

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20220325004

http://www.yykxjz.cn/

张继红, 刘毅, 吴文广, 王新萌, 仲毅. 海洋渔业碳汇项目方法学探究. 渔业科学进展, 2022, 43(5): 151–159
ZHANG J H, LIU Y, WU W G, WANG X M, ZHONG Y. Overview of the marine fishery carbon sink project methodology. Progress in Fishery Sciences, 2022, 43(5): 151–159

海洋渔业碳汇项目方法学探究*

张继红^{1,2①} 刘毅¹ 吴文广¹ 王新萌¹ 仲毅¹

1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所 农业农村部海洋渔业可持续发展重点实验室 山东 青岛 266071;
2. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室 山东 青岛 266071)

摘要 碳汇项目方法学可规范碳汇项目设计文件编制和计量监测工作, 确保项目产生的减排量达到可测量、可报告、可核查的要求, 是进行碳交易的必要条件。本文梳理了当前碳汇项目方法的现状、他山之石—林业碳汇方法学的主要内容、海洋渔业碳汇相关理论和标准的研究进展, 并对我国海洋渔业碳汇研究、标准及碳汇项目方法学开发面临的问题进行了分析, 提出了具体的建议, 以期作为渔业碳汇方法学的建立及早日进入碳汇交易市场提供科学参考。当前, 清洁发展机制(Clean Development Mechanism, CDM)和核证碳标准(Verified Carbon Standard, VCS)开发了林业碳汇方法学及红树林、湿地和海草等蓝碳项目的方法学。目前, 尚无有关渔业碳汇监测和计量的国际标准和国家标准。海洋渔业碳汇计量和监测等一系列方法学体系尚未建成, 无法全面系统评估我国海洋渔业碳汇能力和可交易量, 海洋渔业碳汇与我国经济发展尚未建立耦联关系。一批相关的行业标准正在研制过程中。但是, 关于海洋渔业碳汇的时效性、计量方法等尚存在不确定性。对此, 建议加强海洋渔业碳汇理论研究、健全海洋渔业碳汇计量的数据体系、建立海洋渔业碳汇的示范区域和关注收获贝藻类的合理利用, 以解决目前有关海洋渔业碳汇的争议问题, 促进海洋渔业碳汇项目开发方法学建立, 推进我国渔业碳汇交易市场的发展, 发挥海洋渔业在应对气候变化中的作用。

关键词 渔业碳汇; 海水养殖; 贝藻类; 捕捞群体; 方法学

中图分类号 S917.3 文献标识码 A 文章编号 2095-9869(2022)05-0151-09

1 碳汇项目方法学的现状

1.1 背景

CO₂ 等温室气体的过度排放加剧了全球气候变化, 使人类社会可持续发展面临严峻挑战。IPCC 第六次评估报告显示, 人类活动致使气候以前所未有的速度变暖, 极端高温和降雨事件变得更加频繁。中国

是全球最大的发展中国家, 中国经济的高速增长, 使我国成为全球 CO₂ 排放总量最多的国家。作为负责任的大国, 2020 年中国政府做出了“CO₂ 排放力争于 2030 年前达到峰值”、“努力争取 2060 年前实现碳中和”的承诺。在实现碳达峰、碳中和的过程中, 碳交易是不可忽视并值得重视的关键路径。中国政府于 2011 年批准了北京、上海、天津、重庆、湖北、广东和深圳 7 省市和经济特区开展碳交易试点工作。

* 科学技术部重点研发计划课题(2020YFA0607603)和国家自然科学基金委-山东省联合基金项目(U1906216)共同资助 [This work was supported by National Key Research and Development Program of China (2020YFA0607603), and Joint Fund of National Natural Science Foundation of China (U1906216)].

① 通信作者: 张继红, 研究员, E-mail: zhangjh@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2022-03-25, 收修改稿日期: 2022-06-05

上海联合产权交易所 2021 年 6 月 7 日发布, 全国碳排放权交易市场 6 月底正式上线交易。农业农村部已开展了从碳市场中争取资金的大量尝试。例如, 国家发展改革委于 2012 年颁布了《温室气体自愿减排交易管理暂行办法》, 支持农林碳汇、畜牧业养殖和动

