

海洋碳汇与海上光伏协同驱动农村可持续发展的路径探索

张文瀚, 于成川, 张 驰, 朱瑞迪, 蒋 昊

大连海洋大学经济管理学院, 辽宁 大连

收稿日期: 2026年5月26日; 录用日期: 2026年6月25日; 发布日期: 2026年7月21日

摘 要

全球气候变化背景下, 海洋碳汇与海上光伏协同开发成为推进沿海农村可持续发展的关键路径。基于协同演化理论与可持续发展三重底线理论, 构建“空间利用 - 生态效应 - 产业发展”三维协同效应评价框架, 对山东垦利、江苏田湾等典型案例展开分析。研究表明: 两者在空间复合利用、生态正反馈、产业增值上协同显著, 2023年中国蓝碳生态系统吸收CO₂达近4亿吨, 截至2025年9月海上光伏并网总量超11 GW; 协同可创造“能源收益 + 养殖收益 + 碳汇收益”的复合增收模式, 每100 MW海上光伏项目可提供200~300个就业岗位; 当前存在技术成熟度不足、成本偏高、市场机制不健全、社区参与深度不够等制约。研究提出“政策激励 - 技术创新 - 产业融合 - 社区参与”的整合推进路径。

关键词

海洋碳汇, 海上光伏, 农村可持续发展, 渔光互补, 蓝碳交易, 能源转型, 碳中和, 协同效应

Synergistic Development of Marine Carbon Sinks and Offshore Photovoltaics: Pathways toward Sustainable Rural Development

Wenhan Zhang, Chengchuan Yu, Chi Zhang, Ruidi Zhu, Hao Jiang

School of Economics and Management, Dalian Ocean University, Dalian Liaoning

Received: May 26, 2026; accepted: June 25, 2026; published: July 21, 2026

Abstract

Against the backdrop of global climate change, the synergistic development of marine carbon sinks

文章引用: 张文瀚, 于成川, 张驰, 朱瑞迪, 蒋昊. 海洋碳汇与海上光伏协同驱动农村可持续发展的路径探索[J]. 可持续发展, 2026, 16(7): 83-90. DOI: 10.12677/sd.2026.167250

and offshore photovoltaics has emerged as a critical pathway for advancing sustainable coastal rural development. Drawing on co-evolution theory and the triple bottom line theory of sustainable development, this study constructs a three-dimensional synergy assessment framework encompassing “spatial utilization—ecological effects—industrial development” and applies it to analyze typical cases including Kenli in Shandong and Tianwan in Jiangsu. The findings indicate significant synergies between the two in spatial composite utilization, positive ecological feedback, and industrial value addition. In 2023, China’s blue carbon ecosystems absorbed nearly 400 million tonnes of CO₂, and by September 2025, the total grid-connected capacity of offshore photovoltaics exceeded 11 GW. The synergy can create a composite income model combining “energy revenue + aquaculture revenue + carbon sink revenue”, with each 100 MW offshore photovoltaic project providing 200~300 employment opportunities. Current constraints include insufficient technological maturity, relatively high costs, underdeveloped market mechanisms, and inadequate community participation depth. The study proposes an integrated advancement pathway of “policy incentives—technological innovation—industrial integration—community participation”.

Keywords

Marine Carbon Sink, Offshore Photovoltaic, Rural Sustainable Development, Fishery-Photovoltaic Complementarity, Blue Carbon Trading, Energy Transition, Carbon Neutrality, Synergistic Effect

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

世界气象组织 2025 年报告显示, 2024 年全球平均气温较工业化前升高约 1.55℃, 首次突破《巴黎协定》1.5℃温控目标[1]。海洋吸收了约 93%温室效应引发的多余热量及 25%~30%的人类排放 CO₂ [2], 其生物碳封存能力比森林生态系统高出十倍。中国拥有 1.8 万公里大陆海岸线, 蓝碳资源丰富。《中国蓝碳蓝皮书 2025》显示, 2023 年中国蓝碳生态系统共吸收 CO₂ 3.96 亿吨, 较 2010 年上升约 32%; 其中红树林总面积 303 平方公里、碳储量 603 万吨, 海草床 265 平方公里、碳储量 230 万吨, 滨海盐沼 2980 平方公里、碳储量 9155 万吨; 年沉积碳埋藏量 210 万吨, 近海贝藻养殖年碳汇量 650 万吨[3]。

