



· 综述 ·

## 中国渔业生态环境学科研究进展与展望

李纯厚<sup>1,2\*</sup>, 齐占会<sup>1</sup>

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东省渔业生态环境重点实验室, 农业农村部外海渔业开发重点实验室, 农业农村部南海渔业资源开发利用重点实验室, 广东珠江口生态系统野外科学观测研究站, 广东 广州 510300;  
2. 西沙岛礁渔业生态系统海南省野外科学观测研究站, 海南 三亚 572018)

**摘要:** 我国是渔业大国, 2022年水产品产量达6800多万t, 其中养殖产量约占世界养殖总产量的60%。渔业在保障国家粮食安全与营养安全, 尤其是优质蛋白质供给中发挥了极其重要作用, 与此同时渔业生产活动对养殖水域和毗连自然海域生态环境的影响也备受关注。渔业生态环境学科主要研究渔业活动对自然水域生态系统的影响、气候变化和人类活动对渔业生产以及渔业水域生态环境的影响、以及受损渔业水域生态修复与生境恢复等基础科学和产业技术问题。本文概括性总结了我国渔业生态环境学科的主要研究领域, 以及近十年来各领域所取得的重要进展, 并对我国渔业生态环境学科未来发展方向进行了展望, 提出了今后渔业生态环境学科的研究重点, 以期为推动中国渔业生态环境保护, 促进渔业可持续发展提供参考。

**关键词:** 渔业; 生态环境; 监测评价; 碳汇; 生态修复

**中图分类号:** S 931

**文献标志码:** A

渔业生产包括天然渔业资源捕捞业和水产增养殖业。近年来, 受全球渔业资源衰退和渔业发展政策的影响, 我国捕捞业的产量呈下降的趋势; 而水产增养殖业则自从1985年确立“以养殖为主”的方针后迅猛发展, 在30多年的时间内几乎遍布内陆和近海所有的可养水域空间, 形成了世界独有的规模大、强度高、发展快的业态格局, 一定程度上可以视作是在较短时间尺度内只在我国发生的人类主导的对自然水域的剧烈改造和利用过程, 对自然水域的物理、化学和生物过程都产生了深远影响。此外, 由于水产品的可持续产出对于保障我国及全球粮食安全和营养安全发挥了重要作用, 因此气候变化和其他形式的人类活动对渔业生产和渔业水域生态系统健康的影响也备受关注。

渔业生态环境学科的主要研究内容, 包括解析渔业生态环境研究中的理论问题, 阐释有关概念、定义与基本原理; 对渔业水域的生态环境开展持续监测, 了解渔业生态环境的现状, 分析其演变趋势; 揭示渔业活动对水域生态环境的影响机制与关键过程; 阐明气候变化等自然过程和人类活动对渔业水域生态环境和水产品可持续产出的影响; 构建受损渔业水域生态修复与生境恢复的方法与技术。其目标是在实现水产品可持续产出的同时, 确保渔业水域生态环境健康, 甚至通过渔业活动改善环境状况, 为落实“大食物观”国家战略和实施生态文明建设提供科技支撑。本文综述了我国渔业生态环境学科各研究领域在近十年所取得的主要进展, 并对未来应关注的科学问

收稿日期: 2023-09-27 修回日期: 2023-10-23

资助项目: 国家自然科学基金(41976149); 广东省自然科学基金(2021A1515011377); 中国水产科学研究院基本科研业务费专项(2023TD16)

通信作者: 李纯厚, 从事渔业资源及生态保护研究, E-mail: chunhou@scsfri.ac.cn



题进行了展望。限于作者的专业领域, 本文对研究进展的总结和所提出的展望都难免挂一漏万, 但希望能为本学科科研人员、渔业管理部门和社会公众提供参考, 并引起各方面对渔业生态环境学科的关注和思考。

## 1 渔场生态环境研究

### 1.1 深远海渔场水域

开展深远海渔场水域的水文、化学和生物生态学调查分析, 揭示渔场分布与水域生态环境之间的关系, 探讨渔场形成机制是渔业生态环境学科的重要研究方向之一。以南海外海渔业水域为例, 中国水产科学研究院南海水产研究所等单位在农业农村部财政专项“南海渔业资源调查与评估”、国家重点基础研究发展计划“南海陆坡生态系统动力学与生物资源的可持续利用”等项目支持下, 在调查渔业资源的同时, 同步调查了渔场水域生态环境特征和渔场环境要素, 从生态系统动力学角度出发, 综合多环境变量现场观测、数值模拟、室内实验和理论分析等研究手段, 分析了渔场水域的关键物理过程、生源要素输运和循环过程、浮游生物群落分布及功能、南海渔业资源结构与食物网营养动力学, 探讨了支撑中层鱼生物量的关键生态动力过程, 从生态环境角度解析典型渔场的形成机制<sup>[1-6]</sup>。

### 1.2 近海重要渔业水域

在近海“三场一通道”等重要渔业水域开展了生态环境调查, 分析了渔场分布及其变动的的原因。姜涛等<sup>[7]</sup>通过耳石微化学等技术, 对长江中下游刀鲚等种类的洄游和分布开展了长期跟踪研究, 探讨了重要渔业生境的现状和演变趋势<sup>[8-9]</sup>。尤其值得指出的是我国自 2020 年开始实施长江十年禁渔计划, 这为揭示捕捞压力对渔业资源和生态系统的影响提供了难得的机会。姜涛等<sup>[10]</sup>对比分析了禁渔前后长江中下游湖泊鱼类资源的变动, 探讨了禁渔政策对资源恢复的效果。随着禁渔时间的延长, 长江水域渔业资源和生态环境也将发生更多的变化, 开展持续的跟踪监测, 对揭示捕捞压力去除后渔业资源恢复和生境演变过程有重要的科学意义。

### 1.3 近岸浅海和海湾渔业水域

近岸滩涂和浅海水域尤其是封闭和半封闭的

海湾, 如胶州湾、桑沟湾和大亚湾等是渔业活动的重要区域, 近年来国家重点基础研究发展计划“人类活动引起的营养物质输入对海湾生态环境影响机理与调控原理”“典型养殖系统对自然水域生态系统的影响机理”等项目对这些区域开展了生态环境调查, 在掌握渔场环境要素的基础上, 通过构建 Ecopath 模型和基于底栖动物群落的生物性状分析模型等方法, 分析了食物链组成和生态转化效率, 探讨了生态系统中能量流动主要路径和能量传递效率, 通过与历史资料对比, 分析了典型渔业水域生态系统结构和功能的演变过程, 揭示了生态系统的发展阶段与稳定性, 并探讨了生态系统对污水排放、海水养殖和核电厂温排水等不同类型人类活动的响应机制<sup>[11-15]</sup>。

## 2 渔业水域生态环境监测与评价

### 2.1 长期性连续监测与评价

我国 1985 年成立全国渔业生态环境监测网, 截止 2015 年已有 48 家网络成员单位。此外, 近年来农业农村部等部门在重要渔业水域新成立了一批国家渔业资源环境观测平台, 如黑龙江流域渔业生态省野外科学观测研究站 (2022)、白洋淀流域生态环境监测中心 (2020)、广东珠江口生态系统野外科学观测研究站 (2020)、西沙岛礁渔业生态系统野外科学观测研究站 (2023) 等, 对我国 160 多个重要渔业水域的水质<sup>[16]</sup>、生态 (如浮游生物<sup>[17-18]</sup>、底栖动物<sup>[19]</sup>、微生物<sup>[20]</sup>、赤潮<sup>[21]</sup> 等)、沉积物和生物体四大类要素共 18 项指标开展了连续监测, 监测总面积约 1100 余万  $\text{hm}^2$ , 掌握了渔业水域的环境质量现状和健康状况, 为发布《中国渔业生态环境状况公报》提供了生态环境数据资料, 为制定科学合理的渔业产业政策提供了必要的参考依据。对这些长期连续监测数据做更深入的分析挖掘, 将有助于进一步明晰渔业水域生态环境的演变过程, 揭示渔业活动对水域生态环境的影响机制, 预测典型渔业水域生态环境的演变趋势。

### 2.2 阶段性全国综合专项调查与评价

我国于 2017—2019 年开展了第二次全国污染源普查, 渔业方面对全国水产养殖的养殖方式、养殖模式、养殖产量、养殖面积, 以及饵料、肥料、渔药等投入品使用情况进行了综合调查。以水产养殖场和养殖户为单元, 开展了养殖换水量

及化学需氧量、总氮、总磷、氨氮等涉水污染物产生量和排放量监测, 摸清了阶段性水产养殖业污染源基本信息, 掌握了水产养殖业污染物的产排水平、变动规律和主要影响因子, 建立了不同养殖模式和品种的产排污系数, 核算了全国水产养殖业的产排污总量。根据《第二次全国污染源普查公报》(2020), 水产养殖业产生的化学需氧量、氨氮、总氮和总磷等主要污染物的年排放量分别为 66.6、2.2、9.9 和 1.6 万 t, 分别占畜牧业的 6.7%、20.1%、16.6% 和 13.5%, 占农业总量的 6.2%、10.3%、7.0% 和 7.6%。2022 年中国水产养殖和畜禽(猪牛羊禽)的产量分别约为 5566 万 t 和 9227 万 t<sup>[22-23]</sup>, 据此估算, 单位水产品所产生的化学需氧量、氨氮、总氮和总磷分别为 12.0、0.4、1.8 和 0.3 kg/t, 分别约占畜禽的 11.0%、33.3%、27.6% 和 22.3%。可见无论在总量上还是单位产量上, 水产养殖业所产生的主要污染物均显著低于畜牧业, 是相对更加环境友好和清洁的产业, 农业管理部门在制定相关产业规划和政策时应充分考虑这些情况。