物粪便管理等申请作为温室气体自愿减排项目。

碳汇项目开发流程见图 1。碳汇项目开发需要满足的基本条件: (1)依据减排机制的方法学开发; (2)项目具有额外性; (3)项目需要经过审定、注册、监测、核查。

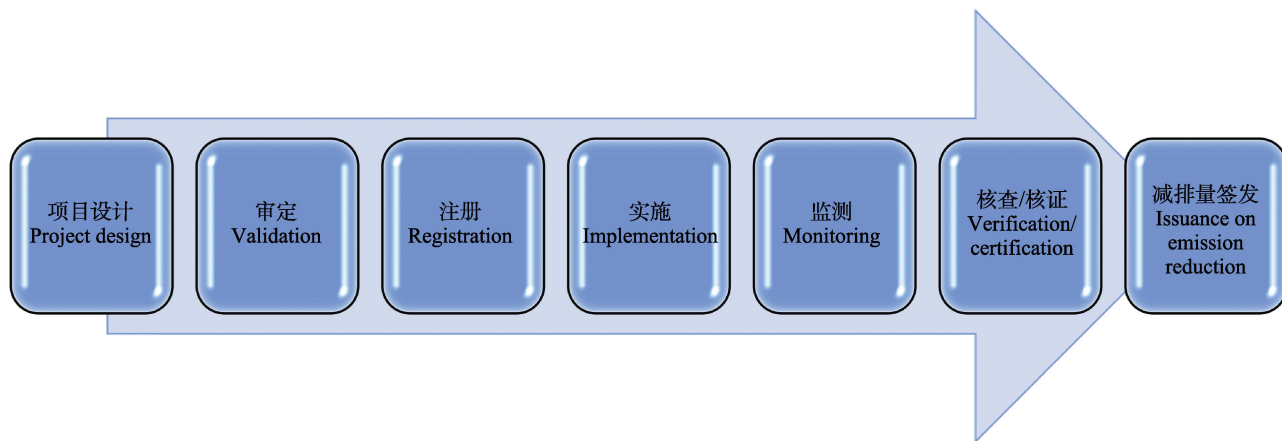


图 1 碳汇项目流程示意图

Fig.1 Schematic diagram of carbon sink project process

碳计量是以单位 CO_2 排放量作为基础, 将生产与生活当中的温室气体排放转化为等量的 CO_2 排放量, 以进行统一的结算。方法学是指用于确定项目基准线、论证额外性、计算减排量和制定监测计划等的方法指南。方法学用于规范碳汇项目设计文件编制和计量监测工作, 确保项目产生的减排量达到可测量、可报告、可核查的要求。所以, 形成全球范围内认可的碳汇项目开发的方法学是进行碳交易的必要条件。

1.2 碳汇项目方法学的概况

关于碳汇项目的减排机制包括有约束力、强制性的市场机制, 例如《京都议定书》提出的清洁发展机制(Clean Development Mechanism, CDM)、联合履行机制(Join Implementation, JI)和自愿碳市场交易机制, 例如自愿的核证碳标准(Verified Carbon Standard, VCS; Plan Vivo Standard, PVS)两大类(Ullman *et al.*, 2013; von Avenarius *et al.*, 2018)。我国的自愿减排交易体系——中国核证自愿减排量(China Certified Emission Reduction, CCER)为自愿进入、自愿减排的市场, 是获得国际认可的碳市场交易机制。自 2012 年以来, 国家发改委已公布了十二批共计 200 个已备案的 CCER 项目方法学, 主要是从 CDM 方法学、VCS 方法学转化而来, 另有新开发的 CCER 方法学 24 个(唐才富等, 2017)。碳汇项目开发涵盖了林业(森林、竹林)、草原、耕地、海洋、冻土、岩溶、风力、光

伏、沼气、生物质和废物处置(垃圾焚烧供热)等领域。为进一步完善和规范温室气体自愿减排交易, 2017 年发改委组织修订《温室气体自愿减排交易管理暂行办法》, 暂停了温室气体自愿减排交易方法学、项目、减排量、审定与核证机构、交易机构备案申请。

CDM 和 VCS 共计开发了 26 个林业碳汇方法学(Verra, 2021)。加上 2021 年新近开发完成的《天然次生林经营碳汇项目方法学》, 我国 CCER 开发的林业碳汇方法学有 6 个(表 1)。

表 1 CCER 林业项目方法学

Tab.1 Forestry carbon sink project methodology of China Certified Emission Reduction

方法学名称 Name	方法学编号 Number	发布时间 Published time
碳汇造林项目方法学	AR-CM-001-V01	2013-10-25
竹子造林碳汇项目方法学	AR-CM-002-V01	2013-10-25
森林经营碳汇项目方法学	AR-CM-003-V01	2014-01-15
竹林经营碳汇项目方法学	AR-CM-005-V01	2016-01-25
小规模非煤矿区生态修复项目方法学	CM-099-V01	2015-01-20
天然次生林经营碳汇项目方法学		2021-04-08

在海洋生态系统中,被称为“蓝碳”的红树林、海草床和盐沼等滨海湿地生态系统的碳汇能力,近年来引起国际上的广泛关注。蓝碳生态系统的保护和修复对减缓和适应气候变化的贡献得到认可(Herr *et al.*, 2016)。国际社会积极推动蓝碳进入碳市场。借鉴陆地比较成熟的方法学,2021年陆续推出了9项蓝碳相关的方法学(陈光程等,2022),包括退化红树林生境的造林和再造林(AR-AM0014)、在湿地上开展的小规模造林和再造林项目活动(AR-AMS0003)、构建滨海湿地的方法学(VM0024)、潮汐湿地和海草恢复方法学(VM0033)等。总体来讲,这几项蓝碳方法学都是采用碳储量变化法来计量碳的减排量。相比较而言,AR-AM0014方法学的框架结构与造林项目方法学一致;对于碳库的选择,只考虑了地上和地下的红树林生物质碳库,土壤有机碳和枯死木的生物质碳作为可选项。AR-AMS0003可看作是AR-AM0014的简化版,将其基线碳库及项目释放的温室气体都假定为0。VM0024的框架结构与造林项目方法学不同,但涵盖的内容基本一致;在碳库选择上,将土壤有机碳纳入,且只考虑地上的生物质碳,地下生物质碳和地上非树木生物质碳作为可选项;另外,将湿地构建修复所消耗的能源作为释放的碳予以计入。最新发布的VM0033更为详细,碳库包括地上树木生物、地上非树木的生物质碳、凋落物的生物质碳、枯死木的生物质碳、地下根系的生物质碳、土壤有机碳以及形成木质产品的生物质碳;在分层方面,根据湿地的特点,将潮汐或盐度的影响考虑进去。2021年5月,自然资源部海洋预警监测司发布了《盐沼生态系统碳储量调查与评估技术规程》(试点试行稿)和《海草床生态系统碳储量调查与评估技术规程》(试点试行稿)2项蓝碳相关的行业标准。

