会共同面临的非传统安全威胁，低碳经济与生活成为践行可持续发展理念的重要路径。党的十九大报告指出，“加快生态文明体制改革，推进绿色发展”，要求坚持环境友好，合作应对气候变化，着力解决突出环境问题。与工业固碳方式相比，以碳汇渔业为代表的生物固碳具有成本低、技术可行、综合效益显著等突出优势，有效激发了中国低碳经济的发展潜力。中国海洋碳汇渔业发展模式以海水增养殖为主体。海水养殖业连续多年高速发展引发了养殖海域可扩展空间枯竭、养殖资源利用效率低下等资源问题以及养殖自身污染加重、养殖水域环境恶化等环境问题，因此，推进渔业经济增长方式的绿色转型势在必行。碳汇渔业是绿色、低碳发展理念在渔业领域的具体体现（唐启升、刘慧，2016），也是兼顾经济效益与生态效益的新兴产业。2019 年，农业农村部等十部委联合印发了《关于加快推进水产养殖业

*本文是国家社会科学基金项目“人口结构危机背景下劳动就业新问题及对策研究”（编号：19BJY051）的阶段性成果。

本文通讯作者：余粮红。

绿色发展的若干意见》，重点强调要发挥水产养殖的生态功能，鼓励发展不投饵的滤食性鱼类和滩涂浅海贝藻类增养殖，推广以渔净水、以渔控水、以渔抑藻，全面修复水域生态环境，为海洋碳汇渔业绿色发展指明了前景和方向。

“碳汇渔业”是依靠水生生物自有的固碳能力，清除或移出海水中溶解的二氧化碳气体，影响海洋碳循环能力过程、活动或机制的渔业生产活动。基于此，可将能够充分发挥碳汇功能、具有直接或间接降低温室气体效应的渔业生产活动泛称为“碳汇渔业”。更有研究认为，鱼类整体都具有碳汇功能，而贝藻类养殖是海洋碳汇渔业的主体部分，具有显著的固碳能力，已得到学界一致认可。故本文将最终研究对象锁定为贝藻类^①。海洋碳汇渔业绿色效率即基于经济指标与资源环境指标的投入产出比，能够较为客观准确地反映经济增长、资源节约与环境保护的协调发展状况。海洋碳汇渔业绿色效率具有很强的跨区域网络性，一个地区的海洋碳汇渔业绿色效率会通过要素流动、技术溢出与政策蔓延等传导机制对周边地区的海洋碳汇渔业绿色效率产生影响，即存在空间溢出效应。在加快推进经济绿色高质量发展的关键时期，单纯依靠高投入、高产出、高污染的粗放型发展方式已难以为继。在此背景下，综合测度中国海洋碳汇渔业绿色效率，深入挖掘其空间效应及影响因素，对引导中国海洋渔业绿色转型、开拓全球气候治理新领域具有重要的现实意义。

一、文献述评

（一）海水养殖投入产出效率的相关研究

早期关于海水养殖投入产出效率的研究多以定性分析为主，例如 Huguenin and Rothwell（1979）首次对海水养殖效率进行评估，用单位面积产量表征海洋网箱养殖效率。孙吉亭（1990）通过建立投入产出模型对山东省海水养殖问题进行梳理。随着研究的逐步深化，随机前沿分析（SFA）和数据包络分析（DEA）等方法开始成为主流，这两种方法在分析渔业技术效率时存在总体一致性。Vassdal and Holst（2011）运用随机前沿生产函数解释挪威鲑鱼养殖效率的影响因素，发现集聚外部性是影响鲑鱼养殖场生产力与技术效率的主要因素。Wang and Ji（2017）基于 DEA 模型，用 Seiford 线性转换方法评估非期望产出的海水养殖效率，研究结果表明，技术推广便利性与技术水平对养殖效率有正面影响，而培训强度具有负面影响。

农业生产过程的投入要素通常包含土地、劳动和资本，不少学者在借鉴农业投入要素的基础上，确定海水养殖效率的投入要素。例如，Idda et al.（2009）将齿轮修理费用、渔船修理费用、燃料、渔

^①本文未将捕捞渔业纳入研究范围，主要原因为：一是海洋动物的呼吸将光合作用固定的碳返回大气中，从而被认为是削弱了海洋生物泵效率，由于海洋脊椎动物的丰度低，大多数海洋生物的地球化学循环模型中不包括海洋脊椎动物（张波等，2013）；二是由于渔获物在实现生物碳汇的同时，其自身生理代谢又是一个碳排放的过程，估算每种渔获物的固碳量需要较为复杂的计算过程（Davies et al., 2013）；三是随着捕捞渔业的发展，尤其是过度捕捞的出现，其碳汇功能被逐渐削弱（张波等，2013；唐启升等，2016）；四是捕捞渔业与海水养殖所涉及的生产要素差异较大，尤其是投入要素方面，若不加以区分则难以测算其效率。

船损失、雇佣劳动力及设备费用作为投入要素, 评估地中海小规模渔业的经济效率。Onumah et al. (2010) 在此基础上增加了鱼苗(鱼种)数量与饲料成本投入。Irz and Stevenson (2012) 以养殖规模为投入要素, 发现菲律宾水产养殖规模与技术效率之间存在负相关关系。Ji and Wang (2015) 以养殖面积、养殖船数量和海水养殖从业人员数量为投入变量, 以水产养殖产量为期望产出变量, 以污染造成的经济损失为非期望产出, 然后运用 SBM 模型评估水产养殖效率。秦宏等(2018)增加了海水养殖中间消耗与培训强度等投入指标。

在产出指标方面, 传统产出指标为海水养殖总产量、总产值等, 随着研究的逐步深入, 学者们对产出指标进行了调整。例如, 纪建悦、曾琦(2016)将海水养殖增加值与环境污染的经济损失的差值作为海水养殖绿色产出指标, 测算了中国海水养殖业绿色技术效率。邵桂兰等(2019)基于贝藻类碳汇机理, 以海水养殖固碳总量为产出指标。还有学者将产出分解为期望产出与非期望产出, 基于排污量视角与经济损失视角重点对非期望产出(养殖污染等)进行核算。例如, Martinezcordero and Leung (2004)基于污染物排放量视角, 以海水养殖总产值为期望产出指标, 将氮磷污染产出量作为非期望产出指标用以测算海水养殖绿色效率。孙康等(2017)从污染导致经济损失的视角, 分别以海洋渔业总产值和海洋天然渔业损失作为期望产出指标和非期望产出指标来测度海洋渔业经济效率。

(二) 绿色效率影响因素及空间效应的相关研究

能源消耗与二氧化碳排放是影响绿色效率的关键因素, 绿色效率还受经济规模、产业结构、科技水平、收入水平、环境规制等因素的影响。钱争鸣、刘晓晨(2013)和班斓、袁晓玲(2016)指出, 人均 GDP 与绿色效率存在“倒 U 型”关系, FDI 对绿色效率具有显著的正向影响, 产业结构、城市化水平、污染治理投资等均对其产生负向影响, 该影响在不同时期具有不同程度的时空差异(钱争鸣、刘晓晨, 2014)。赵领娣等(2016)将人力资本分解为人力资本水平与人力资本结构, 发现两者均未能对绿色效率发挥提升作用, 产业结构高级化、合理化在全国层面及东部、中部地区均表现出提升绿色效率的积极效应。张国俊等(2019)运用空间误差模型分析绿色效率的影响因素, 研究结果显示, 居民收入水平、政府调控和科技水平均对广东省产业绿色发展水平产生显著的正向影响, 而城镇化的影响不显著。林伯强、谭睿鹏(2019)认为, 合理的经济集聚度对绿色效率的影响主要表现为集聚效应, 当经济集聚程度大于临界值时, 则表现为拥堵效应。

某些因素不仅影响本地区的绿色效率, 还对邻近地区产生影响, 即存在空间溢出效应。车树林等(2017)研究发现, 规模提升效应、结构优化效应及绿色消费效应均表现出显著的正向空间溢出效应, 而创新带动效应则表现出显著的负向空间溢出效应, 其中, 规模提升效应对周边区域绿色发展的外溢影响最大。Ramajo et al. (2017)发现, 空间溢出效应的大小取决于邻近经济体的规模。车磊等(2018)运用空间杜宾模型验证了绿色效率存在较强的空间溢出效应, 经济水平、技术创新与能源强度对邻近省份的绿色效率具有显著的正效应, 产业结构对临近省份的绿色效率具有显著的负效应。任阳军等(2019)指出, 高技术产业集聚不仅提高了本地区的绿色效率, 也存在显著的正向空间溢出效应。