### 2.3 区域性专项调查与评价

近年来, 国家高度重视水域生态环境健康, 对重要水域开展了专项调查监测, 如农业农村部于 2017 年立项了长江和西藏专项, 开展水生生物资源和生态环境调查, 其中长江专项调查范围从长江源(楚玛尔河和沱沱河)至长江口(上海)约 6300 余 km; 西藏专项的调查范围包括雅鲁藏布江、怒江及澜沧江干流西藏段共计 3885 km 以及重要通江湖泊。调查内容涵盖了渔业资源和生态环境现状, 调查方法以常规调查为基础, 结合遥感、渔业声学、3S 技术、耳石微化学等调查技术, 初步摸清了长江流域和西藏重点水域渔业资源和环境“家底”, 查明了重点水域生境结构特征, 为进一步开展这些水域的资源与生态环境保护提供了科学依据。

在南海近岸水域和长江、黄河下游水域, 海水和淡水“贻贝观察体系”(mussel watch)开展了渔业水域生态环境调查, 优化了新污染源的判别方法和生物质量与卫生安全风险评估模型, 建立了潜在生物标志物综合评判方法, 以及基于个体水平、细胞水平和分子水平的综合性毒性效应评估指标体系, 对沿海渔业水域的有机氯化物、石油烃、重金属、微生物、放射性物质等主要污染

物的时空变化和趋势进行了监测、分析和预测, 并针对性地提出了污染防控措施和治理对策<sup>[24-27]</sup>。

## 3 涉渔工程对渔业水域生态系统的影响

### 3.1 核电厂对渔业生态系统影响监测评价

在气候变化和全球减排 CO<sub>2</sub> 的大背景下, 核电作为清洁能源被视为实现能源转型和净零碳排放的重要途径而广泛建设。但是, 核电厂建设的沿海区域也是渔业资源捕捞和海水养殖的水域, 并且由于福岛核事故等负面影响以及环保意识的增长, 公众对于核电站安全及其对邻近海域生态系统的影响格外关注。近年来, 渔业生态环境学科研究了核污水和核废水排放对渔业水域生态系统和水产品质量安全的影响。2011 年日本福岛发生核事故后, 原国家海洋局于 2011—2012 年组织实施了两个航次的西太平洋放射性监测工作, 对大气、海水、海洋生物实施了监测, 结果显示, 监测海域大气的空气吸收剂量率未发现异常, 第二航次海水中铯-137、铯-134 含量较第一航次有所下降, 但仍显著高于核泄漏事故前日本近岸海水背景水平; 海洋生物如鱿鱼(巴特柔鱼)、鲱鳅、秋刀鱼和鲨鱼等鱼类样品中检测出不同浓度水平的铯-134、铯-137、银-110m 和铷-90。Fisher 等<sup>[28]</sup>也对海洋生物及海产品的食品安全进行了评估。生态环境部于 2021 和 2022 年先后组织开展了中国管辖海域海洋辐射环境监测, 结果表明中国管辖海域海水和海洋生物中人工放射性核素活度浓度未见异常, 总体处于历年涨落范围内。2023 年 8 月日本启动福岛核污染水排海, 生态环境部和农业农村部均将加大对海域生态环境质量和海洋水产品核污染风险的监测力度。

我国的核电厂数量居于世界第一, 2021 年我国商运核电机组达到 51 台, 正在建设的沿海核电厂 20 座<sup>[22]</sup>。近年来, 学者们对滨海核电站建设与运营对水域生态环境的影响也开展了研究。曹艺耀等<sup>[29]</sup>在 2015—2019 年对三门核电站周围环境辐射水平进行了调查, 发现核电站周围环境辐射累积剂量及周边海产品(紫菜、带鱼、鲷鱼)中<sup>137</sup>Cs 的浓度均处于本底水平, 低于《食品中放射性物质限制浓度标准》(GB 14882—94) 指导值。Yu 等<sup>[30]</sup>基于 1994—2017 年大亚湾海水、沉积物和生物监测数据从人工放射性核素<sup>137</sup>Cs 和<sup>90</sup>Sr 活度水平、生物辐射剂量和低放废物长期排放的潜在风险等



3个方面评估了大亚湾核电站和岭澳核电站长期运行对大亚湾海洋生态系统的影响, 结果表明大亚湾海水中 $^{137}\text{Cs}$ 和 $^{90}\text{Sr}$ 活度分别以7.1年和11.7年的半衰期随时间减小, 大亚湾海洋生物所受到的总辐射剂量率均低于“安全剂量率参考值”(10  $\mu\text{Gy/h}$ ), 而人工放射性核素的贡献仅为 $\sim 0.01\% \sim 0.06\%$ , 远小于天然放射性核素产生的辐射剂量, 核电站长期安全运行所排出的低放废物对大亚湾海洋生态系统并无辐射安全风险。

### 3.2 核电冷源致灾生物监测与防控

除了放射性元素外, 核电厂冷却水排放引起的升温效应也可能会对浮游生物和渔业资源造成影响。蒋朝鹏等<sup>[31]</sup>分析了秦山核电站温排水对渔场环境和鱼类分布的影响, 发现秦山核电温排水形成了暖池效应, 引起当地渔场属性的改变, 包括渔业资源数量呈冬季最高, 春夏季较低的特征, 并引起部分鱼类滞留在温排水影响区域越冬, 形成新的越冬场和新的渔汛。Liu等<sup>[32]</sup>研究了大亚湾核电海域温排水对浮游生物群落生理代谢的影响, 发现中等升温区域(29.4~30  $^{\circ}\text{C}$ )浮游生物群落代谢升高, 总初级生产力和群落呼吸率高于高温(冬季31.4  $^{\circ}\text{C}$ )和极高温区域(冬季36  $^{\circ}\text{C}$ ); 高温和极高温区域浮游生物表现出异养代谢状态。他们认为升温效应会对大亚湾浮游生物群落的碳代谢产生一定的影响, 进而降低生态系统的稳定性。国家重点研发计划项目“滨海核电站取水区典型致灾生物立体监控系统及应用示范”项目调查了海南昌江核电、福建福清核电、广东大亚湾核电邻近海域的生态环境特征, 结合核电海域水质浮标在线连续监测, 分析了核电厂邻近海域水母类、毛虾<sup>[33]</sup>、海地瓜<sup>[34]</sup>、尖笔帽螺<sup>[35-37]</sup>、球形棕囊藻<sup>[20]</sup>和马尾藻等海洋生物的时空分布特征, 探讨核电厂建设与运营对水温、浮游生态和典型生物繁殖的影响<sup>[19, 38]</sup>。齐占会等<sup>[36]</sup>跟踪监测了2020年6—7月在大亚湾西南部核电站邻近海域暴发的尖笔帽螺潮, 发现尖笔帽螺的高密度区均集中在西南部沿岸区域, 尤其是岭澳核电站冷源取水口附近, 通过对比暴发前后的水文和叶绿素等环境因子, 提出核电站冷却水的温升效应、降雨引起的海水盐度波动以及浮游植物数量升高可能是诱发其暴发的重要原因。

### 3.3 海上风电对渔业生态系统影响监测与评价

近年来, 海上风电在沿海水域发展迅速, 形成了重要的涉渔工程。以广东省为例, 至2021年

底全省海上风电累计建成投产装机容量达到400万kW, 并且“十四五”期间将进一步开工建设2200万kW, 海上风电建设和运营对渔业水域资源和生态环境的影响, 也引起了社会公众的广泛关注, 渔业生态环境学科对海上风电的生态环境效应也开展了监测与评价。王腾等<sup>[39]</sup>和汪润芝等<sup>[40]</sup>对比分析了桂山海上风电场海域电场内外、风电建设区和运行区以及风电场建设前后的渔业资源群落结构、优势种、物种更替率、资源密度和空间分布特征, 发现与风电场建设前相比, 风电场建设期间渔业群落多样性和资源密度有所降低; 但进入运行阶段后, 渔业资源种类数量和资源密度均有所恢复, 并且风电桩基具有一定的人工鱼礁效应。赵蓓等<sup>[41]</sup>以唐山乐亭菩提岛海上风电场为例, 评估了海上风电场对海洋生态空间的影响, 发现海上风电场施工期噪声远大于运营期, 海面以上及水下电磁干扰很小, 对海洋生态空间的影响多集中于施工期。张华等<sup>[42]</sup>以福清兴化湾海上风电场一期项目为例, 探讨了海上风电场营运对周边海域的水质、沉积物、生态、渔业资源等的影响, 认为一期项目营运对海洋生态环境的影响处于预测范围内, 部分指标和程度优于影响预测。

## 4 水产增养殖活动的环境效应

我国的海淡水养殖产量均居于世界首位, 2022年养殖产量超过5500多万t<sup>[23]</sup>, 其中海水养殖产量超过2200万t, 对于保障国家粮食安全起到了重要作用。但是, 我国海水养殖活动集中在近岸海域20m以浅的水域, 这一区域同时又是我国人口分布最集中、社会经济和海洋活动最重要的区域, 近海生态系统健康与生态安全关系重大, 养殖活动对水域生态环境的影响也受到政府管理部门和社会公众的广泛关注。有人主观的将海域富营养化和藻华暴发等问题归因于水产养殖的影响, 认为应该对水产养殖采取严格限制, 甚至完全拆除, 而事实上我们对于水产养殖的环境效应, 例如水产养殖对水体中的营养物质的贡献量等问题的认知还远不够深入。渔业生态环境学科针对这些社会关切的问题开展研究, 基于实验数据, 科学评价水产增养殖的环境效应, 为政府管理部门制定产业发展政策提供科学依据。

