

UNESCO《海洋碳综合研究》 对中国碳达峰碳中和的启示

The enlightenments of UNESCO's *Integrated Ocean Carbon Research* for carbon peaking and carbon neutrality in China?

■文 / 李宣瑾¹ 丽娜·托库² 张晓岚² 门宝辉²

一、海洋碳综合研究 (IOC-R) 简介

为响应联合国海洋科学促进可持续发展的十年(2021-2030)实施计划,更有效地为海洋科学做出贡献,联合国教科文组织的政府间海洋学委员会(IOC-UNESCO)于2018年成立海洋碳综合研究(IOC-R)工作组,通过综合研究和观测目标来解决海洋碳研究中的关键问题。

作为海洋科学十年(2021-2030)实施计划的一部分,IOC-UNESCO《海洋碳综合研究:海洋碳研究概述及未来十年海洋碳研究和观测展望》报告于2021年4月正式发布。报告介绍了当前对海洋在碳循环中所起作用的认识情况,并指出未来发展方向,为决策者提供未来10年减缓和适应气候变化政策制定所需的知识。

该研究主要由2019年10月28日至30日在法国巴黎IOC-UNESCO总部举行的首届海洋碳综合研究专家研讨会上提出的四个关键问题构成:(1) 海洋对人为CO₂的吸收是否会继续作为主要的非生物过程;(2) 生物学在海洋碳循环中起到了什么作用?其作用如何变化;(3) 陆地-海洋-冰块之间的碳交换如何进行?这种交换如何随时间变

化;(4) 人类如何改变海洋碳循环以及由此产生的互馈机理,包括如何从大气中去除CO₂。

二、IOC-R海洋碳 综合研究的关键问题

(一) 海洋对人为二氧化碳的吸收是否会继续作为主要非生物过程

海洋是否会继续作为排放到大气中的(由人类活动产生的)碳汇这一问题,对于气候科学和气候政策都至关重要。只要大气中的CO₂水平上升,非生物吸收的部分就会继续下去,但随着排放减缓,大气中的CO₂增长速度放缓,海洋的吸收也会相应减缓。

确定海洋碳汇的变化程度,阐明引起这些变化的机制和区域,对于预测未来的海洋碳汇至关重要。为了获得对海洋碳汇、碳-碳和碳-气候反馈的更可靠的预测,需要在地球系统模型(ESM)中改进对这些过程的表述。

(二) 生物学在海洋碳循环中的作用及变化过程

在快速变化的海洋环境中,生物泵的巨大变化可能会对海洋碳循环和海洋生态系统产生巨大影响。由于各种物理过程和海洋生态系统存在频繁的相互作用,各种微生物地球化学过程在不



同时空尺度存在交互影响,特别是碳、氮、硫循环的耦合过程深刻地影响海洋碳汇。因此单纯研究碳循环来阐述海洋储碳机制已远不能达到目的,需要加强生物地球化学和生态学研究之间的联系,并且将不确定性因素的观测与变化机理的建模等研究工作紧密结合。

(三) 陆-海-冰连续体之间的碳交换

全面整合陆地-海洋的连续体并将其纳入ESM对于理解全球碳循环至关重要。这将需要在理论研究和数据覆盖方面取得突破性进展。

湿地生态系统、海冰、河口羽流、海洋边缘等与陆架之间的循环相互作用十分复杂,存在很多未知因素的影响且有待进一步研究。鉴于陆地-海洋连续体的巨大变化,这种汇的演变在很大程度上充满未知,因此需改进对不同海洋边缘系统的分类,从而提高对控制这些不同系统中碳循环的关键过程的理解。

(四) 人类如何改变海洋碳循环以及由此产生的互馈机理

人类活动产生的碳的吸收和自然变化引起的海洋碳循环变化正在改变海洋生物和生态系统功能。从历史上看,人类压力因素的影响评估并不是海洋碳研究的一部分,但为了对海洋碳循环有一个更全面的认识,需要进行多学科的研究和观测,来了解海洋环境的过去和现状,形成衡量变化的基准。并且通过结合经济和社会科学共同探索出新的研究方法,进一步了解海洋中发生的化学变化及其对系统中生物成分的影响,以及它们对整个海洋生态系统的重要性和它们在经济、社会影响层面所能提供的服务。

