



•综述• 创刊30周年纪念专辑

近十年中国海洋生物多样性研究进展

孙军^{1,2,3*}, 宋煜尧³, 施义锋³, 翟键³, 燕文卓³

1. 中国地质大学(武汉)广州南沙地大滨海研究院, 广州 511462; 2. 中国地质大学(武汉)生物地质与环境地质国家重点实验室, 武汉 430074; 3. 天津科技大学印度洋生态系统研究中心, 天津 300457

摘要: 本文系统地总结了近10年中国研究人员在遗传、物种、生态系统3个层次上对海洋生物多样性研究的重要进展, 并使用VOSviewer软件对近10年中国近海生物多样性的研究成果进行文献计量分析。近年来, 中国研究人员借助新的研究方法和手段, 比如分子生物学和流式细胞术等, 可以在物种多样性水平进行更准确和快速的分类鉴定, 借此在中国近海发现了较多新的物种; 通过多学科交叉融合, 更多的是在生态系统水平探讨海洋生物多样性, 也为今后海洋生态系统的修复提供了科学依据。目前中国的海洋生物多样性研究紧跟国际科技前沿和步伐, 在深海、海山和极端环境生物类群等新兴领域有了长足发展, 新物种的发现不断更新了原有认识, 对典型海洋生态系统的监测和部分入侵物种的整治有了长足的进步。中国近海生物多样性高, 监测数据全, 通过整合空间数据资料和时间序列变化, 进行更广更深的宏观生态模式分析研究十分必要。通过探究生物多样性的多重胁迫因子及其交互作用, 可为优化海洋生物多样性的保护和管理提供帮助。

关键词: 海洋生物多样性; 中国近海; 物种多样性; 遗传多样性; 生态系统多样性; 文献计量学; 多样性保护与管理

孙军, 宋煜尧, 施义锋, 翟键, 燕文卓 (2022) 近十年中国海洋生物多样性研究进展. 生物多样性, 30, 22526. doi: 10.17520/biods.2022526.

Sun J, Song YY, Shi YF, Zhai J, Yan WZ (2022) Progress of marine biodiversity studies in China seas in the past decade. Biodiversity Science, 30, 22526. doi: 10.17520/biods.2022526.

Progress of marine biodiversity studies in China seas in the past decade

Jun Sun^{1,2,3*}, Yuyao Song³, Yifeng Shi³, Jian Zhai³, Wenzhuo Yan³

1 Institute for Advanced Marine Research, China University of Geosciences, Guangzhou 511462

2 State Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology, China University of Geosciences, Wuhan 430074

3 Research Centre for Indian Ocean Ecosystem, Tianjin University of Sciences and Technology, Tianjin 300457

ABSTRACT

Background: China possess a high marine biodiversity. Under global climate changes, studies on marine biodiversity changes in Chinese waters grow rapidly. Over the last decade, Chinese scientists made great progress on studies of marine biodiversity in China.

Review Results: In this paper we summarized the significant progresses made on studies of marine biodiversity in China at the genetic, species, and ecosystem levels over the last decade and conducted a bibliometric analysis by using the VOSviewer software. The results showed that scientists in China had found new species through use of more accurate and rapid classification methods or tools, like molecular detections, flow cytometry, and other new techniques. Within the framework of multidisciplinary integration, biodiversity and the environmental was considered holistically, which will provide more accurate data for the restoration of marine ecosystems in future. At present, the study of Chinese scientists on marine biodiversity is still on the step of catching up the cutting edge, while we already made a obviously progress in some new hotspots, such as deep sea, seamounts, and some extreme environmental marine biodiversity studies. The discovery of new taxon had constantly updated the original knowledges, and made a great progress in the monitoring of typical marine ecosystems and the remediation of some invasive species. Due to the high biodiversity and complete monitoring data in China's offshore waters, it is necessary to carry out more comprehensive

收稿日期: 2022-09-13; 接受日期: 2022-10-31

基金项目: 国家重点研发计划(2019YFC1407800)、国家自然科学基金(41876134)、教育部长江学者奖励计划(T2014253)和生物地质与环境地质国家重点实验室基金(GKZZ22Y656)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: phytoplankton@163.com

marine ecological models to analyze and study these integrated spatial-temporal data. By exploring the biodiversity changes and their interaction under the multiple stresses, this provides the helps for optimizing the conservation and management of marine biodiversity in China sea waters.

