

国际蓝碳半年报

第7期



2025年7月

组织机构和人员

编制单位

自然资源部海洋减灾中心

福州市可持续发展城市研究院有限公司

编制组成员

主 编：高 琳 陈 奕

副主编：唐 珂 肖 利 张 磊 李 梅

编写组（按姓氏笔画排序）：

王宇星 卢哲超 李 梅 张 磊 肖 利 蒋艳君 唐 珂

CONTENTS 目录

一 本期专题：蓝碳AI融合与应用

1、人工智能加速形成生态环境治理新模式	01
2、“数字下海”天宽地阔	05
3、AI+海洋！福建人工智能又有新进展	06
4、东海深蓝智慧中枢“正式启用	06
5、海洋大语言模型“瀚海智语”正式发布	07
6、阿布扎比气候科技新创企业Nabat将利用人工智能和机器人技术恢复红树林并提高气候适应能力	07
7、BlueBon卫星成功发射，助力蓝碳监测与气候解决方案	08
8、人工智能更聪明地利用海藻和海带	09
9、澳大利亚昆士兰科技大学运用计算机视觉和AI技术保护珊瑚礁	10
10、智能浮标与AI驱动的海洋环境监测	10
11、碳阻迹发布人工智能碳咨询师Carbon AI	11
12、PhenoAI--植物表型AI算法平台	12
13、森林监测新时代:人工智能革新森林生态数据	12
14、腾讯SSV碳中和实验室推出“小海豹”	13
15、接入AI！岳阳林纸碳汇开发智能化开启	13
16、IBM与NASA携手打造的全球最大地理空间AI基础模型	14

二 热点追踪

1、五部委印发《产品碳足迹核算标准编制工作指引》	16
2、从4项扩展到6项，自愿减排方法学走出应对气候下一站	21
3、中国证监会:推进碳期货市场建设和碳排放权期货上市	22
4、国家标准《红树林生态修复监测和效果评估技术指南》发布	23
5、2025国家重点推广的5大低碳技术	23
6、海洋生态系统修复效果评估首个国标出台	24
7、日本碳排放交易体系（ETS）立法通过：从自愿迈向强制阶段	25
8、联合国“海洋十年”全球蓝碳计划中国区域中心获批	26
9、《碳达峰碳中和蓝皮书(2025年)》全文发布	27
10、中国首口海上二氧化碳捕集、利用与封存井开钻	28
11、福建省地方标准《养殖海带碳汇评估技术规程》正式实施	29
12、全国首宗“沉积碳-惰性碳”蓝碳交易在连江完成	30
13、我国首个黄河三角洲滩涂碳汇方法学落地河口	30
14、生态环境部发布《关于做好2025年全国碳排放权交易市场有关工作的通知》	31
15、自然资源部公示24项海洋行业标准报批稿	31
16、2025蓝碳与可持续发展国际论坛在青岛举行	32
17、海口出台蓝碳经济发展行动方案	33
18、为扩大“蓝碳”规模 日本将开展深海藻类生物调查	33
19、厦门首创“水行政执法+碳汇交易”新模式	34
20、厦门大学陈鹭真教授团队在蓝碳监测技术领域开展的实践与探索	35
21、“2025年滨海蓝碳科学与应用国际学术研讨会暨第二届中国滨海蓝碳观测研究联盟学术年会”在沪举办	36
22、全国首个“碳汇超市”在恩施上线	37
23、深圳首单渔业碳汇拍卖以164元/吨成交	38
24、PEMSEA蓝碳技术工作组第二次会议在海口举办	38
25、全国首单贝类养殖惰性有机碳汇交易在浙江落地	39
26、第三届联合国海洋大会闭幕，发布《尼斯海洋行动计划》	40
27、中英青年海南开展蓝碳科研交流	41

三 科学研究

1、“碳中和”驱动下的“蓝碳”经济影响分析	43
2、“双碳”背景下我国蓝碳金融体系规制检视及调适路径	44
3、新质生产力推动我国蓝碳经济高质量发展的路径探析	44
4、“以红树林培育牵引蓝碳经济发展的驱动机制及优化路径研究——基于广东的案例分析	45
5、大型海藻在蓝碳中的作用及研究进展	46
6、“双碳”背景下海草床碳汇监测路径探索	46
7、红树林生态系统蓝碳碳汇来源研究进展	47
8、蓝碳资源资产确认、计量及报表编制框架研究	48
9、海洋碳汇国际进展研究及对我国的启示	49
10、国内外海洋碳汇发展动态及中国战略取向	50
11、蓝碳经济与海洋生态文明协同发展研究	50
12、《碳达峰碳中和蓝皮书（2025年）》	51
13、基于机器学习的红树林动态变化检测	55
14、红树林区域高精度入侵风险预测模型	57
15、滨海蓝碳评估现状：理论、方法及碳减排增汇途径	60
16、机器学习在量化滨海蓝碳储量研究中的应用进展	63
17、基于遥感识别技术漳江口红树林的蓝碳评估	65
18、1990年以来长江口及邻近海岸盐沼湿地蓝碳时空格局	68
19、广东湛江红树林湿地及蓝碳变化的影响研究	71
20、广东省海丰红树林湿地140年来有机碳累积历史和来源解析	74
21、近海大型海藻养殖被严重低估的重要碳汇形式——惰性溶解有机碳	76
22、海岸带蓝碳的稳定与不稳定：关键因素	78
23、中国红树林植被和土壤碳积累速率及其影响因素	81
24、中国大陆海岸带土壤蓝碳来源、组分和分子组成及其耦合关系	84
25、基于机器学习技术识别四类河口（运河、城市、农业与天然河口）总有机碳浓度的驱动因子	88
26、微塑料加速蓝碳生态系统硫酸盐还原与溶解性有机碳降解的耦合	90
27、植物碳硅利用策略及其对滨海湿地碳汇的潜在影响	92
28、滨海湿地生态修复的固碳功能、实现路径及碳中和对策	93
29、恢复因水产养殖而损失的红树林具有显著蓝碳效益	94
30、“双碳”目标下“认购碳汇”在生态司法中的适用	98
31、蓝碳交易认证及运行机制的挑战与应对	99
32、中国蓝碳储量的空间基线：助力优化监测、管理与保护	100
33、集成多源遥感观测的自动机器学习预测中国滨海湿地二氧化碳通量	104
34、受干扰蓝碳生态系统土壤有机碳储量的非均匀性损失	105

四 权威观点

1、中国科学院院士焦念志：缓解全球气候变化，“蓝碳”是关键	109
2、6位院士领衔刊文：我国海岸带蓝碳生态系统结构现状与保护优化策略研究	110
3、中国工程院院士杜祥琬：积极推进“双碳”目标 开启绿色发展新征程	114
4、Nature 地质净零排放和碳汇分类核算的必要性	116
5、Science 保护中国滨海盐沼	117
6、Science 中国潮汐生态系统中的红树林恢复	118

五 典型案例

1、人工智能助力新模型实时监测全球珊瑚礁状况	121
2、“数字神经”赋能湿地生态修复	121
3、莆田蓝色海湾“AI生态管家”综合管理系统	122
4、AI智能监测 科技赋能“天津方案”	123
5、海草床智能监视监测系统助力生态修复：曹妃甸海草床的“AI+生态”创新实践	124

—

蓝碳 AI 融合与应用



一 蓝碳 AI 融合与应用

◆ 1. 人工智能加速形成生态环境治理新模式

2023 年 11 月，经济合作与发展组织（OECD）委员会批准了新的人工智能（AI）定义，即一种依赖于机器的系统，这些机器通过明确或隐含的目标，推导出影响物理或虚拟环境的结果。从 20 世纪 70 年代开始，人工智能与基因工程、纳米技术、新能源技术、航空航天技术等一并成为当前世界尖端技术。

（1）人工智能核心技术链

人工智能实现不同场景应用的底层核心技术仍然是数据采集、分析与建模。通过机器学习、数据挖掘等大数据技术，可对多源异构海量数据进行分析处理，从中挖掘和提取出有价值的信息和规律；通过深度学习、神经网络、自然语言处理等技术，可以开发训练出高精度的新模型和算法。

（2）人工智能在生态环境重点领域场景的应用

近年来，生态环境领域依据人工智能技术的自主学习、自动推理、智能判断等特点，将各类生态环境数据进行融合、建模、分析，实现人工智能技术在生态环境监测预警与污染溯源、生态系统保育与修复、生态产品价值实现、资源循环利用与低碳发展、生态环境规划与空间管控、生态环境数字化治理与智慧决策等方面的应用，为解决传统生态环境治理手段单一、准度不够、决策

分析能力不足等问题提供了有效的技术路径。

1) 场景一：环境调查监测、监控预警与污染溯源

环境智能监测具有高精度和高时效性、实时监测和远程监控、强大的数据处理和分析能力以及可追溯性、可视化表达等优势，解决了传统环境监测面临的现场采样量大、成本高、周期长、无法满足实时动态监测等问题。

结合物联网、边缘计算以及以三维荧光光谱为基础的污染指纹图谱库，人工智能算法能够快速解析污染物成分并追溯其来源，大幅缩短污染溯源时间。同时，对气象数据的实时分析也提升了极端天气事件和气象灾害的预测与追踪能力。

2) 场景二：生态系统保育、修复与风险管控

传统的模拟方法建立在对自然系统的观测和实验数据的基础上，往往受制于数据可得性、精准性等因素，难以达到预期效果。人工智能可以通过多源数据分析来构建、优化、更新生态系统模型，缩短研究周期，动态改善仿真过程。利用海洋传感器数据，可诊断海洋生态系统问题，及时了解海洋生态系统的温度、颜色、水流、风向等要素。

利用图像识别和语音识别技术，可对生物种群分布、数量及濒危物种活动进行智能巡护监控，显著提升物种保护的精准性。人工智能通过动态计算森林水源涵养、土壤保持、固碳释氧等关键指标，持续评估生态系统的健康与受威胁状况。在修复环节，

植树机器人、施肥机器人等智能装备协同自然与人工修复手段，被应用于森林恢复、荒漠化治理、水土流失控制及海岸带修复等工程，提高了修复效率并保障了人员安全。

3) 场景三：生态产品价值实现

人工智能可助力生态产品调查监测，构建智慧、高效、共享的生态产品信息云平台。它助力构建“天-空-地-海”一体化的智慧监测感知网络和生态产品信息云平台，实现了生态产品构成、数量、质量等信息的动态摸查与共享。通过融合区块链、数字孪生等技术，人工智能促进了智慧旅游、智慧康养等新业态以及碳汇数字化交易平台的发展，并推广“两山银行”模式以解决生态资源抵押变现难题。此外，依托遥感与空间高分数据建立的生态系统生产总值数字化平台，显著提升了生态产品价值核算的精细化、规范化和标准化水平。

4) 场景四：资源循环利用与低碳社会建设

利用人工智能技术可以优化配置水资源、土地资源、生物资源等，大幅提高资源利用效率。在生产环节，通过全链条数据分析优化供应链与工艺，减少废弃物排放。智能垃圾分类系统利用图像识别技术，实现垃圾自动精准分拣。智能交通系统优化交通流，缓解拥堵与污染；智能算法优化建筑能耗设计，降低碳排放。在农业领域，基于机器视觉的智能灌溉系统根据作物生长状况和气象条件自动调节，有效节约水资源并减少化肥农药使用。

5) 场景五：生态环境规划与空间管控

现代社会需要更加灵活、精确和高效的规划方法，以应对环境问题的复杂性和不确定性。随着人工智能技术的发展和运用，生态环境规划的方法和工具也在发生变化。通过应用大数据、机器学习、知识图谱、虚拟现实等技术，可以更好地适应快速变化和高度复杂的环境问题，做出更科学、针对性更强的决策，显著提升生态环境规划的准确性与效率。

融合大数据、机器学习、知识图谱和虚拟现实技术，人工智能能够精准识别污染区域和生态敏感区，预测气候变化与资源消耗趋势，显著提升规划方案的科学性与针对性。三维可视化技术让决策者和公众更直观地理解规划效果。在分区管控中，人工智能融入方案编制、实施、评估与优化的全流程，实现动态精细管理。通过空间融合与深度学习技术，人工智能助力优化农业、生态、城镇等国土空间格局，并能预测不同管控策略的经济、环境和社会综合效益。

6) 场景六：生态环境数字化治理与智慧决策

深入挖掘、融合生态环境数据，构建智慧高效的环境管理信息化系统，全面提升生态环境治理的整体性、系统性、协同性。综合开发利用生态环境、自然资源、水利、农业农村、林业和草原、气象等部门的数据资源，推动山水林田湖草沙一体化保护和系统治理，提升生态环境风险防控能力和决策能力。充分利用物

联网、走航车、无人机、卫星遥感等，构建环境质量、固定污染源、移动源等全方位、多层次、全要素全景展示的生态环境一体化感知监测网络。整合环境业务管理、执法等信息，建设生态环境数字化中心，开发生态环境“智慧大脑”。针对生态环境综合治理和风险防控，通过广泛应用人工智能技术，有序推进对大气、水、土壤、固体废物等的智慧管理，从全域监控、预警预报、追踪溯源、系统治理的全过程推行智慧化闭环管理。在环境安全保障方面，依托智能监控体系建设，实现固体废物、放射源全生命周期精准监管，提升环境风险防范能力。

（环境保护，2024-08-10）

2. “数字下海”天宽地阔

依托数字化改革，充分利用大数据、物联网、人工智能等技术，分层次推动海洋产业转型升级、提质增效。推动数据要素与传统海洋生产要素深度融合，建设海洋大数据平台，带动海洋养殖、船舶港口、油气能源、文化旅游等传统产业设备改造和工艺革新，助推海洋药物与生物制品、海洋可再生能源、深海高端仪器装备与新型材料等新兴产业发展，并积极开辟“蓝碳”经济等海洋未来产业新赛道。在数字科技驱动下，打造协同高效、竞争力强的海洋优势产业集群。

（中华人民共和国中央人民政府，2024-05-13）

3. AI+海洋！福建人工智能又有新进展

华为 TECH4ALL 数字包容团队联合厦门大学的科研团队、福建人工智能计算中心，基于昇腾 AI 算力，联合开发了一套珊瑚及鱼类的智能识别及分析系统。该系统不仅能对水下视频数据进行实时分析和处理，并识别珊瑚和鱼群的种类，记录鱼群的数量和大小，形成珊瑚与鱼类的图片、视频等数据信息库。目前，监测数据中 5 种造礁石珊瑚的识别准确率已达 99%，35 种鱼类的综合识别准确率可达 93%。

（海峡报道，2024-11-12）

4. “东海深蓝智慧中枢”正式启用

渔业数智化平台——“东海深蓝智慧中枢”进入试运行阶段，该平台由中国水产科学研究院东海水产研究所（以下简称“东海水产研究所”）、浙江大学、博彦科技、海康威视共同研发。平台依托东海水产研究所超算中心与国家数字渔业远洋捕捞创新分中心，整合全所计算资源，搭建了渔业数智化系统框架和多场景应用模型，对 DeepSeek 进行了本地化部署，并基于东海水产研究所历年论文、著作、数据、报告等数据信息构建东海知识库，为渔业专用模型的训练提供数据支撑，同时也为全所科研人员提供专属 DeepSeek 服务。

（中国水科院东海水产研究所，2025-03-02）

5. 海洋大语言模型“瀚海智语”正式发布

海洋垂直领域大语言模型——“瀚海智语”大语言模型由国家海洋环境预报中心联合海洋出版社有限公司和三六零数字安全科技集团有限公司共同研发，以 360 智脑 13B 和 Deepseek-R1-70B 大模型为基座，在海洋领域理论知识、专业术语和行业应用等方面的表现比通用大语言模型更为出色。

该大模型具有以下特点：一是“智语精准”，作为海洋领域首个业务化垂域大模型，具备高度专业化 AI 能力，可准确高效完成内容生成、知识问答等多项任务。二是“学富瀚海”，基于增量式向量数据库技术构建了包含精选专业图书、科技文献、公告、标准和政策文件等内容的海洋领域专业知识库，词元总量超 18 亿，且采用元数据加密技术保障信息安全，形成宝贵数字资产。三是“安全易用”，注重保护知识产权和人工智能安全，大模型服务系统采用业界领先的风险检测模型内容安全框架搭建，具有成熟稳健、运行稳定、接入形式多样等优势，能为海洋科研、教育、业务和管理等用户提供价值正面、安全合规、灵活易用的专业 AI 服务。

（人民网，2025-03-26）

6. 阿布扎比气候科技初创企业 Nabat 将利用人工智能和机器人技术恢复红树林并提高气候适应能力

在阿布扎比举行的国际红树林保护和恢复大会上，先进技术研究委员会（Advanced Technology Research Council）旗下的 VentureOne 宣布成立一家全新的气候技术风险投资公司——Nabat，该公司将利用人工智能和机器人技术保护和恢复整个地区的红树林及其他生态系统。

Nabat 的人工智能和机器人技术实现了精确绘图、播种和监测，确保保护和恢复工作符合每个生态系统独特而复杂的需求。传统的红树林种植需要耗费大量人力，甚至会对周围的生态系统造成危害，而 Nabat 的系统则不同，它能尽可能地避免触及栖息地。在绘图阶段，Nabat 的技术提供了大量有关土壤以及自然栖息地密度、海拔和水文的数据。无人机的播种机制采用优化的轨迹规划和灵活的播种模式，确保种子只在需要时才被精确播种。该系统还具有监控功能，有助于确保种植的树木安全生长。

Nabat 的技术即使在难以到达的偏远地区也能发挥作用，从而使保护和恢复工作在最大限度降低成本的同时有效扩大规模。公司的初期重点是阿联酋的红树林，并计划将业务扩展到该地区的其他地方，为不同的生态系统提供服务，包括沙漠地区、农田、森林和珊瑚礁。

（AETOSWire，2024-12-12）



7. BlueBon 卫星成功发射，助力蓝碳监测与气候解决方案

BlueBON 为 TelePIX 开发的 6U 级 CubeSat，是世界上第一

颗专门用于监测蓝碳（储存在红树林和马尾藻床等海洋生态系统中的碳）的卫星，旨在通过从太空观察蓝碳碳汇来推进全球气候监测。BlueBON 于 2025 年 1 月由 SPACEX 猎鹰 9 号火箭发射，成功到达 500 公里高空的目标轨道，此后完成了初始运营阶段。BlueBON 配备了专有的光学有效载荷、TetraPLEX，其中 BlueBON 的光学有效载荷是目前商用 6U 级卫星上最先进的光电系统；TetraPLEX 为 TelePIX 开发的人工智能驱动的板载处理器，集成了基于 RISC-V 的 FPGA 高速计算解决方案，可以直接在太空中进行实时图像分析，将处理时间从 6 分钟多缩短到仅 11 秒。这大大加快了 BlueBON 对从海藻和红树林等沿海生态系统收集的蓝碳数据的评估。

（航空产业网，2025-05-30）

8. 人工智能更聪明地利用海藻和海带

海藻是脆弱生态系统的一部分，面临过度开发的风险。海藻酸盐和肥料产品农业生产目前是从大型海藻中提取的，但是这些产品只使用这些海洋植物的某些部分。目前，超过 70% 的植物质量被浪费掉了。

来自 10 个国家的研究人员共同推进一个大型欧盟地平线欧洲项目（iCulture 项目），开发一种基于人工智能的算法，利用 AI 分析数据、优化采伐计划，将剩余藻类转化为有价值的产品，目标是在保护生物多样性的同时，能够将海藻和海带作为一种重

要的可持续资源加以利用。

(Algae planet, 2024-04-05)

9. 澳大利亚昆士兰科技大学运用计算机视觉和 AI 技术保护珊瑚礁

澳大利亚昆士兰科技大学科研团队使用计算机视觉和人工智能技术，开发了珊瑚产卵和幼虫成像相机系统（CSLICS）和珊瑚生长评估（CGRAS）系统，可对珊瑚产卵数量进行自动化密集型计数并实时监测珊瑚幼虫成长过程，从而帮助珊瑚幼虫量化繁殖，以拯救白化的大堡礁。

CSLICS 系统最主要的优势是使用无接触摄像头计算珊瑚产卵情况。而 CGRAS 是一个相机原型系统，使用深度学习算法来实时监测单个珊瑚幼虫的生长，并跟踪生长条件变化对其产生的影响。该项目是珊瑚礁恢复和适应计划的一部分，合作伙伴包括澳大利亚海洋科学研究所、昆士兰大学、昆士兰科技大学等。

(中华人民共和国科学技术部, 2023-01-28)

10. 智能浮标与 AI 驱动的海洋环境监测

1 月 21 日，由中国水产科学研究院东海水产研究所戴阳研究员主持的上海市科委项目“基于视频图像处理的近海环境监测智能浮标技术研究”顺利通过项目综合绩效评价验收，标志着东海所研发的海洋资源环境监测智能浮标取得成功。

该项目经过近 3 年的科技攻关，研究了基于视频图像处理的近海环境监测智能浮标技术，重点开展了 AI 摄像头物体识别算法和水体叶绿素浓度检测技术研究，实现海面漂浮物智能识别，并通过摄像头和多通道光谱传感器两种途径，提取水色信息，研制了集成传感器识别、通讯方式选择、故障判断等智能化处理的小型浮标，开发了配套的后台数据处理软件。该研究为我国海洋资源环境监测提供了高效、智能化的手段，有助于提升我国渔场环境监测能力，为海洋渔业资源环境监测保护提供技术支撑。同时，该技术在渔业资源监测、远洋渔业捕捞等方面具有推广应用潜力。

（中国水产科学研究院，2025-01-22）



11. 碳足迹发布人工智能碳咨询师 Carbon AI

12 月 8 日，第二十八届联合国气候变化大会（COP28）上，一项人工智能创新成果发布引起了全球关心气候变化人士的驻足。一款专注于碳领域的人工智能 Carbon AI 于迪拜世博城“中国角”重磅发布。

作为一个专注碳领域的 AI，Carbon AI 不仅汇聚了丰富的碳知识和行业动态，更能根据需求提供度身定制的碳咨询和建议。它是一个双碳知识专家，能够提供千余个名词与政策解读、上万份案例与洞察分析；也是一个快捷碳计算工具，助力进行企业、产品、项目、活动等各个场景下的碳排放核算。同时，Carbon AI

作为碳云小助手，能在碳云中完成用户指令、建立模型、分析碳数据。未来将基于大模型和行业数据智能建模，提供更加个性化的碳数据分析服务。

（中国日报网，2023-12-24）

◆ 12. PhenoAI--植物表型 AI 算法平台

PhenoAI 是南京智农云芯大数据科技有限公司（AgriBrain）推出的一款基于图像的作物表型自动化分析系统，该系统支持多种植物类型的表型数据采集，自动识别和量化植物的关键形态特征。自动化提取 57 个表型指标，包括颜色、纹理、形态三大类指标。PhenoAI 支持各类成像设备（数码相机、工业相机、手机、扫描仪等），打破硬件限制，降低表型使用门槛，随时随地可进行采样。支持添加任意经典机器学习和深度学习模型的可视化训练和调参模块，无需编程，使得算法训练和分析一体化，更方便应对复杂图像场景的准确分割和日常数据分析问题。

（智农云芯，2024-10-24）

◆ 13. 森林监测新时代：人工智能革新森林生态数据

梅特（Meta）携手世界资源研究所（WRI）及土地与碳实验室，正式推出全球首个基于人工智能的 1 米解析度树冠高度地图。这一前所未有的技术突破，将彻底改变全球森林监测的方式，为解决塑料污染、推动碳市场发展及实现气候目标提供了坚实的

技术支撑。

这张树冠高度地图运用先进的人工智能技术，分析了超过 18 万张卫星影像的逾一兆像素，成功绘制出全球树冠高度基线数据。该数据的解析度达 1 米，是目前最高的全球树冠高度地图，填补了关键的森林监测数据空白。这张地图还解决了碳市场中森林碳信用监测与验证的长期挑战。透过高解析度的数据支持，该地图能精确追踪森林生长状况，尤其是在稀疏或小规模森林区域，从而提高碳市场的透明度与诚信度。

(SNN. tw, 2025-01-13)

14. 腾讯 SSV 碳中和实验室推出“小海豹”

2024 年底，腾讯 SSV 碳中和实验室推出“碳 LIVE-AI 知识共创计划”，借助 AI 与大模型的能力，推出了“小海豹”这一公益性质的新工具，机构能够轻松搭建自己的图文音视频全文知识库，并构建自己的大模型对话助手，公益机构均可免费申请使用。借助 AI 的能力，更多环保低碳等领域的机构能够对内活化知识积累，对外更好地传播知识。推出不到半年时间，已经有 32 个公益机构，基于“小海豹”，构建了 56 个大模型对话助手。

(网易新闻, 2025-02-10)

15. 接入 AI! 岳阳林纸碳汇开发智能化开启

岳阳林纸碳汇开发系统已启动与人工智能大模型的深度集

成工作，四大 AI 智能服务模块进入分阶段探索和测试，分阶段上线。通过融合人工智能的算法优势与行业数据资源，公司碳汇开发系统将在图形矢量化处理、资料存储智能化、项目管理数字化等核心环节开展建设性思考并形成了清晰的路径。此举将优化碳汇项目的运营流程，提升碳汇开发效率，批量输出阶段性成果，同时为审核提供可视化证据链条。

（北极星碳管家网，2025-02-26）

16. IBM 与 NASA 携手打造的全球最大地理空间 AI 基础模型

IBM 与 NASA 发布的全球最大地理空间 AI 模型，在分析大型数据集方面具有强大的能力。它采用先进的人工智能技术，能够自动提取特征，建立对地球表面各种现象的准确认知。通过对大量卫星数据的学习和分析，模型可以快速处理庞大的数据集，这个模型的重要意义在于，它为气候变化监测、森林砍伐追踪、农作物产量预测及温室气体排放分析等领域提供了有力的支持。通过利用 NASA 的卫星数据和 IBM 的人工智能技术，这个模型可以实现对地球表面的高精度监测和分析，为科学家和决策者提供更加准确、及时的数据和信息。这不仅有助于我们更好地了解地球的生态环境变化，还可以为制定更加有效的环境保护和可持续发展政策提供科学依据。

（AI TOP 100，2024-12-04）



热点追踪



二 热点追踪

◆ 1. 五部委印发《产品碳足迹核算标准编制工作指引》

为贯彻落实《中共中央关于进一步全面深化改革、推进中国式现代化的决定》有关部署和 2024 年中央经济工作会议精神，按照《关于建立碳足迹管理体系的实施方案》和《完善碳排放统计核算体系工作方案》要求，积极推进产品碳足迹核算标准编制工作，为加强产品碳足迹管理提供标准化支撑，提出以下指引。

一、总体要求

以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，全面贯彻落实党的二十大和二十届二中、三中全会精神，深入践行习近平生态文明思想，坚持系统观念，强化方向指引，立足加快构建产品碳足迹管理体系，按照“急用先行 稳妥推进”的原则，扎实推进重点产品碳足迹核算标准研制，扩大标准供给，提升标准质量，同步开展碳足迹因子研究和测算工作。鼓励各方积极参与产品碳足迹核算标准制修订，确保实现 2027 年前制定 100 项和 2030 年前制定 200 项产品碳足迹核算标准的目标，促进国内国际标准衔接互认。

二、明确碳足迹核算标准制定路线与技术要求

（一）明确碳足迹核算标准制定路线。立足国内碳足迹工作需求，结合国外碳足迹相关要求，从生产侧的初级产品和消费侧的终端产品同时推进碳足迹核算标准研制，双侧发力，逐步扩大

产品标准覆盖范围，鼓励开展产品全生命周期碳足迹核算。鼓励各利益相关方有重点、分批次编制产品碳足迹核算标准，优先推进基础能源、原材料、交通运输和重点外贸产品碳足迹核算标准的编制工作。

（二）统一碳足迹核算标准文本要求。标准名称统一命名为《温室气体产品碳足迹量化方法与要求 XX 产品》，标准中产品碳足迹核算边界、数据质量要求、清单分析要求和报告格式等技术内容应与《温室气体产品碳足迹量化要求和指南》（GB/T 24067-2024）保持协调一致。

（三）统一碳足迹核算的边界要求。标准可根据不同的产品系统及功能划定核算的系统边界，对于面向终端用户或消费者的产品，一般采用“摇篮到坟墓”的核算边界；对于非终端消费产品，一般采用“摇篮到大门”的核算边界。具体产品标准核算的边界可根据数据收集情况和需求评估，确定选取全部或部分生命周期阶段开展核算。

（四）统一碳足迹核算的活动数据获取要求。鼓励标准明确产品生命周期必须使用初级数据的环节和可使用次级数据的环节，开展数据不确定性的质量评价。在初级数据无法获取的情况下，可按照优先级顺序依次使用统计数据、文献数据、估算数据等次级数据，并注明数据来源。标准应要求分排放类别进行活动数据收集，如原材料消耗、能源使用、运输方式、废物处理等现

场活动数据。关于电力碳排放核算，具体产品碳足迹核算标准可根据《温室气体产品碳足迹量化要求和指南》(GB/T 24067-2024)规定和核算需要，将绿色电力证书或电力交易合同中的非化石能源使用量，作为产品碳足迹核算的依据，并与国际规则做好衔接。

(五) 统一碳足迹因子数据质量要求。标准应优先采用经溯源性核验的实测数据开展碳足迹因子测算，如无实测数据，可按照优先级顺序依次采用政府官方数据、行业经验值、文献值等开展碳足迹因子的测算，同时应注明所采用数据的来源，并开展数据有效性和不确定性分析。采用统一规范且与国际接轨的碳足迹因子数据格式，及时将质量评价良好的碳足迹因子纳入国家碳足迹因子库。

(六) 加强碳足迹核算数据质量管控工作。开展标准制修订工作时，应同步开展产品碳足迹试算，扩大试算范围，验证标准的可行性并进一步完善。标准实施主体应严格按照碳足迹核算标准开展相关数据的计量、统计、监测和比对工作，明确排放端监测方法，及时进行数据更新，提升数据收集准确性，加强碳足迹核算结果审核，保障数据安全，提高核算结果的可信度和可比性。

