

中国环境与发展国际合作委员会



面向碳中和的可持续蓝色经济

专题政策研究报告

中国环境与发展国际合作委员会

2023年7月29日

项目组成员*

姓名

单位

项目组长

戴民汉

厦门大学

Jan-Gunnar Winther

挪威极地研究所

顾问

苏纪兰

自然资源部第二海洋研究所

项目协调员

刘慧

中国水产科学研究院黄海水产研究所

Birgit Njåstad

挪威极地研究所

项目组成员和专家

关大博

清华大学

李姜辉

厦门大学

王菊英

生态环境部国家海洋环境监测中心

Kate Bonzon

美国环保协会

Kristian Teleki

世界资源研究所

Kristin Kleisner

美国环保协会

曹玲

厦门大学

Patrick Yeung

世界自然基金会 / 红树林保护基金会

谢茜

世界经济论坛

Jakob Granit

瑞典海洋与水管理局

致谢:

* 本项目组长和成员以个人身份参与项目工作。本报告中所表达的观点和意见仅代表参与此项专题政策研究团队专家个人立场，不代表其所在组织和国合会的观点和意见。

目录

执行摘要和政策建议	3
1. 研究背景	4
2. 碳中和作为向可持续蓝色经济转型的机遇	6
2.1. 介绍	6
2.2. 现状	6
2.2.1. 碳中和与基于海洋的解决方案	6
2.2.2. 海洋经济	7
2.2.3. 食物生产和其他供应链问题	9
2.2.4. 离岸碳捕集、利用与封存	10
2.3. 挑战和机遇	11
2.3.1. 科学与技术	11
2.3.2. 政策	11
2.3.3. 法律框架	12
2.4. 本章具体建议	14
3. 海洋塑料垃圾和蓝色循环	15
3.1. 背景	15
3.2. 中国海洋塑料废弃物的规模和来源分析	15
3.2.1. 环境中塑料垃圾的规模估算	15
3.2.2. 主要来源	16
3.3. 机遇与挑战	17
3.3.1. 海洋塑料垃圾对于海洋生态系统的影响	17
3.3.2. 海洋塑料垃圾对蓝色经济的影响	18
3.3.3. 塑料全周期治理的知识和政策差距	22
3.4. 建议	24
4. 以渔业治理促进蓝碳扩增并减少碳足迹	26
4.1. 研究背景	26
4.2. 气候韧性渔业和碳汇渔业的发展现状及其面临的挑战	26
4.2.1. 捕捞渔业和水产养殖的碳足迹	26
4.2.2. 捕捞渔业和水产养殖的固碳作用	28
4.2.3. 气候韧性渔业面临的挑战和发展原则	30
4.2.4. 非法、未报告和不受管制捕捞以及其他有害的渔业行为	31
4.2.5. 渔业中的权利公平：小型渔业和女性渔业从业者的角色与贡献	32
4.3. 涉及海洋生物多样性保护的现有国内和国际政策框架	33
4.3.1. 国家管辖范围外海洋生物多样性养护与可持续利用	33
4.3.2. WTO 渔业补贴协定	35
4.3.3. 区域渔业管理组织或安排	36
4.4. 以减少碳足迹和保护海洋生物多样性为导向将渔业治理纳入海洋综合管理	37
4.4.1. 当前进展和潜在挑战	37
4.4.2. 未来趋势和工作路径	38
4.5. 建议	39
5. 参考文献	41
6. 缩略词清单	51

章节作者:

第二章: 戴民汉 (厦门大学), Kate Bonzon (美国环保协会), 程丹阳 (清华大学), 关大博 (清华大学), Kristin Kleisner (美国环保协会), 李姜辉 (厦门大学), 李妍婷 (厦门大学), 孙传旺 (厦门大学), Kristian Teleki (世界资源研究所), 谢茜 (世界经济论坛), 杨松颖 (世界自然基金会/红树林保护基金会)

第三章: 王菊英(生态环境部国家海洋环境监测中心), 杨松颖 (世界自然基金会/红树林保护基金会), 曹玲 (厦门大学), 李道季 (华东师范大学), 沈威 (英国发展研究院), 张微微 (生态环境部国家海洋环境监测中心), 金帅辰 (生态环境部国家海洋环境监测中心)

第四章: 曹玲 (厦门大学), 刘慧 (中国水产科学研究院黄海水产研究所), 唐议 (上海海洋大学), 黄硕琳 (上海海洋大学), 孙芳 (美国环保协会), 李薇 (自然资源保护协会), 刘春宇 (上海交通大学), 姜子禹 (上海交通大学), Kristin Kleisner (美国环保协会).

执行摘要和政策建议

海洋和海岸带为广泛的经济活动创造了条件。目前的海洋经济是一个宏大的网络，由相互关联的传统行业和新兴产业组成。海洋和海岸带也为减少二氧化碳排放提供了广泛的机遇，将大大有助于实现全球和国内碳中和目标。可持续蓝色经济和基于海洋的碳减排方案相互交织、联系紧密。以基于生态系统的适应性综合管理方案为基础的可持续海洋治理，将成为解决当前和持续发生的气候和自然危机的关键，并使可持续的海洋经济得以进一步发展。

本报告针对基于海洋的碳中和解决方案开展系统研究，辨析阻碍这些解决方案实施的问题。此外，报告还讨论了碳中和与可持续蓝色经济之间的协同作用，因此报告当中还包括海洋产业经济核算制度等问题。报告内容还涉及到减少海洋环境中的塑料污染，以及如何才能、并且应该使其成为可持续蓝色经济的组成部分。最后，我们也讨论了如何改善渔业治理，使其助力于可持续的海洋经济。通过综合研判，本报告提出如下政策建议，旨在促进海洋经济向可持续的蓝色经济转型，为实现碳中和目标做出贡献。

我们建议将发展可持续的蓝色经济作为国家重要发展战略目标，并且作为碳达峰与碳中和目标的一部分。为此，应利用全球海洋技术的重大突破，尤其是数字技术及其工业化和大规模应用，以支持小企业在蓝色经济中的成长，并促进碳中和。同样至关重要的是完善管理体系，以兼顾和平衡生态和社会经济目标；为满足社会-经济-自然复合生态系统的治理需求，应建立一个涵盖中央和地方管理部门的多层级海洋综合管理体系。**我们还建议将可持续蓝色经济纳入国家战略中相关的国际合作框架。**

建议构建和完善以可持续性为导向的海洋经济核算和统计框架，同时准确全面地核算海洋产业的二氧化碳排放量。此外，我们呼吁要建立蓝色金融框架体系，强化对蓝色经济的金融支持，从而促进海洋经济的蓝色转型。

建议采取措施，通过加强统筹协调和资金支持，推进可持续蓝色经济和基于海洋的碳缓解机制相关的科学和经济研究领域的国际合作。我们建议促进海洋和碳中和相关的科学、技术、教育、投资、贸易等领域的全面国际合作，尤其是通过一带一路倡议来扩大合作，以此作为在全球范围内建立广泛国际合作关系的基础。

鉴于正在进行的全球塑料条约多边谈判，我们建议中国政府采取行动，积极调动适当的政策手段，对海洋塑料污染进行源头管控。其中包括有效落实生产者责任、实施回收再利用模式、制造和使用再生塑料以替代新塑料，以及开发环境足迹较小的塑料替代品，并应考虑利用个人/公共伙伴关系、融资机制等政策措施。**我们也建议开展相关的科学研究，研判高污染塑料制品和行业，以及其泄漏热点和进入生态系统的通量，尤其要重视技术创新、跨学科和合作研究、以及基于实践的行动性研究。**

建议中国政府采取措施，进一步推动渔业生产方式向更可持续、更为公平的发展模式转型，以应对碳中和目标。相关措施可包括取消有害的渔船燃油补贴、压减过剩的捕捞强度、推动高能耗型海洋渔具渔法向碳足迹更低的作业方式转型、以及实施性别包容性的渔业治理等。

1. 研究背景

尽管海洋经济在航运、渔业和碳氢化合物开采等传统领域之外的新领域已经取得突破性进展，但海洋经济的短期增长不应以牺牲海洋的长期繁荣为代价，包括海洋在调节气候和为各种海洋动植物提供重要栖息地方面所发挥的关键作用。2022年12月，联合国生物多样性公约缔约方达成协议，设定一个全球目标，有效保护和管理世界上至少30%的土地、内陆水域、滨海湿地和海洋，重点保护对生物多样性和生态系统功能和服务特别重要的区域。2023年3月，联合国就确保国家管辖范围以外地区海洋生物多样性（BBNJ）的保护和可持续利用的文本达成一致。2023年6月，联合国也进行了第二轮关于终结塑料污染条约的正式磋商，这是一个重要进展，有望促成该条约于2024年正式签署。

考虑到健康的海洋环境是发展海洋经济的先决条件，我们建议采取海洋综合管理（IOM）方案，在环境、经济和社会目标之间，以及在基于海洋生态系统服务的短期经济收益和长期繁荣之间取得平衡。过去一段时间，海洋综合管理一直是中国环境与发展国际合作委员会海洋专题政策研究的主导理念¹。本报告是海洋专题政策研究项目对第七届国合会的第一份贡献，其与接下来关于海洋治理的工作将继续遵循全面和可持续的路径，努力应对气候变化，促进海洋经济增长和环境保护之间的平衡。

海洋经济是指与海洋和海岸带相关的经济活动，它涵盖了各种各样相互关联的现存行业 and 新兴产业。目前全球海洋经济的估值为每年2.5万亿美元（UNCTAD, 2021），相当于2021年世界第七大经济体的规模；2021和2022年，中国海洋生产总值为3.8万亿和3.9万亿人民币（约为0.5万亿美元）（数据来源：海洋经济统计公报），占中国国内生产总值的3%。根据经合组织（OECD）的预测，到2030年，蓝色经济在增加值和就业方面都有可能超过全球经济的整体增长。海洋经济为创新、就业和经济增长提供了长期潜力，未来可期。

海洋提供了一系列潜在的基于海洋的气候缓解方案，可有助于实现碳中和目标，包括但不限于培育碳高效生态系统（“蓝林”或“蓝碳”），利用海洋固有的能源潜力，最大限度地减少航运等海洋活动的碳足迹，保护并潜在地增强海洋沉积物储碳能力（碳捕获和封存，CCS），以及重新调整粮食政策和渔业管理，以彰显渔业和养殖水产品作为低碳海洋蛋白和微量营养素主要来源的重要价值。

本报告分为三个部分。首先，我们在第二章讨论了有助于实现碳中和的海洋解决方案，并介绍了与海洋解决方案短期、中期和长期潜力相关的一些关键问题。我们辨析了这些解决方案应用过程中的障碍，以及碳中和和可持续蓝色经济之间的协同作用，包括海洋经济统计制度，并在此基础上提出了政策建议。

其次，我们在第三章探讨了减少海洋环境中的塑料如何能够而且应该成为蓝色经济的组成部分。通过梳理塑料入海及其导致的环境问题，探究了有关塑料垃圾全生命周期的相关科学认知、政策和法律框架方面的差距，进而探索将海洋塑料回收纳入蓝色经济和碳中和框架的政策和国际合作方案。

在本报告第四章，我们还研究了如何通过渔业治理和管理的变革，助力于可持续的

¹ 见中国环境与发展国际合作委员会网站（www.cciced.eco）上的相关研究报告，尤其是2020年海洋专题政策研究报告《基于生态系统的综合海洋管理》（<http://www.cciced.net/zcyj/yjbg/zcyjbg/2020/202008/P020200916727021019353.pdf>）。

蓝色经济。我们探讨了非法、不报告和不管制（IUU）渔业的现状和有害的渔具渔法，并探究了水产养殖在碳固存方面的作用。此外，我们调研了现有的国家和国际海洋生物多样性保护政策框架（如世贸组织《渔业补贴协定》），并探讨了将渔业治理纳入海洋综合治理框架的潜力和挑战。

值得注意的是，本报告当中涉及海洋经济与碳中和协同的一系列政策领域和议题，与其他一些国合会专题政策研究的内容有一定相关性。因此，在从这些议程当中提炼综合性政策建议的时候，需要我们采取一体化的视角和思路。

2. 碳中和作为向可持续蓝色经济转型的机遇

2.1. 介绍

海洋“经济”或“蓝色经济”涵盖了广泛的相互关联的既有和新兴行业，如海洋能源、海产食品生产、滨海旅游和海洋生物技术，它们与海洋、海域和海岸有着直接或间接的联系。它们通常被分为两个支柱，即基于海洋的产业经济活动的总和，以及由海洋生态系统提供的资产、商品和服务。

近年来，蓝色经济在政治话语中的激增引起了世界的广泛关注，然而，“蓝色经济”一词仍然没有标准化的定义（Wuwung 等，2022）。世界银行对蓝色经济的定义是“可持续利用海洋资源促进经济增长、改善生计和就业以及海洋生态系统健康。”²但这样的定义并没有为如何确保和实施包括经济发展的可持续性、性别和社会公平以及环境保护在内的多重底线目标提供原则或指导。蓝色经济的核心是指通过与海洋有关的行业和活动使社会经济的发展与环境 and 生态系统的退化脱钩（世界银行等，2017）。“蓝色经济”的概念对海洋经济的可持续发展提出了新的要求。为了强调蓝色经济的可持续性，并区别于海洋经济中那些不可持续的部分（如海上油气产业），我们在整个报告中采用了“可持续蓝色经济”一词，借此强调在开展蓝色经济活动时必须坚持可持续发展。

海洋极大地调节了我们星球的气候（Gattuso 等，2015）。它吸收了过去一个世纪排放增加所产生的大部分热量和大约四分之一的二氧化碳排放量（Doney 等，2014）。这些都极大地影响了海洋，导致海水温度升高、海洋酸化加剧、海洋环流变化、海洋中的氧气水平降低以及对海洋生态系统的影响（Doney 等，2012）。

碳中和是一种二氧化碳净零排放的状态，在这种状态下，碳的排放量与从大气中去除的量相等（Rogelj 等，2021 年）。这可以通过在自然系统中减少碳排放和增加碳封存来实现。鉴于海洋在全球碳循环中已经发挥了巨大的作用，与海洋有关的减排和碳移除解决方案必须成为实现碳中和战略的一部分。这些与海洋有关的碳中和目标一旦实现，将会与可持续发展的愿景相一致，并可有力地推动海洋经济向可持续蓝色经济转型。

本章旨在探讨当前海洋经济在碳中和方面的主要问题，以明确向可持续蓝色经济转型的契机和路径。我们将研究当前的海洋经济框架，确定与碳中和目标相关的需求和工具，以及海洋产业之间的共存和协同作用如何促进蓝色经济和碳中和。最重要的是，我们将展示可持续的蓝色经济如何在促进经济增长的同时，为实现联合国 2030 可持续发展目标（SDGs）做出贡献。

2.2. 现状

2.2.1. 碳中和与基于海洋的解决方案

自工业革命以来，人为的大气二氧化碳排放导致了前所未有的气候危机（Gruber 等，2019 年；IPCC，2021 年，2022 年）。为应对这场危机，《巴黎协定》³确定了理想情境下的全球升温 1.5℃ 目标，要求各国立即采取减排行动并在本世纪中叶实现碳中和。130 多个国家签署了《巴黎协定》，并提出了实现碳中和的减排路线图。中国承诺到 2030 年

² www.worldbank.org/oceans

³ <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>

实现碳达峰，到 2060 年实现碳中和，这彰显了中国加强可持续发展国家战略的强烈意愿，以及中国作为全球力量的一部分应对当前气候危机的雄心。

在国际和国家层面上，海洋对于实现碳中和目标都至关重要，因为海洋是唯一持续的碳汇，在 1850 年至 2019 年期间，海洋吸收了约 37% 的化石燃料二氧化碳排放，或约 25% 的化石燃料燃烧和由于土地利用变化而产生的排放（Friedlingstein 等，2020 年）。基于海洋的气候解决方案大体上包括海洋经济中的二氧化碳移除(CDR)和减排(低碳转化)。前者可以是基于自然的(如恢复生态系统或管理海洋物种的碳封存作用)，也可以是基于地球工程的(如海洋碱化、植树造林)。有一系列的 CDR 方法正在计划中，有些已经在开展。因此，海洋提供了一系列潜在的基于海洋的减缓气候变化方案，可促进碳中和目标的实现，包括但不限于：培育碳效率高的生态系统(“蓝色森林”)、利用海洋固有的能源潜力、最大限度地减少航运等基于海洋的活动的碳足迹、利用海底储碳的能力、在海洋生产中对碳的再利用，以及调整渔业供应链和人类对水产品的消费转向低碳的海洋来源的蛋白和其他营养来源。这些活动将创造更多的就业机会，培育若干新的海洋经济行业，并在推动海洋经济增长和改善海洋环境的同时，助力碳中和目标的实现。Hoegh-Guldberg 等人在 2019 年进一步预测，基于海洋的减缓气候变化方案可在全球升温 1.5℃ 情景模式下减少高达约 21% 的“排放差距”，在全球升温 2.0℃ 情景模式下则可减少约 25% 的“排放差距”。

2.2.2. 海洋经济

全球海洋经济的价值估计为每年 2.5 万亿美元，相当于世界第七大经济体的规模。根据经合组织的预测，到 2030 年，这一“蓝色经济”在增加值和就业两个方面都将超过全球经济的整体增长。中国是全球海产品生产、消费和贸易的重要参与者。2022 年，中国海洋工业生产总值达到 38 亿元，约占国内生产总值的 3%，与去年持平。中国是世界上领先的水产养殖和船舶生产国，分别占全球海产品和船舶总产量（总吨位）的约 58%（2020 年）和约 45%（2022）（联合国粮农组织，2022；联合国贸发会议，2022）。然而，中国和世界海洋经济的现有模式如何向可持续蓝色经济转变，仍是一个巨大挑战。我们认为，碳中和目标正在被确立为一项国家发展战略，为当前的海洋经济向可持续蓝色经济转型提供了宝贵的机遇。

在本章中，我们简要概述了海洋经济重要的五个子行业，具体是海洋矿产资源和海上油气业、海运、海洋可再生能源（ORE）、食物生产和其他供应链问题，以及离岸碳捕集、利用与封存(CCUS)，这些行业可能为海洋经济向可持续蓝色经济转型提供重要机会。

海洋矿产资源和海上油气业

40 年来，中国海洋矿产资源和海上油气业开发为中国经济发展提供了重要的能源和原材料。

海底采矿是中国未来海洋经济的一个重要的潜在组成部分。中国目前的活动主要集中在对沙子和砾石等海洋混凝土的提取，这些材料被从海床中提取出来，用于建筑业、海滩养护和海防。对这类资源的需求可能会增加，但应当指出，由于对生境的影响和对海岸线侵蚀的影响，从沿海地区移走沙子的能力将来可能会受到更大的限制。海洋矿产资源行业发展了对蓝色经济具有重要价值的技术、基础设施和操作技能。

石油和天然气行业是一个高度资本化的行业。中国目前的石油和天然气生产有很大

一部分发生在近海，主要在渤海和南海北部，在东海也有一小部分。海上石油和天然气项目，预计在未来几十年将继续成为碳氢化合物资源的主要来源。海上制氢以及海上油气开采具有许多优势。氢气的运输和储存都可以大规模地以相对较低的成本完成。此外，海上石油和天然气平台可被再用于可再生氢气的生产，这为希望转变其经营方式并利用其在恶劣海洋环境中的经营知识上游石油公司提供了有利机会。在油气行业，公司越来越多地投资于数字化和环保解决方案。能源和环境的重点是海上风力和氢气基础设施，以及用于海洋解决方案的燃料电池。石油和天然气行业的供应商在这一转变中发挥了重要作用。值得注意的是，油气行业是一个高风险领域，可能会造成灾难性的环境后果。

矿产资源业和油气业都有很大机会在向可持续蓝色经济过渡的过程中发挥关键作用，一方面是加强开发低碳技术所需关键材料的供应，另一方面是尽量减少对海洋环境的影响，并通过采用气候中和、循环、负责任和资源节能型的方法支持减缓气候变化。这在很大程度上得益于可再生能源发展的优先性和走向脱碳化的趋势。

海运

近几十年来，由于经济全球化和国际贸易的快速增长，海上运输已成为全球经济的重要引擎，并日益成为海洋经济的重要组成部分（Du 等，2015）。迄今为止，海运作为覆盖长距离和运输大量货物的最具成本效益的运输方式（Barberi 等，2021），尽管 COVID-19 大流行影响到海上运输，并给整个行业的从业人员带来了前所未有的挑战，但 90% 以上的跨境贸易依然是通过海运进行的。但海运对环境产生的重大影响也备受关注。据报道，与航运业相关的温室气体排放量从 2012 年的 977 亿吨增加到 2018 年的 1076 亿吨，到 2050 年可能增加约 130%（IMO, 2021）。除了对全球变暖的影响外，海运业的排放也对全球的空气污染有很大影响（Wang 等，2008）。全球约 15% 的人为 NO_x 和 5-8% 的 SO_x 排放是由远洋船舶造成的（Corbett 等，2007）。随着海上运输需求的增加，港口开发和造船业日益成为海上运输的重要组成部分，也是污染物排放的重要来源。港口开发在促进港口城市经济发展和就业水平的同时，对环境产生了负面影响（Axel 等，2011 年）。同样，造船业也是具有环境挑战性的行业之一，它具有化学和有害物质的暴露性，被称为高能源消耗、高材料消耗和高污染行业（Rahman 等，2015）。

与大多数其他行业一样，航运业具有巨大的潜力，可以通过一系列旨在使运营更环保、更便宜、更高效的技术创新来实现转型。鉴于海上运输本质上是国际性的，因此法规、政策和激励措施的实施应涉及在相互作用的利益相关者网络内的众多合作政府。促进合作的关键动力之一可能是增强有利于环境和气候的活动的经济和财政利益，即减税、赠款和资金，例如一旦证明排放量显著减少就可获得这些利益。

海洋可再生能源

海洋可再生能源是国际关注的海洋经济的新兴行业之一。对于许多沿海和岛屿国家来说，海上风能、潮汐能、波浪能、太阳能和氢能是提高可再生能源能力的最可行机会。例如，在过去十年中，由于容量的增长、场地可用性的扩大和成本的显著降低，在风力涡轮机可靠性等重要技术进步的支持下，海上风能技术得到了强劲的增长。通过吸取陆上风电行业的经验教训和开展竞争性招标，海上风电有望取得进一步发展。2021 年，中国海上风电新增并网容量 1690 万千瓦，是上年的 5.5 倍，累计装机容量跃居世界