### 4.1 近岸海水养殖的营养元素输入通量

Qi等<sup>[43]</sup>以大亚湾网箱养殖为例, 基于物质平

衡原理, 构建了鱼类网箱养殖氮磷通量模型, 评估海水鱼类网箱养殖的氮磷营养负荷, 发现大亚湾网箱养殖每年释放的氮磷分别为 206 和 39 t, 而湾内牡蛎养殖移出的氮磷分别约为 126 和 35 t, 综合考虑, 海水养殖每年向大亚湾输入的氮磷分别约为 80 和 4 t。对比大亚湾非点源、沉积物、地下水和大气沉降等途径输入的氮磷通量<sup>[44-45]</sup>, 网箱养殖输入的氮磷仅占总量的 1.8% 和 0.7%。因此, 海水养殖输入的氮磷远低于陆源输入的量, 不是海水中氮磷的主要贡献者, 即使把网箱全部拆除对于削减海水中氮磷总量所起的作用也非常有限。水产养殖与水环境污染之间不是简单的等号关系。海水养殖之所以受到关注, 主要是因为它们密集分布在近岸浅水区域, 视觉冲击大, 养殖密度高, 加之封闭和半封闭海湾的水动力和水交换作用较弱, 污染物滞留时间长, 加强了其在局部区域的环境效应。可以通过用全价配合饲料替代鲜杂鱼饵料, 采用多营养层次综合养殖模式以及向离岸深水区域迁移等措施来降低养殖自身的污染。

#### 4.2 规模化海水养殖的生态效应

齐占会等<sup>[46]</sup>论述了滤食性贝类规模化养殖对浮游生物数量和群落结构的影响, 提出除了直接滤食作用外, 也不能忽视贝类养殖的间接作用, 如贝类养殖设施为海鞘等滤食性动物提供了附着基而显著增加了它们的数量, 进而也增加了对浮游生物的捕食压力, 养殖设施对水动力的阻碍作用会改变浮游生物在养殖区的滞留时间, 从而增加了浮游生物被贝类或海鞘等滤食的风险。除了对浮游生态产生影响外, 规模化海水养殖也对沉积环境中的生物地化反应有复杂影响, Shi 等<sup>[47-51]</sup>应用光化学平面传感器技术, 在桑沟湾、大亚湾、马袅湾和珠江口等重要渔业水域开展了比较研究, 揭示了沉积物中主要氧化还原电子受体的二维分布特征, 探讨了不同养殖模式对有机质的矿化路径和微生物群落结构的影响, 发现在鱼类网箱养殖区有机质矿化路径以硫酸盐还原为主, 而非养殖区和贝类筏式养殖区则以铁氧化物还原为主, 微生物的丰度与铁 ( $\text{Fe}^{2+}$ )、颗粒有机碳 (POC) 和硫化氢 ( $\text{H}_2\text{S}$ ) 显著相关; 温度、POC、pH 和盐度是影响微生物群落特征时空变化的最主要的环境因子, 规模化高强度海水养殖对沉积物中微生物的群落结构及其功能具有显著影响。

#### 4.3 陆基池塘养殖的尾水处理

池塘养殖是高度集约化的养殖方式, 依赖外源物质 (饲料等) 和能量 (电力等) 的输入而获得高效产出, 养殖尾水的排放向环境中输入氮磷等营养物质。近年来环境保护政策愈发严格, 海南省于 2019 年 6 月批准发布《水产养殖尾水排放要求》(DB46 T 475-2019) 地方标准, 明确了水产养殖尾水排放前的处理要求、淡水养殖尾水排放分级要求、海水养殖尾水排放分级要求、尾水标准值、测定方法等内容; 在尾水标准值方面, 该标准提出的淡水水产养殖尾水悬浮物指标的标准限值严于农业农村部相应的标准限值; 海水养殖尾水悬浮物指标的一级和二级标准限值均严于农业农村部相应的标准限值。浙江省也于 2023 年发布了《海水水产养殖尾水排放要求》(征求意见稿), 规定了不同类型水域养殖尾水直接排放限值。

过于严格的排放标准势必会对养殖产业的发展造成严重打击。在这种背景下, 养殖尾水的处理技术成为近年来渔业生态环境学科的重要研究内容。龚望宝等<sup>[52]</sup>发明设计了“一种加强型三池两坝水产养殖尾水处理系统”, 通过将养殖区沟渠或边角池塘进行适当改造, 将物理沉淀、填料过滤、曝气氧化、生物同化等集成为一体, 净化不同污染类型的养殖尾水, 实现在最低投入的前提下使养殖尾水达标排放或循环利用。该系统旨在净化养殖尾水改善周边水环境, 提高养殖尾水循环利用率。

### 5 渔业碳汇与渔业活动对水域碳汇的影响

在“碳达峰、碳中和”的国家战略背景下, 近岸海域的碳循环过程和固碳增汇途径受到高度重视, 碳汇渔业再次成为研究热点。中国水产科学研究院黄海水产研究所和南海水产研究所等科研机构, 开展了贝藻碳收支、养殖活动对渔业水域碳循环和碳源汇过程的影响等研究, 推进了对于渔业活动碳源汇作用和关键过程的科学认知, 并为探讨通过渔业手段提高海洋碳汇潜力提供了理论依据。

#### 5.1 渔业碳汇的概念与基础理论

唐启升等<sup>[53]</sup>基于联合国政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 关于碳汇和碳源的解释以及水生植物固碳特点, 对 2010 年提出的渔业碳汇和碳汇



业的定义进行修订, 强调了渔业碳汇功能和增汇的基本表达方式和水生植物在渔业碳汇中的重要作用, 进一步解释了通过水生藻类养殖、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”CO<sub>2</sub>等温室气体的过程和机制, 分析了滤食性贝类利用水体中 CO<sub>2</sub> 的过程及机制, 从能量收支层面论述了使用碳、移出碳、储存碳和释放碳 4 个碳库的特征及其数量关系, 证明了贝类养殖活动提升了养殖水域生态系统碳汇能力, 并估算了我国近 20 年近海贝藻养殖碳汇总量和净碳汇量, 提出了健康持续、深入发展碳汇渔业的相关建议。张永雨等<sup>[54]</sup>指出通过提高贝藻等的养殖产量使可移出的碳汇增加, 应是近海蓝碳开发的一部分, 而以往被遗漏的碳汇部分如微型生物蓝碳、溶解有机碳(主要指惰性溶解有机碳)、颗粒碳的沉积等也都是养殖碳汇的重要组成部分, 其提出应从不同角度全面揭示近海养殖环境的碳汇形成过程与机制, 科学评估近海养殖碳汇功能。蒋增杰等<sup>[55]</sup>概述了滤食性贝类养殖碳汇研究进展, 分析了目前相关数据的科学性和系统性、以及对关键过程和机理认知等方面存在的问题, 提出了后续在碳汇形成过程和机制的基础研究、方法学研发和交易体系建设、碳汇扩增模式构建和产业化应用等亟待研究的问题。

## 5.2 渔业碳汇潜力评估与碳汇扩增途径

在贝藻生物固碳方面, Han 等<sup>[56-57]</sup>在实验室和现场条件下研究了牡蛎和马尾藻生理过程对水体溶解无机碳体系(DIC)的影响, 以及单养和混养模式对海水 DIC 以及 CO<sub>2</sub> 源/汇强度的影响, 发现贝藻混养模式下养殖水体表现为 CO<sub>2</sub> 汇。他们测定了深澳湾鱼类网箱养殖区、牡蛎和龙须菜筏式养殖区的海水碳酸盐体系参数和海-气界面通量, 发现海水碳酸盐体系受到养殖物种生物过程的显著影响, 深澳湾在春季表现为 CO<sub>2</sub> 的汇, 龙须菜养殖区固碳量最高, 通过扩大海藻养殖面积可以提高养殖水域生态系统吸收 CO<sub>2</sub> 的能力, 是通过渔业活动扩增海洋碳汇的有效途径<sup>[58]</sup>。Li 等<sup>[59]</sup>和 Liu 等<sup>[60]</sup>研究了桑沟湾贝类和大型藻类单养或混养下海水中无机和有机碳系统的时空变化以及其他环境因素的变化, 发现除夏季贝类养殖区向大气释放 CO<sub>2</sub> 外, 所有养殖区在养殖期都是大气 CO<sub>2</sub> 汇, 整个海湾在养殖期是一个较强的 CO<sub>2</sub> 汇。

张晓雯等<sup>[61]</sup>估算了 2008—2020 年黄海浒苔绿潮暴发的净碳汇量, 认为年均超过 7.8 万 t, 高于江蓼、紫菜和裙带菜等主要养殖藻类年均固碳量, 仅次于海带的年均固碳量, 是一个潜在的、不可忽视的海洋碳汇和碳储途径

## 6 污染物监测与生物毒性效应

在污染物监测与毒性效应方面, 研究了有机磷阻燃剂、类固醇激素、微塑料、金属氧化物纳米颗粒等的来源、迁移转化代谢过程、食物网富集和传递效率、生态系统层面的富集规律和传递机制, 探讨了污染物的化学性质和生物自身因素对生物富集的影响, 讨论了不同形态的代谢物在生物样品中富集的生态风险和人体健康风险<sup>[62-63]</sup>, 为制定渔业水域污染物的环境安全限量建议值提供了数据支撑和决策依据。

### 6.1 多环芳烃和溢油风险评估

近年来研究了多环芳烃(PAH)-苯并(α)芘(BaP)的生物毒性作用潜在机制, 认为 BaP 有可能通过改变相关基因来诱导斑马鱼肝脏的生理反应<sup>[64]</sup>。Mu 等<sup>[65-67]</sup>研究了双酚 F 和双酚 AF 和邻苯二甲酸盐的毒性效应, 认为双酚 A 替代物的生态风险不容忽视, 而双酚 S 是对水生生物较为安全的替代物, 对筛选环境友好型双酚 A 替代物, 保护水生生态环境提供了重要的参考依据, 同时也探讨了 PAHs 在水生食物链上的迁移转化特征和健康风险, 提出了对不同类型污染物敏感的生物标志物并获得污染物的标准限量建议值。在有机农药和油污方面, 应用代谢组学等手段, 在分子水平研究了双酚 A 替代物对罗非鱼、翡翠贻贝、红鲷鱼的毒性效应, 揭示了污染物毒理效应在不同性别贝类之间的差异性<sup>[68-75]</sup>。溢油污染研究方面, 贺义雄等<sup>[76]</sup>研究了不同溢油污染物对个体水平和细胞水平的富集规律、毒性效应、致毒机制、在食物链中积累和放大的迁移机制等, 给出了溢油对水产品质量安全影响结论并开展了风险评估。