三、协调各类碳足迹核算标准协同发力

(七) 稳步推进碳足迹国家标准制定。由市场监管总局、生态环境部商相关行业主管部门，定期发布重点产品标准清单，征

集重点产品碳足迹核算标准立项建议。加强协调国家标准和行业标准制定计划。

（八）明确碳足迹行业标准制定重点。产品碳足迹核算工作涉及全生命周期，具有跨部门、跨行业的特点，对于行业关联度小、交叉性低、特定领域的细分产品，可研究制定行业标准，有效发挥行业标准对国家标准的补充作用。

（九）规范碳足迹地方标准。针对有地方特色和产业链优势的产品，鼓励地方积极参与碳足迹国家标准或行业标准编制，协助提供基础数据、因子测算等相关技术支持。

（十）探索制定新兴领域碳足迹团体标准。按照急用先行的原则，鼓励符合要求的社会团体针对典型终端产品、新兴领域产品等制定碳足迹团体标准。发布重点产品碳足迹核算团体标准推荐清单。

（十一）鼓励链主企业研制碳足迹企业标准。鼓励有能力的中央企业、大型企业集团探索全产业链碳足迹量化方法和企业标准研制，支持将适用性好、影响力广的企业标准优先纳入企业标准领跑者评选范围。

（十二）定期开展碳足迹核算标准的后评估工作。指导相关领域专业标准化技术委员会、行业协会、研究机构等开展碳足迹核算标准实施效果监测评估，及时发现标准不协调和重复制定等

问题，将监测评估结果作为碳足迹核算标准管理提升、整合、修订或者废止的重要依据。

四、促进碳足迹核算标准有序衔接和实施应用

（十三）完善碳足迹核算标准协调机制。发挥现有国家碳达峰碳中和标准化总体组的规划和协调作用，统筹推进标准制修订工作。

（十四）加强碳足迹行业标准跨部门协调。由生态环境部和市场监管总局牵头，加强与相关部门沟通协调行业标准编制工作，严格控制行业标准数量，避免超范围、重复制定碳足迹行业标准。

（十五）完善碳足迹团体标准评价采信机制。生态环境部、市场监管总局会同行业主管部门，从标准需求紧迫性、技术内容合理性、数据来源可靠性、测试验证充分性等方面研制碳足迹团体标准评价规则。

（十六）促进碳足迹核算标准有效应用。推动产品碳足迹核算标准在碳定价、碳排放双控、政府绿色采购、低碳技术推广等政策措施中广泛应用。

（十七）加强碳足迹核算标准宣贯培训。广泛开展碳足迹核算标准宣传培训工作，拓宽碳足迹核算标准信息发布渠道，免费向社会公开碳足迹核算标准文本。

五、加强碳足迹核算标准国际交流衔接

(十八) 加强国内外碳足迹标准协调衔接。研究全球主要经济体和国际组织碳足迹核算标准规范并加强技术交流, 立足国情适时推动相关国际标准本土化。

(十九) 积极参与碳足迹国际标准制定。鼓励协会、企业和研究机构借助国际标准化组织(ISO)、国际电工委员会(IEC)、国际电信联盟(ITU)等国际标准技术组织平台, 积极参与碳足迹国际标准的制修订工作, 针对国内优势产品主动研究提出国际标准提案, 推动标准立项与制定实施。

(二十) 推动碳足迹标准国际交流合作。

(中华人民共和国生态环境部, 2025-01-02)

◆ 2. 从 4 项扩展到 6 项, 自愿减排方法学走出应对气候“下一站”

1月3日, 生态环境部联合有关部门正式发布低浓度瓦斯和风排瓦斯利用、公路隧道照明温室气体自愿减排(CCER)项目方法学。这成为继首批造林碳汇、并网光热发电、并网海上风力发电、红树林营造等4项CCER项目方法学之后的第二批发布。

此前的4项方法学, 标志着CCER重启后关键的第一步, 明确了首批自愿减排项目类型, 为市场参与者提供了明确的操作基础。然而, 随着CCER市场的不断发展和国家对碳减排要求的提高, 仅凭这4项方法学难以全面覆盖各领域的减排需求, 也难以满足市场主体多样化的参与需求。因此, 生态环境部秉持“成熟

一个，发布一个”的原则将 CCER 方法学从 4 项扩展到 6 项。

（新京报，2025-01-10）

◆ 3. 中国证监会：推进碳期货市场建设和碳排放权期货上市

为深入贯彻落实党的二十届三中全会、中央金融工作会议、中央经济工作会议和新“国九条”关于做好科技金融、绿色金融、普惠金融、养老金融、数字金融“五篇大文章”的部署要求，积极发挥资本市场功能，提升服务实体经济质效，中国证监会制定了《关于资本市场做好金融“五篇大文章”的实施意见》（以下简称《实施意见》）。

《实施意见》聚焦支持新质生产力发展，突出深化资本市场投融资综合改革，增强制度包容性、适应性，推动要素资源向科技创新、先进制造、绿色低碳、普惠民生等重大战略、重点领域、薄弱环节集聚。围绕加强对科技型企业全链条全生命周期的金融服务，丰富资本市场推动绿色低碳转型的产品制度体系，提升资本市场服务普惠金融效能，推动资本市场更好满足多元化养老金融需求，加快推进数字化、智能化赋能资本市场，加强行业机构金融“五篇大文章”服务能力，提升资本市场做好金融“五篇大文章”的合力等方面提出 18 条政策举措。

下一步，中国证监会将坚持稳中求进、以进促稳，统筹做好防风险、强监管、促高质量发展各项工作，加强政策协调、组织

实施和宣传引导，扎实推进资本市场做好金融“五篇大文章”工作，更好服务中国式现代化建设和经济社会高质量发展大局。

（中国证监会，2025-02-07）

4. 国家标准《红树林生态修复监测和效果评估技术指南》发布

1月24日，国家标准《红树林生态修复监测和效果评估技术指南》（GB/T 45140-2025）正式发布，并于2025年5月1日正式实施。该标准由自然资源部第三海洋研究所牵头，与厦门大学、广西海洋科学院（广西红树林研究中心）与厦门市标准化研究院等单位的专家联合编制。

该标准是在自然资源部国土空间生态修复司指导下编制的海洋生态保护修复领域系列国家标准之一，提供了红树林生态修复监测和效果评估工作流程、资料收集与分析、生态监测与效果评估指标确定、生态监测方案、修复效果评估的指南。标准的发布实施将为我国红树林生态修复项目实施后的跟踪监测、效果评估和适应性管理提供指导，以支撑红树林生态修复项目的实施，提高生态修复成效。

（自然资源部第三海洋研究所，2025-02-15）

5. 2025 国家重点推广的 5 大低碳技术

2025 年是我国实现碳达峰碳中和目标的关键节点，国家重点推广的低碳技术以《国家重点低碳技术征集推广实施方案》为核心框架，通过系统性布局 and 分类推广，推动能源、工业、交通等重点领域深度脱碳。

五大重点技术方向及代表性领域中与蓝碳相关的是储能固碳类中的生态增汇技术（森林碳汇、海洋蓝碳）。

技术推广机制与政策支持与蓝碳相关的是分类推广模式中的示范类技术：处于产业化初期但具有变革性潜力，如直接空气捕集（DAC）技术、海洋咸水封存技术，通过试点项目验证经济性。

（林环双碳，2025-02-21）

◆ 6. 海洋生态系统修复效果评估首个国标出台

由自然资源部第三海洋研究所（以下简称海洋三所）牵头，中国科学院南海海洋研究所、海南省海洋与渔业科学院等单位联合编制的国标《珊瑚礁修复监测与效果评估技术指南》近日正式发布，将于今年 4 月 1 日正式实施，这是我国首个针对海洋生态系统修复效果评估的国家标准。

海洋三所介绍，近十几年来，我国在海南、广西等管辖海域开展了大量的珊瑚礁生态修复实践，但在珊瑚礁生态系统修复效果评估上仍没有一套系统的技术指标体系，存在跟踪监测和评估指标单一、跟踪监测时长较短等问题，甚至很多修复工程在完成

后没有开展相应的修复效果评估。因此，急需一套科学、合理的评价指标体系来科学指导和评估珊瑚礁生态修复的完成情况以及后续的恢复效果。

据了解，该标准于 2020 年 11 月经全国标准化委员会立项，历时 4 年，经多轮专家讨论和反复修改，规范了珊瑚礁生态修复监测和效果评估的工作流程、资料收集和分析、评估指标、生态修复监测和生态修复效果评估及报告编制等内容。

（厦门日报，2025-02-23）



7. 日本碳排放交易体系（ETS）立法通过：从自愿迈向强制阶段

2 月 25 日，日本政府正式通过法案，要求每年排放 10 万吨二氧化碳以上的公司强制参与该国的碳排放交易体系（ETS）。这一法案是《促进绿色转型法》（简称 GX 法案）的修订内容，旨在通过市场机制推动企业减少温室气体排放。根据修订后的 GX 法案，预计有 300 至 400 家公司需要参与碳排放交易体系，其中包括炼钢等高排放行业的企业。这些企业将成为日本碳市场的重要参与者，推动整个经济体系向低碳化转型。

从 2026 财年开始，日本政府将在每个财政年度向参与企业分配二氧化碳排放配额。企业需要根据自身的排放情况管理配额，如果排放量超出分配的配额，企业将被要求在由公私合作的 GX 加速机构运营的交易市场上购买额外的配额。这一机制旨在

通过市场化的手段，激励企业减少碳排放。对于未能为其超额排放获得足够配额的企业，法案规定了一项经济约束措施。这些企业将被要求在交易市场的最高交易价基础上缴纳 10% 的附加费。这一惩罚性措施不仅增加了企业的经济负担，也进一步强化了企业减少碳排放的动机。

（碳减派，2025-02-26）

8. 联合国“海洋十年”全球蓝碳计划中国区域中心获批

近日，由自然资源部第三海洋研究所牵头并联合北京市企业家环保基金会、清华大学、浙江大学、海南大学、中科院南海海洋研究所等机构的专家合作申请的联合国“海洋十年”项目“中国区域蓝碳中心”（Chinese Regional Hub for Blue Carbon）获联合国教科文组织政府间海洋学委员会批准。本项目隶属于“海洋十年”框架下的“全球海洋十年蓝碳计划”（The Global Ocean Decade Programme for Blue Carbon），该计划由英国圣安德鲁斯大学牵头实施，旨在构建从区域到全球的合作，共同推动蓝碳研究和数据共享，加强蓝碳科学的能力建设，并为政策决策者和社区提供科技支撑，以促进基于自然的解决方案和海洋可持续性。

“中国区域蓝碳中心”是自然资源部第三海洋研究所牵头的首个“海洋十年”项目，由第三海洋研究所陈光程研究员负责。为顺应国家“双碳”工作和海洋生态保护修复重大工程全面发展的需求，近年来第三海洋研究所积极发挥科研优势和成果积淀，

牵头编制多部海洋生态保护修复国家规划与标准，支撑蓝碳生态系统保护修复工作的科学实施，并积极推动国际合作交流。目前，自然资源部第三海洋研究所与国际蓝碳倡议（Blue Carbon Initiative）、保护国际基金会等国际组织合作，举办多届蓝碳国际论坛，并与印度尼西亚、马来西亚、泰国等周边国家长期开展蓝碳领域的合作研究。下一步，“中国区域中心”项目将建立国内蓝碳专家合作交流网络，进一步深化我国与周边国家在蓝碳领域的合作，并利用政府间海洋学委员会西太平洋分委会和国际蓝碳倡议等多边合作平台，在更大区域范围中发挥积极作用。

（自然资源部第三海洋研究所，2025-03-12）

◆ 9. 《碳达峰碳中和蓝皮书（2025年）》全文发布

双碳战略目标的实现是一项跨领域、多维度的系统工程，涵盖战略规划、政策法规、技术创新与产业转型等多重挑战。自国家双碳战略实施以来，政产学研各界积极探索实践，但整体进展滞后于预期根源在于行业认知碎片化、实施路径不清晰、落地抓手缺位。究其根源，既有系统性知识图谱的缺失，亦缺乏全景式行业洞察与可复用的方法论支撑。为此，工业互联网产业联盟碳达峰碳中和工作组联合中国互联网协会网络绿色发展工作委员会，聚产业生态合力，组织30余家企业和科研院所，系统梳理2024年前后国内外双碳发展态势跟踪政策动向与技术创新方向，提炼

规律性认知，构建兼具理论深度与实践价值的体系化框架，为产业界提供可参考的行动坐标。

（碳交易网，2025-03-24）

◆ 10. 中国首口海上二氧化碳捕集、利用与封存井开钻

中国海洋石油集团（简称“中国海油”）深圳分公司 24 日发布消息称，中国首口海上 CCUS（二氧化碳捕集、利用与封存）井，当日在位于珠江口盆地的恩平 15-1 平台开钻。

3 月 24 日，中国首口海上二氧化碳捕集、利用与封存井开钻。恩平 15-1 平台是目前亚洲最大的海上原油生产平台，距离深圳西南约 200 公里，所在海域水深约 90 米。该平台所开发的恩平 15-1 油田为高含二氧化碳油田，若按常规模式开发，二氧化碳将随原油一起被采出地面，不仅对海上平台设施和海底管线造成腐蚀，还将增加二氧化碳排放量。实施 CCUS 项目，可实现油田增储上产与绿色低碳的相互促进、协同发展。2023 年 6 月，中国海油在恩平 15-1 油田投用了中国海上首个 CCS（二氧化碳捕集、封存）示范工程，截至目前已累计安全运行近 13000 小时，封存二氧化碳超 18 万吨。“此次启动的二氧化碳驱油项目，将进一步实现二氧化碳的有效利用，实现增产、降碳一举两得，推动海上‘CCS’向‘CCUS’技术的跨越。”中国海油深圳分公司恩平 15-1 平台总监梅闯说。此次开钻的 CCUS 井设计井深 3243 米，创新采用“老井新用+分层注气”模式。据悉，恩平 15-1 油田

CCUS 项目预计 4 月试注运行。该项目投用后将进一步构建完善中国海上二氧化碳捕集、利用、封存技术和装备体系，预计 10 年累计规模化向海底地层注入二氧化碳超 100 万吨，同时能提高油藏采收率，驱动原油增产达 20 万吨。

(碳中和专委会，2025-03-26)

11. 福建省地方标准《养殖海带碳汇评估技术规程》正式实施

厦门大学海洋与地球学院、海洋生物地球化学全国重点实验室教授刘涛及其团队参与编制的地方标准《DB35/T 2238-2024 养殖海带碳汇评估技术规程》(以下简称：“标准”)经福建省市场监管局批准正式发布，自 3 月 24 日起正式实施。

该标准作为福建省渔业碳汇评估领域的第一个地方标准，其发布与实施为准确衡量福建省养殖海带碳汇潜力提供技术保障，对推进藻类碳汇评估、认证和市场交易，落实“碳中和”行动方案和渔业绿色低碳发展具有重要意义。

据悉，在福建省海洋与渔业局的指导与支持下，该工作由福建省渔业资源监测中心保障，厦门大学领衔技术研发，闽江学院参与编制。研究历时 3 年，以福建省宁德市霞浦县为重点调查海域，通过走航调查、定点监测和室内分析，比较了海上全养殖周期的环境参数和生物参数，对比了不同海藻种类以及漳浦、南日岛等不同海域的养殖碳汇形成方式和形成速率，提出了养殖海带

碳汇评估的技术内容、核心参数和评估方法，构建了涵盖养殖海带可移出生物碳量测算、碳汇增量评估、惰性有机碳分析等的完整技术体系，并给出了适用于小规模养殖碳汇评估和简易评估的碳汇形成系数，具有操作性强和适用性广的优点。

（福建日报，2025-03-30）

12. 全国首宗“沉积碳—惰性碳”蓝碳交易在连江完成

4月11日，在福建省连江县政务服务中心，福州市检察院的检察官们正引导3名案件当事人从福州（连江）碳汇交易服务平台，自愿认购326.4吨大型藻类养殖（沉积物碳汇和惰性有机碳汇）项目碳汇产品。据悉，此案是福州地区首例跨区域认购海洋碳汇替代性修复受损生态环境的案件。同时，本次认购也是全国首宗沉积物和惰性溶解有机物海洋渔业碳汇交易。

（福州晚报，2025-04-12）

13. 我国首个黄河三角洲滩涂碳汇方法学落地河口

山东省东营市河口区与中国地质大学（北京）、中建碳科技有限公司联合开展的“河口区滩涂碳汇方法学”研究取得重大成果，研究成果《飞天碳方法学滨海湿地滩涂》已在中国国际科技促进会碳普惠分会成功备案，标志着我国首个黄河三角洲滨海湿地滩涂碳汇方法学实现实践转化，开创湿地碳汇开发新范式。

该方法学历时9个月攻克技术难题，填补国内滩涂碳汇计量

空白，对推动区域滩涂资源高效利用意义重大。河口区拥有得天独厚的湿地碳汇资源，为碳汇项目开发筑牢了根基。据测算，全区 50 万亩滨海湿地，若参照国际 VCS 海洋湿地蓝碳开发标准，每年预计可产生 4 万吨碳汇，实现 400 万元的经济价值。

（东营市人民政府，2025-04-15）

14. 生态环境部发布《关于做好 2025 年全国碳排放权交易市场有关工作的通知》

4 月 15 日，生态环境部发布《关于做好 2025 年全国碳排放权交易市场有关工作的通知》（下称《通知》）。《通知》提出了加强重点排放单位名录管理、加强碳排放数据质量管理、加强碳排放配额分配清缴管理等工作要求。

《通知》要求，钢铁、水泥、铝冶炼行业自 2025 年 7 月起开展碳排放统计核算数据月度信息化存证，并明确 2024 年度排放报告核查的时间节点（钢铁、水泥行业需在 2025 年 8 月 31 日前完成）。

《通知》还细化了配额分配规则，如钢铁、水泥、铝冶炼行业 2024 年度配额核定工作需在 2025 年 9 月 30 日前完成，配额发放于 10 月 20 日前完成，确保新纳入行业的履约衔接。

（中华人民共和国生态环境部，2025-04-15）

15. 自然资源部公示 24 项海洋行业标准报批稿

5月7日,按照自然资源行业标准制定程序要求和计划安排,自然资源部组织有关单位制定了24项行业标准。现已通过全国海洋标委会(TC283)审查,拟公示后报部审定发布实施。其中《蓝碳生态系统碳汇计量监测技术规程》《蓝碳生态系统碳储量调查与评估技术规程 红树林》《蓝碳生态系统碳储量调查与评估技术规程 盐沼》《红树林生物量遥感估算方法》《海岸带生态系统现状调查与评估技术导则 第12部分:海藻场》5项行业标准涉及蓝碳碳汇计量监测、红树林、盐沼碳储量调查与评估、生物量遥感估算、海藻场调查与评估等方面。

(中华人民共和国自然资源部, 2025-05-07)

◆ 16. 2025 蓝碳与可持续发展国际论坛在青岛举行

5月11日至12日,2025蓝碳与可持续发展国际论坛在青岛举行。论坛聚焦“蓝碳与全球和区域可持续发展”议题,共同探讨海洋参与应对气候变化的解决方案,促进全球可持续发展。

该论坛由中国海洋大学联合朴茨茅斯大学、联合国教科文组织海洋治理教席等主办,“海洋十年”国际合作中心、青岛市碳中和经济产业联合会协办,共有来自中国、美国、英国、法国等11个国家的专家学者、留学生代表以及国内师生120人参会,围绕蓝碳与气候变化、碳中和背景下的蓝色治理与健康海洋、海洋可持续发展与蓝碳金融三个议题展开研讨。

(大众日报, 2025-05-14)

17. 海口出台蓝碳经济发展行动方案

近日，海口市生态环境局、海口市自然资源和规划局联合印发《海口市蓝碳经济发展行动方案（2025—2035年）》，明确到2035年底，全市蓝碳经济体系基本建立，蓝碳经济贡献度显著提高，海洋产业生态化水平明显提升。海口市生态环境局有关负责人介绍，“蓝碳经济”是以蓝碳为核心，通过保护和恢复海洋生态系统，提高其碳汇功能，降低大气中的二氧化碳浓度，提供生态产品和服务，从而实现经济效益的一种新兴经济形态。据了解，自2020年以来，海口实施生态修复项目，已新造红树林4590亩，修复4800亩，红树林碳汇增量位居海南全省首位。2022年5月，海南首个蓝碳生态产品交易在海口完成签约，交易碳汇量3000余吨，交易额30余万元。

（海南日报，2025-05-20）

18. 为扩大“蓝碳”规模 日本将开展深海藻类生物调查

日本环境省近日宣布，为了扩大“蓝碳”对二氧化碳的吸收和储存，已委托日本石油制品生产和销售巨头引能仕株式会社、日本海洋研究开发机构等开展相关调查。

引能仕株式会社近日发布新闻公报说，接受环境省委托，该公司将与日本海洋研究开发机构、港湾空港技术研究所，共同开展深海区域海藻类生物的行为特征及其对周边环境的影响的调查研究。其目标是扩大“蓝碳”作为二氧化碳吸收源的规模，以

促进利用海洋资源对二氧化碳的捕集利用与封存，以及削减能源相关的二氧化碳排放。

公报介绍，三方将合作进行潜航及其他船舶调查，应用模拟模型评估深海海藻的储碳能力，并进一步了解深海海藻类生物的生长习性及其对深海区域的环境影响。研究团队将利用日本海洋研究开发机构的深海载人潜水器“深海 6500”进行视频拍摄、样本采集和分析等，还将通过测绘调查、沉积物分析等评估深海海藻类生物对周边环境的影响。

（新华社，2025-05-23）

◆ 19. 厦门首创“水行政执法 + 碳汇交易”新模式

5月26日，厦门完成一宗“水行政执法 + 碳汇交易”，该交易模式在全国尚属首次。据悉，该碳汇交易通过采用“行政执法 + 自愿认购”碳汇的方式，来履行违反水法律法规造成的生态环境损害赔偿义务，为水行政执法领域追索生态环境损害赔偿提供了全新路径和示范样本。

在本次水土保持案件办理过程中，市农业农村局执法人员引导需受行政处罚的违法行为人，自愿认购西部宁夏水土保持碳汇产品，既实施了水土保持生态修复，又促进水土保持生态产品良性循环，同时还促进东西部融合发展，实现“三赢”。经过比较，当事人最终采用碳汇交易融合模式进行赔偿。在厦门市农业农村局执法人员的见证下，当事人与厦门产权交易中心（厦门市碳和

排污权交易中心)签订委托协议,认购了宁夏彭阳水土保持碳汇483.88吨,用购买碳汇的方式履行破坏水土保持功能造成的生态环境损害赔偿义务。

(厦门三农网, 2025-05-27)

20. 厦门大学陈鹭真教授团队在蓝碳监测技术领域开展的实践与探索

福建面向台湾海峡,两岸共享的这一湾碧海不但为居民提供了良好的生态环境,更承载了同胞间的情感与寄托。2022年,厦门大学陈鹭真团队与台湾中兴大学林幸助教授团队共同开展了“两岸共通蓝碳标准体系”的研究工作。

蓝碳生态系统的沉积物碳储量变化是蓝碳监测技术的核心和难点。在厦门大学滨海湿地全球气候变化温室群里,记者见到了由陈鹭真团队自主研发的碳汇计量装置——9支测量针均匀分插在一棵红树植物周边,当温室内的二氧化碳、温度、湿度等不同指标发生变化时,红树植物生长使其四周的沉积物出现增减,测量针的高度会发生相应变化。这套装置模拟的就是滨海湿地地表相对高程变化的监测系统。迄今为止,它已在台湾4个主要的红树林监测点布设18套,福建已布设约100套,双方的数据可以匹配和比较。

“两岸团队使用一致的方法进行蓝碳监测，最终形成共通的标准。我们希望利用这个契机，为两岸蓝碳的技术落地与交易实践提供帮助。”陈鹭真说。

2024年5月，两岸蓝碳交易标准共通试点工作的重要成果之一——《海峡两岸共通 滨海湿地地表相对高程监测技术规程》正式发布，为两岸滨海湿地保护提供统一的技术指导。

据悉，这一监测方法已应用到我国首笔盐沼蓝碳交易，交易碳汇量1926吨。台湾团队也利用这一方法评估了当地的滨海湿地碳汇量，并尝试应用该方法扩大自愿减碳量方案的应用范围。

（光明日报，2025-05-28）

◆ 21. “2025年滨海蓝碳科学与应用国际学术研讨会暨第二届中国滨海蓝碳观测研究联盟学术年会”在沪举办

2025年5月26-29日，“2025年滨海蓝碳科学与应用国际学术研讨会暨第二届中国滨海蓝碳观测研究联盟学术年会”在上海举行。会议以“深入研讨国际滨海蓝碳发展现状及未来趋势，打造国际一流蓝碳交流合作平台”为主题，还设立了“滨海蓝碳观测研究方法 with 预测模型”“滨海湿地碳循环关键过程与碳汇形成机制”“滨海湿地固碳增汇与多功能协同提升技术”和“滨海蓝碳交易、金融产品与政策”4个专题分论坛，先进蓝碳监测仪器在会议期间展出，系统呈现了滨海蓝碳领域的最新研究进展，为促进国际蓝碳深度合作、服务国家“双碳”战略提供

了重要交流平台。

(河口海岸全国重点实验室, 2025-5-30)

◆ 22. 全国首个“碳汇超市”在恩施上线

5月19日,全国首个“碳汇超市”—湖北省恩施土家族苗族自治州“硒都林碳”微信小程序上线,成为国内首家碳汇量与商品关联交易的市场化零售平台。此前恩施州发放的首批森林碳票,按照当前价格估算约900万元,碳减排量23.8万吨,可在该平台交易。

该平台除可进行碳汇量交易外,还依托恩施州年接待游客1亿人次的规模优势,将碳票与碳普惠有机结合,在国内率先试点结合旅游场景消纳碳汇量,联合相关商家与州内土特产购销平台,围绕“食住行购游”开展优惠促销活动,将“降碳义务”变现为“旅游红利”。用户自愿认购碳汇量后,在有效期内可享受订房、订餐、订票等相关折扣,实现商家引流、用户享惠、产业增收、地方降碳的多赢良性循环。平台不抽取接入商家、平台佣金,商品价格具有较强竞争力。恩施州林业局相关负责人介绍,恩施州拥有丰富的森林资源,林地总面积超过2700万亩。未来,恩施州将进一步探索碳票加旅游、碳票加公共机构节能减排以及碳票加生态司法等应用和消纳机制,实现生态保护和经济发展双赢的目标。

(支点财经, 2025-05-30)

◆ 23. 深圳首单渔业碳汇拍卖以 164 元/吨成交

6月4日，世界环境日、世界海洋日前夕，深圳首单渔业碳汇（贝类碳汇）拍卖以 164 元/吨价格顺利成交，标的养殖碳汇量 21.1 吨。深圳市海洋发展促进中心将贝类养殖碳汇作为创新突破点，联合深圳海洋资源交易有限公司，在前期发布深圳《渔业生产 贝类养殖碳汇核算技术规范》地方标准和开展渔业养殖贝类碳汇研究的基础上，通过公开挂牌拍卖和 2025 深圳国际渔业博览会上现场宣讲标准的方式，吸引社会广泛关注和参与，种种努力与积极探索最终促成了这单渔业碳汇（贝类碳汇）的顺利交易，既为渔民开辟增收新赛道，更为企业提供绿色转型新方向。

（深圳特区报，2025-06-06）

◆ 24. PEMSEA 蓝碳技术工作组第二次会议在海口举办

6月5日至6日，由自然资源部海洋减灾中心与东亚海环境管理伙伴关系组织（PEMSEA）联合主办的 PEMSEA 蓝碳技术工作组第二次会议，在海口市召开。来自中国、日本、韩国、越南、菲律宾、印度尼西亚、泰国、澳大利亚、加拿大以及 PEMSEA 秘书处的近 60 名国内外专家与行业代表，通过线上线下方式参会。

会议围绕蓝碳生态系统的分布和质量、碳储量调查现状、区域蓝碳核算方法学、认证体系和市场化路线图等关键议题展开了深入而富有成效的讨论。我国科学家在会上提出了构建东亚海区

域蓝碳监测网络的倡议，得到与会各方的积极响应与高度认可。会议完善了区域蓝碳核算方法学和认证体系流程框架，制定了工作组 2025—2026 年的工作计划，相关成果将提交至今年 7 月召开的第十七届东亚海伙伴关系理事会进行审议。

会议的召开进一步加深了东亚海区域对蓝碳生态系统的认知，加强了区域蓝碳保护管理和信用认证工作，为东亚海区域共同应对气候变化等全球性挑战贡献了智慧和力量。

（平安之海，2025-06-06）



25. 全国首单贝类养殖惰性有机碳汇交易在浙江落地

6月6日，在宁波产权交易中心的见证下，浙江省嵊泗县检察院与嵊泗山海奇观海洋科技开发有限公司在浙江海洋大学签订嵊泗厚壳贻贝司法蓝碳认购协议，以5万元生态环境损害赔偿金认购500吨嵊泗厚壳贻贝养殖沉积惰性有机碳汇。这标志着全国首例依托司法程序完成的贝类养殖沉积惰性有机碳汇交易在浙江诞生。

在嵊泗县枸杞乡万亩贻贝养殖区，团队结合航次调查与沉积物定点采样，依据国际权威的《滨海蓝碳》手册标准，开发出国内首个贝类养殖惰性有机碳汇核算方法学。经严格测算，确认该养殖区年均可产生惰性有机碳汇1979吨，并据此形成《嵊泗县厚壳贻贝养殖惰性碳汇核算报告》。这一精准量化为碳汇贴上“价格标签”——每吨100元，使嵊泗贻贝的生态价值得以市场化

衡量。

(中国科技网, 2025-06-10)

26. 第三届联合国海洋大会闭幕, 发布《尼斯海洋行动计划》

第三届联合国海洋大会 6 月 9 日至 13 日在法国尼斯举行, 大会针对海洋生物多样性保护等问题发布《尼斯海洋行动计划》, 为全球海洋治理提出方案。中国在相关领域的贡献受到与会者高度评价。

本届联合国海洋大会由法国和哥斯达黎加共同主办, 大会探讨了如何解决全球海洋面临的过度捕捞加剧、气候变化影响, 以及不可持续的资源管理模式等问题。

在 13 日举行的会议闭幕式上, 各方通过《尼斯海洋行动计划》。该计划由两部分构成, 分别是《我们的海洋, 我们的未来: 团结起来采取紧急行动》政治宣言, 以及各国及相关实体做出的自愿承诺。其中, 政治宣言呼吁采取具体措施, 包括扩大海洋保护区、实现海运业脱碳、应对海洋污染、为脆弱的沿海和岛屿地区筹集资金等。

海洋生物多样性保护是大会的一个焦点。虽然《联合国海洋法公约》下国家管辖范围以外区域海洋生物多样性的养护和可持续利用协定》的“60 份批准书目标”未能在大会期间达成, 但根据会议方提供的消息, 截至 13 日, 共有 136 个国家、地区和组织签署“协定”, 其中已经有 50 个国家、地区和组织批准了

该“协定”，距离“60份批准书目标”仅一步之遥。

（中国海洋，2025-06-18）



27. 中英青年海南开展蓝碳科研交流

6月23日，“青年使者交流计划”——“蓝碳与滨海湿地青年科研交流项目”在海南大学启动，该活动由中国教育国际交流协会牵头实施，来自英国普利茅斯大学的21名师生与中国青年学者围绕蓝碳生态系统保护展开深度交流。如何科学评估其碳汇能力、固碳潜力和生态系统服务功能，成为中英两国青年学者共同探索的课题。此次活动采取“理论+实践”的模式，涵盖主题讲座及实地调研，让中英青年学者“从论文里走出来，到湿地中找答案”。活动深入海南儋州等地，实地考察热带典型的红树林和海草床生态系统，运用碳储量调查、环境DNA技术、无人机遥感、植物生理学监测等多种方法开展实地操作。基于国际合作交流与智慧碰撞，激发创新思维，能够为解决全球环境问题提供新思路。

（中国新闻网，2025-06-24）



科学研究





◆ 1. “碳中和”驱动下的“蓝碳”经济影响分析

基于蓝碳生态系统固碳能力的蓝碳经济，作为一种新兴的经济模式，在全球气候变化的大背景及世界各国寻求碳中和的情况下，正逐渐走入人们的视野，为世界应对气候变化提供了新的思路和机遇。

目前我国滨海湿地的总面积有限，过去几十年海岸带地区的滩涂围垦、渔业养殖、城市化及工业化等土地开发活动导致海岸带碳汇面积急剧减少，其固碳功能和碳汇潜力下降。建议近岸海水养殖转型发展，在离岸较远地区实行规模化养殖，例如海水牧场，或者借助海洋平台技术开展深远海养殖，从而把沿岸的空间腾出来因地制宜进行生态修复。

在发展蓝碳经济并且把蓝碳作为“商品”进行交易时，要注重“质”而非“量”，需要真正地去恢复蓝碳生态系统，而不是为了恢复而恢复。需要制定一套行之有效的监测、核算、评估体系，以真正地体现蓝碳生态系统的固碳功能，从而对实现碳中和真正助力。在恢复蓝碳生态系统过程中，需要：（1）遵循海洋生态系统的内在发展规律，注重其自我修复能力，减少人类活动对生态系统的干扰；在自然恢复不能实现的条件下，可充分结合现有的自然条件采取适当的人工辅助措施，促进生态系统修复。（2）海

岸带生态系统的修复是个系统工程，涉及海陆交界地带和多个相关方，与当地人们的生产、生活息息相关，因此，需要包括海洋管理部门、渔业部门、交通运输部门、旅游部门和环境生态部门等多个部门同时联动，共同努力方可实现。

(李碧英,梁雨轩.“碳中和”驱动下的“蓝碳”经济影响分析[J].低碳经济,2025,14(2): 219-224.)