1.3 碳汇开发项目方法学的主要内容

碳汇开发项目方法学包括哪些内容、如何建立海洋渔业碳汇方法学?相比海洋的“蓝碳”,陆地“绿碳”碳汇方法学更为成熟。他山之石可以攻玉,以林业项目方法学为例,简要介绍方法学包括的主要内容,为海洋渔业碳汇项目方法的建立提供参考。

碳汇项目方法学通常包括3部分。第1部分:引言、适用条件、规范性引用文件、定义;第2部分:基线和碳计量方法;第3部分:监测程序。各部分包括的内容详见表2。

形成碳汇计量方法的关键是从科学原理上弄清项目活动的固碳功能和机制,包括项目活动会引起哪些碳库中碳储量发生变化。例如,《竹林经营碳汇项

表 2 碳汇项目方法学的主要内容

第一部分 First part	第二部分 Second part	第三部分 Third part
适用条件、 术语:	基线和碳汇计 量方法:	监测程序:
(1)引言	(1)项目边界 (2)土地合格性	(1)基线碳汇量的监测 (2)项目活动的监测
(2)适用条件	(3)碳库和温室 气体排放源选择	(3)项目边界的监测
(3)规范性引 用文件	(4)项目期和计 入期选择	(4)项目分层
(4)术语定义	(5)基线情景识 别和额外性论证 (6)碳层划分 (7)基线碳汇量 (8)项目碳汇量 (9)泄漏 (10)项目减排量	(5)抽样设计 (6)样地设置 (7)监测频率 (8)各碳库碳储量的监测 (9)精度控制与校正 (10)不需要监测的数据和 参数 (11)需要监测的数据和参数

目方法学 AR-CM-005-V01》规定,竹林经营项目活动的碳库主要选择地上生物量、地下生物量、土壤有机碳(扰动强度超过基线情景时可考虑计入)、竹材产品碳库(竹材产品去向监测困难时,可不考虑计入)。以及除了CO₂排放源以外,是否有其他温室气体排放源也需考虑计入。比如竹林经营项目活动时,温室气体排放源要考虑竹林经营过程中,由于木本植物生物质燃烧释放的甲烷和氧化亚氮等。《碳汇造林项目方法学 AR-CM-001-V01》中规定,碳汇造林项目的碳库主要选择地上生物量、地下生物量,而枯死木、枯落物、土壤有机碳和木产品是可选项,根据方法学的适用条件来确定是否选择,也可以忽略不计;温室气体排放源要考虑发生森林火灾,生物质燃烧产生的甲烷和氧化亚氮排放。

碳库和温室气体排放源的确定和选择是开展碳汇计量的前提。碳汇计量方法是碳汇项目方法学的重要组成部分。基线碳汇量的计量方法基本上与碳汇项目相一致,简化的方法通常可假定为零(例如,碳汇造林项目方法学 AR-CM-001-V01,在湿地上开展的小规模造林和再造林项目活动 AR-AMS0003)。因此,项目碳汇量等于拟议的项目活动边界内各碳库中碳储量变化之和,减去项目边界内产生的温室气体排放的增加量。例如,《碳汇造林项目方法学 AR-CM-001-V01》中项目碳汇量的计算公式如下:

$$\Delta C_{ACTURAL,t} = \Delta C_{p,t} - GHG_{E,t} \quad (1)$$

式中, $\Delta C_{ACTURAL,t}$ 为第 t 年时项目碳汇量; $\Delta C_{p,t}$ 为第 t 年时项目边界内所选碳库的碳储量变化量; $GHG_{E,t}$ 为第 t 年时由于项目活动的实施所导致的项目边界内非 CO_2 温室气体排放的增加量, 项目事前预估时设为 0。

第 t 年时项目边界内所选碳库的碳储量变化量的计算方法如下:

$$\Delta C_{p,t} = \Delta C_{TREE_PROJ,t} + \Delta C_{SHRUB_PROJ,t} + \Delta C_{DW_PROJ,t} + \Delta C_{LLI_PROJ,t} + \Delta SOC_{AL,t} + \Delta C_{HWP_PROJ,t} \quad (2)$$