Li 等<sup>[77]</sup>调查了珠江流域的西北江河网及其河口水域的表层沉积物中 PAHs 的含量, 分析了来源及时空变化趋势, 评估了潜在风险, 发现 PAHs 主要来源于煤焦油和液体燃料燃烧、煤/木材燃烧和石油扩散的混合来源, 其在珠江口的生态风险高于上游河网, 7 种强致癌多环芳烃是 $\Sigma$ TEQBaP

的主要贡献者, 其中引起较高风险的化合物为二苯并 [a,h] 蒽 (DbA) 和苯并 [a] 芘 (BaP)。汪慧娟等<sup>[78]</sup>研究了海南省昌化江河口海域生物体中多环芳烃污染特征, 对其来源进行了解析并评价了健康风险。

## 6.2 微塑料和工程纳米颗粒污染特征与毒性效应

Zhu 等<sup>[79]</sup>研究了北黄海海水和沉积物中微塑料的污染现状和南海深海鱼中微塑料的污染特征, 分析了聚苯乙烯微塑料对许氏平鲷行为能力和营养品质的影响<sup>[80]</sup>、对海水青鳞胚胎的毒性效应<sup>[81]</sup>和聚苯乙烯微塑料对海洋细菌 *Halomonas alkali-philis* 的毒性效应<sup>[82]</sup>。Xia 等<sup>[83]</sup>研究了桑沟湾浅海养殖区表层海水中微塑料的丰度、尺寸、颜色、形状和成分, 估算了微塑料在养殖区表层海水中的现存量, 认为浮筏、浮球等养殖设施是海区微塑料和沉积物中微塑料的重要来源, 并初步证实了天然有机质是影响微塑料表面潜在病原性弧菌分布的重要因素。Zhang 等<sup>[84]</sup>调查了黄海和渤海沉积物中微塑料平均丰度, 探讨了微塑料的来源、迁徙和归宿等环境行为, 也认为海源 (包括养殖区和渔业活动) 是渤海区微塑料的主要来源。这些研究发现为海水养殖设施的选择提供了参考依据。

在工程纳米颗粒的生物毒性效应方面, Xia 等<sup>[85]</sup>和 Wang 等<sup>[86]</sup>分别研究了海洋酸化条件下工程纳米颗粒 TiO<sub>2</sub> 对海洋微藻小球藻和纳米 CuO 颗粒对海水青鳞胚胎毒性效应, 发现海洋酸化会增强 TiO<sub>2</sub> 对藻类细胞生长的抑制作用, 显著增加 TiO<sub>2</sub> 对藻类细胞的氧化损伤, 增加海洋生态系统中金属氧化物纳米颗粒的潜在风险。Zhu 等<sup>[87]</sup>研究了 UV-B 辐射增强环境下纳米 TiO<sub>2</sub> 颗粒对小球藻的毒性效应, 发现 UV-B 辐射增强了纳米 TiO<sub>2</sub> 颗粒对小球藻的生长抑制, 使胞外聚合物对小球藻的保护作用减弱, 产生更多的胞内氧自由基, 引起脂质过氧化和细胞损伤。

## 6.3 重金属反演溯源与风险评估

对典型渔业水域生物营养级特征和生物体重金属生物可利用性的研究, 建立了重金属多介质长时序污染评估系统和生态风险防控的方法<sup>[88-89]</sup>。在稀土研究方面, 构建了沉积物中稀土元素对水生生物区系联合生态风险评估方法, 评估了珠江口等渔业水域潮间带沉积物稀土元素的生态风险

概率以及水产品食用风险<sup>[90-91]</sup>。Kuang 等<sup>[92]</sup>评估了重金属污染风险水平, 建立了重金属地球化学基线值, 为评估海洋重金属环境污染风险管理提供了新视角。Man 等<sup>[93]</sup>通过分析柱状沉积物中的重金属含量, 结合同位素定年, 反演了大亚湾沉积物中重金属浓度的时间变化特征, 从社会经济发展角度探讨了大亚湾沉积物中重金属的来源, 以及重金属积累和转化的人为源和自然源的双重影响。

## 7 渔业水域生境恢复与生态修复

随着海洋经济的快速发展, 海岸线开发和海洋工程建设对渔业水域的生态环境的影响, 以及渔业水域的生态修复和生境恢复也是近年来渔业生态环境学科的重要研究内容。

### 7.1 河口水域的渔业资源生境修复

Zhuang 等<sup>[94]</sup>研究构建了“漂浮湿地+底质修复”为核心技术的繁育场生境重建技术和以“柔性渔礁”为核心的索饵场再造技术, 建立了长江口关键渔业生境综合修复技术体系<sup>[95-98]</sup>。刘永等<sup>[99]</sup>研究了红树植物对氮磷元素的吸收动力特征, 筛选了适于养殖尾水净化的树种, 建立了基于红树植物的生态净化和修复模式, 以及渔业资源增殖与养护关键技术<sup>[100-101]</sup>, 并在珠江口水域开展了重要渔业资源生境修复实践<sup>[102-104]</sup>。

在牡蛎礁生态修复方面, 全为民等<sup>[105-107]</sup>以近江牡蛎和熊本牡蛎为藻礁物种, 开发了牡蛎礁构建技术, 建立了以邻近生境为参照系的牡蛎礁生境功能及价值评估方法、牡蛎礁食物网结构修复方法和能流效率评估方法<sup>[108-110]</sup>。

### 7.2 池塘和浅海水域的环境生态修复

淡水池塘养殖环境修复方面, 建立了藻类定向调控和固化微生物修复技术<sup>[111]</sup>, 提出了“净水渔业”的理念, 并在太湖流域开展了实践研究, 通过投放能滤食水体浮游生物的鲢鳙鱼类, 降低蓝藻等藻类的数量, 进而达到抑制藻华、净化水质的效果。

浅海养殖区生态修复领域, 韩婷婷等<sup>[112]</sup>持续开展了海岸带受损海藻场生态修复重建研究, 开发了马尾藻幼苗度夏培育技术<sup>[113]</sup>, 研发了通过控制水体氮磷营养含量的方法防除育苗过程中附生的硅藻和浒苔等杂藻的技术, 建立了马尾藻网袋

捆苗藻礁构建技术、缠绳绕石式藻礁构建技术和粘黏式藻礁构建技术等关键技术<sup>[114]</sup>, 集成了马尾藻场生态修复重建技术体系, 为受损潮间带的海藻场修复提供了科技支撑<sup>[115-117]</sup>。

## 8 总结与展望

渔业生态环境学科的研究内容、范畴和重点是随着渔业生产活动的变化和渔业水域出现的新现象、新问题而相应改变和发展的。随着我国生态文明建设和环境保护意识的不断加强, 以及对食品质量与安全越来越重视, 渔业生态环境学科除了继续开展传统领域的研究外, 在未来还应重视以下 4 个方面的研究:

(1) 更加系统和深入的认知我国规模化渔业活动与环境的相互作用, 加强基础研究, 注意从历史的视角, 系统理解近几十年来我国规模化高强度的渔业活动对自然水域生态系统各个方面的影响, 客观的评价渔业活动的环境效应, 正确的评判渔业活动的生态价值和社会属性, 为管理部门制定产业发展政策提供科学的参考依据。

(2) 研究海洋酸化、热浪/冷浪、极端天气等全球气候变化, 以及生态文明建设和环境保护、国际关系、局部战争、日本核污染水排放等内外部因素对我国渔业生境及渔业未来发展的影响, 并提出应对策略。

(3) 高度重视遥感、无人机、大数据计算模拟、人工智能、高通量测序等新技术, 在环境监测和数据处理分析中的应用, 以获得对渔业水域生态系统特征、渔业活动环境效应和生态系统演变预测等方面更深入和系统的认知。

(4) 研究传统渔业水域的生态系统在渔业活动影响解除后的自然恢复过程。例如实施“十年禁渔”政策后, 长江渔业资源在捕捞压力解除后的自然恢复过程; 很多传统养殖海湾, 如桑沟湾和大亚湾都拆除了部分区域的养殖设施, 这些水域的生态和环境在养殖压力解除后的自然恢复和演变过程都是非常值得研究的科学问题。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