◆ 2. “双碳”背景下我国蓝碳金融体系规制检视及调适路径

“双碳”目标的提出不仅是应对全球气候治理的需求，更是推动我国经济转型升级和实现生态可持续发展的重要保障。为了有效推动“双碳”目标的实现，我国积极推进构建适合本国国情的蓝碳金融体系，取得了较为显著的成果。但是蓝碳金融体系的构建并不是一蹴而就的，无论是在规章制度、市场基础，还是在交易能力等方面，我国蓝碳金融体系都或多或少地存在有待完善的地方。对此，应健全蓝碳资源产权制度，完善蓝碳市场交易和监管机制，深化蓝碳市场金融化程度，促进蓝碳金融产品创新，注重蓝碳金融专业人才培养，构建蓝碳金融社会化参与机制，从而推动“双碳”目标的实现，为建设美丽中国、构建人类命运共同体提供积极助力。

(胡晓喆,单红军.“双碳”背景下我国蓝碳金融体系规制检视及调适路径[J].山东社会科学,2025,(02):110-117.)

◆ 3. 新质生产力推动我国蓝碳经济高质量发展的路径探析

发展蓝碳经济是我国有效减缓温室气体排放、促进海洋生态产品价值实现的重要路径。新质生产力依托于新技术、新产业、新业态和新领域，为推进我国蓝碳经济高质量发展提供了强大支持。然而，在蓝碳经济发展中仍然存在一些问题，如科研力量相对薄弱、人才培养力度不足、交易机制存在制约、产业链条有待延伸等。鉴于此，本文从新质生产力的角度切入，提出加强蓝碳科技创新能力、组建蓝碳专业人才体系、健全蓝碳市场交易机制和培育蓝碳经济产业链条等路径，旨在突破新质生产力推动我国蓝碳经济高质量发展的困境，为蓝碳经济新质生产力形成提供参考。

(孙啸.新质生产力推动我国蓝碳经济高质量发展的路径探析[J].国际公关,2025,(04):41-43.)



4. 以红树林培育牵引蓝碳经济发展的驱动机制及优化路径研究——基于广东的案例分析

蓝碳经济是以海洋生态系统固碳功能为核心，通过保护与修复红树林、海草床、盐沼等滨海蓝碳生态系统，开发其碳汇价值及衍生产业链，实现生态效益向经济效益转化的新型经济形态。红树林是重要的滨海蓝碳生态系统，以红树林培育为核心引领蓝碳经济发展，是拓展海洋发展新空间、建设海洋强国的关键领域。我国蓝碳经济整体发展较滞后，存在蓝碳核心技术不强、产业延伸拓展不足、交易制度建设不全、价值实现机制不畅等问题。本文从“蓝碳资源—蓝碳资产—蓝碳产品—蓝碳资本”的价值实现

机制出发,结合广东发展实践,提出强化红树林牵引蓝碳经济发展的基本功能,统筹推进蓝碳元素培育、全产业链布局、交易市场建设、技术创新驱动、体制机制创新五个方面的提升路径,为加快蓝碳经济发展步伐、抢占海洋经济新赛道提供理论参考。

(林正静,胡晓珍.以红树林培育牵引蓝碳经济发展的驱动机制及优化路径研究—基于广东的案例分析[J].新经济,2025,(03):5-17.)

5. 大型海藻在蓝碳中的作用及研究进展

通过海洋活动及海洋生物捕获碳的活动称为蓝碳。大型海藻可通过光合作用吸收水体中的无机碳,并将其转化为有机碳,实现 CO_2 的固定。在生长过程中,藻体也会持续不断向水体中释放溶解性有机碳(DOC)和颗粒性有机碳(POC),对近海碳循环有着重要意义。大型海藻在蓝碳中的作用可通过碳核算来评估,即估算大型海藻的固碳量与储碳量,固碳量即为藻体本身碳含量与生长过程中释放的DOC、POC量的总和,储碳量为埋藏的碳量和惰性有机碳的和。本文从海洋碳酸盐系统、大型海藻光合作用及有机碳去向、碳核算、大型海藻蓝碳面临的挑战等四方面进行综述,以期后续研究提供参考。

(白泽文,刘正一,赵燕,等.大型海藻在蓝碳中的作用及研究进展[J].海洋湖沼通报(中英文),2025,47(02):193-201.)

6. “双碳”背景下海草床碳汇监测路径探索

海洋作为地球最大的活跃碳库,于碳循环和气候变化中发挥着重要作用。在此背景下,增加海洋碳汇、探索开展海洋生态系

统碳汇试点、建立蓝碳标准体系及交易机制等被写入相关政策文件中。目前，以海草床生态系统为代表的碳汇研究，主要是关于其固碳机理与强度、碳汇储量的核算，而在如何具体地开展海草床碳汇监测方面，尤其是对北方地区以鳗草为优势种的海草床而言，能够参考的信息十分有限。基于此，该研究综述目前海草床碳汇的相关研究进展，并结合辽宁省大连市典型海域海草床碳汇监测工作的具体实施开展探索性研究，通过探索和实践，初步建立一套系统性、科学化的监测流程，期望在积累海草床碳汇基础数据的同时，为其他城市开展海草床碳汇监测提供参考。

(王曼华,纪德钰,王伟,等.“双碳”背景下海草床碳汇监测路径探索[J].资源节约与环保,2025,(04):102-106.)

◆ 7. 红树林生态系统蓝碳碳汇来源研究进展

红树林是分布在热带与亚热带滨海潮汐地带的生态系统，具有储碳量大、固碳效率高、碳储存时间长等特点。红树林通过垂直碳交换、横向碳交换和沉积物碳埋藏等过程，将大气中的二氧化碳转化为长期储存的有机碳。本研究综述了红树林的碳循环机制、碳储量分布、甲烷排放的影响以及碳汇功能的时空变异性，指出红树林沉积物有机碳来源有内源碳和外源碳之分，系统区分沉积物有机碳的来源对评估海岸带蓝碳生态系统固碳功能至关重要，而且不同来源的有机碳其稳定性差异很大；此外，红树林的碳汇功能受多种因素影响，存在显著的空间和时间差异；同时，还讨论了不同方法用于解析红树林沉积物有机碳来源的重要性，包括 C/N 比

值法、稳定同位素法和生物标志物法等。未来研究应加强对红树林碳通量的长期观测、横向碳交换的量化以及外源碳和内源碳稳定性的深入研究,以提升红树林碳汇功能的评估准确性,为气候变化的缓解策略提供科学依据。

(李慧,覃国铭,王法明.红树林生态系统蓝碳碳汇来源研究进展[J/OL].第四纪研究,1-10.)

◆ 8. 蓝碳资源资产确认、计量及报表编制框架研究

蓝碳资源是我国生态价值极高的自然资源,在应对气候变化、保护生物多样性和维护生态平衡过程中发挥了重要作用。编制蓝碳资源资产负债表有利于合理开发、利用、保护和管理蓝碳资源,不断完善国家自然资源资产管理制度,促进海洋生态文明建设。然而,目前蓝碳资源资产存在底数模糊不清、分类标准不统一、监管难度大等诸多问题,制约了蓝碳资源的发展和蓝碳资源资产化管理水平的提高。鉴于此,结合我国蓝碳资源现状,对蓝碳资源资产纳入核算时的核算主体、确认条件、计量方法、报表编制等提出具体操作思路:(1)按照核算范围、对象和需求的不同,将核算主体归纳为宏观和微观两个层次;(2)在厘定蓝碳资源概念和资产确认条件的基础上,明确界定了蓝碳资源资产的概念。从生态系统的角度切入,根据核算内容和功能,将资产划分成红树林、盐沼、海草床、浮游植物、大型藻类以及贝类六大类,并预留空间以便后续补充;(3)阐述了蓝碳资源资产核算框架以及实物量、价值量的核算方法,将蓝碳资源资产价值量按照供给服

务、调节服务以及文化服务三个层面设置相关价值核算指标。(4) 尝试性构建了蓝碳资源资产核算表,以便评估蓝碳资源资产动态变化情况。研究旨在建立一套适合蓝碳的资源资产核算体系,为自然资源资产负债表、蓝碳资源资产负债表的编制提供借鉴。同时,加快推动蓝碳资源由生态价值向经济价值转化,实现资源的合理利用与生态环境可持续发展,为我国环境会计框架的搭建提供科学参考。

(宋江琼,李萍,刘超,等.蓝碳资源资产确认、计量及报表编制框架研究[J/OL].生态学报,2025,(15):1-9.)



9. 海洋碳汇国际进展研究及对我国的启示

海洋碳汇是地球生命支持系统的核心组成部分,其保护与科学利用对实现碳中和、维护生物多样性、保障人类可持续发展具有战略意义,同时,海洋碳汇维系着生物多样性,支撑渔业资源与数亿沿海居民生计,并催生了蓝碳交易、生态修复等可持续发展路径。强化海洋碳汇能力不仅是实现“双碳”目标的战略支点,更是深度参与全球气候治理、践行海洋命运共同体理念的关键路径。海洋碳汇的发展历程可以分为几个关键阶段:首先是概念的提出,随后是科学认知的逐步深化,最终这一议题被纳入政治讨论之中。在这一过程中,联合国下属机构、非政府组织以及各国政府都发挥了至关重要的作用。该研究通过系统分析国际海洋碳汇领域的前沿研究成果,凝练全球共识框架,解析关键政策路径与实施进展,并提炼国际实践经验,为完善我国海洋碳汇发展机

制、深度参与全球气候治理与海洋治理体系创新提供理论支撑与实践启示。

(张健,宋莎莎,冯哲,等.海洋碳汇国际进展研究及对我国的启示[J/OL].自然资源情报,1-7.)

◆ 10. 国内外海洋碳汇发展动态及中国战略取向

海洋碳汇是人类应对气候变化的有效和必然选择,对助力我国“双碳”目标有重大现实意义。论文考察国内外动态,以明晰我国海洋碳汇发展战略。研究发现:第一,海洋碳汇概念和内涵由滨海向远海拓展,国际对海洋碳汇应对气候变化具有重要作用方面已成共识,诸多国家正积极探索巩固扩大海洋碳汇;第二,我国发展海洋碳汇面临良好政策机遇,积累了探索性实践经验,但未形成海洋碳汇的系统政策,蓝碳项目方法学及交易机制方面是短板;第三,应从强化战略规划、巩固拓展存量和增量、加强基础和技术研究、探索交易机制等四方面,推动我国海洋碳汇可持续发展。研究可为构建我国海洋生态系统修复与保护的激励机制,促进蓝色经济高质量发展等提供参考。

(刘子飞,吉永晋,李飞,等.国内外海洋碳汇发展动态及中国战略取向[J/OL].海洋湖沼通报(中英文),1-11.)

◆ 11. 蓝碳经济与海洋生态文明协同发展研究

党的二十大报告提出要发展海洋经济,保护海洋生态环境,加快建设海洋强国,明确了我国海洋事业发展的任务,对于推进海洋经济与生态资源互融共生、实现海洋低碳可持续发展具有重

要指引作用。近年来中国海域生态环境持续恶化、海洋资源受损严重，发展后续动力显著不足，急需探索新的协同发展方式，其中主动设计蓝碳经济与海洋生态文明协同发展路径是实现生态经济化与经济生态化的有机统一、加强海洋强国建设以及有效应对气候变化带来的问题、满足人民对美好生活的向往的有益尝试。对此，在二者协同发展理论分析基础上，找到协同发展过程中存在的问题并提出相应对策，从而为推动蓝碳经济与海洋生态文明协同发展提供理论参考与实践指引。

(马文婷,高若.蓝碳经济与海洋生态文明协同发展研究[J].江苏海洋大学学报(人文社会科学版),2025,23(03):1-10.)

◆ 12. 《碳达峰碳中和蓝皮书（2025年）》

中国互联网协会网络绿色发展工委联合工业互联网产业联盟碳达峰碳中和工作组及30余家权威机构与企业，共同编制完成《碳达峰碳中和蓝皮书（2025年）》并正式发布。蓝皮书系统梳理全球“双碳”发展态势，整合政策、技术、产业和实践经验，为政府、行业及企业提供科学参考与行动指引。它立足系统性视角，剖析国际“双碳”战略动态与国内政策演进，提出“从局部优化到全链重构”的产业升级逻辑，为高碳行业提供脱碳方案。

《碳达峰碳中和蓝皮书（2025年）》显示：全球气候变化推动各国加速气候治理升级。IPCC第六次评估报告（2023）指出，全球温升已达1.1°C以上，极端天气经济损失年均超3000亿美元，迫使各国进入减碳政策“超频升级”周期。这一轮全球政策迭代表

明，碳中和竞赛已从减排目标比拼转向负碳技术主导权争夺，各国正通过立法强制、资本杠杆与产业联盟构建新型气候治理壁垒，重塑全球经济秩序。

双碳政策加码实施促进全球新能源产业高速发展。国际能源署（IEA）《2024 年全球能源投资报告》显示，2024 年全球清洁能源投资突破 2.4 万亿美元（约为化石能源投资的 2.5 倍），技术突破与地缘博弈双重驱动下，各国竞速布局未来能源主权。这一轮以“绿电替代-负碳技术-循环经济”为内核的产业爆发，正重塑全球能源地缘格局并为碳中和进程注入确定性动能。

地缘政治博弈与经济复苏压力引发全球碳中和进程震荡。2024 年多国政策呈现战略回摆，这种集体性政策倒退已产生连锁反应——全球碳价体系出现割裂，发展中国家清洁技术引进进程延缓，国际气候治理陷入“高承诺—低执行”的信任危机。深层次矛盾在于，碳中和目标与短期经济利益的结构性冲突在能源通胀周期中被急剧放大，政治短视正侵蚀《格拉斯哥气候公约》奠定的多边协作根基。

欧美绿色贸易壁垒加速升级，对中国高碳产业链形成系统性压制。中国出口导向型产业被迫加速“绿色断链”——头部企业三年内需投入至少 8% 营收用于碳足迹管理体系建设，而中小型供应商因无力承担核查成本面临订单流失。此轮博弈标志着全球贸易规则从“关税壁垒”向“碳壁垒”的范式迁移，倒逼中国制

造向“零碳竞争力”跃迁。

我国双碳政策密集出台，行业和地方积极探索。在国务院统筹引领下，国家发展改革委、生态环境部、工信部、住建部等多部门协同发力，央地联动形成政策矩阵，围绕双碳战略纵深推进，构建起多维立体的政策框架。立足经济社会系统性绿色变革，通过健全碳排放双控制度、强化数字技术赋能绿色转型等创新机制，加速构建资源集约型空间格局、培育绿色低碳产业体系、革新清洁化生产模式和倡导简约适度生活方式，推动我国生态文明建设向更深层次，更广维度迈进。

表 1 2024 年全局性主要双碳政策列表

时间	相关政策	主要内容
2024 年 3 月	国务院印发《推动大规模设备更新和消费品以旧换新行动方案》	实施设备更新、消费品以旧换新、回收循环利用、标准提升四大行动，大力促进先进设备生产应用，推动先进产能比重持续提升，推动高质量耐用消费品更多进入居民生活，畅通资源循环利用链条，大幅提高国民经济循环质量和水平。
2024 年 7 月	中共中央 国务院印发了《关于加快经济社会发展全面绿色转型的意见》	指出协同推进降碳、减污、扩绿、增长，深化生态文明体制改革，健全绿色低碳发展机制，分阶段提出了 2030、2035 年发展目标。
2024 年 8 月	国务院办公厅印发《加快构建碳排放双控制度体系工作方案》	要求将碳排放指标及相关要求纳入国家规划，明确了“十五五”时期要建立强度控制为主、总量控制为辅的碳排放双控制度，建立碳达峰碳中和综合评价考核制度，强调要如期实现碳达峰目标。
2024 年 8 月	中央网信办、国家发展改革委、工信部等九个部门印发《数字化绿色化协同转型发展实施指南》	提出了“323”总体框架，指出要发挥政府、行业协会和企业三类主体作用，加快数字产业绿色低碳发展和以数字技术赋能九个重点领域的绿色化转型的两大发力方向，要积极开展双化协同

	基础能力、融合技术体系、融合产业体系三方面布局。
--	--------------------------

部委形成政策合力，系统部署减污降碳协同治理工作。协同增效是积极稳妥推进碳达峰碳中和的重要任务举措，2024年初，全国生态环境保护大会对推动减污降碳协同增效作出战略部署，要求开展多领域、多层次减污降碳协同创新试点，随后出台的《中共中央 国务院关于全面推进美丽中国建设的意见》进一步明确了减污降碳协同增效的相关举措和安排。此后，生态环境部、工信部、国家发展改革委、财政部等多个国家部委纷纷联合制定政策，部署了源头防控、突出重点领域、开展模式创新、优化环境治理等任务分工，从监管、制度、标准、能力方面形成合力，系统推进减污降碳扩绿增效相关领域工作落实。

表 2 2024 年部委联合制定主要实施方案、意见列表

时间	相关政策	主要内容
2024 年 7 月	生态环境部、工信部、国家发展改革委《关于建立碳足迹管理体系的实施方案》	为加强碳足迹的管理，2024 年 6 月等多部门联合印发，拓展推广产品碳足迹应用场景，推动重点行业企业先行先试，形成推广产品碳足迹合力和共建、共担、共享工作格局。
2024 年 8 月	国家发展改革委、工信部财政部等多部委印发《关于统筹节能降碳和回收利用加快重点领域产品设备更新改造的指导意见》	统筹节能降碳和回收利用，加快重点领域产品设备更新改造，对加快构建新发展格局、畅通国内大循环、扩大有效投资和消费、积极稳妥推进碳达峰碳中和具有重要意义。
2024 年 8 月	国家发展改革委、市场监管总局、生态环境部联合发布《关于进一步强化碳达峰碳中和标准计量体系建设行动方案(2024-2025 年)的通知》	提出要发布产品碳足迹量化要求通则国家标准，统一具体产品的碳足迹核算原则、核算方法、数据质量等要求，加快研制新能源汽车、光伏、锂电池等产品碳足迹国家标准，服务外贸出口新优势，同时开展电子电器、塑料、建材等重点产品碳足迹标准研制等。

2024年9月	市场监管总局等四部门印发《关于开展产品碳足迹标识认证试点工作的通知》	通过开展试点，引导政府、行业、企业等各层级力量广泛参与产品碳足迹标识认证工作。优先聚焦市场需求迫切、外贸压力严峻、减排贡献突出、数据收集完整、产业链供应链带动明显的锂电池、光伏产品、钢铁、纺织品、电子电器、轮胎、水泥、电解铝、尿素、磷铵、木制品等产品。
---------	------------------------------------	--

(工业互联网产业联盟碳达峰碳中和工作组，中国互联网协会网络绿色发展工作委员会，2025.碳达峰碳中和蓝皮书(2025年)[EB/OL].北京:工业互联网产业联盟.)

◆ 13. 基于机器学习的红树林动态变化检测

红树林生长的地貌环境可分为河流主导型、潮汐主导型、波浪主导型、河流一波浪复合型或溺谷型。河流主导型、潮汐主导型河口的红树林已得到广泛研究，而波浪主导型河口的红树林却相对较少受到关注。本研究利用基于像素级时间模型拟合技术的连续变化检测与分类(CCDC)算法，对典型波浪主导型河口一中越跨界的北仑河口的红树林进行了综合分析。运用连续变化检测与分类算法，结合782景Landsat卫星影像(涵盖Landsat5、7、8)，提取时间序列光谱特征以识别红树林范围。融合地形(SRTM数据)、气候(WorldClim数据)等辅助数据，通过随机森林分类器训练4305个样本，验证精度达91%(Kappa系数0.88)。同时，结合浪高、潮流、泥沙输移等水动力数据，以及北海站海平面上升数据(1980-2021年)，综合分析红树林变化的驱动机制，将研究区域划分为越南西部、中部、中国境内东部三部分，量化各区域红树林面积消长与空间迁移特征。

结果显示, 1986年至2000年期间, 北仑河口红树林总面积增长了11.2%, 2000年至2022年略有下降。在过去37年中, 共损失了568.4公顷红树林, 主要集中在河口西部的向陆一侧; 西部障壁岛后方以及河口的中部和东部红树林面积稳定增长, 整个研究期间变化率约为2公顷/年, 共增长688.1公顷红树林。由此可见, 东南向的波浪限制了西部红树林的向海一侧增长, 而潮汐和波浪的共同作用使沉积物再悬浮并输送至河口, 为红树林提供了生长栖息地。障壁岛可作为缓冲带减少海洋能量, 为红树林生长提供庇护环境。尽管海平面以每年3.38毫米的速度上升, 但对北仑河口红树林的向海一侧增长影响并不显著。土地用途转为水产养殖池塘是导致红树林损失和破碎化的主要驱动因素。本研究为典型波浪主导型河口红树林的动态变化提供了深刻见解, 可为全球范围内的红树林保护与恢复策略提供重要参考。

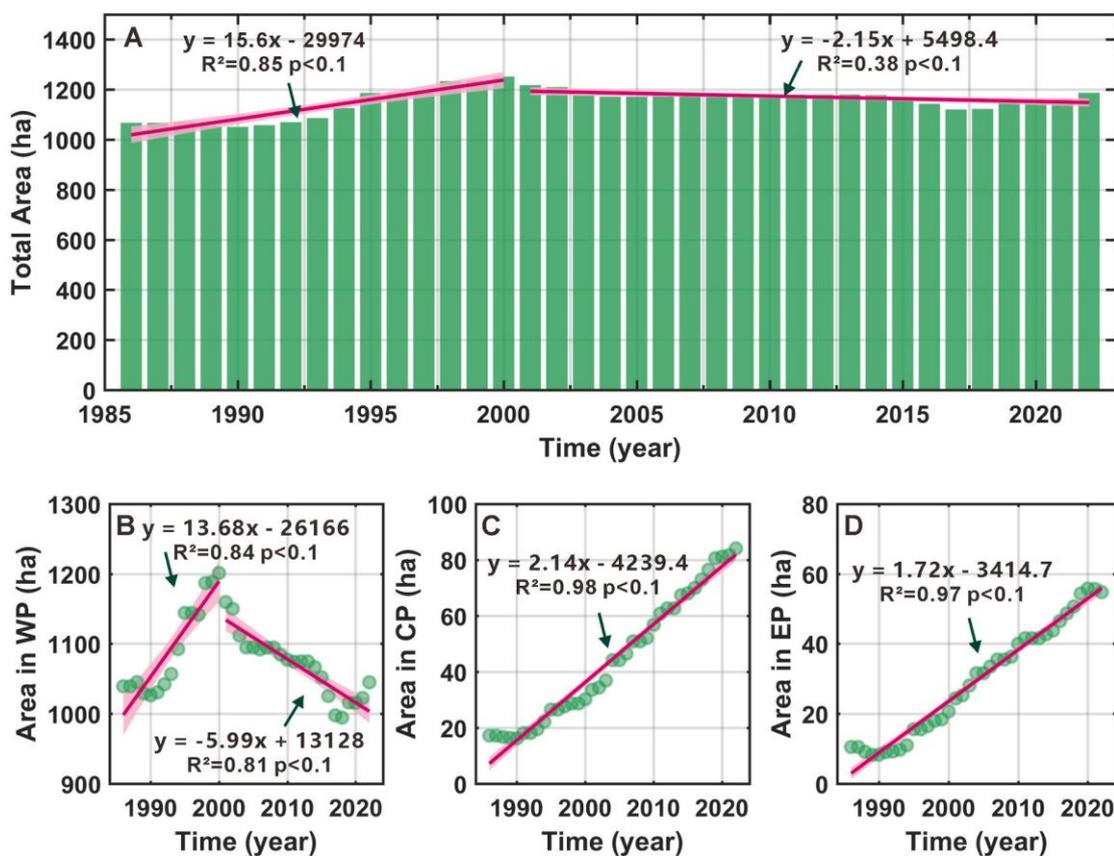


图 1 1986-2022 年北仑河口及其分区域的红树林总面积
(Chuqi Long,Zhijun Dai,et al.Machine learning-based detection of dynamic changes in mangrove forest.Ocean and Coastal Management, 2025,266,107696.)

