海洋生物多样性保护协同应对气候变化研究进展与治理展望

林瑞娟[1,2]，姜玉环[1]，陈凤桂[1]，谭红建[1]，张继伟[1]

（1.自然资源部第三海洋研究所　厦门　361005；2.APEC 海洋可持续发展中心　厦门　361005）

摘要：气候变化和海洋生物多样性丧失是相互联系的两大全球性危机，应对气候变化与海洋生物多样性保护协同增效的路径、方法与政策等相关问题越来越成为当前国际社会关注的焦点和科学研究的热点议题。为系统了解国际上该领域相关研究总体进展与实践发展趋势，文章从海洋生物多样性保护协同应对气候变化相关的基本概念内涵和政策导向出发，总结分析了该领域研究方向、内容框架和发展趋势。在此基础上，从目标、过程、对象和主体等要素和结构维度提出了海洋生物多样性保护与应对气候变化协同治理的概念性框架，进一步聚焦多领域目标协同、跨系统过程协同、跨区域综合协同和多主体共治协同 4 个基本维度，展望未来推进海洋生物多样性保护与气候变化应对协同治理体系和治理能力发展完善的具体路径。

关键词：气候变化；海洋生物多样性保护；基于海洋的气候行动；协同治理；适应性治理

中图分类号：P76；X22　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1005－9857(2024)09－0099－13

Research Progress and Governance Prospect of Marine Biodiversity Conservation Synergistic Response to Climate Change

LIN Ruijuan[1,2], JIANG Yuhuan [1], CHEN Fenggui[1], TAN Hongjian [1], ZHANG Jiwei[1]

(1.Third Institute of Oceanography, MNR, Xiamen 361005, China;
(2. APEC Marine Sustainable Development Center, Xiamen 361005, China)

Abstract: Climate change and loss of marine biodiversity are the two interrelated global crises. The paths, methods and policies of the synergies between them have attracted the increasing attention of the international community and have become a hot topic of current scientific research. This study aims at promoting a systematic understanding of the international research progress and frontier trends in this field. Firstly, this paper starts from the key concepts and policy orientation of marine biodiversity protection in response to climate change, and further summarizes the overall research progress, content framework and development trend in this field. On this ba-

收稿日期：2024-02-26；**修订日期**：2024-08-27

基金项目：国家社科基金一般项目“应对气候变化与海洋生物多样性保护协同治理机制研究”(22BGL185).

作者简介：林瑞娟，助理研究员，硕士，研究方向为海洋可持续发展与国际合作

通信作者：姜玉环，副研究员，博士，研究方向为海洋政策与管理

sis, the conceptual framework of synergistic governance of marine biodiversity protection and climate change response is put forward from the dimensions of factors (such as objectives, processes, objects and subjects) and structure. Furthermore, this paper focuses on the synergy of four basic elements: multi-domain objectives, cross-system processes, cross-regional integration and multi-stakeholder co-governance, and looks forward to the practical pathway to promote the development and improvement of the synergistic governance system and capacity for marine biodiversity protection in response to climate change in the future.

Keywords: Climate change, Marine biodiversity conservation, Ocean-based climate actions, Synergistic governance, Adaptive governance

0 引言

气候变化和生物多样性丧失是两重相互关联的全球性危机,也是人类可持续发展面临的两大挑战[1]。海洋作为地球上最大的碳库和拥有最丰富生物多样性的系统,在全球气候变化和碳循环过程中发挥着基础性的作用。气候变化不仅导致海洋生物多样性丧失、生态系统退化风险增加,影响海洋生态系统服务和功能,还将对沿海及其他地区产生广泛而深远的社会经济影响[2],威胁人类健康、民生福祉及可持续发展目标实现。随着地球历史进入新的人类世(anthropocene)阶段,海洋生态系统及生物多样性面临的气候变化和人类活动共同影响及风险日益加剧[3],非气候驱动因素及其与气候因素越来越多的相互作用将对海洋生物多样性保护带来更加复杂和难以管理的复合影响和综合风险[4]。保护、恢复和可持续管理海洋生态系统及其生物多样性具有减缓和适应气候变化影响及风险的双重价值,还会产生额外的多重社会经济效益,增进人类健康和生计福祉。海洋生物多样性保护和气候变化应对的协同增效符合海洋和气候动态变化的开放情景,对于缓解两大危机、支持可持续发展具有重要意义。基于海洋生物多样性保护与气候变化应对协同的相关理论、方法、策略和路径等正迅速成为气候变化和海洋环境科学及跨领域研究与实践的热点方向。

国际上针对基于海洋的气候减缓和适应相关理论和方法学研究持续深化,不断为气候恢复力发展路径下海洋生物多样性保护的综合研究与应用实践提供科学基础、方法工具和数据支持。近年来,各国积极探索基于海洋生物多样性保护的综合性方法以协同应对气候变化影响及风险。我国自2020 年"双碳"战略提出以来,陆续出台了一系列战略性政策举措,生态环境部、国家发展和改革委员会、科学技术部等 17 部门 2022 年 5 月联合印发的《国家适应气候变化战略 2035》从战略高度确立了协同适应、联动共治等适应气候变化工作的基本原则,2023 年 12 月《中共中央 国务院关于全面推进美丽中国建设的意见》将应对气候变化与生态保护相关工作的统筹协调纳入全面推进美丽中国建设的总体要求,生态环境部 2024 年 1 月发布的《中国生物多样性保护战略与行动计划(2023—2030 年)》明确了气候行动与生物多样性保护协同治理作为我国新时期生物多样性保护的优先行动方向。面对不断变化的全球海洋生物多样性和气候治理形势及挑战,已有研究从环境科学、生态学、管理学、法学和经济学等多学科视角,聚焦气候变化影响及响应、海洋生物多样性保护应对气候变化的技术方法、规划和管理,以及成效评估与能力建设等方面,开展具有现实意义和前瞻性的理论方法与应用技术相关基础研究和实践探索,并从研究方向、技术需求和管理要求等方面提出未来发展完善的对策建议。总体而言,已有研究视角广泛、研究内容各有侧重、不同主题相互交叉,充分体现了气候变化应对与海洋生物多样性保护协同问题的独特研究价值和重要实践意义。为此,本文结合基于海洋的气候行动领域相关政策导向,对气候变化背景下海洋生物多样性保护问题研究进展进行梳理总结,聚焦协同视角下海洋生物多样性保护应对气候变化

的作用机制、路径方法、政策框架和技术能力等方面研究要点及发展趋势，并进一步展望未来海洋生物多样性保护与应对气候变化协同治理的前景，为推动该领域研究的系统和深化发展，以及实现基于海洋的气候恢复力及可持续发展提供思路参考。