(三) 研究述评

梳理以上文献可知, 前期的研究成果为本研究提供了较为充盈的理论基础并启发了研究设想, 但

仍存在研究疏漏及有待深化之处。从研究视角来看, 鉴于污染指标的不易测度, 关于碳汇渔业绿色效率的研究大多基于环境非期望产出视角进行测算, 该视角较为单一。碳汇渔业生产的环境产出既包括期望产出(如碳汇), 又包含非期望产出(如碳排放)。随着渔业碳汇功能逐渐被认知, 渔业固碳量核算方法日臻完善, “碳”应成为渔业不容忽视的产出部分。从研究内容来看, 目前碳汇渔业的研究成果多集中于固碳量核算、碳汇补偿、效率值测算以及投入产出变量的完善等方面, 碳汇渔业绿色效率的科学评价及影响因素分析尤为匮乏。在研究方法上, 囿于效率值取值范围在 0-1 之间, 学界多采用受限因变量模型(Tobit 模型), 然而环境外部性在地理空间中的关联性会导致 Tobit 模型的参数估计偏误。与传统碳汇渔业效率的研究相比, 本文关于海洋碳汇渔业绿色效率研究的改进在于, 充分考虑海洋碳汇渔业的环境影响, 并采用空间计量模型解决面板数据的空间相关性。鉴于此, 本文利用扎根理论构建分析框架, 基于 2008~2017 年中国沿海 9 省海洋碳汇渔业的面板数据, 利用 Super-SBM 模型测度中国海洋碳汇渔业绿色效率, 并采用空间计量模型分析其空间溢出效应。

二、海洋碳汇渔业绿色效率影响因素的理论模型

海洋碳汇渔业绿色效率的影响因素错综复杂, 但现有理论研究成果较为稀缺, 除传统生产要素外, 还存在诸多影响因素尚未被识别与证实。为更全面地考察各类影响因素及其逻辑关系, 在借鉴其他学者的观点与研究成果的基础上, 本文尝试利用扎根理论构建海洋碳汇渔业绿色效率影响因素的理论模型。扎根理论是在系统收集资料的基础上, 逐级提炼特定研究对象的概念、范畴、主范畴与核心范畴, 探寻事物本质的定性研究方法, 能够构建现实存在但尚未被识别的理论模型。

(一) 资料来源

基于“一切皆为数据”的原则, 本文的资料搜集主要依托互联网渠道, 以媒体采访、书籍、报告、政府文件、新闻报道和期刊论文等为主。首先, 确定资料搜集渠道为百度、搜狗、360、谷歌等搜索引擎和中国知网、万方、维普等数据库。然后, 设置搜索关键词为海洋碳汇渔业、贝藻类养殖等。在搜索引擎上搜集到共计 1600 多条信息, 在文献数据库搜集到 112 条信息。搜索引擎搜索出的信息具有较大“噪音”, 即有很多资料的实际内容与海洋碳汇渔业无关, 需进行人工筛选, 筛选后得到 900 余条资料。资料搜集并非一次完成, 而是循序渐进, 当概念或范畴的内涵不完备或逻辑关系不明确时, 需多次补充搜集最新资料。

(二) 三级译码

1. 开放式译码。该译码是将搜集的所有资料进行概念化并逐步范畴化的过程。要求研究者以开放心态, 尽量“悬置”个人“倾见”和研究界的“定见”, 将所有资料按其本身所呈现的状态进行编码。这是一种将所有资料打散、赋予概念、再以新的方式重新组合的操作过程。编码可逐词、逐行、逐个事件进行。根据开放式编码的要求, 对筛选的 900 多条资料逐行进行编码, 对资料中的每句话进行提炼、贴标签, 最终抽象出若干概念和范畴。

2. 主轴式译码。其主要任务是发现并建立概念类属与范畴之间的联系, 以表现资料中各部分间的有机关联。这些关联可以是因果关系、时间关系、语义关系、结构关系等。在主轴式译码过程中, 研

究者每次只对一个类属进行深度分析，围绕着一个类属寻找相关关系，称为“轴心”。本研究以海洋碳汇渔业绿色效率为核心概念，从投入产出视角识别不同范畴之间的逻辑关系，提炼出以下三个主范畴。（1）资源投入。为实现海洋碳汇渔业绿色发展，需要投入养殖海域、劳动力、养殖渔船和其他必要的渔业基础设施（例如渔港、养殖基地、人工鱼礁）等基本资源要素。渔业养殖是一项技术含量高的生产活动，需要生产经营者掌握必要的知识与技术。政府、协会、合作社、企业等主体需提供相关培训，并进行必要的技术推广。优质品种培育、高蛋白饲料、过程检测、养殖装备等领域需要投入人财物力进行理论攻关与技术成果转化。政府相关部门需提供燃油、良种补贴在内的多种渔业补贴，以提升比较收益。可见，为了实现海洋碳汇渔业的绿色发展，多种资源的投入必不可少。（2）经济增长。产量结构调整、产业集聚、经济规模扩大为渔业经济增长的表现，收入水平提高、水产品消费数量增加与结构优化是渔业经济增长的动力。基于此，本文将产量结构、产业集聚、经济规模、收入水平、产品消费五大范畴归纳为经济增长主范畴。（3）环境影响。海洋碳汇渔业生产过程既影响环境又受环境影响。海洋碳汇渔业生产既是碳源又是碳汇，包含对环境的正外部性（固碳）和负外部性（养殖产生的氮磷污染等）。同时，外源性输入污染对养殖生物产生重要影响，甚至导致渔业灾情。因此，有效适度的环境规制时不我待，尽快制定养殖废水排放标准，开展环境综合治理。

如图1所示，主轴式编码过程显示了范畴之间的联结关系以及主范畴提炼过程。

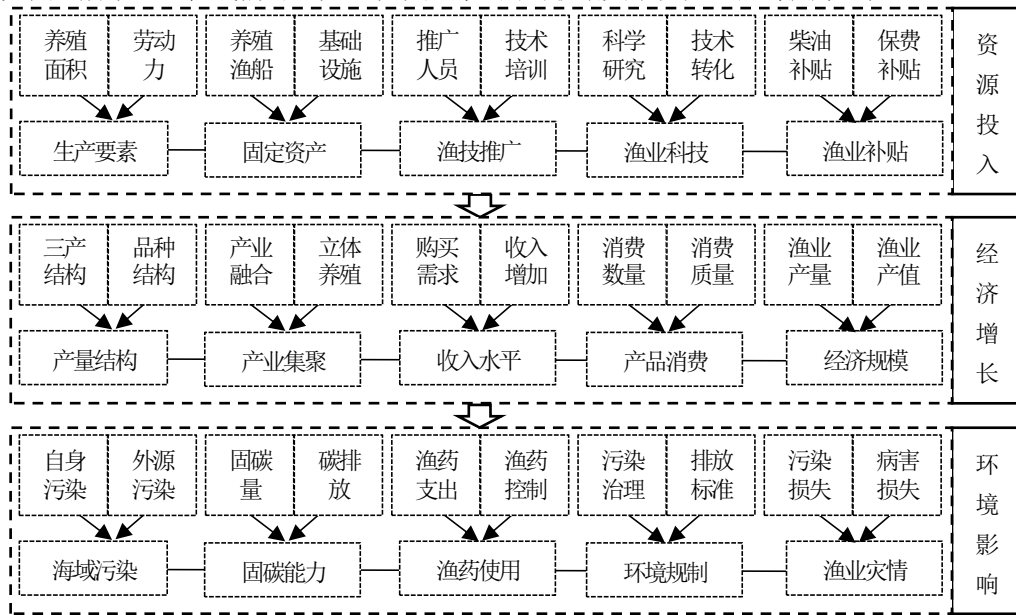


图1 主轴式译码过程

3.选择性译码。在所有提炼的主范畴中，经过系统分析后选择一个“核心类属”。选择性译码的主要功能是将分析集中到与该核心类属有关的码号上。与其他类属相比，核心类属具有统领性，发挥提纲挈领的作用，能将大部分研究结果及其他类属囊括在一个比较宽泛的理论范围内。本文将资源投入、经济增长、环境影响三大主范畴视为经济生产过程的三项环节，据此提炼出“海洋碳汇渔业绿色效率影响因素”这一核心范畴。选择性译码过程如图2所示。

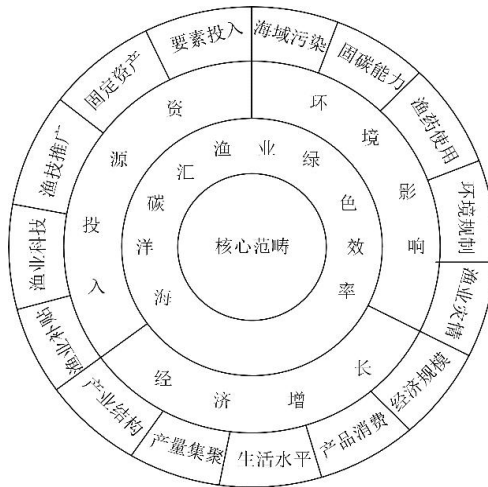


图2 选择性译码过程

三级译码编制完成之后，基于生产过程视角，将人财物等经济要素投入生产，获得海洋碳汇渔业经济增长的同时，也对环境产生影响，这种影响包括正外部性的碳汇与负外部性的氮磷污染。整个投入产出过程即为海洋碳汇渔业绿色效率的核心内容。