◆ 14. 红树林区域高精度入侵风险预测模型

为治理互花米草入侵，我国实施《互花米草防治专项行动计划（2022—2025 年）》，力争 2025 年各省份清除率达 90% 以上。开展红树林面对互花米草入侵的风险识别，对保障“互花米草防治专项行动”成效、为红树林保护管理决策提供依据至关重要。研究利用无人机（UAV）遥感数据和可解释的机器学习模型，在三种样地尺度（10m、20m、30m）下对九龙江口红树林湿地开展分析，揭示红树林景观格局对互花米草覆盖的关键影响因素，构建高精度入侵风险预测模型。

研究方法包括：(1) 无人机影像预处理与植被分类：使用大疆 Terra 软件平台进行拼接和几何校正等预处理步骤，获取正射影像、数字表面模型 (DSM) 和植被指数层，用于影像分类。(2) 景观指数提取：利用 Python 软件，采用可解释的随机森林-决策树模型，基于前一步提取的图层对红树林和互花米草进行分类，通过不断调整参数实现最优结果。为模拟实地采样，将分类后的影像划分为 $10\text{m} \times 10\text{m}$ 、 $20\text{m} \times 20\text{m}$ 和 $30\text{m} \times 30\text{m}$ 的网格单元，仅保留同时包含红树林和互花米草的网格。计算每个网格单元在不同空间粒度下的红树林景观格局指数和互花米草覆盖度，并将网格内数据编码为表格形式，用于后续统计分析和模型构建。(3) 互花米草覆盖度评估模型构建：对前一步获得的表格数据进行预处理，使用方差膨胀因子 (VIF) 和 Pearson 相关系数选择与互花米草覆盖度高度相关且冗余度低的红树林特征。将从区域 I 中选择的特征与互花米草覆盖度数据按 7:3 的比例划分为训练集和测试集，使用三种树模型 (XGBoost、随机森林、Catboos) 和 Stacking 集成模型构建红树林特征与互花米草覆盖度的评估模型。将区域 II-IV 设置为验证集，选择评估指标体系中准确性最高的模型作为最终模型。(4) 模型解释与关键因素识别：基于选定的最终模型，使用 SHAP 模型对每个采样单元的互花米草覆盖度结果进行解释，获取红树林特征的 SHAP 值。对每个单元红树林特征的 SHAP 值进行统计分析，确定各特征的相对重要性和分布模式，从而识

别相关特征是否存在阈值。

主要发现包括：（1）基于无人机大数据构建的可解释机器学习模型能够通过红树林景观格局评估互花米草覆盖度。验证集在三种样地尺度下均取得良好效果，调整决定系数大于 0.974，平均绝对误差（MAE）小于 4.8，均方根误差（RMSE）小于 7，但对称平均绝对百分比误差（SMAPE）指标相对较差（大于 20%）。

（2）在所有三种样地尺度下，红树林覆盖度、红树林树高、平均斑块周长、斑块密度、景观形状指数和边缘密度对红树林抑制互花米草覆盖度具有显著影响，但这些指标的相对重要性随空间粒度的增加而变化。（3）红树林覆盖度是抑制互花米草生长的关键因子，红树林覆盖度为 43%-62% 时，开始抑制互花米草的生长，互花米草覆盖度显著下降且波动范围减小。当覆盖度超过 65% 时，互花米草生长基本受限。（4）红树林景观结构影响入侵风险，高边缘密度和低斑块密度有助于减少入侵；（5）基于 SHAP 解释模型可视化显示红树林覆盖度对互花米草的非线性影响，有助于决策者精准调整红树林修复策略。

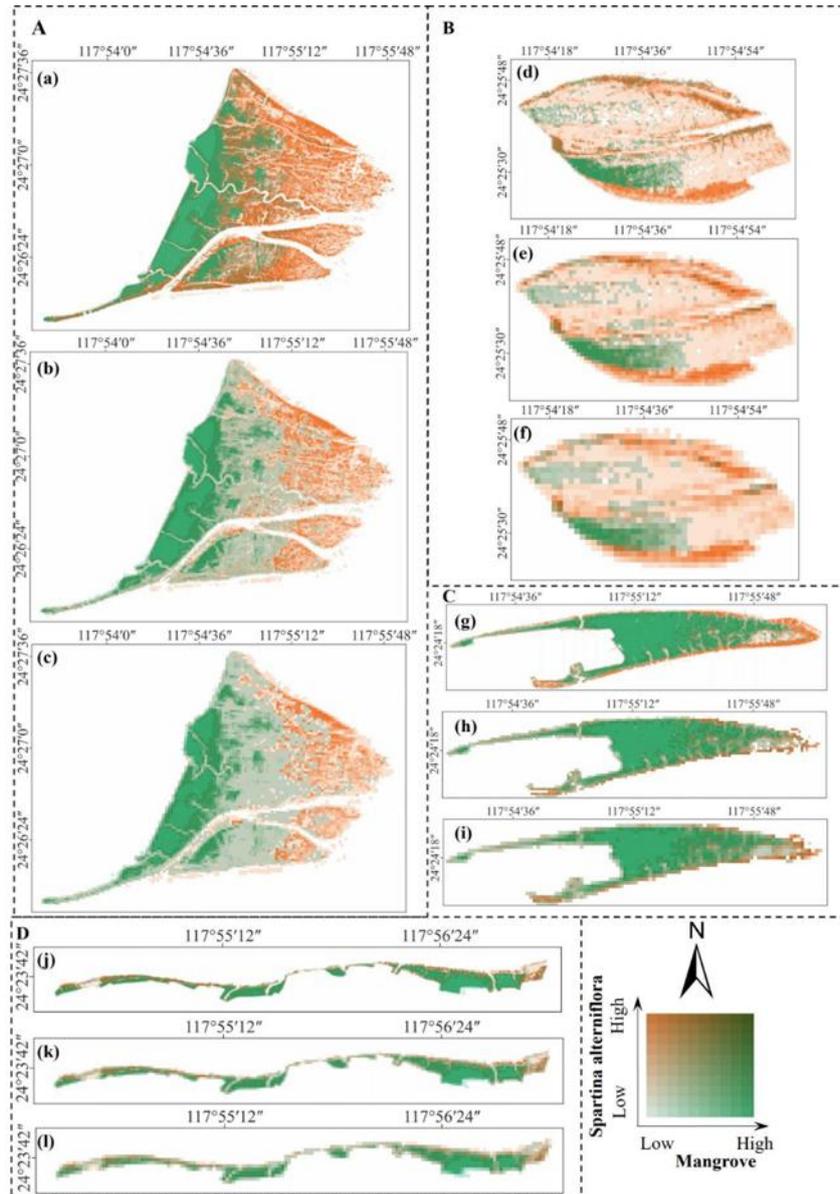


图 1 九龙江口研究区域红树林与互花米草覆盖度空间分布图

(Zhiyi Kan, Bin Chen, Weiwei Yu, Shunyang Chen, Guangcheng Chen. (2025).

Risk identification of mangroves facing *Spartina alterniflora* invasion using data-driven approaches with UAV and machine learning models. *Remote Sensing of Environment*, 2025, 319: 114613.)

◆ 15. 滨海蓝碳评估现状：理论、方法及碳减排增汇途径

滨海湿地具有强大的固碳速率和储碳功能，明确滨海湿地碳汇的评价方法，梳理其中存在的问题是实现滨海湿地蓝色碳汇的精准评估、理解陆地—滨海—海洋生态系统间碳平衡关系，以及推

动“双碳”目标的重要内容。主要内容如下：

1. 详细梳理了滨海湿地碳循环过程，主要包括：光合作用吸收固定 CO_2 ；土壤自然沉积对有机碳进行封存； CO_2 和 CH_4 气体向大气释放；滨海湿地植被和土壤向周围环境外溢碳 (Outwelling) 并向海洋输送等。

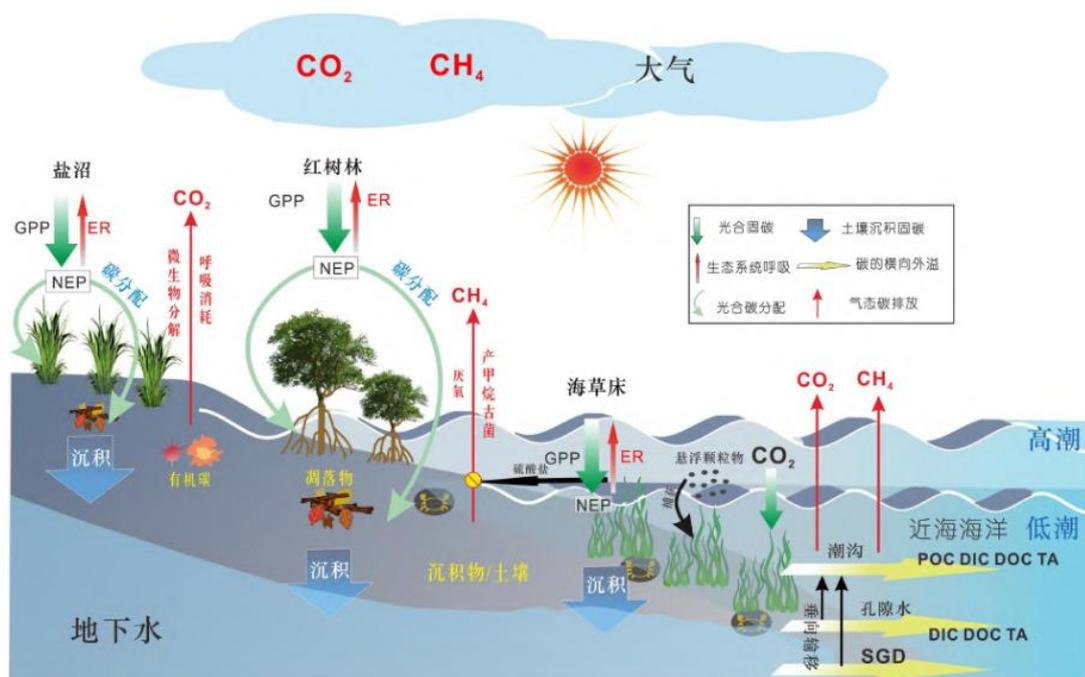


图 1 滨海湿地碳循环及源汇平衡示意图

2. 通过建立“黑箱模型”来阐述在不同理论假设条件下的滨海蓝碳的评价技术途径，即生态系统光合固碳，以及沉积物或土壤碳埋藏。

3. 滨海湿地的垂向碳释放和海洋的横向碳交换是对滨海湿地总碳汇 (GPP) 的抵消，研究认为如果忽视这些碳源汇过程的平衡关系，将影响滨海蓝碳评估结果的准确性。因此，在黑箱模型的基础上，纳入了一些重要的碳收支过程，如横向外溢，树干、

沉积物和潮汐表层水体的 CH_4 释放等，建立白箱理论下的“净生态系统碳平衡”模式 (NECB)，以优化滨海湿地碳汇评价体系。

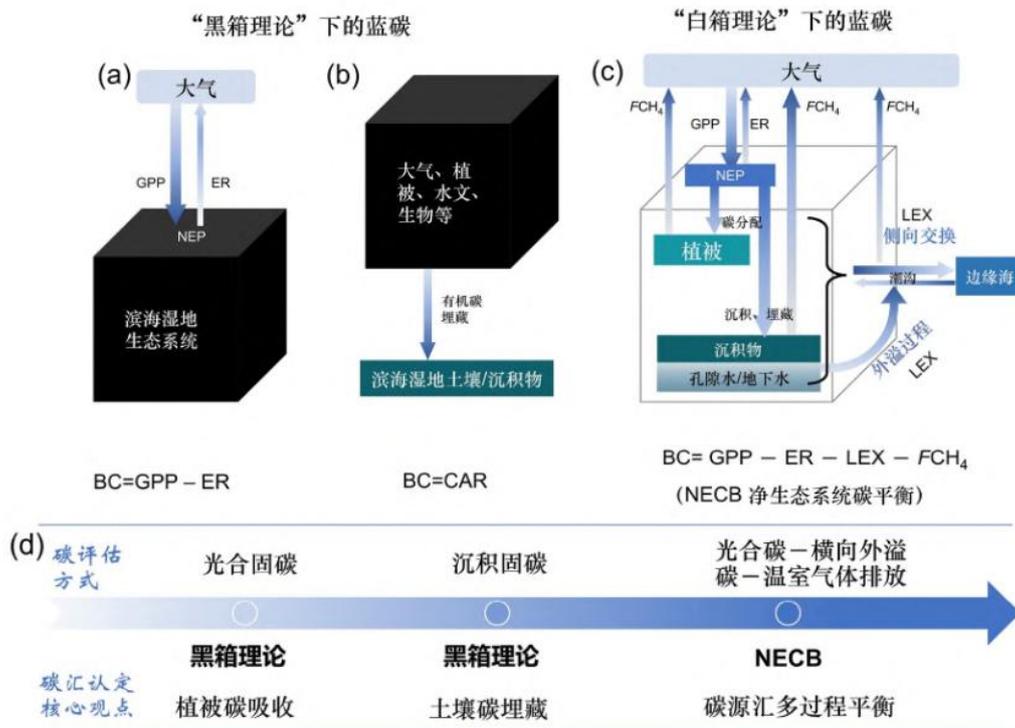


图2 不同理论下的滨海湿地蓝色碳汇

4. 滨海湿地当前的定义模糊，其在确定海陆的边界方面具有很大的不确定性。这要是因为在使用遥感解译时，大多使用的是光谱学的定量标准，从而造成实际操作层面与理论定义层面脱耦。研究指出需要结合土壤质地和水体盐度等各种量化的指标数据库，将传统定义和遥感量化数据相结合，来重新总结滨海湿地的定义。

5. 研究提出了七种有效巩固和提升滨海蓝色碳汇的措施。包括：水文联通性修复，建立入海河流污染物截留区，建设生态海堤等技术措施；提升群落物种多样性；人工栽种和播种；富碳生

物质添加；盐度调节等技术措施。

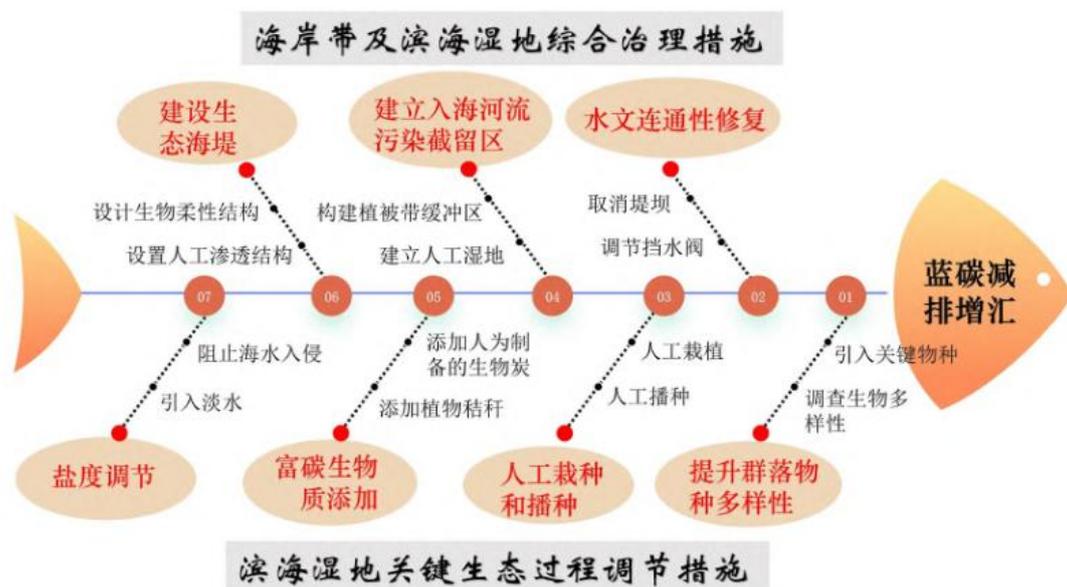


图3 滨海湿地减排增汇技术体系

6. 文章对未来的研究做出了如下展望：①加强滨海湿地沉积物与海洋之间横向碳交换研究；②推动滨海蓝碳涡度通量监测网络的建立；③持续开展沉积物碳埋藏和碳存储的量化研究；④开展各类生态恢复工程和修复手段对滨海湿地蓝碳碳汇的影响机制和效果评价研究；⑤关注滨海地区其他生态系统的碳源汇特征；⑥弥补蓝碳循环中的知识空白以及遥感方法学上的挑战。

(王继龙,于贵瑞,丁虎,等.滨海蓝碳评估现状:理论、方法及碳减排增汇途径[J/OL].中国科学:地球科学,1-16.)

16. 机器学习在量化滨海蓝碳储量研究中的应用进展

科学量化滨海蓝碳生态系统(红树林、盐沼和海草床)碳汇能力是制定基于自然解决方案缓解全球气候变化措施的基础和前提。近年来多源遥感数据与机器学习技术的结合应用领域

日益广泛，然而缺乏对滨海蓝碳量化方法和技术体系的比较与系统评述。梳理了近五年多源遥感数据结合机器学习在蓝碳储量量化研究中的应用现状，在归纳总结量化蓝碳的分类与预测路径基础上，分析了不同遥感数据和机器学习算法的适用性，聚焦分类与预测路径的模型表现及量化指标。结果表明，分类与预测途径难以完全替代彼此，分类路径适用于缺乏足够碳储量数据情形下快速量化蓝碳实现空间化，而预测路径适用于精确量化碳储量的连续变量值，在未来需发展“先分类、再预测”整合路径以提高结果精度与研究效率；提出考虑气候变化、人类活动干预以及自然生态系统动态等多重因素，发展蓝碳时空动态监测体系，以支持滨海生态系统的可持续管理，为实现可持续发展目标提供科学支撑。

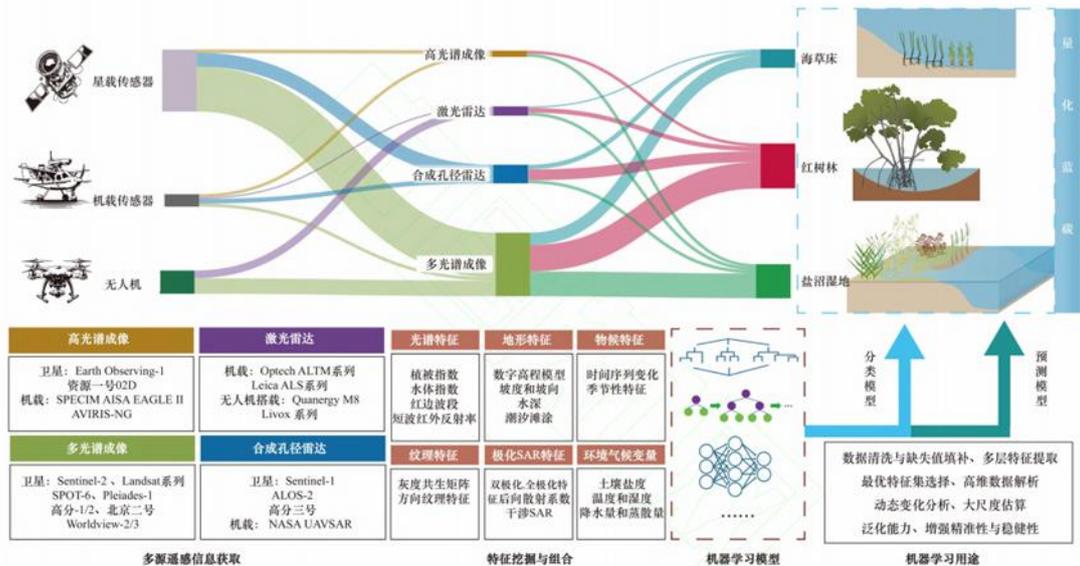


图1 机器学习利用多源遥感传感器平台与成像技术在量化滨海蓝碳中的应用框架

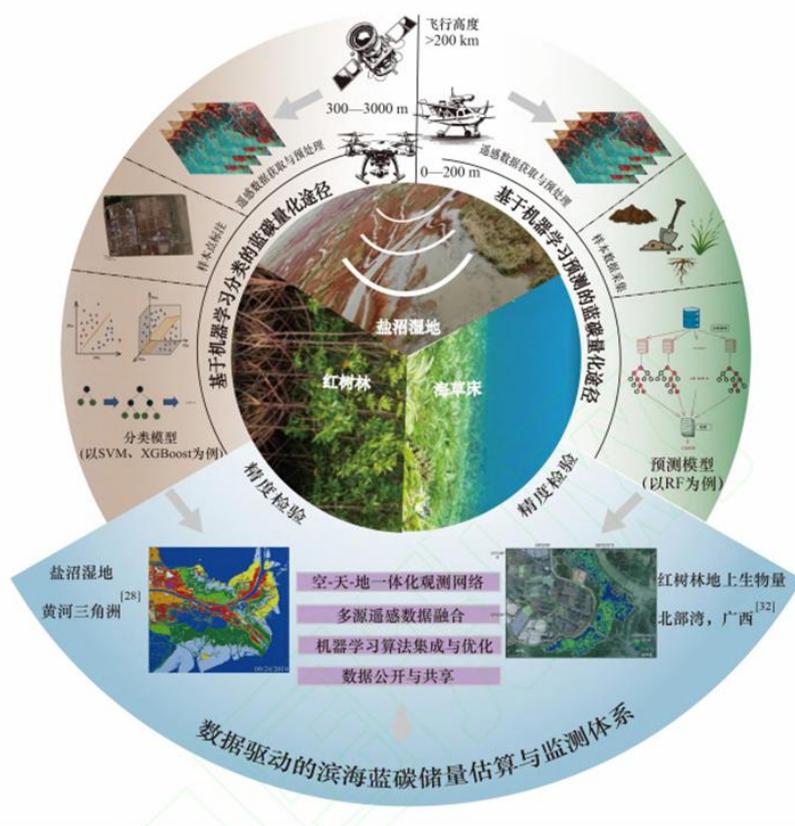


图2 基于机器学习的滨海蓝碳储量量化技术流程

(康濒月,李佳旭,宁园力,等.机器学习在量化滨海蓝碳储量研究中的应用进展 [J/OL].生态学报,2025,(10):1-15.)

◆ 17. 基于遥感识别技术漳江口红树林的蓝碳评估

红树林是海洋蓝碳的重要组成部分。在我国的“双碳”战略背景下,开展红树林长期的分布监测及其蓝碳评估具有重要作用。随着经济的快速发展,红树林的生存空间不断缩小,亟须采取科学有效的手段进行保护。而红树林的生存位置致使仅利用传统的监测手段无法实现全面的监测,且耗时耗力。目前,遥感技术是获得红树林精准定位、实现长期、实时的主要监测手段。本研究采用2010—2021年福建漳江口的Landsat卫星遥感影像,利用红

树林在近红外、红、绿波段合成的假彩色合成方式上呈现出深红色的特征，采用支持向量机（SVM）方法反演出了该地区的红树林分布。基于高分一号影像数据分类结果作为依据对 Landsat 影像数据红树林分类结果建立误差矩阵评价红树林反演精度，将分类后的遥感影像数据导入 ArcGIS 软件，利用其数据转换功能将分类后的数据转为矢量文件。利用其数据统计功能将矢量文件中的面积进行量化，以获得研究区域的红树林和互花米草分布及面积数据，并分析随时间的红树林面积变化及互花米草对其变化的影响。在此基础上，采用市场价值法、生产成本法、替代价值法、影子工程法、条件价值法等方法评估漳江口红树林和互花米草碳汇能力和生态系统服务价值。

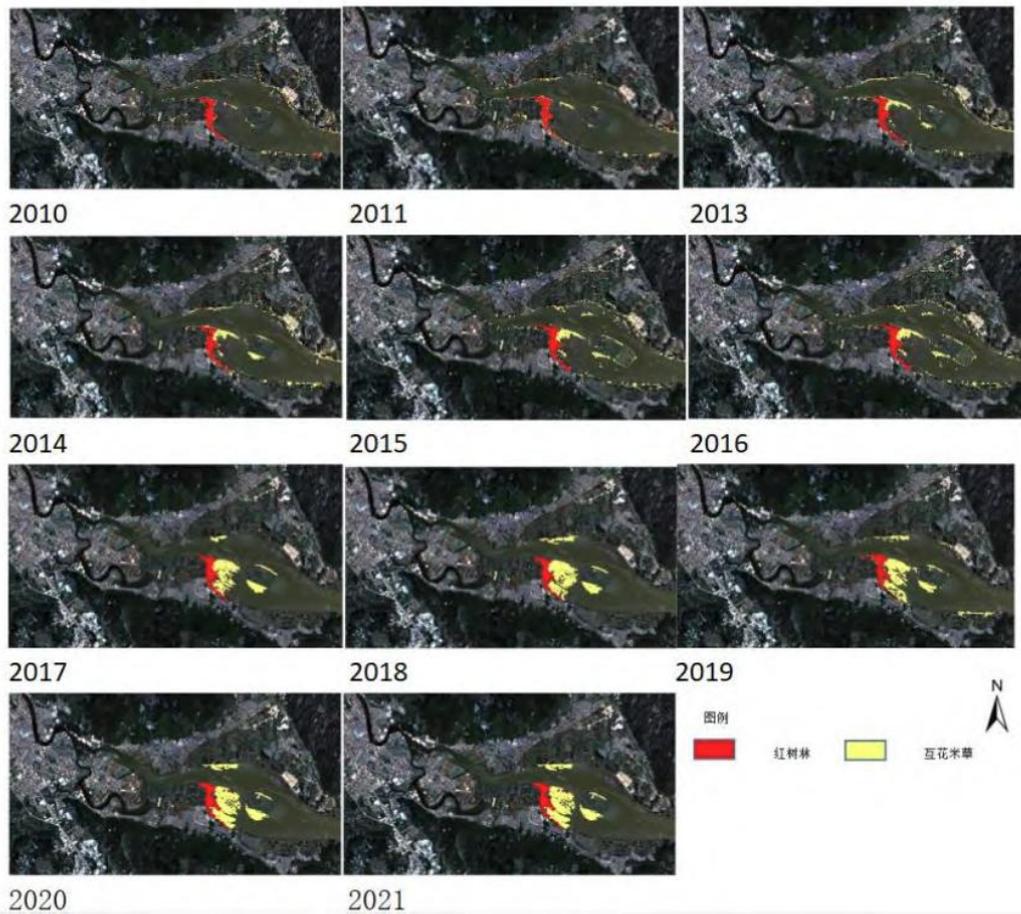


图 1 研究区红树林和互花米草历年分布图

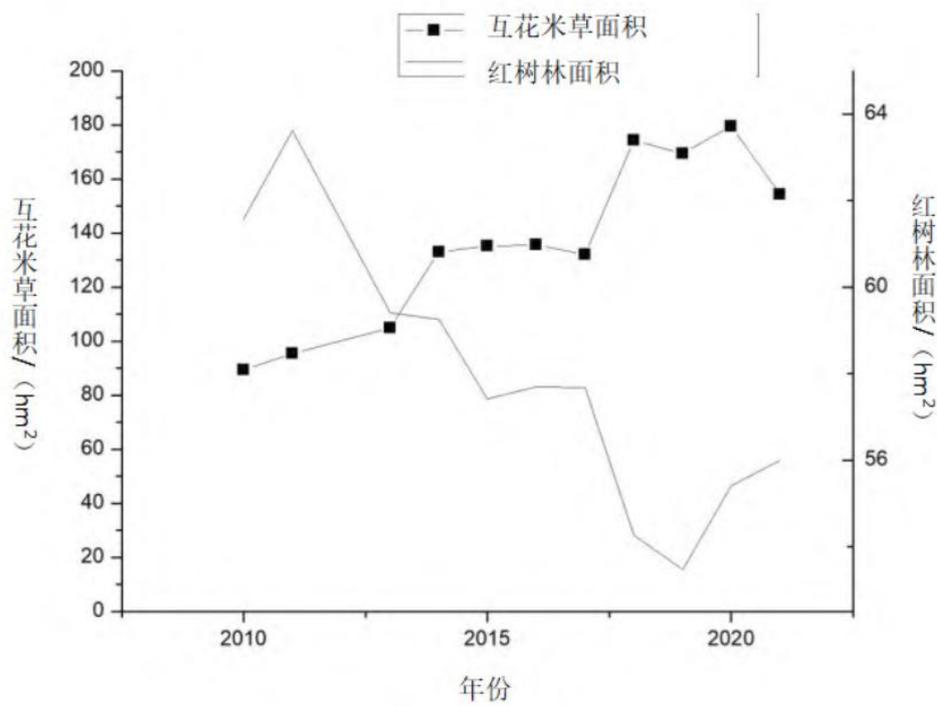


图 2 研究区红树林及互花米草占地面积变化图

结果表明：（1）互花米草的入侵抑制了红树林的生长，两者生长面积呈现出明显的负相关态势。具体表现为：2010—2021 年红树林面积呈现先减少再增加的趋势，但整体呈现减少趋势；而 2010—2021 年漳江口保护区的互花米草面积呈现先急剧增加后略有减少趋势。（2）2021 年漳江口红树林、互花米草的碳汇能力分别为 332.96、924.92t/a，其中，红树林、互花米草的沉积物碳汇和植物碳汇能力占主导作用，底栖动物碳汇能力相对较弱。2021 年红树林生态系统的服务总价值为 20366.6 万元/a。

（袁姣，于华明，徐昕，等. 基于遥感识别技术漳江口红树林的蓝碳评估[J/OL]. 海洋湖沼通报(中英文), 1-10.）

◆ 18. 1990 年以来长江口及邻近海岸盐沼湿地蓝碳时空格局

全球变暖加剧背景下，滨海盐沼因其高效的固碳能力而备受关注。近年来我国滨海盐沼正面临物种入侵和围垦扰动的双重胁迫，碳汇功能面临严峻挑战。本研究聚焦长江口及邻近海岸盐沼湿地，结合野外调查、室内分析和遥感反演，定量评估了盐沼湿地不同岸段、不同群落碳密度动态和蓝碳储量时空分异特征。通过遥感技术获取 1990、2000、2010 和 2022 年的 Landsat 卫星影像，选取归一化植被指数（NDVI）、差值植被指数（DVI）和归一化水体指数（NDWI）等植被指数，以及对比度、相关性、均值、二阶矩、熵、非相似性、方差和协同性共 8 个纹理指标，利用 ENVI 5.6 中的随机森林分类算法进行遥感影像分类，以野外实测的植被类型样点为训练样本，提取各样点对应的光谱指数和

纹理特征作为分类特征变量，构建分类器。经分类处理后，获得1990、2000、2010和2022年四期的芦苇、海三棱藨草、互花米草等盐沼植被空间分布，四期影像分类的总体精度均在80%以上。同时，通过2021年9月至2022年11月在长江口盐沼湿地的野外调查，明确了芦苇、海三棱藨草、互花米草3种优势作物的植被盖度、高度等情况和地上、地下生物量、沉积物碳库，结合遥感反演的植被面积，获得长江口盐沼湿地蓝碳总储量。

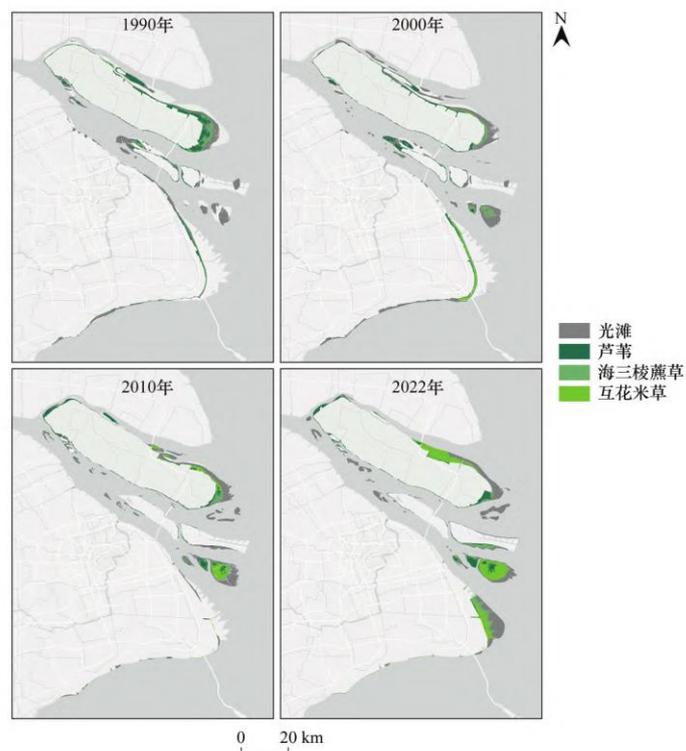


图1 长江口1990、2000、2010和2022年盐沼植被分布

结果表明：（1）1990—2022年，长江口盐沼面积先减少后增加，入侵互花米草逐渐取代芦苇成为优势种，到2022年其面积已占长江口盐沼总面积的53.33%。（2）互花米草长期入侵的岸段，其生物量和沉积物碳密度显著高于本土芦苇和海三棱藨草群落。