1　基本概念与内涵解析

全球气候治理框架下的科学评估进程在推动基于海洋或与海洋相关气候行动领域的研究发展与政策议程方面发挥着先锋作用。2019 年联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）发布的《气候变化中的海洋和冰冻圈特别报告》提出了沿海地区应对气候变化的恢复力和可持续发展路径，并整合了气候减缓和适应方法。此后，基于海洋的减缓和适应措施或行动在应对气候变化中的作用和潜力受到的关注显著提升。2021 年 11 月《联合国气候变化框架公约》（UNFCCC）第 26 次缔约方会议达成的《格拉斯哥气候协议》正式将基于海洋的气候行动纳入 UNFCCC 多边进程中，为应对气候和海洋生物多样性危机的协同行动提供了前所未有的国际政治共识和助推力。

1.1　基于海洋的气候行动

基于海洋的气候行动（或气候变化解决方案）旨在减少或避免温室气体排放、隔离温室气体排放、并支持海洋和沿海地区适应气候变化的相关目标、政策或措施，涉及海洋能源、海上运输、海洋保护、海岸带管理、渔业、水产养殖和海洋旅游业等部门[5]。国际上采取的基于海洋的气候行动包括基于海洋的减缓和基于海洋的适应及其治理途径（表 1）。

表 1　基于海洋的气候行动相关概念及内涵

Table 1　Concepts and connotations of ocean-based climate action

类型	具体方式	相关应用语境及内涵
基于海洋的减缓	基于蓝碳生态系统保护的减缓方案	通过保护、恢复和可持续管理红树林、盐沼湿地和海草床等蓝碳生态系统，避免生态系统退化造成的碳排放，并增加碳吸收和保护碳储存
	基于海洋产业的碳减排措施	海洋渔业：养护渔业资源并可持续管理，使鱼类种群恢复健康，提升海洋生态系统韧性 海上运输：减少温室气体排放，保护海洋环境 海洋新能源：海洋可再生能源的合理选址和空间规划对保护海洋资源非常重要
	基于海洋的负排放技术	海洋施肥、海洋碱化、生物质能－碳捕集与碳封存、人工上升流等负排放方法对海洋环境和生态系统服务具有潜在的诸如加剧海洋酸化和碳排放的直接或间接影响[6-7]
基于海洋的适应	基于自然或生态系统的适应（EbA）	通过保护、恢复和可持续管理生态系统，如海洋保护区和生态廊道网络建设、海洋生态保护与修复等，提升生物多样性和生态系统服务，促使人类适应气候变化的影响
	基于人类系统－环境适应方案	基于社区的适应：建立社会－生态系统韧性，以提升适应能力 生态工程建设：如生态海岸带和防灾减灾基础设施、气候适应型城市建设等 渔业和养殖适应途径：开展脆弱性评估、完善生态系统指标监测和管理评估、管控过度捕捞、完善跨界渔业适应性管理、建立保护区等提升适应能力的措施 基于自然的滨海旅游：通过海洋空间规划、有效管控非气候人为因素等，支持旅游业适应性，减缓生态系统退化和损失的不利影响
	基于人类系统－社会制度的适应对策	政策适应：加强政策执行和协调措施、促进可持续发展政策主流化、加强能力建设，以改善生态系统韧性等 风险管理：考虑社会系统复杂过程，加强观测评估和预测，提升应对气候变化能力 完善海岸带综合管理和海洋保护区规划及系统性保护规划等

来源：作者在 2019 年 IPCC《气候变化中的海洋和冰冻圈特别报告》及相关文献基础上整理形成。

1.1.1　基于海洋的气候减缓措施

广义的基于海洋的减缓包括海洋负排放技术、海洋和海岸带生态系统保护措施和海洋产业碳减排措施 3 个主要方面，旨在减少或封存和储存碳排

放以限制全球变暖和实现《巴黎协定》目标。其中，与海洋生物多样性保护直接相关的基于海洋和海岸带蓝碳生态系统保护的减缓措施具有固碳和增汇两方面基本功能。如，包括红树林、盐沼湿地和海草床在内的蓝碳生态系统全球覆盖面积不到0.5%，但每公顷封存的碳储量是陆地森林的2～4倍[8]。生态系统退化的驱动因素包括但不限于沿海开发和基础设施建设、水产养殖和破坏性捕捞等。在人为活动干扰下，滨海湿地逐年退化或消失，同时还会将其长期储存的碳排放到大气中，形成碳源。因此，保护、恢复并可持续地管理蓝碳生态系统对于避免生态系统退化造成的碳排放，并巩固提升固碳增汇能力具有重要意义。研究估计，加强滨海湿地的保护和恢复每年能够吸收、储存和减少0.2亿～6.5亿 tCO_2 当量的排放[9]。基于海洋产业碳减排的减缓措施，主要涉及海洋渔业、海上运输和海洋新能源等行业，海洋渔业资源可持续管理、海上航行活动中减排技术和措施的有效应用，以及海洋可再生能源的合理规划开发，对于海洋资源养护和生态环境保护同样具有重要意义。基于海洋的负排放技术（ONETs）是通过对海洋自然过程的人为干预，改变海洋的物理和生物地球化学性质，加强海洋中的碳封存和储存，进而实现减缓气候变化的目的[10]。除了基于蓝碳生态系统的减缓方法，各类负排放技术对海洋环境状况和生态系统服务的直接、间接影响仍具有较大认知差异和不确定性。

1.1.2 基于海洋的气候适应措施

适应是指自然和人类社会对气候变化的影响作出的调整，旨在减缓或避免不利影响，以地方性措施为主。除了海洋自然生态系统自发的适应，人类社会的适应性响应措施包括风险评估、风险降低和获得恢复力的途径等组成要素，国际上采取的基于海洋的适应方法主要分为基于自然或生态系统的适应、基于人类系统－环境适应、基于人类系统－社会制度适应对策等类别。已有评估认为，基于自然或生态系统的适应措施具有支持生态系统韧性和增加生物多样性等益处[11]。海洋生态系统及生物多样性同时面临着其他非气候人为驱动因素的干扰或影响，包括不断增长的沿海人口、城镇化发展、土地利用变化、生态系统损失、沿海社区社会经济脆弱性、治理低效和知识差距等，旨在增加生态系统服务和生物多样性气候适应性的行动具体包括：减少额外的压力或干扰，减少碎片化，增加自然栖息地范围、连通性和多样性等。基于人类系统－环境适应方案包括基于社区的适应和基础设施建设措施，有助于提升沿海社区和部门适应气候变化的能力。基于人类系统－社会制度适应对策，通过有效的治理措施促进沿海生态系统的可持续开发利用和保护，综合管理生态系统和沿海部门多种气候和非气候驱动因素间的相互作用，并通过设定适当的优先保护事项来保护生物多样性[12]。