海上光伏是清洁能源发展的重要方向。截至 2025 年 9 月全国累计并网规模超 11 GW, 位列全球第一[4]。2024 年 11 月国家能源集团山东垦利 100 万千瓦海上光伏项目首批并网, 用海面积 1223 公顷, 为全国最大开放海域海上光伏项目, 首创 66 千伏海缆与陆缆长距离输电技术, 年发电量 17.8 亿千瓦时, 年减排 CO₂ 约 134.47 万吨[5]。在此背景下, 探索海洋碳汇与海上光伏协同发展路径, 对实现沿海农村可持续发展具有重要理论与现实意义。

2. 理论基础与文献综述

2.1. 海洋碳汇(蓝碳)的概念与机制

海洋碳汇(Blue Carbon)指通过海洋生态系统吸收、固定和储存大气 CO₂ 的过程与机制, 包括生物过程(浮游植物光合作用、生物泵、贝藻养殖碳汇)、化学过程(碳酸盐体系平衡、溶解度泵)及物理过程(温盐环流输运、深海隔离) [2]。中国蓝碳政策历经从生态保护到市场化转型的演进: 2021 年生态环境部发布《温室气体自愿减排项目方法学红树林营造》, 蓝碳正式进入全国碳市场交易范畴[6]。

市场化交易持续推进：2021 年 6 月广东湛江完成全国第一笔红树林营造碳汇交易(380 公顷, 38.8 万元)[7]；2024 年重启的 CCER 项目首批认证漳州九龙江口及霞浦县红树林植被修复工程[8]。从碳储量结构看, 滨海盐沼占绝对优势(9155 万吨, 91.7%), 红树林(603 万吨, 6.0%)与海草床(230 万吨, 2.3%)虽体量不大但生态价值独特[3]。李建平[9]对中国蓝碳发展政策的系统梳理表明, 蓝碳市场化机制正从试点探索向制度完善阶段演进。

2.2. 海上光伏的技术特征与发展现状

海上光伏技术路线主要分为桩基固定式(适合水浅、地质稳定海域)与漂浮式(适合水深开阔海域, 生态影响小)[10]。2024 年产业进入快速发展期: 5 月中核田湾 200 万千瓦滩涂光伏示范项目在连云港开工, 总投资约 98.8 亿元, 9 月首次并网[11]; 7 月中广核烟台招远 400 兆瓦项目升压站并网; 11 月山东垦利 100 万千瓦项目首批并网[5]; 12 月江苏省发改委出台《江苏省海上光伏开发建设实施方案(2025~2030 年)》, 计划 2027 年底累计并网达 10 GW 以上[12]。截至 2024 年底, 山东已并网 4.5 GW (规划 12 GW)、江苏 2.8 GW (规划 10 GW)[4]。但海上光伏仍面临高盐雾环境下组件腐蚀、漂浮式缺乏大规模商业运行、桩基固定式单位造价 6.0~6.5 元/W 等挑战[10]。

2.3. 理论基础

本文理论框架建立在三个核心基础之上: 一是协同演化理论(Synergistic Evolution Theory), 关注不同系统要素互动中相互适应、共同发展的动态关系, 强调系统间通过非线性反馈产生路径依赖与涌现效应[13]; 二是可持续发展三重底线理论(Triple Bottom Line, TBL), 将经济、环境、社会三维度拓展应用于沿海农村评估; 三是农村生计资本框架(Sustainable Livelihoods Framework, SLF), 将海域资源等自然资本通过生态产品价值实现机制转化为金融资本与人力资本[14]。