(3) 2022年, 长江口盐沼湿地总碳储量为 (2794.84 ± 691.04) Gg C, 其中, 互花米草湿地贡献量超过一半(57%)。从碳储量区域差异来看, 崇明岛、九段沙和南汇东滩是长江口蓝碳储量的热点岸段。(4) 互花米草扩张已成为1990年来长江口蓝碳格局演变的关键因子, 其碳储量从 27.88×10^4 t(2000年)增加至 160×10^4 t(2022年), 而同期芦苇、海三棱藨草碳储量在33年间分别下降了32%和8%。研究结果深化了对长江口盐沼蓝碳时空格局演变规律的认识, 可为评估河口区域湿地的碳汇潜力、制定外来入侵物种治理和修复策略提供科学支撑。

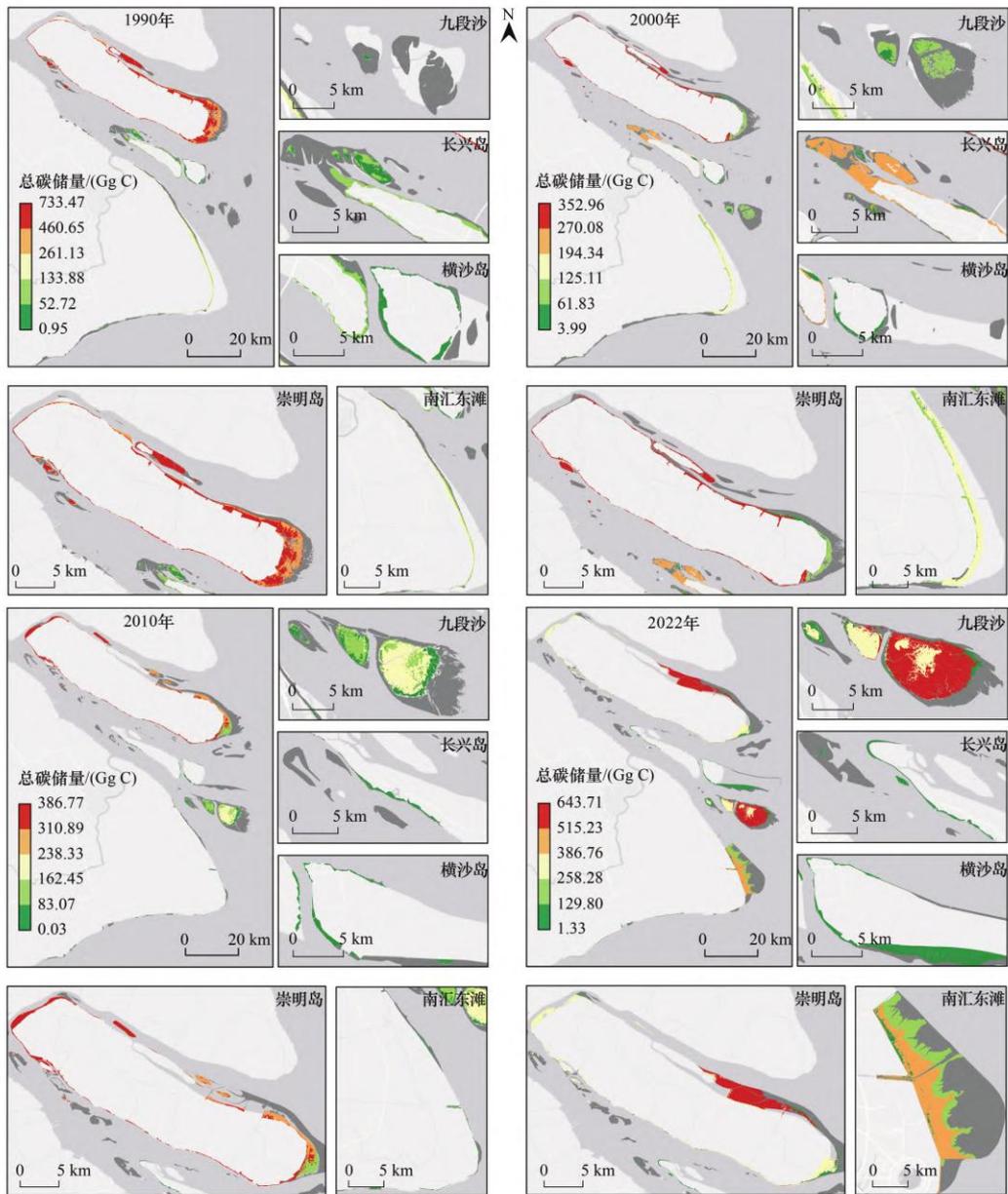


图2 长江口1990—2022年盐沼蓝碳储量空间格局
(赵文祯,林世伟,张正龙,等.1990年以来长江口及邻近海岸盐沼湿地蓝碳时空格局[J].生态学报,2025,45(07):3111-3124.)

19. 广东湛江红树林湿地及蓝碳变化的影响研究

红树林湿地是对全球碳循环有着重要影响的蓝碳生态系统，其碳储存功能对缓解温室气体导致的气候变化有着积极作用。目前已有针对不同地区或不同优势物种的红树林湿地碳储量估算研

究，但红树林湿地变化对蓝碳的影响关系尚不清晰。本研究以广东湛江红树林自然保护区高桥核心区及其周边区域为研究区，利用 6 期陆地卫星（Landsat）遥感影像，使用非监督分类法中的 ISODATA 聚类算法，结合目视解译与已有资料，识别研究区内红树林湿地、水体、其他类别等土地类型。通过对比归一化植被指数（NDVI）以及土地类型变化矩阵，进行了 1977—2017 年间红树林湿地变化的动态分析。

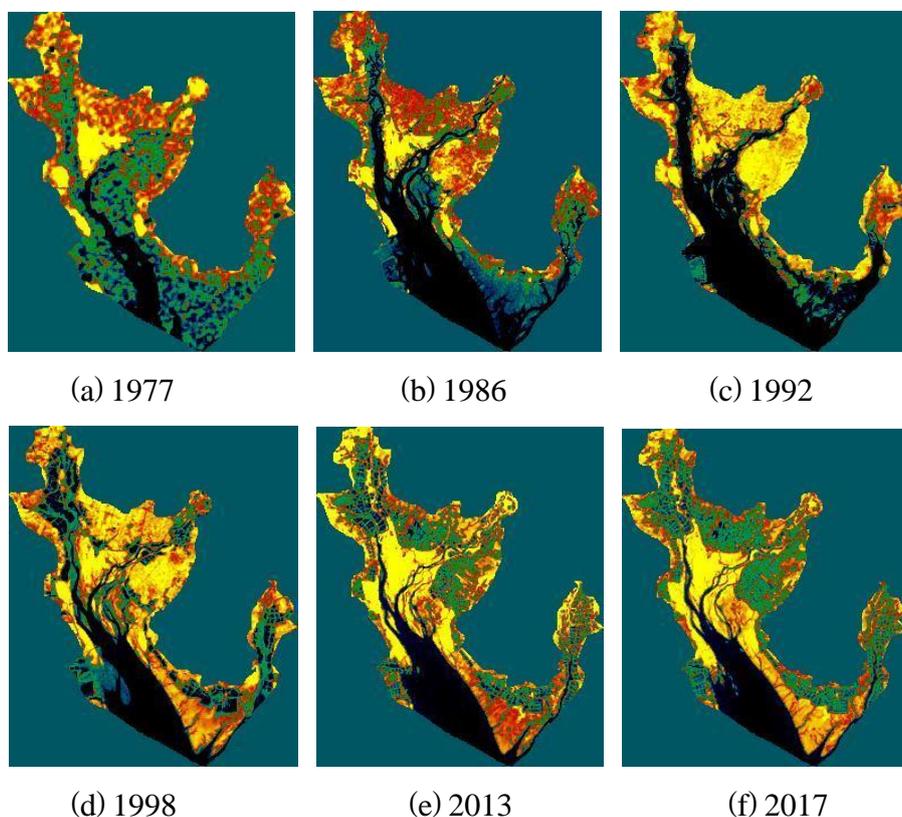


图 1 有机碳和总氮累积速率的时间分布

结果表明，（1）高桥研究区红树林湿地的变化主要由人为因素造成的土地利用类型改变引起。红树林湿地在 1986 年以前经历了退化过程，在 1990 年省级自然保护区建立以后逐渐得到恢复，在 1998 年有较大增长，此后保持相对稳定，湿地规模在 2013—

2017年趋于稳定。但污染物排放、城市建设以及管理欠缺等问题仍然在威胁着其生态环境。(2)红树林湿地自然资源丰富但脆弱性较高,对缓解温室气体排放带来的全球气候异常有着重要作用。自然和人为因素都对高桥研究区红树林湿地的变化产生着影响,但近几十年来的湿地退化更多归咎于人类活动对环境的破坏,在及时采取管理修复措施后,湿地资源得到了一定程度的恢复。(3)海岸带主要依靠红树林湿地等生态系统捕获碳并将碳储存在地上生物量与土壤沉积物中,根据估算高桥研究区碳储量的红树林湿地面积弹性系数平均约为1.0008,由于红树林湿地的储碳能力远大于水体及其他土地利用类型,因此红树林面积的变化对蓝色碳汇起到决定性影响。

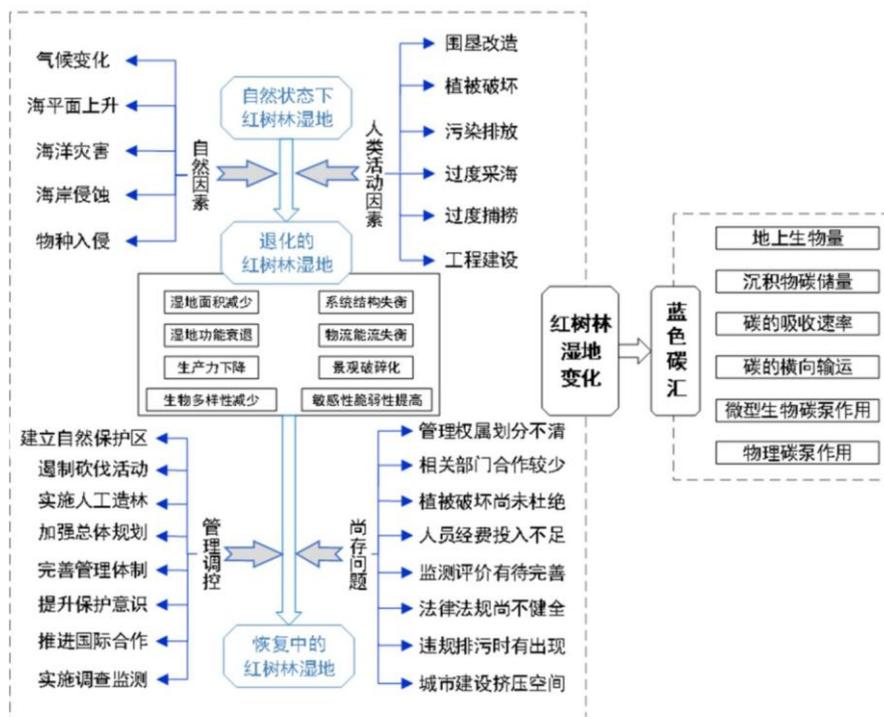


图2 研究区红树林湿地变化及其对蓝色碳汇的影响
(吕凌云, 殷克东, 吴克俭, 等. 广东湛江红树林湿地及蓝碳变化的影响研究 [J/OL]. 海洋湖沼通报(中英文), 1-11.)

20. 广东省海丰红树林湿地 140 年来有机碳累积历史和来源解析

红树林保护与修复是应对气候变化的重要自然解决方案 (NbS), 然而针对生态修复后红树林湿地沉积物有机碳储量时空演变特征及其驱动机制的研究仍存在不足。本研究在广东省海丰红树林湿地采集了 1 根 1m 长的沉积物柱芯 HF21-Man1, 并以 1 cm 为分辨率切割, 基于 CRS 模式的 ^{210}Pb 同位素定年技术构建沉积物柱芯自 1885-2021 年的年代序列, 采用稳定同位素溯源软件 IsoSource, 构建端元混合模型等方法, 分析基本理化指标、碳氮含量、元素比值 (C/N) 及其稳定同位素 ($\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$), 系统解析了人工红树林沉积物有机碳储量演变规律、累积动力学特征及其碳源贡献。研究通过构建百年尺度的高分辨率人工红树林湿地碳累积记录, 为评估红树林生态修复的固碳效益提供了实证依据, 为制定和完善碳中和政策提供了重要参考, 同时指出需要建立长期且全面的监测体系以准确量化植被恢复过程中的碳汇动态。

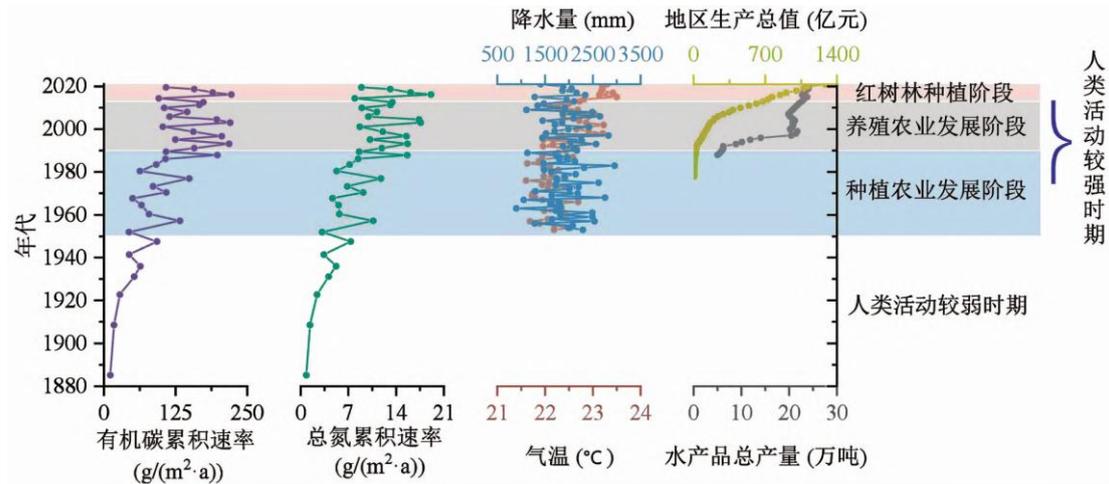


图1 有机碳和总氮累积速率的时间分布

结果表明：（1）海丰红树林湿地沉积物有机碳含量均值为 $16.31 \pm 2.59 \text{g/kg}$ ，在约 1950 年以前人类活动较弱时期，有机碳含量较高，而在约 1950 年以来人类活动较强时期，有机碳含量总体下降。（2）140 年来湿地沉积物有机碳累积速率均值为 $117.11 \pm 59.04 \text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ，1m 内的有机碳储量为 146.69Mg/ha 。有机碳累积速率历史变化呈显著上升趋势，人类活动较弱时期（约 1950 年以前）、种植农业发展阶段（1950~1990 年）、养殖农业发展阶段（1990~2013 年）、红树林种植阶段（2013~2021 年）的有机碳累积速率分别为 $44.08 \text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 、 $98.56 \text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 、 $160.53 \text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 和 $154.70 \text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ，其阶段性增长与围垦开发、养殖扩张等人类活动引起的沉积通量增加呈现显著正相关 ($R^2 = 0.90$)。红树林重建使碳累积速率提升 38.85%，并增加了 11.02Mg/ha 的碳储量。（3）基于端元混合模型估算，沉积物有机碳源贡献依次为海洋来源 ($64.62\% \pm 13.15\%$)、陆地来源 ($20.77\% \pm 7.36\%$) 和红树林来源 ($14.60\% \pm 6.26\%$)。尽管 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值在种植红树林阶段呈现显

著负偏 ($\Delta = -5.27\%$) 和正偏 ($\Delta = 4.06\%$), 指示红树林来源有机物贡献逐步增强。但是当前海丰红树林湿地碳储量 (较全球均值低 47.98%) 与累积速率 (较全球均值低 28.15%) 仍受限于生长环境、植被重建时间较短 (<30 年) 和植被群落结构单一等因素。

(刘婷, 鲍昆山, 周种乐, 等. 广东省海丰红树林湿地 140 年来有机碳累积历史和来源解析[J/OL]. 第四纪研究, 1-14.)

◆ 21. 近海大型海藻养殖被严重低估的重要碳汇形式——惰性溶解有机碳

大型海藻可直接或间接向海水中贡献惰性的溶解有机碳 (Recalcitrant dissolved organic carbon, RDOC), 因 RDOC 具有非常强的抗微生物降解能力和化学属性稳定性, 可在海洋中被长期储存, 成为大型海藻贡献的溶解态碳汇的一种重要存在形式。本研究在桑沟湾养殖区通过对不同生长阶段海带进行围隔培养, 采用基于藻源 DOC 长期微生物降解实验建立的动态生长模型, 综合考虑了温度、盐度、光照和营养盐等关键环境参数对海带生长的影响, 获取了海带不同生长阶段 RDOC 贡献的变化规律。并且使用 Gompertz 模型拟合了海带鲜重与 RDOC 日贡献速率的关系, 有效描述生物生产过程的动力学。结合海带生长模型, 通过对海带完整养殖周期进行定积分, 系统全面评估了养殖海带在整个生长周期中 RDOC 形式的碳汇效应。

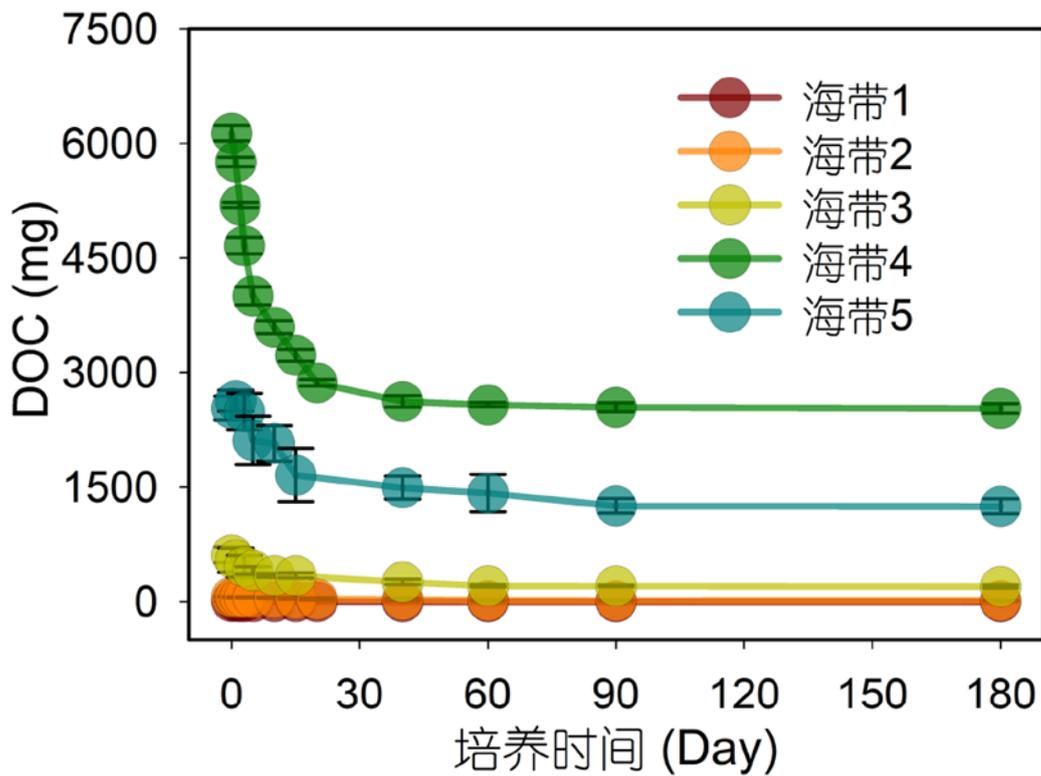


图 1 不同生长阶段海带藻源 DOC 在长期微生物降解过程中的动态变化

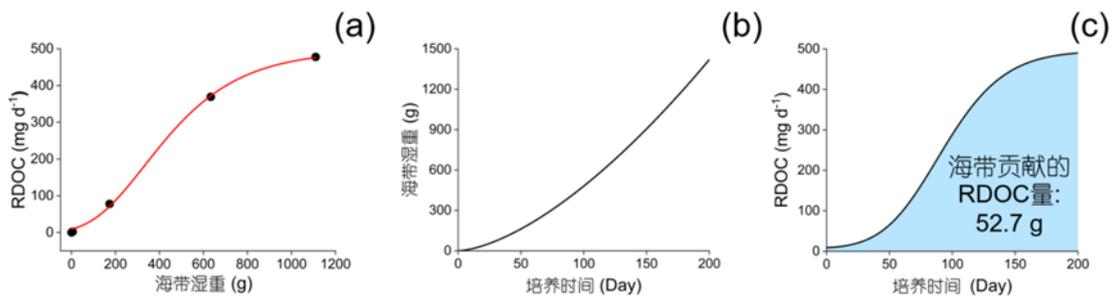


图 2 海带完整生长周期内的 RDOC 贡献量

(a) 海带鲜重 (FW) 与 RDOC 日贡献量的散点图, 由 Gompertz 模型拟合获得; (b) 整个养殖周期内海带鲜重与培养时间的关系图; (c) 海带完整生长周期内 RDOC 贡献总量的定积分

结果表明, 海带从幼苗期至成熟期, 其所释放溶解有机碳 (DOC) 中 RDOC 比例持续增加 (从 24% 增加至 48%), 伴随海带的不断生长, 平均一株海带的 RDOC 的贡献速率也由 0.2mg C d⁻¹ 增加至 478mg C d⁻¹, 海带养殖水体中 RDOC 的主导地位日益增强。整个生长期内一株海带 (湿重增加 2.0kg) 贡献的 RDOC

总量约为 52.7g C，这与海带增加的生物质碳量（60g C）几乎相当。该研究是对大型海藻贡献的 RDOC 形式的溶解态碳汇的首次全面科学评估，表明大型海藻在整个养殖期间对 RDOC 形式的碳汇贡献极大，若忽略 RDOC，大型海藻养殖的碳汇贡献将被严重低估。

（冯秀婷,李鸿妹,张继红,等.近海大型海藻养殖被严重低估的重要碳汇形式—惰性溶解有机碳[J].中国科学:地球科学,2025,55(05): 1474-1483.）

◆ 22. 海岸带蓝碳的稳定与不稳定：关键因素

蓝碳生态系统（BCEs），包括海草床、潮汐沼泽、红树林和潮上带森林，储存着大量的有机碳。尽管蓝碳生态系统作为自然气候解决方案具有重要作用，但其碳保留机制尚未得到清晰总结，这限制了我们通过管理 BCEs 实现最大化碳封存的机会。最新研究表明，分子结构对 BCEs 沉积物中碳的难降解程度具有决定性作用。矿物埋藏过程还能为封存有机碳提供保护层，增强其稳定性。氧气、氧化还原电位、盐度、pH、温度等环境参数及其在不同深度的相互作用，往往是调控蓝碳稳定性的关键因素。微生物多样性、代谢途径、与 BCEs 植被的互作关系及其对人为干扰的响应，共同构成了支配 BCEs 有机碳稳定性的核心要素。这些发现表明：在多重环境与人为因素作用下，沉积物的数量与质量同等重要地决定着储碳能力。

要制定优先保护这些关键浅海生态系统的措施，必须解答以下科学问题：某些特定形态的蓝碳是否无论分子活性如何，都能

天然抵抗微生物分解？海岸带开发将在多大程度上引发微生物矿化导致的 CO_2 和 CH_4 释放？变暖将如何影响现有蓝碳储量的稳定性？所有蓝碳系统的碳流失敏感性是否相同？解答这些问题对预测未来碳预算、构建国家清单的可信流程、开发国际认可的碳封存与减排项目具有决定性意义。

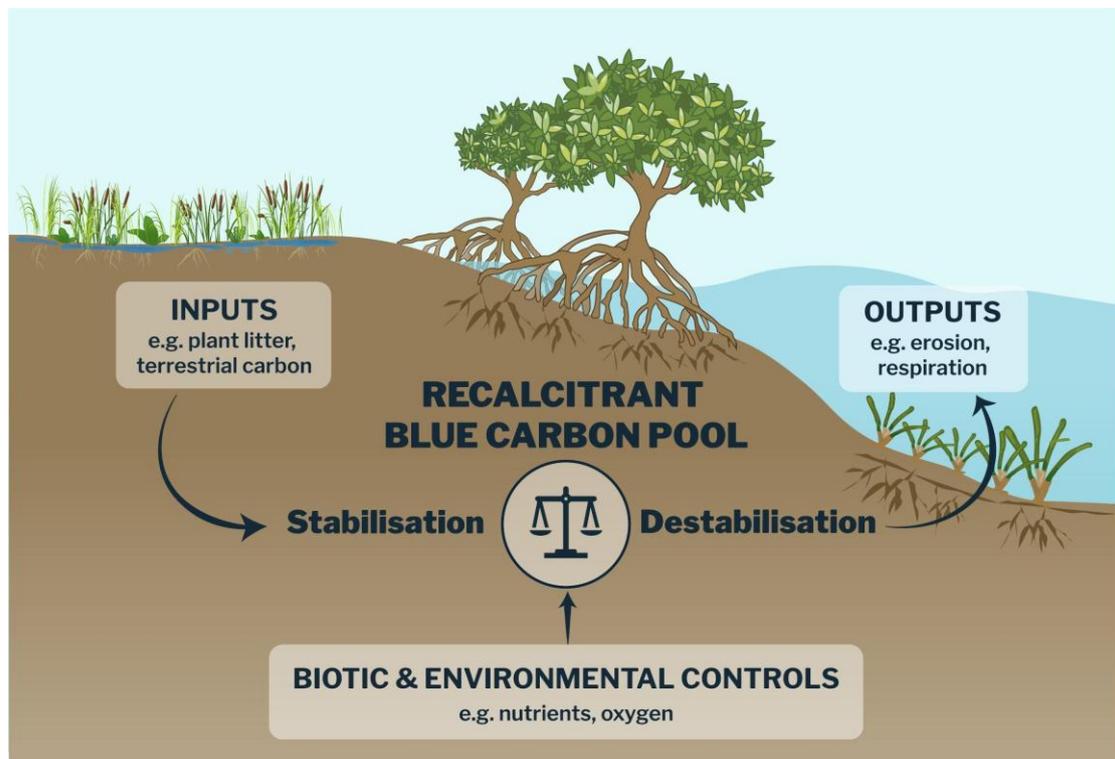


图 1 当碳输入与稳定过程强于导致碳输出的失稳过程时，土壤有机碳得以累积

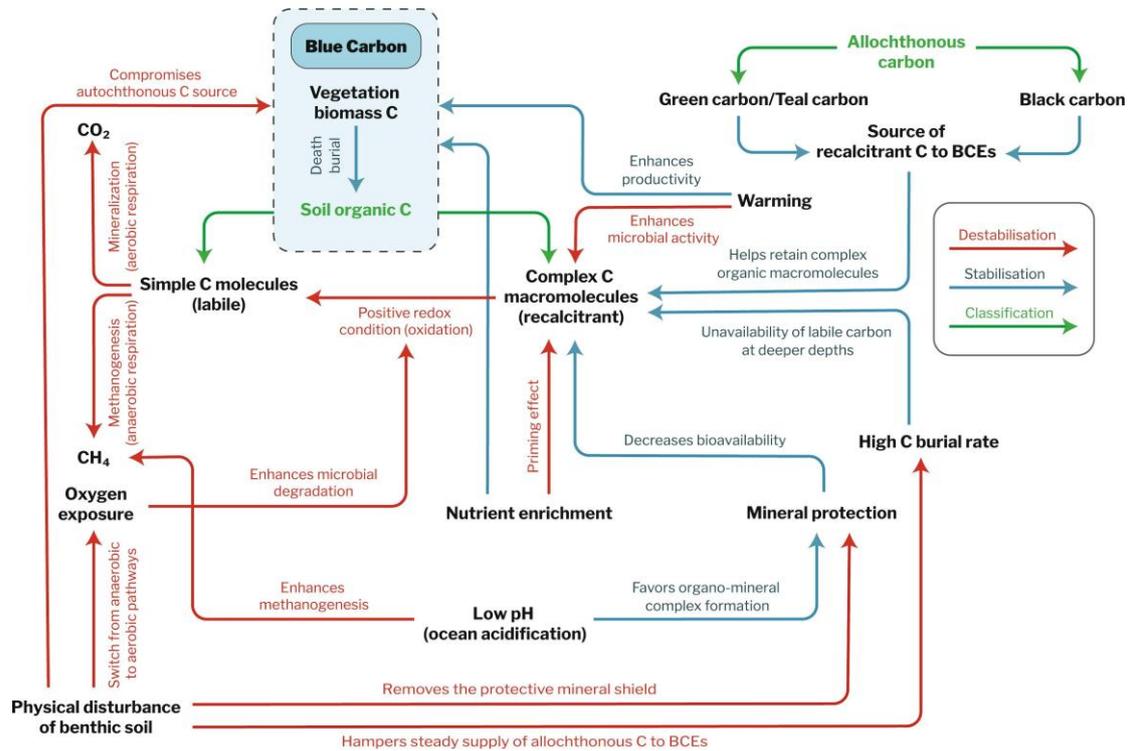


图2 BCEs 内外环境因子对沉积剖面有机碳稳定性的影响机制
注：绿色箭头表示特定属性类别，红色箭头表示导致有机碳失稳的过程（红色标签），蓝色箭头表示促进有机碳稳定的过程（蓝色标签）

本研究的主要发现如下：

1. 未来需重点开展 BCEs 储碳的分子水平表征研究，明确易分解碳与难降解碳的比例关系，这将是破解蓝碳长期封存机制的关键。

2. 微生物和酶活性是有机碳矿化的基础。然而，氧气、氧化还原电位、盐度、pH 值和温度等环境参数也是稳定/不稳定蕴藏在 BCEs 中的碳的关键。

3. 气候和人为活动可能会改变海洋领域的这些参数，因此，今后需要开展更多关于改变 BCEs 中碳稳定性的建模研究。

4. 为有效管理和保护，需要优先确定区域和地方固碳稳定性的驱动因素。

5.为保护和恢复退化的 BCEs, 应优先考虑清晰认识作为沉积物中碳的通断开关和调光开关的稳定因素。

(Macreadie, P.I., Akhand, A., Trevathan-Tackett, et al. Stabilisation and destabilisation of coastal blue carbon: The key factors. *Earth-Science Reviews*,2025,265,105133.)