Key words: marine biodiversity; China sea waters; species diversity; genetic diversity; ecosystem diversity; bibliometric analysis; diversity protection and management

中国拥有长约18,000 km的大陆海岸线, 沿海分布岛屿6,500多个, 管辖海域面积约470万km² (张庆君和赵良波, 2018)。在地理学气候带上, 中国海域纵跨温带、暖温带、亚热带和热带; 在水文环境上, 中国近海拥有黑潮暖流、黄海冷水团以及其他独特的沿岸流、上升流、环流等; 在水文地貌上, 中国陆地沿岸形成了与海流相呼应的独特的河口、海湾、沙滩、红树林沼泽以及潮间带等多种环境。广阔的海域面积、多变的气候类型、复杂的地理条件为中国孕育了丰富的海洋生物资源, 造就了中国海洋生物多样性的总体格局。这种生物多样性格局使得中国海洋成为重要的海洋生物多样性资源宝库, 同时也提供了丰富的实地考察研究空间(陈清潮, 1997; 李纯厚和贾晓平, 2005)。我国学者曾对中国的海洋生物多样性从不同领域和研究方法上进行过多次总结和探讨(权洁霞等, 1999; 王安利等, 2000; 刘瑞玉, 2011; 邵广昭, 2011)。

近10年来, 随着国家经济的快速发展, 我国海洋生物多样性的研究和保护越发受到重视。《生物多样性》期刊先后组织了以“海洋生物普查”(CoML)计划中国区海洋生物多样性为主题的专辑(孙军, 2011)和以全球变化下的海洋多样性为主题的专辑(孙军等, 2016)。两期专辑阐明了中国海洋生物多样性研究的基本情况。此后其他的海洋类期刊也陆续出版了相关的以海洋生物多样性为主题的中英文专辑, 如: 以中国近海新物种报道为主题的*Acta Oceanologica Sinica*专辑(Sun, 2018); 以中国海底栖生物为主题的《海洋与湖沼》专辑(徐奎栋, 2020); 以印太交汇区海洋生物多样性中心形成演化过程为主题的《海洋与湖沼》专辑(陈楠生和王凡, 2021); 以保护大黄海生态系统为主题的*Acta Oceanologica Sinica*专辑(Sun et al, 2022)等。

本文着眼于近10年我国在海洋生物多样性研究上的新进展, 从遗传、物种以及生态系统3个层次依次对海洋生物多样性进行了总结, 同时应用文献计量软件VOSviewer对发表的相关研究成果进行了

分析。所涉及的内容既包括有关经济发展过程中的人为扰动, 如过度捕捞、污染物排放、微塑料等造成海洋生物多样性丧失的研究, 又涵盖了全球气候变化, 如海水表层暖化和酸化直接或间接影响海洋生物群落结构改变的研究。本文最终统筹了中国海洋生物多样性保护的成就并展望了学科未来的发展方向。