三、解决海洋碳综合研究的方案

(一) 加强对观测网络持续的财政支撑

政策制定者需要从海洋的持续观测中获取信息来进行复杂的决策,然而目前在许多地区对海洋必要的连续观测太稀缺或不精确。观测网络在量化和理解海洋碳循环方面有着巨大价值。因此为了评估人类活动的影响,以及减少温室气体排放措施对海洋的影响,需要全球范围内对观测网络提供财政支持,并进行持续的投资。此外,参与组织和实体(包括私营部门的组织和实体)需要以合作方式对观测网络进行长达几十年的协调、编码和运营。

(二) 加强并协调现有的碳观测与综合项目组合

目前使用两种不同的原位方法来量化表层海洋碳吸收和内部海洋运输和储存。对于海洋表面而言,一般采用研究船、自主水面车等设备对海面二氧化碳进行测量,再对数据进行整合、筛选、汇编。对于海洋内部观测而言,通常是对整个水体中的离散水样进行分析,其中最重要的是对人类活动产生的碳的量化,对测量的准确度要求极高,目前只有GO-SHIP巡航能为全球人类活动产生的碳场的观测提供关键的测量数据。因此通过利用现有的分析、观测技术,结合GO-SHIP巡航测量、生物地球化学(BGC)Argo剖面浮标技术等新兴技术,将大大提升海洋碳观测的精度与可靠性,有助于人类加深对海洋碳综合的认识。

(三) 海洋碳研究的区域性优先事项

人类活动造成的碳排放正在使海洋的物理和生物地球化学性质发生变化,这些变化的程度和影响在世界海洋和沿海地区的分布并不均匀,因此需要在区

域范围内解决。

海洋碳研究的区域性优先事项具体包括：考虑东部边界上升流系统（EBUS）、西部边界海流系统、受大江大河影响的地区和极地地区等区域特征的地理独特性；同时需要解决多种压力因素（如变暖、酸化和脱氧）对海洋生态系统的影响以及对依赖这些生态系统的人类社区的影响。

（四）新的过程研究和实验

过程研究和重点实验操作提供了开发模型所需的机理解释和参数，它们可以提供校准遥感和自主平台所需的高质量观测，以及评估所得算法的性能。对碳循环的理解存在许多尚待解决的问题，例如在很大程度上被忽视的大气和海洋之间的有机化合物的交换，从区域上看，这可能是海洋碳交换总量中的一个重要部分。充分利用这些新的过程研究和实验，将有助于认识和理解海洋碳循环的复杂过程，特别是在控制有机碳向无机碳转化的生物学和过程的关系上。

（五）自主观测和分析技术的革新

自主观测和分析研究的进展将在很大程度上影响海洋碳综合研究计划的实施。借助遥感、自主平台和车辆以及人工智能等技术手段为推进海洋碳循环运作和扰动的研究工作提供了可能。

滑翔机和自主地面飞行器等的应⽤为快速改进

化学和生物传感器提供了良好的平台，有助于获得更全面的观测数据。但想要实现观测数据的网络化、获得更加广泛全面的数据来科学指导管理和保护工作，依旧需要进一步的开发和投资。

（六）模型与观测相结合

碳循环和其他关键的生物地球化学过程已被完全纳入海洋环流模型和ESM。在全球和年代际尺度上，这些物理-生物地球化学耦合模型可用于估计大气-海洋二氧化碳通量和海洋吸收人类活动产生的碳的长期趋势。不同模型之间的差异很大，尤其是在区域和年际尺度上。由于对海洋物理过程的模拟不一致，以及全球和区域范围内的生物地球化学参数设置不充分，这种模式差异仍然很大。改进这些模型的预测和预报能力，将有助于减轻全球和区域内的气候和海洋生态系统风险，从而制定有效的碳政策。

（七）考虑解决方案：缓解手段

从广义上讲，有两种重叠的海洋减排方法：直接干预或海洋地球工程，以及基于生态系统的方法。将涉及碳封存的方法称为海洋二氧化碳去除（CDR）技术（属于海洋地球工程类别）。IOC-R研究指出，需要对CDR技术进一步调查的问题主要包括CDR技术的有效性（拟议的CDR方法是否能有效地在大范围内储存碳）、副作用（是否会对海洋生态系统产生



有害影响)以及效果监测(是否有观测计划来监测功效和影响)。

此外,通过土地-海洋综合管理等方式来加强沿海水域的碳封存是缓解气候变化的一个关键方法。而通过改进管理方法来扭转盐沼和红树林等高产岸边生态系统的衰退,是加强封存的另一种手段。