1.2 海洋生物多样性保护协同应对气候变化

气候、海洋生物多样性和人类社会是相互依存的复杂系统[13]，气候变化是海洋生物多样性丧失的最主要驱动因素，其直接和间接影响作用在物理、生态、社会、经济、治理等多个维度。随着全球气候变化的加剧和人类活动的叠加影响，损失和损害将会增加，更多的人类和自然系统将达到适应极限，未来海洋生态系统和海岸带社区将面临更高的气候变化风险和不确定性。自IPCC第三次评估报告明确提出“协同效应”概念以来，人们对气候变化与海洋生态系统及生物多样性之间相互关系的科学认识不断提升。基于海洋、生物多样性和气候相关国际规制和全球目标框架协同增效的行动方案在应对气候变化中的作用和潜力得到各界广泛认可[14－15]。国际上越来越强调以可持续发展目标为导向将海洋生物多样性保护和气候变化应对整合纳入社会－生态系统内寻求变革性解决方案[16]。在此背景下，以系统性和综合性思维，准确把握气候变化与海洋生物多样性的相互联系、作用方式和影响因素等是阐释海洋生物多样性保护与应对气候变化之间协同特征，并寻求有效解决方案的前提和关键。而针对当前减缓和适应措施存在的软硬限制，亟须克服科学认知、技术水平、经济成本和社会制度等方面约束条件，统筹跨部门、跨系统和跨尺度的气候行动，体现公平、包容和适应性的协同治理成为综合性气候解决方案的内在要求。

鉴于此，本文中“海洋生物多样性保护协同应对气候变化”的基本内涵是指，基于对气候变化与海洋生物多样性相互作用关系的科学认识，通过海洋生物多样性保护、恢复和可持续利用及管理措施，提升海洋社会－生态系统减缓和适应气候变化及其综合治理的能力和水平，维护海洋生态系统功能和服务、进而实现具有气候恢复力的可持续发展的相关原则、目标、方法、政策和机制。

2　研究进展和趋势分析

2.1　研究方向与内容框架

气候变化下海洋生物多样性保护问题是目前海洋－生物多样性－气候跨领域研究和国际治理进程中的热点议题。随着相关国际政策议程之间互动关系的深化，海洋生物多样性保护应对气候变化领域的研究视角从关注气候变化的单向影响及响应发展为更加重视二者的相互作用及协同治理问题。研究内容从关注海洋保护区和典型生态系统变化等自然科学问题，逐渐演变为关注气候变化风险和影响及人类活动复合影响下生态系统脆弱性与恢复力（或韧性）、减缓和适应气候变化的自然与社会科学交叉融合研究。研究领域以海洋生物多样性保护和气候变化这两大主题为核心向多个方向发散，主要涵盖以下相互交叉关联的 4 个方面：①气候变化对海洋生物多样性的影响及其响应研究和趋势预测。气候变化对物种、群落结构和生态系统的影响是海洋生物多样性保护研究的逻辑起点，对海洋生态系统响应气候变化的机理、模式、影响因素和脆弱性等方面的监测评估和预测为生物多样性有效保护和恢复提供研究基础和方法支撑。②海洋生物多样性保护和恢复应对气候变化的技术方法体系研究。开展蓝碳生态系统保护恢复、典型生态系统适应性及修复[17]、渔业资源养护和海洋保护区[18]等减缓和适应气候变化的机制和方法支撑体系构建[19]研究，以及地方典型实践做法的作用和潜力评估分析。③基于海洋生态系统的适应性规划、管理和治理研究。关注气候变化背景下海洋空间规划、适应性管理和海洋治理框架面临的协同性挑战和发展前景[20－21]。④海洋生物多样性保护措施应对气候变化的成效、影响因素和能力建设研究。通过定性和定量方法评估不同情景或规模下海洋生物多样性保护应对气候变化的政策或措施有效性、影响因素或限制条件，为改进不同层面的治理水平提供能力建设方面的有益见解。

从海洋生物多样性保护协同应对气候变化研究框架（图 1）的整合性视角来看，对气候变化影响和风险下海洋生物多样性响应、脆弱性、恢复力、适应性等内容的研究日益深化和不断拓展，为深入了解气候变化应对与海洋生物多样性保护这一复杂系统的结构、过程和机制，进而为社会－生态系统下二者协同问题的融合研究提供了科学基础和原则指导，路径、方法和机制等协同治理要素是政策分析及管理实践研究的重要出口，为保护海洋生物多样性以促进气候恢复力发展和实现可持续发展目标提供重要手段和支撑。

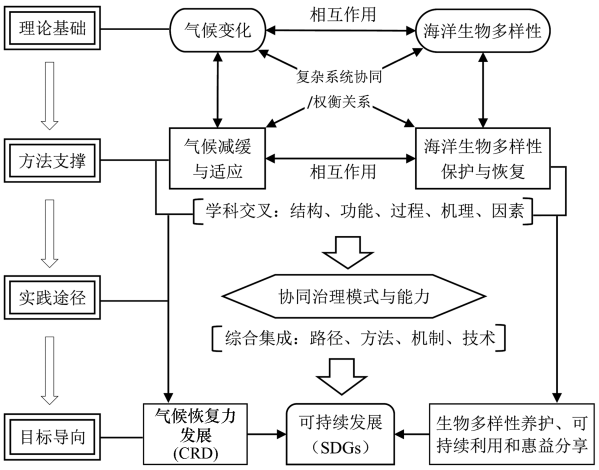

图 1　海洋生物多样性保护协同应对气候变化研究框架

Fig. 1　Research framework of marine biodiversity protection synergistic response to climate change

2.2　主要领域研究趋势

2.2.1　气候变化与海洋生物多样性及其保护的相互关系

对气候变化下海洋生物多样性保护的协同应对问题研究建立在关于气候变化与海洋生物多样性及其保护相互作用的科学基础之上。2013 年 IPCC 第五次评估以来，关于气候变化与海洋生物多样性相互关系的科学认识显著提升，气候变化导致的海水升温、海平面上升、海洋酸化、海洋缺氧等一系列环境改变对珊瑚礁[22]、红树林和海草床[23]