◆ 23. 中国红树林植被和土壤碳积累速率及其影响因素

红树林碳汇是蓝碳碳汇的重要组成部分, 尚缺乏我国红树林分布区域尺度植被和土壤碳积累速率及其影响因素的系统梳理。本研究基于文献收集和数据挖掘, 整合分析我国红树林植被、土壤以及整个生态系统的碳积累速率及其影响因素。研究检索了中英文数据库(如中国知网、Web of Science等), 筛选出70篇符合要求的文献, 提取139个植被碳积累速率研究点和102个土壤碳积累速率研究点的数据, 涵盖广东、广西、福建、浙江、海南等省份。数据标准化后, 采用R 4.0.3和SPSS 25.0进行统计分析, 包括单因素方差分析(ANOVA)、LSD多重比较和成对样本t检验, 评估林龄、群落类型、林分起源(天然林/人工林)、地区及测定方法对碳积累速率的影响。植被碳积累速率通过碳密度除以林龄计算, 土壤碳积累速率则基于红树林与光滩碳密度差值及林龄推算。研究重点分析了白骨壤、秋茄、桐花树、无瓣海桑等主要群落的碳积累特征, 并对比不同省份的差异。

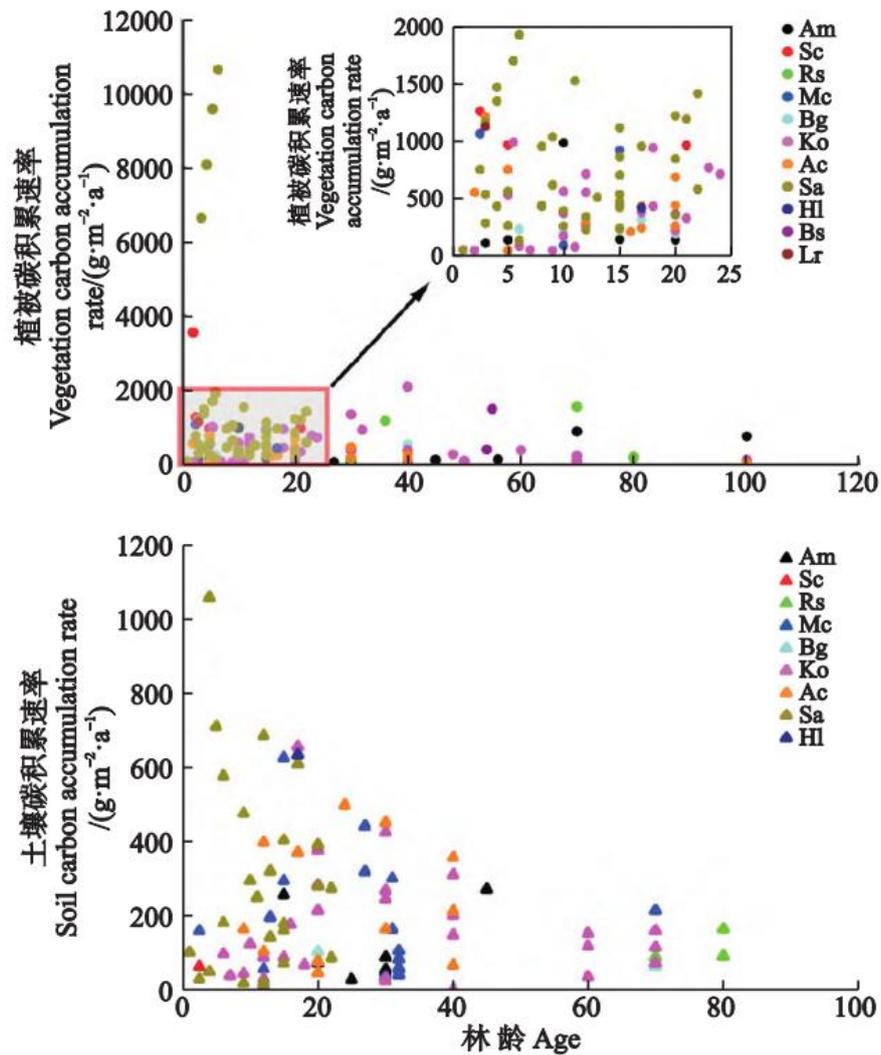


图1 红树林植被碳积累速率和土壤碳积累速率随林龄的分布
 Am: 白骨壤; Sc: 海桑; Rs: 红海榄; Bg: 木榄; Ko: 秋茄; Ac: 桐花树; Sa: 无瓣海桑; Hl: 银叶树; Bs: 海莲; Lr: 拉关木; Mc: 混合群落. 下同.

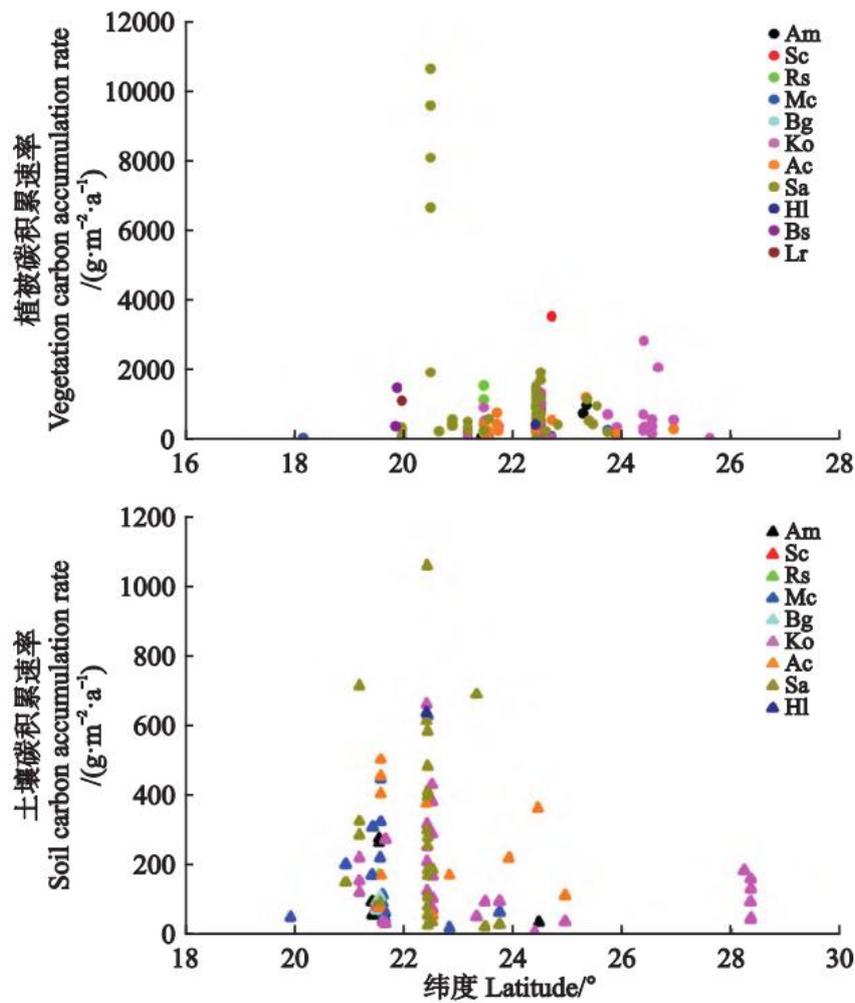


图2 红树林植被和土壤碳积累速率随纬度的分布

结果表明：红树林植被碳积累速率随林龄变化的趋势在不同群落存在差异，而土壤碳积累速率与林龄不相关。我国红树林碳积累速率研究较多的群落类型有白骨壤、秋茄、桐花树、红海榄、木榄、无瓣海桑、海桑，其中无瓣海桑和海桑群落的植被碳积累速率最高，但土壤碳积累速率在不同群落间无显著差异。土壤碳积累速率受到所处河口地带等地理位置、风暴潮等自然灾害的影响而表现为提升。红树林纬度与其碳积累速率无显著关系，表明水热条件不是决定碳积累速率的因素。我国红树林植被和土壤碳

积累速率平均值分别为 766.9 和 $201.1\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ，其中广东省的平均值最高。基于全国分布区域平均值看，林分起源（天然林或人工林）和测定方法对植被、土壤和生态系统碳积累速率的测定值没有显著影响。综上，在全国分布区域尺度上红树林植被碳积累速率主要受林龄和群落类型影响，在红树林修复中可通过树种选择和林龄管理进行调控，而土壤碳积累速率的影响因素有待进一步研究揭示。因浙江的红树林植被和土壤碳积累速率、海南的红树林土壤碳积累速率数据量较少，需要增加对浙江和海南的红树林碳积累速率测定。

（胡凯杰,王蔚,钱威,等.中国红树林植被和土壤碳积累速率及其影响因素[J].应用生态学报,2025,36(01):121-131.）

◆ 24. 中国大陆海岸带土壤蓝碳来源、组分和分子组成及其耦合关系

土壤是海岸带蓝碳生态系统最大的有机碳储库。目前对海岸带土壤蓝碳储量、沉积速率等分布格局已有较多研究，但是对蓝碳的来源、组分和分子组成的链条关系尚不清楚，亟待建立相关概念框架提升对海岸带蓝碳储存机制的认识，为蓝碳的预测和管理提供科学支撑。本研究系统评估了盐沼、红树林和海草床土壤内源和外源有机碳、颗粒和矿物结合态有机碳以及木质素和脂类等有机碳分子的赋存特征与耦合关系。

基于核磁共振（NMR）光谱和分子混合模型分析结果，脂质在蓝碳生态系统中丰度最高，分别占红树林、盐沼和海草床土壤

有机碳 (SOC) 的 $38.9 \pm 2.6\%$ 、 $34.0 \pm 2.4\%$ 和 $33.4 \pm 8.9\%$ 。木质素和蛋白质在红树林、盐沼和海草床中的比例分别为 $29.1 \pm 3.7\%$ 和 $16.6 \pm 1.3\%$ 、 $25.5 \pm 3.6\%$ 和 $18.9 \pm 1.0\%$ 、 $19.4 \pm 8.0\%$ 和 $16.9 \pm 5.0\%$ ，木质素的贡献高于蛋白质。碳水化合物的贡献较小，从盐沼的 $12.3 \pm 1.6\%$ 降至红树林的 $9.9 \pm 1.2\%$ ，再降至海草床的 $5.4 \pm 4.0\%$ 。所有蓝碳生境土壤都含有可测量的黑碳，其比例由红树林、盐沼到海草床的顺序增加，分别占 SOC 的 $3.3 \pm 1.7\%$ 、 $8.0 \pm 2.1\%$ 和 $23.5 \pm 21.8\%$ 。由各种分子氧化产生的羰基化合物仅占 SOC 的 1-2%。

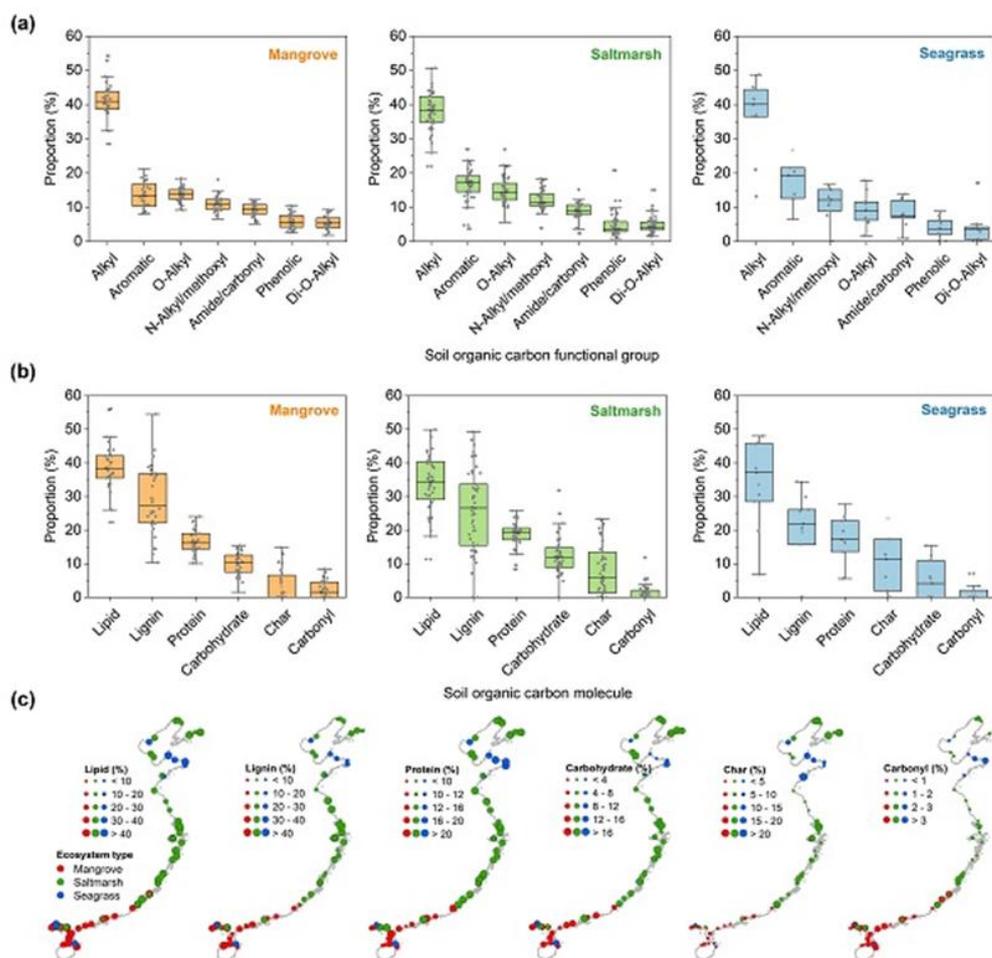


图 1 海岸带红树林、盐沼和海草床土壤有机碳分子组成

作为来自植物源 SOC 的重要贡献者,木质素似乎被选择性地保留在颗粒态有机碳 (POC) 组分中,表现出与 POC 和内源碳之间的正相关性,这种选择性保存可能源于木质素生物聚合体的难降解性。相比之下,脂类主要存在于矿物结合态有机碳 (MAOC) 组分,表现出与 POC 的负相关关系,并且随盐度升高以及陆地影响减弱含量呈现增加趋势,推测脂类与矿物结合及其向海输送的降解抑制性可能有助于脂类保存。此外,在碳输入受限的生态系统中,微生物可能会利用脂类等高能化合物进行能量生产。这一过程将导致植物源脂类被纳入微生物生物量,最终转化为死亡生物量,从而促进该环境中脂肪碳的持久性。

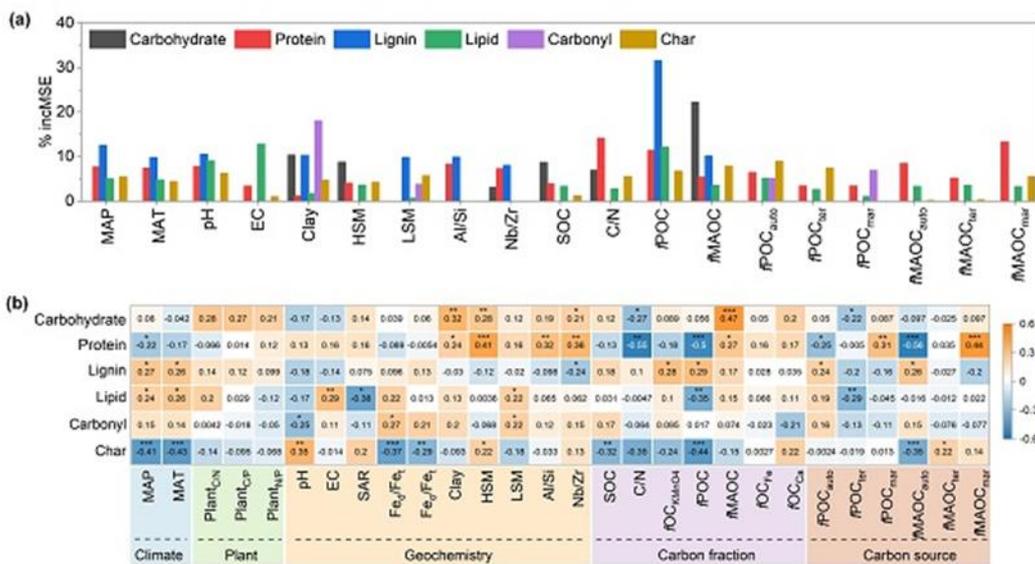


图2 海岸带蓝碳生境土壤有机碳分子组成与有机碳来源和组分的相关关系

年均气温 (MAT) 和年均降水量 (MAP) 增加可促进植物凋落物的产生,从而增加内源输入并促进 POC 积累,这一过程导致高 SOC 储量和较高的碳/氮 (C/N) 比,这种气候驱动的蓝碳保

存路径主要积累植物来源且内源性氧化分子，如木质素、碳水化合物和羧基碳。在具有高外源输入矿物质或受扰动的蓝碳生态系统中，有限的内源输入和活性分子的分解导致较低的 SOC 储量及氮需求过剩，促进 MAOC 积累，保存脂类和蛋白质等持久性分子。在自源性和外源性输入平衡的蓝碳生态系统中，POC 和 MAOC 平衡分配，混合植物来源和微生物来源分子可通过矿物-小分子结合机制保护碳水化合物等更易分解的分子组分。

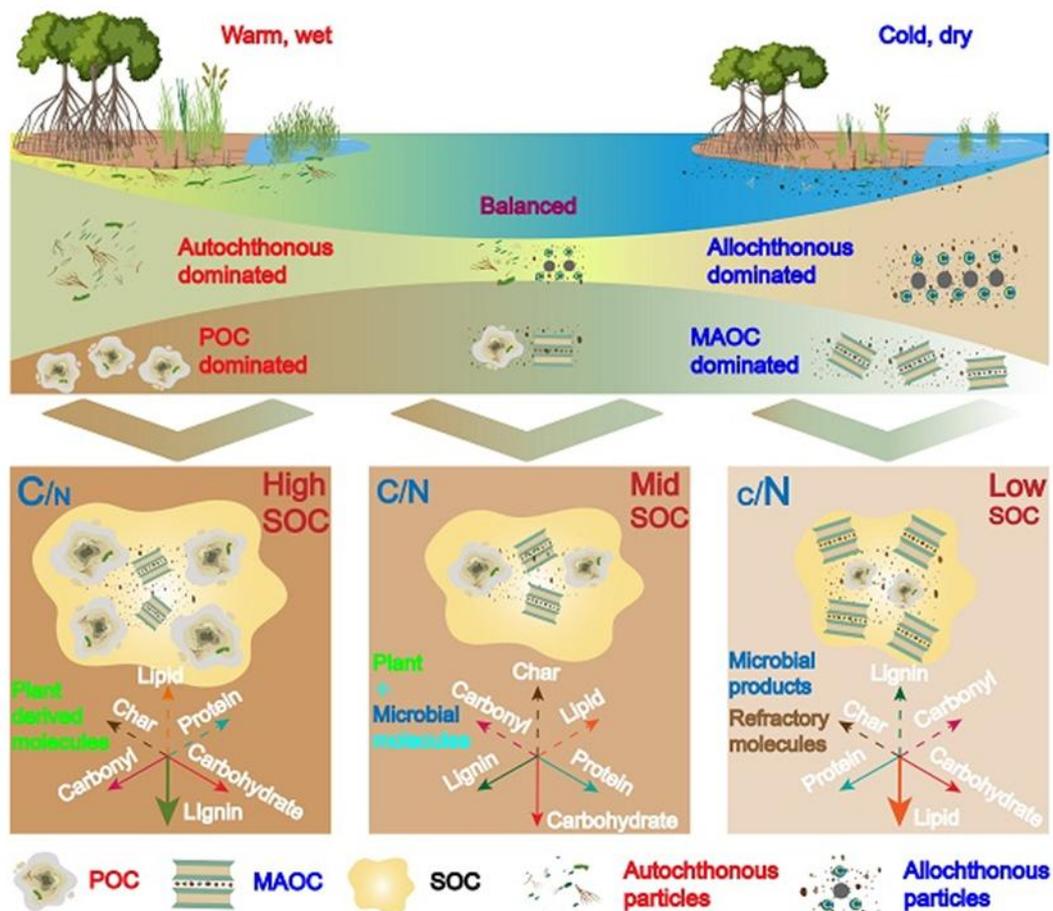


图3 海岸带蓝碳生境土壤有机碳来源、组分和分子组成的框架概念图
(Yuan Li, Chuancheng Fu, Chenglong Ye, et al. Increased Mineral-Associated Organic Carbon and Persistent Molecules in Allochthonous Blue Carbon Ecosystems. *Global Change Biology*, 2025, 31: e70019.)

◆ 25. 基于机器学习技术识别四类河口（运河、城市、农业与天然河口）总有机碳浓度的驱动因子

滨海湿地是重要的沿海生态系统，支持生物多样性、渔业、水质调节、沿海保护等。然而，由于缺乏不同类型河口的有机碳数据，很少有研究关注从河流到海洋生态系统的碳损失，并且对滨海湿地碳储量和通量的主要驱动因素缺乏了解。随着人工智能（AI）与深度学习（DL）在环境科学领域的飞速进展，这些技术为高动态水沙耦合作用下的河口复杂水质系统预测与分析开辟了创新路径。本研究采用增强回归树（**Boosted Regression Tree, BRT**）模型，解析美国佛罗里达州西南部四个红树林河口的 TOC 浓度与水质参数、营养盐及气象因子间的响应关系，并运用部分依赖图（**PDP**）成功解析了总有机碳（**TOC**）对多因子协同作用的非线性响应规律。

研究不仅明确了碳通量预测中需优先考虑的关键环境参数，更从过程机制层面深化了对红树林生态系统碳循环过程的理论认知。结果表明：在天然河口（**Fakahatchee Estuary**），降雨引起的地表径流显著加剧了 **TOC** 和氮（**NO₂⁻-N**）的损失。在农业河口（**Blackwater Estuary**），**TOC** 的变化主要受控于上游农业活动（肥料、杀虫剂和其他有机物，包括颗粒有机磷）的降解过程。在运河河口（**Faka-Union Estuary**），因高流量稀释了有限的 **PO₄³⁻-P**，导致与 **TOC** 呈现负相关的变化。在城市河口（**Henderson Estuary**），

则因住宅与工业污水直排、水动力条件受限及高温环境，通过促进藻类与微生物增殖而提升 TOC 浓度。这些发现表明，陆源输入和浮游植物光合作用在调节 TOC 浓度方面起着至关重要的作用。基于上述关键驱动因子构建的 BRT 模型，成功反演 2002—2008 年河口年均 TOC 通量，揭示其时空分布格局：雨季普遍呈现 TOC 净输出（运河河口通量最高达 62.81 t d^{-1} ），旱季则多为净输入（城市河口（Henderson Estuary）除外，仍维持净输出）。研究强调，TOC 通量估算需基于当地的环境因素，例如盐度、营养盐（ $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 和 $\text{PO}_4^{3-} \text{-P}$ ）和温度。并建议将红树林河口类型差异和季节性动态纳入考量，从而更准确地识别碳汇和碳源。

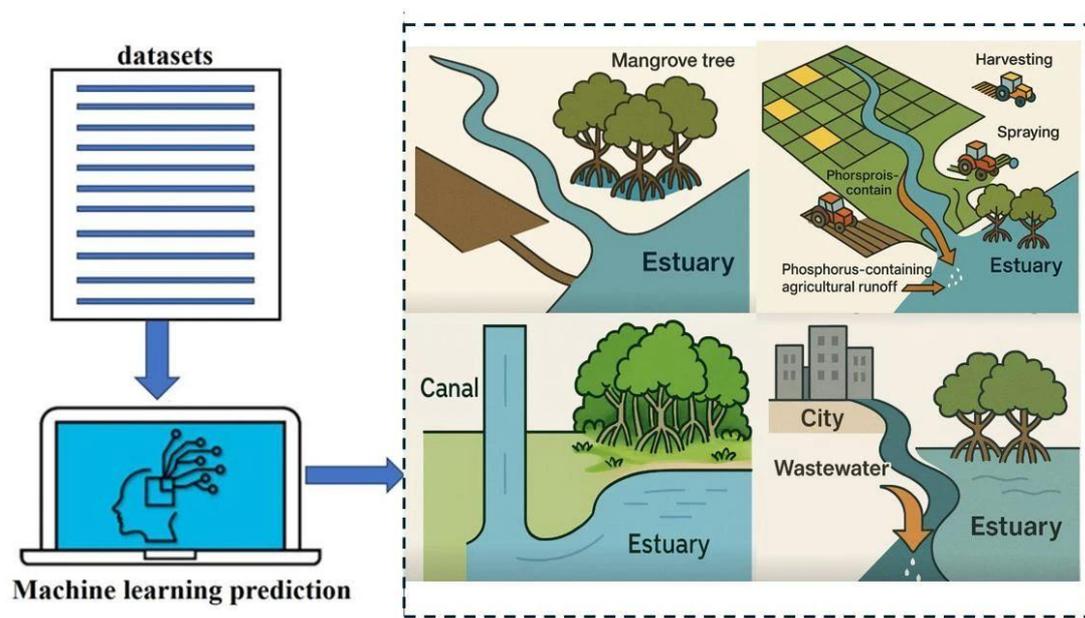


图 1 机器学习技术识别不同类型红树林河口概念图

(Zhongyuan Yang, Sha Lou, Shizhe Chen, et al. Driving factors of TOC concentrations in four different types of estuaries (canal, urban, agricultural, and natural estuaries) identified by machine learning technique. *Marine Pollution Bulletin*, 2025, 214, 117701.)

◆ 26. 微塑料加速蓝碳生态系统硫酸盐还原与溶解性有机碳降解的耦合

随着粒径小于 5 毫米的微塑料 (Microplastics) 等新污染物在环境中的持续累积, 红树林湿地生态系统的稳定性正面临严峻挑战, 其碳汇功能和生态服务价值均受到显著影响。本研究以生物可降解的聚乳酸 (Polylactic Acid, PLA) 微塑料为研究对象, 设计了长达 70 天的厌氧微宇宙实验, 系统探究了不同浓度的毫米级 (mm-PLA) 和微米级 (μm -PLA) 两种 PLA 微塑料对红树林沉积物硫酸盐还原及 DOC 降解的影响, 结合稳定硫同位素分析、三维荧光-平行因子分析 (EEM-PARAFAC)、16S rRNA 基因扩增子测序和宏基因组分析等多种技术手段, 深入解析了碳-硫循环微生物群落结构、功能基因及代谢网络对不同粒径微塑料的响应机制。

研究发现, mm-PLA 比 μm -PLA 更显著增强了红树林沉积物中硫酸盐还原菌的代谢活性, 主要表现为更显著地促进了硫酸盐的还原以及还原态硫物种的生成, 包括酸挥发性硫化物 (AVS)、元素硫 (S^0) 及铬还原硫 (CRS)。含 1% 毫米级微塑料处理组 (mm-1%-PLA) 的硫酸盐还原速率最高, 但硫酸盐中硫同位素分馏系数 ($^{34}\epsilon$) 却最低 (16.85‰), 这可能与 mm-PLA 释放了更多的 DOC, 为硫酸盐还原菌 (SRB) 提供了充足电子供体从而加速

硫酸盐还原过程而抑制分馏效应有关。PLA 微塑料释放的 DOC 可能被微生物直接利用进一步转化成 CO_2 ，其中，mm-1% 处理组 CO_2 排放量最大，较空白组增加了 194%。EEM-PARAFAC 分析表明，微塑料添加改变了沉积物碳组成，沉积物源 DOC 以类蛋白质物质（C3 组分）为主，其荧光强度较对照组显著提升，生物指数（BIX）高于对照组，表明微塑料的存在增强了微生物的代谢活性。这一发现揭示了生物可降解微塑料通过“碳释放—微生物代谢”调控红树林沉积物固碳功能的重要机制。

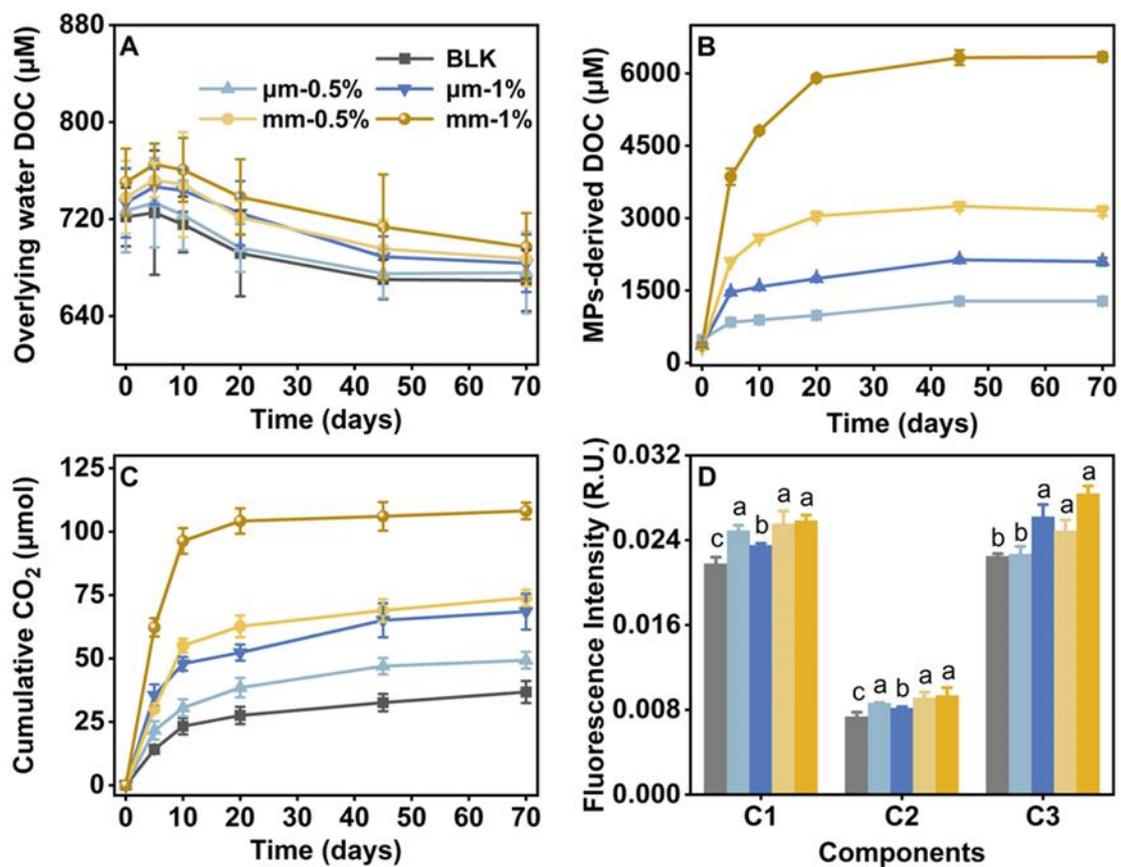


图 1 不同粒径与浓度 PLA 微塑料对上覆水和沉积物中溶解性有机碳转化及 CO_2 生成的影响

(Heli Wang, Yin Zhong, Qian Yang, et al. 2025. Coupling of sulfate reduction and dissolved organic carbon degradation accelerated by microplastics in blue carbon ecosystems. *Water Research*, 279, 123414.)