第一⁴。促进和可持续部署海洋可再生能源可为能源系统的脱碳做出重大贡献，这对实现中国的碳中和目标至关重要

然而，大规模开发海洋可再生能源仍存在潜在的生态和社会风险。我们已经看到，由于缺乏足够的空间规划和有效的电力传输部署，陆上风电和太阳能发电场建设对宝贵的自然保护区造成了负面影响，并与农业和城市区域产生了冲突。在部署海洋可再生能源时，应吸取这一教训，同时认识到潜在的风险并准备相应的解决方案。除了加速核心技术的研发外，还需要填补知识空白，并需要以科学为基础的政策变革来驱动这一进程。需要解决的一些关键问题包括但不限于：

(1) 如何确保海洋可再生能源项目能够有效地避开具有高保护价值的区域，包括海洋哺乳动物、鱼类和鸟类的迁徙走廊，并考虑到未来的气候变化？

(2) 如何明确海域最佳利用的审批权限，科学分配不同用途，形成共存的良好方案？

(3) 如何加强能源规划、生态系统和海洋资源管理等部门之间的跨部门合作，将海洋健康影响纳入项目审批和管理？

(4) 如何加快研究和实施有效的生态恢复和补偿机制，并更充分地了解对生态系统和社会的负面影响(例如公平性的问题)？

(5) 如何在兼顾当地社区福祉、性别平等和社会公平的前提下，推动能源项目与其他行业的创新整合？

2.2.3. 食物生产和其他供应链问题

本报告第四章将更详细地讨论海洋捕捞渔业和海水养殖行业在碳中和战略中的作用。因此，我们仅在此提供一些背景资料，说明这些行业是如何导致气候问题的，并简要概述促进这些行业向可持续和低碳转型的一些关键机会。

帕克等人在 2018 年估计，全球海洋捕捞渔业（约占全球粮食产量的 4%）每年产生约 1.79 亿吨二氧化碳当量的温室气体，其中燃料燃烧占 70% 以上。捕鱼技术的进步刺激渔船发动机发展得更为强劲，增加了对化石燃料的需求，据估计，燃料成本可占总捕鱼成本的 60%（Greer 等，2019）。此外，特定渔具如底部拖网的使用，通过直接的渔船排放和间接的对海底具有储碳功能的沉积物的干扰，增加了温室气体的大量排放。

减少捕鱼量或提高拖网渔船发动机的燃料效率可有助于减少碳足迹。联合国粮农组织估计，尤其是对于使用灯光吸引鱼群的渔业而言，通过使用更有效的发动机、更大的螺旋桨和更好的船形，采取船体改造、降低速度和使用高效的 LED 灯等措施，可减少 10-30% 的船舶排放量。使用需要较少燃料的渔具捕捞传统物种，如围网、刺网和延绳，可大大减少温室气体排放。对于拖网渔具，减少排放的措施则包括采用多重装备、高效的水獭板、离底捕捞、高强度材料，以及大网眼和小直径的绳索。

在许多国家和地区，水产养殖正在成为日益重要的食物来源，水产养殖业的扩张意味着它将贡献越来越多的温室气体排放，从而导致全球变暖和气候变化（Poore 和 Nemecek, 2018）。分析全球和中国（作为主要生产国）的定量研究结果一致表明，饲料

⁴ 自然资源部海洋战略规划与经济司：《2021 年中国海洋经济统计公报》，2022 年 3 月。来源：<https://www.gov.cn/xinwen/2022-06/07/5694511/files/2d4b62a1ea944c6490c0ae53ea6e54a6.pdf>，2023 年 7 月 29 日访问。

生产是水产养殖温室气体排放的主要来源（MacLeod 等，2020；Xu 等，2022）。水产养殖部门的主要改进包括减少能源密集型饲料的使用，改善饲料管理，并在适当情况下考虑发展再生水产养殖做法，这可能有助于减轻气候影响并提供实质性的共同利益（例如，生物多样性和栖息地的改善，生计的改善）。

在制定水产养殖和渔业管理战略及其他有关管理控制措施时，燃料使用和温室气体排放应是一个重要考虑因素。应使海洋牧场、船队和供应链向绿色能源（如水电、地热、波浪能、核电）或更绿色的来源（如天然气、生物气）转型，从而减少碳排放。某些渔业管理措施可能对温室气体排放产生重大影响，既有积极影响，也有消极影响。一般而言，减少捕捞强度（特别是对于燃料密集型渔具而言）、增加鱼类种群的渔业管理，可能是减少燃料使用和温室气体排放的最有效方法之一（Waldo 等，2014；Ziegler & Hornborg 等，2014）。

此外，对强有力的渔业管理予以激励将是重要的，这类强有力的渔业管理措施可通过直接对气候影响做出反应的适应性管理干预（Gaines 等，2018）和间接的税收、补贴，驱动更可持续的生产和消费。渔业发展补贴应转向对设施升级的支持，以实现更安全的生产和减少收获后的损失，并支持强有力的可持续管理措施和关键渔业资源的保护。人类的健康和食物软政策，如考虑环境影响和营养需求的饮食建议（Golden 等，2016），也有助于实现更可持续的生产和消费。由于缺乏对小型渔业和水产养殖实体的基本信息和有效管理，而这类实体可能对渔业资源耗竭和温室气体排放产生相当大的影响，因此应加强对这类实体的调查和管理。最后，与行业协会和研究机构合作，开发和推广海产品透明度、可追溯性和可持续性标准和认证，并将采用这些标准的配套政策工具与金融风险指导文件相结合，有助于推动金融服务向激励可持续海产品生产和供应链实践的转变。

2.2.4. 离岸碳捕集、利用与封存

离岸碳捕集、利用与封存（即“离岸 CCUS”）可能会对减排做出重大贡献，特别是对没有替代方案或替代方案极为有限的难以减排的行业来说。中国已在南海北部建设了第一个离岸 CCUS 项目，即“恩平”项目。如果该项目能够证明离岸 CCUS 是安全可行的，那么它将促进后续项目向其借鉴，并有可能降低成本。同时，中国正在规划后续更加全面的离岸 CCUS 项目群，这将整合个体二氧化碳供应商的完整供应链、灵活的运输解决方案，以及开放的存储基础设施，为中国各地的公司提供安全和永久海底封存二氧化碳的机会。

预计接下来的这些项目将包括从工业来源（即：废物转化为能源和钢铁）捕获二氧化碳，并将液体二氧化碳从这些工业捕获点运输到中国东部和东南沿海的陆上终端。从那里，液化的二氧化碳将通过管道运输到中国东海或南海的海床下的一个海上储存地点，用于永久储存，尽管应注意到，要确保高效和安全的管道运输，还需要克服一些挑战。这些项目的第一阶段（如广东大亚湾）很可能在 2030 年前启动。运输和储存运营商（即中海油、壳牌和埃克森美孚）已经表明了他们对第一阶段的雄心，即每年至少储存 10 万吨二氧化碳。

亚洲开发银行和中国科学院估计，在中国近海沉积盆地的地质结构中，理论上拥有 5000-8000 亿吨的二氧化碳储存潜力。中国将奉行积极的产业政策，促进在其领海内的离岸 CCUS 取得社会经济效益。由于离岸 CCUS 的调查是针对 30 年的时间跨度进行的，因

此促进稳定的商业框架以鼓励低碳投资的政策必须在实施之前就已经到位。

2.3. 挑战和机遇

在通过与碳中和目标的协同作用提高海洋经济可持续性的努力中，需要应对和优化许多挑战和机遇。在下文中，我们将讨论其中的一些问题。

2.3.1. 科学与技术

目前，对于大多数基于海洋的二氧化碳移除(CDR)技术是否能够显著减少二氧化碳及其对温室气体总通量的影响，在认知上还存在重大缺口。虽然在陆地系统中也存在这些问题，但在海洋中更为特殊，因为在水下进行海洋观测很困难，而且测量表层海的海-气交换具有内在的复杂性。了解基于海洋的二氧化碳移除对自然生态系统和人类的影响，确保消除二氧化碳带来的好处不会被人类和自然生态系统的健康、生计、食品安全和环境正义的风险所抵消，是最引人注目的问题。任何对基于海洋的二氧化碳移除的部署，都需评估其在分配方面的公平性等社会影响，并开展全领土/领海范围内的空间研究、探索碳中和潜力，以推动国家行动。

碳监测、报告、验证 (MRV) 机制

所有基于海洋的二氧化碳移除方法都面临的一个重大挑战，是监测、报告、验证海洋储碳量及储存方式的持久性，特别是考虑到气候变化和人类发展模式的不可预测性对此带来的影响。此外，来自红树林和盐沼的其他温室气体（包括甲烷）的排放也有很大的不确定性；在某些情况下，此类排放会严重限制这些生态系统的气候减缓潜力，即储碳能力（Rosentreter 等，2021）。鱼类和海洋哺乳动物可帮助从大气中封存碳的数量尚未被精确量化，因此最不适合作为基于自然的二氧化碳移除方式。然而，有充分的科学证据表明，保护现有的鱼类和大型海洋动物种群可以产生多种协同效益，并可帮助我们避免海洋中大量新的二氧化碳排放。

总之，基于海洋的二氧化碳移除是一个新兴领域，正在获得大量的关注。然而，二氧化碳移除不能替代快速和有效地削减温室气体排放。该技术的开发和潜在的应用，只应作为全面和公平的气候战略的一部分。

2.3.2. 政策

蓝色金融

世界银行的国际复兴开发银行（IBRD）已经发行了两套对海洋和海岸带生态保护予以高度关注的“可持续发展债券”——世界银行与瑞士信贷的可持续发展债券，以及世界银行与摩根大通的可持续发展债券。此外，一些沿海国家和地区也发行了蓝色债券，比如“塞舌尔蓝色债券”、“北欧-波罗的海蓝色债券”、“大自然保护协会蓝色债券”、“斐济蓝色债券”。虽然这些蓝色债券可被认为是蓝色金融的一部分，但仍需有框架或资源来详细阐明如何更好地利用这些工具促进海洋经济的转型和重要海洋生态系统的保护。

评估海洋生态系统服务

关于评估海洋生态系统服务特别是海洋储碳潜力的国际政策，主要来自 1992 年的《联合国气候变化框架公约》（UNFCCC），该公约要求缔约方促进对海洋以及其他沿海和海洋生态系统中所有温室气体的汇和库的可持续管理。在此基础上，2015 年《巴黎

协定》在“序言”部分重申“酌情保护和加强《联合国气候变化框架公约》中提到的温室气体的汇和库的重要性”，并在第5条第1款中指出，“缔约方应采取行动，酌情保护和加强《联合国气候变化框架公约》第4条第1款(d)项中提到的温室气体的汇和库。”澳大利亚和美国已开始将蓝碳纳入其数字减排目标，并根据《2006年IPCC国家温室气体清单指南》中与2013年湿地相关的内容，对蓝碳进行了补充计算。日本已经为海草床实施了几个蓝色碳抵消信贷项目，并正在为天然和人工养殖的大型藻类试行碳信用项目。

旨在评估和保护除碳汇以外的多种海洋生态系统服务的国际政策和计划，围绕“恢复海洋生态系统以实现健康和富饶的海洋”这一联合国可持续发展目标(SDGs)中的目标14展开。其他的全球性文书主要包括：1)《拉姆萨尔湿地公约》(1971年)；2)《世界遗产公约》(1972年)；3)《生物多样性公约》(1992年)；4)《2015—2030年仙台减轻灾难风险框架》(2015年)；5)联合国《2030年可持续发展议程》(2015年)；6)“联合国海洋科学促进可持续发展十年(2021-2030)”(2017年)；7)“联合国生态系统恢复十年”(2019年)。欧洲、北美和澳大利亚已根据各自的法律或许可框架实施了海洋生态系统保护项目，例如，美国佛罗里达州的“有管理的海岸调整综合沼泽地恢复计划”，该计划基于“环境资源许可(ERP)项目-环境保护部(DEP)/水资源管理区的联合申请程序”，而澳大利亚的Tomago湿地恢复项目基于“新南威尔士州初级产业部门第37节之渔业许可P07/13”。

在实施具体干预措施/解决方案时评估效益的影响

在实施具体干预措施/解决方案时评估效益影响的政策源自联合国清洁发展机制(CDM)的技术标准。一些非政府组织还制定了基于这些标准的评估政策，即验证碳标准(VCS)。相较而言，VCS更为详细。具体而言，CDM中用于衡量蓝碳效益的政策主要包括：1) CDM机制中的中、大型规模造林和再造林项目——“退化红树林栖息地的造林和再造林活动”(AR-AM0014)；2) CDM机制中的小规模造林和再造林项目——“在湿地上实施的造林和再造林活动”(AR-AMS0003)。VCS在相关项目中用于衡量蓝碳效益的政策主要是：1)“潮间带湿地恢复和保护项目活动中基线碳储量变化及温室气体排放的估算”(VMD0050)，以及“REDD+方法学框架”下的子方法(VM0007)；2)“潮间带湿地恢复和保护项目活动中碳储量变化、温室气体排放和清除的监测方法”(VMD0051)；3)“海岸带湿地创建方法学”(VM0024)；4)“潮间带湿地和海草修复方法学”(VM0033)。

在国家自主贡献(NDC)中纳入蓝碳的相关政策

蓝碳生态系统(具有固碳功能的海岸带生态系统)因其在缓解和适应气候变化方面的显著作用而受到重视。各国已开始在其国家自主贡献清单(NDCs)、国家温室气体清单(GHG)、国家适应计划(NAPs)和其他高级别的气候相关政策中适当地将蓝碳生态系统纳入考虑。

鉴于许多拥有丰富蓝碳资源且对气候变化影响不大的国家，其人均收入水平和国内生产总值(GDP)相对较低，因此，将蓝碳纳入国家自主贡献或其他承诺可以使此类发展中国家实现其减缓气候变化的目标，同时腾出资源投资于所需的可持续发展。

2.3.3. 法律框架

随着《生物多样性公约》第十五次缔约方大会和《联合国气候变化框架公约》第二十六、二十七次缔约方大会的召开，海洋议题已成为气候治理中不可避免的问题，这将

显著影响到基于海洋的碳中和法律和政策的走向。然而，截止目前中国还没有将基于海洋的行动纳入其国家自主贡献（NDC），这可能会阻碍海洋经济向可持续蓝色经济的转型。

海运的法律框架

在国际法层面，《国际防止船舶造成污染公约》（MARPOL 公约）是预防和控制船舶污染物排放造成环境损害的主要国际法律文书。国际海事组织（IMO）还通过修订 MARPOL 公约相关内容的方式，出台了船舶碳减排的约束性法规和政策。

在国内法层面，中华人民共和国海事局于 2022 年 11 月发布了《船舶能耗数据和碳强度管理办法》（简称“《办法》”），规定了中国船舶能耗数据和碳强度管理的要求，适用于 400 吨以上的中国籍船舶和进出中国港口的外国船舶。

海洋可再生能源的法律框架

在国际法层面，中华人民共和国缔结或加入的条约中尚无与此直接相关的。在国内法层面，《中华人民共和国可再生能源法》可作为基本法律文件。该法从资源调查与发展规划、产业指导与技术支持、推广与应用、价格管理与费用补偿、经济激励与监督措施、法律责任等方面对可再生能源的开发利用进行了规定。然而，该法于 2005 年通过，后又于 2009 年修订。那时，碳中和尚未成为一项国家战略，并且可再生能源的发展远不如今天这般。因此，该法对碳中和战略背景下海洋可再生能源的开发利用缺乏有益的指导。

渔业管理的法律框架

在国际法层面，《联合国海洋法公约》《生物多样性公约》，世界贸易组织《渔业补贴协定》和《国家管辖外海域生物多样性养护与可持续利用国际协定》可适用于中华人民共和国。尤其是世界贸易组织于 2022 年 6 月通过的《渔业补贴协定》，禁止了有害的渔业补贴这一导致世界鱼类资源普遍枯竭的关键因素，标志着海洋渔业的可持续性向前迈出了重要一步。在国内法层面，《中华人民共和国渔业法》应被适用。遗憾的是，该法没有在渔业管理中将基于生态系统的海洋综合管理作为一种一般方法。这可能影响渔业资源与海洋生态系统的协同和整体性管理。

离岸碳捕集、利用与封存的法律框架

在国际法层面，《联合国海洋法公约》《生物多样性公约》《防止倾倒废物及其他物质污染海洋的公约》（即 1972 年伦敦公约）及其 1996 年议定书，以及《控制危险废物越境转移及其处置巴塞尔公约》可能被适用于规范离岸 CCUS 项目的实施。在国内法层面，在考虑离岸 CCUS 项目的环境影响方面，《中华人民共和国海洋环境保护法》应被考虑适用。然而，在具体的法律适用中可能会遇到障碍和问题，因为只有当离岸 CCUS 项目被认定为海洋工程建设项目时，才能按照该法第六章“防治海洋工程建设项目对海洋环境的污染损害”的规定来适用该法。此外，在国内法中没有关于离岸 CCUS 全生命周期的系统性法律框架，此类法律框架对于支持离岸 CCUS 的技术进步和产业发展非常重要。

2.4. 本章具体建议

高级别建议：

- 将可持续的蓝色经济设定为国家的战略发展目标，将其作为碳达峰和碳中和目标的一部分，并将其纳入国际合作框架。
- 评估全球海洋技术，特别是数字技术的使用情况，以支持可持续方式的增长和促进蓝色经济中的碳中和。采取税收优惠、产业配套、创业支持、人才引育等政策措施，鼓励和支持海洋科技的发展，特别是蓝色经济和碳中和方面的数字技术（例如数字孪生海洋）。更重要的是，大力推动这些新兴技术的产业化、规模化应用。
- 完善管理体系，兼顾生态和社会经济目标。从社会-经济-自然复合生态系统的角度，建立覆盖从中央到地方的多层次海洋综合管理体系。
- 制定框架和指标以全面核算可持续性和社会经济成果，并加强对可持续蓝色经济的财政支持。评估现有的国家《绿色产业指导目录》和绿色金融政策，研究建立蓝色金融新框架的必要性。支持金融机构开发多样化的金融产品以支持海洋经济的低碳转型。完善政府引导基金在促进海洋经济蓝色转型中的作用。
- 寻求在科学和经济研究方面进行国际合作的机会。通过双边和多边平台和机制，如“一带一路”倡议、博鳌亚洲论坛(BFA)、世界经济论坛(WEF)等，促进海洋与碳中和科学、技术、教育、投资、贸易等方面的全方位国际合作。
- 加强与可持续蓝色经济相关的研究和教育，特别是与可持续蓝色经济相关的跨学科研究和教育。
- 准确、全面地核算海洋产业的二氧化碳排放量。

具体建议：

- 为基于海洋的二氧化碳移除（CDR）制定研究行为准则，确立科学诚信的基本原则（如透明度和结果的传播），公平和公正（如公众咨询）以及负责任的研究（如潜在危害的最小化和责任分配）。应该要求政府资助的接受者遵守这一行为准则，并且应该制定计划，鼓励在私人资助的支持下进行 CDR 研究的科学家接受这一准则。此外，应适时将这些原则转化为国内法，以加强对基于海洋的二氧化碳移除的监管。
- 加快向低碳型海洋工业实践的转型。

3. 海洋塑料垃圾和蓝色循环

3.1. 背景

自 20 世纪 50 年代以来，全球塑料生产和消费呈指数增长，如果一切照旧，到 2060 年将增长两倍 (OECD, 2022)。由于大多数废弃的塑料制品最终进入海洋，因此塑料污染被认为是世界各地沿海和海洋生态系统中严重的人为造成的环境问题。此外，塑料相关产品全生命周期的不同阶段都涉及温室气体 (GHG) 排放 (Sharma et al., 2023)。研究表明，塑料及相关化学品和塑料污染对人类健康和环境的影响日益明显 (UNEP 2022)。大量研究已经证实了海洋塑料的来源、归趋和环境影响，主要集中在：1) 塑料入海量的估算；2) 海洋垃圾和塑料污染的主要来源；3) 塑料在海洋环境中的输运路径和归趋；4) 海洋垃圾和塑料污染 (包括微塑料和化学浸出液) 对海洋生物、生态系统功能和生态过程的影响；5) 微塑料对人类健康的风险。海洋塑料污染对海洋航运、旅游业、渔业和水产养殖业造成的全球经济成本，加之沿海清理费用，估计至少为 60 亿美元，到 2018 年可能达到 190 亿美元或更多 (UNEP, 2021b)。目前，最紧迫的问题是如何减少塑料垃圾流入海洋和促进蓝色经济的健康发展。

本章在现有研究文献的基础上，综述了中国海洋塑料的污染现状和来源，并就塑料垃圾对海洋生态系统的影响进行了评估；分析了塑料废弃物的社会和经济影响，特别是对蓝色经济的影响；指出了海洋塑料污染在科学研究、政策体系和法律框架等方面存在的不足。在介绍现有影响知识和法律法规空白的基础上，提出了解决这一紧迫环境问题的对策和行动，包括环境技术和商业解决方案。

3.2. 中国海洋塑料废弃物的规模和来源分析

3.2.1. 环境中塑料垃圾的规模估算

根据中国住房和城乡建设部发布的《全国城乡建设统计年鉴 2017》，中国城乡固体废物处理情况显示，中国城市和县级市的未经合理处理垃圾率分别为 1.00 % 和 3.89 %，接近发达国家水平。最近一项研究表明，2011 - 2018 年，城市生活垃圾无害化处理率达到 99.7%，主要以卫生填埋和无害化焚烧处理为主 (Huang et al., 2022)。此外，注意到由于拾荒者的介入，他们收集了大部分容易回收的塑料，如塑料瓶，因此，中国的未经合理处置的塑料垃圾的构成非常不同。这些活动的贡献在年度统计中没有被考虑在内，这将进一步降低塑料垃圾的未经合理管控的比例。因此，在不考虑中国沿海经济较为发达、固废管理能力较高的情况下，中国城市和农村地区未经合理管控的塑料垃圾平均水平将低于 Borrelle et al. (2020) 估计的 23.25%。根据全国城乡人口比例，合理估计全国城乡未经合理处置的塑料垃圾率在 3%-8% 之间。根据 2019 年中国年度统计数据中沿海地区城市人口与农村人口的比例，估计中国沿海地区管理不善的塑料垃圾比例约为 1.3 %。因此，沿海地区管理不善的塑料垃圾数量约为 5.5 万吨，其中约三分之一的部分塑料垃圾可能泄漏到海洋中。

在另一个案例中，按照 Borrelle et al. (2020) 的方法，我们估计 2016 年管理不善的塑料垃圾比例约为 7%，那么中国排入水环境 (江、河、湖、海) 的塑料垃圾总量为 37.83-46.9 万吨，平均为 42.43 万吨。扣除江河湖泊的滞留量后，进入海洋的不到三分之一，即不到 15 万吨。