### 参考文献 (References):

- [ 1 ] 刘华雪, 徐军, 李纯厚, 等. 南海南部浮游动物稳定同位素研究—碳稳定同位素[J]. *热带海洋学报*, 2015, 34(4): 59-64.  
<https://www.china-fishery.cn>
- [ 2 ] Liu H X, Xu J, Li C H, *et al.* Stable carbon isotope of zooplankton in the Southern South China Sea[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2015, 34(4): 59-64 (in Chinese).
- [ 3 ] Liu H X, Shen P, Li C H, *et al.* Composition and distribution of planktonic ciliates in the southern South China Sea during late summer: comparison between surface and 75 m deep layer[J]. *Journal of Ocean University of China*, 2016, 15: 171-176.
- [ 4 ] 刘华雪, 张文博, 徐军, 等. 南海北部不同粒级浮游动物碳稳定同位素研究[J]. *南方水产科学*, 2018, 14(2): 36-40.
- [ 5 ] Liu H X, Zhang W B, Xu J, *et al.* Stable carbon isotope of size fractionated zooplankton in northern South China Sea[J]. *South China Fisheries Science*, 2018, 14(2): 36-40 (in Chinese).
- [ 6 ] 张喆, 王晓红, 巩秀玉, 等. 南海北部海域春季浮游细菌和病毒空间分布及其影响因[J]. *生态学报*, 2017, 37(5): 1639-1649.
- [ 7 ] Zhang J, Wang X H, Gong X Y, *et al.* Ecological distribution of bacterioplankton and virioplankton in the north of South China Sea in spring[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(5): 1639-1649 (in Chinese).
- [ 8 ] Shi R J, Li J J, Qi Z H, *et al.* Abundance and community composition of bacterioplankton in the Northern South China Sea during winter: geographic position and water layer influences[J]. *Biologia*, 2018, 73: 197-206.
- [ 9 ] 马孟磊, 陈作志, 徐姗楠, 等. 南海北部陆坡海域生态系统营养结构和能量流动分析[J]. *水产学报*, 2020, 44(10): 1685-1694.
- [ 10 ] Ma M L, Chen Z Z, Xu S N, *et al.* Trophic structure and energy flow of continental slope of the northern South China Sea ecosystem[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2020, 44(10): 1685-1694 (in Chinese).
- [ 11 ] 姜涛, 周昕期, 刘洪波, 等. 鄱阳湖同时存在溯河洄游和淡水定居的刀鲚[J]. *水产学报*, 2013, 37(2): 239-244.
- [ 12 ] Jiang T, Zhou X Q, Liu H B, *et al.* Coexistence of resident and anadromous *Coilia nasus* in the Poyang Lake[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2013, 37(2): 239-244 (in Chinese).
- [ 13 ] Jiang T, Liu H B, Lu M J, *et al.* A possible connectivity among estuarine tapertail anchovy (*Coilia nasus*)  
中国水产学会主办 sponsored by China Society of Fisheries



- populations in the Yangtze River, Yellow Sea, and Poyang Lake[J]. *Estuaries and Coasts*, 2016, 39: 1762-1768.
- [ 9 ] Jiang T, Yang J, Lu M J, *et al.* Discovery of a spawning area for anadromous *Coilia nasus* Temminck et Schlegel, 1846 in Poyang Lake, China. *Journal of Applied Ichthyology*[J]. 2017, 33(2): 189-192.
- [ 10 ] 姜涛, 杨健, 轩中亚, 等. 长江禁渔对鄱阳湖湖河洄游型刀鲚资源恢复效果初报[J]. *渔业科学进展*, 2022, 43(1): 24-30.
- Jiang T, Yang J, Xuan Z Y, *et al.* Preliminary report on the effects of resource recovery on anadromous *Coilia nasus* in Poyang lake under the national 10-Year fishing ban[J]. *Progress in Fishery Science*, 2022, 43(1): 24-30 (in Chinese).
- [ 11 ] 马孟磊, 徐姗楠, 许友伟, 等. 基于Ecopath模型的胶州湾生态系统比较研究[J]. *中国水产科学*, 2018, 25(2): 413-422.
- Ma M L, Xu S N, Xu Y W, *et al.* Comparative study of Jiaozhou Bay ecosystem based on an Ecopath model[J]. *Journal of Fishery Science of China*, 2018, 25(2): 413-422 (in Chinese).
- [ 12 ] 黄梦仪, 徐姗楠, 刘永, 等. 基于Ecopath模型的大亚湾黑鲷生态容量评估[J]. *中国水产科学*, 2019, 26(1): 1-13.
- Huang M Y, Xu S N, Liu Y, *et al.* Assessment of ecological carrying capacity of *Sparus macrocephalus* in Daya Bay based on an Ecopath model[J]. *Journal of Fishery Science of China*, 2019, 26(1): 1-13 (in Chinese).
- [ 13 ] 张文博, 黄洪辉, 李纯厚, 等. 华南典型海湾主要渔业生物碳氮稳定同位素研究[J]. *南方水产科学*, 2019, 15(5): 9-14.
- Zhang W B, Huang H H, Li C H, *et al.* Study on carbon and nitrogen stable isotopes of main fishery species in typical gulf, southern China[J]. *South China Fisheries Science*, 2019, 15(5): 9-14 (in Chinese).
- [ 14 ] Rao Y Y, Cai L Z, Chen X W, *et al.* Responses of functional traits of macrobenthic communities to human activities in Daya Bay (A subtropical semi-Enclosed Bay), China[J]. *Frontiers in Environmental Science*, 2021: 498.
- [ 15 ] Liu S, Xu R, Pan Y F, *et al.* Free and conjugated forms of metabolites are indispensable components of steroids: The first evidence from an estuarine food web[J]. *Water Research*, 2023, 235: 119913.
- [ 16 ] Mai Y Z, Peng S Y, Lai Z N, *et al.* Saltwater intrusion affecting  $\text{NO}_2^-$  accumulation in demersal fishery species by bacterially mediated N-cycling[J]. *Science of The Total Environment*, 2022, 827: 154371.
- [ 17 ] Wang C, Jia H J, Wei J X, *et al.* Phytoplankton functional groups as ecological indicators in a subtropical estuarine river delta system[J]. *Ecological Indicators*, 2021, 126: 107651.
- [ 18 ] Gao Y, Lai Z N, Wang C, *et al.* Population characteristics of *Brachionus calyciflorus* and their potential application for evaluating river health in the Pearl River Delta, China[J]. *Water*, 2021, 13(6): 749.
- [ 19 ] Rao Y Y, Cai L Z, Chen B W, *et al.* How do spatial and environmental factors shape the structure of a coastal macrobenthic community and meroplanktonic larvae cohort? Evidence from Daya Bay[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2020, 157: 111242.
- [ 20 ] Shi R J, Qi Z H, Han T T, *et al.* Responses of bacterioplankton, particle-and colony-attached bacterial communities to *Phaeocystis globosa* blooms in Mirs Bay, China[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2023, 10: 1075059.
- [ 21 ] Zhang S F, Han B B, Shi R J, *et al.* Quantitative proteomic analysis reveals the key molecular events driving *Phaeocystis globosa* bloom and dissipation[J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2022, 23(20): 12668.
- [ 22 ] 中国核能行业协会. 中国核能年鉴 2022 年卷 [M]. 北京: 中国原子能出版社, 2022.
- China Nuclear Energy Association. China Nuclear Energy Yearbook 2022[M]. Beijing: China Atomic Energy Press, 2022 (in Chinese).
- [ 23 ] 农业农村部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴 2023[M]. 北京: 中国农业出版社, 2022.
- Fisheries Administration Bureau, Ministry of Agriculture and Rural Affairs. China fisheries statistical yearbook 2023 [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2023 (in Chinese).
- [ 24 ] Chen X B, Liu H B, Huang H H, *et al.* Cadmium bioaccumulation and distribution in the freshwater bivalve *Anodonta woodiana* exposed to environmentally relevant Cd levels[J]. *Science of the Total Environment*,

- 2021, 791: 148289.
- [ 25 ] 陈修报, 杨健, 刘洪波, 等. 淡水贝类观察—生物阐释水污染和毒理的创新手段[J]. *湖泊科学*, 2021, 33(1): 11-27.  
Chen X B, Yang J, Liu H B, *et al.* Freshwater mussel watch: an innovative approach for interpretations of aquatic pollution and toxicology[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2021, 33(1): 11-27 (in Chinese).
- [ 26 ] 李斯远, 何治江, 吕泓玥, 等. 厚壳贻贝(*Mytilus coruscus*)养殖海域与天然生长海域的微生物群落比较研究[J]. *海洋与湖沼*, 2021, 52(1): 196-205.  
Li S Y, He Z J, Lu H Y, *et al.* Comparative study on microbial community in mussel *mytilus Coruscus* body and seawater of its natural and cultural sea area in ZhouShan, ZheJiang[J]. *Oceanologia Et Limnologia Sinica*, 2021, 52(1): 196-205 (in Chinese).
- [ 27 ] 栗洋洋, 贾梦雪, 王锦乙, 等. 厚壳贻贝(*Mytilus coruscus*)中抗生素耐受细菌多样性研究[J]. *海洋与湖沼*, 2022, 53(2): 405-413.  
Li Y Y, Jia M X, Wang J Y, *et al.* Diversity of antibiotic resistant bacteria in *Mytilus Coruscus*[J]. *Oceanologia Et Limnologia Sinica*, 2022, 53(2): 405-413 (in Chinese).
- [ 28 ] Fisher N S, Beaugelin-Seiller K, Hinton T G, *et al.* Evaluation of radiation doses and associated risk from the Fukushima nuclear accident to marine biota and human consumers of seafood[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2013, 110(26): 10670-10675.
- [ 29 ] 艺耀, 宣志强, 俞顺飞, 等. 三门核电站周围环境2015-2019年辐射水平调查结果与分析[J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2020, 40(12): 951-955.  
Cao Y Y, Xuan Z Q, Yu S F, *et al.* Investigation and analysis of radiation levels in the environment around Sanmen Nuclear Power plant from 2015 to 2019[J]. *Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection*, 2020, 40(12): 951-955 (in Chinese).
- [ 30 ] Yu Y, Zhou P, Men W. Impact of long-term operation of nuclear power plants on the marine ecosystem of Daya Bay[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2023, 193: 115146.
- [ 31 ] 蒋朝鹏, 徐兆礼, 陈佳杰, 等. 秦山核电温排水对鱼类分布的影响[J]. *中国水产科学*, 2016, 23(2): 478-488.  
Jiang C P, Xu Z L, Chen J J, *et al.* Effects of the thermal discharge from Qinshan Nuclear plant on the distribution pattern of fish[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2016, 23(2): 478-488 (in Chinese).
- [ 32 ] Liu H X, Li J J, Wang H J, *et al.* High-temperature thermal discharge inhibits plankton community metabolism in a partly eutrophicated bay in China[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2023, 9: 1016074.
- [ 33 ] 曾雷, 陈国宝, 王腾, 等. 大亚湾核电临近海域中国毛虾声学探测分析[J]. *中国水产科学*, 2019, 26(6): 1029-10399.  
Lei J, Chen G B, Wang T, *et al.* Acoustic detection and analysis of *Acetes chinensis* in the adjacent waters of the Daya Bay Nuclear Power Plant[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2019, 26(6): 1029-10399 (in Chinese).
- [ 34 ] 李俊伟, 饶义勇, 廖秀丽, 等. 大亚湾西部海域海地瓜的空间分布及其栖息环境分析 [J]. *应用海洋学报*, 2022: 286-293.  
Li J W, Rao Y Y, Liao X L, *et al.* Spatial distribution and habitat condition of *Acaudina molpadioides* in western Daya Bay[J]. *Journal of Applied Oceanography*, 2022: 286-2939 (in Chinese).
- [ 35 ] Zeng L, Chen G B, Wang T, *et al.* Acoustic study on the outbreak of *Creseise acicula* nearby the Daya Bay Nuclear Power Plant Base during the summer of 2020[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2021, 165: 112144.
- [ 36 ] 齐占会, 史荣君, 戴明, 等. 尖笔帽螺 (*Creseis acicula*) 研究进展及其在大亚湾暴发机制初探[J]. *热带海洋学报*, 2021, 40(5): 147-1529.  
Qi Z H, Shi R J, Dai M, *et al.* A review on ecological characteristics of *Creseis acicula* and preliminary analysis on its outbreak triggers in Daya Bay[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2021, 40(5): 147-1529 (in Chinese).
- [ 37 ] Han T T, Song P P, Shi R J, *et al.* Optimal nutrient availability could alleviate diatom *Cylindrotheca closterium* fouling during seedling cultivation of *Sargassum hemiphyllum*[J]. *Aquaculture*, 2022, 552: 738020.
- [ 38 ] 蔡立哲, 饶义勇, 赵小雨, 等. 两种评价大型底栖动物堵塞滨海核电站冷源系统的风险指数[J]. *应用海洋学学报*, 2022, 41(04): 655-662.  
Cai L Z, Rao Y Y, Zhao X Y, *et al.* Two risk indices for benthic macrofauna entrapment evaluation on the water intake systems in coastal nuclear power plants[J]. *中国水产学会主办 sponsored by China Society of Fisheries*