现有文献多聚焦海洋碳汇或海上光伏的单维评估, 缺乏对二者协同演化机制的系统性阐释。本文将协同演化理论操作化定义为: 两系统通过物质流(营养盐循环、沉积物再分配)、能量流(清洁能源替代、养殖增氧)与价值流(碳汇交易、海域租赁)的交互作用, 产生超越单一系统加总的涌现效应。TBL 理论作为评价准则, 确保协同效应评估涵盖经济、生态与社会维度; SLF 框架识别海域资源向农村生计资本转化的路径与壁垒。三者构成“机制解释-效应评估-路径识别”的完整分析链条。

3. 海洋碳汇与海上光伏的协同效应分析

基于协同演化理论, 海洋碳汇与海上光伏的协同并非线性叠加, 而是表现为非线性反馈、路径依赖与涌现性三个特征[13]。非线性反馈体现为光伏板遮阴改变水下光照条件, 影响浮游植物初级生产力与贝类滤食效率, 形成“遮阴-降温-养殖增产-碳汇提升”的正反馈环; 路径依赖体现为早期技术路线选择锁定后续生态效应与产业组织模式; 涌现性则表现为渔光互补系统产生的“人工鱼礁效应”与水质净化功能。以下通过三个维度展开分析。

3.1. 空间利用协同: 从平面占用到立体开发

渔光互补模式实现水下养殖、水上发电的空间复合利用。光伏板遮挡可降低水温 2℃~5℃、抑制藻类过度滋生, 改良养殖环境; 可使水体蒸发量减少 70%~85%[15]。Pang 等[16]研究表明, 在光伏板下方养殖中华绒螯蟹可实现土地资源的综合利用, 提升单位面积产出效益。此外, 水库渔光互补工程的数值模拟研究也显示, 科学布局的光伏系统可与水产养殖形成空间复合利用; 尽管该研究针对淡水水库, 但其揭示的光伏-养殖空间耦合机制对海上复合开发具有参照价值[17]。风光同场模式将海上风电与光伏同海域布置, 共享输电与运维基础设施。2024 年 8 月上海市公布《“风光同场”海上光伏开发建设方案》,

竞争分配 2.1 GW 并预留 4 GW 远期规划, 该模式可使发电量曲线平缓, 降低 10%~15% 度电成本[18]。

上述案例体现了协同演化理论的核心机制——非线性反馈: 空间复合利用通过光伏板-水体-生物群落的交互作用产生涌现效应。桩基结构改变局部流场, 促进营养盐垂向混合, 提升初级生产力(非线性增益); 但遮阴过度可能导致喜光物种衰退, 呈现倒 U 型关系(非线性约束)。这验证了协同演化理论关于“系统间通过物质流重组产生涌现效应”的命题[13], 同时修正了“正向反馈无限持续”的隐含假设, 识别出遮阴过度导致的生态承载阈值。

3.2. 生态效应协同: 从单向开发到循环增益

海上光伏系统对海洋生态环境具有多重积极影响: 光伏板遮盖减少海水蒸发并抑制藻类过快增长; 光伏桩基在海洋环境中可形成类似人工鱼礁的结构, 为海洋生物提供栖息空间, 有助于提升局部海域生物多样性。海洋碳汇生态系统则具备保护海上光伏设施的功能: 红树林、盐沼等沿海湿地可净化陆地污染物, 减少光伏板表面污染及腐蚀速度, 且能减轻台风风暴潮对沿海设施的损害。

二者协同可构建“光伏供电-养殖增汇-湿地净化”生态循环体系。从 TBL 理论视角审视, 上述协同同时作用于环境维度(碳封存与生物多样性)、经济维度(运维成本降低与灾害损失减少)与社会维度(台风风险降低)。然而, 当前对潜在负向反馈(如光伏板重金属淋溶、桩基施工悬浮物扩散)的监测数据仍不充分, TBL 理论因此需要引入“生态承载力阈值”作为约束变量。

3.3. 产业发展协同: 从单一收益到价值增值

复合开发模式通过多维价值实现推动产业升级。能源收益层: 海上光伏度电成本已逼近甚至低于传统火电[19]。农产品收益层: 渔光互补模式下农户可在光伏板下方养殖喜阴性名贵特种品种, 养殖收益比传统模式高 30%~50% [15]。生态收益层: 随着 CCER 市场重启与蓝碳方法学完善, 海洋碳汇交易为沿海农村提供了新的价值实现渠道[20]。