除了这种建模方法，另一项研究使用物质流模型和实际观测数据来估计中国管理不善的塑料垃圾的年产量。他们估算 2011 年进入到环境中的塑料垃圾数量不到 56 万吨。该研究还表明，从 2011 年到 2019 年，中国入海的塑料垃圾数量整体上呈现快速下降趋势（Bai et al., 2018）。

3.2.2. 主要来源

3.2.2.1 河流输入

河流一直被认为是塑料垃圾输入海洋的最大来源，但在中国，随着全国性的生态环境治理河长制实施、垃圾无害化处置和分类管理水平提高，最新的监测调查研究表明，中国最大的入海河流长江塑料垃圾年入海量仅为 Lebreton et al. (2017)估算的 10-20%左右 (Zhao et al., 2019, Mai et al., 2020, Meijer et al., 2021)，而其他中国所有河流入海塑料垃圾量总和也只有长江的 50-60%。

3.2.2.2 沿海地区生活垃圾的泄漏

中国沿海塑料垃圾泄漏进海洋主要是来自人们的生活、旅游休闲等活动的废弃物（各类泡沫塑料块、塑料饮料瓶、食品包装袋以及塑料袋、水瓶等生活用品）。这些塑料垃圾主要漂浮和聚集在海岸潮间带和近岸海域，以及港口和码头等区域，但目前对其沉入海底的量尚未有深入了解。

3.2.2.3 海上经济活动的泄漏

尽管大部分海洋塑料垃圾来自陆地，但海洋来源的贡献也不容忽视。不同地区的情况有所相同，海源塑料垃圾可占海洋垃圾总量的 32-60%(GESAMP, 2021)。海上经济活动是产生塑料垃圾最多的海上活动。但是，这些活动产生的塑料垃圾数量尚未得到准确量化。

海上经济活动产生的塑料垃圾排放进入海洋的塑料垃圾是世界各国最为关注的，也是最难以管理和控制的，是海洋塑料垃圾产生的重灾区，中国也是如此。泄漏的塑料垃圾主要来自海上渔业捕捞作业渔船、运输船舶、渔业养殖等产生，如泡沫塑料、渔网、渔具、塑料瓶、食品包装袋，以及各类塑料生活用品。调查显示，他们少部分漂浮聚集到海岸，聚集在水动力条件较弱的区域，但大部分沉入海底或随海流输运到其他区域。因此，海上经济活动产生的塑料垃圾泄漏应是中国未来海洋塑料垃圾治理的重点。

3.2.2.4 跨洋转移

各种来源泄漏到海洋里的塑料垃圾会随着海流和风向其他海域进行扩散和输运，既包括在近岸和潮间带的漂浮转移，也包括我们看不见的在海底的输移。我们目前还不太清楚在海底的输移的塑料垃圾量，但其数量肯定较大，应该给与极大关注。另外，令我们更加关注的是塑料垃圾的跨国的海洋转移。海洋塑料垃圾输运模型模拟结果表明，海洋漂浮塑料垃圾可以随洋流进行远距离输移。采用拉格朗日粒子跟踪方法对我国渤海、黄海和东海近岸的微塑料输移路径进行水动力模拟(Zhang et al., 2020)，研究发现只有不到 18% 的陆域微塑料从近岸最终迁移到了太平洋，而其余的微塑料则由于复杂的水动力过程而主要滞留在近岸海域(Zhang et al., 2020)。这些研究结果进一步突出和强调了海洋塑料垃圾是一种需要加以高度关注的跨界污染。

3.3. 机遇与挑战

3.3.1. 海洋塑料垃圾对于海洋生态系统的影响

塑料污染几乎进入了海洋的每一个部分，从海面到深海海底，从极地到最偏远岛屿的海岸线，影响着不同类型的生态系统。塑料污染可造成直接的有害物理影响，以及通过渗入或吸附物质产生间接的化学影响（Silva et al., 2021）。塑料垃圾和化学品的影响性质取决于物种的形状、体型、移动方式、进食模式和栖息地，以及塑料物品和碎片的类型、形状、大小和密度（Bucci et al., 2020），影响的情况和严重程度取决于暴露水平（Besseling et al., 2019）。

海洋塑料的物理影响包括缠绕、塑料摄入、海洋生物生长于塑料物品上以及塑料接触或覆盖生物（如窒息），可能会造成包括行动受限、受伤、窒息、死亡、生物的漂流扩散和病原体传播等各种影响。化学影响指塑料污染产生的有害化学物质作用，这些物质是通过摄入或接触受污染的水、空气、沉积物或食物而直接吸收的。由于微塑料颗粒有比较高的能力运输和转移危险污染物，因此受到特别关注。与塑料相关的主要有害物质包括双酚 A（BPA）、邻苯二甲酸酯、阻燃剂、金属、石油烃、多环芳烃（PAHs）、多氯联苯（PCBs）和有机氯农药，这些物质可以从肠道进入血液或器官，并对生长、生理变化、繁殖和毒理方面等产生影响（Tekman 2022）。化学物质通过不同的机制从塑料转移到生物体（Koelmans et al., 2016）。它们可以直接从生物摄入的塑料中渗入体内，或从塑料进入环境后通过生物的皮肤或鳃吸收，或者透过食用受污染的猎物而被吸收。

3.3.1.1 塑料污染对物种的影响

塑料污染对包括濒危物种在内的各个主要海洋物种类别的影响：

- 一项针对海鸟的空间风险分析（Wilcox et al., 2015）利用塑料垃圾的全球分布和塑料摄入的实际速率得出结论，1962-2012 年间，59%的海鸟物种和 29%的海鸟个体摄入了塑料。
- 一项针对海龟的全球分析估计，52%（34 万只）的海龟已经摄入了塑料（Schuyler et al., 2016）。在每年搁浅的数千只海龟中，有 6%被发现被海洋垃圾缠绕，其中 91%已经死亡（Duncan et al., 2017）。
- 对 1990 年至 2015 年间在爱尔兰海岸搁浅的鲸鱼进行的尸检显示，9%的鲸鱼摄食过塑料垃圾（Lusher et al., 2018）。
- 浮游植物在光合作用过程中捕获碳。浮游动物和其他海洋生物摄入浮游植物，它们粪便中会包含捕获的碳。粪便随后被排泄并沉入海底，存留数百至数千年。然而，浮游动物摄入微塑料会使粪便更具浮力（Wieczorek et al., 2019），并降低浮游动物的摄入率（Cole et al., 2015）、生长和繁殖（Cole et al., 2013），从而影响海洋的碳汇功能。
- 研究发现，采自中国长江口、东海和南海的 21 种经济海洋鱼类均摄入了微塑料或中型塑料，其中塑料纤维是在其胃肠中发现的最常见形态（Jabeen et al, 2017）。

3.3.1.2 塑料污染对海洋栖息地的影响

塑料污染还影响各类主要的海洋栖息地，损害生态系统功能，包括它们通过初级生

产封存二氧化碳的能力：

- 在亚太区调查的 159 个珊瑚礁中，有三分之一受大型塑料垃圾污染（Lamb et al., 2018）。大型塑料垃圾容易被困在珊瑚礁中，导致珊瑚群落窒息并引发珊瑚疾病（Lartaud et al., 2020; Lamb et al., 2015）。微塑料会抑制共生藻类（*Cladocopium goreaui*）的营养吸收、光合作用，并增加了细胞死亡率，降低藻类细胞的密度和大小（Su et al., 2020）。
- 由于在海草栖息地和生活其中的无脊椎动物体内都发现了微塑料，任何以它们为食的草食动物或捕食者也可能摄入微塑料，与海藻的情况类似（Gutow et al., 2016）。实验室研究表明，与环境相关的 BPA 浓度会影响海草 *Cymodocea nodos* 的光合作用，从而影响其生长（Adamakis et al., 2018, Adamakis et al., 2021, Malea et al., 2020）。
- 由于 54% 的红树林栖息地位于河口 20 km 以内，它们特别容易受陆源塑料污染影响（Harris et al., 2021）。在爪哇红树林中，随着塑料污染覆盖林底的比例接近 100%，红树林的叶片会严重损失，并且死亡率增加（van Bijsterveld et al., 2021）。
- 南中国海的珊瑚礁、红树林、海草床和大型藻类生态系统的微塑料研究发现，珊瑚礁表层水体中微塑料的丰度高达 45,200 个/立方米，红树林沉积物中的微塑料丰度高达 5738.3 个/千克，海草床沉积物中的微塑料丰度高达 927.3 个/千克。红树林生态系统的污染负荷指数（PLI）为 3-31，海草床生态系统的污染负荷指数为 5.7-11.9，珊瑚礁生态系统的污染负荷指数为 6.1-10.2（Zheng et al. 2023）。

3.3.2. 海洋塑料垃圾对蓝色经济的影响

海洋塑料垃圾在海洋垃圾的三种分类（海面漂浮垃圾、海滩垃圾、海底垃圾）当中均是最主要的组成部分，是海洋生态环境污染的一大典型问题，也对蓝色经济可持续发展带来了显著挑战。其对蓝色经济的影响途径通常包括：造成视觉污染影响滨海旅游业发展、堵塞船舶动力系统损害海洋航运业安全、危害生物健康并影响人类对海洋渔业资源的开发利用（安立会等，2022）。以下将从这三个方面简述其影响效应，并提出相应的治理建议。

3.3.2.1 对滨海旅游业的影响

海洋塑料垃圾在以娱乐活动为主要功能的海岸线和沙滩集中堆积，破坏了这些海岸线和沙滩原有的自然风光景色，给游客造成了不良的观感和体验（Jayasiri et al., 2013）。对于大部分针对旅游海滩的垃圾调查研究来说，通常涵盖所有类型的海洋垃圾，而在调查结果中，海洋塑料垃圾已经成为了最重要的贡献者（Maione, 2021）。例如，在一项针对孟加拉国最受欢迎的旅游景点考克斯巴扎尔海岸的海滩垃圾研究中，聚乙烯塑料袋是数量最多的海滩垃圾类型（Rakib et al., 2022）。巴西最重要的国际旅游地点之一——圣卡塔琳娜岛旅游海滩的风景质量也深受垃圾污染的影响，塑料垃圾是其中最多的组成成分（Corraini et al., 2018）。国内方面，根据 2021 年《中国海洋生态环境状况公报》，在全国知名沿海旅游景点，如唐山碧海浴场、胶州湾、舟山、厦门鼓浪屿、汕头青澳湾、惠州大亚湾、三亚湾等地的海滩垃圾数量均超过 100000 个/立方千米。对青岛主要旅游海滩第一海水浴场的海滩垃圾调查中，塑料垃圾的数量也最为突出（Pervez & Lai, 2022; Pervez et al., 2021; Pervez et al., 2020）。

尽管对滨海旅游景点的海滩及海面漂浮垃圾的量化研究很多，但因其对景观的破坏而对旅游业造成的隐性经济损失很难估计，而发生大型垃圾堆积事件后旅游景点受到的经济损失则更易被估算（Jang et al., 2014）。例如，包括海洋塑料垃圾在内的海洋垃圾堆积事件曾在 2011 年给韩国巨济岛造成了约 2900 万至 3700 万美元的旅游收入损失（Jang et al., 2014）。海洋塑料垃圾对滨海旅游业造成的隐性经济损失可以从游客的选择中体现。海滩的清洁度是游客在选择海滩时最重要的考虑因素（Ballance et al., 2000; Tudor & Williams, 2006）。对我国滨海旅游景点游客的调查显示，海滩垃圾数量的多少显著影响游客的支付意愿（刘佳等，2022；韦健华，2021）。一项对巴西巴拉那州海岸的研究中指出，搁浅垃圾对游客选择性的影响可能会使当地旅游收入减少 39.1%，每年损失高达 850 万美元（Krelling et al., 2017）。

基于海洋塑料垃圾污染对滨海旅游业造成的影响现状，建议如下：

- 开展垃圾监测工作。对重要旅游景点的海岸建立基线研究，对同一采样点进行一定时间间隔的海洋垃圾调查，可以为当地的限塑政策和战略提供数据支撑（Rakib et al., 2022）。我国将每年开展的海洋垃圾监测结果公布在《中国海洋生态环境公报》上，提供了重要的监测数据，为我国海洋垃圾治理体系优化提供了科学支撑。
- 协调利益相关者。对海岸沿线企业实施激励措施，协助它们提供纸制品、有机材料制品等替代品代替塑料垃圾包装，减少人类活动造成的大量塑料垃圾丢弃（Rakib et al., 2022）。
- 优化评估体系。将控制塑料垃圾污染纳入可持续海滩管理的评估指标体系或激励体系中（Kutralam-Muniasamy et al., 2022）。
- 因地制宜，确立管理主体。在我国，可以开展以社区为基础的管理体系，建立社区责任制度（Pervez et al., 2021）。
- 严格实施相关政策与律法。颁布限塑政策和法律，保证限塑禁令的执行力度。尽管一些国家已经颁布了限塑禁令，但由于执法不力，塑料购物袋仍在流通，促进了旅游海滩塑料垃圾的产生（Maione, 2021）。
- 完善基础设施和垃圾收集处理系统。缺乏良好的基础设施、垃圾桶以及清洁作业的力度不足是旅游海滩存在大量海滩塑料垃圾的原因之一（Lima et al., 2022）。分类垃圾箱等基础设施的设置是必要的（Pervez et al., 2021）。在废物管理基础设施不发达的新兴旅游小岛上，塑料垃圾的产生与旅游淡旺季紧密相连，再生市场小，内循环发展困难，同时回收非法处置的做法持续存在，亟需完善基础设施和垃圾收集处理系统（Maione, 2021）。
- 提高公众意识。多项研究认为，海滩上的娱乐和旅游活动加剧了塑料垃圾的积累（Jayasiri et al., 2013; Maione, 2021; Rakib et al., 2022）。因此，有必要对海滩游客进行科普宣传，减少游客随意丢弃塑料垃圾的行为（Pervez & Lai, 2022）。加强当地公众对治理工作的参与度也有助于减少海滩的塑料污染（Pervez et al., 2021）。

3.3.2.2 对海洋渔业的影响

海洋塑料对捕捞渔业和水产养殖的发展已经产生了不容乐观的影响（Chen et al., 2021; Zhou et al., 2021）。在对中国沿海 21 个海洋经济鱼类的调查中发现，这些物种体内全都

含有不同程度的塑料成分 (Jabeen et al., 2017)；而对全球各区域研究整合的结果表明，有记录的 494 种被检测的鱼类中共计 323 种含有塑料，且 391 种经济鱼类中也有超过 262 种检测出了塑料成分 (Markic et al., 2020)。

海洋环境中的微塑料能通过水生生物的摄食进入其体内 (图 1)，并对其各种生理过程产生一系列负面影响，包括对其生长发育的抑制，繁殖、捕食等行为的改变，免疫系统的破坏等。例如在对鱼类生长进行的对比试验中发现，暴露在塑料环境中的幼鱼生长和存活概率均低于对照组 (Naidoo & Glassom, 2019)；而根据无塑料区域和有塑料区域鱼类捕食视频的对比分析，也证实塑料的存在确实减少了部分鱼类的捕食行为 (Menezes et al., 2022)；在繁殖方面，塑料可以造成牡蛎卵母细胞数量下降 38%，使精子速度下降 23% (Sussarellu et al., 2016)；免疫研究则发现塑料颗粒可能引发鱼类免疫系统的应激反应，并干扰鱼类种群的抗病能力 (Greven et al., 2016)。

此外，微塑料也可以作为一种稳定的附着物，成为水体中病原体等有毒有害物质的载体 (Stenger et al., 2021; Yu et al., 2022)，进一步加剧这些物质对水生生物的危害。例如研究人员在挪威西海岸的海洋塑料中检测到了 37 个细菌分离株，并通过全基因组测序的方式证实了其中病原体对鱼类的潜在致病性 (Radisic et al., 2020)。

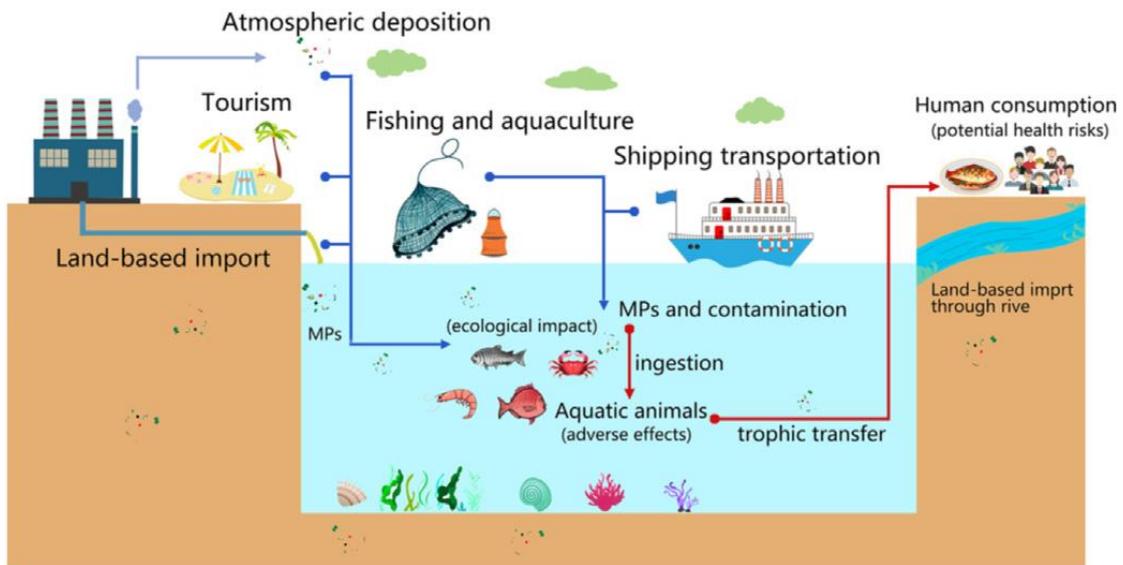


图 1 水产养殖系统中的海洋塑料路径 (Chen et al., 2021)

食物也是造成鱼类塑料含量上升的因素之一，这里的食物既包括在养殖过程中的人工饵料，也包括野生鱼类的自然捕食对象。塑料已经普遍存在于海洋生态系统中，所以鱼类在捕食时难以避免会摄入其中的塑料 (Markic et al., 2020)。饵料鱼同时又是鱼粉的主要原料，因此这从源头上就给鱼粉引入了塑料成分，此外鱼粉的加工，尤其是研磨过程也会进一步造成塑料的进入 (Mahamud et al., 2022; Walkinshaw et al., 2022)。相关研究表明，鱼粉的塑料含量范围为 0~526.7 n kg⁻¹，其中中国鱼粉 (337.5 ± 34.5 n kg⁻¹) 的塑料含量相对较高 (Gündoğdu et al., 2021)。从具体的养殖生物来看，以大西洋鲑为例，其在生长活动中所摄入的来自于水产养殖饲料的人造颗粒数 (包括塑料在内) 可达 1788~3013 个 (Walkinshaw et al., 2022)。另一方面，为了降低鱼病的危害，养殖过程中常常会使用药物，而由于这些鱼药 (如抗生素等) 长期暴露在塑料环境中，因此也可能

会吸附塑料颗粒 (Yu et al., 2022)。

海洋塑料对渔业发展的危害是显而易见的, 但另一方面渔业活动本身也是海洋塑料的重要源头之一。以一项对中国广西茅尾海浮筏养殖系统的研究为例, 如果不加以限制, 预估在未来四年内就将有大约 3840 吨塑料废物排入大海 (Tian et al., 2022)。很多养殖设施中包含有塑料成分, 例如离岸网箱中使用的 PVC 管, 养殖浮筏中的塑料浮子等, 而在长期的使用过程中, 这些养殖装备可能受到自然的磨损、极端天气的破坏或者人为的丢弃等因素的影响, 造成其塑料成分脱落并进入水体 (Skirtun et al., 2022)。同样地, 捕捞活动中长期使用的渔具, 随着其磨损与丢弃, 也有可能造成塑料成分的脱离。而据调查统计, 在 2018 年使用的 210 万吨塑料渔具中, 其损耗量估计可达 4.84 万吨 (Kuczenski et al., 2022)。

如上文指出, 养殖设施、渔具的损耗是海洋微塑料的主要来源之一, 因而对这些塑料装置进行更好的维护, 提高其循环利用率, 或者从原材料上进行调整都是减少渔业系统微塑料排放的重要方式 (Skirtun et al., 2022)。以澳大利亚为例, 塑料渔具的损耗部位主要是绳索 (47%), 网箱组件 (30.7%) 和浮子 (22.3%), 则可以针对这些部位进行重点维护 (Bornt et al., 2022)。而就鱼粉、鱼药而言, 一方面可以通过改善制造工艺、替换原材料等方式, 进而在生产过程中减少其单位塑料含量; 另一方面则可以通过提高投饲效率, 调整饲料配比, 严格控制鱼药用量或使用相关替代物等方式来减少其绝对用量 (Bae et al., 2020; Quinton et al., 2007; Reverter et al., 2014)。

3.3.2.3 对海洋航运的影响

根据海洋塑料垃圾的分布位置, 对航运造成影响的主要是海面漂浮垃圾。漂浮的塑料垃圾例如塑料瓶、海上浮标、废弃渔具等可能会造成螺旋桨和船舵缠绕、进水口和冷却系统堵塞, 进而使船只的稳定性和机动性降低, 乃至船只毁坏和碰撞, 因此会给航运带来高昂成本和航行风险 (Hall, 2000; Hong et al., 2017; IMarEST, 2019)。其中废弃、遗失和丢弃的渔具被认为是一种重要的海基海洋垃圾, 尤其是二十世纪以来塑料等合成材料渔具被更广泛地使用, 全球的捕捞努力量也持续增加 (Gilman et al., 2021; Hong et al., 2017)。全球每年约有 5.7% 的渔网、8.6% 的陷阱类渔具和 29% 的渔具相关绳索故意或意外地进入海洋 (Richardson et al., 2019)。有研究量化了废弃渔具在韩国海域对军舰的影响, 强调了其威胁一直存在, 且在恶劣天气下造成的危害将会更大 (Hong et al., 2017)。