等典型海洋生态系统[24]和海龟[25]、鱼类[26]等物种种群的严重影响及其响应，获得越来越多的科学证据支持。大尺度、多种类层面上的气候变化对海洋生物多样性影响及响应的研究不断取得新进展，研究揭示了海洋生物多样性、生态系统结构和功能面临的影响和风险水平不断上升趋势及显著的区域差异性特征[4]。对海洋生态系统碳汇功能相关过程和机理的前沿研究为充分认识和发挥海洋生态系统在应对气候变化中的作用提供了理论基础与支撑[27]。随着气候变化和人类活动因素叠加影响的加剧，借助生态系统服务这一人类与自然系统的联结，大量学科交叉研究以气候变化影响下海洋生态系统服务功能[28]变化为切入，开展粮食安全[29-30]和人类健康福祉等社会经济维度的综合效应分析。未来气候变化将进一步削弱海洋生态系统社会服务功能(包括气候调节作用)，人类社会安全和可持续发展面临的损失风险将增大。气候变化与人类活动的综合影响及不确定性，已越来越成为各国气候变化应对和海洋生物多样性保护及资源管理工作面临的重大挑战。研究表明，气候变化影响或限制海洋生物多样性保护的成效[31]，海洋生态系统保护、恢复和有效管理有助于降低气候风险和影响，增强生态系统适应性，并带来社会经济等方面综合效益，这凸显了气候变化应对、生态系统健康和人类可持续发展的密切联系，以及协同应对复杂挑战的迫切性和重要性。

已有研究框架从多个视角运用不同方法实现了对气候变化应对与海洋生物多样性保护相互关系的初步评价，但是，多重压力下海洋生物多样性变化、效应及响应的过程和机制及影响因素等的科学认识和分析工具等诸方面仍不完善，定量化分析不足，存在数据缺乏难以衡量的障碍。对气候变化与人类活动综合影响及响应机制的深入研究，以及对海洋生物多样性热点区域或存在认知空缺区域及重要领域的长周期观测和评估预测是未来需要加强的重要工作。同时，由于气候变化对海洋生态系统影响及风险的区域差异性，生物多样性保护面临社会背景等制约因素与不确定性，未来需进一步从社会－生态复合系统角度开展多尺度的综合研究，为满足不同层次的适应需要提供更有力的支撑。

2.2.2 海洋生物多样性保护协同应对气候变化的路径方法

减缓和适应两种策略具有本质特征、适用范围和实际结果等方面的显著差异，二者对于应对气候变化同样必要而不可偏废其一[32]，因此，气候恢复力发展路径强调将适应和减缓整合起来，以推进所有人的可持续发展。整体来看，相比减缓措施获得的重视，适应仍然是薄弱环节，但研究对其关注度在迅速上升。关于减缓和适应路径方法的战略性规划与实施进程对于当前和未来自然系统和人类系统应对复杂的气候挑战至关重要，不同类型减缓和适应方法及其积极协同作用需要在多层次气候恢复力和可持续发展相关战略和规划层面予以充分考虑。专注于当前部门性短期收益的行动需要统筹纳入跨部门、包容性的长期适应规划中，以避免产生适应失效，损及生物多样性和生态系统功能及韧性。在适应性的规划框架内(图 2)，气候应对方案的选择及目标确定有赖于更加量化的关于社会－生态系统脆弱性评估信息[33]，以及对潜在风险、差距和不确定性的全面认识，基于自然－社会生态系统角度对海洋和海岸带区域脆弱性[34]和韧性[35-36]的定性与半定量评估可为此提供重要基础；利益相关方参与、多元知识体系整合也有助于发展路径规划的合理制定及有效实施；全过程监测评估、反馈及适应性调整机制有助于促进目标的落实、实施方法的改进，以及知识差距的填补[37]。

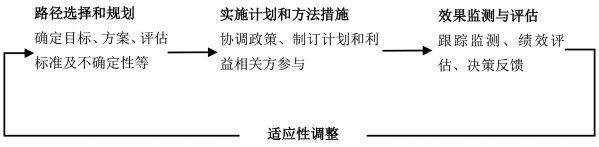

图 2 适应性规划的一般框架

Fig. 2 The general framework of adaptive planning

保护、恢复和有效管理海洋和海岸带生态系统及生物多样性的各类行动具有减缓和适应气候变化的双重意义。在养护规划[38-39]、海洋保护地网络[40-41]等空间规划和管理中加强对气候相关时空差异性因素的综合考虑，有助于保障生态系统连通

性与完整性、提高气候适应性和韧性。但是,由于气候及非气候因素导致的系统影响和风险具有很大不确定性,海洋生物多样性保护措施面临时空适配技术、环境和成本等复杂因素影响,包括海洋保护地在内的各类措施在应对气候变化方面均存在不同程度的局限性[42-44]。在海洋可再生能源、海上运输、深海矿物资源开发等领域推进气候转型发展中,还需通过环境影响评估等预防性方法避免减缓措施可能带来的生态风险或不利影响[45-46]。基于海洋生物多样性保护与气候变化应对相互协同的减缓与适应措施及其组合具有多样化、多尺度和多部门特征,应对方案的选择须综合考虑多种标准,包括可治理性、技术可行性和成本效益等[47],在生态系统方法基础上形成的基于自然的气候解决方案因具有环境、技术和社会等方面的可行性及多重效益而受到广泛关注和实践支持[48-49]。同时,研究指出,综合采取不同有效养护措施[50]和适应性管理方法[51]及其组合,如海洋灾害预警预测、海洋生态修复[52]、海洋污染防治[53]、海洋低碳产业[54]、基于生态系统的管理等措施,有助于提升气候适应行动的一致性和有效性。总体而言,基于海洋的气候行动在科学认识和方法手段等方面仍存在诸多差距,在恢复和提升海洋生态系统固碳增汇能力相关方法[55]、效果及因素[56]的研究与评估基础上,进一步推动海洋综合储碳的理论创新[57],有望为基于海洋的固碳增汇技术方法研发、标准体系和协同机制构建提供更坚实的科技基础。在社会生态复杂系统视角下,如何平衡不同社会目标、不同主体利益及价值冲突、实现气候恢复力与海洋生物多样性保护路径方法的协同增效也面临较大挑战[58],未来需要进一步加强对多目标、跨领域或尺度应对气候变化措施的协同-权衡关系及实施成效量化评估和整合性研究,将微观与宏观相联系、评估预测与行动设计相衔接、方法研究与管理实践检验相结合,进而为促进具有气候韧性的海洋与海岸带系统可持续发展提供协同性解决方案。