- [Journal of Applied Oceanography](#), 2022, 41(04): 655-662 (in Chinese).
- [ 39 ] 王腾, 黄洪辉, 张鹏, 等. 珠海桂山风电场水域渔业资源声学评估与空间分布[J]. [中国水产科学](#), 2020, 27(12): 1496-504.
- Wang T, Huang H H, Zhang P, *et al.* Acoustic survey of fisheries resources and Spatial distribution in the Guishan wind farm area[J]. [Journal of Fishery Sciences of China](#), 2020, 27(12): 1496-504 (in Chinese).
- [ 40 ] 汪润芝, 原峰, 李崇淑, 等. 海上风电场建设与运行对渔业资源群落结构及空间分布的影响研究[J]. [海洋开发与管理](#), 2023, 39(12): 98-106.
- Wang R Z, Yuan F, Li C S, *et al.* Effects research of offshore wind farm construction and operation on fishery resources community structure and spatial distribution[J]. [Ocean Development and Management](#), 2023, 39(12): 98-106 (in Chinese).
- [ 41 ] 赵蓓, 周艳荣, 邢聪聪, 等. 唐山乐亭菩提岛海上风电场对海洋生态空间的影响研究[J]. [海洋环境科学](#), 2022, 41(04): 496-503.
- Zhao B, Zhou Y R, Xing C C, *et al.* Study on the impact of Tangshan laoting bodhi island offshore wind-farms on marine ecological space[J]. [Marine Environmental Science](#), 2022, 41(04): 496-503 (in Chinese).
- [ 42 ] 张华, 吴佳辰, 何平. 海上风电工程运营初期海洋环境影响—以福清兴化湾海上风电场一期(样机试验风场)项目为例[J]. [渔业研究](#), 2020, 42(3): 223-233.
- Zhang H, Wu J C, He P. Primary research on the impacts of marine environment ecology from the offshore wind farm operation-A case study of the experimental offshore wind farm in Fuqing Xinghua Bay[J]. [Journal of Fisheries Research](#), 2020, 42(3): 223-233 (in Chinese).
- [ 43 ] Qi Z H, Shi R J, Han T T, *et al.* Nutrient release from fish cage aquaculture and mitigation strategies in Daya Bay, southern China[J]. [Marine Pollution Bulletin](#), 2019, 146: 399-407.
- [ 44 ] 蒋婧媛, 徐姗楠, 黄洪辉, 等. 基于 L-THIA 模型与 3S 技术的大亚湾陆域非点源总氮污染研究 [J]. [应用海洋学报](#), 2019: 558-568.
- Jing J Y, Xu S S, Huang H H, *et al.* Non-point source pollution load of total nitrogen in Daya Bay catchment based on L-THIA model and 3S techniques[J]. [Journal of Applied Oceanography](#), 2019: 558-568 (in Chinese).
- [ 45 ] Wang X J, Li H L, Zheng C M, *et al.* Submarine groundwater discharge as an important nutrient source influencing nutrient structure in coastal water of Daya Bay, China[J]. [Geochimica et Cosmochimica Acta](#), 2018, 225: 52-65.
- [ 46 ] 齐占会, 史荣君, 于宗赫, 等. 滤食性贝类养殖对浮游生物影响的研究进展[J]. [南方水产科学](#), 2021, 17(3): 115-121.
- Qi Z H, Shi R J, Yu Z H, *et al.* Review of influences of filter-feeding bivalves aquaculture on planktonic community[J]. [South China Fisheries Science](#), 2021, 17(3): 115-121 (in Chinese).
- [ 47 ] Shi R J, Xu S Y, Qi Z H, *et al.* Influence of suspended mariculture on vertical distribution profiles of bacteria in sediment from Daya Bay, Southern China[J]. [Marine Pollution Bulletin](#), 2019, 146: 816-826.
- [ 48 ] Shi R J, Xu S Y, Qi Z H, *et al.* Seasonal patterns and environmental drivers of nirS-and nirK-encoding denitrifiers in sediments of Daya Bay, China[J]. [Oceanologia](#), 2019, b,61(3): 308-320.
- [ 49 ] Shi R J, Huang H H, Qi Z H, *et al.* Distribution Patterns of nir S-Encoding and nir K-Encoding Denitrifiers in the Surface Sediment of the Pearl River Estuary[J]. [Russian Journal of Marine Biology](#), 2019, 45(6): 453-463.
- [ 50 ] Shi R J, Han T T, Xu S M, *et al.* Bacterial community responses to the redox profile changes of mariculture sediment[J]. [Marine Pollution Bulletin](#), 2021, 166: 112250.
- [ 51 ] Shi R J, Han T T, Huang H H, *et al.* The extent and pattern of mariculture impacts on spatial and seasonal variations of sediment bacterial communities among three coastal waters[J]. [Frontiers in Marine Science](#), 2022, 10,9: 782456.
- [ 52 ] 龚望宝, 牛树辉, 谢骏, 等. 一种加强型三池两坝水产养殖尾水处理系统: 中国 CN202223530146.6[P]. 2023-06-23.
- Gong W B, Niu S H, Xie J, *et al.* An enhanced three-pool and two-dam aquaculture tailwater treatment system. CN, CN202223530146.6[P]. 2023-06-23 (in Chinese).
- [ 53 ] 唐启升, 蒋增杰, 毛玉泽. 渔业碳汇与碳汇渔业定义及其相关问题的辨析[J]. [渔业科学进展](#), 2022, 43(5): 01-07.