27. 植物碳硅利用策略及其对滨海湿地碳汇的潜在影响

在全球气候变化的背景下，滨海湿地作为地球上最具碳汇潜力的生态系统类型之一，其生物地球化学循环过程备受关注。硅元素是地球表面含量第二丰富的元素，在岩石风化、植物生长、有机物质分解等过程中扮演着重要角色，且与碳的循环紧密关联，已成为新的生态学研究热点。植硅体（植物细胞内腔或细胞间沉淀的无定型二氧化硅）可通过物理保护和化学修饰，封存大量有机碳，成为千年尺度上的巨大稳定碳汇。本研究聚焦滨海湿地的碳硅耦合循环，综合运用文献综述、理论分析及案例研究等方法，从植物参与的碳硅过程出发，综述了植物硅利用策略和植硅体封碳潜力两个方面的研究进展，分析了全球气候变化下滨海湿地的植物介导的碳硅耦合循环过程，阐述了富硅植物芦苇作为滨海湿地植物碳硅权衡策略研究的模式物种的可行性，并从植物生态策略理论的整合、土壤-植物多过程的耦合以及种内变异驱动机制三个方面，提出未来研究的发展方向。

研究发现：（1）植硅体的碳封存特性与潜力方面，植硅体可封存 0.2%~5.8% 的有机碳，这部分碳在土壤有机碳中占比为 0.72%~9.26%。（2）滨海湿地的碳硅循环对于蓝碳具有重要影响，主要体现在五个方面，分别是硅酸盐风化对 CO_2 的消耗和生物有效硅的释放、植物对生物有效硅的吸收和植硅体碳封存、硅藻对生物有效硅的吸收和碳埋藏、促进植物生长和植物生物量碳的积

累、N:P:Si 生态化学计量及对碳固定的影响。滨海湿地中，禾本科、莎草科等富硅草本植物占了非常大的比例，硅元素在以上植物应对环境变化、生态系统中长期碳汇形成中可能也起着非常重要的作用。(3) 芦苇是典型富硅湿地植物，其植硅体形态包括鞍型、帽型、扇型、棒型、尖型等，以鞍型占比最多，硅含量一般在 0.2%~8%，且受生长阶段、外界环境及取样部位的影响很大。

未来展望：(1) 植物的硅利用策略需要放到生态策略理论框架中进行研究和讨论，探讨“硅利用是否是植物应对环境变化的通用适应策略、是否存在谱系保守性、植物在抵御胁迫方面存在怎样碳硅利用的权衡、在活化硅元素方面是否存在根系分泌物和根际微生物招募之间的权衡”等问题。(2) 全球变化下，植硅体封碳潜力估算需要综合考虑多种生物和非生物因子的共同和交互影响，需要考虑整个土壤—植物硅循环过程。(3) 很多滨海植物都是广布种，种内性状变异大，需要重点关注广布种的硅利用策略种内变异及其碳效应。

(刘乐乐, 尹美淇, 于晓娜, 等. 植物碳硅利用策略及其对滨海湿地碳汇的潜在影响[J/OL]. 生态学杂志, 1-8.)

◆ 28. 滨海湿地生态修复的固碳功能、实现路径及碳中和对策

滨海湿地生态修复在恢复生态系统功能的同时能有效增加湿地系统的碳汇能力, 对中国碳中和战略的实现具有重要意义。结合中国滨海湿地生态修复和碳汇研究现状, 分析符合中国滨海湿地生态修复碳减排及增汇的途径与方法, 即清除滨海湿地开发活动

设施、转变土地利用类型、修复土壤污染和重建植被。针对限制中国滨海湿地生态修复提升“碳汇”能力的诸多因素,提出加强滨海湿地的监测和碳汇核算、完善滨海湿地的监管机制、有效恢复滨海湿地的面积、加强与国际间的交流合作 4 个方面的建议。研究表明,中国在滨海湿地生态修复以提高其碳汇方面的研究仍存在不足,但同时也验证了中国滨海湿地生态系统具有巨大的碳汇潜力以及滨海湿地生态系统通过科学合理的修复可有效增加滨海湿地的碳汇能力。该研究为中国在“碳达峰、碳中和”战略部署下滨海湿地生态系统的修复方向提供科学依据,为中国制定应对气候变化行动计划上提供理论支撑,具有重要的理论意义和现实意义。

(刘东阳,姚小萌,彭薇,等.滨海湿地生态修复的固碳功能、实现路径及碳中和对策[J/OL].河北师范大学学报(自然科学版),1-9.)

29. 恢复因水产养殖而损失的红树林具有显著蓝碳效益

蓝碳生态系统的保护与恢复,是应对气候变化的重要自然气候解决方案。先前因水产养殖等人类活动的砍伐,红树林遭受大面积损失。因被砍伐地区仍具备适合红树林生长的环境条件,可在这些区域进行红树林生境恢复。本研究以中国和东南亚红树林为研究对象,通过地理空间叠加比对中国和东南亚的红树林和养殖池塘地类数据,绘制了 1996—2020 年间由于养殖池塘造成的红树林损失地图。再从生态和社会环境两个方面确定了对红树林生长恢复较为关键的 8 个环境因子,包括红树林斑块密度、海平面

上升速率、潮差、海表温度、海表盐度、气温和人类活动强度，提取了红树林从养殖池塘中成功恢复的样本点，应用 MaxEnt 模型识别了应优先恢复红树林的养殖池塘区域。根据异速生长方程和土壤碳储量空间数据估算了养殖池塘导致红树林砍伐带来的碳损失，同步使用国家层面的碳社会成本（CSCC）来衡量二氧化碳排放的预期经济损失，并考虑了通货膨胀和极端误差的情况。根据中国和东南亚的公开数据更新了研究区内的土壤有机碳埋藏速率，并采用非线性差值估算了红树林幼苗期（前五年）的土壤有机碳埋藏速率，优化了不同时期的速率差异表现。通过参考全球碳交易平台 Climate Impact X（CIX）和碳金融公司 Respira 的蓝碳价格，综合评估了在优先区域恢复红树林的蓝碳经济效益。

结果表明，（1）研究发现在 1996-2020 年期间，中国和东南亚地区由于养殖池塘扩张导致红树林面积损失了 165079 公顷，占自 1996 年以来研究区域内红树林损失总面积的 25%。其中，印度尼西亚因养殖池塘引发的红树林损失最大（118781.13 公顷），占研究区域内总损失的 72%。损失最严重的时期是 2000-2010 年，在 2010-2020 年期间损失速率有所下降。（2）根据生物物理可行性评估结果，约 76399 公顷（60%）的养殖池塘显示出较高的红树林恢复优先级，可为全球红树林高恢复潜力目标贡献 12% 的种植面积。具有最高生物物理恢复可行性的地区集中在印度尼西亚的 Samarinda（117.48°E，0.59°S）和 Tarakan（117.75°E，3.76°N）

东海岸，以及越南南部的 Ngoc Hien (105.01°E, 8.69°N)。通过提取高优先级红树林恢复区域的八个生物物理指标发现，具有连续分布的红树林斑块(每公顷 6.6-79.3 个斑块)、较大潮差(1.4-3.2 米)和较低海平面上升率(每年 1.2-5.1 毫米)的区域，适合开展红树林恢复。(3) 据统计，1996-2020 年间中国和东南亚地区养殖池塘扩张导致 20 (11-29,95% CI) Mt 的生物碳和 32 (20-45) Mt 土壤有机碳(深度为 1 米)损失，约等于 192(114-270,95% CI) Mt CO₂ 排放。根据碳的社会成本计算，这些碳损失可能造成 18.81 (4.27-25.60) 亿美元的经济损失。通过参考全球碳交易平台 Climate Impact X (CIX) 和碳金融公司 Respira 的蓝碳价格，预计恢复已识别的优先区域的总成本约为 4.63 (1.65-7.61,95% CI) 亿美元，但预计在未来 40 年内可带来碳信用收益约为 6.38(5.67-7.25, 95% CI) 亿美元，减少的总二氧化碳量为 84 (75-96) Mt。研究成果为红树林恢复规划提供了精确的空间信息参考，并突显了中国和东南亚地区红树林恢复在实现国家自主贡献(NDCs)应对气候变化中的作用。

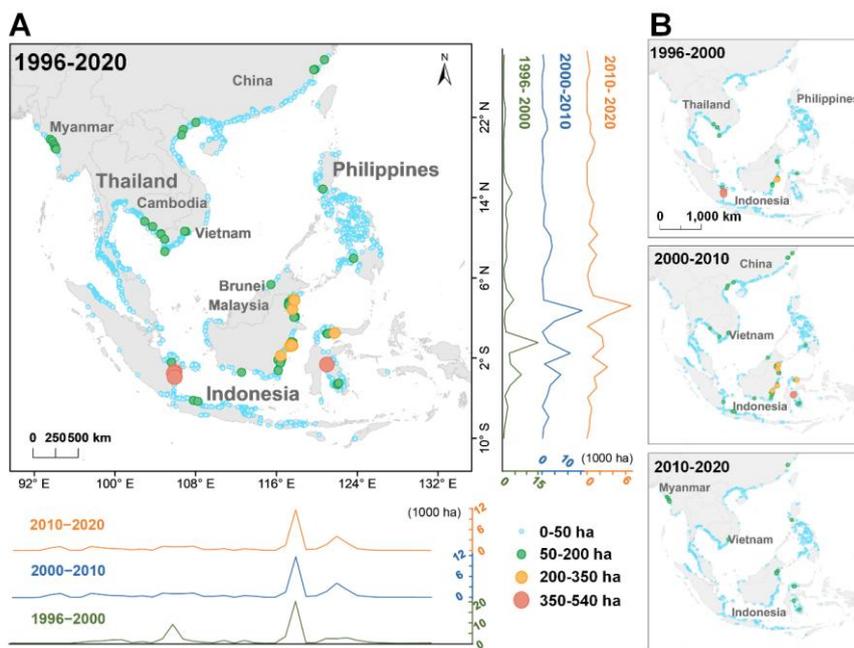


图 1 1996-2020 年中国和东南亚红树林转变为养殖池塘的空间分布

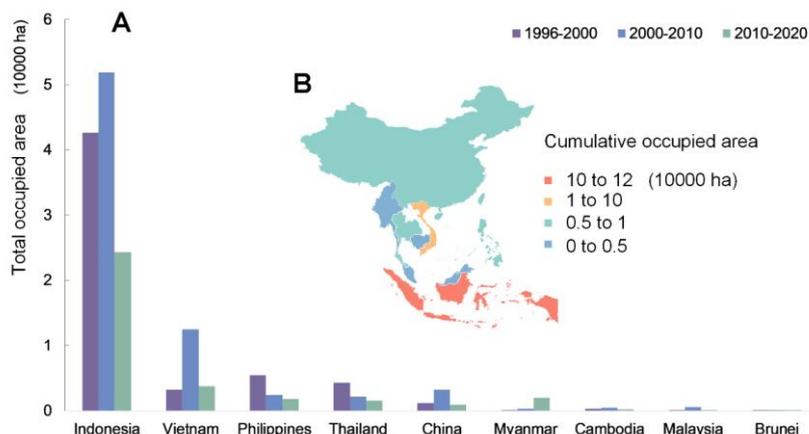


图 2 1996-2020 年各国红树林转变为养殖池塘的面积

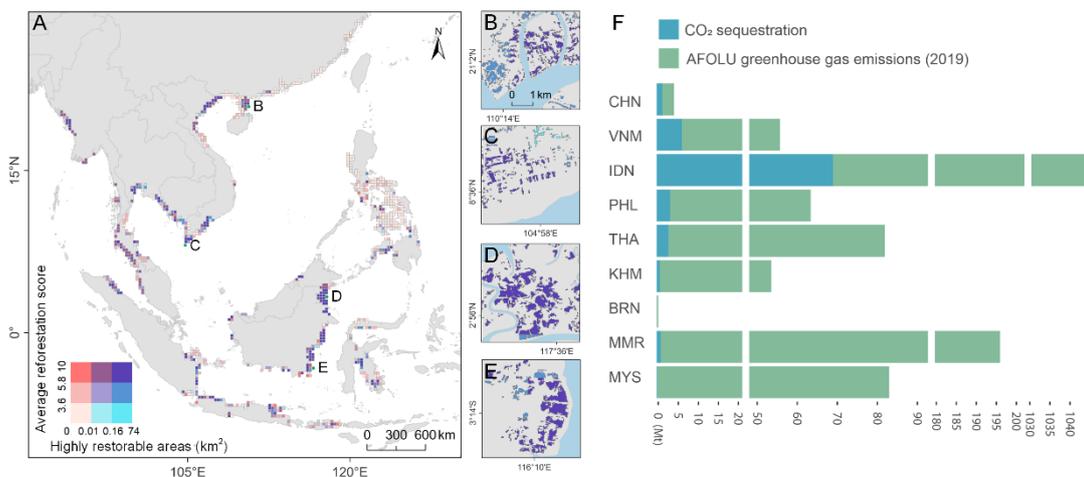


图 3 中国和东南亚红树林恢复的生物物理可行性空间制图与碳收益

(Jiang Y.F., Zhang Z., Friess D., et al. Restoring mangroves lost by aquaculture offers large blue carbon benefits. One Earth,2025,101149.)

◆ 30. “双碳”目标下“认购碳汇”在生态司法中的适用

应对气候变化是我国所关切的重要课题之一，习近平总书记在第75届联合国大会上郑重宣布了“双碳”目标的中国愿景。自“双碳”目标提出后，我国一方面从控制“碳源”入手直接规制碳排放量，另一方面从增加“碳汇”入手积极落实碳减排量的间接规制。生态系统碳汇的确立与发展正是“固碳增汇”间接规制的生动实践，因此，亟须加快生态系统碳汇的法治化进程，以契合我国全面推进“双碳”目标的实践需求。

在我国尚未制定应对气候变化专门立法时，通过司法路径探索以实现“双碳”目标成为理论和实践的共识。近年来在生态司法实践中，“认购碳汇”在各地法院判决中得到了广泛应用，成为广受关注的亮点。“认购碳汇”在生态司法中作为一种新型替代性修复责任方式，由福建省顺昌县人民法院首创，具体是指在生态环境受损案件中，责任人通过购买具体的碳汇项目实现生态系统碳汇功能补偿。“认购碳汇”在生态司法中的适用，对于贯彻落实恢复性司法理念、减缓气候变化均具有重大意义。因此，通过证立适用“认购碳汇”的正当性，可对生态司法实践适用“认购碳汇”的现实困境进行总结并提出优化路径，以期积极推动生态司法建设。

(顾向一,陈瑶. “双碳”目标下“认购碳汇”在生态司法中的适用[J].江淮论坛,2025,(02):84-93.)

31. 蓝碳交易认证及运行机制的挑战与应对

重启全国温室气体自愿减排交易市场是蓝碳纳入自愿碳市场的重要契机，但蓝碳交易制度体系仍处在初步发展阶段，我国蓝碳交易制度仍然存在交易规则功能缺失、定价机制失范、交易方式欠缺和核查监管机制不足等问题。为保证蓝碳交易在法律规制下运行，构建公开、透明、可预期的蓝碳交易机制，应实现蓝碳交易的功能完善、规范定价机制，同时推动交易方式多元发展、健全核查机构监管机制，以优化蓝碳交易运行机制，从而搭建蓝碳交易纳入自愿碳市场的规则体系。

一是蓝碳交易规则的功能完善。把握《应对气候变化法》立法契机，明确蓝碳概念、法律属性及其替代履行方式，对蓝碳资源的作用、开发和交易做出原则性规定。按照“先试点，后推广”方式，推动蓝碳交易运行规则和操作程序不断细化和完善。制定并发布《蓝碳项目审定和核证指南》，在蓝碳项目审定和核证的程序、内容、方法学等方面提供指导和建议。重视蓝碳项目方法学开发，研发碳汇核算标准，扩大蓝色碳汇的交易种类。二是规范蓝碳交易定价机制。CCER 交易价格的确定依托碳抵消机制，具体政策在国际上体现为设置碳抵消比例、设定碳价格上限与下限等。建立 CCER 市场稳定储备机制以保证长效的供需平衡。加快 CCER 市场改革和机制完善，制定我国碳减排发展目标和路线图，规划碳市场改革方向。积极参与国际气候谈判，加快中国碳市场

与国际市场的融合。同时塑造碳生态国家形象，提高 CCER 国际认可度，争取气候变化国际话语权。三是推动交易方式多元发展。搭建蓝碳公开市场的交易平台，将蓝碳作为 CCER 市场碳汇交易的类型，可通过全国温室气体自愿减排注册登记系统和全国温室气体自愿减排交易系统等信息平台完成 CCER 注册、流转、交割、结算等程序。明确交易平台在场外交易中的划转作用，借鉴 VCS 场外交易方式的相关制度经验，规范场外交易的资金和 CCER 划转。引入金融机构开发和推广碳金融衍生品，建立多渠道融资机制，同时建立碳期货市场，推动统一的蓝碳市场交易平台发展。四是健全核查监管机制。明确蓝碳市场监管机制，以政府委托第三方机构行使市场监管职能，在蓝碳市场监管的过程中建立完善的信息披露制度；明确蓝碳环境监管机制，建立蓝碳项目环境影响评价制度，设立分类审批制度，并加强环境影响评价制度中的公众参与度。完善第三方核查机制，一方面，加强核查规范建设，出台相关认证与管理的实施细则，完善对核查机构事中事后的监管，建立第三方核查机构问责机制。另一方面，建立系统的核查技术规范，统一核查标准，细分核查领域，明确核查流程，制定不同项目类型的核查技术指南。

(朱晖,赵佳齐.蓝碳交易认证及运行机制的挑战与应对[J].北京科技大学学报(社会科学版),2025,41(01):61-68.)

◆ 32. 中国蓝碳储量的空间基线：助力优化监测、管理与保护

红树林、潮滩、海草床在内的滨海湿地蓝碳生态系统是全球

碳吸收速率与储存能力最高的生态系统之一，被认为是一种重要的基于自然的气候解决方案。然而，由于目前对于滨海湿地蓝碳的碳储量认识存在很大不确定性，针对单个国家蓝碳生态系统碳储存的综合估计仍然缺乏，尤其是地下生物量的碳储存。此外，国家和全球尺度的蓝碳生态系统碳储量现有估计主要依赖基于面积的统计方法，这种方法容易产生显著不确定性，无法充分说明蓝碳生态系统内碳储存的空间变异性。因此，迫切需要蓝碳生态系统碳储存的空间显式估计，以更新国家清单、为保护和恢复工作提供信息，并指导与气候缓解相关的政策制定。

本研究聚焦于以空间显式形式估算中国蓝碳生态系统的碳储量，揭示其空间格局并全面评估中国蓝碳生态系统的碳储存。研究整合了 1670 组土壤有机碳储量实测数据、1229 组活体生物量样本，其中包含 879 份地上生物量和地上生物量碳样本，包括 446 份红树林地上生物量样本、365 份潮汐沼泽和滩涂地上生物量样本，以及 68 份海草地上生物量样本，将这些原位观测数据与遥感、土壤、气候、地形及人类活动等多源数据融合（包含 21 个潜在预测因子），使用 R 语言中的 `quantregForest` 包构建分位数回归森林（QRF）模型来估算红树林、潮汐沼泽和滩涂的土壤有机碳储量。再基于空间显式碳储量估算结果，计算了红树林、潮汐沼泽与滩涂生态系统的土壤有机碳总量、地上生物量碳总量及地下生物量碳总量，采用 GIS 属性统计法计算海草生态系统的土壤有机碳、

地上生物量和地下生物量碳总量，相关不确定性通过对应 QRF 模型的不确定性估算值得出。蓝碳生态系统的总碳储量由土壤有机碳总量、地上生物量碳总量和地下生物量碳总量三者加和得出。研究还绘制了高空间分辨率蓝碳生态系统分布图、滨海蓝碳生态系统的碳储量空间分布格局。

结果表明：（1）本研究的碳储量评估显示，蓝碳生态系统平均碳储量随纬度升高呈显著递减趋势。（2）中国蓝碳生态系统的总面积约为 14486km^2 ，占全球蓝碳生态系统的 1%—4%。潮滩和盐沼、海草的总面积分别为 8626km^2 和 5633km^2 ，分别约占中国蓝碳生态系统的 59.5% 和 38.9%。而红树林仅覆盖 227km^2 ，占中国蓝碳生态系统的比例不足 2%。（3）从空间上看，中国红树林主要集中在 18° 至 28°N 之间的南部和东南部沿海地区，对应热带和亚热带区域。潮滩和盐沼沿中国整个海岸带分布，在辽河、海河、黄河、长江、闽江和珠江等河口地区尤为集中。海草分布在较宽的纬度带（ 16°N — 40.5°N ），但已发现的海草床主要集中在海南、广东和环渤海等特定区域。研究结果为量化气候变化与人类活动导致的潜在碳增汇或碳损失提供了关键基线数据，有助于将滨海蓝碳生态系统纳入国家碳核算体系，并为气候减缓与滨海蓝碳管理策略制定提供科学依据。

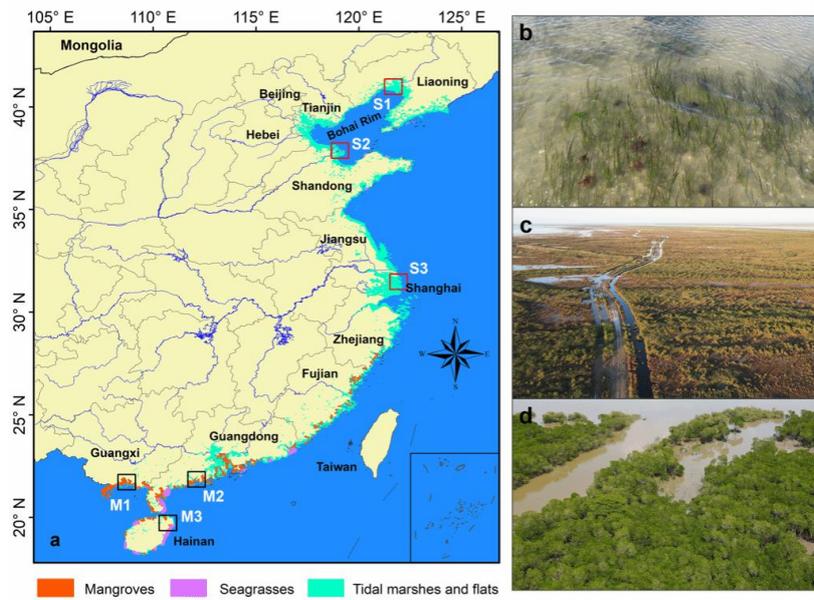


图 1 中国滨海湿地蓝碳生态系统空间分布

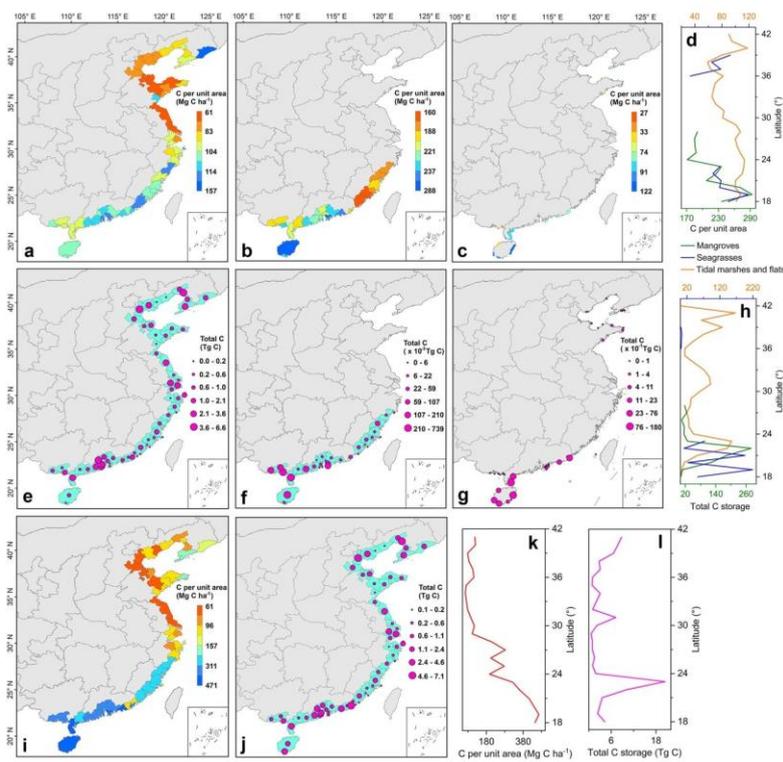


图 2 中国滨海湿地蓝碳有机碳储量空间分布与格局

- (a) - (c) 沿海县/市盐沼潮滩，红树林和海草床碳密度空间分布；
- (e) - (g) 沿海县/市盐沼潮滩，红树林和海草床总碳储量；
- (i) - (j) 沿海县/市蓝碳生态系统碳密度与总碳储量；
- (d) - (h) 沿海县/市盐沼潮滩，红树林和海草床碳密度与总碳储量纬度分布特征；
- (k) - (l) 沿海县/市蓝碳生态系统碳密度与总碳储量纬度分布特征。

(Sun S, Song Z*, Guo L., et al. 2025. A Spatial Baseline of China's Blue Carbon Stocks for Improved Monitoring, Management, and Protection. *Earth's Future*. 13, e2024EF005380.)

33. 集成多源遥感观测的自动机器学习预测中国滨海湿地二氧化碳通量

以红树林、盐沼和海草等为主体的滨海湿地是重要的“蓝碳”汇，当前对滨海湿地 CO₂ 通量的研究主要采用半经验遥感驱动或基于过程的生物地球化学模型，而机器学习 (ML) 模型在滨海湿地 CO₂ 通量建模中的应用很少，尤其是对于净 CO₂ 通量 (NEE)。

本研究利用自动机器学习 (AutoML) 技术结合多源遥感数据，预测中国滨海湿地 (包括红树林和盐沼生态系统) 的 CO₂ 通量，并评估多种 AutoML 技术平台 (Lazy Predict、H₂O AutoML 和 FLAML) 在预测中国滨海湿地二氧化碳通量中的有效性。研究发现：

(1) 不同 AutoML 平台在大多数站点和滨海生态系统类型的 CO₂ 通量预测中表现良好。对于单个站点的预测，测试集得出的平均决定系数 (R²) 为 0.74、0.79 和 0.63，总初级生产力 (GPP)、生态系统呼吸 (RE) 和 NEE 的平均 RMSE 分别为 0.83、0.45 和 0.76 gC m⁻²s⁻¹；

(2) 在跨站点预测中，AutoML 模型在盐沼 (GPP、RE 和 NEE 的平均 R² 为 0.86、0.84 和 0.76) 的表现通常优于红树林 (GPP、RE 和 NEE 的平均 R² 为 0.72、0.76 和 0.59)；

(3) 利用可解释性机器学习的 SHAP 分析表明, 植被变量 (LAI 和 FAPAR) 在红树林生态系统 CO₂ 通量预测中起着明显的重要作用, 其次是气候变量 (气温和降水), 而气温在盐沼生态系统中占主导地位, 植被变量的作用较小。

(Nguyen, N., Lv, H., He, W., et al. Automated machine learning integrating multi-source satellite observations to predict gross and net CO₂ fluxes of coastal wetlands in China. Environmental Research Letters, 2025.)