既有研究中存在因为漂浮垃圾缠绕螺旋桨导致船只损失和大量人员伤亡的记录 (Cho 2005), 但因维修和维护成本导致的经济损失更常见 (Hong et al., 2017)。例如香港虽然在港口拥有有效的海洋垃圾清理系统, 但是因海洋垃圾导致的船只损坏和误工, 对高速渡轮服务运营商造成的损失可达每艘船只每年约 19000 美元 (McIlgorm et al., 2009)。据统计, 海洋塑料垃圾 2008 年对 21 个环太平洋经济体的航运业造成的损失约 2.79 亿美元, 占对海洋产业造成的经济损失的 22.14%, 低于渔业的 3.64 亿美元 (28.89%) 和海洋旅游业的 6.22 亿美元 (49.37%) (McIlgorm et al., 2011)。另一项统计显示, 2012 年欧盟航运业中海洋塑料导致的救援费用高达 83 万欧元至 218.9 万欧元 (Welden, 2020)。

案例：浙江“蓝色循环”项目

浙江省以高质量发展为导向，构建了“海上污染物收集-陆地高值利用-国际碳交易增值”的海洋塑料治理体系，达到了减污降碳、资源再生、群众增收的目标，形成了“政府引领，企业主体，产业协同，公众联动”的治理机制，创造了具有内驱力、可持续的“蓝色循环”模式。

一是政府引领。政府设定治理目标，开放船舶、边滩、入海闸口、海上环卫等公共数据，建设数字化管理平台，授权企业使用数据，并对企业行为监督指导。

二是企业主体。企业负责市场化运营，通过数据平台将边滩群众与收集、运输、再生、制造等产业企业结为共同体，缩减中间环节、重塑业务流程，创新海洋塑料“从海到货架”的数字化追溯体系，畅通可信国际高值交易通道。

三是产业协同。将海塑再生利用与国际头部企业的减碳需求有机结合，建立海塑减碳认证体系，对海塑产业各环节进行碳资产核查、确权、交易，形成产业链碳交易增值。

四是公众联动。政企共建“蓝色联盟”公益组织，依据区块链合约提取产业碳增值收益，形成可持续增收的分配体系，对源头收集人员二次收益分配，调动沿海群众参与治理。

虽然海洋塑料垃圾对航运的潜在威胁的严重性得到了很好的认可，但是航行风险相关的问题是迄今为止关于海洋垃圾的研究中成果最少的问题之一，证据仍然比较有限（Hong et al., 2017; 赵玲等，2022）。

未来海洋塑料垃圾的治理需要依赖国际合作，以及国家内部多方利益相关者共同努力（Borrelle et al., 2017; Wu, 2022），促进塑料使用向可持续的循环经济的转变（Gilman et al., 2021），改善固废的回收和管理（Wu, 2022），对塑料制品征税（Napper & Thompson, 2020），加强对废弃渔具的管理和环保渔具的支持（Hong et al., 2017），加强宣传力度和公众参与等（Van Sebille et al., 2016）。国内方面，研究建议我国应完善海洋塑料垃圾治理体系，从源头减少塑料垃圾进入海洋，加强政府、生产企业和消费者三方共治原则，加强废旧渔网渔具无害化处置与回收再利用，鼓励民众参与海洋垃圾治理、为全球治理进程贡献中国智慧（安立会等，2022；李雪威和李鹏羽，2022）。

3.3.3. 塑料全周期治理的知识和政策差距

海洋塑料污染的产生原因与广泛的人类活动密切相关。由于塑料的生产和消费与社会经济体系紧密结合，全球各国迫切需要更全面的治理方法，超越仅仅对海洋生态系统中塑料垃圾污染的狭隘层面的关注。治理海洋塑料污染和垃圾需要一种“超越常规”的思维，关注塑料产品及相关服务的全生命周期。通过考虑这些活动引起的社会、环境、健康和经济影响，塑料的全生命周期方法确保了在塑料生产、消费、处理和回收链中识别关键污染节点。从原材料提取、二次材料加工到产品制造、分销、维护和使用，再到终端管理等各个阶段的问题和解决方案都予以充分关注（UNEP, 2021a）。因此，这种全生命周期的理解也需要对塑料危机的多个方面进行综合政策干预。在全生命周期塑料治理的研究中，有两个普遍趋势。第一类研究试图构建一个塑料循环经济，而另一类研究关注建立全球或地区性的塑料污染公约或条约（Nielsen et al., 2020）。

随着塑料治理的焦点转向整个生产和使用系统，目前的研究和政策方向也从塑料袋或杯子等具体物品转向针对更复杂生产系统的解决方案，如食品加工、纺织品和轮胎制造等行业。随着越来越多的塑料物品和行业被纳入学术分析，一个逐渐清晰的结论是不同的行业在全生命周期视角下，涉及不同的塑料产品和服务具有截然不同的物质特性和流动性。这种多样性反映了塑料危机的复杂性，为研究人员和政策制定者带来了挑战，但与此同时也为不同观点的碰撞，和创新型解决方案的出现提供了机会。政策制定者、研究人员和利益相关方可以以更全面和互补的方式参与特定塑料问题的研究和政策制定活动。各国的塑料战略和政策逐渐的纳入全生命周期管理理念并充分考量各种塑料产品的多元特性，以期制定具有最大影响力的政策（Nielsen et al., 2020）。然而，以下知识和政策差距与挑战亟需得到进一步的研究支持：

- 在生产方面，如何将投资引导到迫切需要的创新领域，包括新产品设计、材料和商业模式至关重要，比如生物降解塑料产品，其产量仅占塑料总产量的不到 1%。目前，大多数生产方面的规定都基于“生产者责任延伸”（EPR）理论。各国采取的政策工具通常涉及货币义务或一定程度的经济处罚。生产者责任延伸政策确实降低了塑料废物管理的成本（尤其是通过节约公共支出），减少了污染水平。然而，实证证据表明这些政策在推动塑料生产商投资于创新和可持续解决方案等方面效力不足（Watkins et al., 2017）。由此引发的一个问题即单纯的负面激励是否足以促进创新解决方案，是否能够创造足够积极的政策激励空间。
- 在消费方面，目前的研究和政策主要关注客户的意识和行为变化。对于这些努力在多大程度上能够最终改变特定塑料产品或服务的消费模式，存在不同的观点。
- 对于塑料废弃物管理而言，提高塑料的回收率尤其具有挑战性，原因有两点。首先，有效运作的废弃物管理系统包括一系列高度复杂的任务，涉及从废弃物减量、收集、分类到基础设施建设和监测系统等各种活动（Hopewell et al., 2009）。其次，各国在适当处理这些任务方面的能力存在显著差异，特别是在撬动充足的投资和教育公民以培养适当的回收行为方面（Thomas & Sharp, 2013）。一些发展中国家还面临着进口塑料废弃物的额外管理挑战，这可能会进一步加剧海洋污染（Chao et al, 2020; Chen et al, 2021）。
- 塑料污染通常指的是塑料从生产、消费到管理和处置的生命周期中产生的有害影响和排放，通常由于治理不当使得未收集的塑料废物泄漏到自然环境中。对于塑料污染的研究和政策目前集中关注污染的来源、规模和影响。就污染来源而言，知识和政策的差距在于确定特定环境中最为严重的污染物品以及泄漏地点。至于塑料垃圾的污染规模，在海洋系统中的分布和流动，特别是海底或某些偏远地区的污染水平，也需要进一步调查。关于在不同社会和国家背景下塑料污染的影响，特别是对于生态系统（如气候变化和海洋生物多样性）和人类社会（如健康和水产部门），我们需要更具体的证据来了解它们的程度和表现形式。
- 最后一个问题涉及在国际层面和特定国家背景下，如何将治理塑料危机的义务和成本在不同国家和社会群体之间予以合理分配。各国迫切需要制定一个公正转型方案以应对塑料污染（Schröder, 2020）。发展中国家应通过包括正在进行的全球塑料公约谈判在内的国际合作机制，确保发达国家在资金和技术方面的支持，并在科学的基础上制定合理的目标和方法来应对塑料危机。鼓励绿色或蓝色金融、技术转移和能力建设方面的南北合作和南南合作，应成为任何国际塑料治理条约

的核心要素。与此同时，国家应通过专门的研究识别那些最易受塑料污染和减缓政策影响的脆弱社区和群体，特别是妇女因性别不平等导致的脆弱性，并予以充分支持。

3.4. 建议

在国家或区域层面，海洋解决方案尚没有明确的路径和科学依据。全球塑料国际文书等新的国际公约正在启动，这将给蓝色经济和碳中和带来新的挑战 and 机遇。为应对未来中国在该领域的潜在挑战和机遇，政策建议如下：

- **积极参与正在进行的全球塑料国际文书多边谈判。**支持国际谈判并达成一项基于科学认知的条约，建议在塑料生命周期的最适当阶段采取有效措施，制定具体、可执行和高效的全球规则，并密切考虑性别平等，以解决跨境海洋塑料污染问题。除全球性行动外，中国还可考虑在区域发挥牵头作用，如在现有湄公河合作机制下与东盟国家合作，建立跨境塑料治理机构的区域合作平台。
- **在塑料生产系统建立行之有效的政策和制度。**如将塑料全部成本内化和激励减少废弃物的生产者责任延伸制度，实施再利用模式，生产和使用再生塑料而非新塑料，以及开发对环境影响较小的塑料替代品。要求初级塑料生产商和相关服务提供商制定有效和透明的塑料回收和废物管理计划。同时，应引入积极的政策激励措施，奖励私营部门的创新产品设计、材料和商业模式。
- **加强渔业活动的塑料污染管控。**按照行业标准建立塑料渔具生产许可证制度，加强高耐磨环保塑料渔具的推广，实施生态环保渔具更换补贴制度和渔具以旧换新政策，加速环保生态渔具更替进程；建议提供财政补贴，建立废弃渔具的收集回收机制，鼓励渔民从海上打捞“幽灵渔具”，更好地推动塑料渔具回收再生价值链产业化。
- **加强政府与产业和民间社会团体的交流合作。**将塑料生产、消费、废弃物管理和回收利用作为一个统一和连贯的系统来处理，防止塑料泄漏到水环境，避免其他废弃物管理不当处理机制。创新绿色金融计划，包括政府和社会资本合作模式（PPP），或国内和国际绿色债券和蓝色债券市场，以扩大塑料废弃物管理设施建设的公共和私人融资。
- **提升公众对塑料污染规模和影响的认知。**制定有效的废弃物分类和收集的公众宣传计划，且针对不同的社会群体（包括来自不同背景的妇女和男子）制定分类宣传计划，提高公众对塑料污染规模和影响的认知，特别是针对污染效应最为明显的一次性塑料物品，加大对其污染程度和环境影响的宣传力度。
- **积极推动建立全球尺度的海洋塑料污染动态监测与核查技术体系。**结合卫星遥感、无人机遥感与现场监测系统，动态监测塑料泄漏情况，构建标准可信的海洋塑料漂浮带识别算法，编制统一规范的无人机海洋垃圾调查国际标准，以进一步明确海洋塑料和微塑料污染现状和生态风险，识别跨界问题，开展有针对性的治理工作。
- **支持采用新技术开展塑料污染关键节点研究。**加强识别污染严重的塑料产品类别和产业部门，及其泄漏热点和流入的目标生态系统的研究，鼓励采用新技术（如数字、人工智能和基于卫星的模型）开展多学科合作研究。通过国内或国际合作

研究，在国家或全球层面全面评估塑料价值链的碳排放，并支持通过深入研究认识塑料污染对海洋碳汇功能的全面影响。

4. 以渔业治理促进蓝碳扩增并减少碳足迹

4.1. 研究背景

海洋渔业由海洋捕捞和海水养殖构成，为人类社会带来了丰富的食物与营养供给，也为广大沿海人口提供了基本生计，由此成为了蓝色经济不可或缺的一大支柱。随着全球气候变化的加剧，海洋正面临着升温、酸化、海平面上升、极端天气增多等影响，这将不可避免地改变海洋渔业的生产格局，使得全球捕捞和养殖潜力发生再分配（Cheung et al., 2009; Froehlich et al., 2018）。与此同时，海洋渔业自身排放的温室气体也占到了食物生产中显著的一部分。在这种互馈关系的背景下，为使海洋渔业发展成为真正意义上的可持续蓝色经济、并由此加强全球庞大人口的粮食安全和生计保障，亟需通过对渔业部门的有效治理来减少碳足迹并增强气候韧性，以及贡献更多的蓝色碳汇。

对捕捞渔业而言，船用燃料排放是其碳足迹的最大来源，根据新近的研究测算，全球海洋捕捞每年造成 1.79 亿吨 CO₂ 当量的排放，燃油消耗贡献了 70% 以上，其中以捕捞甲壳类的排放密度最高，捕捞小型中上层鱼类最低（Parker et al., 2018）。全球海水养殖的碳足迹尚未得到全面测算，有近年研究表明全球海水和淡水养殖每年一共造成 2.63 亿吨 CO₂ 当量的排放，其中饲料使用是碳足迹的最大来源，甲壳类养殖则由于高昂的能源消耗而排放密度最高（MacLeod et al., 2020）。值得注意的是，渔业生产过程也可以促进水生生物吸收或使用水体中的温室气体，进而将转化为生物产品的碳移出水体或沉降于水底，称为渔业碳汇（唐启升等，2022）。大型藻类和滤食性贝类的养殖均可发挥碳汇功能，渔业捕捞过程在特定的情况下也可以改变其所在生态系统的碳通量格局，因而通过适宜的渔业治理手段，既能够通过生产方式的转变减少燃料消耗、饲料生产等过程排放的温室气体，提高渔业的可持续性和气候韧性，还可发展碳汇渔业以减缓气候变化。

根据现有数据和文献，本章梳理了渔业部门在气候变化背景下的发展现状，并阐明其在发展蓝色碳汇方面的作用。报告还评估了主要挑战，包括减少碳足迹、管控有害生产行为，以及在气候变化背景下增进性别平等和权利公平。本章还对国家管辖以外区域海洋生物多样性、世贸组织渔业补贴、区域渔业管理组织等涉及海洋生物多样性保护的典型政策框架进行了综述，以探究渔业治理改革的可行性。此外，本章还分析了将渔业治理、生物多样性保护和气候变化应对纳入海洋综合管理的趋势。最终目标是围绕中国的渔业治理背景，顺应蓝色经济可持续发展和有效应对气候变化的战略目标，提出切实可行且具有前瞻性的政策建议。

4.2. 气候韧性渔业和碳汇渔业的发展现状及其面临的挑战

4.2.1. 捕捞渔业和水产养殖的碳足迹

海洋中的捕捞渔业和水产养殖是全球食物安全和营养安全不可或缺的支柱，这些活动也排放了大量的温室气体。但是相比陆地动物蛋白来源，海洋水产品的温室气体单位排放强度往往更低（Gephart et al., 2021）。对于海洋捕捞渔业而言，渔船的燃料消耗构成了碳足迹最大的部分。当前，全球海洋捕捞每年大约消耗 400 亿升的燃料，直接产生 1.32 亿吨 CO₂ 当量的排放；而将渔船建造与维护、渔具制造、冷链运输等环节纳入后，每年的总排放是 1.79 亿吨 CO₂ 当量，约占全球人为碳排放的 0.5%（Parker et al., 2018）。此外，碳在海洋中埋藏的位置与大陆架上商业捕捞的位置具有很大的重叠，因而海洋碳库

容易受到渔业活动的干扰 (Pusceddu et al., 2014)。

海水养殖的碳足迹构成更为复杂, 包括养殖场内、上游 (以饲料生产为代表)、下游 (以加工和运输为代表) 三个部分, 其中上游和下游的排放往往比养殖过程本身更多 (Jones et al., 2022)。若要更系统地看待海水养殖的碳足迹, 还应考虑养殖行为对红树林、盐沼等典型海岸带蓝碳生态系统的侵占造成的碳汇损失。一项核算研究表明, 全球水产养殖 (包括海水和淡水) 的碳足迹是每年 2.63 亿吨 CO₂ 当量, 与捕捞渔业的碳足迹在同一数量级, 但仅统计了鱼类、贝类和虾类的养殖, 且没有纳入产业下游的排放 (MacLeod et al., 2020)。可以明确的是, 饲料生产对整个海水养殖业而言是其碳足迹已知的最大来源, 甲壳类养殖则由于高耗能的循环水养殖系统的广泛应用, 从而有着最高的排放密度。此外, 海水藻类、贝类养殖所具备的碳汇功能也不容忽视 (见 4.2.2 部分), 这使得海水养殖成为“海洋负排放”行动中的重要组成 (张继红等, 2021)。

纵观当今主要的食物生产方式, 一些特定类别的海洋水产品 (捕捞和养殖产出的兼有) 具有动物蛋白来源当中最高水平的气候效率 (Gephart et al., 2021), 将饮食结构从陆地转向海洋的呼吁越来越强烈。在此背景下, 减少海洋水产品生产的碳足迹已经成为可持续发展的热点议题, 也是构建一个气候友好型的全球食物生产体系的关键。对于捕捞渔业而言, 降低燃料消耗带来的碳排放是最主要的行动方向。考虑到新型能源尚未在渔船上得到大范围推广, 现阶段应当依靠逐步取消对环境有害的渔船燃料补贴和燃料税减免, 配合其他形式的经济激励措施, 促使底拖网、耙刺网等燃料密集型作业方式向刺网、延绳钩等碳足迹更低的方式转变。这在当前中国渔业的发展背景下尤为重要。中国长期以来的渔业管理方式催生了捕捞产能的竞争, 渔民不断地增加发动机功率或者船只的大小来获得竞争优势, 但野生渔业资源已被过度开发, 单位捕捞努力量渔获量 (catch per unit effort, CPUE) 下降, 单位渔获物的燃料消耗随之上升。以减少竞争为导向的良性渔业管理则可以大幅提升能源使用的效率, 进而优化碳足迹 (Bastardie et al., 2022)。除了通过渔船赎买等手段削减渔船数量和过剩的捕捞产能, 还可设定科学的捕捞限额与配额制度、合理发放捕捞许可, 支持船队提升捕捞效率。当前, 越来越多的国家都将减少碳排放、加强可持续性提高船队盈利或市场竞争力作为协同发展目标。

在海水养殖领域, 当前最大的机遇在于强化藻类、贝类养殖的碳汇潜力研究, 并加快实施渔业碳汇交易等激励性政策, 从而进一步推广具有固碳和生态系统修复功能的养殖实践。除此之外, 促进替代性饲料研发和应用以降低投饲性养殖的上游碳足迹, 在养殖业集聚区建设配套的加工和销售网络以降低整个产业的下游碳足迹, 均是操作性较强的减碳举措。

案例研究：中国的“渔光互补”

“渔光互补”是光伏与水域养殖的结合，其模式为在水产养殖池塘上方设立光伏发电系统，在光伏系统下方水中饲养鱼类或者其他养殖品种。



图 3. 通市开展的“渔光互补”光伏发电项目

（图源：https://www.gov.cn/xinwen/2023-02/17/content_5741939.htm#1）

渔光互补的优势有：

- 一地两用，提高单位土地经济价值，提高土地利用率，缓解用地压力；
- 为鱼塘提供荫蔽，降低水体表面温度，减少水体蒸发；
- 抑制部分浮游植物光合作用，减少藻类与细菌的繁殖，提升水质；
- 光伏发电本身产生经济价值。

光伏+渔业模式的优势明显，未来将向生产规模化、技术专业化管理智能化方向发展。通过对水上水下的集中、科学管理，有效解决养殖系统养殖污水的处理问题，同时借助光伏电站建设养殖系统智能监控系统，方便管理；另外，光伏发电并网的收益可用于鱼塘的日常维护，推动鱼塘养殖规模化、专业化、智能化发展（汤俊超等，2022）

4.2.2. 捕捞渔业和水产养殖的固碳作用

水产养殖

中国海水养殖长期以非投饵型的贝、藻养殖为主，由此，唐启升院士创新性地提出了渔业碳汇的理念（Tang et al., 2011）。渔业碳汇是指通过水生藻类养殖、滤食性贝类和鱼类等养殖、渔业生物群体捕捞和增殖等渔业生产活动促进水生生物“移出和储存”CO₂等温室气体的过程和机制；渔业碳汇也可称之为“可移出的碳汇”和“可产业化的蓝碳”（唐启升等，2022）。

大型海藻的碳汇效应已得到充分肯定，研究认为大型海藻在延缓气候变化方面有多重作用，其生长过程中会产生大量的碎屑、颗粒与溶解有机碳，少部分能在海藻自身生长的岩石基层环境堆积，大部分则在海流作用下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 et al., 2017）。中国大型海藻以人工养殖为主。关于大型藻类的碳汇功能，最初主要关注于其生物量，即作为“可移出的碳汇”的藻类养殖产量（Tang et al., 2011）。后续研究则进一步表明海带（*Laminaria*

japonica) 养殖区域水-气界面是大气 CO₂ 的汇区 (刘毅等, 2017; Han et al., 2021; Li et al., 2018)。此外, 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、海洋溶解碳库 (含惰性溶解有机碳, 即 recalcitrant dissolved organic carbon, RDOC)、颗粒碳库以及沉积碳库等 (Chen et al., 2020; 张永雨等, 2017; Xia et al., 2014; Zhang et al., 2012)。藻类养殖的固碳机理已经较为明确, 然而放眼与其关联的各个行业, 养殖藻类的应用前景仍需进一步开拓。

与大型藻类相比, 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 (蒋增杰等, 2022)。另外, 对于滤食性贝类, 不仅要考虑钙化和呼吸释放的 CO₂ 等温室气体, 而且埋栖型贝类的摄食、呼吸和排泄等生理活动会扰动沉积物, 从而增加沉积物释放温室气体的可能性 (Stief and Schramm, 2010; Heisterkamp et al., 2010; Bonaglia et al., 2017)。唐启升等 (2022) 系统论述了水产养殖使用碳、移出碳、储存碳和释放碳 4 个碳库的特征及其数量关系, 进而证实贝类养殖提升了水域生态系统碳汇能力, 是碳汇而不是碳源。

渔业碳汇目前已受到广泛关注, 但迄今为止尚无有关渔业碳汇监测和计量的国际标准和国家标准, 无法全面系统评估其碳汇能力和可交易量。未来亟需加强相关工作, 尤其是需要针对海水养殖产品全生命周期的碳源汇、贝类钙化过程和机理、养殖过程中形成的有机碎屑埋藏和 RDOC 等潜在碳汇过程及其监测技术开展研究, 以充实和完善水产养殖的碳汇理论及其计量方法学。同样值得注意的是, 海水养殖的碳汇潜力并不局限在水体环境中, 还在于一些具有更少碳足迹或具备固碳能力的衍生产品 (例如将贝类的壳体用作新型建筑材料、将藻类用作反刍动物的饲料添加剂等), 这些产品的应用场景有待大力拓展。

