

DOI: 10.12264/JFSC2021-0386

当代海洋捕捞的发展现状和展望

黄洪亮^{1,2}, 冯超³, 李灵智^{1,2}, 饶欣^{1,2}, 陈帅^{1,2}, 杨嘉樑^{1,2}

1. 中国水产科学研究院东海水产研究所, 农业农村部东海与远洋渔业资源开发利用重点实验室, 上海 200090;
2. 中国水产科学研究院海洋捕捞工程技术研究中心, 上海 200090;
3. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306

摘要: 海洋捕捞事关国际粮食安全和海洋生态系统健康。得益于科学技术的进步, 当代海洋捕捞发展迅速, 但依然面临着渔业资源衰退、海洋底栖环境破坏、兼捕与抛弃、废弃渔具引起的幽灵捕捞和塑料污染、气候变化、区域发展不平衡等系列问题。本文综述了国内外为缓解上述问题在海洋捕捞管理、技术创新、最佳实践探索等方面的工作进展, 并提出了如下发展建议: (1) 应进一步加强生态友好型渔具渔法、高效节能技术、废弃渔具回收利用技术、生物可降解材料等方面的基础和应用研究; (2) 开展减少兼捕、降低底拖网对底栖环境的影响、海洋捕捞高效节能、减少废弃渔具流向海洋等方面最佳实践的探索; (3) 加强激励机制的研究和应用, 加强对废弃渔具回收产业的政策扶持, 完善海洋捕捞管理体系和废弃渔具管理体系建设, 增强治理能力; (4) 加强国家或地区间渔业合作, 分享管理知识, 促进区域间平衡发展。 (5) 加强气候变化应对策略的探索研究。立足长远、多措并举, 促进海洋捕捞可持续发展。

关键词: 海洋捕捞; 可持续发展; 渔业管理体系; 生态友好型; 废弃渔具; 气候变化; 最佳实践

中图分类号: S97

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2022)06-0938-12

捕捞业是以捕捞作为生产方式, 从海洋、湖泊、水库等天然或人工水域获取水产品的产业, 是传统的渔业产业。捕捞业常用的类型划分方法包括按作业水域、渔具类型、捕捞目标等方式进行划分。按照作业水域性质划分, 可分为内陆捕捞和海洋捕捞, 海洋捕捞又可进一步划分为近海捕捞、远洋捕捞等^[1]。海洋捕捞是捕捞业中重要组成部分, 每年为世界提供了近 8000 万 t 动物蛋白^[2], 与人类社会发展密切相关, 为解决世界粮食短缺、减少贫困做出了重要贡献, 也是挪威、冰岛、丹麦、秘鲁等许多国家的支柱产业。海洋捕捞也促进了造船业、渔业机械、高分子材料等相关行业的发展^[1]。近年来, 随着科学技术的进步和相关学科的深入研究, 海洋捕捞在生产效率、生产工具、资源探测技术等方面均取得了显著成

就。随着人类对自然界的认知不断深入, 可持续发展理念成为当今世界共识。2015 年 9 月, 联合国启动了 2030 年可持续发展议程, 为世界和平与繁荣描绘了美好蓝图。海洋捕捞可持续发展是 2030 年可持续发展议程中的重要组成部分, 其目标包括在 2030 年结束过度捕捞、增加可持续渔业经济效益、降低海洋污染等^[2]。但纵观目前世界海洋捕捞发展态势, 实现海洋捕捞的可持续发展依然面临诸多挑战。

1 当代海洋捕捞的发展概述

20 世纪 50 年代以来, 当代海洋捕捞在经历了机械化高速发展的渔业工业革命之后^[3], 多种重要的船载装备(船用柴油动力引擎、动力滑车、拖网绞车等)、合成纤维材料(尼龙、聚乙烯、迪尼

收稿日期: 2021-09-05; 修订日期: 2021-10-06.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFE0111100).

作者简介: 黄洪亮(1964-), 男, 研究员, 研究方向为极地与远洋渔业资源开发利用和渔具渔法. E-mail: ecshhl@163.com

通信作者: 李灵智, 硕士, 副研究员, 研究方向为海洋捕捞. E-mail: lilz@ecsf.ac.cn

玛等)相继被成功开发应用,为海洋捕捞技术的变革提供了重要的基础支撑,捕捞渔船、装备和渔具进一步趋向于高效率、专业化的方向发展,大型竹筴鱼拖网^[4]、金枪鱼延绳钓^[5]、金枪鱼围网^[6]、南极磷虾专业捕捞系统^[7]等多种作业方式相继被成功开发应用。与此同时随着渔用声呐、卫星遥感、全球定位系统、无人机探测、大数据挖掘等新技术的融合和应用,海洋捕捞也迎来了新的信息技术革命^[3],在资源探测、渔场预报、高效捕捞、信息通讯、安全生产等方面取得较大进展,为近年来各大洋多种具有重要经济价值的鱼类开发奠定了技术基础,铸就了多个世界规模渔业产业,如竹筴鱼渔业、北太平洋鲑渔业、金枪鱼渔业、南极磷虾渔业等。总体上当代海洋捕捞的发展使得人类对海洋渔业资源的利用能力和效率显著增强,1989年全球海洋捕捞年产量达到8575万t,是20世纪50年代初全球年海洋捕捞产量的4.5倍^[2],为人类社会做出重要贡献,但同时迅速发展的海洋捕捞也给海洋生态环境造成一定负面影响,如渔业资源衰退、底栖环境破坏等,受到国际社会的广泛关注。在气候变暖、化石能源成本上升的当前背景下,海洋捕捞的发展面临着新的挑战,1991年联合国粮农组织渔业委员会提出发展负责任渔业的概念,1995年《负责任渔业行为准则》在第21届联合国粮农组织会议上获得了170个成员国全票通过^[2],发展可持续海洋捕捞成为国际共识,为此国内外学者在生态友好型渔具渔法、高效节能、海洋捕捞管理等方向展开了大量探索研究,以期为促进海洋捕捞可持续发展提供技术支撑,其中许多成果已在生产和管理中得到应用。

海洋捕捞管理系统的建立和完善也是当代海洋捕捞发展的重要内容之一。1982年《联合国海洋法公约》(UNCLOS)(以下简称“公约”)正式通过。《公约》规定了沿岸国在其专属经济区(EEZ)内具有管理和使用渔业资源的权利和责任,并赋予各国在公海从事捕鱼的权利,同时也明确了各国在水生生物资源养护和管理方面开展合作的义务,包括协助建立分区域或区域渔业组织。《公约》为建立和完善渔业资源管理提供了基础国际