◆ 34. 受干扰蓝碳生态系统土壤有机碳储量的非均匀性损失

保护 BCEs 已成为国际社会应对气候变化的重要策略, 相关举措已纳入联合国政策框架和自愿碳抵消项目。这些工作假定生态系统受干扰后表层 1 米土壤中的 C_{org} 会呈现显著且均匀的损失, 但这一假设缺乏坚实的实证依据。

本研究基于 Web of Science, 使用预设关键词逐层筛选, 选取了 140 篇研究文章, 全球 239 组完整与受干扰 BCEs 的配对观测数据, 涵盖了全球 118 个红树林地点、82 个盐沼地点和 39 个海草地点。通过对经纬度、气候数据、采样深度、C_{org} 含量、干容重 (DBD)、干扰持续时间等数据提取与标准化, 对土壤 C_{org} 储量计算。

研究发现土壤 C_{org} 储量的损失差异很大: 红树林因农业开垦造成的流损失高达 -68.4% (±13.4%, 95% 置信区间), 而采伐活动则可能带来 +0.8% (±46.2%) 的微弱增加; 盐沼在气候/水文变化影响下损失了 -25.9% (±30.7%), 但放牧活动反而导致 +48.6%

($\pm 78.7\%$) 的积累; 海草床因植被破坏损失 -34.2% ($\pm 22.4\%$), 疏浚活动造成 -27.4% ($\pm 33.6\%$) 的损失。深度干扰可导致 50—200 厘米深层碳储量的耗竭, 而轻度干扰仅影响表层 10—30 厘米或造成可忽略的损失。这一发现有助于完善 BCEs 温室气体排放全球清单, 为国家自主贡献承诺的减排政策制定提供支持。

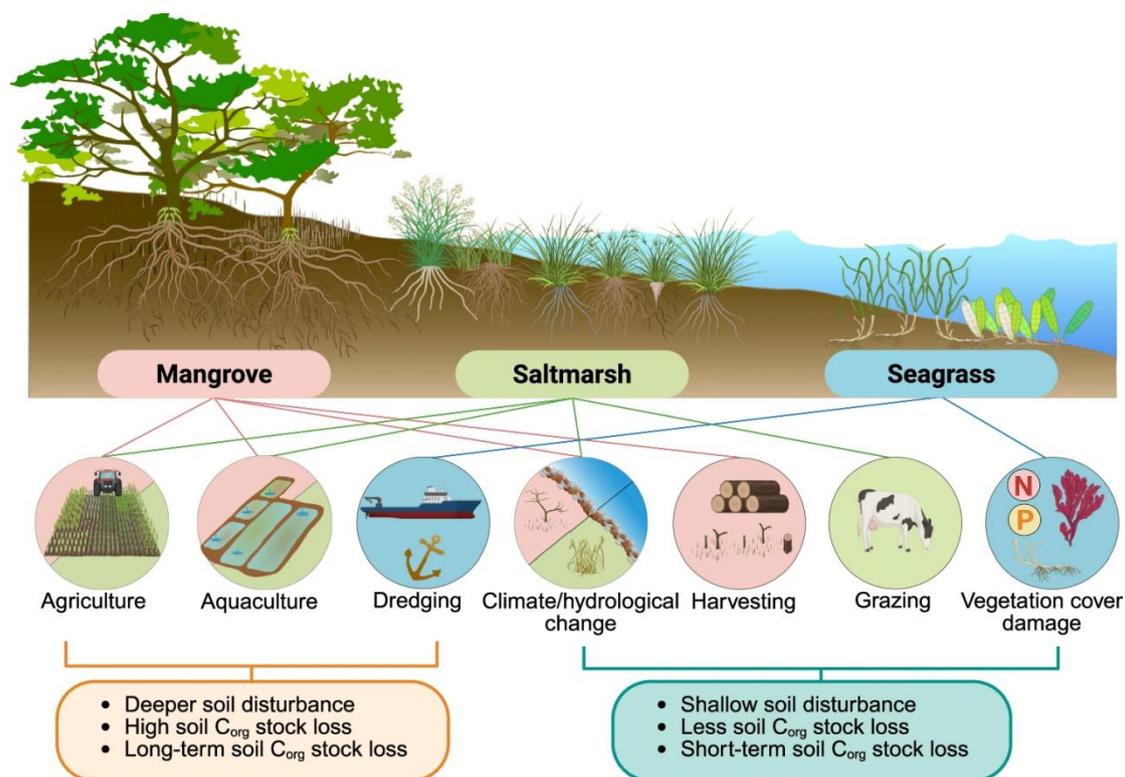


图 1 干扰机制对 BCEs 土壤 C_{org} 储量影响的假设

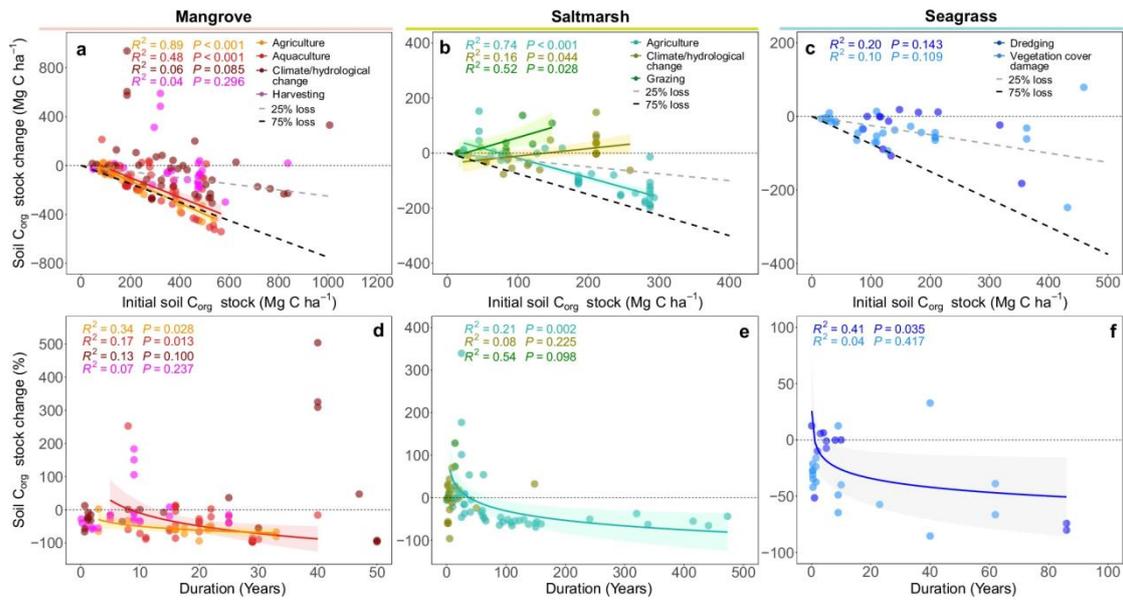
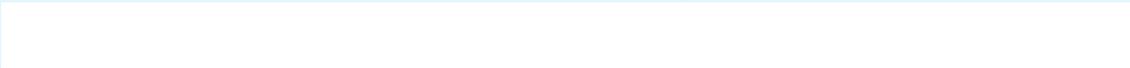


图 2 BCEs 表层土壤 C_{org} 储量变化对初始 C_{org} 储量及干扰持续时间的响应 (表层土壤 C_{org} 储量变化 (Mgcha-1) 对初始 C_{org} 储量的响应 (a-c); 表层土壤 C_{org} 储量变化 (%) 对干扰持续时间的响应 (d-f))

(Fu, C., Klein, S.G., Breavington, J., et al. Nonuniform organic carbon stock loss in soils across disturbed blue carbon ecosystems. Nature Communications, 2025, 16, 4370.)



四

权威观点



四

权威观点

◆ 1. 中国科学院院士焦念志：缓解全球气候变化，“蓝碳”是关键

作为中国乃至世界海洋碳汇发展推动者，焦念志在国际上首次提出了海洋储碳新机制——微型生物碳泵理论框架，开辟了海洋碳汇研究的新领域，被美国《科学》杂志评论为“海洋巨大碳库的幕后推手”。

海洋碳汇，也称“蓝碳”，是利用海洋活动及海洋生物吸收大气中的二氧化碳，并将其固定、储存在海洋中的过程、活动和机制的总称。海草床、红树林、盐沼是重要的海岸带蓝碳生态系统，大型海藻、贝类乃至微型生物也能高效固定并储存碳。

一直以来，大家公认海洋碳汇的潜力开发是人类应对气候变化和各经济体实现碳达峰、碳中和目标的必然选择和有效途径。从碳库体量来看，海洋是世界上最大的碳汇体，海洋碳库的碳储量约为 39 万亿吨，是陆地碳库的 20 倍、大气碳库的 50 倍，海洋生态系统固定了全球 55% 的碳，每年约有 30% 由人类活动排放到大气中的二氧化碳被海洋吸收。从效率来看，单位海域中生物的固碳量是森林的 10 倍，是草原的 290 倍。

而全球变暖，让全人类不得不重视碳汇。“全球变暖的主要原因是人为排放的二氧化碳温室气体过多，所以抑制全球变暖需

要减排，但是减排其实和经济发展有一定的冲突，我国作为一个发展中国家，发展还是第一位的。”焦念志表示，在保持经济增长的前提下，还有一个出路是开发新能源。这是抑制全球变暖的根本出路，但是需要更长的时间也需要更大的投入。“在这种情形下，增加碳汇或者做负排放就是一个两全之策。一是应对气候变化，二是减小减排压力，给发展经济留下更多空间。”

气候变化是全球危机，不分国家大小，而是涉及地球村的每个人。同时，气候变化也是个很好的科研领域，是科学工具可应用的地方。焦念志呼吁“让科学再次成为全世界的共同语言或者世界语言，让大家可以共同交流。”在 AI 急速发展的当下，焦念志认为更要使用好人工智能这一工具，“气候变化需要数理化天地生的综合知识，而 AI 的最大的特点就是综合，能利用大数据，基于大模型把无数的人的智慧集中在一起，正好适合应对气候变化这样的复杂问题，而关于应对气候变化的科普，AI 也可以发挥作用。”

（中国海洋发展研究中心，2025-03-28）

2. 6位院士领衔刊文：我国海岸带蓝碳生态系统结构与保护优化策略研究

一、背景与内容

文章梳理并分析了我国红树林、盐沼湿地和海草床等三大海岸带蓝碳生态系统的分布结构及变化；从海岸带蓝碳资源、生态

系统保护修复、蓝碳资源价值和碳汇交易市场等方面，阐述了我国海岸带蓝碳生态系统的碳汇认知、保护修复的科学性和系统性、蓝碳资源管控体系和价值实现等方面存在的问题。研究提出了完善海岸带蓝碳生态系统认知、强化绿色可持续的保护修复模式、发展蓝碳资源精细化管控体系和交易体系等建议，可为我国“双碳”目标下的海岸带蓝碳生态系统保护修复与发展研究提供理论指导和决策参考。

二、存在的主要问题

现阶段海岸带蓝碳生态系统的认知、生境退化、生物多样性降低等问题依然突出，保护和监管能力还比较薄弱，管控体系和区域保护整体协调度不够。具体为：

（一）对海岸带蓝碳生态系统认知不全、碳汇功能评估缺乏，生态系统依然脆弱且存在功能退化。目前除红树林、盐沼湿地、海草床等之外的海岸带蓝碳生态系统及其碳汇功能分析尚不充分，如沿海防护林生态系统、大型海藻等。其次，受沿海城市化建设和人类活动、气候变化的影响，海岸带蓝碳生态系统固碳潜力被削弱，仍然处于脆弱状态。再者，无瓣海桑、互花米草等外来速生物种的引入造成生物多样性降低，原生生态系统存在系统性退化。

（二）现有海岸带蓝碳生态系统保护修复工作仍存在瓶颈。以面积为导向的海岸带蓝碳生态系统保护修复缺乏科学性和系

统性考虑，可能导致各级部门为达到政策规定的恢复面积，不以科学为依据，以牺牲其他生态系统的功能为代价。其次，海岸带蓝碳生态系统监测和碳汇功能研究存在管理误导风险，如微塑料等新型污染物、围垦造成树木砍伐和土壤扰动造成的温室气体排放、养殖的水产品自身呼吸的温室气体排放等不确定性因素还未纳入政策制定和管理决策的考量之中。

（三）海岸带蓝碳生态系统的空间管控体系不健全，蓝碳资源管控体系缺乏，蓝碳资源价值难以体现。海岸带蓝碳生态系统分区范围和单元难以划定，空间管控体系不健全，陆海功能缺乏统筹，如资源空间管理与生态环境部门的协同、与文化旅游部门的协同以及与执法部门的协同等综合管理机制还未完善。其次，海洋蓝碳资源保护、修复和评估等精细化管控体系缺乏，蓝碳资源价值难以体现，碳汇交易、碳普惠产品和资金难以自由流动，碳汇市场发展缓慢。

三、优化对策建议

（一）加强海岸带蓝碳资源调查，健全海岸带蓝碳生态系统认知，强化生态系统固碳增汇，保护生物多样性，提升蓝碳生态系统的韧性。综合遥感探测技术和现场调查手段，加强海草床、海藻场等遥感探测调查技术研究，全面开展全国沿海红树林、盐沼湿地、海草床和大型海藻场的调查，摸清我国海岸带蓝碳资源分布。其次，参考联合国政府间气候变化专门委员会的碳汇能力

评估分类，分析梳理红树林、盐沼湿地、海草床等自然生态系统的碳汇参数。再者，从生态系统固碳增汇和生物多样性保护的角度，审慎引入外来物种开展红树林、海草床、盐沼湿地的生态恢复，积极采用多样且适合作为先锋物种的乡土物种，合理搭配进行功能修复。

（二）以多指标综合考核指导蓝碳生态系统保护修复，强化退化区的恢复，发挥试点示范效应，加快形成绿色可持续的修复保护模式。以面积、功能、生态系统完整性和连通性综合指导蓝碳生态系统保护修复，强化海岸带蓝碳生态系统退化区的恢复，因地制宜扩大修复面积。其次，选择粤港澳大湾区蓝碳生态系统退化的热点区域作为试点示范，加快形成绿色可持续的修复保护模式。

（三）建立蓝碳资源精细化管控体系，发展多元化蓝碳资源转化途径和碳汇交易体系，提高社会和个人的参与度。探索“分区施策、分类管理、清单准入”的蓝碳资源分区分类管控措施，即在严格保护区实行强制性保护，在生态控制区允许对蓝碳生态功能不造成破坏的有限人为活动。其次，发挥政府与市场补偿的协同作用，构建多维度、多层次、多样化的生态补偿结构，以完善生态补偿资金风险分担机制，进而提高生态补偿效率。再者，鼓励并引导企业、社会组织和自然人在生态控制区和协调发展区开展蓝碳资源保护修复行动，因地制宜地探索并建立促进蓝碳生

态系统保护修复的激励机制和补贴政策。

(潘德炉,张偲,秦大河,等.我国海岸带蓝碳生态系统结构现状与保护优化策略研究[J].中国工程科学,2024,26(06):233-245.)

◆ 3. 中国工程院院士杜祥琬: 积极推进“双碳”目标 开启绿色发展新征程

我国提出碳达峰碳中和目标,不仅是对全球的庄严承诺,更是顺应时代潮流的战略选择。这标志着绿色低碳的现代化路径正在拓宽。实现“双碳”目标挑战巨大。我国碳排放总量大,产业结构偏重、能源结构以煤为主,而且留给我们实现碳中和的时间远少于发达国家。但是,这也为我国提供了发展新技术、推动高质量发展的重大机遇。我们要坚持“先立后破”,先构建以非化石能源为主体的安全能源体系,再逐步减少传统能源使用,确保供能安全与系统稳定。当前,积极推进“双碳”目标、开启绿色发展新征程,可以从以下几方面着力:

更新对我国能源资源禀赋的认识。长期以来,对我国能源资源禀赋的普遍认识是“富煤贫油少气”,但这一说法忽视了我国丰富的可再生能源资源。早在2022年,我国风、光、水、生物质发电装机总量已是全球第一。更重要的是,我们已开发的可再生资源量还不到技术可开发资源量的1/10,发展潜力巨大。因此,我们完全有底气提出到2060年“非化石能源消费比重达到80%以上”的目标。这是建立在坚实的资源基础和不断进步的技

术能力之上的。在能源空间布局方面，我们可以调整思维方式。比如，中东部地区其实具备广泛发展分布式风能、太阳能等可再生能源的条件。研究表明，中东部地区屋顶光伏等自发电成本更低，可有效提升能源自给率，形成以“身边取”为主、“远方来”为辅的新格局。

以提升科技投入控制好可再生能源的波动性。相较化石能源，可再生能源的波动性较大。为此，我们要加快构建以新能源为主体的新型电力系统，发展多样化储能方式，推动源网荷储协调和虚拟电厂等机制，提升系统调节能力，实现安全可靠运行。由此，可以将可再生能源的波动性变成灵活性，使其成为智慧能源。

增强各行业领域推进低碳转型的协同。实现“双碳”目标是一个复杂的系统工程，需要政策引导、技术支撑、金融支持与社会各方参与。在推进过程中要把握节奏，既要避免“一刀切”，也要防止转型迟缓，确保稳中有进。比如，科技创新是实现“双碳”目标的关键支撑，绿氢、智能电网、CCUS（碳捕集、利用与封存）等关键技术必须加快突破；工业方面，钢铁、水泥等行业可通过节能、绿色工艺实现尽早达峰；交通领域需推动电动化替代与绿色燃料发展；建筑方面要加强节能改造，推广“光储直柔”等新型用能系统；要完善低碳技术标准与碳交易制度，发挥市场机制在降碳中的引导作用等等。

碳中和不是终点，而是通往能源未来的重要里程碑。我们要以坚定的战略定力，促进我国经济社会发展全面绿色转型。

（人民网，2025-05-07）

4. Nature | 地质净零排放和碳汇分类核算的必要性

一、背景与内容：实现全球二氧化碳（CO₂）净零排放，同时减少其他温室气体排放，将遏制全球变暖。在人为主动移除的CO₂完全抵消CO₂排放之前，CO₂排放将持续推动变暖。然而，出于实际原因，许多温室气体核算体系允许将一些“被动”CO₂吸收（如因CO₂施肥效应导致的植被生长增强）算作人为净排放量定义中的移除量。若将被动CO₂吸收入核算，名义上的净零排放将无法遏制全球变暖，从而破坏《巴黎协定》的目标。

二、结果：研究表明，仅依靠森林、海洋等自然碳汇来抵消使用化石燃料产生的二氧化碳，并不能真正有效阻止全球变暖，实现气候目标需重新审视净零排放概念。在碳排放报告和目标中，应细化土地管理类别，进行碳汇分类核算，以更好地区分被动CO₂吸收的作用；在可能的情况下，所宣称的移除量应区别于被动吸收；气候目标应承认“地质净零”的必要性，即每从化石能源中产生1吨CO₂，就需有1吨CO₂永久回存至固态地球中。对“净零”的科学理解为在向地质净零转型期间及未来，分配保护被动碳汇的责任提供了依据。

（Allen, M.R., Frame, D.J., Friedlingstein, P. et al. Geological Net Zero and the need for disaggregated accounting for carbon sinks. Nature 638, 343–350 (2025).）

◆ 5. Science | 保护中国滨海盐沼

沿海生态系统，如滨海盐沼、红树林和海草床，具有高碳埋藏能力和长期碳封存能力。为保护滨海湿地，中国已实施 1000 多个生态修复项目，建设 2200 多个湿地自然保护区，并推动海洋和湿地环境中储存的碳（即蓝碳）的生态保护修复和交易立法。然而，中国对红树林和海草床的保护投资力度远超滨海盐沼。鉴于滨海盐沼占中国沿海湿地的 75% 以上，中国应将更多资源用于保护滨海盐沼。

中国滨海盐沼的总碳储量约为 25Tg，贡献了沿海蓝碳生态系统占碳埋藏的 80%。滨海盐沼中的本地植物盐地碱蓬（*Suaeda salsa*）也是丹顶鹤（*Grus japonensis*）和黑嘴鸥（*Chroicocephalus saundersi*）等濒危物种的重要栖息地。然而，港口建设、泥滩开垦和水产养殖开发已导致至少 7080 公里的土地退化或滨海盐沼消失。由于中国对滨海盐沼实施的国家级保护和恢复计划很少，因此恢复的滨海盐沼面积占退化面积的不到 10%。

与滨海盐沼不同，红树林和海草床已获得政策倾斜，并实施了大量保护行动。例如，国家法律对红树林制定了专项规定，由于《红树林保护修复专项行动计划（2020-2025 年）》、《全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划（2021-2035 年）》（强调对海草床的保护）政策的实施，全国 40% 的红树林和 27% 的海草床得以恢复。

滨海盐沼保护仍缺乏国家层面的专项规划和标准，导致政府、企业和社会各界对于滨海盐沼生态保护修复项目投入不足。为了加强保护工作，中国政府应尽快制定针对滨海盐沼的国家标准和专项修复计划。参照红树林保护模式设立专职管理机构，加大对滨海盐沼生态保护修复的财政支持力度，并将滨海盐沼碳汇纳入碳交易体系。这些举措将有助于增强公众对其碳捕获能力和生物多样性重要性的认识。

(Xinhui Feng, Yan Li, and Xinle Lin. Protect China's coastal salt marshes. *Science* 386, 629-630(2024).)

6. Science | 中国潮汐生态系统中的红树林恢复

红树林作为沿海生态系统，在碳封存、生物多样性维护和沿海保护发挥着不可替代的作用。1973年至2000年间，中国因填海造地等人为活动已损失了60%的红树林面积。尽管在2000年至2015年期间实施了恢复工作，但目前的红树林面积仅为1973年的45.9%。2020年，中国启动了《红树林保护修复专项行动计划(2020-2025年)》，旨在提高中国红树林的恢复力度。不过，该计划的策略是通过在滩涂、潮汐通道等非森林生态系统中种植红树林来扩大红树林的面积，这种模式与非洲欠妥的修复实践类似。与非洲一样，在中国的无林地带植树造林会威胁生态系统，破坏恢复目标。

中国计划在滩涂、潮汐通道和其他栖息地种植9750公顷的红树林，相当于现有红树林面积的43.5%。其中许多红树林造林

项目已经实施。例如，已在福鼎的滩涂种植了 3550 英亩的红树林。但将滩涂和潮汐通道改造成红树林没有考虑到潮汐生态系统的重要性。滩涂是滨鸟重要的觅食场所（占其觅食时间的 70% 以上），也是候鸟关键的迁徙驿站。潮汐通道在潮汐湿地和开阔水域之间承担着水循环、养分及沉积物运输等重要功能，有助于缓解湿地植物死亡，还能为红树林应对海平面上升提供自然向陆迁移空间。

在落实《昆明-蒙特利尔全球生物多样性框架》的背景下，应有效恢复沿海生态系统，以增强生物多样性、生态完整性和连通性。以牺牲滩涂、潮汐通道等非森林生态系统为代价来增加红树林的面积是不可持续的。相反，中国应该优先选取已开垦的水产养殖池塘，开展红树林种植修复。其次，应保留潮汐通道，避免建造海堤阻碍红树林向陆迁移。中国应更新其红树林修复计划，确保其实用、主动并符合全球生物多样性保护倡议。

(Xiaoguang Ouyang, Fen Guo, Shing Yip Lee, et al. Mangrove restoration in China's tidal ecosystems. *Science* 385, 836-836(2024).)

五

典型案例



五 典型案例

1. 人工智能助力新模型实时监测全球珊瑚礁状况

珊瑚礁作为世界上最脆弱的海洋生态系统，正以惊人的速度在全球范围内消亡。过去两年中，全球 75% 的珊瑚礁经历了会导致白化的高温威胁。澳大利亚大堡礁是世界上最大的珊瑚礁群。2016 年以来，大堡礁因严重的白化事件而遭到破坏，而珊瑚“杀手”棘冠海星数量暴增和沿海开发又加剧了这一情况。

南澳大利亚大学等机构的研究人员借助人工智能，并结合遥感技术、机器学习和地理信息系统等技术开发出一个新模型，可将影响珊瑚礁的所有因素整合起来，以进行实时全球监测。相关水下视频和照片、卫星图像、文本文件和时间传感器数据等都将提取并显示在统一的中央仪表盘，通过实时集中这些信息生成有助于保护珊瑚礁工作的预测模型，从而实现更早干预。研究人员表示，通过新模型可关注包括大堡礁在内的珊瑚礁白化严重程度及其随时间的变化趋势、监测棘冠海星种群数量和捕食风险、以及幼年珊瑚水平并评估珊瑚鱼的丰度和多样性等。

（新华网，2025-02-14）

2. “数字神经”赋能湿地生态修复

天津师范大学王凡俊教授团队与天津市生态环境监测中心组成联合团队，天津市滨海新区海洋生态保护修复工程项目中运

用多种科技创新手段赋能海洋生态修复，引入先进的生态信息化监测技术，构建智能化海洋生态保护监测系统，通过安装热成像双光谱摄像机、建设生态监测浮标等手段，结合遥感卫星数据、无人机航拍技术，可以实时跟踪水质、生物活动、潮位变化等生态指标，实现生态区域 24 小时动态监控，确保修复过程科学透明。项目将生态修复的科研理论与现场实际需求紧密结合，提出“生态—经济—社会”多维度平衡的创新修复模式，不仅致力于传统的岸线修复，还针对滨海新区湿地保护提出更高效的修复方法。

（天津日报，2025-02-17）

3. 莆田蓝色海湾“AI 生态管家”综合管理系统

自然资源部公布 2025 年海洋生态保护修复典型案例评选结果，全国共评选出 15 个典型案例。其中，正和生态项目“海丝路上读懂‘妈祖故里’的生态复兴—福建省莆田蓝色海湾整治行动生态修复典型案例”成功入选。莆田蓝色海湾项目应用公司“AI 生态管家”产品搭建莆田智慧海湾综合管理系统，结合碳汇监测、碳中和推演评估以及生态系统生产总值（GEP）核算，为莆田海岸带生态系统的恢复与营建、蓝碳计量提供科学的数据支撑。

2020 年治理前，妈祖城内湾的紫玉湖湿地还是一片杂乱的洼地，杂草丛生，垃圾堆弃，周边乱搭围挡等问题严重。正和生态在莆田蓝色海湾项目中，通过拟自然的生态工法还原自然生

境，增强蓝碳功能。项目因地制宜应用湿地修复、退养还滩、海堤生态化改造、内湾纳潮、防风林修复等多种措施，为鹭鸟等目标物种营建滨水栖息空间，并优化生态景观满足公共自然教育、休闲参观等需求，营造了可持续的滨海水陆交界带。修复后的莆田蓝色海湾实现了海堤巩固升级、生态环境改善与景观重塑共享。如今的紫玉湖湿地，与大海相距不过数百米，已成为人与自然和谐共生的海岸生态公园，起到了稳定海岸线、恢复潮间带生境的作用。随着周边水环境和植被环境的改善，不少鱼类、鸟类也在此栖息。如今，内湾地块遍布绿植，已修复的生态面积达22公顷，并配套健身步道。“水清、岸绿、滩净、湾美”的“蓝色海湾”生态建设目标已逐步实现。

（中国证券报·中证网，2025-02-17）

4. AI智能监测 科技赋能“天津方案”

2025年6月6日，天津市规划和自然资源局以“保护海洋生态系统 人与自然和谐共生”为核心理念，成功举办2025年世界海洋日暨全国海洋宣传日主题宣传活动。此次活动通过主会场的深度交流与南港工业区增殖放流实践的有效联动，为“守护蓝色海湾”开启了立体化实践格局。

渤海监视中心邀请海嘉国际双语学校学生走进AI智能实验室开展研学活动。实验室可自动分析海水中化学需氧量、重金属等15项因子，实现取样、前处理至报告全流程无人化，每日处

理近百件样品。学生现场观摩机械臂精准作业，通过 AI 算法演示直观感受赤潮监测压缩至分钟级的高效。这场“科技+海洋”的沉浸式体验，让青少年近距离领略智能监测体系的“硬核”守护，切实增强了他们的海洋保护意识与科技认知。

（今晚报，2025-06-06）

◆ 5. 海草床智能监视监测系统助力生态修复：曹妃甸海草床的“AI+生态”创新实践

海草床与红树林、珊瑚礁并称为三大典型海洋生态系统，生态价值巨大。研究表明，仅占海洋面积 0.1% 的海草床，年固碳量却占海洋总固碳量的约 18%，是高效的“蓝色碳汇”，其生态服务价值每年每公顷高达 15 万元。同时，它还能稳固海底、净化水质、减缓海岸侵蚀，为鱼、虾、贝、蟹等众多海洋生物提供栖息地和育幼场。

然而，曹妃甸龙岛西北侧海域，这片渤海主要捕捞作业区之一、渔业资源密度极高的“海底草原”，曾面临严峻挑战。前些年，受陆源污染、气候变化，以及拖网捕捞、吸蛤船作业等高强度渔业活动干扰，海草植被和底质生境受到破坏，部分区域出现稀疏区和裸斑区，呈现局部退化趋势。

依托中央财政支持，曹妃甸成功探索出“人工修复+自然恢复”的生态修复模式，其核心在于系统性、精准性和长效性，形成了可复制、可推广的“河北经验”。修复完成仅是第一步，构

建海草床长效管护机制至关重要。唐山市曹妃甸区自然资源和规划局部署了海草床智能监视监测系统，实时监测海草床长势、海水水质、水温等环境参数，并对修复区人类活动进行监管，让海草床在自然状态下逐渐恢复。

经过两期的修复和精心管护，唐山曹妃甸海草床已经非常茂盛，形成了“海底草原—生物廊道—海岸屏障”立体生态系统，实现了生态与渔业经济的双赢。随着海草床的修复，海洋生物也纷纷“回归故里”。监测数据令人欣喜：修复区大型底栖生物种类从 60 种增加到 111 种，增幅达 85%；生物量均值由每平方米 4.51 克跃升至每平方米 19 克，提升 321%；生物多样性指数提升 42.3%。

（人民网，2025-06-08）