1 中国近海遗传多样性研究

遗传多样性通常指群落内不同种群之间或一个种群内不同个体的遗传变异(夏铭, 1999)。自20世纪90年代以后, 分子生物学技术开始被应用到海洋生物群落结构分析中, 当时研究的焦点主要集中在具有保守序列的16S rDNA上(柳承璋等, 2002)。基因组学(genomic)和后基因组学(post-genomic)的发展使我们可以从群落水平上研究微生物的遗传多样性, 从系统进化的层面探究海洋生物多样性(孙军, 2011)。对于海洋生物来说, 遗传标记是研究海洋生物遗传和变异的基本方法和手段(王惠君等, 2018)。随着生物学的快速发展, 遗传标记的种类已经从形态学、细胞遗传学、生物化学发展到如今的分子生物学领域。近10年来中国海洋浮游生物遗传多样性正处在热点研究的快速发展阶段, 新技术的出现和研究海域的拓展使得中国海洋生物学家对海洋生物类群遗传多样性的研究获得了较为瞩目的成果。分子生物学技术的快速发展将海洋生物遗传多样性的研究带入了新的发展阶段, 一系列分子标记方法使人们更容易从DNA分子水平获取信息(崔朝霞等, 2011)。

1.1 浮游生物

分子生物学技术与浮游植物遗传多样性的紧密结合主要体现在分子生态学的研究上, 得益于遗传标记方法的快速迭代, 尤其是20世纪80年代左右出现的DNA分子标记技术, 分子方法在浮游植物生态学的研究领域硕果累累。第一代分子标记以限制性片段长度多态性(RFLP)为代表, 在当前海洋生物

资源开发利用的基因工程中有广泛的应用。李炜等(2013)利用PCR-RFLP技术,并结合16S rRNA基因文库对亚历山大藻的藻际细菌多样性进行了研究,结果表明这些细菌可能在赤潮的生消过程中起着重要的调控作用。第二代分子标记基于简单重复序列的多态性,以简单重复序列分析(SSR)为代表,其根据DNA简单序列的多态性来进一步分析浮游植物的遗传变化。第三代分子标记以单核苷酸多态性(SNP)为代表,以高通量测序技术为基础的最新一代分子标记技术能够更大范围地帮助分析浮游植物的物种组成、系统进化方向等群落生态学的内容(李炜等, 2013)。过去我国对于真核微生物中的浮游植物多样性知之甚少,对浮游生物的群落研究多基于传统的显微镜观察方法,因此主要集中在某些容易观察的生物类群上,例如桡足类、纤毛虫、甲藻、硅藻链状群体等有限的微型真核生物类群,特别是由于缺乏合适的研究方法,对超微型和微型浮游植物的研究并不充分,而分子生物学技术的应用使得形态分类学上难以区分的浮游植物物种得到了有效的辨识。Chen等(2021)通过形态观察和高通量测序技术相结合的实验方法对比了胶州湾浮游植物群落多样性和物种丰富度,发现高通量测序元编码结果远多于形态学观察的结果,这说明部分物种在形态学观察中可能被忽视,而高通量测序技术为浮游植物物种鉴定提供了分子描述,从而弥补了这一缺陷。目前,基于形态学的分类鉴定方法结合基因组学、转录组学、蛋白质组学以及整合了这几种组学方法的整合组学,来研究海洋自然群落环境中浮游植物的物种组成、群落结构及其生态功能,已逐渐成为浮游植物遗传多样性的研究热点之一。

相对于浮游植物,浮游动物遗传多样性的研究则更加充分。近10年来分子生物学技术的发展使得许多在形态分类学上难以确定进化位置的浮游动物可通过系统发生学(phylogenetics)的手段来分析其系统发育关系。Gao等(2017)提取了1,700多种纤毛虫的基因组DNA,利用核糖体小亚基RNA (SSU rRNA)对标记基因进行了测序,最终基于基因序列数据并结合形态分类学特征的分析,完成了对纤毛虫目2/3物种的系统发育研究。这对帮助厘清纤毛虫这一高度分化生物类群的系统发育进化关系具有重要意义,并且在新型基因标记选择和拓扑结构优