框架,框架下《促进公海渔船遵守国际保护和管理措施的协定》《联合国鱼类种群协定》《关于港口国预防、制止和消除非法、未报告和管制渔业的措施协定》《负责任渔业行为准则》等国际法规相继被FAO采纳和实施^[8-9]。基于《公约》的基本框架,在EEZ的海洋捕捞管理中,投入和产出双重限制的管理模式被沿岸国普遍采用。如渔船、渔具、渔民等捕捞投入要素管理,采用捕捞许可、禁渔期、禁渔区、网目尺寸限制、网具结构限制等限制措施,在捕捞产出的管理中采用捕捞配额限制制度(TAC)、兼捕渔获限制、幼鱼比例限制等,后期实施过程中在部分国家进一步延伸出个体配额制、配额可转让制度。公海渔业管理中以国际区域性渔业管理组织为主导、成员国共同参与管理的模式形成,多个国际区域性渔业管理组织相继成立,如1969年成立的大西洋金枪鱼类养护国际委员会(ICCAT)、1980年成立的南极海洋生物资源养护委员会(CCAMLR)等。管理组织制定和实施的相关管理措施,由各会员国和利益有关方基于科学研究共同参与制定,对辖区的入渔许可、入渔条件、捕捞限额、渔业行为等进行管理。

2 当代海洋捕捞面临的问题

2.1 渔业资源衰退

自20世纪90年代以来,全球海洋捕捞年产量稳定在8000万t左右,即每年从自然水域获取近8000万t的经济生物^[8],其中2018年产量较高的单一种类如秘鲁鳀(*Engraulis ringens*)、阿拉斯加狭鳕(*Theragra chalcogramma*)、鳀(*Katsuwonus pelamis*)等年产量分别为700万t、340万t、320万t^[8]。大量水生生物被开发利用,直接导致天然水域中的被开发生物种群生物量^[10-11]、种群结构发生改变^[12]。据FAO《2020年世界渔业与水产养殖状况年度报告》,全球被开发种群生物量处于可持续利用水平以下的比例由1974年的10%增长至2017年的34%,秘鲁鳀、狭鳕、大西洋鲱、大西洋鳕、太平洋鲈等全球年产量最大的10种鱼类有近31%的种群资源被过度开发^[8];西北非沿海自1960—2000年间鱼类生物量持续下降^[13];中国东

海大黄鱼资源在经历大规模开发利用之后,资源濒临枯竭^[14];种群结构出现低龄化、个体小型化趋势^[12]。被开发生物生物量、种群结构的改变,也进一步影响食物链中关联生物,造成关联生物的生物量波动,发生如顶级捕食者生物量显著下降^[15-17]、水母爆发等现象^[18],导致生态系统简化、生物多样性降低^[19],从而影响生态系统稳定。

2.2 兼捕和抛弃

兼捕和抛弃是海洋捕捞中较突出的问题,普遍存在于各种作业方式中,即使是兼捕率较低的钓、笼壶等作业方式^[20]。渔民为了满足渔业管理限制(如捕捞限额、最小可捕规格等)和追求利益最大化,通常在生产过程中将经济价值较低或不符合管理规定的兼捕渔获直接抛弃。据 FAO 统计数据,2010—2014 年间,全球年均海洋捕捞抛弃渔获量约 910 万 t,约占全球海洋年捕捞产量的 10.8%。不同作业方式中,底拖网渔业年抛弃量最大,约为 420 万 t,占总抛弃渔获量的 46%。抛弃渔获量最大的区域为西北太平洋和东北大西洋,2 个区域年抛弃渔获占全球总抛弃渔获量的 39%^[21]。抛弃渔获中通常以低经济价值鱼和幼鱼为主,大量的抛弃渔获不仅导致渔业资源浪费,而且严重地影响到经济鱼类资源补充、生态系统的生物多样性,不利于渔业可持续发展。另外海洋捕捞每年还导致近百万只海鸟、850 万只海龟、65 万只哺乳动物、1000 万条鲨鱼等濒危保护物种被兼捕至死^[21],直接危及生态系统稳定。

2.3 底拖网对底栖环境的影响

底拖网作业是海洋捕捞中对水生环境影响最大的作业方式,也是应用最广泛、捕捞效率最高的作业方式之一,在全球海洋捕捞年产量中占比达 23%^[8]。底拖网作业广泛分布于沿海大陆架、河口、海湾等浅水区域,这些区域也是大部分鱼类、无脊椎动物、水生植物的主要栖息地,是海洋中生物分布最密集的区域^[22]。底拖网作业过程中利用网板和下纲的沉力嵌入或紧贴海底,通过拖曳产生机械刺激,以提高对底栖鱼类、甲壳类等种类的捕捞效率。激烈的机械刺激也使得原有的栖息环境遭到严重破坏,附着生物被直接伤害致死或被拖离原栖息地,造成大量附着生物死亡,

原有生境遭到严重破坏;海底沟壑被逐渐抹平,驱动海底地形改变;拖曳扰动底泥形成悬浮物,造成水质污染;重复的往返拖曳使得底栖生境进一步恶化,甚至呈现荒漠化趋势^[23]。生境的破坏势必危及栖息生物的生存和繁衍。

2.4 废弃渔具造成的环境污染

合成纤维材料在促进当代海洋捕捞发展中起着重要作用,但随着合成纤维材料的广泛应用,废弃渔具不断增多,引起的环境问题日益受到国际社会的关注。废弃渔具指的是被直接抛弃、遗失或放弃于沿岸陆地、滩涂或海洋中的渔具(ALDFG)。据 FAO 估计,目前全球每年有将近 64 万 t 废弃渔具进入海洋^[24]。合成纤维材料渔具在自然界通常需要数百年的时间才能降解,因此废弃渔具降解前仍具有捕捞能力(即幽灵捕捞),幽灵捕捞导致大量的鱼类、哺乳动物、海龟等生物因缠绕、刺挂等方式被捕致死,据 FAO 估计 46% 的海洋濒危生物受到幽灵捕捞的影响。废弃渔具还可能导致底栖环境破坏、影响海洋航行安全等^[2]。废弃渔具在海洋中逐渐降解成塑料绳、纤维段、塑料颗粒、微粒,造成海洋水体塑料污染。据 FAO 估计废弃渔具贡献了近 10% 的全球海洋塑料污染^[8]。塑料段或微粒悬浮于海洋,被浮游生物吸附或误食进入生态系统食物链,对海洋生态系统甚至人类健康造成了严重负面影响。

2.5 气候变化引起的海洋环境改变

在全球变暖的趋势背景下,全球大部分海域表层海水和淡水水温呈上升趋势,研究表明 1900—2016 年全球水温平均每百年上升 0.7 °C^[25],其中北大西洋升温尤为明显。海洋水温的升高也导致北极海冰融化加剧,据观测北极年均海冰覆盖面积正逐年下降,大量海冰融化使得全球海平面逐年上升。大气中 CO₂ 浓度升高,也促进了水体对 CO₂ 吸收,使得水体 pH 下降,引起水体酸化,水温越低的极地海域 CO₂ 的吸收越剧烈,水体酸化越严重^[26]。溶氧是水生环境重要的组成部分,研究表明自 1960 年以来近海水体溶氧呈下降趋势^[27],近数十年来热带海洋低氧区面积不断扩展,低氧区的扩展可能与水温升高和海流交换减弱相关^[26]。经向翻转环流是低纬度水域与高纬度水域热交