(三) 理论模型构建与运行机理分析

基于扎根理论的海洋碳汇渔业绿色效率影响因素的理论模型如图3所示，该模型主要由资源投入、经济增长、环境影响和绿色效率四大核心节点构成。资源投入是绿色效率的投入指标，经济增长是绿色效率的期望产出指标，环境影响包含期望产出和非期望产出。物质流、信息流、能量流、价值流犹如血液，在海洋碳汇渔业生产过程中不断循环。

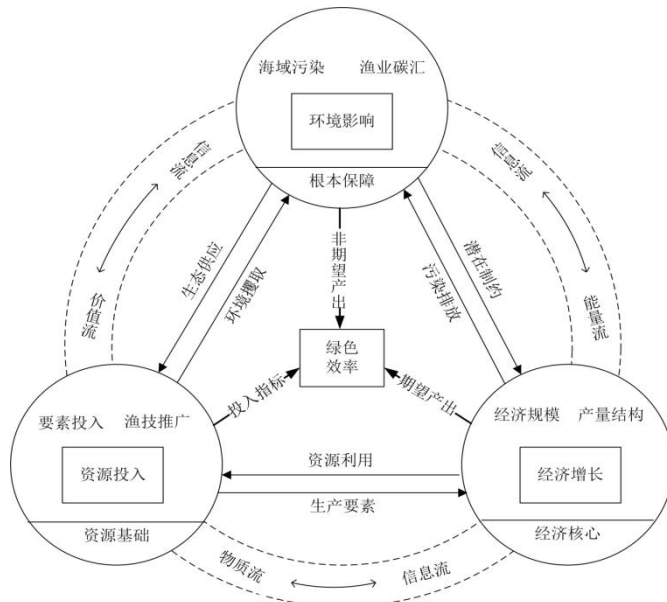


图3 中国海洋碳汇渔业绿色效率影响因素的理论模型及运行机理

基于扎根理论的海洋碳汇渔业绿色效率影响因素的理论模型只是提炼出了各影响因素与海洋碳汇

渔业绿色效率的因果机制这一“黑箱”。本文进一步探究资源投入、经济增长、环境影响三大主范畴对海洋碳汇渔业绿色效率的影响路径，以揭示该因果机制的运行机理，并将这一因果机制“白箱”化。基于地理空间视角，海洋碳汇渔业绿色效率空间溢出效应的作用路径主要包括要素流动、技术溢出与政策蔓延等。其中，影响效率变动的关键是投入产出环节。只有锁定投入产出要素进行剖析，才能抓住效率研究的关键。鉴于此，本文将海洋碳汇渔业绿色效率分解为投入与产出两部分，将各影响因素对海洋碳汇渔业绿色效率的作用路径划分为投入传导型作用路径、产出传导型作用路径与综合传导型作用路径三种类型。（1）投入传导型作用路径。生产要素和固定资产是海洋碳汇渔业生产的基本要素，在技术水平一定的条件下，投入增加驱动产量增加。强化渔业科技和渔技推广能有效提升渔业生产的技术水平，在要素投入量相等的情况下，生产技术进步能够带动产品产量和品质的提升。（2）产出传导型作用路径。经济规模通过产量或产值来描述，是经济产出的直接表征；产量结构调整能够实现资源优化配置，有效增加产值；产业集聚能加强养殖主体间的信息交流与合作，节约运输及生产建设成本，进而增加产出；海域污染包含海洋碳汇渔业污染和外源污染，其中，海洋碳汇渔业污染直接表现为绿色效率的非期望产出，外源污染则会影响水产品的产量与品质；固碳能力的提升能够增加净固碳量，增加期望产出；渔业灾情导致水产品产量下降，绿色效率下滑。（3）综合传导型作用路径。环境规制包含激励型和命令控制型。激励型环境规制会刺激污染治理投入，命令控制型环境规制减少污染产出，因而环境规制属于综合传导型；收入水平提升、产品消费增加带动供给增加，表现为水产品投入与产出的增加；使用渔药可以减少渔业病害，增加产量，但会影响产品品质，增大养殖污染等非期望产出。

三、海洋碳汇渔业绿色效率测评

海洋碳汇渔业绿色效率测度与评价是揭示中国海洋碳汇渔业分布格局及演变规律的重要先导环节。为深入探讨中国海洋碳汇渔业经济增长、资源节约与环境保护的协同发展现状，本文利用 Super-SBM 模型测评中国海洋碳汇渔业绿色效率。

（一）投入产出指标选取

1.投入指标。农业生产过程的投入要素通常包含土地、劳动、资本等，海洋碳汇渔业也属于农业生产范畴，本文借鉴刘洋（2015）等提出的指标，选取海洋碳汇渔业劳动力、养殖面积、资本等为海洋碳汇渔业的投入要素。（1）海洋碳汇渔业劳动力。海洋碳汇渔业劳动力是指直接参与海洋碳汇渔业养殖生产经营活动的人员，包含质和量两个层面。由于海洋碳汇渔业劳动力的质量难以测度，本文以海洋碳汇渔业专业从业人员数量表示海洋碳汇渔业劳动力数量。（2）海洋碳汇渔业面积。自然海域条件与人为创造的养殖环境是海洋碳汇渔业生产必不可少的空间要素，本文以海洋碳汇渔业养殖面积表征海洋碳汇渔业面积（单位：公顷）。（3）海洋碳汇渔业苗种。苗种是海洋碳汇渔业生产的方向标，渔户根据自然资源禀赋、养殖生物特性、市场行情自主决定苗种的类属与品种。借鉴徐敬俊等（2018）的鱼苗产值指标，本文以苗种数量表征海洋碳汇渔业苗种。（4）海洋碳汇渔业中间消耗。借鉴秦宏等（2018）的中间消耗指标，依据渔业中间消耗折算海洋碳汇渔业中间消耗（单位：万元），并将计算

结果按照农产品生产资料价格指数调整为同期可比价格。

2.期望产出指标。(1)海洋碳汇渔业经济产出。产量和产值是海洋碳汇渔业经济产出的主要衡量指标。鉴于贝类产品的重量主要集中于外壳部分,可食用部分的重量占比较低,因而用产量指标作为期望产出并不能真实反映海水养殖的经济贡献(秦宏等,2018),故本文以海洋碳汇渔业总产值(单位:万元)作为期望产出。(2)海洋碳汇渔业生态产出。碳汇生态产出是海洋碳汇渔业的显著特点之一,借鉴邵桂兰等(2019)的观点,本文以固碳量指标描述海洋碳汇渔业生态产出,即通过碳综合系数法(参见岳冬冬、王鲁民,2012),综合海水养殖干湿重转换系数(参见Gao and Mckinley,1994)、贝壳和软组织质量比重(参见张继红等,2005)、贝壳和软组织碳含量参数(参见周毅等,2002),估算各地区的海洋碳汇渔业固碳量(单位:吨)。

3.非期望产出指标。海洋碳汇渔业非期望产出可基于污染排放量视角(参见Martinez-cordero and Leung,2004)和污染导致经济损失量视角(参见纪建悦、曾琦,2017)进行衡量。本研究基于污染排放量的生态视角,选取海洋碳汇渔业氮磷产污量和碳排放量作为非期望产出指标。(1)海洋碳汇渔业氮磷产污量。大多数养殖生物为异养型,其生理活动产生的氨氮和磷酸盐等代谢废物是养殖系统氮、磷自身污染的主要来源(袁秀堂等,2011),故本文以海洋碳汇渔业氮磷产污量(单位:吨)为指标,运用产污系数法(参见宗虎民等,2017)进行核算。(2)海洋碳汇渔业碳排放量。海洋碳汇渔业碳排放来源于两方面:一是能源燃烧导致的直接碳排出,主要指养殖渔船消耗的柴油经过燃烧所产生的二氧化碳;二是使用电力导致的间接碳排出,主要指对海水池塘及工厂化养殖进行供氧、通电生产环节的电力消耗(徐皓等,2007)。故本文以柴油与电力消耗所产生的碳排放量表征海洋碳汇渔业碳排放量(单位:吨),通过碳排放系数与能源转化系数(参见邵桂兰等,2015)进行核算。

(二) 数据来源

海洋碳汇渔业绿色效率投入产出指标的原始数据来源于《中国渔业统计年鉴》^①、《中国农村统计年鉴》^②,最终整理得到沿海9个海洋碳汇渔业主产区2008~2017年的面板数据。在计算养殖苗种数量时,贝类育苗量使用《中国渔业统计年鉴》数据;而藻类数据仅包括海带和紫菜数据,考虑到缺失类别比重不大,故本文以紫菜、海带的育苗量之和代替藻类育苗量。贝类、海带、紫菜的育苗单位分别为万粒、亿株、亿贝壳,以亿为单位将三者育苗量直接加总求和即为养殖苗种数量。借鉴马文杰、冯中朝(2008)以及王端岚(2013)、秦宏等(2018)的产值占比系数折算法、面积占比系数折算法,本文将折算系数设定为: α =海洋碳汇渔业养殖面积/海水养殖总面积, β =海洋碳汇渔业产值/渔业总产值。海洋碳汇渔业相关指标的数据由贝藻类养殖面积、产值等占比系数折算得出。