化理论上存在指导作用。李超伦等(2011)对DNA条形码在浮游动物生态学上的应用进行了比较全面的总结,分析了DNA条形码在浮游动物分类鉴定(例如,种群鉴定、新种和隐形种的发现)以及食物网营养关系研究方面区别于传统光学显微镜方法的优势。季莹莹等(2019)基于28S rDNA分析了南海刺长腹剑水蚤(*Oithona setigera*)的单倍体多样性和种群遗传结构,发现该物种可以实现远距离扩散且容易受到南海海流影响,并推断其种群遗传结构可能是由生殖隔离造成的。浮游动物分子标记技术运用较为成熟的主要有核糖体DNA (rDNA)、微卫星、核糖体RNA (rRNA)、线粒体细胞色素C氧化酶第一亚基(COI)等,它们在浮游动物种类鉴定和进化的研究中发挥了重要作用。DNA条形码、高通量测序技术、宏条形码等已逐渐成为研究浮游动物群落遗传多样性以及系统发育的有力工具。

1.2 底栖生物

随着分子生物学技术的发展,DNA条形码技术的引进为底栖生物多样性研究带来了新手段,但我国目前这方面的应用仍有局限性(杨梅等, 2018),表现在研究成果主要围绕一些经济物种、潮间带和近海常见物种展开。董志国等(2013)发现中国沿海三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)拥有较高的遗传多样性。张志伟等(2010)研究了我国沿海不同地理类群原种文蛤(*Meretrix meretrix*)的遗传多样性,结果表明各底栖种群的遗传多样性较高,具有较大的改良潜力,其中广西北海种群最适合作为选择育种的基础群。Li等(2020)研究了浅水萨氏真蛇尾(*Ophiura sarsii*)黄海种群的遗传多样性,揭示了其系统发育。此外,也有少数涉及深海冷泉大型底栖动物群落基因多样性的研究,扩展了国内相关研究的空间范围(Yao et al, 2022)。在微型底栖生物方面,龚骏等(2013)介绍了海岸带沉积物中氮循环功能微生物基于16S rRNA基因的物种多样性,以及*nifH*、*amoA*等关键功能基因的多样性。

1.3 游泳生物

线粒体DNA多态性标记是DNA序列分析技术的重要分子标记方法之一,线粒体DNA有严格遵循母系遗传、无遗传重组等优点,为游泳生物遗传结构及多样性研究提供了重要载体。其中COI基因分子标记在鱼类群体与进化遗传中应用广泛,在物种

鉴定(梁日深等, 2021)、群落结构分布调查(Shan et al, 2021)、基因测序(Li et al, 2019)等方面有着重要作用, 为新物种的记录提供了科学依据(张国庆等, 2022)。RAPD技术不需要设计特殊引物, 能够更为便捷地扩增整个基因组, 广泛应用于鱼类的遗传多样性检测, 郑天伦等(2013)利用RAPD分子标记对鳊鱼(*Miichthys miiuy*)野生群体和养殖群体的遗传多样性进行研究, 发现鳊鱼的大部分遗传变异存在于种群内, 仅10.32%的变异来自群体间。相比较于线粒体Cytb基因序列分析, RAPD技术在研究斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)种内遗传变异方面具有更高的灵敏性和多态性(陈兴汉等, 2014)。微卫星具有分布密度大、高度杂合、扩增稳定等特点, 多次应用于海洋生物遗传多样性的研究中。谷德贤等(2021)利用微卫星分子标记分析了渤海湾5个海域的口虾蛄(*Oratosquilla oratoria*)遗传多样性, 结果表明这5个群体遗传多样性水平较高。此外, 生物信息学在游泳动物遗传多样性的研究中也有所建树, 如王海山等(2022)利用生物信息学研究了鲆科鱼类的线粒体基因组, 分析了不同属间亲缘关系的远近。