式中, $\Delta C_{TREE_PROJ,t}$ 为第 t 年时, 项目边界内林木生物质碳储量的变化量; $\Delta C_{SHRUB_PROJ,t}$ 为第 t 年时, 项目边界内灌木生物质碳储量的变化量; $\Delta C_{DW_PROJ,t}$ 为第 t 年时, 项目边界内枯死木碳储量的变化量; $\Delta C_{LLI_PROJ,t}$ 为第 t 年时, 项目边界内枯落物碳储量的变化量; $\Delta SOC_{AL,t}$ 为第 t 年时, 项目边界内土壤有机碳碳储量的变化量; $\Delta C_{HWP_PROJ,t}$ 为第 t 年时, 项目情景下收获木产品碳储量的年变化量。

在该计量公式中, 尤其要关注收获木产品碳储量的年变化量 $\Delta C_{HWP_PROJ,t}$ 。《碳汇造林项目方法学》中规定, 如果项目情景下有采伐情况发生, 则项目木产品碳储量的长期变化, 等于在项目期末或产品生产后 30 年仍在使用和进入垃圾填埋的木产品中的碳, 而其他部分则假定在生产木产品时立即排放。《竹子造林碳汇项目方法学》中对于收获竹产品的碳储量变化的计量, 假定收获竹材生产的竹产品, 30 年后仍在使用和进入垃圾填埋的竹产品的碳储量可以计入。

监测程序主要是规定各碳库的具体监测方法, 包括如何抽样、样地设置和监测频次。因陆地环境与海域环境、林木与渔业生物的差异较大, 在此, 不赘述林业碳汇项目的监测方法。

2 海洋渔业碳汇理论研究和相关标准进展

2.1 海洋渔业碳汇理论的研究进展

海洋是地球上最大的碳库, 中国不仅是海洋大国, 还是世界上最大的水产品生产国。我国海水养殖以非投饵型的贝、藻养殖为主。唐启升院士创新性地提出了渔业碳汇的理念(张继红等, 2005; Tang *et al.*, 2011)。渔业碳汇是指通过渔业生产活动促进水生生物吸收水体中的 CO_2 , 并通过收获把这些碳移出水体的过程和机制, 也被称为“可移出的碳汇”。不需投饵的渔业生产活动都可能形成生物碳汇, 如藻类养殖, 滤食性贝类增养殖、海洋牧场、增殖放流以及捕捞渔业等。

大型海藻在海洋碳汇效应方面的重要作用, 得到

国际上越来越多的关注(Krause-Jensen *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2018; 张永雨等, 2017)。国外对大型海藻的碳汇作用的研究主要是针对生长在岩石基层上的海藻林(野生大型藻类)(Krause *et al.*, 2016; Smale *et al.*, 2018)。目前的研究充分肯定大型海藻的碳汇作用, 认为大型海藻生长过程中会产生大量的碎屑、颗粒与溶解有机碳, 虽只有少部分能在海藻自身生长的岩石基层环境堆积, 但大部分能通过海流等因素转移到周边环境或输送到深远海及其沉积物中, 从而被长久封存起来(Hill *et al.*, 2015; Chung *et al.*, 2017; Duarte, 2017)。联合国政府间气候变化委员会(IPCC)于 2019 年 9 月 25 日发布的《气候变化中的海洋与冰冻圈特别报告》指出, “易于管理的海洋系统所有生物驱动的碳通量及存量可以被认为是蓝碳”, 并将大型海藻场、红树林、海草床和盐沼列为四大蓝碳生态系统。

我国大型海藻以人工栽培为主。关于大型藻类的碳汇功能, 最初主要关注于大型藻类可移出的碳汇(张继红等, 2005; Tang *et al.*, 2011)。随着研究的深入, 进一步表明海带(*Laminaria japonica*)养殖区域水-气界面是明显的大气 CO_2 的汇区(刘毅等, 2017; Han *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2021)。藻类的碳汇功能还应包括养殖活动中产生和增加的微型生物(浮游植物、细菌、古菌、原生生物等)、海洋溶解碳库(含 RDOC)、颗粒碳库以及沉积碳库等的重要部分(Chen *et al.*, 2020; 张永雨等, 2017; Xia *et al.*, 2014; Zhang *et al.*, 2012)。

滤食性贝类在生态系统中的源汇效应更为复杂。首先, 从滤食性贝类的碳收支模型: $C=F+R+G$ 来看, C 为摄食碳, F 为生物沉积碳, R 为呼吸代谢碳, G 为生长碳。贝类会由于其滤食作用促进沉积-浮游系统的耦合, 在底质中累积有机碳(Frankignoulle *et al.*, 1994)。滤食性贝类作为次级生产者, 其在生态系统中的源汇效应还与养殖密度、季节及养殖方式有密切关系(Bonaglia *et al.*, 2017)。其次, 滤食性贝类的源汇效应不仅涉及有机碳的摄食代谢过程, 还涉及钙化过程对无机碳体系的利用和影响(Liu *et al.*, 2022)。另外, 对于滤食性贝类, 不仅要考量钙化和呼吸释放的 CO_2 这一温室气体, 而且, 有研究认为, 埋栖型贝类的摄食、呼吸和排泄等生理活动会扰乱沉积物, 从而增加沉积物释放温室气体的可能性(Stief *et al.*, 2010; Heisterkamp *et al.*, 2010; Bonaglia *et al.*, 2017)。