(三) 效率测算方法

由于海洋碳汇渔业的具体生产函数形式未知,为规避设定偏误以及解决输入输出的非零松弛问题和非期望产出问题,从而区分相对有效决策单元(DMU)的效率,本文采用Super-SBM模型测算中

^①农业农村部渔业渔政管理局(编):《中国渔业统计年鉴》(2009~2018年,历年),北京:中国农业出版社。

^②国家统计局(编):《中国农村统计年鉴》(2009~2018年,历年),北京:中国统计出版社。

国海洋碳汇渔业绿色效率。Super-SBM 模型的数学表达式如下：

$$\theta^* = \min \theta = \min \frac{1 - \left(\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \frac{s_n^x}{x_n^k} \right)}{1 + \left[\frac{1}{M+1} \left(\sum_{m=1}^M \frac{s_m^y}{y_m^k} \right) + \sum_{i=1}^I \frac{s_i^z}{z_i^k} \right]} \quad (1)$$

$$s.t. \begin{cases} \sum_{k=1}^k \omega_k y_m^k - s_m^y = y_m^{k'}, m=1, \dots, M \\ \sum_{k=1}^k \omega_k z_i^k - s_i^z = z_i^{k'}, i=1, \dots, I \\ \sum_{k=1}^k \omega_k x_n^k - s_n^x = x_n^{k'}, n=1, \dots, N \\ \omega_k \geq 0, s_m^y \geq 0, s_i^z \geq 0, s_n^x \geq 0, k=1, \dots, K \end{cases}$$

(1) 式中， θ 表示效率值， n 、 m 、 i 分别代表投入的数量、期望产出的数量、非期望产出的数量， x_n^k 、 y_m^k 、 z_i^k 分别代表 t 时刻生产单元 k 的投入、期望产出、非期望产出的值， ω_k^x 、 ω_k^y 代表生产单元 k 每个投入产出值的权重。 s_m^y 、 s_i^z 、 s_n^x 表示松弛变量，目标函数 θ ($0 < \theta \leq 1$) 随 s_m^y 、 s_i^z 、 s_n^x 严格递减。当 $\theta=1$ 时，生产单元 k 完全有效率；当 $\theta < 1$ 时，生产单元 k 具有效率损失。

(四) 效率测算结果与分析

本文利用 DEA-SOLVER PRO 5.0 软件，基于 (1) 式，选择 Super-SBM 模型对中国 2008~2017 年沿海 9 省海洋碳汇渔业绿色效率进行测算，结果如图 4、图 5 所示。

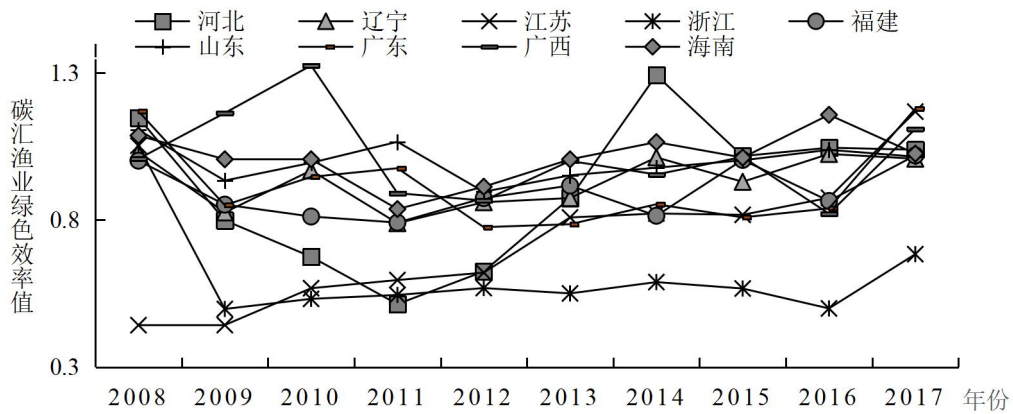


图 4 2008~2017 年中国海洋碳汇渔业绿色效率的时间变化趋势

1. 海洋碳汇渔业绿色效率的时序变化分析。中国海洋碳汇渔业绿色效率值介于 0.3~1.4 之间，局部波动较大，呈现 W 型时间特征。从波峰来看，2010 年，广西海洋碳汇渔业绿色效率值达到 1.33；2014 年，河北海洋碳汇渔业绿色效率值达到 1.29。这可能与两省的产业政策调整有关。广西着力于促

进渔业经济发展方式的优化。2010年,广西机动渔船年末拥有量比2009年减少1179艘,下降幅度为4.05%;机动渔船功率下降4615千瓦,下降幅度为0.47%;海洋碳汇渔业总产值同比增加5.86亿元,增幅16.13%^①。这说明,广西通过综合传导型路径提升了海洋碳汇渔业绿色效率。2013年底,河北出台《河北省人民政府关于促进海洋渔业可持续发展的实施意见》,加快海水养殖模式调整,大力推行工厂化、生态立体混养、海洋牧场等标准化生态健康养殖模式。2014年,河北新创建农业部健康养殖示范场27个,建设海洋牧场4处,面积达173公顷,投放人工鱼礁9000余空方,移植和底播贝藻类苗种610万单位^②。由此,河北也通过综合型传导路径提升了海洋碳汇渔业绿色效率。从波谷来看,2008~2009年,江苏海洋碳汇渔业绿色效率值低至0.45,在很大程度上阻碍了江苏海洋碳汇渔业的绿色发展。2008年,江苏水产苗种投入110.25亿株,比2007年增长了9.69亿株^③,同比增长8.79%,较高的苗种投入通过投入传导型路径降低了江苏的海洋碳汇渔业绿色效率。

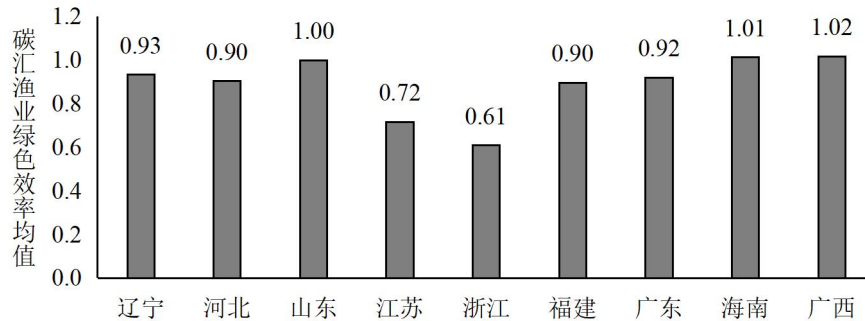


图5 2008~2017年中国海洋碳汇渔业绿色效率均值的区域分布

2.碳汇渔业绿色效率的区域差异分析。2008~2017年,中国海洋碳汇渔业绿色效率均值呈现区域分布不均衡的特征,黄渤海地区较高,东海地区较低,南海地区最高,由北向南的“V型”空间特征明显。首先,从整体来看,中国海洋碳汇渔业绿色效率的平均水平较高,但仍存在一定的提升空间。大部分省份的海洋碳汇渔业绿色效率均值在0.9左右,表明海洋碳汇渔业发展与生态环境保护尚未实现高度耦合协同,中国海洋碳汇渔业转方式、调结构压力将长期存在。其次,从分海区来看,南海地区的广西海洋碳汇渔业绿色效率值达1.02,海南海洋碳汇渔业绿色效率值达1.01;黄海地区的山东海洋碳汇渔业绿色效率值达1.00。这三省(区)的海洋碳汇渔业绿色效率较高,已逐渐步入海洋碳汇渔业绿色发展的新轨道。具体来看,广西、海南的贝藻类养殖业起步晚,发展缓慢,污染程度较轻。2018年,广西人民政府印发了《广西水污染防治攻坚三年作战方案(2018-2020年)》,海南省海洋与渔业厅印发了《关于促进水产养殖业绿色发展的指导意见》,两省均限制近海投饵网箱养殖,积极发展不需人工投饵的浅海贝藻养殖和鱼贝藻间养,通过产出传导型路径提升了海洋碳汇渔业绿色效率。山东作为贝藻类养殖发源地和海洋牧场示范区,海洋碳汇渔业产量大,集约化程度高,通过产出传导型

^①农业农村部渔业渔政管理局(编):《中国渔业统计年鉴》(2010年),北京:中国农业出版社。

^②农业农村部渔业渔政管理局(编):《中国渔业统计年鉴》(2014~2015年),北京:中国农业出版社。

^③农业农村部渔业渔政管理局(编):《中国渔业统计年鉴》(2008年),北京:中国农业出版社。

路径提升了海洋碳汇渔业绿色效率。东海地区的浙江海洋碳汇渔业绿色效率值最低，仅为 0.61。浙江的主导产业为经济鱼养殖，贝藻类养殖业产量小、产值低、海洋固碳量小，通过综合型传导路径降低了海洋碳汇渔业绿色效率。