换、固碳隔离的主要驱动因子, 近年的研究表明经向翻转环流正逐渐减弱^[28]。海流交换减弱使得海洋的气候调节能力下降, 出现局部海域异常高温或低温、风暴、极端天气等现象的概率增加, 甚至引起自然灾害。海洋环境变化势必对海洋生物产生重要影响, 低纬度海域表层(0~700 m)水温升高, 将促使海洋生物分布趋于极地化或更深水层^[29-30], 研究表明部分海洋生物分布范围正以每 10 年 72 km 的速度向北极扩展, 这种趋势与生物对水温或栖息地偏好一致^[31-32]。海洋生物分布极地化趋势将导致热带、亚极地、半封闭海等海域生物多样性和丰度降低, 研究预测, 至 2100 年热带海域初级生产力将下降 11%^[33]; 同时高纬度的海域发生生物入侵现象, 从而引起生态系统结构、功能改变; 而海洋酸化将对自然界中的钙化生物产生致命影响, 如虾、蟹、珊瑚虫等^[8]。

2.6 不同区域间海洋捕捞的不均衡发展

2018 年全球 50% 的捕捞产量源自中国、秘鲁、印度尼西亚、俄罗斯、美国等捕捞年产量居前 7 位的国家; 全球 456 万艘渔船中, 68% 渔船分布于亚洲, 20% 分布于非洲; 亚洲和非洲也是非机动渔船数量最大的 2 个洲; 而欧洲机动渔船的比例高达 99%, 居全球各洲之首^[8]; 不同区域之间海洋捕捞的发展差异明显。另外大部分发达国家基于长期的发展积累和系统的科学研究, 在辖区建立了较完善的管理制度、执法体系和配套的社会基础^[34-37], 相反发展中国家在海洋捕捞管理、渔船装备、基础技术研究、社会基础能力建设等方面明显落后于发达国家。20 世纪 90 年代以后, 发达国家为了促进其 EEZ 渔业资源的可持续利用, 且满足国内经济发展和消费需求, 开始严格控制其 EEZ 的捕捞配额和不断减少捕捞投入^[38], 并将捕捞压力转移至非洲沿海、拉丁美洲等发展中国家和地区, 而发展中国家受制于经济发展、粮食安全等因素的影响, 通过出售捕捞许可、联合开发等方式与发达国家开展渔业合作, 致使发展中国家 EEZ 的捕捞努力量近年来呈不断上升趋势, 最终导致 2 类区域的海洋捕捞走向截然不同的发展方向, 发达国家捕捞年产量跌至峰值的 50%, 但单位捕捞努力量产量(CPUE)趋于平稳或有所

增加, 资源养护效果明显, 而发展中国家捕捞年产量逐年上升, 但 CPUE 呈不断下降趋势, 被过度开发的渔业种类比例增加, 资源衰退的趋势明显^[2,8]。长此以往发展中国家与发达国家海洋捕捞的发展差距将进一步增大, 并将加剧发展中国家海域海洋生态系统破坏。

3 海洋捕捞可持续发展研究与展望

3.1 海洋捕捞管理体系建设

已有研究证明, 严格的渔业管理在促进渔业资源可持续利用、渔业资源修复、降低兼捕与抛弃、降低底拖网对底栖环境的负面影响等方面发挥着重要作用, 也取得了较好的效果^[39-41]。严格的渔业管理可能在短期内导致部分渔民失业、短期经济效益下降等问题, 但渔业资源可持续利用将为海洋捕捞发展、海洋生态系统保护予以长期的高额回报^[42], 可见完善的管理体系是促进海洋捕捞可持续发展的有力保障, 而有效的管理体系源自科学的研究分析、实践论证、调整完善。渔业资源是动态变化的, 包括资源量、资源分布、繁殖期等, 渔业科学的基础研究和动态监测对于相关管理政策的完善至关重要。除了管理法规之外, 激励性机制也应是管理体系中重要的组成部分, 激励性机制包括经济奖励、质量认证、社会荣誉等, 管理法规通常仅限于管理要求、限制措施等, 合适的激励机制可提高利益有关方发展负责任海洋捕捞的积极性^[43]、提高民众海洋保护意识。此外鉴于海洋鱼类行为习性、海洋生态系统关联性、国家或区域之间日益密切的渔业合作等因素, 海洋捕捞管理系统建设可能涉及多个国家或地区, 全球化或跨区域的渔业管理视角和渔业管理合作将是顺势所趋^[41]。有关国家或地区应实施有效的合作伙伴关系, 促进渔业合作, 分享管理知识, 加强发展中国家或区域的海洋捕捞管理体系建设, 增强治理能力, 共同促进区域平衡发展。国家或地区应根据海洋捕捞发展现状, 探索适合本国国情或本地区的海洋捕捞管理体系, 共同促进海洋捕捞的可持续发展。

3.2 减少兼捕和抛弃

渔具选择性优化是减少非目标渔获的兼捕和

抛弃的主要技术手段。Broadhurst 等^[44]从多项案例中总结了渔具选择性从技术优化到应用的 5 个步骤: (1) 量化兼捕渔获; (2) 识别主要兼捕种类和规格; (3) 将兼捕种类死亡率最小化的渔具选择性优化设计; (4) 渔具选择性技术优化的生产试验; (5) 被行业和利益有关方接受。其中步骤(3)渔具选择性优化的关键和难点是合适的优化方法。渔具选择性优化以目标渔获与兼捕渔获之间在生活习性、行为特征、体形特征等方面的差异作为研究切入点, 通过网具结构调整、增加选择性装置和声光电辅助设备等方法减少对非目标种类的兼捕。网具结构调整包括网目尺寸、网目形状、网型、下纲结构、钓钩形状、释放窗口等。通过调整网目尺寸或网目形状优化网具选择性能在拖网、流刺网、张网、笼壶等类型渔具中有较为深入的研究, 其研究成果也被普遍用于渔业管理^[20], 网型结构调整^[45-50]近年来在拖网研究中也展现出较好的种类选择性能。应用较广泛的选择性装置有虾拖网中 Nordmøre 分离栅^[51], 鱼类拖网中的“Sort-V”^[52]、“Sort-X”分离栅^[53]和柔性“Sort-X”栅格^[54], 磷虾拖网中的哺乳动物释放装置。辅助设备有流刺网中声、光的辅助设备^[55-56], 延绳钓钓具水下投放装置^[57]。总体上渔获种类组成越复杂、目标种类与兼捕种类差异越小, 选择性优化难度越大, 如底拖网、底层流刺网等作业方式。不同作业方式中, 通常被动性渔具(刺网、笼壶、钓具等)的选择性优于主动性渔具(拖网、围网)^[8], 鼓励应用选择性较好的渔具类型不失为减少兼捕的较好选择。理论上大部分作业方式存在实现零兼捕的可能, 但是可接受的边际成本将决定兼捕率水平。