1.4 大型藻类

生活环境、生活周期、遗传变异等因素会导致大型海藻的外形发生变化, 这给依据形态特征的经典分类学工作带来巨大困难。最近10年, 经典分类与分子手段结合进行大型海藻鉴定成为新趋势。例如, 姚雪等(2011)研究发现UPA (universal plastid amplicon)、*COI*、*rbcL*、18S rRNA 4个基因片段具有较高的通用性, 在我国常见大型海藻中扩增效果较好, 其中*rbcL*和UPA较适合作为鉴定大型红藻的分子标记(Du et al, 2015)。在绿藻的分类鉴定中, *tufA*、*rbcL*、ITS、18S rDNA的应用较多(丁兰平等, 2012), 中国首次记录的长茎葡萄蕨藻(*Caulerpa lentillifera*)便是通过测定*tufA*和*rbcL*基因证实其分支单系性(Gao et al, 2020)。尽管中国大型海藻多样性研究在近10年飞速发展, 但仍然存在许多问题。由于我国沿海经济的发展, 大型海藻资源受到较大破坏, 导致大型海藻的物种多样性降低(张才学等, 2020), 大型海藻分布的潮间带环境复杂, 潮差根据季节、月份变化较大, 没有固定规律, 对修复工作的开展有较大影响。同时, 分类学人才流失严重, 经典的形态鉴定法与分子手段存在一定冲突(丁兰

平等, 2011)。因此, 要保护沿岸地区大型海藻的栖息环境, 应该对其生长海域的各项理化指标做好监测, 并建设人工藻礁, 丰富大型海藻物种多样性(杨晓龙等, 2018)。同时要重视分类学、吸引分类学人才, 培养知识储备丰富的高水平研究者。在分子系统发育学上, 要筛选合适的分子标记, 构建真实的物种树(丁兰平等, 2022)。

2 中国近海物种多样性研究

2.1 浮游生物

当前中国海洋浮游生物多样性正处在热点研究的快速发展阶段, 近10年来对海洋浮游生物各种类群的物种多样性研究取得了较为瞩目的成果。围绕浮游植物这一主题, 我国研究人员在渤海、黄海、东海、南海等海域(王雨等, 2011; 郭术津等, 2013, 2014; 刘海娇等, 2015)以及中国众多沿岸海湾环境中开展了研究, 并逐渐聚焦到太平洋、印度洋等世界性的大洋海域, 重点分析和研究了多种不同海域中浮游植物的物种组成和地理时空条件下的分布差异情况及其对环境因子的响应。Wang等(2022)就环境因素和水层混合对孟加拉湾浮游植物群落结构的影响进行了研究, 共鉴定出276种浮游植物, 并发现蓝藻丰度明显受到海水垂直混合的影响。陈卓等(2018)对热带西太平洋的浮游植物的物种组成、优势种以及群落多样性情况进行了初步调查。这类研究为我国对大洋生态系统物种水平多样性的理解提供了基础资料, 并为进一步探索大洋浮游植物群落组成做了重要补充。在这些基础研究的支持下, 中国海洋生物分类研究在浮游植物领域已出版了《中国海藻志》6卷15册。根据我们研究团队的不完全统计, 我国已记录的海洋浮游植物物种多达2,788种, 其中以硅藻纲和甲藻纲居多, 分别为1,879种和577种。近10年来, 一些极端环境或极特殊海洋环境中的浮游植物物种多样性研究成为热点, 如热带珊瑚礁海域、深海等海域(柯志新等 2011; 栾青杉等, 2012; 张武昌等, 2014), 这些工作填补了我国在这些偏远区域海洋浮游植物物种多样性的记录空白。过去我国研究人员受限于深海探测技术能力和研究经费的不足, 对深海的研究进步缓慢。随着我国自行研制的载人深潜器“蛟龙号”的技术突破, 使得海山生态系统的研究在近10年得到