四、海洋碳汇渔业绿色效率的空间效应分析

在海洋碳汇渔业绿色效率值测算的基础上，本文进一步剖析中国海洋碳汇渔业绿色效率的分布格局与空间效应，深层次揭示海洋碳汇渔业绿色效率的关键影响因素。

(一) 空间计量模型设定

本文运用 Moran's I 对中国海洋碳汇渔业绿色效率进行空间相关性检验^①。结果显示，2008~2017 年，中国海洋碳汇渔业绿色效率的 Moran's I 值在 0.163~0.475 之间波动，且均显著。这表明，中国海洋碳汇渔业绿色效率具有较强的空间相关性，不满足样本的独立性假设，需引入空间计量模型进行估计。目前主流的三大空间计量模型为空间滞后模型（SLM）、空间误差模型（SEM）和空间杜宾模型（SDM）。由于事先无法判断变量之间存在何种空间相关关系，本文对三种模型同时进行估计。

空间滞后模型：

$$Y = \rho WY + X\beta + \varphi \quad (2)$$

空间误差模型：

$$Y = X\beta + \varepsilon \quad (3)$$

(3) 式中， $\varepsilon = \theta W\varepsilon + \mu$ 。

空间杜宾模型：

$$Y = \rho WY + X\beta + WX\gamma + \delta \quad (4)$$

(2)~(4) 式中， Y 表示 i 地区 t 时期的海洋碳汇渔业绿色效率， X 表示 i 地区 t 时期的自变量向量， β 为待估参数向量， W 为空间权重矩阵， ρ 为空间自回归系数， γ 为空间滞后解释变量的系数， φ 、 ε 、 μ 、 δ 为随机扰动项。

为了对研究结果进行稳健性检验，本文从地理特征和经济特征两个方面选取四种空间权重矩阵来进行空间计量分析，并将四种空间权重矩阵行标准化为 1 的矩阵。

1. 地理特征空间权重矩阵。本研究设定的地理特征空间权重矩阵包括邻接空间权重矩阵和距离空间权重矩阵，形式分别如 (5) 式和 (6) 式所示：

$$W_{ij}^{01} = \begin{cases} 1, & \text{两省相邻 } (i \neq j) \\ 0, & \text{否则 } (i=j) \end{cases} \quad (5)$$

$$W_{ij}^d = e^{-\alpha d_{ij}} \quad (6)$$

(5) 式中， W_{ij}^{01} 为 0-1 邻接空间权重矩阵， i 、 j 表示地理单元。(6) 式中， W_{ij}^d 为距离空间

^①囿于篇幅限制，Moran's I 的计算过程不在此报告，感兴趣的读者可以向笔者索取。

权重矩阵。 d_{ij} 为地理单元*i*与地理单元*j*的地理距离,采用省会城市之间的欧式距离来衡量。为消除距离度量单位对估计结果的影响,加入了系数 α (用省会城市间最短距离的倒数表示)。

2.经济特征空间权重矩阵。绿色效率是一项系统活动,受到其他非地理因素的综合影响,例如经济发达程度、海洋碳汇渔业资源情况等。因此,有必要从经济特征角度刻画复杂的绿色发展空间关系。本文将地区间的经济特征分为经济发达程度和海洋碳汇渔业资源两类,分别建立空间权重矩阵,借鉴余泳泽、刘大勇(2013)的方法,刻画经济发达程度的经济空间权重矩阵形式如(7)式所示:

$$W_{ij}^e = W_{ij}^d \text{diag}(\bar{Y}_1 / \bar{Y}, \bar{Y}_2 / \bar{Y}, \dots, \bar{Y}_n / \bar{Y}) \quad (7)$$

(7)式中, W_{ij}^e 为经济空间权重矩阵, \bar{Y}_i 为地理单元*i*2008~2017年的GDP均值, \bar{Y} 为所有地区的GDP均值。同理,刻画海洋碳汇渔业资源的资源空间权重矩阵形式如(8)式所示:

$$W_{ij}^r = W_{ij}^d \text{diag}(\bar{R}_1 / \bar{R}, \bar{R}_2 / \bar{R}, \dots, \bar{R}_n / \bar{R}) \quad (8)$$

(8)式中, W_{ij}^r 为资源空间权重矩阵, \bar{R}_i 为地理单元*i*2008~2017年的海洋碳汇渔业总产值均值, \bar{R} 为所有地区的渔业总产值均值。

(二) 变量选取

1.资源投入。海洋碳汇渔业资源投入主要包括生产要素(*factor*)、固定资产(*asset*)、渔业科技(*tech*)与渔技推广(*exte*)。生产要素为海洋碳汇渔业面积、劳动力数量、苗种数量、中间消耗值的综合体现。在借鉴纪建悦、曾琦(2017)做法的基础上,本文先对各要素值进行标准化^①,然后加总求和得到生产要素变量的数据。固定资产包括为海洋碳汇渔业生产而建设的基础设施及使用的养殖渔船等,由于基础设施数据缺失,本文选择养殖渔船功率表征固定资产变量。借鉴张樨樨、刘鹏(2019)构建的科研与水产技术推广子系统测评指标,本文选用海洋碳汇渔业相关研究论文和专利数量表征渔业科技。由于知识具有共享性,本指标数据未分地区统计,同一年里各省份的取值相同。渔技推广包含技术培训、技术推广等内容,本文选择技术推广业务经费(郑慧、代亚楠,2019)和培训人数指标刻画渔技推广水平。

2.经济增长。影响海洋碳汇渔业绿色效率的经济因素主要有经济规模(*scale*)、产量结构(*stru*)、收入水平(*inco*)和消费总量(*cons*)。经济规模可用海洋碳汇渔业的产量、产值、面积等指标衡量,借鉴李晨等(2018)研究,本文选用海洋碳汇渔业总产值表征海洋碳汇渔业经济规模。产量结构在此特指海洋碳汇渔业产量在海水养殖产量中的比重,该比重越大,海洋碳汇渔业绿色效率越高。收入水平主要体现在居民生活消费水平方面(韩磊等,2019),本文选用居民人均可支配收入表示。消费总量指市场消费海洋碳汇渔业的数量,基于市场出清假设,海洋碳汇渔业消费量表示为:各地区海洋碳汇渔业消费量=各地区海洋碳汇渔业产量+海洋碳汇渔业进口量-海洋碳汇渔业出口量。

3.环境影响。对海洋碳汇渔业绿色效率产生影响的环境因素主要包括海域污染(*pollu*)、固碳

^①本文使用Min-Max标准化方法,即: $x^* = (x - \min) / (\max - \min)$ 。

能力 (*carb*)、环境规制 (*rule*)、渔药使用 (*drug*) 和渔业灾情 (*disa*)。本文选用污染强度表征海域污染程度, 即: 污染强度=氮磷污染量/海洋碳汇渔业面积。本文借鉴杨莉莎等 (2019) 的相关研究成果, 使用碳强度复合指标表征固碳能力, 在净碳汇估算 (邵桂兰等, 2019) 的基础上, 将固碳量减去碳排放量后, 再除以海洋碳汇渔业总产值得到碳强度指标数据。环境规制分为约束性规制和激励性规制 (于婷、于法稳, 2019), 如污水达标排放、污染治理等。借鉴钱争鸣、刘晓晨 (2013) 的研究, 选用环境污染治理投资项目数来衡量激励性规制^①。渔药使用情况通常用渔药强度进行测度 (陈雨生、房瑞景, 2011), 本文将渔药强度表示为渔药产值占海水养殖总产值的比重。渔业灾情包含气象灾害、污染、病害等, 其中只有污染和病害能够做到人为防控, 故本文将渔业灾情表示为污染、病害导致的水产品受灾面积占水产总面积的比重。

(三) 数据来源与描述性统计

本文数据来源于 2008~2017 年中国沿海 9 省海洋碳汇渔业的面板数据。养殖面积、劳动力数量、苗种数量、养殖渔船功率、培训人数、技术推广业务经费、海水养殖产值、海水养殖产量、渔药产值和受灾面积的原始数据来源于历年《中国渔业统计年鉴》^②, 海洋碳汇渔业的培训人数、技术推广业务经费、渔药产值和受灾面积数据由海水养殖相应数据乘以前文的折算系数 α 和 β 得到。海洋碳汇渔业相关论文和专利数量的数据来源为中国知网^③和《中国科技统计年鉴》^④, 居民人均可支配收入数据来源于历年《中国统计年鉴》^⑤, 海洋环境污染治理投资项目数来源于历年《中国海洋统计年鉴》^⑥, 渔业中间消耗数据来源于历年《中国农村统计年鉴》^⑦, 氮磷产污量和固碳量数据由上文计算得出。生产要素指标数据由海洋碳汇渔业面积、劳动力数量、苗种数量和中间消耗数据 Min-Max 标准化后加总得到。变量的描述性统计分析如表 1 所示。