除技术手段之外, 禁渔期、禁渔区、合适的激励机制等相关管理规定也是用于减少兼捕的常用辅助措施。不同的作业场景(目标种类、兼捕种类、作业方式等因素), 减少兼捕的措施或措施组合选择不尽相同。以可接受的兼捕率/兼捕量水平作为权衡要素, 开展减少兼捕最佳实践探索, 以期确定合适的措施或措施组合提供科学依据, 这也是目前国内外海洋捕捞业正在持续开展中的工作^[58-59]。

3.3 降低底拖网对底栖环境的影响

如何降低底拖网对底栖环境的影响一直是国际社会关注的热点问题, 渔具改进是降低底拖网对底栖环境的影响的主要技术措施。许多学者开展了降低底拖网对底栖环境影响的技术改进研究, 如改进下纲结构、降低曳纲长度与作业水深比、提升拖曳速度、改进网板结构和材料、离底拖网网板、应用电脉冲辅助设备^[60-62]。其中应用较广泛的优化方法如分布于白令海和阿拉斯加中部海湾的鲆鲽类网板拖网, 应用大直径的橡胶套环提升下纲离底高度, 减少了 24%的底栖生境干扰^[63]; 应用直径 15 cm 或 20 cm 的圆盘, 间歇安装于叉纲和手纲, 提高叉纲和手纲的离底高度, 与对照网相比较, 减少了叉纲和手纲对底栖生境 95%的影响^[61], 且对生产效益、作业操作不产生影响。颇具争议的电脉冲拖网在对虾类、鲆鲽类的捕捞中不仅可以提高捕捞效益, 而且可以显著降低底拖网对底栖生境的影响、减少非目标渔获兼捕^[64-65]。但研究表明电脉冲刺激可能导致作业区域附近的大西洋鳕脊椎畸形以及无脊椎动物死亡^[66-67]等生态问题。电脉冲造成的损伤与场强、脉冲频率、与电极之间的距离、生物种类等因素密切相关^[65-66, 68-70], 这也为电脉冲参数优化提供了研究方向。如何降低电脉冲拖网对栖息生物的负面影响以促进电脉冲拖网在可持续海洋捕捞方面的应用仍有待研究。以上改进方法(或发展替代渔具)主要是通过减少或减轻渔具与海底的接触, 具有潜在的发展优势, 但由于许多目标种类的有效捕捞往往取决于渔具与海底的紧密接触, 接触紧密程度降低可能会导致捕捞效率下降, 新的优化技术仍有待进一步研究。总体上优化技术能否被行业接受取决于技术优化的综合成本。合适的激励机制将有助于综合成本降低, 促进改进技术的应用。

除技术措施以外, Dorsey 等^[58]曾总结了 3 项用于降低底拖网影响的措施: 减少捕捞努力量、建立禁渔区、选择可替代渔具。McConnaughey 等^[59]综述了 3 类(8 项)目前已应用或研究中的措施: 区域管理类(5 项)、影响配额类(2 项)、捕捞努力量控制类(1 项)。合适的措施或者措施组合的选择与渔业管理目标、渔业现状、栖息环境现状

等因素密切相关, McConnaughey 等^[59]阐述了最佳措施或措施组合识别的基本框架: (1) 明确所有受底拖网影响的渔业、环境和社会经济管理目标; (2) 评估目前底拖网的影响空间范围和集中度; (3) 评估底拖网影响范围内敏感栖息地和较关注的其他栖息地的分布; (4) 评估措施或措施组合对实现管理目标可能性的影响。详实的科学数据是最佳措施组合识别的基础, 包括敏感底栖生境分布、敏感生物种类、生物多样性、底拖网轨迹数据等。

3.4 高效节能技术在海洋捕捞中的应用

能源消耗是捕捞生产成本中的主要组成部分, 据 FAO 估计, 2012 年全球捕捞渔船消耗燃料约 5390 万 t, 释放 CO₂ 约 1.72 亿 t, 约占全球 CO₂ 年排放量的 0.5%^[73]。发展高效节能型捕捞一直是捕捞技术变革的方向之一, 在能源紧缺、全球变暖的当下, 对于高效节能技术的需求显得尤为迫切。虽然不同渔船能源消耗组成差异明显, 总体上渔船能源消耗包括船舶航行、网具作业、排气和冷却系统损耗、传输损失、船载设备能耗等^[26]。合适的船体长度、球鼻型船首、船体平衡布局、船体光滑表面等方面的设计均能有效减少船体航行阻力^[26]; 船体、主机、变速箱、螺旋桨、冷却系统、给排气等匹配设计能有效提高能耗效率^[71]; 选择能耗较低的作业方式, 常见的作业方式中能耗的排序, 通常是流刺网<围网<双船拖网<中层网板拖网<底层网板拖网^[26,72-73]; 拖网是捕捞业中能耗最高的作业方式, 可通过网具(结构、材料、无节网片等)^[74-75]、扩张装置^[76]和属具(纲索、浮球、下纲结构、电脉冲等)的优化设计和系统匹配实现作业的高效节能^[26]; 灯光围网、灯光鱿鱼钓作业中采用节能型诱鱼灯替代金属卤化灯以降低能耗^[77-78], 展现出较大发展潜力; 此外辅助设备如多波束测深仪^[26]、网具状态监测传感器^[79]可用于海底地形、网具作业状态判断, 为选择合适作业区域、减少无效作业提供参考, 无线电浮标、卫星浮标等设备可用于流刺网、延绳钓、集鱼装置等作业方式空间定位, 提高搜索效率。

技术更新成本低于优化效果是高效节能技术应用的前提, 总体上船体、主机等设备使用周期

较长, 优化更新成本较高、难度大, 建造前的专业化和精细设计、新技术的应用至关重要; 对于已建造的船舶, 应更注重船舶后期维护, 注重渔具、捕捞装备和辅助设备等技术更新, 因此新旧渔船的节能技术研究应采用不同策略, 另外不同作业方式的高效节能技术选择应因船而异, 提倡多种技术融合使用。目前全球海洋捕捞业中新旧渔船共用现象普遍, 且大部分为老旧渔船, 作业方式种类繁多。除丹麦、挪威、日本等渔业发达国家对高效节能技术展开了系列探索和实践之外^[80], 大部分发展中国家研究相对滞后, 高效节能技术研究与应用仍具有较大潜力。

3.5 废弃渔具管理和污染防治

废弃渔具处理相关管理法规的缺失可能是大量废弃渔具流向海洋的关键因素之一, 目前关于废弃渔具管理仅在一些相关的法规中有所涉及, 如《国际防止船舶造成污染公约》《负责任渔业行为守则》《中华人民共和国海洋环境保护法》等, 但这些法规中关于废弃渔具的管理条款通常只是原则性规定, 需要进一步补充完善。废弃渔具的产生通常经历渔具生产、流通、使用、废弃等环节, 废弃渔具的专项管理政策应以减少废弃渔具流向海洋为目的, 从废弃渔具产生环节跟踪、利益有关方、预防和减少废弃渔具产生、回收管理、社会基础配套管理等方面出发研究制定。同时开展减少废弃渔具的最佳实践探索, 包括渔具标识、流通和使用环节跟踪、加强基础能力建设、加强渔船和渔港监督与管理、鼓励回收利用、加强可降解渔具材料研究等, 建立完善的废弃渔具污染防治机制^[81-82]。