了突飞猛进的发展。2014–2019年, 中国科学院海洋研究所开展了5个航次的大规模深海海山生物调查, 调查中新增海山生物以及潜在的细菌90余种, 中国学者发表的海山新分类群包括: 海绵1新属5新种、珊瑚虫纲3新种、软体动物2新种、甲壳动物5新种、棘皮动物海参1新种(徐奎栋等, 2020)。这些工作填补了中国海洋浮游生物在地域上物种多样性的研究空白。随着统计学学科不断与海洋生物学、生态学等学科交叉融合, 利用生态动力学模型分析海洋生物物种多样性特征以及水文环境的变化趋势逐渐成为该领域的一大研究热点。Chen等(2018)使用连续特征建模方式, 通过假设无限丰富度和大小分布的方差表示浮游植物多样性, 研究了浮游植物物种多样性对生产力的影响。其结果表明在相对稳定的条件下, 较小种的分布其贡献的初级生产力可以提高, 同时也证明了物种的性状优化有益于提高生物的适应能力。在这种条件下, 生物群落的物种多样性越高其对环境变化的适应能力也就越强。Flombaum等(2013)提出了海洋微藻的谱系定量生态位模型, 从而回答了蓝藻门中的原绿球藻(*Prochlorococcus*)和聚球藻(*Synechococcus*)在当前以及未来全球性细胞丰度和分布的问题。

确定浮游生物的分布是研究海洋浮游生物物种多样性的重要任务之一, 这方便我们确定具体海域的浮游生物的研究内容以及开发利用潜力(张武昌等, 2021)。浮游动物通过内部各类群的差异性来体现自身多样性的特点, 不过某一生境中浮游动物的类群组成在短时间内往往是稳定且不易改变的, 因此, 体现浮游动物的物种多样性首先应该要体现研究海域及生境的差异性(徐兆礼, 2011)。全球气候正在发生大范围的变化, 近年来, 有研究证明极地地区海冰的覆盖范围是影响浮游生物群落组成、生物多样性和群落初级生产力的主要因素(Lin et al, 2021)。20世纪以来地球海水温度升高、海冰大量减少给极地海洋生物多样性带来了不同程度的影响。牟文秀等(2021)对南极夏季浮游动物的群落结构进行了基础资料的研究, 发现极地地区主要由桡足类、磷虾、毛颚类、被囊动物组成, 其中桡足类占据绝对优势, 并发现南极周边海流的运动过程是浮游动物群落分布模式的主要控制因素。近年来, 中国科学家对极地地区的研究热度逐渐升温, 这一选

择是具有前瞻性的长远战略眼光。在世界资源逐步匮乏的现代社会, 极地地区蕴含的丰富矿产、海洋生物等资源或许将是人类走向未来的重要物质支撑, 未来极地海洋的深入研究可能成为适应全球气候变化的重要选择。

随着海洋生态学理论的不断发 展进步, 研究人员越来越重视浮游动物在能量流动和物质循环方面发挥的承上启下的调控作用, 并且更加注重浮游动物的生态功能。Sikder等(2019)在中国黄海沿岸水域进行水质状况评价研究的同时, 通过分析纤毛虫营养–功能类群的评价模式在不同污染梯度范围内出现的显著变化, 发现功能型原生动物类群的生态特征可用于海洋生态系统水质状况的评价。在物种组成上, 我国研究人员对中国海域浮游动物的种类数进行了补充和修订, 目前已记录了1,911种浮游动物(孙军等, 2019)。这些工作发掘了更大尺度、更加特殊的海洋生态环境与浮游动物之间的内在联系并补充了对浮游动物各类群的了解, 从而逐渐揭示浮游动物种类组成与不同生境之间的紧密关联, 将浮游动物的物种多样性研究提升到一个更加完整的层次上。

2.2 底栖生物

我国底栖生物的物种多样性研究虽然起步较晚, 但经过数十年的发展已经有了一定积累。李新正(2011)、徐奎栋(2011)、张均龙等(2016)对2010年前我国底栖生物多样性的研究历程做了详细叙述。近10年的初期阶段, 我国研究者首先面对的是大量历史资料亟待整理并进一步深入分析这一问题。曲方圆和于子山(2010)系统整理了此前记录的黄海大型底栖动物共1,360种, 分属17门35纲91目368科842属。刘晓收等(2014)调查了莱州湾夏季大型底栖动物的群落结构特征, 并与历史资料进行了比较, 发现莱州湾的底栖群落在人为扰动影响下物种多样性有所降低。