2.2.3　海洋生物多样性保护协同应对气候变化的政策机制

自 2021 年以来,气候变化和海洋生物多样性保护治理框架和政策机制的协同研究进入深化发展阶段,学者从国际关系和法学等多学科视角,围绕多目标整合[59]、国际治理框架协调[60]、跨系统政策协调[61]、多元利益相关方协作和跨国家/区域综合治理[62]等主题展开多尺度、跨学科研究,推动了科学与政策的联结,海洋生物多样性保护和气候变化协同治理的有效策略和模式日益受到国际社会重视,并被纳入不同领域和层面的重要治理框架和政策议程。以 UNFCCC 和《生物多样性公约》(CBD)为主的气候和生物多样性国际法律框架下的海洋、气候和生物多样性协同治理机制和行动不断发展并持续加强。自 2020 年 UNFCCC 启动海洋和气候变化对话机制以来,缔约方会议积极推进跨海洋、气候和生物多样性治理系统的政策协同发展进程,并鼓励各国推动基于海洋的气候解决方案在国家发展目标、战略和行动计划中的主流化。CBD 历次缔约方会议对气候变化的重视程度逐年增加,倡导与 UNFCCC 合作、评估生物多样性保护对气候变化应对的贡献,以及采用生态系统方法应对长期的气候变化。2022 年通过的《昆明-蒙特利尔全球生物多样性框架》明确了应对气候变化的行动目标,为全球、区域和国家不同尺度下推动海洋生物多样性保护适应气候变化以及二者的协同行动指明方向。2023 年 6 月达成的《〈联合国海洋法公约〉下国家管辖范围以外区域海洋生物多样性的养护和可持续利用协定》也将为进一步探讨气候变化和海洋酸化的影响评估,以及韧性[63]治理议题提供新的重要国际论坛。当前的全球海洋生物多样性治理结构和相关法律制度受其适用范围和监管方式及能力水平等因素限制,对气候变化影响及适应的重视仍不充分、不均衡,未能充分整合环境和社会目标、解决与气候变化相关的复杂挑战[64]。未来需要进一步评估和增进不同实施背景下气候变化应对与海洋可持续发展目标的协同,加快形成全面、一致的具有多目标协同效益的策略及行动方案。同时,在完善对不同社会背景下法律、政策和治理适应举措的有效性评估基础上,需要促进全球和区域等多层级治理框架间的协调合作、加强海岸带综合管理和海洋空间规划进程中的跨部门政策协调

或组合，以减少跨部门、尺度政策的相互冲突或不一致[65]，并调动多元利益相关主体参与及构建跨国合作伙伴关系，为实现气候和海洋生物多样性保护治理的协同效益及推动整体实现公正、包容和可持续发展转型提供积极推动力。

2.2.4 海洋生物多样性保护协同应对气候变化的能力保障

技术、资金和国际合作是助推气候行动的关键手段。构建完善气候和海洋观测监测系统[66]、弥补科学信息差距[67]、优化评估预测手段[68]、整合空间规划方法[69]、健全生态系统修复关键技术及标准[70]等是海洋生物多样性保护、恢复和规划管理以应对气候变化的重要支撑和技术保障。多元化资金、资源的有效调动和优化配置是支持气候和海洋生物多样性协同治理相关制度与技术创新的基本能力要素。海洋生物多样性保护应对气候变化的水平和方式受不同国家发展条件和能力等软硬限制，尤其小岛屿发展中国家等生态环境脆弱或特殊区域在相关科学研究和技术能力上存在较大差距和差异，也是国际社会和气候公正转型相关研究关注的主要对象[71−72]。国家和地方层面典型案例的分享和经验总结不断增多，建立基于社区的伙伴关系、整合不同知识体系、强化科学信息流动[73]和技术传播、增进公众参与和惠益分享合作等具有包容性、适应性的方法是相关实践的主要关注点和产出，也从侧面反映了基于科学知识和数据信息的最佳实践对于新的理念塑造和方法革新的基础性作用。随着“联合国海洋科学促进可持续发展十年”倡议下一系列大科学计划及项目的推进实施，海洋生物多样性保护应对气候变化领域重大科学问题的国际合作研究对海洋可持续发展的支撑能力和促进作用将得到进一步增强，有助于推动产出越来越多的海洋生物多样性保护应对气候变化的全球性公共产品。

3 未来协同治理展望

3.1 框架构建思路

与人类社会息息相关的海洋生物多样性与气候变化是相互作用的复合系统，气候变化的有效应对和海洋生物多样性的综合保护应遵循系统性、适应性和参与性原则，统筹考虑并推动实现社会经济和生态系统的可持续发展。面对当前和未来气候变化影响下海洋生物多样性响应和适应的动态变化趋势及不确定性，完善协同治理体系是实现具有气候恢复力的可持续发展目标的重要保障，提升不同层面的协同治理能力是未来海洋生物多样性保护应对气候变化的关键支撑。结合已有研究成果和实践发展需求，可以从目标、过程、对象和主体等要素和结构维度推动建立和完善区域、国家和地方等不同尺度的海洋生物多样性保护与应对气候变化协同治理的顶层设计和机制框架（图 3）。

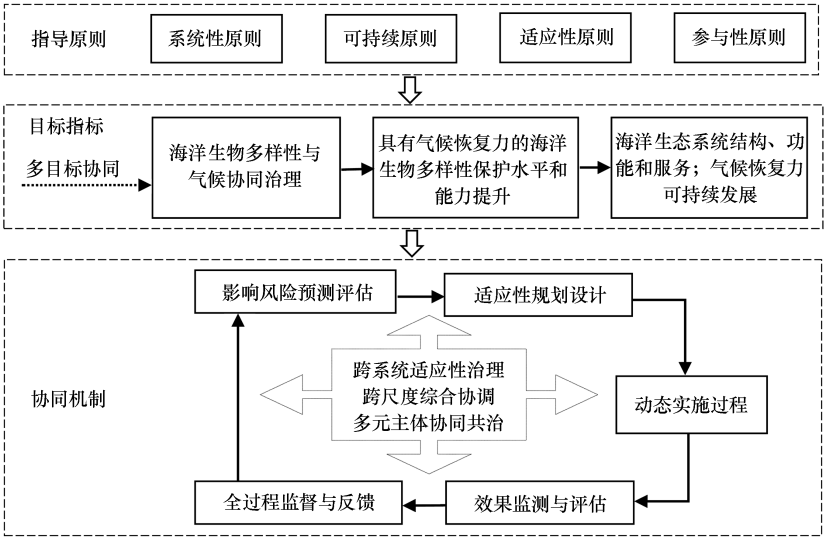

图 3 海洋生物多样性保护与应对气候变化协同治理框架

Fig. 3 Synergistic governance framework for marine biodiversity protection and climate change response

3.2　协同治理途径

在海洋生物多样性保护与应对气候变化协同治理的体制和机制建设中,可聚焦多领域目标协同、跨系统过程协同、跨区域综合协同和多主体共治协同 4 个基本维度,具体推进协同治理体系和治理能力的发展完善。

3.2.1　健全多目标协同实现机制

海洋生物多样性保护具有多重生态系统服务效益,准确衡量其对于气候变化应对和可持续发展的综合价值、作用机制及方式途径,是协同实现国家气候履约、生态环境改善和社会经济发展等跨部门多重目标的前提。针对跨部门政策协同难题、条块分割管理模式等,需以具有气候恢复力的海洋生物多样性保护水平和能力提升作为海洋生物多样性与气候协同治理的具体目标任务,促进海洋生态系统服务价值的有效实现,并服务于长远的可持续发展目标;一体化推动在国家“双碳”目标下海洋生物多样性保护目标与气候目标主流化进程的动态平衡,将全面的基于海洋生物多样性保护的气候行动纳入综合性的整体战略设计和管理体系中,完善科学、合理、可行的目标指标框架和评估标准体系,增进整体目标和综合效益;加强多目标协同实现的本土化研究与实践发展,结合特定空间尺度和领域背景,加快完善在气候公约和海洋生物多样性相关国际条约以及可持续发展目标执行框架下的多目标协同履约机制和支撑能力。