农村生计资本框架(SLF)传统上聚焦于陆地资源, 本文将其拓展至海域空间。案例分析显示, 沿海农村的自然资本(海域使用权)通过“企业+村集体+农户”组织形式转化为金融资本(租金、分红、工资), 进而转化为人力资本(技能培训)。但现有案例中农户多处于被动参与地位, 对碳汇核证、电力交易等高附加值环节缺乏控制权, 自然资本向人力资本的转化存在“天花板效应”[14]。这表明 SLF 在海域复合利用情境中需考虑“权力不对称”与“准入壁垒”等制度变量。

3.4. 协同效应评价指标体系

基于上述分析, 构建协同效应评价指标体系, 设 11 项具体指标: 空间利用协同(3 项, 权重 0.30)、生态效应协同(4 项, 权重 0.35)、产业发展协同(4 项, 权重 0.35)。其中碳汇增量与海域综合利用率权重最大(各 0.12), 体现生态效益与社会效率的核心地位; 就业带动系数与农户收入增长率(各 0.10)反映对农村社会维度的关注。权重由层次分析法(AHP)与熵权法结合确定。

4. 海洋碳汇与海上光伏对农村发展的作用机理

本章运用协同演化理论与 TBL 理论, 对典型案例进行深度过程追踪, 识别协同演化的关键节点与因果机制。

4.1. 经济增长作用: 从传统渔业到多元增收

海上光伏项目每 100 MW 可创造约 200~300 个就业机会, 涵盖组件清洁、海缆巡视、水产经营及碳汇观测等岗位[10]。农村集体经济组织通过租赁海域使用权获取稳定租金收入; 农户通过“企业+村集体

体 + 农户”模式参与利润分配。渔光结合模式下养殖效益提升 30%~50%，推动传统渔业向“碳汇渔业”转型，催生海洋碳汇监测服务、海上光伏设备维护等新兴业态[15]。

从协同演化理论看，经济增长作用呈现显著的非线性特征：初期就业创造呈脉冲式增长，但运维期岗位需求骤减，形成“J 型”就业曲线[13]。TBL 理论提示关注分配正义：现有案例显示，股权分红比例往往低于项目总收益的 5%，租金收益主要由村集体获取，普通农户仅获得有限劳务收入。这表明经济收益的“三维度”增长并未自动转化为社会维度的普惠性福祉，存在“增长而不发展”的风险，挑战了 TBL 理论中“三维度自动协同”的隐含假设。

4.2. 生态改善作用：从污染排放到循环增益

光伏发电为养殖增氧、饲料加工提供清洁能源，替代传统柴油发电。养殖废弃物促进碳汇生物繁衍，形成“养殖 - 碳汇”正反馈。以国家能源集团垦利 1 GW 项目为例，年发电量 17.8 亿千瓦时，可节约标准煤约 54 万吨、减排 CO₂ 134.47 万吨[5]。中国沿海蓝碳生态系统年碳埋藏量 210 万吨，生态服务价值显著；近海贝藻养殖年碳汇量 650 万吨，约可抵消 238 万辆家用汽车年排放量[3]。

协同演化理论强调，正反馈机制存在边界条件[13]。垦利项目显示，桩基固定式光伏在开放海域的桩基密度若超过生态承载阈值，可能改变底栖生物群落结构，导致本地物种被机会种取代。这意味着“循环增益”并非无条件成立，验证了“适应性选择”与“环境筛选”机制。当桩基密度超过阈值时，环境维度的退化将反噬经济维度(养殖减产)与社会维度(渔民传统作业空间丧失)，呈现三维度非同步震荡。

4.3. 能源转型作用：从化石依赖到清洁替代

海上光伏为农村供应清洁电力，度电成本已逼近甚至低于传统火电。分布式海上光伏系统可改善农村电网韧性，在极端天气导致主干电网故障时保障关键设施电力供应。海洋碳汇生态系统可增强海岸带韧性，减少极端天气对能源基础设施的损害。