捕捞渔业

鱼类和大型海洋哺乳动物主要通过五个途径对全球碳循环做出贡献: ①通过储存在它们的生物质中, 作为碳的短寿命库; ②通过垂直或水平迁移, 将碳和营养物质重新分配到整个海洋 (特别是深海); ③通过水的混合或沉积物的再悬浮 (即生物扰动); ④通过死亡生物体沉入海底, 直接将碳从表层海洋输出到深海; ⑤在一些鱼类中, 通过肠道沉淀碳酸钙, 然后将鱼类粪便中大量的颗粒无机碳输出到深海。海洋鱼类生物量中的碳元素估计为 1.2 亿至 19 亿吨 (Anderson et al., 2019; Bar-On et al., 2018; Bianchi et al., n.d.; Proud et al., 2019; Wilson et al., 2009)。虽然现存鱼类生物量中的碳总量仍有很大的不确定性, 但毫无疑问, 长期以来人类的商业捕鱼减少了鱼类资源存量。当今科学研究还未很好地解析捕鱼对鱼类封存碳的能力的影响, 这是未来一个重要的研究方向。

渔业管理通常是为了维持或重建枯竭的种群, 使其回到渔业管理中经常使用的目标水平, 例如最大可持续产量 (maximum sustainable yield, MSY) 或最大经济产量 (maximum economic yield, MEY)。MSY 通常与丰度和产卵生物量水平相关, 与“原始”种群规模相比明显减少, 通常在原始生物量水平的基础上耗损 30% 至 50% 左右。即使是 MEY, 通常是一个较高的生物量目标, 仍然比未捕捞水平低得多。在经济利益的驱使下,

全球每年 8000 多万吨的捕捞渔获量使海洋生态系统的结构和功能（包括碳处理和封存）发生了不为人知的、系统规模的变化。这些改变可能对碳处理有直接影响（例如当死亡的生物体下沉时，碳从表层输出到深层）和间接影响（例如对鱼类觅食的影响，以及对整体碳沉降动态的影响）。此外，目标物种总数量的大幅减少可能会诱发生态级联，而这一点通常都不为人所知。

目前，鉴于对上述五个过程的认知存在较大不确定性，试图设定渔业目标以协助更高效的碳减排是不成熟的。然而，重要的是在制定渔业目标的初始时期，更全面地认识鱼类在碳封存过程中的功能，并评估渔业生产对碳循环的改变。未来研究将需要改进数据收集和对种群和物理海洋过程的观察，以及开发将鱼类种群动态与物理和化学海洋学相结合的耦合生物地球化学模型。



图 2 捕捞渔业和水产养殖的发展现状、挑战与未来工作路径

4.2.3. 气候韧性渔业面临的挑战和发展原则

气候变化放大了渔业管理成效的不确定性，给全世界的渔业管理者和从业者带来了巨大的直接挑战。种群评估、总可捕量、渔获量构成、物种迁移模式、繁殖周期——所有这些特性和手段都需要在更加多变和可能更加极端的气候下进行重新审查和评估。因此，应加拿大政府在联合国粮农组织（Food and Agriculture Organization, FAO）渔业委员会（Committee on Fisheries, COFI）第 33 届会议（简称 COFI33）期间的要求，FAO 在美国环保协会（Environmental Defense Fund, EDF）的支持下，编写了一份名为“应对气候变化的渔业适应性管理”的报告，其中概述了渔业管理者为应对气候变化带来的挑战而采取的实际解决方案。具体包括：①建立有效的渔业管理系统；②设置参与性的渔业管理系统；③加强预防系统以处理不确定性和风险；④采用适应性的渔业管理系统。此外，FAO 还发布了关于如何在各国的国家适应性规划中处理渔业和水产养殖的指导意见。

2022年，在COFI35会议期间，成员国敦促FAO继续保持这种将工作重点放在气候变化上的趋势，在FAO2022~2030年气候战略下继续开展渔业和水产养殖行动计划的工作，并增加关于气候变化对渔业和水产养殖影响的知识 and 认识。

近年来，中国一直在努力提高其渔业的可持续性和韧性，2016年施行的“十三五”规划为中国海洋生态系统和渔业的保护和恢复提供了一个强有力的政策平台（Cao et al., 2017）。最近进展的一个显著例子是在浙江、山东、福建、广州和其他沿海省市启动了若干总可捕量（Total Allowable Catch, TAC）试点。作为致力于可持续渔业管理的环保组织，自然资源保护协会（Natural Resources Defense Council, NRDC）、EDF和青岛市海洋生态研究会自TAC试点项目开始以来，就与中国的国家和地方渔业部门及科研机构合作。这些组织帮助交流和分享国际经验，提供技术支持，促进对TAC系统和试点的理解，并参与了浙江和福建两省的工作。一份题为“中国TAC系统的进展：浙江和福建试点的评估”的报告已于2021年完成，为在中国进一步实施健全的TAC提出了29项具体的政策建议。具体而言，需求包括①建立监测渔获量的日志系统；②核实渔获量；③增加海上观察员的使用；④有效的执法和激励遵守和渔获量核算。总得来说，为了加强中国生态系统和渔业的气候复原力，有必要实施基于科学的前瞻性渔业管理，确立小型渔业的正式地位，保障小型渔业渔民的捕捞权，确保各省的政策的一致性、公正性和公平性，围绕气候变化的影响和种群状况评估为渔业管理人员建立教育计划，并增加公众对科学数据和信息的获取（Cao et al., 2017）。

4.2.4. 非法、未报告和不受管制捕捞以及其他有害的渔业行为

非法、未报告和不受管制（illegal, unreported, and unregulated, IUU）捕捞是全球渔业治理工作所面临的巨大挑战之一。这一术语涉及的三种行为是互有交集、而非相互孤立的。全球IUU捕捞的年渔获量为1100万至2600万吨，年产值在当时为10亿至235亿美元（Agnew et al., 2009）。换言之，在全球海洋中平均每捕捞五条鱼，就有一条可能是IUU捕捞所得；在个别区域的渔获中，这个比例可能高达二分之一（Widjaja et al., 2020）。由于缺乏制度的约束，IUU捕捞经常使用对海洋生态环境危害较大的作业方式（这些方式往往已经被法规所禁止），典型的例子是炸鱼和毒鱼，在珊瑚礁渔业中采用这些方式会对珊瑚产生致命损害（Petrossian, 2015）。有害的作业实践还包括电鱼、使用禁用渔具、违反禁渔期或禁渔区规定、针对性捕捞产卵种群、在脆弱生境中密集捕捞、超过生态系统承载力的过度捕捞等，以及更频繁的兼捕。由于IUU捕捞难以追溯，又常常采用有害的作业方式，其存在必然会导致基于生态系统的渔业管理无法达到预期的管理成效，从而加大海洋渔业的碳足迹。已有研究模拟了南大洋IUU捕捞对碳通量的影响，发现在磷虾和犬牙鱼捕捞不受控制时，南大洋生态系统的固碳功能均受到了显著的减损（Trebilco et al., 2020）。而在近岸水域，由于受保护的禁渔区域内渔业资源较为丰富，又常常涉及红树林、海草床、盐沼等滨海蓝碳生态系统，在这些区域内发生的IUU捕捞同样容易产生高昂的碳足迹。

经济上的高回报、治理机制缺失、执法不力被认为是IUU捕捞得以持续存在的主要原因，因此，当前的治理途径应主要着眼于加强监督、控制和检查（monitoring, control and surveillance, MCS）体系、渔获物溯源、推进FAO港口国措施协定（Port State Measures Agreement, PSMA）、加强区域性合作（Widjaja et al., 2020）。例如，作为全球最大的海产品进口地区，欧盟非常重视打击IUU。在《共同渔业政策》框架下，欧盟先后于2008年和2009年出台了《非法、未报告和不受管制渔业管理条例》（主要针对进口

渔获)和 2009 年《渔业控制条例》(主要针对欧盟渔民)两项主要的法规工具,成为全球少数要求对进口和本地区生产的渔获物进行溯源的区域之一。对于其水域内上岸的渔获物,欧盟建立了从渔船到消费者的全链条可追溯体系,并在各个节点进行基于风险的执法检查。对于进口渔获物,欧盟实行渔获物合法证书制度,要求必须提供经过船旗国验证的渔获物合法证书,并且该制度无论在覆盖的鱼种、要求的信息还是核验和控制上都是目前全世界最为完备的。目前,标准化的渔民捕捞日志和检查执法数据在欧盟成员国之间通过电子方式实现信息共享,大大提升了溯源的效果和效率,减少了人为因素对信息质量的干扰,但渔获物合法证书仍然是纸质的。2014 年至 2020 年,欧洲海洋与渔业基金(European Maritime and Fisheries Fund, EMFF)为加强 MCS 提供了 5.8 亿欧元的经费,而后续的欧洲海洋、渔业和水产养殖基金(European Maritime, Fisheries and Aquaculture Fund, EMFAF)在 2021 至 2027 年将至少提供约 8 亿欧元,这还不包括欧盟各国的国家配套资金。由于海产品可通过各个环节进入全球供应链,因此全球无论是船旗国、沿海国、港口国还是市场国必须合作构建全球范围的捕捞渔获物追溯机制,这是打击 IUU 捕捞的核心手段。

综上,中国应倡导并参与高度透明的全球渔业,且将信息技术广泛应用于渔业管理,以有效追踪渔船的位置和渔获物的数量与规格(Long et al., 2020)。通过将证明渔获物合规的责任直接置于渔民身上,能够显著提升 IUU 捕捞的违法成本。而在国际合作框架方面,新近达成的世界贸易组织(World Trade Organization, WTO)《渔业补贴协定》禁止了对 IUU 捕捞的补贴,此外,PSMA 的全球化实施以及区域渔业管理组织的全球化合作都将为打击 IUU 捕捞提供有力的制度性保障。

4.2.5. 渔业中的权利公平: 小型渔业和女性渔业从业者的角色与贡献

小型渔业的贡献及其治理

在气候变化背景下,小型渔业因其作业区域和方式相对固定,渔获水平和渔民生计更易受到冲击。保护沿海地区从事小型渔业的脆弱群体以及他们所依赖的海洋生态环境,是气候韧性渔业发展的重要议题。小型渔业(或称手工渔业)占世界海产品产量的 40% 左右,即每年约 3700 万吨。然而,当我们强调世界渔业生产的关键方面时,这一贡献的规模就会大大增加。根据 FAO 领先发布的《照亮隐藏的收获》小型渔业研究报告,在 2016 年,全世界有超过 6000 万人受雇于小型渔业,这个数字占捕捞渔业所有就业的 90%。

在中国,小型渔业作为水生食物和其他产品的来源,对提升人民福祉、维护粮食安全与营养安全、保护生态系统健康、保障生计、减少贫困和维护社会稳定有重要贡献,是蓝色经济中不可缺失的一部分。尽管有这些贡献,小型渔业还没有得到中国政府和社会应有的关注(Xiong et al., 2022),可能是因为很少有针对小型渔业的研究(Zhao & Jia, 2020)。Xiong et al. (2022)研究了浙江省嵊泗县的小型渔业,并指出中国政府可以通过几种方式改善小型渔业的治理和管理,特别是:①更明确地定义小型渔业,并利用这些特征设定管理目标;②开发针对小型渔业的多学科数据收集和监测系统;③努力发展合作社;以及④努力加强各级政府部门之间的协调和合作机制。

小型渔业中的女性

气候变化会对不同社会经济地位的群体造成不同影响,且对女性造成的负面影响要多于男性(UNFCCC, 2022)。气候灾害可能使小型渔业社区中的居民面临生命丧失或者严重残疾、生计减少、财产损失和疾病增多等问题,其中男性在灾后恢复建设中承担更

多劳动，而女性与儿童会受到更多的伤害，如女性更容易在气候灾害中丧失生命或残疾、失去经济来源、承担更多照顾工作、遭受性别暴力以及更难被分配到救济物资，儿童则难以快速回归校园生活，并且可能会经历虐童事件（FAO, 2017）。考虑到气候变化对不同群体造成的差异性损害，应开展对不同群体的有针对性帮扶措施。当前在各级决策层中，女性代表的声音少之又少。然而，在同等情况下，女性做出的决定往往比男性更加符合可持续目标，且女性代表更能采取严格的二氧化碳减排的政策（UNFCCC, 2022），为应对气候变化做出贡献。为增强小型渔业渔民应对气候变化的韧性，采取性别包容的研究以及治理办法至关重要。

约 50% 的小型渔业从业者女性（FAO, 2016），在相关的海产品处理产业中约有 90% 从业者女性（FAO, 2012）。小型渔业中，出海捕捞活动大部分由男性来承担，女性则负责赶海、出海前的准备工作（如修补渔具、准备鱼饵与食物）、收获后工作（整理、处理渔获物）以及渔获物销售。除此以外，女性通常还在渔业家庭中承担更多的家务劳动，如做饭、清洁、洗衣、照顾老人、小孩和病人。小型渔业中的女性通常从事低收入、低技术、低稳定性的工作，如季节性或兼职性工作。此外，小型渔业中的女性往往还承担无收入的渔业劳动（如捕捞鱼类或收集贝类供家庭内部食用），与男性承担的有收入的出海捕捞活动相比，前者被认为是家庭内部工作的延伸，却与渔业经济无关。因此，女性在小型渔业中的贡献在官方数据统计中常常被忽视。

虽然女性渔业从业者人数众多，且可以开发利用不同于男性的渔业资源（比如赶海和收获海藻），但她们通常被排除在针对这些资源分配的决策过程之外。一方面的原因是渔业传统上被视作“男性主导行业”，由此产生的男性中心的管理模式将女性排除出制度和决策制定过程，此外，性别权力关系和社会规范导致了女性受限于家务劳动（照顾者角色），而无法离开家过远距离或者过长时间，从而进一步限制了她们参与决策制定的可能性（Galappaththi et al., 2022）。若不改革以男性为中心的组织结构内现有的管理体制，提高女性在决策过程中的参与度只能在数据上改善决策层的性别比例，而女性真正有意义的参与权、话语权和领导力将继续遭到阻碍，导致女性无法发挥有效作用、性别刻板印象被深化。

为此我们提出以下政策建议：①增加有性别区分的数据收集，将女性在收获前、收获后和为家庭食用而开展的渔业活动包含在渔业数据内，进一步了解不同性别的渔民在小型渔业中的贡献，从而有针对性地制定政策。②开展有性别针对性的培训以提升女性渔业从业者的生产技能和知识水平，增强女性应对自然灾害和其他变化的能力。③开展性别包容导向的治理改革，增加女性在渔业管理决策及研究中的参与度，充分吸纳女性经验与智慧，促进资源使用与管理权的公平分配，确保同工同酬，通过法律、法规和政策保障女性权益。④提高女性对资源管理的主动意识，为女性创造更多非男性中心的交流场合与机会，尤其是在小型渔业当中。

4.3. 涉及海洋生物多样性保护的现有国内和国际政策框架

海洋生物多样性的良好治理是气候韧性渔业和碳汇渔业在国家及全球尺度下可持续发展的基础。在这一方面，国际合作和协定对于促进政策框架和发展模式的转变至关重要。

4.3.1. 国家管辖范围外海洋生物多样性养护与可持续利用

国家管辖范围外海域（Marine Areas Beyond National Jurisdiction, ABNJ）包括公海以及国际海底区域，占全球海洋面积 64%，国际社会对如何开发、养护、可持续和公平地利用 ABNJ 生物多样性（即 Marine Biodiversity of Areas Beyond National Jurisdiction, BBNJ）资源、保护海洋生态系统和生物多样性成为全球海洋治理的一个关键议题。随着这一议题的重要性日益凸显，当前已经根据《联合国海洋法公约》（the United Nations Convention on the Law of the Sea, UNCLOS）拟定了一份具有法律约束力的国际文书（背景资料见以下文本框）。

BBNJ：联合国第一份有法律约束力的公海保护条约

2023 年 6 月 19 日，联合国正式通过了一份旨在保护公海生命的历史性条约（关于养护和可持续利用国家管辖范围以外区域海洋生物多样性的协定文本），该协议首次将环境保护范围扩大到国家管辖范围以外的海洋。该协定在多个方面填补了当前海洋治理体系的不足，包括建立公海设立海洋保护区的法律机制、加强在公海中人类活动的评估和管理、商定了确保公平获取和分享与海洋遗传资源有关的惠益的规则，以及加强发展中国家能力建设和海洋技术转让的相关条款。

BBNJ 的通过是世界海洋治理的重要里程碑，是保护生物多样性的重要一步，也是在以公平公正的方式分享利用海洋资源带来的利益方面迈出的重大一步。

BBNJ 历史进程：

2004 年联大通过 59/24 号决议，设立负责研究与 BBNJ 有关问题的非正式特设工作组。2011 年，工作组第 4 次会议通过一系列建议，以启动 BBNJ 法律框架进程，确定了需要整体解决的“一揽子”核心议题：海洋遗传资源包括惠益分享问题、包括海洋保护区的划区管理工具、环境影响评估以及能力建设和海洋技术转让，为 BBNJ 协定谈判迈出了关键第一步。2015 年联大通过 69/292 号决议，设立一个筹备委员会负责讨论 BBNJ 协定草案要点。历经 4 届会议，2017 年 7 月，筹委会通过了向联大建议的协定谈判要点，并建议联大尽快就召开政府间会议（Intergovernmental Conference, IGC）作出决定。2018~2019 年，第一至第三届 BBNJ 谈判 IGC 如期在联合国总部进行。因谈判各方对各议题均存在重大分歧，四届 IGC 未能就协定草案达成一致。第 76 届联大决定于 2022 年 8 月召开第五届 IGC。2023 年 3 月 4 日，在 IGC5 第一次续会上初步达成协定草案文本，并于 6 月正式通过。该协定将在 60 个国家批准、核准、接受、加入书提交之日起 120 天后生效。

BBNJ 谈判的主要议题有：

- 海洋遗传资源（marine genetic resources, MGR），包括惠益共享问题：包括 MGR 的收集/获取、异地获取和遗传序列数字信息获取、跨界问题、传统知识、MGR 利用监测，以及惠益分享义务的性质、惠益类型和范围、分享机制、用途等。协定草案规定，缔约方应遵循《公约》规定的人类共同继承财产原则以及海洋科学研究自由以及其他公海自由、公平原则和公平公正分享惠益。
- 包括海洋保护区（marine protected area, MPA）的划区管理工具（area-based management tools, ABMT）：包括识别需保护的区域、国际合作与协调、提案程序、

决策、执行、监测与审查等。协定规定缔约方大会（Conference of the Parties, COP）有权就建立 MPA 或 ABMT 和采取相关养护管理措施以及与其他相关国际法律文书、框架和机构（instruments, frameworks and bodies, IFB）采取的措施相兼容的措施作出决定，可在拟议措施属于其他 IFB 职权范围时向协定缔约方和此类 IFB 建议促进其根据其各自职权采取相关措施，应促进 BBNJ 协定与其他 IFB 及其他 IFB 之间的合作与协调。COP 在做出决定时，应尊重其他 IFB 职权并不对其造成损害。

- 环境影响评价（environmental impact assessment, EIA）：包括环评启动门槛和标准、决策与实施、国际化、监测与审查、与其他 IFB 环评之间的关系。协定确认了国家决策、国家主导环评的基本原则，规定当活动所产生的不仅是轻微或短暂环境影响或影响未知或知之甚少时，应筛选并将结果公开，若经筛选认为会造成严重污染或引起海洋环境重大有害变化则应进行环评。活动国应监测所授权活动并定期报告、公开监测结果，协定下的可续技术机构可审议和评估监测报告，制定环评标准或准则。
- 能力建设和海洋技术转让：包括目标、国际合作、类型、模式、清单、监测和审查等。协定规定缔约方在现有基础上、在能力范围内确保为发展中国家开展能力建设和提供技术转让，建立一个能力建设和海洋技术转让委员会，处理能力建设和技术转让及其监测和审查等问题。

BBNJ 协定生效后，海洋遗传资源、公海保护区建设将在协定设立的 MGR 获取和惠益分享委员会、科学与技术机构中开展工作，由 COP 做出决策；科学技术机构在环评中也将发挥重要作用。建议中国积极主动参与协定所设科学技术机构、委员会，加大力量投入，争取更多的话语权和影响力。

4.3.2. WTO 渔业补贴协定

历时 21 年谈判，WTO 在 2022 年 6 月第 12 届部长级会议上达成了《渔业补贴协定》（下简称《协定》）。这是 WTO 过去 9 年达成的首份多边协定，是 WTO 第一个关注环境的、第一个关于海洋可持续性的多边协定，也是 WTO 成立以来达成的第二个协定，为实现联合国 2030 年可持续发展议程做出了重要贡献。

《协定》主要包括 3 项补贴纪律和 7 种通报要求，适用于专向性的海洋捕捞和海上与捕捞有关活动的补贴，不适用于非专向性补贴、内陆水域捕捞和水产养殖、通过入渔协定的政府间支付。此外，《协定》不阻止成员提供限定条件下的救灾补贴。《协定》的补贴纪律广泛而全面，旨在遏制对渔业有害的补贴（例如禁止捕捞过度捕捞的鱼类种群），且包含了完善的通报机制，以提高透明度。

相对于 WTO 渔业补贴谈判目标，目前没有就助长过剩产能和过度捕捞渔业补贴达成纪律，也未能就发展中国家和最不发达国家的特殊与差别待遇（special and differential treatment, SDT）达成全面一致，尚需后续谈判，以达成一项关于渔业补贴的全面协定。

《协定》第十二条规定，若《协定》生效后 4 年内未能通过渔业补贴全面纪律，《协定》将立即终止，除非总理事会另有决定。

《协定》的主要补贴纪律有：

- 禁止性补贴
- 发展中国家的特殊和差别待遇

- 通报和透明度
- 对发展中国家的技术援助和能力建设

《协定》的有效实施将有利于减少 IUU 捕捞，减轻对渔业资源的过度捕捞，促进渔业管理秩序得到更好的维护和渔业资源得到更好的养护，促进渔业补贴转向有益的方向。同时，《协定》也将促进保护发展中国家特别是最不发达国家的渔业发展权益，为产业发展留下空间，有利于当地社区经济和社会稳定，促进渔业更多造福社会，增进人民福祉。

若中国核准《协定》，将促进中国渔业向更加绿色、环保、高效、有序的方向发展，与中国生态文明建设基本方针和渔业高质量发展目标相契合，将进一步优化中国渔业发展补助资金的使用结构和方向，有利于促进中国渔业的产业结构优化和转型升级，有利于促进中国进一步加强对渔业资源的监测评估和渔业统计及相关管理，推进中国海洋捕捞业管理更快地走向精细化。