表 1 变量说明及描述性统计

	变量名称	指标及其计算方法	均值	标准差
被解释变量	海洋碳汇渔业绿色效率 (<i>effi</i>)	海洋碳汇渔业绿色效率由前文测算得出	0.8946	0.1974
资源投入	生产要素 (<i>factor</i>)	海洋碳汇渔业面积、劳动力、苗种、中间消耗数据的标准化值之和	0.7794	0.1922
	固定资产 (<i>asset</i>)	海洋碳汇渔业养殖渔船功率 (亿瓦)	0.8078	0.6821
	渔技推广 (<i>exte</i>)	海洋碳汇渔业培训人数和技术推广业务经费的标准化值之和	0.9776	1.0687

^① 囿于数据限制, 本文不考虑约束性规制。

^② 农业农村部渔业渔政管理局 (编): 《中国渔业统计年鉴》(2009~2018 年, 历年), 北京: 中国农业出版社。

^③ <https://www.cnki.net>。

^④ 国家统计局、科学技术部 (编): 《中国科技统计年鉴》(2009~2018 年, 历年), 北京: 中国统计出版社。

^⑤ 国家统计局 (编): 《中国统计年鉴》(2009~2018 年, 历年), 北京: 中国统计出版社。

^⑥ 自然资源部 (编): 《中国海洋统计年鉴》(2009~2018 年, 历年), 北京: 海洋出版社。

^⑦ 国家统计局 (编): 《中国农村统计年鉴》(2009~2018 年, 历年), 北京: 中国统计出版社。

中国海洋碳汇渔业绿色效率测度及其空间溢出效应

	渔业科技 (<i>tech</i>)	海洋碳汇渔业相关研究论文和专利数量 (百个)	4.0120	0.3843
经济增长	经济规模 (<i>scale</i>)	海洋碳汇渔业总产值 (百亿元)	1.6917	1.5437
	产量结构 (<i>stru</i>)	海洋碳汇渔业产量占海水养殖产量的比重	0.7696	0.2129
	收入水平 (<i>inco</i>)	居民人均可支配收入 (万元)	2.6633	0.8322
	消费总量 (<i>cons</i>)	海洋碳汇渔业消费总量=海洋碳汇渔业产量+海洋碳汇渔业进口量-海洋碳汇渔业出口量 (百亿吨)	1.8399	1.5479
环境影响	海域污染 (<i>pollu</i>)	污染强度=氮磷污染量/海洋碳汇渔业面积	0.3061	0.1626
	固碳能力 (<i>carb</i>)	碳强度=(固碳量-碳排放量)/海洋碳汇渔业总产值	0.1198	0.0360
	环境规制 (<i>rule</i>)	海洋环境污染治理投资项目数 (百个)	1.5033	1.3557
	渔药使用 (<i>drug</i>)	渔药强度=渔药产值/海水养殖总产值	0.4109	0.7640
	渔业灾情 (<i>disa</i>)	污染、病害导致水产品受灾面积占水产总面积的比重	0.0917	0.1407

(四) 直接效应分析

经 Hausman 检验, 解释变量不存在内生性, SLM、SEM、SDM 三种模型均采用固定效应模型。实际上, 当回归局限于特定个体, 选择固定效应模型较为恰当。针对省级区域海洋碳汇渔业绿色效率的空间计量分析, 本文认为固定效应为较好选择。由于事先无法判断模型变量之间存在何种空间相关关系, 本文使用 Stata14.0 软件对上述 SLM、SEM、SDM 三种模型同时进行估计, 通过邻接、距离、经济、资源四种空间权重矩阵, 分析海洋碳汇渔业绿色效率的影响因素及空间溢出效应。为使数据更加平稳, 本文对所有变量取对数处理, 总体回归结果如表 2 所示。

表 2 海洋碳汇渔业绿色效率的空间计量估计结果

	邻接空间矩阵			距离空间矩阵		
	SLM	SEM	SDM	SLM	SEM	SDM
<i>factor</i>	0.0546	0.1496	0.0035	0.0366	0.1018	0.2107
<i>asset</i>	0.0562	0.0487	0.0348	0.0579*	0.0533	0.0722**
<i>exte</i>	0.0350	0.0234	0.1066**	0.0421	0.0397	0.0556
<i>tech</i>	-0.1769	-0.3054	-0.0062	-0.2211	-0.2306	-0.0170
<i>scale</i>	-0.458***	-0.444***	-0.261**	-0.466***	-0.468***	-0.056
<i>stru</i>	-1.946***	-2.527***	-2.414***	-1.876***	-2.381***	-3.124***
<i>inco</i>	0.4969**	0.4432**	2.1737***	0.5448***	0.4658**	2.6230***
<i>cons</i>	0.2968	0.4878**	0.1291	0.2563	0.4468*	0.0500
<i>pollu</i>	-0.1575	-0.0676	-0.289**	-0.1799	-0.0743	-0.455***
<i>carb</i>	1.5713***	1.9656***	1.2779***	1.4953***	1.7408***	1.6442***
<i>rule</i>	-0.0251	-0.0265	-0.0326	-0.0279	-0.0301	-0.0424
<i>drug</i>	0.0232***	0.0213***	0.0234***	0.0229***	0.0237***	0.0220***
<i>disa</i>	-0.0270	-0.0249	-0.0326*	-0.0272	-0.0250	-0.0327**
ρ	0.0508	0.2711***	0.1589*	-0.0072	0.2024	0.0646
R ²	0.4572	0.4436	0.6400	0.4663	0.4532	0.7224
Log Likelihood	57.5940	60.2424	75.8972	57.4263	58.0653	87.0279

中国海洋碳汇渔业绿色效率测度及其空间溢出效应

	经济空间矩阵			资源空间矩阵		
	SLM	SEM	SDM	SLM	SEM	SDM
<i>factor</i>	0.0318	0.1167	0.1301	0.0594	0.1576	0.0836
<i>asset</i>	0.0588*	0.0460	0.0684**	0.0544	0.0421	0.0728**
<i>exte</i>	0.0422	0.0427	0.0870**	0.0434	0.0548	0.0643
<i>tech</i>	-0.2288	-0.2712	6.7405	-0.1856	-0.4396	-0.3218
<i>scale</i>	-0.467***	-0.460***	-0.133	-0.465***	-0.434***	-0.1359
<i>stru</i>	-1.865***	-2.425***	-2.641	-1.908***	-2.573***	-3.202***
<i>inco</i>	0.5527***	0.4697**	2.2208***	0.5204**	0.5003**	2.5037***
<i>cons</i>	0.2480	0.4151*	0.1196***	0.2936	0.4907**	0.1561
<i>pollu</i>	-0.1857	-0.0731	-0.3046**	-0.1512	-0.0384	-0.273**
<i>carb</i>	1.4820***	1.7510***	1.3626***	1.5623***	1.8214***	1.5372***
<i>rule</i>	-0.0278	-0.0348	-0.0439	-0.0267	-0.0321	-0.0355
<i>drug</i>	0.0228***	0.0247***	0.0262***	0.0234***	0.0252***	0.0249***
<i>disa</i>	-0.0271	-0.0278	-0.0334**	-0.0276	-0.0220	-0.0266
ρ	-0.0199	0.2004	0.1370	0.0734	0.3630*	0.1827
R ²	0.4677	0.4516	0.6788	0.4580	0.4393	0.6586
Log Likelihood	57.4429	58.1511	80.9171	57.5955	59.9259	77.8060

注：*、**、***分别表示 10%、5%和 1%的显著性水平。

从拟合结果来看，空间自回归系数 ρ 在邻接空间权重矩阵和资源空间权重矩阵下的 SEM 模型和邻接空间权重矩阵下的 SDM 模型中均显著。综合拟合优度检验 (R^2)、对数似然值 (Log Likelihood)，本文最终选择邻接空间权重矩阵下的 SDM 的估计结果进行分析。该模型的空间自回归系数 ρ 为 0.1589，通过了 10%的显著性检验，表明海洋碳汇渔业绿色效率存在较为显著的空间相关关系。

1.资源投入方面。渔技推广对本地区海洋碳汇渔业绿色效率产生显著的正向影响。渔技推广主要通过增加期望产出，减少非期望产出提升绿色效率。先进生产技术的推广能使海洋碳汇渔业以较少生产要素获得较大经济产出，先进环保技术的推广能实现海洋碳汇渔业保持产出不变的同时减少产污量。