4.4. 典型案例深度分析

案例一：山东垦利“桩基固定式 + 开放海域”模式。国家能源集团国华投资山东垦利 100 万千瓦海上光伏项目位于东营外海，用海面积约 1223 公顷，2024 年 11 月首批发电单元并网，2025 年 12 月实现全容量并网。项目采用桩基固定式技术，首创 66 千伏海缆及陆缆长距离输电技术，年发电量 17.8 亿千瓦时，年减排 CO₂ 约 134.47 万吨[5]，为周边农村带来 200 多个长期就业机会，村集体通过海域租赁获得稳定收入。

垦利案例体现了协同演化的路径依赖特征[13]：由于早期选择桩基固定式技术路线，项目依赖特定地质条件，锁定了后续生态效应——桩基形成人工鱼礁的同时永久改变了底栖生境。从 TBL 视角审视，该项目在经济与环境维度表现突出，但在社会维度存在“参与深度不足”短板：周边农村社区主要作为海域租赁方而非技术参与方，这种“租金依赖”可能强化路径锁定，抑制社区向技术密集型环节攀升，形成“低水平协同锁定”。这验证了协同演化理论中“历史依赖性”与“锁定效应”的核心命题[13]，同时揭示了 TBL 理论在评估“社会维度”时的盲区。

案例二：江苏田湾“滩涂光伏 + 核电温排区”模式。中核田湾 200 万千瓦滩涂光伏示范项目 2024 年 5 月在连云港开工，总投资约 98.8 亿元，9 月首次并网，预计 2025 年全部并网。项目依托核电站温排水区域建设，实现“核电 + 光伏”多能互补，采取“企业 + 合作社 + 农户”模式带动周边农村参与养殖和运维服务[11]。

田湾案例引入了“温排水”变量，形成“核电－光伏－养殖－碳汇”四元协同。温排水提升局部水温，延长养殖周期，与光伏遮阴的降温效应形成非线性耦合：冬季表现为正向协同(温排水抵消光伏遮阴的低温效应)，夏季则可能转为负向交互(双重升温导致热应激)。这种随季节反转的耦合关系体现了协同演化理论中的“环境敏感性”与“非线性反馈”[13]，修正了 TBL 理论中“维度间关系恒定”的隐含假设，提示需引入“情境依赖性”作为分析前提。

5. 策略建议

基于前文案例分析，提出针对性策略：(1) 针对垦利案例“社区技术参与不足”与田湾案例“季节性热应激风险”，技术创新需聚焦智能温控与社区技术赋能；(2) 针对湛江案例“外生制度突变”特征，政策设计需强化制度供给的连续性与可预期性；(3) 针对所有案例共有的“社区参与深度不够”问题，治理机制需从“租金收取”转向“决策共商”，回应 SLF 框架揭示的“天花板效应”[14]。

5.1. 政策支持体系：从部门分割到协同治理

制定沿海农村海洋碳汇与光伏融合发展专项规划，明确 2027 年形成 5~8 个综合示范基地、2030 年海上光伏累计装机超 20 GW、蓝碳年交易量达 1000 万吨 CO₂ 当量等目标。对改进模式项目给予总投资 10%~15% 补贴，减免农村集体经济组织海域使用金 50%~70%，设立发展基金(初期规模 50 亿元)。建立多部门联席会议机制，协调海域使用、环评审批、并网消纳、碳汇核证等环节，推动蓝碳纳入全国碳市场，实现“用海审批－环评备案－碳汇核证”一体化办理。自然资源部发布的《自然资源要素支撑产业高质量发展指导目录》已将海上光伏纳入鼓励类产业[21]，为政策协同提供了基础支撑。

5.2. 技术创新机制：从示范应用到规模推广

设立国家重点研发计划专项，支持抗台风浮体结构、智能运维机器人等关键技术研究，目标 2028 年将漂浮式系统单位造价降至 4.5 元/W 以下。完善碳汇计量监测体系，构建基于卫星遥感、无人机、水下传感器的“空天地海”综合监测网络。在沿海省份创建 5~8 个综合示范基地，重点布局山东半岛、江苏沿海、浙江舟山、福建沿海、广东湛江、广西北部湾等地，形成可复制推广的技术标准与经营模式。漂浮式光伏技术的创新应用为深水海域开发提供了技术储备[22]。