预计 WTO《渔业补贴协定》将在 2-3 年内生效，建议抓住协定生效窗口期，加快推进中国渔业补贴政策的优化调整，消除有害补贴，强化履约工作研究和机制保障支撑，紧密跟踪后续谈判，使协定成为推动中国渔业管理改革和渔业高质量发展的正能量。

4.3.3. 区域渔业管理组织或安排

区域渔业管理组织或安排（regional fisheries management organizations or arrangements, RFMO/A）主要是管辖特定区域、特定渔业资源的分区域或区域组织或安排，通常也包括管辖单一鱼类种群的全球性组织或安排，所管辖的渔业资源通常是既分布在国家管辖水域内又分布在相邻的公海，或分布在多个国家管辖水域的共享种群，特别是跨界鱼类种群和高度洄游鱼类种群，也包括公海独立种群、溯河产卵种群等。

上世纪 90 年代以来，RFMO/A 得到快速发展，新的组织不断成立，早期成立的组织功能和作用得到加强。目前，全球范围内已经建立了具有公海渔业管理功能的 15 个 RFMO、2 个单一物种管理组织、3 个 RFMA，除西南大西洋外，几乎覆盖了全球海洋的全部区域。

RFMO/A 的职能主要包括：议定和遵守养护和管理措施；酌情议定可捕量的分配或捕捞努力量水平等捕捞权；制定和适用关于负责任捕捞的最低国际标准；审查种群状况，评估捕捞作业对非目标种和相关或从属种的影响；收集和传送准确而完整的统计数据；促进和进行关于种群的科学评估和有关研究；为有效的监测、管制和监督和执行建立合作机制等。

RFMO/A 的渔业管理基本都遵循以下原则：以科学为基础的渔业管理，要求渔业管理以最佳可获得的科学证据或信息为依据；适用预防性做法；考虑生态系统的渔业管理；养护与管理措施互不抵触（兼容）；发展和使用有选择性的渔具。

RFMO/A 已发展的渔业管理制度和措施主要有：强制性要求成员或参与方提供渔业统计数据 and 报告，实行捕捞日志、渔船报告管理；实行捕捞总量控制和配额管理，包括渔获量配额和捕捞投入（渔船数、鱼舱容积等）配额；要求船旗国对公海捕捞渔船实行捕捞许可管理，并为渔船建立档案，实行合法渔船名单制度；渔船和渔具标识管理；渔获物产品合法证书制度；渔船船位监控；技术管理措施，例如禁渔期和禁渔区、最小捕捞规格限制、禁止使用某些捕鱼辅助设备设施等；加强对混捕、误捕、兼捕物种的保护

管理；观察员制度；公海登临检查的国际措施；贸易措施；捕捞渔船和作业的环境保护要求等。

在管理规则上，国际渔业资源分配是 RFMO/A 的核心功能。一些 RFMO/A 通过了“捕捞机会分配标准”，将遵守有关养护和管理措施的情况、在资源研究方面的贡献等作为配额分配的重要指标。

在监管措施上，不断提高执行性，包括提高向渔船派驻观察员的比例、实施公海登临检查制度、严格监管公海上渔获物转运等，并由海上向港口、市场监管拓展，港口国、消费国的执法地位将进一步提高。

在管理理念上，基于生态系统的渔业管理在资源评价、捕捞作业、管理措施等方面都将逐步加强，强化对误捕、混捕、兼捕种类的监管是一大趋势。

在管理参与者结构上，非政府组织的参与面越来越广，参与度不断深入，将进一步影响 RFMO/A 的管理决策。

RFMO/A 的发展使公海渔业处于国际合作管理之下，改变了传统上只有船旗国实施公海渔业管辖的局面。尽管各个 RFMO/A 之间的管理实践有所不同，它们为公海渔业管理以及公海捕鱼国和毗邻公海的沿海国之间、不同沿海国之间的共享鱼类种群的养护与管理合作提供了基础性平台，传统的公海捕鱼自由不复存在。跨越国家管辖范围边界的鱼类种群引发的公海捕鱼国与沿海国之间、以及不同沿海国之间的矛盾和冲突得到缓和。国家管辖范围内、外的资源养护和管理合作得以加强，参与 RFMO/A 工作成为获取其所管辖鱼类种群利用机会的前提条件。

科学是海洋生物多样性养护和渔业管理的重要基础支撑，国际社会越来越重视和强调基于科学的管理，不断推进科学与管理决策的联结。要在国际海洋生物资源养护和渔业治理中发挥更重要的作用，实现从参与到主导的角色转变，必须切实加大投入，提高相关科学研究能力和技术水平，并加强相关法律、政策研究，为推行中国主张和方案提供强有力的支撑和后盾。

RFMO/A 成为实际意义上国际渔业尤其是公海渔业管理的实施主体，在国际渔业治理中的作用将越来越重要。目前中国已经加入了 8 个 RFMO，并是 2 个 RFMA 的成员方。建议中国加大加深在 RFMO/A 中的参与度，使 RFMO/A 成为中国参与国际海洋治理的基础性平台，加强国际合作，努力推动不同 RFMO/A 之间的合作与协调，为全球海洋渔业资源的养护和可持续利用担负起大国责任。

4.4. 以减少碳足迹和保护海洋生物多样性为导向将渔业治理纳入海洋综合管理

为了尽可能实现可持续蓝色渔业经济与碳中和之间的协同作用，海洋渔业治理应有效纳入海洋综合管理（Integrated Ocean Management, IOM）体系。海洋综合管理能够同时考虑目标生态系统的多种用途、价值和面临的压力，有助于以可持续性为目标导向对各个利益相关方进行协调。

4.4.1. 当前进展和潜在挑战

利用海洋中的渔业资源是人类对海洋最古老、也是最广泛的开发形式，而海洋渔业发展的可持续性早已成为全球关注的焦点。无论是捕捞渔业还是水产养殖都是温室气体排放的重要来源，与此同时，前者主要通过改变种群状态、后者主要通过营养盐排放和

栖息地改变，最终都对海洋生态系统产生了巨大压力（Gephart et al., 2021）。

海洋综合管理是以实现海洋可持续发展为目标，通过基于生态系统的渔业管理（Ecosystem-Based Fishery Management, EBFM）（Pikitch et al., 2004）统筹协调各类海洋开发活动，平衡海洋资源的保护和开发利用，在维持海洋生态系统的健康和韧性的同时，支撑民生及就业（Winther et al., 2020）。相比于分部门而治的传统管理模式，海洋综合管理的目标主要是协调各个涉海部门之间的潜在冲突，并弥补传统管理主体的职能未能覆盖的盲区。而将渔业治理纳入海洋综合管理的内涵，既在于充分考虑渔业对海洋生态系统的复合影响效应，也在于将渔业长效稳定发展作为海洋综合管理的重要目标。

国际上，IOM 已有值得中国参考的先进案例。在印度尼西亚、马来西亚、巴布亚新几内亚、菲律宾、所罗门群岛和东帝汶六个国家构成的珊瑚大三角区，有着在海洋综合管理中纳入渔业管理的先进实践（Winther et al., 2020）。其纲领性文件是《珊瑚礁、渔业和粮食安全的珊瑚大三角区倡议》（the Coral Triangle Initiative on Coral Reefs, Fisheries, and Food Security, CTI-CFF）由各个成员国同步执行，充分调动了作为主要利益相关者的小型渔业社区参与决策过程，使得在建立广泛海洋保护区网络、实现生物多样性保护和气候变化适应等目标的同时，也充分注重渔业资源的共享和可持续利用，致力于解决渔业人口的收入、生计和粮食安全问题（Green et al., 2014）。但需要注意的是，海洋综合管理始终需要因地制宜的策略，珊瑚大三角区的实践框架离不开小岛屿国家相对扁平化、侧重社区制度的管理特征。

在中国，海洋综合管理的落地尚有很大推进空间。自 2018 年国务院机构改革以来，原国家海洋局的职能不再独立保留，海洋资源开发纳入自然资源部管理，海洋生态保护纳入生态环境部管理，海洋渔业事务依然由农业农村部管理。这种改革趋势事实上改变了中国长久以来陆海分割的两段式治理，有利于打破海洋部门和其他部门间的壁垒、消除海陆界面区域的监管真空，转而形成陆海一体化治理的新格局（陈琦和胡求光，2021）。中国作为一个传统的陆权国家，这种一体化的管理模式也提升了海洋管理的能级，一定程度上有助于缓解陆源人类活动对海洋的压力。然而，这项里程碑式的改革是在海洋中延续了陆域的职能管理（或称行业管理）模式，而与海洋综合管理的理念存在分野（王刚和宋锴业，2021）。

无论在海洋捕捞还是海水养殖领域，中国都是世界渔业第一大国，且包含了从手工渔业和养殖到远洋渔业和深远海养殖的各种规模的生产形式，不同类型渔业的环境足迹和利益诉求皆有差异，本底情况已然极为复杂。由于渔业事务在农业农村部归口管理，其管理目标受限于自身的部门职能，容易聚焦在渔业资源本身，而不着眼于更广泛的海洋生态系统。而在海洋资源开发管理的视角下，根据《2021 年中国海洋经济统计公报》，海洋渔业虽然牵动着庞大人口的生计，产值却仅占全国海洋生产总值的 5%，在与其他涉海产业发生冲突时诉求更易被忽略。这些制度性、结构性特征均为中国实行海洋综合管理、特别是在海洋综合管理中纳入渔业管理提出了重大挑战。

4.4.2. 未来趋势和工作路径

纵观全球海洋管理领域，海洋综合管理的理念已得到比较广泛的认可并在多个国家推行，除上述的珊瑚大三角区之外，挪威也有着典型的实践经验。在过去十余年内，挪威议会通过对周边各个海域的综合管理规划并进行了若干次修订，并且在规划决策过程中，一个纳入了多个涉海部门的跨部门工作组——挪威海域管理咨询委员会起到了决

定性的协调作用（Winther et al., 2020），渔业作为挪威的海洋支柱产业自然也参与其中，其他还包括石油、环境、航运、矿业等。对于工业较发达、海域面积较广阔的国家而言，该工作机制有着较好的借鉴意义。

中国刚刚经历了一轮中央政府组成部门的机构改革，短期内以部门职能重组的形式推动海洋综合管理的可能性不大。2018 年的机构改革尽管未体现海洋综合管理的理念，但确实以陆海统筹的原则推进了若干更紧迫的海洋管理议题，如自然保护地体系改革、“多规合一”的国土空间规划等。值得注意的是，中国也在部分区域试行海洋综合管理模式，如厦门自 1990 年代起就成立了市长牵头、涉海官员和专家共同组成的海岸带综合管理领导小组，协调涉海部门的用海需求（Xue et al., 2004）。随着海洋管理相关制度的日渐健全和成熟，海洋综合管理在中国将会有宽阔的推广前景，为了更好地以减少碳足迹和保护生物多样性为导向、将渔业管理纳入其中，可以归纳出以下建议：

- 在中央政府层面，借鉴中国常见的“领导小组”工作模式，建立由国务院副总理牵头、多涉海部门（发改委、自然资源部、生态环境部、农业农村部、科技部）组成的协调工作组，打通各个海洋管理条线之间的界限，综合解决海洋领域的管理问题。同时，在顶层设计中明确以生态系统为核心、充分适应和应对全球气候变化的战略原则，明确渔业在涉海活动中保障群众生计、维护粮食安全的支柱作用。
- 在地方层面，借鉴以厦门为代表的实践经验，搭建因地制宜的海洋综合管理执行框架，坚持科学性和对利益相关者的包容性。构建地方性规章制度，促使不同规模和类型的捕捞渔业和水产养殖业的从业者参与海洋事务的管理进程。
- 加强海警、海事、渔政等执法机构的协同，持续优化海洋渔业的 MCS 工作，加大对 IUU 捕捞的打击力度；同时在海洋渔业中逐步引入碳交易和排污权交易制度，以经济手段淘汰高污染、高碳足迹的生产方式。在基层积极开展对渔民的技能培训，促使其向生态修复性水产养殖、海洋保护地巡护等所需技能相近且能够贡献生态服务价值的工作转产转业。
- 针对 WTO 渔业补贴协定、FAO 港口国措施协定等对中国渔业治理体系存在深远影响的国际合作事务，进一步融合相关职能条线的管理力量，形成专业化、多领域、跨部门的工作队伍。以完善的科学知识和机制保障提升国际履约能力，推动在国际渔业治理进程中纳入中国经验和智慧。

4.5. 建议

纵观这一章报告所做的述评和分析，应当充分认识到减少碳足迹和提升气候韧性不但是海洋渔业自身可持续发展的应有之义，也是高效利用海洋实现碳中和目标的不可或缺的构成元素。这需要以中国为代表的海洋水产品生产大国的高层次决策者在国内层面汇集不同利益相关群体的关切和诉求，领导各级政府部门实行有力的政策治理，在国际层面秉承人类命运共同体的理念，积极倡导并引领多边合作。决策者需要贯彻的主要原则包括：1) 减少渔船碳排放、激励碳汇渔业的发展；2) 进一步管控非法、未报告和不受管制捕捞等有害的、往往产生高昂碳足迹的生产实践；3) 关注弱势群体在生产 and 决策中的平等权利，在渔业治理中充分纳入他/她们的经验和智慧；4) 将渔业治理纳入海洋综合管理的战略框架。在这些原则的基础上，本研究确立了若干优先行动，以实现海洋渔业高质量发展与碳中和的协同共赢。具体建议如下：

- 避免催生产能竞争的渔业管理方式，逐步取消有害的渔船燃料补贴，削减过剩的捕捞产能，促进燃料密集型海洋渔具渔法向**碳足迹更低的作业方式**转变；
- 促进渔业碳汇的过程机理研究，推广大型藻类、滤食性贝类等具有固碳功能的“**负排放海水养殖**”；
- 加强**渔业监督执法**，应用大数据技术构建海洋渔获物合规性追溯机制，结合相关国际协作框架，打击 IUU 捕捞及其他有害的捕捞生产实践；
- 基于现有最佳科学知识，提升海洋渔业及其所依托的海洋生态系统的气候韧性，确保小型渔业的捕捞机会；
- 开展性别包容的渔业治理改革，促进资源使用与管理权对不同性别渔民的公平分配，充分维护**女性渔业从业者权益**；
- 加大在海洋生物资源养护和渔业治理相关的国际协定及进程中的参与投入，助力构建均衡的话语权格局，打造高效的**全球协作治理体系**；
- 打通各个海洋管理条线之间的职能界限，充分纳入不同领域的利益相关群体，推进科学技术与管理决策的联结，搭建因地制宜的**海洋综合管理框架**。

5. 参考文献

- Adamakis, I-DS., Malea, P., Panteris, E. (2018): The effects of Bisphenol A on the seagrass *Cymodocea nodosa*: Leaf elongation impairment and cytoskeleton disturbance. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 157, 431-440. 10.1016/j.ecoenv.2018.04.005.
- Adamakis, I-DS., Malea, P., Sperdouli, I., Panteris, E., Kokkinidi, D., Moustakas, M. (2021): Evaluation of the spatiotemporal effects of bisphenol A on the leaves of the seagrass *Cymodocea nodosa*. *Journal of Hazardous Materials* 404, 124001. 10.1016/j.jhazmat.2020.124001.
- Agnew, D. J., Pearce, J., Pramod, G., Peatman, T., Watson, R., Beddington, J. R., Pitcher, T. J. (2009): Estimating the worldwide extent of illegal fishing. *ploS one*, 4(2), e4570. 10.1371/journal.pone.0004570.
- Alexiadou, P., Foskolos, I., Frantzis, A. (2019): Ingestion of macroplastics by odontocetes of the Greek Seas, Eastern Mediterranean: Often deadly! *Marine Pollution Bulletin* 146, 67-75. 10.1016/j.marpolbul.2019.05.055
- An, L., Li, H., Wang, F., Deng, Y., Xu, Q. (2022): International Governance Progress in Marine Plastic Litter Pollution and Policy Recommendations. *Research of Environmental Sciences* 35, 1334-1340.
- Anderson, T. R., Martin, A. P., Lampitt, R. S., Trueman, C. N., Henson, S. A., & Mayor, D. J. (2019): Quantifying carbon fluxes from primary production to mesopelagic fish using a simple food web model. *ICES Journal of Marine Science*, 76(3), 690-701. 10.1093/icesjms/fsx234.
- Bae, J., Hamidoghli, A., Djaballah, M. S., Maamri, S., Hamdi, A., Souffi, I., Farris, N. W., Bai, S. C. (2020): Effects of three different dietary plant protein sources as fishmeal replacers in juvenile whiteleg shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Fisheries and Aquatic Sciences* 23, 2. 10.1186/s41240-020-0148-x.
- Bai, M., Zhu, L., An, L., Peng, G., Li, D. (2018): Estimation and prediction of plastic waste annual input into the sea from China. *Acta Oceanol. Sin.* 37(11), 26-39. 10.1007/s13131-018-1279-0.
- Ballance, A., Ryan, P., Turpie, J. (2000): How much is a clean beach worth? The impact of litter on beach users in the Cape Peninsula, South Africa. *South African Journal of Science* 96, 210-213.
- Barange, M., Bahri, T., Beveridge, M. C., Cochrane, K. L., Funge-Smith, S., Poulain, F. (2018): Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: Synthesis of current knowledge, adaptation, and mitigation options. *FAO*.
- Barberi, S., Sambito, M., Neduzha, L., Severino, A. (2021): Pollutant Emissions in Ports: A Comprehensive Review. *Infrastructures* 6, 114. 10.3390/infrastructures6080114.
- Bar-On, Y. M., Phillips, R., Milo, R. (2018): The biomass distribution on Earth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(25), 6506-6511. 10.1073/pnas.171184211.
- Bastardie, F., Hornborg, S., Ziegler, F., Gislason H., Eigaard, O. R. (2022): Reducing the Fuel Use Intensity of Fisheries: Through Efficient Fishing Techniques and Recovered Fish Stocks. *Front. Mar. Sci.* 9:817335. 10.3389/fmars.2022.817335. 10.3389/fmars.2022.817335.
- Bernardini, I., Garibaldi, F., Canesi, L., Fossi, M. C., Bains, M. (2018): First data on plastic ingestion by blue sharks (*Prionace glauca*) from the Ligurian Sea (North-Western Mediterranean Sea). *Marine Pollution Bulletin* 135, 303-310. 10.1016/j.marpolbul.2018.07.022.
- Besseling, E., Redondo-Hasselerharm, P., Foekema, E. M., Koelmans, A. A. (2019): Quantifying ecological risks of aquatic micro- and nanoplastic. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 49, 32-80. 10.1080/10643389.2018.1531688.
- Bianchi, D., Carozza, D. A., Galbraith, E. D., Guiet, J., DeVries, T. (n.d.): Estimating global biomass and biogeochemical cycling of marine fish with and without fishing. *Science Advances*, 7(41), eabd7554. 10.1126/sciadv.abd7554
- Bonaglia, S., Brüchert, V., Callac, N., Vicenzi, A., Chi Fru, E., Nascimento, F. J. (2017): Methane fluxes from coastal sediments are enhanced by macrofauna. *Scientific Reports*, 7(1), 13145. 10.1038/s41598-017-13263-w.
- Bornt, K., How, J., de Lestang, S., Linge, K., Hovey, R., Langlois, T. (2023): Plastic gear loss estimates from a major Australian pot fishery. *ICES Journal of Marine Science* 80, 158-172. 10.1093/icesjms/fsac222.
- Borrelle, S. B., Rochman, C. M., Liboiron, M., Bond, A. L., Lusher, A., Bradshaw, H., Provencher, J. F. (2017): Why we need an international agreement on marine plastic pollution. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114, 9994-9997. 10.1073/pnas.1714450114.
- Boulton, A. J., Ekebom, J., Gislason, G. M. (2016): Integrating ecosystem services into conservation strategies for freshwater and marine habitats: A review. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater*

Ecosystems, 26(5), 963–985. 10.1002/aqc.2703. 10.1002/aqc.2703.

Braathen, N. A. (2011): Environmental Impacts of International Shipping. The Role of Ports: The Role of Ports, Vol. 2011. 10.1787/9789264097339-en

Bucci, K., Tulio, M., Rochman, C. M. (2020): What is known and unknown about the effects of plastic pollution: A meta-analysis and systematic review. *Ecological Applications* 30, e02044. 10.1002/eap.2044.

Cao, L., Chen, Y., Dong, S., Hanson, A., Huang, B. O., Leadbitter, D., Naylor, R. L. (2017): Opportunity for marine fisheries reform in China. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(3), 435-442. 10.1073/pnas.16165831.

Chau, M. Q., Hoang, A. T., Truong, T. T., & Nguyen, X. P. (2020): Endless story about the alarming reality of plastic waste in Vietnam. *Energy sources, Part A: recovery, utilization, and environmental effects*, 1-9. 10.1080/15567036.2020.1802535.

Chen, G, Li, Y, Wang, J (2021): Occurrence and ecological impact of microplastics in aquaculture ecosystems. *Chemosphere* 274, 129989. 10.1016/j.chemosphere.2021.129989.

Chen, H. L., Nath, T. K., Chong, S., Foo, V., Gibbins, C., Lechner, A. M. (2021): The plastic waste problem in Malaysia: management, recycling and disposal of local and global plastic waste. *SN Applied Sciences*, 3, 1-15. 10.1007/s42452-021-04234-y.

Chen, J., Li, H., Zhang, Z., He, C., Shi, Q., Jiao, N., Zhang, Y. (2020): 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*, 185, 116268. 10.1016/j.watres.2020.116268.

Cheung, W. W., Lam, V. W., Sarmiento, J. L., Kearney, K., Watson, R., Pauly, D. (2009): Projecting global marine biodiversity impacts under climate change scenarios. *Fish and Fisheries*, 10(3), 235-251. 10.1111/j.1467-2979.2008.00315.x.

Cho, D.O. (2005): Challenges to Marine Debris Management in Korea. *Coastal Management* 33, 389-409. 10.1080/08920750500217559.

Chung, I. K., Sondak, C. F., Beardall, J. (2017): The future of seaweed aquaculture in a rapidly changing world. *European Journal of Phycology*, 5& Unsworth, R. (2014): Valuing and Evaluating Marine Ecosystem Services: Putting the Right Price on Marine Environments? *Environment and Society: Advances in Research*, 5. 10.3167/ares.2014.050105.

Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., Galloway, T. S. (2015): The Impact of Polystyrene Microplastics on Feeding, Function and Fecundity in the Marine Copepod *Calanus helgolandicus*. *Environmental science & technology* 49, 1130-1137. 10.1021/es504525u.

Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., Goodhead, R., Moger, J., Galloway, T. S. (2013): Microplastic ingestion by zooplankton. *Environmental science & technology* 47, 6646-55. 10.1021/es400663f.

Corbett, J., Winebrake, J. J., Green, E. H., Kasibhatla, P., Eyring, V., Lauer, A. (2007): Mortality from ship emissions: a global assessment. *Environ. Sci. Technol.* 41, 8512-8518. 10.1021/es071686z.

Corraini, N. R., de Souza de Lima, A., Bonetti, J., Rangel-Buitrago, N. (2018): Troubles in the paradise: Litter and its scenic impact on the North Santa Catarina island beaches, Brazil. *Marine Pollution Bulletin* 131, 572-579. 10.1016/j.marpolbul.2018.04.061.

Cozzolino, L., Nicastro, K. R., Zardi, G. I., de los Santos, C. B. (2020): Species-specific plastic accumulation in the sediment and canopy of coastal vegetated habitats. *Science of The Total Environment* 723, 138018. 10.1016/j.scitotenv.2020.138018.

10.1126/science.1098222.

Doney, S. C., Bopp, L., Long, M. C. (2014): Historical and future trends in ocean climate and biogeochemistry. *Oceanography*, 27(1), 108-119. 10.5670/oceanog.2014.14

Doney, S. C., Ruckelshaus, M., Duffy, J. E., Barry, J. P., Chan, F., English, C. A., Talley, L. D. (2012): Climate change impacts on marine ecosystems. *Ann Rev Mar Sci.*, 4, 11-37. 10.1146/annurev-marine-041911-111611.

Du, Y., Chen, Q., Lam, J., Xu, Y. and Cao, J. (2015): Modeling the impacts of tides and the virtual arrival policy in berth allocation. *Transportation Science* 49, 939-956. 10.1287/trsc.2014.0568.

Duarte, C. M., Wu, J., Xiao, X., Bruhn, A., Krause-Jensen, D. (2017): Can seaweed farming play a role in climate change mitigation and adaptation? *Frontiers in Marine Science*, 4, 100. 10.3389/fmars.2017.00100.

Duncan, E., Botterell, Z., Broderick, A. C., Galloway, T., Lindeque, P., Nuno, A., Godley, B. (2017): A global review of marine turtle entanglement in anthropogenic debris: A baseline for further action. *Endangered*

Species Research 34. 10.3354/esr00865.

Endresen, Ø., Sørgrød, E., Sundet, J. K., Dalsøren, S. B., Isaksen, I. S. A., Berglen, T. F., Gravir, G. (2003): Emission from international sea transportation and environmental impact. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 108. 10.1029/2002JD002898.

FAO. (2012): *The State of World Fisheries and Aquaculture 2012*. Rome. 209 pp. www.fao.org/docrep/016/i2727e/i2727e00.htm.

FAO. (2016): *The State of World Fisheries and Aquaculture 2016. contributing to food security and nutrition for all*. Rome. 200 pp. <https://www.fao.org/3/i5555e/i5555e.pdf>.

FAO. (2017): *Towards gender-equitable small-scale fisheries governance and development - A handbook in support of the implementation of the Voluntary Guidelines for Securing Sustainable Small-Scale Fisheries in the Context of Food Security and Poverty Eradication*, by Nilanjana Biswas. Rome, Italy. <https://www.fao.org/3/i7419en/I7419EN.pdf>.

FAO. 2022. *Fisheries and Aquaculture: Global production by production source Quantity (1950 - 2020)*: In: FAO. Rome. Cited July 2023. <https://www.fao.org/fishery/statistics-query/en/home>.

Frankignoulle, M., Canon, C., Gattuso, J. P. (1994): Marine calcification as a source of carbon dioxide: Positive feedback of increasing atmospheric CO₂. *Limnology and Oceanography*, 39(2), 458-462. 10.4319/lo.1994.39.2.0458.

Friedlingstein P., O'Sullivan M., Jones M.W., Andrew R.M., et al. (2020): *Global Carbon Budget 2020*. *Earth System Science Data* 12, 3269–3340. 10.5194/essd-12-3269-2020.

Froehlich, H. E., Gentry, R. R., Halpern, B. S. (2018): Global change in marine aquaculture production potential under climate change. *Nature Ecology & Evolution*, 2(11), 1745-1750. 10.1038/s41559-018-0669-1.

Gaines, S. D., Costello, C., Owashi, B., Mangin, T., Bone, J., Molinos, J. G., Burden, M., Dennis, H., Halpern, B. S., Kappel, C. V., Kleisner, K. M., Ovando, D. (2018): Improved fisheries management could offset many negative effects of climate change. *Science Advances*, 4(8), eaao1378. 10.1126/sciadv.aao1378.

Galappaththi, M., Armitage, D., Collins, A. M. (2022): Women's experiences in influencing and shaping small-scale fisheries governance. *Fish and Fisheries*, 23(5), 1099-1120. 10.1111/faf.12672.

Gattuso, J. P., Magnan, A., Bille, R., Cheung, W. W. L., Howes, E. L., Joos, F., Turley, C. (2015): Contrasting futures for ocean and society from different anthropogenic CO₂ emissions scenarios. *Science*, 349(6243), 158-219. 10.1126/science.aac4722.

Gephart, J. A., Henriksson, P. J., Parker, R. W., Shepon, A., Gorospe, K. D., Bergman, K., Troell, M. (2021): Environmental performance of blue foods. *Nature*, 597(7876), 360-365. 10.1038/s41586-021-03889-2.

Gilman, E., Musyl, M., Suuronen, P., Chaloupka, M., Gorgin, S., Wilson, J., Kuczenski, B. (2021): Highest risk abandoned, lost and discarded fishing gear. *Scientific reports* 11, 7195. 10.1038/s41598-021-86123-3.

Golden, C. D., Allison, E. H., Cheung, W. W. L., Dey, M. M., Halpern, B. S., McCauley, D. J., Smith, M., Vaitla, B., Zeller, D., Myers, S. S. (2016): Nutrition: Fall in fish catch threatens human health. *Nature*, 534(7607), 317–320. 10.1038/534317a

Green, A. L., Fernandes, L., Almany, G., Abesamis, R., McLeod, E., Aliño, P. M., Pressey, R. L. (2014): Designing marine reserves for fisheries management, biodiversity conservation, and climate change adaptation. *Coastal Management*, 42(2), 143-159. 10.1080/08920753.2014.877763.

Greer, K., Zeller, D., Woroniak, J., Coulter, A., Winchester, M., Palomares, M. L. D., Pauly, D. (2019): Global trends in carbon dioxide (CO₂) emissions from fuel combustion in marine fisheries from 1950 to 2016. *Marine Policy*, 107, 103382. <https://10.1016/j.marpol.2018.12.001>

Greven, A.C., Merk, T., Karagöz, F., Mohr, K., Klapper, M., Jovanović, B., Palić, D. (2016): Polycarbonate and polystyrene nanoplastic particles act as stressors to the innate immune system of fathead minnow (*Pimephales promelas*). *Environmental toxicology and chemistry* 35, 3093-3100. 10.1002/etc.3501

Gruber N., Clement D., Carter B.R., et al. (2019): The oceanic sink for anthropogenic CO₂ from 1994 to 2007. *Science* 363,1193–1199. 10.1126/science.aau5153.

Gündoğdu, S., Eroldoğan, O. T., Evliyaoğlu, E., Turchini, G. M., Wu, X. G. (2021): Fish out, plastic in: Global pattern of plastics in commercial fishmeal. *Aquaculture* 534, 736316. 10.1016/j.aquaculture.2020.736316.

Gutow, L., Eckerlebe, A., Giménez, L., Saborowski, R. (2016): Experimental Evaluation of Seaweeds as a Vector for Microplastics into Marine Food Webs. *Environmental science & technology* 50, 915-23. 10.1021/acs.est.5b02431.

Hall, K. (2000): Impacts of marine debris and oil: economic and social costs to coastal communities. *Kommunenenes Internasjonale Miljøorganisasjon, Shetland*.

- Han, T., Shi, R., Qi, Z., Huang, H., & Gong, X. (2021): 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*, 13, 199-210. 10.3354/aei00400.
- Harris, P. T., Westerveld, L., Nyberg, B., Maes, T., Macmillan-Lawler, M., Appelquist, L. R. (2021): Exposure of coastal environments to river-sourced plastic pollution. *Science of The Total Environment* 769, 145222. 10.1016/j.scitotenv.2021.145222
- Heisterkamp, I. M., Schramm, A., De Beer, D., & Stief, P. (2010): Nitrous oxide production associated with coastal marine invertebrates. *Marine Ecology Progress Series*, 415, 1-9. 10.3354/meps08727.
- Hill, R., Bellgrove, A., Macreadie, P. I., Petrou, K., Beardall, J., Steven, A., Ralph, P. J. (2015): Can macroalgae contribute to blue carbon? An Australian perspective. *Limnology and Oceanography*, 60(5), 1689-1706. 10.1002/lno.10128.
- Hoegh-Guldberg, O., et al. (2019): *The Ocean as a Solution to Climate Change: Five Opportunities for Action*. Report. Washington, DC: World Resources Institute. Available online at <http://www.oceanpanel.org/climate>.
- Hong, S., Lee, J., Lim, S. (2017): Navigational threats by derelict fishing gear to navy ships in the Korean seas. *Marine Pollution Bulletin* 119, 100-105. 10.1016/j.marpolbul.2017.04.006.
- Hopewell, J., Dvorak, R., Kosior, E. (2009): Plastics recycling: challenges and opportunities. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences* 364, 2115-26. 10.1098/rstb.2008.0311.
- Huang, L., Yang, L. Present Situation and Prospect of Urban Domestic Waste Treatment in China [J]. *Sustainable Development*, 2022, 12(5):8.10.12677/SD.2022.125152 (In Chinese).
- IMarEST (2019): Steering towards an industry level response to marine plastic pollution: Roundtable summary report, IMarEST. <https://www.imarest.org/reports/1039-marine-plastics/file>.
- IMO. (2021): IMO Fourth greenhouse gas study 2020. <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Fourth%20IMO%20GHG%20Study%202020%20-%20Full%20report%20and%20annexes.pdf>.
- IPCC Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Masson-Delmotte V., Zhai P., Pirani A., et al. (Eds.). Cambridge University Press. In Press, 2021 [(eds.)].
- IPCC Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Shukla P.R., Skea J., Slade R., et al. (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2022 New York, NY, USA, doi:10.1017/9781009157926.
- Irigoiien, X., Klevjer, T. A., Røstad, A., Martinez, U., Boyra, G., Acuña, J. L., Bode, A., Echevarria, F., Gonzalez-Gordillo, J. I., Hernandez-Leon, S., Agusti, S., Aksnes, D. L., Duarte, C. M., Kaartvedt, S. (2014): Large mesopelagic fishes biomass and trophic efficiency in the open ocean. *Nature Communications*, 5(1), 3271. 10.1038/ncomms4271.
- IUCN, Gland, Switzerland. 53 pp.
- Jabeen, K., Su, L., Li, J., Yang, D., Tong, C., Mu, J., Shi, H. (2017): Microplastics and mesoplastics in fish from coastal and fresh waters of China. *Environmental Pollution* 221, 141-149. 10.1016/j.envpol.2016.11.055.
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., Law, K. L. (2015): Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* 347, 768-771. 10.1126/science.126035
- Jang, Y.C., Hong, S., Lee, J., Lee, M.J., Shim, W.J. (2014): Estimation of lost tourism revenue in Geoje Island from the 2011 marine debris pollution event in South Korea. *Marine Pollution Bulletin* 81, 49-54. 10.1016/j.marpolbul.2014.02.021.
- Jayasiri, H. B., Purushothaman, C. S., Vennila, A. (2013): Plastic litter accumulation on high-water strandline of urban beaches in Mumbai, India. *Environmental Monitoring and Assessment* 185, 7709-7719. 10.1007/s10661-013-3129-z.
- Jepsen, E. M., de Bruyn, P. J. N. (2019): Pinniped entanglement in oceanic plastic pollution: A global review. *Marine Pollution Bulletin* 145, 295-305. 10.1016/j.marpolbul.2019.05.042.
- Jones, A. R., Alleway, H. K., McAfee, D., Reis-Santos, P., Theuerkauf, S. J., Jones, R. C. (2022): Climate-friendly seafood: The potential for emissions reduction and carbon capture in marine aquaculture. *BioScience*, 72(2), 123-143. 10.1093/biosci/biab126.
- Koelmans, A. A., Bakir, A., Burton, G. A., Janssen, C.R. (2016): Microplastic as a Vector for Chemicals in the Aquatic Environment: Critical Review and Model-Supported Reinterpretation of Empirical Studies. *Environmental science & technology* 50, 3315-26. 10.1021/acs.est.5b06069.
- Krause-Jensen, D., Duarte, C. M. (2016): Substantial role of macroalgae in marine carbon sequestration.

Nature Geoscience, 9(10), 737-742. 10.1038/ngeo2790.

Krelling, A. P., Williams, A. T., Turra, A. (2017): Differences in perception and reaction of tourist groups to beach marine debris that can influence a loss of tourism revenue in coastal areas. *Marine Policy* 85, 87-99. 10.1016/j.marpol.2017.08.021.

Kuczynski, B., Vargas Poulsen, C., Gilman, E. L., Musyl, M., Geyer, R., Wilson, J. (2022): Plastic gear loss estimates from remote observation of industrial fishing activity. *Fish and Fisheries* 23, 22-33. 10.1111/faf.12596.

Kutralam-Muniasamy, G., Pérez-Guevara, F., Shruti, V. C. (2022): (Micro)plastics: A possible criterion for beach certification with a focus on the Blue Flag Award. *The Science of The Total Environment* 803, 150051. 10.1016/j.scitotenv.2021.150051.

Laffoley, D., Grimsditch, G. D. (eds.) (2009): The management of natural coastal carbon sinks.

Lamb, J. B., Williamson, D. H., Russ, G. R., Willis, B. L. (2015): Protected areas mitigate diseases of reef-building corals by reducing damage from fishing. *Ecology* 96, 2555-67. 10.1890/14-1952.1

Lamb, J. B., Willis, B., Fiorenza, E., Couch, C., Howard, R., Rader, D., True, J., Kelly, L., Ahmad, A., Jompa, J., Harvell, C. (2018): Plastic waste associated with disease on coral reefs. *Science* 359, 460-462. 10.1126/science.aar3320.

Lartaud, F., Meistertzheim, A-L., Reichert, J., Ziegler, M., Peru, E., Ghiglione, J-F. (2020): Plastics: An Additional Threat for Coral Ecosystems. In: Rossi, S., Bramanti, L. (eds) *Perspectives on the Marine Animal Forests of the World*. Springer, Cham. 10.1007/978-3-030-57054-5_14.

Lebreton, L. C. M., Zwet, J., van der Damsteeg, J., Slat, B., Andrady, A., Reisser, J. (2017): River plastic emissions to the world's oceans. *Nat. Commun.* 8, 1-10. 10.1038/ncomms15611. Lester, S. E., Costello, C., Halpern, B. S., Gaines, S. D., White, C., Barth, J. A. (2013): Evaluating tradeoffs among ecosystem services to inform marine spatial planning. *Marine Policy*, 38, 80-89. 10.1016/j.marpol.2012.05.022

Li, H., Zhang, Y., Liang, Y., Chen, J., Zhu, Y., Zhao, Y., Jiao, N. (2018): 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*, 137, 456-464. 10.1016/j.marpolbul.2018.10.048.

Li, J., Zhang, W., Ding, J., Xue, S., Huo, E., Ma, Z., Mao, Y. (2021): Effect of large-scale kelp and bivalve farming on seawater carbonate system variations in the semi-enclosed Sanggou Bay. *Science of the Total Environment*, 753, 142065. 10.1016/j.scitotenv.2020.142065.

Li, X., Li, P. (2022): Progress of EU's Involvement in the Global Marine Plastic Pollution Governance and Its Enlightenment to China. *Pacific Journal*, 63-76

Lima, A. K. dS., Silva, A. C., Pereira, L. F., Bezerra, C. M., Soares, L. S., Castro, A. C. Ld., Marinho, Y.F., Funo, I. C, dS, A., Lourenço, C. B. (2022): Anthropogenic litter on the macrotidal sandy beaches of the Amazon region. *Marine Pollution Bulletin* 184, 114124. 10.1016/j.marpolbul.2022.114124.

Liu, J., Li, J., An, K. (2022): Evaluation of the environmental carrying capacity of seawater bathing tourism based on the choice experiment method. *Transactions of oceanology and limnology* 44, 111-120.

Long, T., Widjaja, S., Wirajuda, H., Juwana, S. (2020): Approaches to combatting illegal, unreported and unregulated fishing. *Nature Food*, 1(7), 389-391. 10.1038/s43016-020-0121-y.

Loomis, R., Cooley, S., Collins, J., Engler, S., Suatoni, L. (2022): A Code of Conduct Is Imperative for Ocean Carbon Dioxide Removal Research. *Front. Mar. Sci.* 9:872800. 10.3389/fmars.2022.872800.

Lotze, H.K., Tittensor, D.P., Bryndum-Buchholz, A., Eddy, T.D., Cheung, W.W., Galbraith, E.D., Barange, M. et al. (2019): Global ensemble projections reveal trophic amplification of ocean biomass declines with climate change. *PNAS*, 116(26): 12907-12912. 10.1073/pnas.1900194116.

Lusher, A. L., Hernandez-Milian, G., Berrow, S., Rogan, E., O'Connor, I. (2018): Incidence of marine debris in cetaceans stranded and bycaught in Ireland: Recent findings and a review of historical knowledge. *Environmental Pollution* 232, 467-476. 10.1016/j.envpol.2017.09.070.

MacLeod, M. J., Hasan, M. R., Robb, D. H., Mamun-Ur-Rashid, M. (2020): Quantifying greenhouse gas emissions from global aquaculture. *Scientific Reports*, 10(1), 1-8. 10.1038/s41598-020-68231-8.

Mahamud, A. G. M. S. U., Anu, M. S., Baroi, A., Datta, A., Khan, M. S. U., Rahman, M., Tabassum, T., Tanwi, J. T., Rahman, T. (2022): Microplastics in fishmeal: A threatening issue for sustainable aquaculture and human health. *Aquaculture Reports* 25, 101205. 10.1016/j.aqrep.2022.101205.

Mai, L., Sun, X., Xia, L. L., Bao, L. J., Zeng, E. Y. (2020): Global riverine plastic outflows. *Environmental Science and Technology*, 54(16): 10049-10056. 10.1021/acs.est.0c02273.

Maione, C. (2021): Quantifying plastics waste accumulations on coastal tourism sites in Zanzibar, Tanzania. *Marine Pollution Bulletin* 168, 112418. 10.1016/j.marpolbul.2021.112418.

Malea, P., Kokkinidi, D., Kevrekidou, A., Adamakis, I-D. S. (2020): Environmentally relevant bisphenol A

concentrations effects on the seagrass *Cymodocea nodosa* different parts elongation: perceptive assessors of toxicity. *Environmental Science and Pollution Research* 27, 7267-7279. 10.1007/s11356-019-07443-6.

Marine Environment Protection Law of the People's Republic of China. 2017 Amendment.

Markic, A., Gaertner, J.-C., Gaertner-Mazouni, N., Koelmans, A. A. (2020): Plastic ingestion by marine fish in the wild. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 50, 657-697. 10.1080/10643389.2019.1631990.

McIlgorm, A., Campbell, H. F., Rule, M. (2009): Understanding the economic benefits and costs of controlling marine debris in the APEC region (MRC 02/2007): A report to the Asia-Pacific Economic Cooperation Marine Resource Conservation Working Group by the National Marine Science Centre (University of New England and Southern Cross University), Coffs Harbour, NSW, Australia, December.

McIlgorm, A., Campbell, H. F., Rule, M. J. (2011): The economic cost and control of marine debris damage in the Asia-Pacific region. *Ocean & Coastal Management* 54, 643-651. 10.1016/j.ocecoaman.2011.05.007.

Meijer, L. J. J., van Emmerik, T., van der Ent, R., Schmidt, C., Lebreton, L. (2021): More Than 1000 Rivers Account for 80% of Global Riverine Plastic Emissions into the Ocean. *Sci. Adv.* 7 (18), eaaz5803. 10.1126/sciadv.aaz5803.

Menezes, M., Dias, J. D., Longo, G. O. (2022): Plastic debris decrease fish feeding pressure on tropical reefs. *Marine Pollution Bulletin* 185, 114330. 10.1016/j.marpolbul.2022.114330.

Naidoo, T., Glassom, D. (2019): Decreased growth and survival in small juvenile fish, after chronic exposure to environmentally relevant concentrations of microplastic. *Marine Pollution Bulletin* 145, 254-259. 10.1016/j.marpolbul.2019.02.037.

Napper, I. E., Thompson, R. C. (2020): Plastic Debris in the Marine Environment: History and Future Challenges. *Global challenges* (Hoboken, NJ) 4, 1900081. 10.1002/gch2.201900081.

Nielsen, T. D., Hasselbalch, J., Holmberg, K., Stripple, J. (2020): Politics and the plastic crisis: A review throughout the plastic life cycle. *WIREs Energy and Environment* 9, e360. 10.1002/wene.360.

OECD (2022): Global Plastics Outlook: Economic Drivers, Environmental Impacts and Policy Options. OECD Publishing, Paris. 10.1787/de747aef-en.

Okubo, N., Takahashi, S., Nakano, Y. (2018): Microplastics disturb the anthozoan-algae symbiotic relationship. *Marine Pollution Bulletin* 135, 83-89. 10.1016/j.marpolbul.2018.07.016.

Okubo, N., Tamura-Nakano, M., Watanabe, T. (2020): Experimental observation of microplastics invading the endoderm of anthozoan polyps. *Marine Environmental Research* 162, 105125. 10.1016/j.marenvres.2020.105125.

Parker, R. W., Blanchard, J. L., Gardner, C., Green, B. S., Hartmann, K., Tyedmers, P. H., Watson, R. A. (2018): Fuel use and greenhouse gas emissions of world fisheries. *Nature Climate Change*, 8(4), 333-337. 10.1038/s41558-018-0117-x.

Parton, K. J., Galloway, T., Godley, B. (2019): Global review of shark and ray entanglement in anthropogenic marine debris. *Endangered Species Research* 39. 10.3354/esr00964.

Pervez, R., Lai, Z. (2022): Spatio-temporal variations of litter on Qingdao tourist beaches in China. *Environmental Pollution* 303, 119060. 10.1016/j.envpol.2022.119060.