Pershing 等(2010)研究发现, 大型海洋生物如蓝鲸(*Balaenoptera musculus*)及硬骨鱼通过粪便和 $CaCO_3$ 埋藏于深海并发挥碳汇功能。国内目前主要采用碳含量法评估捕获渔获物的碳汇功能(张波等, 2013)。研究认为, 人工鱼礁的碳汇效应主要包括两

个方面,一是人工鱼礁建设产生的上升流将底层营养物质输送到中上层水体,对浮游植物的种类和生物量有显著的正向效应(张雪等, 2018),提高了礁区浮游植物光合固碳量(李纯厚等, 2011);二是鱼礁建设通过修复栖息地、提供附着基等显著提高投礁海区渔业生物多样性、生物量和海洋生物固碳量。目前,也是采用碳含量法评估鱼礁区捕获物的碳汇功能(马欢等, 2017; Fang *et al.*, 2013)。

2.2 海洋渔业碳汇相关标准与方法学研究现状

渔业生物的碳汇功能自提出以来受到广泛的关注。然而,截至目前,尚无有关海洋渔业碳汇监测和计量的国际标准和国家标准。海洋渔业碳汇计量和监测的系列方法学体系尚未建成,无法全面系统评估我

国海洋渔业碳汇能力和可交易量,海洋渔业碳汇与我国经济发展尚未建立耦联关系。

中国水产科学研究院黄海水产研究所的科研人员建立了海洋行业标准《养殖大型藻类和双壳贝类碳汇计量方法 碳储量变化法》(HY/T 0305-2021, 发布日期 2021-02-09),主要通过测量贝藻类产量、干湿比重及碳含量计算碳汇量。据此计算,2019年中国贝藻养殖收获移除的碳近 200 万 t。随着对惰性溶解有机碳、养殖过程形成的有机碎屑埋藏等潜在碳汇过程机理和监测技术的提升,养殖贝藻类的碳汇计量方法将会日趋完善。关于增殖放流、捕捞渔业、人工鱼礁的碳汇计量方法,目前尚未有标准或技术规范。

目前,我国学者正在加紧开展海洋渔业碳汇相关标准的编制工作(表 3)。

表 3 2017 年以来自然资源部立项的有关海洋渔业碳汇的行业标准

Tab.3 Industry standards for marine fishery carbon sinks established by the ministry of natural resources since 2017

立项时间 Project time	标准名称 Standard title	第一起草单位 First responsible unit
2017	蓝碳生态系统碳库规模调查与评估技术规程 海洋牧场	中国科学院海洋研究所
	蓝碳生态系统碳库规模调查与评估技术规程 牡蛎礁	中国科学院海洋研究所
	海洋生物资源碳汇扩增措施大型藻类(筏式养殖)	中国水产科学研究院黄海水产研究所
2018	海洋资源生物碳库贡献动态监测与评估技术规程 海洋牧场	中国科学院海洋研究所
	海洋资源生物蓝碳计量技术规程 海洋牧场	中国科学院海洋研究所
	蓝碳生态系统蓝碳计量技术规程 牡蛎礁	中国科学院海洋研究所
	蓝碳生态系统碳库动态监测与评估技术规程 牡蛎礁	中国科学院海洋研究所
	海洋资源生物碳库贡献调查与评估技术规程 大型藻类(筏式养殖)	中国水产科学研究院黄海水产研究所
	海洋资源生物碳库贡献调查与评估技术规程 贝类(筏式养殖)	中国水产科学研究院黄海水产研究所
	海洋资源生物碳库贡献调查与评估技术规程 紫菜	江苏省海洋水产研究所
	海洋资源生物碳库贡献调查与评估技术规程 贝类(底播增殖)	中国水产科学研究院黄海水产研究所
2021	养殖海带碳足迹核算技术规范 生命周期评价法	中国水产科学研究院黄海水产研究所

3 存在的问题与建议

2019 年,联合国政府间气候变化委员会(IPCC)认定易于管理的海洋系统所有生物驱动碳通量及存量可以被认为是蓝碳,并将大型海藻场与红树林、海草床和盐沼列为四大蓝碳生态系统。这里所指的大型海藻场主要是非收获的自然藻场。对于养殖贝类、藻类及捕捞群体等渔业碳汇功能依然存在一定的争议(Mariani *et al.*, 2020)。渔业碳汇争议点是碳的封存时间。目前,国际上对于碳封存时间尚无规定。从林业碳汇项目方法学来看,收获的林木如果在 30 年之内将吸收固定的碳释放出去,就不作为碳汇计入。与自然的蓝碳系统相比,渔业活动必然涉及收获和捕捞的渔业产品,诸如养殖收获的贝藻及捕捞的渔获物等。