- Tang Q S, Jiang Z J, Mao Y Z. Clarification on the Definitions and its Relevant Issues of Fisheries Carbon Sink and Carbon Sink Fisheries[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2022, 43(5): 01-07 (in Chinese).
- [ 54 ] 张永雨, 张继红, 梁彦韬, 等. 中国近海养殖环境碳汇形成过程与机制[J]. *中国科学:地球科学*, 2017, 60(12): 2097-2107.
- Zhang Y Y, Zhang J H, Liang Y T, *et al.* Carbon sequestration processes and mechanisms in coastal mariculture environments in China[J]. *Science China Earth Sciences*, 2017, 60(12): 2097-2107 (in Chinese).
- [ 55 ] 蒋增杰, 方建光, 毛玉泽, 等. 滤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[J]. *渔业科学进展*, 2022, 43(5): 106-114.
- Jiang Z J, Fang J G, Mao Y Z, *et al.* Research progress on the carbon sink function of Filter-feeding shellfish mariculture and future scientific issues[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2022, 43(5): 106-114 (in Chinese).
- [ 56 ] Han T T, Shi R J, Qi Z H, *et al.* Interactive effects of oyster and seaweed on seawater dissolved inorganic carbon systems: Implications for integrated multi-trophic aquaculture[J]. *Aquaculture Environment Interactions*, 2017, 9: 469-478.
- [ 57 ] Han T T, Shi R J, Qi Z H, *et al.* Biogenic acidification of Portuguese oyster *Magallana angulata* mariculture can be mediated through introducing brown seaweed *Sargassum hemiphyllum*[J]. *Aquaculture*, 2020, 520: 734972.
- [ 58 ] Han T T, Shi R J, Qi Z H, *et al.* Impacts of large-scale aquaculture activities on the seawater carbonate system and air-sea CO<sub>2</sub> flux in a subtropical mariculture bay, southern China[J]. *Aquaculture Environment Interactions*, 2021, 13: 199-210.
- [ 59 ] Li J Q, Zhang W W, Ding J K, *et al.* Effect of large-scale kelp and bivalve farming on seawater carbonate system variations in the semi-enclosed Sanggou Bay[J]. *Science of the Total Environment*, 2021, 753: 142065.
- [ 60 ] Liu Y, Zhang J H, Wu W G, *et al.* Effects of Shellfish and Macro-Algae IMTA in North China on the Environment, Inorganic Carbon System, Organic Carbon System, and Sea-Air CO<sub>2</sub> Fluxes[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2022, 9: 864306.
- [ 61 ] 张晓雯, 唐启升. 浒苔碳汇功能评估及其扩增途径[J]. *渔业科学进展*, 2022, 43(5): 34-39.
- Zhang X W, Tang Q S. Estimation of Carbon Sequestration by *Ulva prolifera* and Potential Way to Increase the Carbon Sink[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2022, 43(5): 34-39 (in Chinese).
- [ 62 ] Huang Q Y, Hou R, Lin L, *et al.* Bioaccumulation and trophic transfer of organophosphate flame retardants and their metabolites in the estuarine food web of the Pearl River, China[J]. *Environmental Science & Technology*, 2023, 57(9): 3549-3561.
- [ 63 ] Liu H X, Li J J, Wang H J, *et al.* High-temperature thermal discharge inhibits plankton community metabolism in a partly eutrophicated bay in China[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2023, 9: 1016074.
- [ 64 ] Mai Y Z, Peng SY, Li H Y, *et al.* NOD-like receptor signaling pathway activation: A potential mechanism underlying negative effects of benzo (a) pyrene on zebrafish[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 2021, 240: 108935.
- [ 65 ] Mu X Y, Huang Y, Li X X, *et al.* Developmental effects and estrogenicity of bisphenol A alternatives in a zebra fish embryo model[J]. *Environmental science & technology*, 2018, 52(5): 3222-3231.
- [ 66 ] Mu X Y, Liu J, Yuan L L, *et al.* The mechanisms underlying the developmental effects of bisphenol F on zebra fish[J]. *Science of the total environment*, 2019, 687: 877-884.
- [ 67 ] Mu X Y, Chen X F, Liu J, *et al.* A multi-omics approach reveals molecular mechanisms by which phthalates induce cardiac defects in zebrafish (*Danio rerio*)[J]. *Environmental Pollution*, 2020, 265: 113876.
- [ 68 ] 张林宝, 孙伟, 张喆, 等. 三唑磷农药对翡翠贻贝性激素水平和性腺损伤效应的研究 [J]. *南方水产科学*, 2018, 14(2): 60-65.
- Zhang L B, Zhang W, Zhang J, *et al.* Influence of triazophos on sex hormones levels and damage effect of *Perna viridis* gona[J]. *South China Fisheries Science*, 2018, 14(2): 60-65 (in Chinese).
- [ 69 ] 张林宝, 胡莹, 陈海刚, 等. 邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯对罗非鱼肝脏转录组影响研究[J]. *中国环境科学*, 2019, 39(1): 386-396.
- Zhang L B, Hu Y, Chen H G, *et al.* Transcriptome analysis in the liver of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) after treated with di(2-ethylhexyl)phthalate[J]. *China*

- Environment science*, 2019, 39(1): 386-396 (in Chinese).
- [ 70 ] Zhang L B, Sun W, Zhang Z, *et al.* Gender-specific metabolic responses in gonad of mussel *Perna viridis* to triazophos[J]. *Marine pollution bulletin*, 2017, 123(1-2): 39-46.
- [ 71 ] Zhang L B, Hu Y, Sun W, *et al.* Transcriptomic responses of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) liver to environmental concentration of di (2-ethylhexyl) phthalate[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2018, 165: 70-77.
- [ 72 ] Zhang L B, Sun W, Chen H G, *et al.* Transcriptome analysis of acute exposure of the Manila clam, *Ruditapes philippinarum* to perfluorooctane sulfonate (PFOS)[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 2020, 231: 108736.
- [ 73 ] Zhang L B, Sun W, Chen H G, *et al.* Transcriptomic changes in liver of juvenile *Cynoglossus semilaevis* following perfluorooctane sulfonate exposure[J]. *Environmental toxicology and chemistry*, 2020, 39(3): 556-564.
- [ 74 ] Chen H G, Zhang Z, Tian F, *et al.* The effect of pH on the acute toxicity of phenanthrene in a marine microalgae *Chlorella salina*[J]. *Scientific reports*, 2018, 8(1): 17577.
- [ 75 ] Chen H G, Zhang Z, Zhang L B, *et al.* Effects of di-n-butyl phthalate on gills-and liver-specific EROD activities and CYP1A levels in juvenile red snapper (*Lutjanus argentimaculatus*)[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 2020, 232: 108757.
- [ 76 ] 贺义雄, 李佳, 张瑜, 等. 溢油对海洋渔业产业中长期影响评价指标体系研究[J]. *中国渔业经济*, 2016, 34(4): 99-107.  
He Y X, Li J, Zhang Y, *et al.* Study on the index system for medium and long-term impact of oil spill on the marine fishery[J]. *Chinese Fisheries Economics*, 2016, 34(4): 99-107 (in Chinese).
- [ 77 ] Li H Y, Lai Z N, Zeng Y Y, *et al.* Occurrence, source identification, and ecological risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments of the Pearl River Delta, China[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2021, 170: 112666.
- [ 78 ] 汪慧娟, 旷泽行, 周贤, 等. 海南省昌化江河口海域生物体中多环芳烃污染特征、来源解析及健康风险评价[J]. *环境科学*, 2020, 41(6): 2942-2950.  
Wang H J, Kuang Z H, Zhou X, *et al.* Characteristics, source analysis, and health risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) pollution in marine organisms from estuaries of Changhua River in Hainan Provinces[J]. *Environment Science*, 2020, 41(6): 2942-2950 (in Chinese).
- [ 79 ] Zhu L, Bai H Y, Chen B J, *et al.* Microplastic pollution in North Yellow Sea, China: Observations on occurrence, distribution and identification[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 636: 20-29.
- [ 80 ] Yin L Y, Chen B J, Xia B, *et al.* Polystyrene microplastics alter the behavior, energy reserve and nutritional composition of marine jacobever (*Sebastes schlegelii*)[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2018, 360: 97-105.
- [ 81 ] Xia B, Sui Q, Du Y S, *et al.* Secondary PVC microplastics are more toxic than primary PVC microplastics to *Oryzias melastigma* embryos[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2022, 424: 127421.
- [ 82 ] Sun X, Wu M Q, Xing Q G, *et al.* Spatio-temporal patterns of *Ulva prolifera* blooms and the corresponding influence on chlorophyll-a concentration in the Southern Yellow Sea, China[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 640: 807-820.
- [ 83 ] Xia B, Sui Q, Sun X, *et al.* Microplastic pollution in surface seawater of Sanggou Bay, China: Occurrence, source and inventory[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2021, 162: 111899.
- [ 84 ] Zhang M, Lin Y, Booth A M, *et al.* Fate, source and mass budget of sedimentary microplastics in the Bohai Sea and the Yellow Sea[J]. *Environmental Pollution*, 2022, 294: 118640.
- [ 85 ] Xia B, Sui Q, Sun X, *et al.* Ocean acidification increases the toxic effects of TiO<sub>2</sub> nanoparticles on the marine microalga *Chlorella vulgaris*[J]. *Journal of hazardous materials*, 2018, 346: 1-9.
- [ 86 ] Wang H, Sui Q, Zhao J, *et al.* Ocean acidification enhances the embryotoxicity of CuO nanoparticles to *Oryzias melastigma*[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2023, 453: 131361.
- [ 87 ] Zhu L, Booth A M, Feng S, *et al.* UV-B radiation enhances the toxicity of TiO<sub>2</sub> nanoparticles to the mar-