3.2.2　完善跨系统适应性治理机制

基于社会生态系统理论完善海洋生物多样性和气候变化适应性治理机制,是促进未来实现气候恢复力发展的重要保障。立足气候变化和人类活动对海洋生物多样性叠加影响和风险的复杂性、动态性和不确定性特征,加强跨学科交叉研究和管理实践应用的有效衔接,构建与海洋生物多样性保护协同应对气候变化的复合社会生态系统结构相匹配的适应性治理和管理框架。首先,以综合性影响和风险评估和预测为起点,完善不同时空尺度下的脆弱性和韧性评估,识别治理对象和影响要素。其次,开展适应性规划设计,明确协同治理目标、指标和评估标准,规划治理空间布局和路径方案计划。再次,动态实施过程需以跨部门、机构和领域的政策协调、行动协同、信息沟通和资源整合等为支撑,促进海洋生物多样性保护应对气候变化的集体行动。然后,加强执行效果监测与评估,通过多元知识体系整合、跟踪监测技术方法集成与创新,形成全面、整体和综合性的成效评估。最后,通过多元主体参与全过程监督和反馈机制,完善信息共享服务、社区和公众参与决策的技术和制度保障,不断健全气候风险预警及多维响应机制,促进协同治理行动方案实时调整优化。

3.2.3　创新跨区域综合治理机制

针对气候变化影响尺度与应对措施的时空适配障碍,以及陆海跨系统作用复杂性与条块分割治理困境,需以陆海统筹和基于生态系统理念方法为指导,创新跨区域综合治理机制,建立跨尺度空间协同的气候和海洋生物多样性多层级治理模式。统筹优化气候、海洋生物多样性和可持续发展目标协同治理空间规划,立足不同层级规划地位分级分类传导协同治理的目标指标,根据气候脆弱性和韧性等级差异化划定和动态调整空间治理边界。探索建立气候智能型空间规划技术方法体系,完善气候变化影响和风险情景下海洋生物多样性保护规划、海洋生态修复规划和划区管理工具,增进海洋生态系统完整性、连通性和应对气候变化能力。创新跨区域一体化和协作型的气候与海洋生物多样性综合治理机制,建立完善海岸带区域不同层面对气候变化和人类活动综合风险的长效性预防、响应和适应协同机制。

3.2.4　构建多主体协同共治网络

多元利益相关主体有效参与的协同共治模式是未来海洋生物多样性和气候协同治理机制的核心。以气候变化影响及风险响应和适应为导向,充分发挥市场和政策工具的作用,统筹政府机构、非政府组织、市场及公众等利益主体,建立跨系统合力、跨机构合作和跨区域协同的网络治理体系。一是完善多元利益协调机制,通过体现公平正义的海洋生物多样性与气候协同治理策略,加强满足公正转型要求的能力建设,探索基于社区和以人为本的最佳实践方案。二是建立和完善包容性决策机制,

在总体战略、规划制定和实施过程中平衡各方主体基本利益诉求，针对不同区域和领域的实际特点设计和实施差别化的政策措施或组合，为气候治理、海洋生物多样性保护与可持续发展目标(SDGs)的深度融合与协同共治提供体制机制保障。三是深化和拓展多维合作机制，积极参与已有国际合作机制，以蓝碳、基于自然解决方案等海洋生物多样性保护和应对气候变化重要关联领域为抓手，构建国际与国内有效互动和协同发展的多元主体合作平台机制及伙伴关系网络。

4 结语

气候变化对海洋生物多样性和人类社会系统的紧迫性和破坏性影响及风险将日益严峻，同时，全球气候和海洋生物多样性治理制度的碎片化、多中心、多层级及多元主体参与特征将越来越明显。现有的海洋生物多样性保护协同应对气候变化相关问题的多学科研究，为全面和深刻理解海洋生物多样性保护与气候变化应对的复杂系统结构、过程机理和关键要素及局限性，以及探索协同应对双重危机的有效路径方法和政策机制提供了整体性视角，并将为国际政策议程发展持续提供新的科学知识和信息支持。未来，随着海洋生物多样性与气候协同治理的研究框架和逻辑内涵不断完善，国际社会探求具有气候恢复力的可持续发展最佳实践经验日益丰富，海洋生物多样性保护与应对气候变化协同治理的主流化进程将显著加快。本研究在现有研究和实践进展分析基础上，抛砖引玉式地提出了未来协同治理的体系设计和实现路径构想，期待更多专家学者共同开展更深入研究，为我国和全球海洋生物多样性保护与气候变化协同治理进程提供更科学、有效的解决方案。

参考文献(References)：

[1] FERNANDES M，VIEIRA DA SILVA C，FRAZAO SANTOS C. Climate-related vulnerability and risk assessment of main ocean uses：all overview [J]. Frontiers in Marine Science，2022(9)：787882.

[2] 蔡榕硕，韩志强，杨正先.海洋的变化及其对生态系统和人类社会的影响、风险及应对[J].气候变化研究进展，2020，16(2)：182－193.
CAI Rongshuo，HAN Zhiqiang，YANG Zhengxian. Impacts and risks of changing ocean on marine ecosystems and dependent communities and related responses [J]. Climate Change Research，2020，16 (2)：182－193.

[3] 孙军，林茂，陈孟仙，等.全球气候变化下的海洋生物多样性[J].生物多样性，2016，24(7)：737－738.
SUN Jun，LIN Mao，CHEN Mengxian，et al. Marine biodiversity under global climate change [J]. Biodiversity Science，2016，24 (7)：737－738.

[4] IPCC.Climate change 2023：synthesis report [R]. Geneva：IPCC，2023.

[5] MOHAN P S. Implementing nationally determined contributions under the Paris Agreement：an assessment of ocean-based climate action in Caribbean Small Island developing states [J]. Marine Policy，2023，155：105787.

[6] WILLIAMSON P，TURLEY C. Ocean acidification in a geoengineering context [J]. Philosophical Transactions of the Royal Society A，2012，370(1974)：4317.

[7] KELLER D P，FENG E Y，OSCHLIES O.Potential climate engineering effectiveness and side effects during a high carbon dioxide-emission scenario [J]. Nature Communications，2014(5)：3304.

[8] MAURYA P，DAS A K，KUMARI R. Managing the blue carbon ecosystem：a remote sensing and GIS approach. in book：advances in remote sensing for natural resource monitoring [M]. New York：John Wiley & Sons，Ltd，2021：247－268.