2.经济增长方面。经济规模对本地区海洋碳汇渔业绿色效率具有显著的负向影响。目前，中国海洋碳汇渔业经济规模较大，已处于边际产量递减阶段，继续扩大经济规模将降低资源利用效率。规模不经济导致期望产出与投入非同比例增加，期望产出水平滞后于要素投入水平，从而降低海洋碳汇渔业绿色效率。产量结构对本地区海洋碳汇渔业绿色效率产生显著的负向影响。中国现阶段的海洋碳汇渔业产量结构不尽合理，比较收益大的鱼类产量占比较大，贝藻类产量占比有待提升。产量结构失衡的后果是海洋碳汇渔业期望产出减少，非期望产出增加，海洋碳汇渔业绿色效率下降。收入水平对本地区海洋碳汇渔业绿色效率具有显著的正向影响。收入水平的提升使消费结构日臻改善，消费者对高品质水产品渐趋旺盛的需求与生产能力不足之间的矛盾日益凸显，推动海洋碳汇渔业向资源节约和环境友好型的发展方式转型升级，进而提升海洋碳汇渔业绿色效率。

3.环境影响方面。海域污染对本地区海洋碳汇渔业绿色效率具有显著的负向影响。海域污染包括

海洋碳汇渔业自身污染排放和陆源污染输入，降低了海洋碳汇渔业产品的产量和品质，通过减少期望产出、增加非期望产出降低海洋碳汇渔业绿色效率。固碳能力对本地区海洋碳汇渔业绿色效率的正向影响显著。固碳能力越强，固碳量越大，海洋碳汇渔业的环境期望产出越高，促进了海洋碳汇渔业绿色效率的提升。渔药使用对本地区海洋碳汇渔业绿色效率的正向影响显著。合理范围内的渔药使用可以有效降低养殖动植物病害的发生概率，减少苗种和产量折损，防止期望产出减少，能有效规避海洋碳汇渔业绿色效率损失。渔业灾情对本地区海洋碳汇渔业绿色效率具有显著的负向影响。无论是何种形式的渔业灾情都将导致产品损失，引发期望产出减少，进而折损海洋碳汇渔业绿色效率。

（五）空间溢出效应分析

各项影响因素在提升本地区海洋碳汇渔业绿色效率的同时，能够通过要素流动、技术溢出、政策蔓延等空间溢出机制传导至邻近地区，表现为涓滴效应与极化效应。当存在空间溢出效应时，某一解释变量会通过影响邻近地区的绿色效率，再传导至本地区，即反馈效应。表 3 中解释变量的参数估计值并非代表其对海洋碳汇渔业绿色效率的边际影响，本文通过采用偏微分效应分解法，计算得到各项影响因素对海洋碳汇渔业绿色效率的直接效应与空间溢出效应，结果如表 3 所示。

表 3 海洋碳汇渔业绿色效率空间效应分解

变量	直接效应		空间溢出效应		总效应	
	弹性系数	t 值	弹性系数	t 值	弹性系数	t 值
<i>factor</i>	-0.0287	-0.18	-0.3629	-1.29	-0.3916	-1.06
<i>asset</i>	0.0329	0.90	-0.0134	-0.15	0.0195	0.18
<i>exte</i>	0.1051**	2.12	-0.0436	-0.47	0.0614	0.56
<i>tech</i>	-0.0520	-1.08	-0.5726**	-2.03	-0.625**	-2.00
<i>scale</i>	-0.2493**	-2.05	0.0925	0.45	-0.1568	-0.63
<i>stru</i>	-2.2594***	-4.62	2.0893***	2.97	-0.1701	-0.20
<i>inco</i>	2.0935***	3.68	-1.5075**	-2.48	0.5860	1.60
<i>cons</i>	0.0656	0.29	-0.6620*	-1.75	-0.5964	-1.16
<i>pollu</i>	0.3112**	2.21	0.2118	1.04	0.5230*	1.95
<i>carb</i>	1.0567**	2.30	-2.7079**	-2.37	-1.6511	-1.17
<i>rule</i>	-0.0332	-0.91	0.0039	0.07	-0.0293	-0.42
<i>drug</i>	0.0235***	3.53	0.0005	0.05	0.0240**	2.06
<i>disa</i>	-0.0303	-1.46	0.0358	1.14	0.0054	0.14

注：*、**、***分别表示 10%、5%和 1%的显著性水平。

空间溢出效应包含两种相反方向的作用力：示范效应和虹吸效应。由表 3 可知，渔业科技、产量结构、收入水平、消费总量和固碳能力对邻近地区的海洋碳汇渔业绿色效率存在显著的空间溢出效应。

（1）产量结构优化具有示范效应。先进的养殖、加工和服务技术向周边地区渗透，通过技术溢出机制提升周边地区的海洋碳汇渔业绿色效率；本地区促进产量结构优化的创新政策可供周边地区借鉴，通过政策蔓延机制引致海洋碳汇渔业企业迫于成本压力进行设备优化和升级，从而实现绿色发展。

(2) 渔业科技、收入水平、消费总量和固碳能力汇集形成虹吸效应。具体表现为, 科技资金投入营造了良好科研环境, 较高的收入水平和旺盛的消费需求促进了消费市场的扩张, 提供了丰富的就业和投资机会, 吸引周边地区的资本、人才、技术、数据等生产要素, 通过要素流动机制使得周边地区海洋碳汇渔业绿色发展的资源要素支持日趋衰微。结合 Local Moran's I 所反映出的中国海洋碳汇渔业绿色效率的局部空间集聚情况来看, 辽宁、河北、广西、海南为高高集聚, 对周边地区的海洋碳汇渔业绿色效率产生示范效应; 高低集聚主要分布在山东、福建, 这两省对周边地区的海洋碳汇渔业绿色效率存在虹吸效应。

五、结论与启示

本研究综合运用产业经济学、扎根理论、空间经济学等学科理论, 构建中国海洋碳汇渔业影响因素的运行机理模型, 解析了海洋碳汇渔业绿色效率的时空特征、影响因素及空间效应, 得出以下研究结论: 第一, 中国海洋碳汇渔业绿色效率值时空分布不均。从时序变化来看, 总体呈现“降低—提升—降低—提升”的“W型”时序变化特征。从区域特征来看, 中国海洋碳汇渔业绿色效率值呈现“南海地区>黄渤海地区>东海地区”的分布特征, 省际差异明显。第二, 不同因素对海洋碳汇渔业绿色效率具有异质性影响。在资源投入方面, 渔技推广具有正向直接效应, 渔业科技具有负向空间溢出效应。在经济增长方面, 收入水平同时存在正向直接效应和负向空间溢出效应, 产量结构同时存在负向直接效应和正向空间溢出效应, 经济规模具有负向直接效应, 消费总量存在负向空间溢出效应。在环境影响方面, 渔药使用具有正向直接效应, 海域污染与渔业灾情具有负向直接效应, 固碳能力同时存在正向直接效应和负向空间溢出效应。

基于以上研究结论, 可以得出如下政策启示: 第一, 针对产量结构对海洋碳汇渔业绿色效率的正向溢出效应, 通过培育海洋碳汇渔业产业化建设示范区, 充分利用资源空间, 推进海洋牧场建设, 带动碳汇渔业绿色养殖核心区域实现规模化发展, 以点带面, 促进周边地区海洋碳汇渔业绿色效率的提升。在微观层面, 充分激发海洋碳汇渔业养殖主体的生产积极性, 引导其结合市场需求适度提升海洋碳汇渔业产品的产量比重, 优化产量结构。第二, 针对渔业科技和收入水平的负向溢出效应, 构建区域性海洋碳汇渔业养殖技术交流平台, 引导沿海各省份深化政产学研联合与科技攻关, 加大海洋碳汇渔业科技发展水平相对薄弱区域的科学研究和技术发明经费的投入力度, 提升科技创新能力。第三, 针对固碳能力的负向溢出效应, 开发固碳率高的养殖新品种, 提升海水养殖碳汇转化比, 激发海洋碳汇渔业生态红利。优化渔业碳汇的产权制度安排和碳汇交易平台设计, 构建全国蓝碳交易体系。

参考文献

- 1.班斓、袁晓玲, 2016: 《中国八大区域绿色经济效率的差异与空间影响机制》, 《西安交通大学学报(社会科学版)》第3期。
- 2.车磊、白永平、周亮、汪凡、纪学朋、乔富伟, 2018: 《中国绿色效率的空间特征及溢出分析》, 《地理科学》第11期。