废弃渔具回收利用是减少废弃渔具流向海洋的有效措施之一。目前废弃渔具回收利用已在多个国家进行^[83], 并已初具规模, 形成各自产业链条, 如挪威、丹麦、意大利、中国等, 主要回收技术分为化学回收和机械回收 2 种: 化学回收是通过化学反应对废弃渔具进行解聚还原, 其回收材料与原材料无异, 但目前仅应用于锦纶(PA)材料; 机械回收是通过切割、高温造粒, 回收材料的性能比原材料差, 且目前回收技术仍存在废气、污水次污染问题, 但可用于多种高分子材料。目前

渔具回收主要是市场行为,废弃渔具的拆解、清洁等环节需要大量人力和水资源,回收成本较高,因此受国际原材料价格影响较大,群众废弃渔具回收意识和政府政策支持有待加强。

生物可降解材料将为缓解废弃渔具的环境污染提供新的途径,早期研究表明,聚琥珀酸丁二醇酯(PBS)和聚对苯二甲酸丁二醇酯(PBAT)混合材料能在海水中被微生物、藻类自然降解,2年内便失去捕捞能力,但混合材料着色力较弱,容易因上色导致强度和弹性降低^[84-85]。Kim等^[86-87]将PBS和PBAT混合材料应用于鳗鱼笼和章鱼笼,生产试验表明对于康吉鳗的捕捞效果,PBS和PBAT混合材料与常用的尼龙(PA)材料相近,但对于章鱼捕捞则需要与PA材料合用。聚丁烯琥珀酸可改善材料着色力,聚丁烯琥珀酸在自然界中可降解为CO₂、水和甲烷,但材料强度和弹性仍比常用的PA弱,单位时间产量比PA低21%^[88]。中国水产科学研究院东海水产研究所渔具材料研发团队研发的聚乳酸(PLA)材料,降解周期为15个月,但强度仅为PA的60%。新材料与实际应用仍有一定差距。

3.6 气候变化应对

气候变化引起的海洋生物分布、生活习性等方面的改变,将对海洋捕捞管理、渔场分布、捕捞技术、生产安全等方面产生影响,尽管影响程度、范围等仍不明确,但国际社会一直在呼吁开展气候变化应对措施探索,尤其在以海洋捕捞为支柱产业的岛屿国家和地区。有研究曾对适应气候变化的措施进行分析探讨,应对措施总体上可分为:制度适应、生计适应、促进恢复、降低风险^[8]。制度适应包括公共政策、法律框架、机构框架等方面的适应调整,生物资源的长期动态监测和评估是完善制度适应的基础,深入开展海洋生物分布、生物量变化、生活史等基础研究,可为捕捞管理、发展规划制定、资源保护等相关管理制度调整完善提供科学依据。构建多元化生计体系,包括水产品、加工技术、渔民生计等方面的多元化发展。发展可持续渔业,加强渔场预测、特殊生境保护等方面基础和应用研究,提高渔业的适应能力和恢复能力;加强极端天气预警、通

讯、风险救助、风险意识普及、渔船升级改造等基础能力建设,提高抗风险能力。此外适应应该被视为一个持续的迭代过程,气候变化的应对措施是在应用、评价、调整的过程中不断完善,加强成功案例分析研究,将有助于提高应对措施应对效率。

4 总结与建议

海洋捕捞事关国际粮食安全、海洋生态系统健康。海洋捕捞的可持续发展需要立足长远、多措并举。

4.1 总结

完善的管理体系是促进海洋捕捞可持续发展的有力保障;合适的激励机制可提高利益有关方发展负责任海洋捕捞的积极性,提高民众海洋保护意识。

目前已应用或研究中用于减少兼捕的措施包括渔具选择性优化、禁渔期、禁渔区、合适的激励机制等,不同的作业场景(目标种类、兼捕种类、作业方式等因素)减少兼捕的措施组合选择不尽相同,以可接受的兼捕率/兼捕量水平作为权衡要素,开展减少兼捕最佳实践探索,以期确定为确定合适的措施或措施组合提供科学依据。

目前已应用或研究中用于降低底拖网对底栖环境影响的措施包括渔具改进、区域管理、影响配额、捕捞努力量控制等,以实现管理目标的可能性作为评价指标,开展降低底拖网对底栖环境影响的最佳实践探索,以期为最佳措施组合识别提供科学依据。

能源消耗是捕捞生产成本中的主要组成部分,渔船能源消耗包括船舶航行、网具作业、排气和冷却系统损耗、传输损失、船载设备能耗等。不同作业方式的高效节能技术选择应因船而异。新旧渔船的节能技术研究应采用不同策略,新船应更注重建造前的专业化和精细设计,新技术的应用至关重要;旧船应更注重设备保养、维护、现有技术的改进等。

废弃渔具处理相关管理法规的缺失可能是大量废弃渔具流向海洋的关键因素之一。现有废弃渔具回收利用技术依然存在技术创新不足、水和

大气污染等问题,且目前渔具回收主要是市场行为,受国际原材料价格影响较大,群众废弃渔具回收意识和政府政策支持有待加强。可降解材料研究将为解决废弃渔具环境污染问题提供新的思路。

气候变化将对海洋捕捞产生深远影响,气候变化应对措施总体上可分为:制度适应、生计适应、促进恢复、降低风险。加强成功案例分析研究,将有助于提高应对措施应对效率。

4.2 建议

(1) 加强生态友好型渔具渔法、高效节能技术、渔业资源等方面的基础和应用研究,为减少兼捕、降低底拖网对底栖环境的影响、海洋捕捞高效节能等方面的最佳策略选择提供技术支撑。

(2) 鼓励开展减少兼捕、降低底拖网对底栖环境的影响、海洋捕捞高效节能、减少废弃渔具流向海洋等方面的最佳实践探索。为完善海洋捕捞管理体系建设提供科学依据。

(3) 完善海洋捕捞管理体系和废弃渔具管理体系建设,增强治理能力,加强激励机制的探索研究。

(4) 加强国家或地区间渔业合作,分享管理知识,促进区域间平衡发展。

(5) 加强对废弃渔具回收产业的政策扶持,鼓励开展废弃渔具回收再利用技术、生物可降解材料研究。

(6) 鼓励持续开展海洋生物对气候变化的响应方面的基础研究,加强气候变化应对措施的探索。

参考文献:

- [1] Huang X C. Piscatology[M]. Chongqing: Chongqing Press, 2001: 1-22. [黄锡昌. 捕捞学[M]. 重庆: 重庆出版社, 2001: 1-22.]
- [2] Food Agriculture Organization of United Nations. The state of world fisheries and aquaculture 2018[R]. FAO Meeting the Sustainable Development Goals Report. 2018: 2-120.
- [3] Squires D, Vestergaard N. Technical change in fisheries[J]. Marine Policy, 2013, 42: 286-292.
- [4] Huang H L, Chen X Z. Min-water trawl techniques for fishing Chilean jack mackerel in the southeastern Pacific Ocean[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2005, 12(1): 99-103. [黄洪亮, 陈雪忠. 东南太平洋智利竹荚鱼中层拖网捕捞技术[J]. 中国水产科学, 2005, 12(1): 99-103.]
- [5] Song L M. Environmental Biology of Fishes and Gear Performance In Pelagic Tuna Long-Line Fishery[M]. Beijing: Science Press, 2015: 1-176. [宋利明. 金枪鱼延绳钓渔业中的鱼类环境生物学和渔具性能研究[M]. 北京: 科学出版社, 2015: 1-176.]
- [6] Xu L X, Wang M F, Ye X C, et al. Measurement and analysis of sinking characteristics of tuna purse seine[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2011, 18(5): 1161-1169. [许柳雄, 王敏法, 叶旭昌, 等. 金枪鱼围网沉降特性[J]. 中国水产科学, 2011, 18(5): 1161-1169.]
- [7] Liu J, Huang H L, Li L Z, et al. Research progress of Antarctic krill (*Euphausia superba*) continuous fishing techniques[J]. Fishery Modernization, 2013, 40(4): 51-54. [刘健, 黄洪亮, 李灵智, 等. 南极磷虾连续捕捞技术发展状况[J]. 渔业现代化, 2013, 40(4): 51-54.]
- [8] Food Agriculture Organization of United Nations. The state of world fisheries and aquaculture 2020[R]. FAO Sustainability In Action Report, 2020: 1-100.
- [9] Huang S L. The recent development of the regime of international fisheries management and the challenge faced by Chinese fisheries[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 1998, 7(3): 223-230. [黄硕琳. 国际渔业管理制度的最新发展及我国渔业所面临的挑战[J]. 上海水产大学学报, 1998, 7(3): 223-230.]
- [10] Tremblay-Boyer L, Gascuel D, Watson R, et al. Modelling the effects of fishing on the biomass of the world's oceans from 1950 to 2006[J]. Marine Ecology Progress Series, 2011, 442: 169-185.
- [11] Atkinson A, Siegel V, Pakhomov E, et al. Long-term decline in krill stock and increase in salps within the Southern Ocean[J]. Nature, 2004, 432(7013): 100-103.
- [12] Lin L S, Cheng J H, Ren Y P, et al. Analysis of population biology of small yellow croaker *Pseudosciaena polyactis* in the East China Sea region[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2004, 11(4): 333-338. [林龙山, 程家骅, 任一平, 等. 东海区小黄鱼种群生物学特性的分析[J]. 中国水产科学, 2004, 11(4): 333-338.]
- [13] Gascuel D, Labrosse P, Meissa B, et al. Decline of demersal resources in North-West Africa: An analysis of Mauritanian trawl-survey data over the past 25 years[J]. African Journal of Marine Science, 2007, 29(3): 331-345.
- [14] Xu K D, Liu Z F. The Current stock of large yellow croaker *Pseudosciaena crocea* in the East China Sea with respects of its stock decline[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2007, 22(5): 392-396. [徐开达, 刘子藩. 东海区大黄鱼渔业资源及资源衰退原因分析[J]. 大连水产学院学报, 2007,

- 22(5): 392-396.]
- [15] Friedlander A M, DeMartini E E. Contrasts in density, size, and biomass of reef fishes between the northwestern and the main Hawaiian Islands: The effects of fishing down apex predators[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2002, 230: 253-264.
- [16] Christensen V, Guénette S, Heymans J J, et al. Hundred-year decline of North Atlantic predatory fishes[J]. *Fish and Fisheries*, 2003, 4(1): 1-24.
- [17] Myers R A, Worm B. Rapid worldwide depletion of predatory fish communities[J]. *Nature*, 2003, 423(6937): 280-283.
- [18] Richardson A J, Bakun A, Hays G C, et al. The jellyfish joyride: Causes, consequences and management responses to a more gelatinous future[J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 2009, 24(6): 312-322.
- [19] Pauly D, Christensen V, Dalsgaard J, et al. Fishing down marine food webs[J]. *Science*, 1998, 279(5352): 860-863.
- [20] Sun M C. The Selectivity of Fishing Gears And Methods[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2004: 1-340. [孙满昌. 渔具渔法选择性[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004: 1-340.]
- [21] Pérez Roda, M A, Gilman, E, Huntington T, et al. A third assessment of global marine fisheries discards[J]. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*, 2019(633): 1-78.
- [22] Shen G Y. *Marine Ecology*[M]. 3rd ed. Beijing: Science Press, 2010: 207-216. [沈国英. 海洋生态学[M]. 第 3 版. 北京: 科学出版社, 2010: 207-216.]
- [23] John W V, Terje J, Arill E. Options to mitigate bottom habitat impact of dragged gears[J]. *FAO Fisheries Technical Paper*, 2007(506): 1-63.
- [24] Gilman E, Chopin F, Suuronen P, et al. Abandoned, lost or otherwise discarded gillnets and trammel nets: methods to estimate ghost fishing mortality, and the status of regional monitoring and management[J]. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*, 2016(600): 1-79.
- [25] Huang B Y, Banzon V F, Freeman E, et al. Extended reconstructed sea surface temperature version 4 (ERSST.v4). part I: Upgrades and intercomparisons[J]. *Journal of Climate*, 2015, 28(3): 911-930.
- [26] Manuel B, Tarûb B, Malcolm C M, et al. Impacts of climate change on fisheries and aquaculture[J]. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*, 2018(627): 1-654.
- [27] Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2014: Synthesis report[R]. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report on the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core writing team, R.K. Pachauri & L.A. Meyer, eds. Geneva, 2014: 1-151.
- [28] Caesar L, Rahmstorf S, Robinson A, et al. Observed fingerprint of a weakening Atlantic Ocean overturning circulation[J]. *Nature*, 2018, 556(7700): 191-196.
- [29] Perry A L, Low P J, Ellis J R, et al. Climate change and distribution shifts in marine fishes[J]. *Science*, 2005, 308(5730): 1912-1915.
- [30] Dulvy N K, Rogers S I, Jennings S, et al. Climate change and deepening of the North Sea fish assemblage: A biotic indicator of warming seas[J]. *Journal of Applied Ecology*, 2008, 45(4): 1029-1039.
- [31] Poloczanska E S, Brown C J, Sydeman W J, et al. Global imprint of climate change on marine life[J]. *Nature Climate Change*, 2013, 3(10): 919-925.
- [32] Pinsky M L, Worm B, Fogarty M J, et al. Marine taxa track local climate velocities[J]. *Science*, 2013, 341(6151): 1239-1242.
- [33] Kwiatkowski L, Bopp L, Aumont O, et al. Emergent constraints on projections of declining primary production in the tropical oceans[J]. *Nature Climate Change*, 2017, 7(5): 355-358.
- [34] Chen S X. Overview of Fisheries management in Norway[J]. *Marine fisheries*, 2002, 24(1): 47-50. [陈思行. 挪威渔业管理概述[J]. 海洋渔业, 2002, 24(1): 47-50.]
- [35] Chen G, Chen W Z. A primary discussion on the mode of fisheries management in USA[J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2002, 11(3): 237-241. [陈刚, 陈卫忠. 对美国渔业管理模式的初步探讨[J]. 上海水产大学学报, 2002, 11(3): 237-241.]
- [36] Tang J Y, Shi G H. Management of Antarctic krill and its implications for China's distant water fisheries[J]. *Resources Science*, 2010, 32(1): 11-18. [唐建业, 石桂华. 南极磷虾渔业管理及其对中国的影响[J]. 资源科学, 2010, 32(1): 11-18.]
- [37] Xu L X, Dai X J. Trends of international tuna fishery management and its influence on the development of Tuna fishery in China[J]. *Marine Fisheries*, 2003, 3: 109-111. [许柳雄, 戴小杰. 国际金枪鱼渔业管理趋势及对我国发展金枪鱼渔业的影响[J]. 海洋渔业, 2003, 3: 109-111.]
- [38] Bell J D, Watson R A, Ye Y M. Global fishing capacity and fishing effort from 1950 to 2012[J]. *Fish and Fisheries*, 2017, 18(3): 489-505.
- [39] Hilborn R, Amoroso R O, Anderson C M, et al. Effective fisheries management instrumental in improving fish stock status[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2020, 117(4): 2218-2224.
- [40] Jacobsen N S, Burgess M G, Andersen K H. Efficiency of fisheries is increasing at the ecosystem level[J]. *Fish and Fisheries*, 2017, 18(2): 199-211.