[9] HOEGH-GULDBERG O，CALDEIRA K，CHOPIN T，et al. The ocean as a solution to climate change：five opportunities for action [R]. Washington，DC：World Resources Institute，2019.

[10] RÖSCHEL L，NEUMANN B，Ocean-based negative emissions technologies：a governance framework review [J]. Frontiers in Marine Science. 2023，10：995130.

[11] SCARANO F R. Ecosystem-based adaptation to climate change：concept，scalability and a role for conservation science [J]. Perspectives in Ecology and Conservation，2017，15(2)：65－73.

[12] ROSENDO S，CELLIERS L，MECHISSO M. Doing more with the same：a reality-check on the ability of local government to imple-

ment integrated coastal management for climate change adaptation [J]. Marine Policy, 2018, 87: 29－39.

[13] IPCC. Climate change 2022: impacts, adaptation and vulnerability [R]. Geneva: IPCC, 2022.

[14] HOEGH-GULDBERG O, NORTHROP E, LUBCHENCO J. The ocean is key to achieving climate and societal goals [J]. Science, 2019, 365(6460):1372－1374.

[15] STUCHTEY M, VINCENT A, MERKL A, et al. Ocean solutions that benefit people, nature and the economy [R]. Washington, DC: World Resources Institute, 2020.

[16] PÖRTNER H O, SCHOLES R J, AGARD J, et al. Scientific outcome of the IPBES-IPCC co-sponsored workshop on biodiversity and climate change [R]. IPBES secretariat, Bonn, Germany, 2021.

[17] 蔡榕硕，郭海峡，ABD-ELGAWAD AMRO，等. 全球变化背景下暖水珊瑚礁生态系统的适应性与修复研究[J]. 应用海洋学学报，2021，40(1)：12－25.
CAI Rongshuo, GUO Haixia, ABD-ELGAWAD AMRO, et al. A study on the adaptation and restoration of warm water coral reef ecosystem in the context of global change [J]. Journal of Applied Oceanography, 2021, 40(1):12－25.

[18] 王方邑，赵智聪，王沛，等.中国自然保护地碳中和贡献的初步评估及三个关键研究课题[J].中国园林，2023，39(3)：6－13.
WANG Fangyi, ZHAO Zhicong, WANG Pei, et al. The preliminary assessment and three key issues of carbon neutrality contribution of protected areas in China [J]. Chinese Landscape Architecture, 2023, 39(3):6－13.

[19] 王文涛，刘纪化，揭晓蒙，等. 海洋支撑碳中和技术体系框架构建的思考与建议[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版)，2022，52(3)：1－7.
WANG Wentao, LIU Jihua, JIE Xiaomeng, et al. Perspective of technology system in the ocean for carbon neutrality [J]. Periodical of Ocean University of China, 2022, 52(3):1－7.

[20] 冯莉.国际法视野下生物多样性和气候变化的协同治理[J]. 生物多样性，2023，31(7)：208－214.
FENG Li. On synergistic governance of biodiversity and climate change in the perspective of international law [J]. Biodiversity Science, 2023,31(7):208－214.

[21] 王灿发，张祖增，邸卫佳. 论生物多样性保护与气候变化应对协同治理的法治进路[J]. 环境保护，2022，50(8)：19－23.
WANG Canfa, ZHANG Zuzeng, DI Weijia, et al. Discussion on the legal approach of coordinated governance of biodiversity conservation and climate change response [J]. Environmental Protection, 2022, 50(8):19－23.

[22] HUANG Danwei, ROY K. The future of evolutionary diversity in reef corals [J]. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 2015, 370:20140010.

[23] UNSWORTH R K F, MCKENZIE L J, COLLIER C J, et al. Global challenges for seagrass conservation [J]. AMBIO, 2019, 48(8): 801－815.

[24] SCHUERCH M, SPENCER T, TEMMERMAN S, et al. Future response of global coastal wetlands to sea-level rise [J]. Nature, 2018, 561(7722): 231－234.

[25] MAZARIS A D, DIMITRIADIS C, PAPAZEKOU M, et al. Priorities for Mediterranean marine turtle conservation and management in the face of climate change [J]. Journal of Environmental management, 2023, 339:117805.

[26] CHEUNG W W L, LAM V W Y, SARMIENTO J L, et al. Projecting global marine biodiversity impacts under climate change scenarios [J]. Fish and Fisheries, 2009, 10: 235－251.

[27] JIAO Nianzhi, ROBINSON C, AZAM F, et al. Mechanisms of microbial carbon sequestration in the ocean-future research directions [J]. Biogeosciences, 2014, 11(19): 5285－5306.

[28] EDDY T D, LAM V, REYGONDEAU G, et al. Global decline in capacity of coral reefs to provide ecosystem services [J]. ONE EARTH, 2021, 4(9): 1278－1285.

[29] RICEL J C, GARCIA S M. Fisheries, food security, climate change, and biodiversity: characteristics of the sector and perspectives on emerging issues [J]. ICES Journal of Marine Science, 2011, 68(6): 1343－1353.

[30] BROWN C J, FULTON E A, HOBDAY A J, et al. Effects of climate-driven primary production change on marine food webs: implications for fisheries and conservation [J]. Global Change Biology, 2010, 16(4):1194－1212.

[31] STEPHANIE D A, JOSEPH M M. Climate change reduces the conservation benefits of tropical coastal ecosystems [J]. One Earth, 2022, 5:1228－1238.

[32] IPCC. Climate change 2014: synthesis report [R]. Geneva: IPCC, 2014.

[33] MAVROMATIDI A, BRICHE E, CLAEYS C. Mapping and analyzing socioenvironmental vulnerability to coastal hazards induced by climate change: an application to coastal mediterranean cities in France [J]. Cities, 2018, 72 Part A:189－200.

[34] ROULEAU T, STUART J, CALL M, et al. The climate and ocean risk vulnerability index: measuring coastal city resilience to inform action [J]. Frontiers in Sustainable Cities, 2022(4):884212.

[35] O'DONNELL J E D. Living shorelines: a review of literature relevant to New England coasts [J]. Journal of Coastal Research, 2017, 33(2): 435－451.

[36] MARIANA M P, DAFFORN K A, JOHNSTON E L. A decision framework for coastal infrastructure to optimize biotic resistance and resilience in a changing climate [J]. BioScience, 2019, 69(10): 833－843.

[37] MARTÍNEZ C I P, PIÑA W H A, MORENO S F. Prevention, mitigation and adaptation to climate change from perspectives of urban population in an emerging economy [J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 178: 314－324.

[38] MAGRIS R A, PRESSEY R L, WEEKS R, et al. Integrating connectivity and climate change into marine conservation planning [J]. Biological Conservation, 2014, 170: 207－221.