- ine microalga *Chlorella pyrenoidosa* by disrupting the protection function of extracellular polymeric substances[J]. *Environmental Science:Nano*, 2022, 9(5): 1591-1604.
- [ 88 ] Gu Y G, Gao Y P, Huang H H, *et al.* First attempt to assess ecotoxicological risk of fifteen rare earth elements and their mixtures in sediments with diffusive gradients in thin films[J]. *Water Research*, 2020, 185: 116254.
- [ 89 ] Liang R Z, Gu Y G, Li H S, *et al.* Multi-index assessment of heavy metal contamination in surface sediments of the Pearl River estuary intertidal zone[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2023, 186: 114445.
- [ 90 ] Lu X X, Gu Y G, Wang Z H, *et al.* Risk on assessment of 15 REEs and mixtures by DGT in Songhua River system sediments of China 's largest old industrial base[J]. *Environmental Research*, 2022, 212: 113368.
- [ 91 ] Han Y J, Liang R Z, Li H S, *et al.* Distribution, Multi-Index assessment, and sources of heavy metals in surface sediments of Zhelin Bay, a typical mariculture area in Southern China[J]. *Toxics*, 2023, 11(2): 150.
- [ 92 ] Kuang Z, Wang H, Han B, *et al.* Coastal sediment heavy metal (loid) pollution under multifaceted anthropogenic stress: Insights based on geochemical baselines and source-related risks[J]. *Chemosphere*, 2023, 139653.
- [ 93 ] Man X T, Huang H H, Chen F, *et al.* Anthropogenic impacts on the temporal variation of heavy metals in Daya Bay (South China)[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2022, 185: 14209.
- [ 94 ] Zhuang P, Zhao F, Zhang T, *et al.* New evidence may support the persistence and adaptability of the near-extinct Chinese sturgeon[J]. *Biological Conservation*, 2016, 193: 66-69.
- [ 95 ] Huang X F, Zhao F, Song C, *et al.* Effects of stereoscopic artificial floating wetlands on nekton abundance and biomass in the Yangtze Estuary[J]. *Chemosphere*, 2017, 183: 510-518.
- [ 96 ] Huang X F, Zhao F, Song C, *et al.* Larva fish assemblage structure in three-dimensional floating wetlands and non-floating wetlands in the Changjiang River estuary[J]. *Journal of Oceanology and Limnology*, 2021, 39(2): 721-731.
- [ 97 ] 彭彪彪, 赵峰, 王思凯, 等. 中国花鲈在长江口不同亚生境中的栖息特征[J]. *南方水产科学*, 2021, 17(4): 1-8.
- Peng B B, Zhao F, Wang S K, *et al.* Habitat traits of *Lateolabrax japonicus* in different subhabitats of Yangtze River Estuary[J]. *South China fisheries Science*, 2021, 17(4): 1-8 (in Chinese).
- [ 98 ] Yang H L, Shen L, He Y F, *et al.* Status of aquatic organisms resources and their environments in Yangtze river system (2017-2021)[J]. *Aquaculture and Fisheries*. 2023, In Press.
- [ 99 ] 刘永, 张诗涵, 肖雅元, 等. 红树林人工湿地的脱氮除磷效果研究[J]. *农业环境科学学报*, 2022, 41(8): 1788-17999.
- Liu Y, Zhang S H, Xiao Y Y, *et al.* Efficiency of mangrove wetlands in nitrogen and phosphorus removal from wastewater[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2022, 41(8): 1788-17999 (in Chinese).
- [100] 刘永, 李纯厚, 肖雅元, 等. 一种用于岛礁鱼类资源的增殖装置. CN202210865105.8[P]. 2023-05-23.
- Liu Y, Li C H, Xiao Y Y. *et al.* A propagation device for island and reef fish resources. CN, CN202210865105.8[P]. 2023-05-23 (in Chinese).
- [101] 刘永, 唐广隆, 李纯厚, 等. 一种应用于近海岛礁鱼类养护的立体修复装置. CN202210819617.0[P]. 2023-06-23.
- Liu Y, Tang G L, Li C H, *et al.* A three-dimensional restoration device used in offshore island reef fish conservation. CN, CN202210819617.0[P]. 2023-06-23 (in Chinese).
- [102] 吴鹏, 刘永, 肖雅元, 等. 春季珠江口万山群岛毗邻海域渔业生态环境状况评价[J]. *南方水产科学*, 2022, 18(5): 1-8.
- Wu P, Liu Y, Xiao Y Y, *et al.* Evaluation of fisheries ecological environment in adjacent sea areas of Wanshan Archipelago in Pearl River Estuary in spring[J]. *South China Fisheries Science*, 2022, 18(5): 1-8 (in Chinese).
- [103] 孙叶, 刘永, 李纯厚, 等. 珠江口大型底栖动物群落结构特征及影响因素[J]. *南方水产科学*, 2023, 19(5): 1-9.
- Sun Y, Liu Y, Li C H, *et al.* Community characteristics and influencing factors of macrobenthos in Pearl River Estuary[J]. *South China Fisheries Science*, 2023, 19(5): 1-9 (in Chinese).



- [104] 谢雨芳, 吴鹏, 刘永, 等. 珠江河口凤鲚的栖息地适宜性评价[J]. *南方水产科学*, 2023, 19(1): 22-29.  
Xie Y F, Wu P, Liu Y, *et al.* Study on habitat suitability of *Coilia mystus* in Pearl River Estuary, China[J]. *South China Fisheries Science*, 2023, 19(1): 22-29 (in Chinese).
- [105] 全为民, 周为峰, 马春艳, 等. 江苏海门蛎岬山牡蛎礁生态现状评价[J]. *生态学报*, 2016, 36(23): 7749-7757.  
Quan W M, Zhou W F, Ma C Y, *et al.* Ecological status of a natural intertidal oyster reef in Haimen County, Jiangsu Province[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(23): 7749-7757 (in Chinese).
- [106] 全为民, 冯美, 周振兴, 等. 江苏海门蛎岬山牡蛎礁恢复工程的生态评估[J]. *生态学报*, 2017, 37(5): 1709-17189.  
Quan W M, Feng M, Zhou Z X, *et al.* Ecological assessment of the oyster *Crassostrea sikamea* population and associated benthic communities on restored oyster reefs along Jiangsu Province coast, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(5): 1709-17189 (in Chinese).
- [107] 全为民, 张云岭, 齐遵利, 等. 河北唐山曹妃甸-乐亭海域自然牡蛎礁分布及生态意义[J]. *生态学报*, 2022, 42(3): 1142-1152.  
Qvan W M, Zhang Y L, Qi Z L, *et al.* Distribution and ecological status of natural oyster reefs on the coast of Caofeidian-Leting, Tangshan, Hebei Province[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022, 42(3): 1142-1152 (in Chinese).
- [108] Quan W M, Fan R L, Wang Y L, *et al.* Long-term oyster recruitment and growth are not influenced by substrate type in China: implications for sustainable oyster reef restoration[J]. *Journal of Shellfish Research*, 2017, 36(1): 79-86.
- [109] Quan W M, Fan R L, Li N N, *et al.* Seasonal and temporal changes in the Kumamoto oyster *Crassostrea sikamea* population and associated benthic macrofaunal communities at an intertidal oyster reef in China[J]. *Journal of Shellfish Research*, 2010, 39(2): 207-214.
- [110] Jiang W, Shi W J, Li N N, *et al.* Oyster and barnacle recruitment dynamics on and near a natural reef in China: implications for oyster reef restoration[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2022, 9: 905373.
- [111] 范立民, 徐跑, 吴伟, 等. 淡水养殖池塘微生态环境调控研究综述[J]. *生态学杂志*, 2013, 32(11): 3094-3100.  
Fan L M, Xu P, Wu W, *et al.* Regulation of micro-ecological environment in freshwater aquaculture pond: A review[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 32(11): 3094-3100 (in Chinese).
- [112] 韩婷婷, 齐占会, 黄洪辉, 等. 3种氮源加富对半叶马尾藻幼苗生长和生化组成的影响[J]. *渔业科学进展*, 2018, 39(4): 159-166.  
Han T T, Qi Z H, Huang H H, *et al.* Effects of enrichment with three nitrogen sources on growth and biochemical composition of *Sargassum hemiphyllum* seedlings[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2018, 39(4): 159-166 (in Chinese).
- [113] 韩婷婷, 黄洪辉, 付贵全, 等. 一种半叶马尾藻幼苗的度夏培育方法: 中国 CN201510324150.2[P]. 2015-06-12.  
Han T T, Huang H H, Fu G Q, *et al.* A summer cultivation method of *Sargassum hemiphyllyla* seedlings. CN, CN201510324150.2[P]. 2015-06-12 (in Chinese).
- [114] 黄洪辉, 韩婷婷, 戴明, 等. 一种修复潮间带马尾藻的方法: 中国 CN201610134683.9[P]. 2016-03-10.  
Huang H H, Han T T, Dai M, *et al.* A method for restoring *sargassum* in intertidal zones. CN, CN201610134683.9[P]. 2016-03-10 (in Chinese).
- [115] Han T T, Qi Z H, Huang H H, *et al.* Nitrogen uptake and growth responses of seedlings of the brown seaweed *Sargassum hemiphyllyllum* under controlled culture conditions[J]. *Journal of applied phycology*, 2018, 30: 507-515.
- [116] Han T T, Shi R J, Qi Z H, *et al.* The overgrowth of epiphytic *Ulva prolifera* during seedling cultivation of *Sargassum hemiphyllyllum* can be mitigated by regulating nitrogen availability[J]. *Aquaculture*, 2021, 543: 736930.
- [117] Han T T, Qi Z H, Shi R J, *et al.* Effects of seawater temperature and salinity on physiological performances of swimming shelled pteropod *Creseis acicula* during a bloom period[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2022, 9: 806848.

## Ecological and environmental research in fishery waters of China: current status and prospects

LI Chunhou<sup>1,2\*</sup>, QI Zhanhui<sup>1</sup>

(1. *Guangdong Provincial Key Laboratory of Fishery Ecology and Environment, Key Laboratory of Open-Sea Fishery Development, Key Laboratory of South China Sea Fishery Resources Exploitation & Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs of China, Scientific Observation and Research Field Station of Pearl River Estuary Ecosystem, Guangdong Province, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China;*  
2. *Scientific Observation and Research Station of Xisha Island Reef Fishery Ecosystem of Hainan Province, Sanya 572018, China*)

**Abstract:** China has the world's largest industry of fishing and aquaculture (defined here as "fishery"). China is the world's largest producer, consumer, processor, and exporter of aquatic products, with a production of >68 million tonnes in 2022. China alone contributes more than 60% of global aquaculture volume. Aquaculture accounts for 80% of domestic fish production in China. Fishery industry plays an important role in ensuring national food security and nutritional security, particularly, in meeting the demand of high-quality protein. Whereas, with the fast expanding of aquaculture in the last three decades in both inland and coastal waters, the ecological effects of aquaculture, i.e., the possible impacts of aquaculture on the environments of aquaculture waters and its adjacent waters are receiving widespread attention from a variety of stakeholders. The discipline of fishery ecology and environment focuses on the interactions of aquaculture and environments, particularly the impacts of fisheries activities on natural water ecosystems, as well as the impacts of climate change and human activities on sustainable production of aquatic products, and their influences on ecological and environmental characteristics of fishery waters. Also, it focuses on the scientific theories and technologies of bio-remediation and restoration of degraded fishery habitats and aquatic ecosystems. Here, we summarized the main progresses made in this discipline in the past ten years and proposed the key points which should be paid attention to or further investigated in the future. Our aim is to provide an overview on the current status of ecological and environmental characteristics of fishery waters and draw more attention from both scientists and public on related research.

**Key words:** fishery; ecology; environmental monitor and assessment; carbon sink; bio-remediation

**Corresponding author:** LI Chunhou. E-mail: chunhou@scsfri.ac.cn

**Funding projects:** National Natural Science Foundation of China (41976149); Guangdong Basic and Applied Basic Research Foundation (2021A1515011377); Central Public-interest Scientific Institution Basal Research Fund, CAFS (2023TD16)