- [41] Ye Y M, Gutierrez N L. Ending fishery overexploitation by expanding from local successes to globalized solutions[J]. *Nature Ecology & Evolution*, 2017, 1: 179.
- [42] Ye Y M, Cochrane K, Bianchi G, et al. Rebuilding global fisheries: The World Summit Goal, costs and benefits[J]. *Fish and Fisheries*, 2013, 14(2): 174-185.
- [43] Lubchenco J, Cerny-Chipman E B, Reimer J N, et al. The right incentives enable ocean sustainability successes and provide hope for the future[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2016, 113(51): 14507-14514.
- [44] Broadhurst M K, Kennelly S J, Gray C. Strategies for Improving the Selectivity of Fishing Gears[M]//Kennelly S J. *By-catch Reduction in the World's Fisheries. Reviews: Methods and Technologies in Fish Biology and Fisheries*. Dordrecht: Springer, 2007: 1-22.
- [45] Revill A S, Jennings S. The capacity of benthos release panels to reduce the impacts of beam trawls on benthic communities[J]. *Fisheries Research*, 2005, 75(1-3): 73-85.
- [46] Kynoch R J, O'Neill F G, Fryer R J. Test of 300 and 600 mm netting in the forward sections of a Scottish whitefish trawl[J]. *Fisheries Research*, 2011, 108(2-3): 277-282.
- [47] Fonteyne R, Polet H. Reducing the benthos by-catch in flatfish beam trawling by means of technical modifications[J]. *Fisheries Research*, 2002, 55(1-3): 219-230.
- [48] Eayrs S, Pol M, Caporossi S T, et al. Avoidance of Atlantic cod (*Gadus morhua*) with a topless trawl in the new England groundfish fishery[J]. *Fisheries Research*, 2017, 185: 145-152.
- [49] [49] van Marlen B. Improving the selectivity of beam trawls in The Netherlands: The effect of large mesh top panels on the catch rates of sole, plaice, cod and whiting[J]. *Fisheries Research*, 2003, 63(2): 155-168.
- [50] Krag L A, Herrmann B, Karlsen J D, et al. Species selectivity in different sized topless trawl designs: Does size matter? [J]. *Fisheries Research*, 2015, 172: 243-249.
- [51] Isaksen B, Valdemarsen J W, Larsen R B, et al. Reduction of fish by-catch in shrimp trawl using a rigid separator grid in the aft belly[J]. *Fisheries Research*, 1992, 13(3): 335-352.
- [52] Herrmann B, Sistiaga M, Larsen R B, et al. Understanding sorting grid and codend size selectivity of Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*)[J]. *Fisheries Research*, 2013, 146: 59-73.
- [53] Larsen R B, Isaksen B. Size selectivity of rigid sorting grids in bottom trawls for Atlantic cod (*Gadus morhua*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*)[J]. *ICES Marine Science Symposium*, 1993, 196: 178-182.
- [54] Sistiaga M, Brinkhof J, Herrmann B, et al. Size selective performance of two flexible sorting grid designs in the Northeast Arctic cod (*Gadus morhua*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) fishery[J]. *Fisheries Research*, 2016, 183: 340-351.
- [55] Kraus S D, Read A J, Solow A, et al. Acoustic alarms reduce porpoise mortality[J]. *Nature*, 1997, 388(6642): 525.
- [56] Wang J, Barkan J, Fisler S, et al. Developing ultraviolet illumination of gillnets as a method to reduce sea turtle bycatch[J]. *Biology Letters*, 2013, 9(5): 20130383.
- [57] Robertson G, Ashworth P, Ashworth P, et al. Setting baited hooks by stealth (underwater) can prevent the incidental mortality of albatrosses and petrels in pelagic longline fisheries[J]. *Biological Conservation*, 2018, 225: 134-143.
- [58] Dorsey E M, Pederson J. Effects of Fishing Gear On the Sea Floor of New England[M]. Boston, Massachusetts: Conservation Law Foundation, 2009: 100-103.
- [59] McConnaughey R A, Hiddink J G, Jennings S, et al. Choosing best practices for managing impacts of trawl fishing on seabed habitats and biota[J]. *Fish and Fisheries*, 2020, 21(2): 319-337.
- [60] Valdemarsen J W, Jørgensen T, Engås A. Options to Mitigate Bottom Habitat Impact of Dragged Gears[M]. Rome: Food and Agriculture Organization, 2007: 1-27.
- [61] Rose C S, Gauvin J R, Hammond C F. Effective herding of flatfish by cables with minimal seafloor contact[J]. *Fishery Bulletin-National Oceanic and Atmospheric Administration*, 2010, 108(2): 136-144.
- [62] Broadhurst M K, Sterling D J, Millar R B. Modifying otter boards to reduce bottom contact: Effects on catches and efficiencies of triple-rigged penaeid trawls[J]. *Fisheries Management and Ecology*, 2015, 22(5): 407-418.
- [63] Smeltz T S, Harris B P, Olson J V, et al. A seascape-scale habitat model to support management of fishing impacts on benthic ecosystems[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2019, 76(10): 1836-1844.
- [64] van Marlen B, Wiegerinck J A M, van Os-Koomen E, et al. Catch comparison of flatfish pulse trawls and a tickler chain beam trawl[J]. *Fisheries Research*, 2014, 151: 57-69.
- [65] Soetaert M, Decostere A, Polet H, et al. Electrotrawling: a promising alternative fishing technique warranting further exploration[J]. *Fish and Fisheries*, 2015, 16(1): 104-124.
- [66] de Haan D, Fosseidengen J E, Fjellidal P G, et al. Pulse trawl fishing: Characteristics of the electrical stimulation and the effect on behaviour and injuries of Atlantic cod (*Gadus morhua*)[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2016, 73(6): 1557-1569.