如果渔业产品作为食物,生物体有机碳很快被转化为 CO₂ 重返大气,无法构成长时间尺度上的碳汇;如果作为工业原料、饲料、化肥、清洁能源等,固碳时间比较长久,但收集固定的碳能封存多久,暂无足够准确的数据。滤食性贝类、鱼类及其他营养级的渔业生物,在海洋生态系统碳循环中的作用是非常复杂的过程,不像大型藻类、森林、海草等初级生产者,它们一方面存在诸如钙化、呼吸释放 CO₂ 的过程;另一方面,它们往往是通过利用浮游植物来间接发挥其在碳循环中的作用,这就涉及到生态系统的平衡问题,也就是养殖生态容量。超负荷的渔业活动,可能对浮游植物的初级生产力产生负面压力,从而影响浮游植物对大气中 CO₂ 的吸收利用。因此,对海洋渔业碳汇的机制、固碳功能的时效性、测算方法,尚需要深入研究。

中国作为世界上最大的海水养殖国家,以非投饵型的贝藻养殖为主。大型藻类和贝类的养殖具有成本低、产量高、养殖可控性强等优势,在发展低碳经济、海洋碳汇渔业及实现碳中和等领域,拥有巨大的潜力。同时,贝藻类养殖可以改善区域海洋环境,如缓解海洋酸化和低氧、减少海洋富营养化和有害藻华,可谓一举多得。中国的海洋捕捞产业自 1995 年超过 1000 万 t 后,随着渔业资源保护、海洋牧场建设、增殖放流等技术和管理手段的加强,海洋捕捞产量一直控制在 1000 万 t 以下。渔业碳汇是较新的理念,将海藻场碳汇纳入全球气候治理体系的工作刚刚起步。将渔业碳汇纳入碳市场,需要对其源汇过程、机理以及方法学有深入的了解,才能推动渔业碳汇项目的发展。具体建议如下:

(1)加强渔业碳汇理论研究,解决目前有关渔业碳汇的争议问题,为渔业碳汇项目开发方法学建立奠定理论基础,例如:弄清渔业活动会引起哪些碳库中的碳储量发生变化,变化的碳储量是作为碳汇还是碳源计入;除了 CO₂ 以外,渔业活动所消耗的能源及其他温室气体,诸如甲烷、氧化亚氮等是否考虑等。

(2)通过创新发展建立一套适合中国国情的渔业碳汇计量的数据体系,并针对不同的研究对象建立碳汇核算标准方法体系和监测程序,尤其是对 RDOC 等形成标准的测定方法,支撑我国形成科学性高、可信度高的碳排放核算数据体系。

(3)推进渔业碳汇纳入全国碳市场需秉承试点先行、循序渐进原则。因此,在已有的渔业碳汇计量行业标准下,建立渔业碳汇的示范区域,借鉴 AR-AMS0003、AR-AM0014,可先建立简便、易操作的渔业碳汇项目方法学,随着对渔业碳汇基础理论的认识,逐渐形成完善的渔业减排增汇方法学,为渔业碳汇交易提供方法指南。

(4)对贝藻类及捕捞群体的合理利用,提高固碳持久性,并可用于开发生物质能源,作为肥料和畜牧饲料以改善土壤质量、减少农业甲烷等温室气体排放。

参 考 文 献

- BONAGLIA S, BRÜCHERT V, CALAC N, *et al.* Methane fluxes from coastal sediments are enhanced by macrofauna. *Scientific Reports*, 2017, 7(1): 1–10
- CHEN G C, WANG J, XU F H, *et al.* Progress of coastal wetland blue carbon projects in carbon market and advice on facilitating the development of blue carbon projects in China. *Journal of Applied Oceanography*, 2022, 42(2): 177–184 [陈光程, 王静, 许方宏, 等. 滨海蓝碳碳汇项目开发现状及推动我国蓝碳碳汇项目开发的建议. *应用海洋学学报*, 2022, 42(2): 177–184]
- CHEN J, LI H M, ZHANG Z H, *et al.* DOC dynamics and bacterial community succession during long-term degradation of *Ulva prolifera* and their implications for the legacy effect of green tides on refractory DOC pool in seawater. *Water Research*, 2020, 185: 116268
- CHUNG I K, SONDAK C F A, BEARDALL J. The future of seaweed aquaculture in a rapidly changing world. *European Journal of Phycology*, 2017, 52(4): 495–505
- DUARTE C M, WU J P, XIAO X, *et al.* Can seaweed farming play a role in climate change mitigation and adaptation? *Frontiers in Marine Science*, 2017, 4: 100
- FANG L C, CHEN G B, CHEN P M, *et al.* Preliminary evaluation on resources enhancement of artificial reef in the east corner of Zhelang Shanwei. *Asian Agricultural Research*, 2013, 5(9): 111–115
- FRANKIGNOULLE M, CANON C, GATTISO J P. Marine calcification as a source of carbon dioxide: Positive feedback of increasing atmospheric CO₂. *Limnology and Oceanography*, 1994, 39: 458–462
- HAN T T, SHI R J, QI Z H, *et al.* Impacts of large-scale aquaculture activities on the seawater carbonate system and air-sea CO₂ flux in a subtropical mariculture bay, southern China. *Aquaculture Environment Interactions*, 2021, 13: 199–210
- HEISTERKAMP I M, SCHRAMM A, BEER D DE, STIEF P. Nitrous oxide production associated with coastal marine invertebrates. *Marine Ecology Progress Series*, 2010, 415: 1–9
- HERR D, LANDIS E. Coastal blue carbon ecosystems. Opportunities for nationally determined contributions. Policy brief. Gland: International Union for Conservation of Nature, 2016
- HILL R, BELLGROVE A, MACREADIE P I, *et al.* Can macroalgae contribute to blue carbon? An Australian perspective. *Limnology and Oceanography*, 2015, 60(5): 1689–1706
- KRAUSE J D, DUARTE C M. Substantial role of macroalgae in marine carbon sequestration. *Nature Geoscience*, 2016, 9: 737–742
- LI C H, JIA X P, QI Z H, *et al.* Effect evaluation of a low-carbon fisheries production by marine ranching in Daya Bay. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(11): 2346–2352 [李纯厚, 贾晓平, 齐占会, 等. 大亚湾海洋牧场低碳渔业生产效果评价. *农业环境科学学报*, 2011, 30(11): 2346–2352]
- LI H, ZHANG Y, LIANG Y, *et al.* Impacts of maricultural activities on characteristics of dissolved organic carbon and nutrients in a typical raft-culture area of the Yellow Sea, North China. *Marine Pollution Bulletin*, 2018, 137: 456–464
- LI J Q, ZHANG W W, DING J K, *et al.* Effect of large-scale kelp