5.3. 产业融合路径：从单一开发到链条延伸

推动龙头企业与农村集体经济组织合作，形成“大企业负责发电、合作社负责养殖、村集体负责协调”的分工格局。发展光伏组件清洗、海缆维护、浮体检修等关联产业，打造专业化劳务品牌。建设蓝碳科普教育基地，发展海洋生态旅游，实现“板上发电、板下养殖、岸边旅游”融合。创新金融产品，推广“海洋碳汇贷”(以预期碳汇收益权质押)、“光伏养殖险”(覆盖台风、赤潮等风险)。2021 年威海市发放全国首笔 2000 万元“海洋碳汇贷”[8]，为金融支持海洋碳汇与海上光伏协同发展提供了有益探索。

5.4. 人才培养与社区参与：从被动征收到主动共建

开展海上光伏运维、碳汇监测、智慧养殖等技能培训，建立“企业导师＋农村学员”传帮带机制，每县培育超百名持证技术人员。推广“资源入股＋保底收益＋按股分红”模式，建议保底收益不少于项目总收益 8%，分红比例不少于村集体海域评估价值 5%。建立社区参与决策机制，在项目规划阶段开展社会影响评价(SIA)，保障渔民知情权、参与权与监督权；设立社区发展基金，将项目收益 1%~2% 拨付农村基础设施改善与公共服务优化。IFC 绩效标准关于环境与社会可持续性的要求，为社区参与机制设计提供了国际参照[23]。

6. 结论

海洋碳汇与海上光伏在空间利用、生态效应及产业发展上存在显著协同效应。研究构建“空间利用-生态效应-产业发展”三维协同效应评价框架,系统剖析二者协同驱动农村可持续发展的机理,提出“政策激励-技术创新-产业融合-社区参与”的整合推进路径。

理论贡献在于:第一,验证了协同演化理论在海域复合利用中的适用性,发现二者通过“遮阴-降温-养殖增产-碳汇提升”实现非线性协同,但识别出生态承载阈值与季节性反转的边界条件,修正了“正向反馈无限持续”的隐含假设[13];第二,拓展了TBL理论在沿海农村的应用,发现三维度存在“经济与环境优先、社会滞后”的结构性失衡,提示需引入“配正义”作为核心约束维度;第三,修正了SLF中“自然资本可线性转化为人力资本”的假设,揭示海域资源高附加值环节对农村社区存在准入壁垒与“天花板效应”,需纳入“权力不对称”分析[14]。

前文揭示的四大问题——技术路径依赖导致的生态锁定、外生制度突变与内生演化的断裂、社区参与止于租金收取、经济收益远低于环境非市场价值——需由四维路径回应:技术创新破解生态锁定,政策激励平滑制度冲击,产业融合提升社区在高附加值环节的参与度,社区参与将“被动收租”转为“主动共商”,打破“天花板效应”。

研究表明,推进二者协同发展需完善政策支撑体系、加快关键技术更新、促进产业深度融合、强化社区参与,实现政府、企业、农村社区等多元主体的利益协同。伴随CCER市场重启与蓝碳方法学持续完善,海洋碳汇与海上光伏联合开发将成为沿海农村实现碳中和与可持续发展目标的重要机制。