- 3.车树林、顾江、郭新茹, 2017: 《文化产业对区域绿色发展的影响研究——基于省际面板数据的空间计量分析》, 《江西社会科学》第2期。
- 4.陈雨生、房瑞景, 2011: 《海水养殖户渔药施用行为影响因素的实证分析》, 《中国农村经济》第8期。
- 5.韩磊、王术坤、刘长全, 2019: 《中国农村发展进程及地区比较——基于2011~2017年中国农村发展指数的研究》, 《中国农村经济》第7期。
- 6.纪建悦、曾琦, 2016: 《基于全局DEA的中国海水养殖业绿色技术效率时空演化分析》, 《中国管理科学》第1期。
- 7.纪建悦、曾琦, 2017: 《考虑非期望产出的中国海水养殖业全要素生产率研究——基于Global Malmquist-Luenberger指数》, 《中国海洋大学学报(社会科学版)》第1期。
- 8.林伯强、谭睿鹏, 2019: 《中国经济集聚与绿色经济效率》, 《经济研究》第2期。
- 9.李晨、冯伟、邵桂兰, 2018: 《中国省域渔业全要素碳排放效率时空分异》, 《经济地理》第5期。
- 10.刘洋, 2015: 《我国海水养殖投入产出动态效率研究——基于2004-2013年9省、市面板数据分析》, 《海洋开发与管理》第12期。
- 11.马文杰、冯中朝, 2008: 《中国粮食生产影响因素分析——基于面板数据的实证研究》, 《陕西农业科学》第1期。
- 12.秦宏、张莹、卢云云, 2018: 《基于SBM模型的中国海水养殖生态经济效率测度》, 《农业技术经济》第9期。
- 13.钱争鸣、刘晓晨, 2013: 《中国绿色经济效率的区域差异与影响因素分析》, 《中国人口·资源与环境》第7期。
- 14.钱争鸣、刘晓晨, 2014: 《我国绿色经济效率的区域差异及收敛性研究》, 《厦门大学学报(哲学社会科学版)》第1期。
- 15.任阳军、汪传旭、张素庸、俞超, 2019: 《高技术产业集聚、空间溢出与绿色经济效率——基于中国省域数据的动态空间杜宾模型》, 《系统工程》第1期。
- 16.邵桂兰、孔海峥、李晨, 2019: 《中国海水养殖的净碳汇及其与经济耦合关系》, 《资源科学》第2期。
- 17.邵桂兰、孔海峥、于谨凯、李晨, 2015: 《基于LMDI法的我国海洋渔业碳排放驱动因素分解研究》, 《农业技术经济》第6期。
- 18.孙吉亭, 1990: 《山东省海水养殖经济问题的调查与对策》, 《东岳论丛》第6期。
- 19.孙康、季建文、李丽丹等, 2017: 《基于非期望产出的中国海洋渔业经济效率评价与时空分异》, 《资源科学》第11期。
- 20.唐启升、刘慧, 2016: 《海洋渔业碳汇及其扩增战略》, 《中国工程科学》第3期。
- 21.王端岚, 2013: 《中国水产养殖业的生产效率及其影响因素研究》, 《海洋开发与管理》第2期。
- 22.徐皓、刘晔、张建华、倪琦、沈建、蒋励, 2007: 《我国渔业能源消耗测算》, 《中国水产》第11期。
- 23.徐敬俊、覃恬恬, 2018: 《基于Malmquist指数的广东省海水养殖生产率的实证分析》, 《海洋开发与管理》第11期。
- 24.岳冬冬、王鲁民, 2012: 《我国海水养殖贝类产量与其碳汇的关系》, 《江苏农业科学》第11期。
- 25.杨莉莎、朱俊鹏、贾智杰, 2019: 《中国碳减排实现的影响因素和当前挑战——基于技术进步的视角》, 《经济

研究》第 11 期。

26.于婷、于法稳, 2019: 《环境规制政策情境下畜禽养殖废弃物资源化利用认知对养殖户参与意愿的影响分析》, 《中国农村经济》第 8 期。

27.袁秀堂、张升利、刘述锡、梁斌、梁玉波、张国范, 2011: 《庄河海域菲律宾蛤仔底播增殖区自身污染》, 《应用生态学报》第 3 期。

28.余泳泽、刘大勇, 2013: 《我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》, 《管理世界》第 7 期。

29.张波、孙珊、唐启升, 2013: 《海洋捕捞业的碳汇功能》, 《渔业科学进展》第 1 期。

30.张国俊、邓毛颖、姚洋洋、李雄英, 2019: 《广东省产业绿色发展的空间格局及影响因素分析》, 《自然资源学报》第 8 期。

31.张继红、方建光、唐启升, 2005: 《中国浅海贝藻养殖对海洋碳循环的贡献》, 《地球科学进展》第 3 期。

32.张樨樨、刘鹏, 2019: 《中国海洋牧场生态系统优化的政策仿真与模拟》, 《中国人口·资源与环境》第 12 期。

33.赵领娣、张磊、徐乐、胡明照, 2016: 《人力资本、产业结构调整与绿色效率的作用机制》, 《中国人口·资源与环境》第 11 期。

34.郑慧、代亚楠, 2019: 《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》, 《海洋经济》第 4 期。

35.宗虎民、袁秀堂、王立军、于丽敏、胡莹莹、霍传林、张志锋, 2017: 《我国海水养殖业氮、磷产出量的初步评估》, 《海洋环境科学》第 3 期。

36.周毅、杨红生、刘石林、何义朝、张福绥, 2002: 《烟台四十里湾浅海养殖生物及附着生物的化学组成、有机净生产量及其生态效应》, 《水产学报》第 1 期。

37.Martinezcordero, F. J., and P. Leung, 2004, "Sustainable Aquaculture and Producer Performance: Measurement of Environmentally Adjusted Productivity and Efficiency of a Sample of Shrimp Farms in Mexico", *Aquaculture*, 241(1):249-268.

38.Gao, K., and K. R. Mckinley, 1994, "Use of Macroalgae for Marine Biomass Production and CO₂ Remediation: A Review", *Journal of Applied Phycology*, 6(1):45-60.

39.Huguenin, J. E., and G. N. Rothwell, 1979, "The Problems, Economic Potentials and System Design of Large Future Tropical Marine Fish Cage Systems", *Journal of the World Aquaculture Society*, 10(1-4):162-181.

40.Idda, L., F. A. Madau, and P. Pulina, 2009, "Capacity and Economic Efficiency in Small-scale Fisheries: Evidence from the Mediterranean Sea", *Marine Policy*, 33(5): 860-867.

41.Irz, X., and J. R. Stevenson, 2012, "Efficiency and Farm Size in Philippine Aquaculture. Analysis in a Ray Production Frontier Framework", *Bio-based and Applied Economics Journal*, 1(2):175-198.

42.Ji, J., and P. Wang, 2015, "Research on China's Aquaculture Efficiency Evaluation and Influencing Factors with Undesirable Outputs", *Journal of Ocean University of China*, 14(3):569-574.

43.Onumah, E. E., B. Brummer, and G. Hörstgen-Schwark, 2010, "Elements Which Delimitate Technical Efficiency of Fish Farms in Ghana", *Journal of the World Aquaculture Society*, 41(4):506-518.

44.Davies, L. L., K. Uchitel, and J. Ruple, 2013, “Understanding Barriers to Commercial-scale Carbon Capture and Sequestration in the United States: An Empirical Assessment”, *Energy Policy*, 59(4):745-761.

45.Ramajo, J., J. M. Cordero, and M.A. Marquez, 2017, “European Regional Efficiency and Geographical Externalities: A Spatial Nonparametric Frontier Analysis”, *Journal of Geographical Systems*, 19(4): 319-348.

46.Vassdal, T., and H. M. S. Holst, 2011, “Technical Progress and Regress in Norwegian Salmon Farming: A Malmquist Index Approach”, *Marine Resource Economics*, 26(4):329-341.

47.Wang, P., and J. Ji, 2017, “Research on China’s Mariculture Efficiency Evaluation and Influencing Factors with Undesirable Outputs—An Empirical Analysis of China’s Ten Coastal Regions”, *Aquaculture International*, 25(4):1521-1530.

(作者单位: ¹ 中国海洋大学管理学院;
² 中国海洋大学海洋发展研究院)
(责任编辑: 黄 易)

Green Efficiency Measurement and Spatial Spillover Effect of China’s Marine Carbon Sequestration Fishery

Zhang Xixi Zheng Shan Yu Lianghong

Abstract: Based on the grounded theory, this article constructs an analytical framework from three aspects: resource input, economic growth and environmental impact. Carbon sequestration output and nitrogen and phosphorus pollution are included in the evaluation index system of marine carbon sequestration fishery green efficiency. The Super-SBM model is used to calculate the green efficiency of China’s marine carbon sequestration fishery, and its temporal and spatial characteristics are analyzed. On this basis, this study uses a spatial Durbin model to analyze the influencing factors and spatial spillover effects of China’s marine carbon sequestration fishery efficiency. The results show that the green efficiency of marine carbon sequestration fisheries in China is characterized by regional differences and temporal changes. From the perspective of direct effects, the promotion of fishing technology, income level, carbon sequestration capacity and the use of fishery drugs have a direct promoting effect on the green efficiency of marine carbon sequestration fisheries in this region, while the economic scale, production structure, sea area pollution and fishery disasters have a direct inhibiting effect on the green efficiency of marine carbon sequestration fisheries in the region. From the perspective of spatial spillover effect, fishery science and technology, income level, total consumption and carbon sequestration capacity have negative spatial spillover effect, while output structure has a positive spatial spillover effect. Therefore, one should fully consider the regional relevance of the green efficiency of marine carbon sequestration fishery, and formulate a comprehensive spatial planning for the development of carbon sequestration fisheries as a whole.

Key Words: Marine Carbon Sequestration Fishery; Green Development Efficiency; Grounded Theory; Spatial Spillover Effect