- and bivalve farming on seawater carbonate system variations in the semi-enclosed Sanggou Bay. *Science of the Total Environment*, 2021, 753: 142065
- LIU Y, ZHANG J H, FANG J H, *et al.* Analysis of the air-sea surface carbon dioxide flux and its interaction with aquaculture activities in Sanggou Bay. *Progress in Fishery Sciences*, 2017, 38(6): 1–8 [刘毅, 张继红, 房景辉, 等. 桑沟湾春季海-气界面 CO₂ 交换通量及其与养殖活动的关系分析. *渔业科学进展*, 2017, 38(6): 1–8]
- MA H, QIN C X, CHEN P M, *et al.* Study of biomass carbon storage in Zhelin Bay marine ranch of South China Sea. *South China Fisheries Science*, 2017, 13(6): 56–64 [马欢, 秦传新, 陈丕茂, 等. 南海柘林湾海洋牧场生物碳储量研究. *南方水产科学*, 2017, 13(6): 56–64]
- MARIANI G, CHEUNG W, LYET A, *et al.* Let more big fish sink: Fisheries prevent blue carbon sequestration-half in unprofitable areas. *Science Advances*, 2020, 6(44): 4848
- PERSHING A J, CHRISTENSEN L B, RECORD N R, *et al.* The impact of whaling on the ocean carbon cycle: Why bigger was better. *PloS ONE*, 2010, 5(8): 1–9
- SMALE D A, MOORE P J, QUEIROS A M, *et al.* Appreciating interconnectivity between habitats is key to blue carbon management. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2018, 16: 71–73
- STIEF P, SCHRAMM A. Regulation of nitrous oxide emission associated with benthic invertebrates. *Freshwater Biology*, 2010, 55: 1647–1657
- TANG C F, TU Y J, DAI L M, *et al.* The present situation and suggestions for CCER forestry carbon sink project development. *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology*, 2017, 38(4): 115–146 [唐才富, 涂云军, 代丽梅, 等. CCER 林业碳汇项目开发现状与建议. *四川林业科技*, 2017, 38(4): 115–146]
- TANG Q S, ZHANG J H, FANG J G. Shellfish and seaweed mariculture increase atmospheric CO₂ absorption by coastal ecosystems. *Marine Ecology Progress*, 2011, 424: 97–105
- ULLMAN R, VASCO B, GRIMSDITCH G. Including blue carbon in climate market mechanisms. *Ocean and Coastal Management*, 2013, 83: 15–18
- VERRA. Methodologies. <https://verra.org/methodologies/>. 2021, 24
- VON AVENARIUS A, DEVARAJA T S, KIESEL R. An empirical comparison of carbon credit projects under the clean development mechanism and verified carbon standard. *Climate*, 2018, 6: 49
- XIA B, CUI Y, CHEN B J, *et al.* Carbon and nitrogen isotopes analysis and sources of organic matter in surface sediments from the Sanggou Bay and its adjacent areas, China. *Acta Oceanologica Sinica*, 2014, 33(12): 48–57
- ZHANG B, SUN S, TANG Q S. Carbon sink by marine fishing industry. *Progress in Fishery Sciences*, 2013, 34(1): 70–74 [张波, 孙珊, 唐启升. 海洋捕捞业的碳汇功能. *渔业科学进展*, 2013, 34(1): 70–74]
- ZHANG J H, FANG J G, TANG Q S. The contribution of shellfish and seaweed mariculture in China to the carbon cycle of coastal ecosystem. *Advance in Earth Sciences*, 2005, 20(3): 359–365 [张继红, 方建光, 唐启升. 中国浅海贝藻养殖对海洋碳循环的贡献. *地球科学进展*, 2005, 20(3): 359–365]
- ZHANG J H, FANG J G, WANG W, *et al.* Growth and loss of mariculture kelp *Sacchariana japonica* in Sungo Bay, China. *Journal of Applied Phycology*, 2012, 24(5): 1209–1216
- ZHANG X, XU X P, DAI Y Y, *et al.* Phytoplankton community characteristics and variation at artificial reefs of Tianjin offshore. *Progress in Fishery Sciences*, 2018, 39(6): 1–10 [张雪, 徐晓甫, 戴媛媛, 等. 天津近岸人工鱼礁海域浮游植物群落及其变化特征. *渔业科学进展*, 2018, 39(6): 1–10]
- ZHANG Y Y, ZHANG J H, LIANG Y T, *et al.* Carbon sequestration processes and mechanisms in coastal mariculture environments in China. *Science China Earth Sciences*, 2017, 47(12): 2097–2107 [张永雨, 张继红, 梁彦韬, 等. 中国近海养殖环境碳汇形成过程与机制. *中国科学: 地球科学*, 2017, 47(12): 2097–2107]