参考文献

- [1] WMO (2025) WMO Provisional State of the Global Climate 2024. World Meteorological Organization. <https://wmo.int/publication-series/state-of-global-climate/state-of-global-climate-2024>
- [2] IPCC (2021) Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Cambridge University Press, 989 p.
- [3] 中国海洋大学. 中国蓝碳蓝皮书 2025 [M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2025: 45-52.
- [4] 能链研究院. 权威盘点: 中国海上光伏项目全景[EB/OL]. https://mp.weixin.qq.com/s?_biz=Mzkx-ODQzMjYwNA==&mid=2247495472&idx=1&sn=4a18fe3122b49bbf2962b4e35ca4db2b, 2025-09-06.
- [5] 海上光伏环评报告汇总: 国华(东营市垦利区)新能源有限公司 HG14 海上光伏 1000MW 项目环境影响报告书 [EB/OL]. https://www.sohu.com/a/1017771998_99921395, 2026-06-22.
- [6] 生态环境部. CCER-14-001-V01 温室气体自愿减排项目方法学红树林营造[S]. 北京: 生态环境部, 2023.
- [7] 湛江市人民政府. 广东湛江红树林造林项目入选《国土空间生态修复典型案例集》[EB/OL]. https://www.zhanjiang.gov.cn/yaowen/content/post_1852746.html, 2024-01-07.
- [8] 林岫, 王永中. 我国蓝碳金融发展的现状、问题与建议[J]. 国际金融, 2025(7): 75-80.
- [9] 李建平. 中国蓝碳蓝皮书 2024 [M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2024: 78-95.
- [10] 前瞻产业研究院. 行业市场规模: 2024 年中国海上光伏行业市场规模达 960 亿元 光伏组件成本占比超 70% [EB/OL]. <https://bg.qianzhan.com/report/detail/300/241223-e542c4a7.html>, 2024-12-18.
- [11] 配置新型储能设施!《江苏省海上光伏开发建设实施方案(2025-2030 年)》印发[EB/OL]. <https://www.es.cn/news/show-2083759.html>, 2025-02-12.
- [12] 江苏省人民政府. 江苏印发《海上光伏开发建设实施方案(2025-2030 年)》[EB/OL]. https://www.js.gov.cn/art/2025/2/8/art_91317_11487806.html, 2025-02-08.
- [13] Murmann, J.P. (2003) Knowledge and Competitive Advantage: The Coevolution of Firms, Technology, and National Institutions. Cambridge University Press, 45-67. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511510953>
- [14] Scoones, I. (1998) Sustainable Rural Livelihoods: A Framework for Analysis. IDS Working Paper 72, Institute of Development Studies.
- [15] 张家华, 刘兴国, 顾兆俊, 等. 渔光互补生态经济特征及其发展方向[J]. 水产学报, 2022, 46(8): 1525-1535.

- [16] Pang, Y., Niu, C., Wu, L., Song, Y., Song, X., Shi, A., *et al.* (2022) Comprehensive Utilization of Land Resources for Photovoltaic Power Generation to Culture Chinese Mitten Crab (*Eriocheir sinensis*): Growth Performance, Nutritional Composition and Tissue Color. *Fishes*, **7**, Article 207. <https://doi.org/10.3390/fishes7040207>
- [17] 张万顺, 邓浪浪, 彭虹, 等. 柳堰集水库渔光互补工程对水环境影响的数值模拟研究[J]. 水资源保护, 2023, 39(5): 1-8.
- [18] 上海市发展和改革委员会. 关于印发《上海市“风光同场”海上光伏开发建设方案》的通知[EB/OL]. https://fgw.sh.gov.cn/fgw_ny/20240826/8167e275505e46cca1e942d2ec7c2d6b.html, 2024-08-26.
- [19] IRENA (2024) Renewable Power Generation Costs in 2023. International Renewable Energy Agency, 78-82.
- [20] 林水静. 今年 CCER 市场活跃度有望跃升[N]. 中国能源报, 2025-01-20(010). https://paper.people.com.cn/zgnyb/pad/content/202501/20/content_30053928.html
- [21] 自然资源部. 三部门联合发布指导目录以自然资源要素支撑产业高质量发展[EB/OL]. https://www.mnr.gov.cn/dt/ywbb/202412/t20241223_2878842.html, 2024-12-23.
- [22] Ziar, H., Prudon, B., Lin, F., Roeffen, B., Heijkoop, D., Stark, T., *et al.* (2020) Innovative Floating Bifacial Photovoltaic Solutions for Inland Water Areas. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, **29**, 725-743. <https://doi.org/10.1002/pip.3367>
- [23] IFC (2012) Performance Standards on Environmental and Social Sustainability. International Finance Corporation, 56-60.