三、启示与建议

(一) 借鉴IOC-R关键研究问题和解决方案,探索推进中国对海洋碳观测、分析和预测等综合领域的研究和要素整合

一是统筹研究陆-海-冰连续体之间的碳交换。二是通过多学科结合,将人类活动影响纳入海洋碳研究中,加强海洋碳库及其在应对气候变化和其他人类压力的预期变化等方面的深入研究。三是加强对20-21世纪海洋碳吸收量变化的物理、化学和生物过程的分析研究。四是充分考虑影响生物碳循环和海洋健康的多种因素,加强生物地球化学和生态学之间的联系,提升对海洋生物循环和海洋碳循环变化的预测能力。五是整合现有海洋观测、模型、分析等技术和资源,提升海洋碳观测和分析的精度与可靠性。并通过改进综合产品、建模和模型数据融合等活动,打造全面可靠的海洋碳和生物地球化学预测系统。六是开展区域性海洋碳研究,增进对减排工作有效性、海洋-大气CO₂交换趋势的控制以及与陆地生态系统相互作用的理解。

(二) 探索实施陆海统筹负排放生态工程,促进沿海富营养化问题治理和沿海水域碳封存的协同增效

陆源营养盐大量输入近海,不仅导致近海环境富营养化、引发赤潮等生态灾害,而且使得海水中有机碳难以保存。减少陆地输入的营养物可以加强沿海水域的碳封存,同时也可以解决沿海富营养化的问题。可探索以大江大河为主线,通过陆海统筹科学施肥、减少向近海的营养输入,可缓解富营养化、增加碳汇总量,给陆海统筹生态增汇工程提供低成本高效益的路径。

(三) 系统解析海洋微生物所驱动的碳循环过程,探索构建海洋碳汇核查技术体系

微生物作为海洋生态环境调控和元素循环的关键枢纽,其驱动的碳汇链条和海洋生态系统功能及产出密切相关。可探索发挥海洋微生物研究的优势,系

统地进行海洋碳汇核查技术体系研发。通过链接无机与有机碳库以及生命与理化过程,解析碳汇构成,溯源碳汇成因,查明主要碳汇的生物族谱,并按照碳汇效益分级建档,在此基础上探索构建系统的海洋碳汇核查理论、监测指标和评估方法。

(四) 推动海水养殖区综合负排放工程实施,促进海洋负排放与生态系统可持续发展


在科学评估、统筹海水养殖容量及其对海洋碳汇贡献的基础上,探索研发兼顾环境与经济的优化养殖增汇模式,打造可持续发展的健康养殖模式和海洋负排放综合工程样板。

一方面,系统研究综合海水养殖区固碳储碳过程与机理;另一方面,探索实施海水养殖负排放等工程,基于环境承载力进行贝、藻、底栖生物等不投饵生物标准化混养,形成多层次立体化生态养殖格局,实施清洁能源驱动的人工上升流生态增汇工程。

(五) 探索构建海洋碳交易体系和量化生态补偿机制工作,为实施陆海协同的碳管理模式提供技术支持

一方面,依据中国特色海洋碳汇资源,探索建立符合国情和国际国内交易规则的海洋碳汇交易体系。开展基于海洋碳货币的碳中和核算机制与方法学研究,建立海洋碳指纹、碳足迹、碳标识相应的方法与技术、计量步骤与操作规范、评价标准;另一方面,探索制定基于碳汇的量化生态补偿机制,建立代表性河流水系由沿海地区对西部地区的生态补偿体系,为实施陆海协同的碳管理模式提供技术支持。

(六) 积极参与并推动海洋碳国际合作,助力联合国可持续发展目标实现

充分利用和发挥现有对外合作交流平台桥梁纽带作用,积极开展应对气候变化和绿色低碳发展领域对话交流与务实合作,积极推进海洋碳汇、海洋防灾减灾、海洋生态保护方面的国际合作及海洋碳领域科技创新。积极推动ONCE大科学计划实施,探索建立并完善应对气候变化的海洋碳汇/海洋负排放有关科学规划和工程技术体系,在实现绿色低碳转型中起到创新引领关键作用,为全球治理提供中国方案,同时助力联合国可持续发展目标14实现,即“保护和可持续利用海洋和海洋资源以促进可持续发展”。

作者单位:1.生态环境部对外合作与交流中心;
2.华北电力大学