(编辑 陈 辉)

Overview of the Marine Fishery Carbon Sink Project Methodology

ZHANG Jihong^{1,2①}, LIU Yi¹, WU Wenguang¹, WANG Xinmeng¹, ZHONG Yi¹

(1. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences; Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Qingdao, Shandong 266071;

2. Function Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao, Shandong 266071, China)

Abstract This methodology regulates the carbon sink project preparation of design documents and measurement monitoring and ensures that the emission reductions generated by the project meet the requirements of measurable, reportable, and verifiable outcomes, which are necessary conditions for carbon trading. In this paper, we presented an overview of the current status of carbon sink project methodology, the key content of forest carbon sink methodology, and the research progress of marine fishery carbon sink theories and standards. According to the problems faced by marine fishery carbon sink in China, specific suggestions are proposed to provide scientific reference for the establishment of marine fishery carbon sink methodology and implement it into the carbon sink trading market early.

Currently, the Clean Development Mechanism (CDM) and the Verified Carbon Standard (VCS) have developed 26 forestry carbon sink methodologies. There are 6 forestry carbon-sink project methodologies being developed by China Certified Emission Reduction (CCER) in China. In 2021, 9 blue carbon-related methodologies such as mangroves, wetlands, and seagrass were launched successively. In this paper, we have briefly introduced the main content of the forestry carbon sink project methodology in order to inspire the development of marine fishery methodology. The carbon sink project methodology usually consists of 3 parts. The first part includes an introduction, applicable conditions, normative references, and definitions. The second part includes baseline and project carbon methods of calculation. The third part includes the monitoring procedures. The carbon sink calculation method is an important part of the methodology. The key to the formation of carbon sink calculated methods is to clarify the carbon sequestration function and mechanism of project activities, including the identification of carbon storage changes in carbon pools going to be caused by the project activities. The determination and selection of carbon pools and greenhouse gas emission sources is the premise of carbon sink measurement. Also, except the carbon dioxide, we should pay attention to whether there are other sources of greenhouse gas emissions and energy consumption during fishing activities. In particular, attention should be paid to the timeliness of carbon sinks. If harvesting occurs under the project scenario, the long-term change in the carbon stock of the project's wood products is equal to the carbon in the wood products still in use and going to landfill at the end of the project period or 30 years after the product is produced, while the rest is assumed to be immediately discharged when wood products are produced.

There are currently no international and national standards for monitoring and calculation of carbon sinks in fisheries. Without a series of methodological systems, it is impossible to evaluate fishery carbon sink capacity and tradable volume of China comprehensively and systematically. The coupling relationship between fishery carbon sinks and economic development has not yet been established. Several industry standards are under development. However, there are still uncertainties and many challenges regarding the timeliness and measurement methods of fishery carbon sinks. The primary controversy over the carbon

① Corresponding author: ZHANG Jihong, E-mail: zhangjh@ysfri.ac.cn

sink of seaweed farming is the timing of carbon sequestration. For mariculture bivalve, it is complete and needs to be considered from the perspective of an entire ecosystem.

In terms of yield and scale, China is the largest mariculture country in the world. Non-feeding species such as bivalve and seaweed are mainly mariculture species. The mariculture of bivalve and seaweed is advantageous owing to low cost, high yield, and strong controllability. At the same time, bivalve and seaweed can improve the regional marine environment, such as alleviating ocean acidification and hypoxia, reducing marine eutrophication and harmful algal blooms. Recently, the marine capture stock amounted to 1000 million tons. The fishery carbon sink is a relatively new concept, and its incorporation into the global climate governance system has just started. In this regard, it is recommended to strengthen the theoretical research on fishery carbon sinks, establish a data system for fishery carbon sink measurement, establish a demonstration area for the research of fishery carbon sinks methodology, and pay attention to the rational use of harvested shellfish, seaweed, and the captured stock, to solve the current problems regarding fishery carbon sinks and promote the development of carbon sinks fisheries. The development of the carbon sink project methodology will help promote the development fishery carbon sink trading market and play the role of fisheries in coping with climate change.

Key words Fishery carbon sink; Mariculture; Bivalve and seaweed; Capture stock; Methodology