Pervez, R., Wang, Y., Mahmood, Q., Zahir, M., Jattak, Z. (2020): Abundance, type, and origin of litter on No. 1 Bathing Beach of Qingdao, China. *Journal of Coastal Conservation* 24, 34. 10.1007/s11852-020-00751-x.

Pervez, R., Wang Y., Jattak, Z., Zahir, M., Mahmood, Q. (2021): The distribution and composition of litter on the Aoshan Beach Qingdao, China. *Journal of Coastal Conservation* 25, 43. 10.1007/s11852-021-00831-6.

Petrossian, G. A. (2015): Preventing illegal, unreported and unregulated (IUU) fishing: A situational approach. *Biological Conservation*, 189, 39-48. 10.1016/j.biocon.2014.09.005.

Pikitch, E. K., Santora, C., Babcock, E. A., Bakun, A., Bonfil, R., Conover, D. O., Sainsbury, K. J. (2004): Ecosystem-based fishery management. *Science*, 305(5682), 346-347.

Poloczanska, E., Brown, C., Sydeman, W. et al. (2013): Global imprint of climate change on marine life. *Nature Clim Change* 3, 919-925. 10.1038/nclimate1958.

Poore, J., Nemecek, T. (2018): Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*, 360(6392), 987-992. 10.1126/science.aaq0216.

Proud, R., Handegard, N. O., Kloser, R. J., Cox, M. J., Brierley, A. S. (2019): From siphonophores to deep scattering layers: Uncertainty ranges for the estimation of global mesopelagic fish biomass. *ICES Journal of Marine Science*, 76(3), 718-733. 10.1093/icesjms/fsy037.

Pusceddu, A., Bianchelli, S., Mart ín, J., Puig, P., Palanques, A., Masqu é P., Danovaro, R. (2014): Chronic

and intensive bottom trawling impairs deep-sea biodiversity and ecosystem functioning. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(24), 8861-8866. 10.1073/pnas.1405454111.

Quinton, C. D., Kause, A., Koskela, J., Ritola, O. (2007): Breeding salmonids for feed efficiency in current fishmeal and future plant-based diet environments. *Genetics Selection Evolution* 39, 431. 10.1186/1297-9686-39-4-431.

Radisic, V., Nimje, P. S., Bienfait, A. M., Marath,e N. P. (2020): Marine Plastics from Norwegian West Coast Carry Potentially Virulent Fish Pathogens and Opportunistic Human Pathogens Harboring New Variants of Antibiotic Resistance Genes. *Microorganisms* 8081200. 10.3390/microorganisms8081200.

Rahman, A. Karim, M. (2015): Green shipbuilding and recycling: Issues and challenges. *International Journal of Environmental Science and Development* 6, 838. 10.7763/IJESD.2015.V6.709.

Rakib, M. R. J., Ertaş, A., Walker, T. R., Rule, M. J., Khandaker, M. U., Idris, A. M. (2022): Macro marine litter survey of sandy beaches along the Cox's Bazar Coast of Bay of Bengal, Bangladesh: Land-based sources of solid litter pollution. *Marine Pollution Bulletin* 174, 113246. 10.1016/j.marpolbul.2021.113246

Reverter, M., Bontemps, N., Lecchini, D., Banaigs, B., Sasal, P. (2014): Use of plant extracts in fish aquaculture as an alternative to chemotherapy: Current status and future perspectives. *Aquaculture* 433, 50-61

Richardson K, Hardesty BD, Wilcox C (2019): Estimates of fishing gear loss rates at a global scale: A literature review and meta-analysis. *Fish and Fisheries* 20, 1218-1231. 10.1016/j.aquaculture.2014.05.048.

Rogelj, J., Geden, O., Cowie, A., Reisinger, A. (2021): Three ways to improve net-zero emissions targets. *Nature*, 591, 365-368. 10.1038/d41586-021-00662-3.

Romeo, T., Pietro, B., Ped à C., Consoli, P., Andaloro, F., Fossi, M. C. (2015): First evidence of presence of plastic debris in stomach of large pelagic fish in the Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin* 95, 358-361. 10.1016/j.marpolbul.2015.04.048.

Rosentreter, J. A., Al-Haj, A. N., Fulweiler, R. W., Williamson, P. (2021): Methane and Nitrous Oxide Emissions Complicate Coastal Blue Carbon Assessments. *Global Biogeochemical Cycles*, 35(2), e2020GB006858. 10.1029/2020GB006858.

Sala, E., Mayorga, J., Bradley, D., Cabral, R. B., Atwood, T. B., Auber, A., et. al. (2021): Protecting the global ocean for biodiversity, food and climate. *Nature*, 592(7854), 397-402. 10.1038/s41586-021-03371-z.

Schr öder, P. (2020): Promoting a just transition to an inclusive circular economy. Chatham House. United Kingdom. <https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/2020-04-01-inclusive-circular-economy-schroder.pdf>.

Schuyler, Q. A., Wilcox, C., Townsend, K. A., Wedemeyer-Strombel, K. R., Balazs, G., van Sebille, E., Hardesty, B. D. (2016): Risk analysis reveals global hotspots for marine debris ingestion by sea turtles. *Global Change Biology* 22, 567-76. 10.1111/gcb.13078.

Scroggins, R. E., Fry, J. P., Brown, M. T., Neff, R. A., Asche, F., Anderson, J. L., Love, D. C. (2022): Renewable energy in fisheries and aquaculture: Case studies from the United States. *Journal of Cleaner Production*, 376, 134153. 10.1016/j.jclepro.2022.134153.

Sharma, S., Sharma, V., Chatterjee, S. 2023. Contribution of plastic and microplastic to global climate change and their conjoining impacts on the environment - A review. *Science of The Total Environment*. Vol. 875. 10.1016/j.scitotenv.2023.162627.

Silva, A. L. P., Prata, J. C., Duarte, A. C., Soares, A. M. V. M., Barcel ó D., Rocha-Santos, T. (2021): Microplastics in landfill leachates: The need for reconnaissance studies and remediation technologies. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering* 3, 100072. 10.1016/j.cscee.2020.100072.

Skirtun, M., Sandra, M., Strietman, W. J., van den Burg, S. W. K., De Raedemaeker, F., Devriese, L. I. (2022): Plastic pollution pathways from marine aquaculture practices and potential solutions for the North-East Atlantic region. *Marine Pollution Bulletin* 174, 113178. 10.1016/j.marpolbul.2021.113178.

Smale, D. A., Moore, P. J., Queir ós, A. M., Higgs, S., Burrows, M. T. (2018): Appreciating interconnectivity between habitats is key to blue carbon management. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 16(2), 71-73. 10.1002/fee.1765.

Stenger, K. S., Wikmark, O. G., Bezuidenhout, C. C., Molale-Tom, L. G. (2021): Microplastics pollution in the ocean: Potential carrier of resistant bacteria and resistance genes. *Environmental Pollution* 291, 118130. 10.1016/j.envpol.2021.118130.

Stern, D. I., Pezzey, J. C. V., Lambie, N. R. (2012): Where in the world is it cheapest to cut carbon emissions?*. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 56(3), 315–331. 10.1111/j.1467-8489.2011.00576.x.

Stief, P., Schramm, A. (2010): Regulation of nitrous oxide emission associated with benthic invertebrates.

Freshwater Biology, 55(8), 1647-1657. 10.1111/j.1365-2427.2010.02398.x.

Su, Y., Zhang, K., Zhou, Z., Wang, J., Yang, X., Tang, J., Li, H., Lin, S. (2020): Microplastic exposure represses the growth of endosymbiotic dinoflagellate *Cladocopium goreau* in culture through affecting its apoptosis and metabolism. *Chemosphere* 244, 125485. 10.1016/j.chemosphere.2019.125485.

Sussarellu, R., Suquet, M., Thomas, Y., Lambert, C., Fabioux, C., Pernet, M. E., Le Goïc, N., Quillien, V., Mingant, C., Epelboin, Y., Corporeau, C., Guyomarch, J., Robbins, J., Paul-Pont, J., Soudant, P., Huvet, A. (2016): Oyster reproduction is affected by exposure to polystyrene microplastics. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 113, 2430-5. 10.1073/pnas.1519019113.

Suyadi, Manullang, C. Y. (2020): Distribution of plastic debris pollution and its implications on mangrove vegetation. *Marine Pollution Bulletin* 160, 111642. 10.1016/j.marpolbul.2020.111642.

Tang, Q., Zhang, J., Fang, J. (2011): Shellfish and seaweed mariculture increase atmospheric CO₂ absorption by coastal ecosystems. *Marine Ecology Progress Series*, 424, 97-104. 10.3354/meps08979.

Tekman, M. B., Walther, B. A., Peter, C., Gutow, L., Bergmann, M. 2022: Impacts of plastic pollution in the oceans on marine species, biodiversity and ecosystems, WWF Germany, Berlin. 10.5281/zenodo.5898684.

Thomas, C., Sharp, V. (2013): Understanding the normalisation of recycling behaviour and its implications for other pro-environmental behaviours: A review of social norms and recycling. *Resources, Conservation and Recycling* 79, 11-20. 10.1016/j.resconrec.2013.04.010.

Tian, Y., Yang, Z., Yu, X., Jia, Z., Rosso, M., Dedman, S., Zhu, J., Xia, Y., Zhang, G., Yang, J., Wang, J. (2022): Can we quantify the aquatic environmental plastic load from aquaculture? *Water Research* 219, 118551. 10.1016/j.watres.2022.118551.

Trebilco, R., Melbourne-Thomas, J., Constable, A. J. (2020): The policy relevance of Southern Ocean food web structure: Implications of food web change for fisheries, conservation and carbon sequestration. *Marine Policy*, 115, 103832. 10.1016/j.marpol.2020.103832.

Tudor, D. T., Williams, A. (2006): A rationale for beach selection by the public on the coast of Wales, UK. *Area* 38, 153-164. 10.1111/j.1475-4762.2006.00684.x

UNCTAD (2021): Advancing the potential of sustainable ocean-based economies: trade trends, market drivers and market access. Retrieved January 19, 2023, from <https://unctad.org/webflyer/advancing-potential-sustainable-ocean-based-economies-trade-trendsmarket-drivers-and>

UNCTADSTAT (2021): Maritime Profile China. General information for 2021. Generation date: 20 October 2022. <https://unctadstat.unctad.org/CountryProfile/MaritimeProfile/en-GB/156/index.html>.

UNEP (2021a): Addressing Single-use Plastic Products Pollution Using a Life Cycle Approach, Nairobi. <https://www.unep.org/resources/publication/addressing-single-use-plastic-products-pollution-using-life-cycle-approach>.

UNEP (2022): Intergovernmental negotiating committee to develop an international legally binding instrument on plastic pollution, including in the marine environment First session. UNEP

UNEP 2021b: From Pollution to Solution: A Global Assessment of Marine Litter and Plastic Pollution, Nairobi. <https://www.unep.org/resources/pollution-solution-global-assessment-marine-litter-and-plastic-pollution>

UNFCCC. (2022): Dimensions and examples of the gender-differentiated impacts of climate change, the role of women as agents of change and opportunities for women, FCCC/SBI/2022/7 (01 Jun 2022), available from . SBI/2022/7 (01 Jun 2022), available from <https://unfccc.int/documents/494455>.

van Bijsterveldt, C. E. J., van Wesenbeeck, B. K., Ramadhani, S., Raven, O. V., van Gool, F. E., Pribadi, R., Bouma, T. J. (2021): Does plastic waste kill mangroves? A field experiment to assess the impact of macroplastics on mangrove growth, stress response and survival. *Science of The Total Environment* 756, 143826. 10.1016/j.scitotenv.2020.143826.

van Sebille, E., Spathi C., Gilbert, A. (2016): The ocean plastic pollution challenge: towards solutions in the UK.(Imperial College London, Grantham Institute.

Viana, M., Hammingh, P., Colette, A., Querol, X., Degraeuwe, B., de Vlieger, I., van Aardenne, J. (2014): Impact of maritime transport emissions on coastal air quality in Europe. *Atmospheric Environment* 90, 96-105. 10.1016/j.atmosenv.2014.03.046.

Waldo, S., Ellefsen, H., Flaaten, O., Hallgrímsson, J., Hammarlund, C., Hermansen, Ø., Isaksen, J. R., Jensen, F., Lindroos, M., Ngoc Duy, N., Nielsen, M., Paulrud, A., Salenius, F., Schütt, D. (2014): Reducing climate impact from fisheries: A study of fisheries management and fuel tax concessions in the Nordic countries. (p. 166 pp.). Nordic Council of Ministers. 10.6027/TN2014-533.

Walkinshaw, C., Tolhurst, T. J., Lindeque, P. K., Thompson, R., Cole, M. (2022): Detection and

characterisation of microplastics and microfibrils in fishmeal and soybean meal. *Marine Pollution Bulletin* 185, 114189. 10.1016/j.marpolbul.2022.114189.

Wang, C., Corbett, J., Firestone, J. (2008): Improving spatial representation of global ship emissions inventories. *Environ. Sci. Technol.* 42, 193-199. 10.1021/es0700799.

Watkins, E., Gionfra, S., Schweitzer, J-P., Pantzar, M., Janssens, C., ten Brink, P. 2017: EPR in the EU Plastics Strategy and the Circular Economy: A focus on plastic packaging. https://zerowasteurope.eu/wp-content/uploads/2019/11/zero_waste_europe_IEEP_EEB_report_epr_and_plastics.pdf.

Watson, A. J., Schuster, U., Shutler, J. D., Holding, T., Ashton, I. G. C., Landschützer, P., Woolf, D. K., Goddijn-Murphy, L. (2020): Revised estimates of ocean-atmosphere CO₂ flux are consistent with ocean carbon inventory. *Nature Communications*, 11(1), 4422. 10.1038/s41467-020-18203-3.

Wei, J. (2021): Value and Heterogeneity: Using a Choice Experiment to Evaluate the Coastal Recreational Environment. *Journal of Resources and Ecology* 12, 80-90.

Welden, N. A. (2020): Chapter 8 - The environmental impacts of plastic pollution. In: Letcher TM (Editor), *Plastic Waste and Recycling*. Academic Press, pp. 195-222.

Widjaja, S., Long, T., Wirajuda, H. (2020): Illegal, unreported and unregulated fishing and associated drivers. High Level Panel for a Sustainable Ocean Economy.

Wieczorek, A. M., Croot, P. L., Lombard, F., Sheahan, J. N., Doyle, T. K. (2019): Microplastic Ingestion by Gelatinous Zooplankton May Lower Efficiency of the Biological Pump. *Environmental Science & Technology* 53, 5387-5395. 10.1021/acs.est.8b07174.

Wilcox, C., Heathcote, G., Goldberg, J., Gunn, R., Peel, D., Hardesty, B. D. (2015): Understanding the sources and effects of abandoned, lost, and discarded fishing gear on marine turtles in northern Australia. *Conservation Biology* 29, 198-206. 10.1111/cobi.12355.

Wilson, R. W., Millero, F. J., Taylor, J. R., Walsh, P. J., Christensen, V., Jennings, S., Grosell, M. (2009): Contribution of Fish to the Marine Inorganic Carbon Cycle. *Science*, 323(5912), 359-362. 10.1126/science.11579.

Winther, J. G., Dai, M., Douvère, F., Fernandes, L., Halpin, P., Hoel, A. H., . & Whitehouse, S. (2020): Integrated ocean management. High Level Panel for a Sustainable Ocean Economy.

World Bank and United Nations Department of Economic and Social Affairs. (2017): *The Potential of the Blue Economy: Increasing Long-term Benefits of the Sustainable Use of Marine Resources for Small Island Developing States and Coastal Least Developed Countries*. World Bank, Washington DC.

Wu, H-H. (2022): A study on transnational regulatory governance for marine plastic debris: Trends, challenges, and prospect. *Marine Policy* 136, 103988. 10.1016/j.marpol.2020.103988.

Wuwung, L., Croft, F., Benzaken, D., Azmi, K., Goodman, C., Rambourg, C., Voyer, M. (2022): Global blue economy governance – A methodological approach to investigating blue economy implementation. *Front. Mar. Sci.* 9:1043881. 10.3389/fmars.2022.1043881.

Xia, B., Cui, Y., Chen, B., Cui, Z., Qu, K., Ma, F. (2014): 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*, 33, 48-57. 10.1007/s13131-014-0574-7.

Xiong, M., Wu, Z., Tang, Y., Shen, H. (2022): Characteristics of Small-Scale Coastal Fisheries in China and Suggested Improvements in Management Strategies: A Case Study From Shengsi County. *Frontiers in Marine Science*, 920. 10.3389/fmars.2022.811382.

Xu, C., Su, G., Zhao, K., Xu, X., Li, Z., Hu, Q., Xue, Y., Xu, J. (2022): Current status of greenhouse gas emissions from aquaculture in China. *Water Biology and Security*, 1(3), 100041. 10.1016/j.watbs.2022.100041.

Xue, X., Hong, H., Charles, A. T. (2004): Cumulative environmental impacts and integrated coastal management: the case of Xiamen, China. *Journal of Environmental Management*, 71(3), 271-283. 10.1016/j.jenvman.2004.03.006.

Yu, X., Du, H., Huang, Y., Yin, X., Liu, Y., Li, Y., Liu, H., Wang, X. (2022): Selective adsorption of antibiotics on aged microplastics originating from mariculture benefits the colonization of opportunistic pathogenic bacteria. *Environmental Pollution* 313, 120157. 10.1016/j.envpol.2022.120157.

Zhang, J., Fang, J., Wang, W., Du, M., Gao, Y., Zhang, M. (2012): Growth and loss of mariculture kelp *Saccharina japonica* in Sungo Bay, China. *Journal of Applied Phycology*, 24, 1209-1216. 10.1007/s10811-011-9762-4.

Zhang, Z., Wu, H., Peng, G., Xu, P., Li, D. (2020): Coastal ocean dynamics reduce the export of microplastics to the open ocean, *Science of the Total Environment*, 713: 136634. 10.1016/j.scitotenv.2020.136634.

Zhao, L., Pan, T., Wang, Y., Cai, Y. (2022): Current status and hotspot analysis of marine litter research

based on bibliometric approach. *Transactions of oceanology and limnology* 44, 149-156.

Zhao, S., Wang, T., Zhu, L., Xu, P. & Wang, X., Gao, L., Li, D. (2019): Analysis of suspended microplastics in the Changjiang Estuary: Implications for riverine plastic load to the ocean. *Water Research*. 161. 10.1016/j.watres.2019.06.019.

Zhao, X., Jia, P. (2020): Towards sustainable small-scale fisheries in China: a case study of Hainan. *Marine Policy*, 121, 103935. 10.1016/j.marpol.2020.103935.

Zheng, X., Sun, R., Dai, Z., He, L., Li, C. (2023): Distribution and risk assessment of microplastics in typical ecosystems in the South China Sea. *Sci Total Environ*. 10.1016/j.scitotenv.2023.163678.

Zhou, A., Zhang, Y., Xie, S., Chen, Y., Li, X., Wang, J., Zou, J. (2021): Microplastics and their potential effects on the aquaculture systems: a critical review. *Reviews in Aquaculture* 13, 719-733. 10.1111/raq.12496.

Ziegler, F., Hornborg, S. (2014): Stock size matters more than vessel size: The fuel efficiency of Swedish demersal trawl fisheries 2002–2010. *Marine Policy*, 44, 72–81. [10.1016/j.marpol.2013.06.015](https://doi.org/10.1016/j.marpol.2013.06.015).

陈琦, 胡求光, 2021. 洋生态保护制度的演进逻辑、互补需求及改革路径. *中国人口 资源与环境*, 31 (02) : 174-182.

蒋增杰, 方建光, 毛玉泽等, 2022. 食性贝类养殖碳汇功能研究进展及未来值得关注的科学问题. *渔业科学进展*, 43 (05) : 106-114.

刘毅, 张继红, 房景辉等, 2017. 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*, 38 (06) : 1-8.

汤俊超, 吴宜文, 张姚等, 2022. “光伏+农业”产业的发展模式. *中国农学通报*, 38 (11) : 144-152.

唐启升, 蒋增杰, 毛玉泽, 2022. 碳汇与碳汇渔业定义及其相关问题的辨析. *渔业科学进展*, 43 (05) : 1-7.

王刚, 宋锴业, 2021. 综合管理推进何以重塑?——基于海洋执法机构整合阻滞的组织学分析. *中国行政管理*, 434 (08) : 40-48.

张继红, 刘纪化, 张永雨, 李刚, 2021. 养殖践行“海洋负排放”的途径. *中国科学院院刊*, 36 (03) : 252-258.

张继红, 刘毅, 吴文广, 王新萌, 仲毅(2022). 海洋渔业碳汇项目方法学探究. *渔业科学进展*, 43 (05), 151-159.

张永雨, 张继红, 梁彦韬, 李鸿妹, 李刚, 陈晓, 赵鹏, 蒋增杰, 邹定辉, 刘晓勇 (2017): 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*, (12),1414-1424.

6. 缩略词清单

ABMT: Area-based management tools
ABNJ. Areas beyond national jurisdiction
BBNJ: biological diversity in areas beyond national jurisdiction
BRI: Belt and Road Initiative
CBD: the Convention on Biological Diversity
CCICED: China Council for International Cooperation on Environment and Development
CCS/CCUS: Carbon Capture and Storage/Carbon Capture, Utilisation and Storage
CDR: carbon dioxide removal
CPUE: catch per unit of fishing effort
EBFM: Ecosystem-Based Fishery Management
EDF: Environmental Defense Fund
EIA: Environmental Impact Assessment
EMFAF: European Maritime, Fisheries and Aquaculture Fund
EMFF: European Maritime and Fisheries Fund
FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations
GDP: Gross Domestic Product
GHG: Greenhouse Gas
IGC: Intergovernmental Conference
IMO: International Maritime Organisation
IOM: Integrated Ocean Management
IUU: Illegal, unreported, and unregulated
MCS: monitoring, control, and surveillance
MEY: maximum economic yield
MGR: Marine genetic resources
MPA: Marine Protected Area
MSY: maximum sustainable yield
NDC: Nationally determined contributions
NGO: Non-governmental organisations
NRDC: Natural Resources Defense Council
OECD: Organisation for Economic Co-operation and Development
PSMA: Port State Measures Agreement
RAS: Recirculating Aquaculture Systems
RDOC: recalcitrant dissolved organic carbon
RFMO/A: Regional fisheries management organizations or arrangements
SBE: Sustainable Blue Economy
SDG: Sustainable Development Goals
SFF: Small-scale fisheries
TAC: Total Allowable Catch
UN: United Nation
UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change
WTO: World Trade Organisation