- [67] Van Marlen B, de Haan D, Van Gool A, et al. The effect of pulse stimulation on marine biota-Research in relation to ICES advice-Progress report on the effects on benthic invertebrates[R]. Institute for Marine Resources & Ecosystem Studies, 2009: 1-53.
- [68] Verschueren B, Lenoir H, Soetaert M, et al. Revealing the by-catch reducing potential of pulse trawls in the brown shrimp (*Crangon crangon*) fishery[J]. Fisheries Research, 2019, 211: 191-203.
- [69] Desender M, Chiers K, Polet H, et al. Short-term effect of pulsed direct current on various species of adult fish and its implication in pulse trawling for brown shrimp in the North Sea[J]. Fisheries Research, 2016, 179: 90-97.
- [70] Soetaert M, Decostere A, Verschueren B, et al. Side-effects of electrotrawling: Exploring the safe operating space for dover sole (*Solea solea* L.) and Atlantic cod (*Gadus morhua* L.)[J]. Fisheries Research, 2016, 177: 95-103.
- [71] Gulbrandsen O. Fuel Savings For Small Fishing Vessels[M]. Rome: FAO, 2012: 1-57.
- [72] Driscoll J, Tyedmers P. Fuel use and greenhouse gas emission implications of fisheries management: The case of the new England Atlantic herring fishery[J]. Marine Policy, 2010, 34(3): 353-359.
- [73] Thomsen B, Zachariassen K, Eliassen M, et al. Fuel optimization in the Faroese fishing fleet[C/OL]. First International Symposium on Fishing Vessel Energy Efficiency, E-Fishing, Vigo, Spain, 2010. <http://www.e-fishing.eu/papers.php>.
- [74] Balash C, Sterling D, Binns J, et al. Drag characterisation of prawn-trawl bodies[J]. Ocean Engineering, 2016, 113: 18-23.
- [75] Sterling D, Balash C. Engineering and catching performance of five netting materials in commercial prawn-trawl systems[J]. Fisheries Research, 2017, 193: 223-231.
- [76] Sala A, Buglioni G, Lucchetti A. Fuel saving otter boards[C]. Energy Use In Fisheries: Improving Efficiency And Technological Innovations From A Global Perspective, 2010: 14-17.
- [77] An Y I, He P G, Arimoto T, et al. Catch performance and fuel consumption of LED fishing lamps in the Korea hairtail angling fishery[J]. Fisheries Science, 2017, 83(3): 343-352.
- [78] Matsushita Y, Azuno T, Yamashita Y. Fuel reduction in coastal squid jigging boats equipped with various combinations of conventional metal halide lamps and low-energy LED panels[J]. Fisheries Research, 2012, 125-126: 14-19.
- [79] Grimaldo E, Sistiaga M, Larsen R B. Development of catch control devices in the Barents Sea cod fishery[J]. Fisheries Research, 2014, 155: 122-126.
- [80] Notti E, Sala A. Information collection in energy efficiency for fisheries (ICEEF-3)[R]. JRC Scientific and Police Report. 2014: 75-91
- [81] Ju M W, Zhang S F, Qu L, et al. Discussion on pollution control status and management countermeasures of derelict fishing gear[J]. Environmental Protection, 2020, 48(23): 32-36. [鞠茂伟, 张守锋, 曲玲, 等. 废弃渔具污染防治现状与管理对策探讨[J]. 环境保护, 2020, 48(23): 32-36.]
- [82] Gilman E. Status of international monitoring and management of abandoned, lost and discarded fishing gear and ghost fishing[J]. Marine Policy, 2015, 60: 225-239.
- [83] Dixon C. Approaches to the collection and recycling of end of life fishing gear: An overview with contacts and case studies[R/OL]. Global Ghost Gear Initiative. 2018. <https://www.ghostgear.org/news/2018/2/2/recycling-ghost-gear-guidance-document>.
- [84] Kim S, Kim P, Lim J, et al. Use of biodegradable driftnets to prevent ghost fishing: Physical properties and fishing performance for yellow croaker[J]. Animal Conservation, 2016, 19(4): 309-319.
- [85] Kim M K, Yun K C, Kang G D, et al. Biodegradable resin composition and fishing net produced from same: US20170112111[P]. 2017-04-27.
- [86] Kim S, Park S W, Lee K. Fishing performance of environmentally friendly tubular pots made of biodegradable resin (PBS/PBAT) for catching the Conger eel *Conger myriaster*[J]. Fisheries Science, 2014, 80(5): 887-895.
- [87] Kim S, Park S, Lee K. Fishing performance of an *Octopus minor* net pot made of biodegradable twines[J]. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2014, 14(1): 21-30.
- [88] Grimaldo E, Herrmann B, Su B, et al. Comparison of fishing efficiency between biodegradable gillnets and conventional nylon gillnets[J]. Fisheries Research, 2019, 213: 67-74.

The development status and prospect of contemporary marine fisheries

HUANG Hongliang^{1,2}, FENG Chao³, LI Lingzhi^{1,2}, RAO Xin^{1,2}, CHEN Shuai^{1,2}, YANG Jialiang^{1,2}

1. Key Laboratory of East China Sea and Oceanic Fishery Resources Exploitation, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China;
2. Engineering Technology Research Center of Marine Fishing, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China;
3. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract: Marine fisheries are closely related to international food security and the health of marine ecosystems. Due to progress in science and technology, contemporary marine fisheries have developed rapidly but still face a series of problems, such as the decline of fishery resources, the effect of bottom trawling on the seabed, bycatch and discards, ghost fishing and plastic pollution caused by ALDFG (abandoned, lost, discarded fishing gear), climate change, and unbalanced development. This article reviews the progress in the management, technical innovation, and best practices of marine fisheries, which aim to alleviate the above problems. Based on our review, we suggest that stakeholders should: (1) further strengthen basic and applied research into eco-friendly fishing gear and methods, energy efficient technologies, recycling technologies for end-of-life fishing gear, and biodegradable material; (2) identify best practices for energy efficient technology and for reducing by-catch, the impact of bottom trawling on the benthic environment, and the addition of end-of-life fishing gear into the ocean; (3) strengthen exploration and research into incentive mechanisms; increase policy support for the recycling industry for end-of-life fishing gear; improve management systems for marine fisheries and end-of-life fishing gear and enhance governance capacity; (4) strengthen fishery cooperation between countries or regions, share management knowledge and promote balanced development between regions; and (5) strengthen strategic research into adaptation to climate change. Thus, to promote the sustainable development of fisheries, we need to make a long-term plan and adopt all necessary measures.

Keywords: marine fisheries; sustainable development; fisheries management systems; eco-friendly; end-of life fishing gear; climate change; best practice

Corresponding author: Li Lingzhi. E-mail: lilz@ecsf.ac.cn