[39] BUENAFE K C V, DUNN D C, EVERETT J D, et al. A metric-based framework for climate-smart conservation planning [J]. Ecological Applications, 2023, 33:e2852.

[40] WILSON K L, TITTERNSOR D P, WORM B, et al. Incorporating climate change adaptation into marine protected area planning [J]. Globle Change Biology, 2020, 26:3251－3267.

[41] ZENTNER Y, ROVIRA G, MARGARIT N, et al. Marine protected areas in a changing ocean: adaptive management can mitigate the synergistic effects of local and climate change impacts [J]. Biological Conservation, 2023, 282: 110048.

[42] HILBORN R. Marine biodiversity needs more than protection [J]. Nature, 2016, 535: 224－226.

[43] BATES A E, COOKE R S C, DUNCAN M I, et al. Climate resilience in marine protected areas and the 'Protection Paradox' [J]. Biological Conservation, 2019, 236:305－314.

[44] JOHNSON J V, JAIMIE T A D, PINCHEIRA-DONSO D. Marine protected areas do not buffer corals from bleaching under global warming [J]. BMC Ecology and Evolution, 2022, 22(1):58.

[45] LEVIN L A, WEI C L, DUNN D C, et al. Climate change considerations are fundamental to management of deep-sea resource extraction [J]. Global Change Biology, 2020, 26(9): 4664－4678.

[46] CARTAPANIS O, GALBRAITH E D, BIANCHI D, et al. Carbon burial in deep sea sediment and implications for oceanic inventories of carbon and alkalinity over the last glacial cycle [J]. Climate of the Past, 2018, 14(11): 1819－1850.

[47] GATTUSO J P, MAGNAN A K, BOPP L, et al. Ocean solutions to address climate change and its effects on marine ecosystems [J]. Frontiers in Marine Science, 2018(5):337.

[48] MORI A S.Advancing nature-based approaches to address the biodiversity and climate emergency [J]. Ecology Letters, 2020, 23:1729－1732.

[49] SEDDON N, DANIELS, DAVIS R, et al. Global recognition of the importance of nature-based solutions to the impacts of climate change [J]. Global Sustainability, 2020, 3:1－12.

[50] ESTRADIVARI, AGUNG M F, ADHURI D S, et al. Marine conservation beyond MPAs: towards the recognition of other effective area-based conservation measures (OECMs) in Indonesia [J]. Marine Policy, 2022, 137: 104939.

[51] WEEKS R, JUPITER S. Adaptive comanagement of a marine protected area network in Fiji [J]. Conservation Biology, 2013, 27(6): 1234－1244.

[52] GORMAN C E, TORSNEY A, GAUGHRAN A, et al. Reconciling climate action with the need for biodiversity protection,restoration and rehabilitation [J]. Science of the Total Environment, 2023, 857: 159316.

[53] TAYLOR D. Biomass burning, humans and climate change in Southeast Asia [J]. Biodiversity and Conservation, 2010, 19(4, SI): 1025－1042.

[54] BARBESGAARD M. Blue growth: savior or ocean grabbing? [J]. the Journal of Peasant Studies, 2018, 45(1): 130－149.

[55] FILBEE-DEXTER K, WERNBERG T. Substantial blue carbon in overlooked Australian kelp forests [J]. Scientific Reports, 2020, 10(1): 12341.

[56] ABBOTT K M, ELSEY-QUIRK T, DELAUNE R D. Factors influencing blue carbon accumulation across a 32-year chronosequence of created coastal marshes [J]. Ecosphere, 2019, 10(8): e02828.

[57] 焦念志,李超,王晓雪.海洋碳汇对气候变化的响应与反馈[J].地球科学进展,2016,31(7):668-681.
JIAO Nianzhi, LI Chao, WANG Xiaoxue. Response and feedback of marine carbon sink to climate change [J]. Advances in Earth Science, 2016, 31(7): 668-681.

[58] IPCC. IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate (summary for policymakers) [R]. Geneva: IPCC, 2019.

[59] ARNETH A, SHIN Y J, LEADLEY P, et al. Post-2020 biodiversity targets need to embrace climate change [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2020, 117(49):30882-30891.

[60] CHAN N. Linking ocean and climate change governance [J]. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 2021, 12:e711.

[61] DOBUSH B J, GALLO N D, GUERRA M, et al. A new way forward for ocean-climate policy as reflected in the UNFCCC Ocean and Climate Change Dialogue submissions [J]. Climate Policy, 2022, 22(2): 254-271.

[62] BEGER M, MCGOWAN J, TREML E A, et al. Integrating regional conservation priorities for multiple objectives into national policy [J]. Nature Communications, 2015(6):8208.

[63] YADAV S S, GJERDE K M.The ocean, climate change and resilience: making ocean areas beyond national jurisdiction more resilient to climate change and other anthropogenic activities [J]. Marine Policy, 2020, 122: 104184.

[64] ORAL N. Ocean Acidification: falling between the legal cracks of UNCLOS and the UNFCCC [J]. Ecology Law Quarterly, 2018,45(1):9.

[65] GISSI E, FRASCHETTI S, MICHELI F. Incorporating change in marine spatial planning: a review [J]. Environmental Science & Policy, 92: 191-200.

[66] MILOSLAVICH P, BAX N J, SIMMONS S E, et al. Essential ocean variables for global sustained observations of biodiversity and ecosystem changes [J]. Global Change Biology, 2018, 24(6), 2416-2433.

[67] HOCHKIRCH A, SAMWAYS M J, GERLACH J, et al. A strategy for the next decade to address data deficiency in neglected biodiversity [J]. Conservation Biology, 2020, 35(2): 502-509.

[68] DUNSTAN P K, MOORE B R, BELL J D,et al. How can climate predictions improve sustainability of coastal fisheries in Pacific Small-Island Developing States? [J]. Marine Policy, 2018,88:295-302.

[69] BAX N, BARNES D K A, PINEDA-METZ S E A, et al. Towards incorporation of blue carbon in falkland islands marine spatial planning: a multi-tiered approach [J]. Frontiers in Marine Science, 2022(9):872727.

[70] MCDONALD T, JONSON J, DIXON K W. National standards for the practice of ecological restoration in Australia [J]. Restoration Ecology, 2016, 24(S1):S4-S32.

[71] ROBINSON S. Climate change adaptation trends in small island developing states [J]. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 2017, 22:669-691.

[72] TENEVA L, FREE C M,HUME A, et al. Small island nations can achieve food security benefits through climate-adaptive blue food governance by 2050 [J]. Marine Policy, 2023, 151: 105577.

[73] CAVANAGH R D, TRATHAN P N, HILL S L, et al. Utilising IPCC assessments to support the ecosystem approach to fisheries management within a warming Southern Ocean [J]. Marine policy, 2021, 131:104589.