近10年, 海洋底栖生物物种多样性的研究已经由单纯的记录描述转入底栖群落与多种环境因子间的耦合研究阶段。张敬怀(2014)探讨了河口近岸大型底栖动物物种多样性的空间变化规律, 结果表明物种多样性自河口向近岸及向深水有先升高后降低的趋势。Xu等(2014)研究了大型底栖动物群落物种多样性对富营养化胁迫的响应。将环境因子,

如水动力条件、盐度、深度、温度、氧含量等与底栖动物物种多样性联合起来(Dou et al, 2016; Arbi et al, 2017)。随着经济的快速发展, 环境问题越发凸显, 底栖物种多样性对水产养殖(张莹等, 2011)、围海造陆(马长安等, 2012; Yang et al, 2016)、渔业捕捞(韩庆喜等, 2011)、热污染(赵升等, 2013; Sun et al, 2022)等人为扰动的响应成为研究热点。在生态压力日益紧迫的背景下, 红树林人工种植恢复、人工鱼礁、生态保护区等生态恢复工程取得了一定效果。唐以杰等(2012)研究发现人工恢复红树林植被的过程中大型底栖动物物种多样性快速增长。孙习武等(2011)报道了海州湾大型底栖动物物种多样性在人工鱼礁投放后呈现逐年上升的趋势。

随着技术水平的进步和底栖学科的发展, 我国研究人员的研究空间已经从近岸拓展至大洋, 从陆架延伸到了深海。Wang等(2014)和Liu等(2019)先后在白令海开展工作, 发现白令海陆架大型底栖生物群落结构具有丰度高、生物量大、生产力高、异质性强的特点, 但其生态系统稳定性很容易受物种损失的影响。Liu等(2015)调查了南大洋南设得兰群岛潮间带的大型底栖动物, 发现在砾石沉积物中的群落具有最高的物种多样性。“蛟龙号”深潜器的成功入海标志着我国底栖生物多样性研究已经打开了迈向深海未知研究空间的新篇章, Yao等(2022)使用遥控深潜设备调查了冷泉的底栖物种多样性, 共鉴定出5门12科12种大型底栖动物。Dong等(2021)报道了“深海勇士”号载人潜水器在南海海马冷泉获得的底栖动物分布信息。这些研究成果丰富了有关深海物种的资料。

2.3 游泳生物

我国20世纪40年代开始对游泳动物分类进行研究, 近10年发展迅速。鱼类是游泳动物的主要组成部分, 由于其巨大的生物量以及重要的经济价值, 在海洋生态系统中发挥着关键作用。科研人员对游泳动物物种多样性的研究主要集中于群落结构和多样性分布的时空变化, 时间跨度长, 调查区域广泛而全面。吕振波等(2012)和朱剑等(2016)调查了中国沿海鱼类的群落结构与分布, 为其多样性研究与保护提供了科学依据。对虾蟹等甲壳类群落及其与环境因子关系的研究也不断更新(罗西玲等, 2015; 吴强等, 2018)。在对游泳动物时空变化进行探究的

同时, 相应的研究方法也在不断进步。Zhang等(2019)将回声检测仪与中水拖网结合, 调查了南海中上层游泳动物的群落结构与生物量, 对该海域生物多样性有了更全面的认识。麻秋云等(2015)利用碳氮同位素对胶州湾游泳生物的食物网营养位置进行研究, 构建了胶州湾食物网的连续营养谱。宋伦等(2013)采用ABC曲线法(abundance biomass comparison curves)和粒径谱理论对鸭绿江口近岸海域多样性水平和稳定性状况等进行了分析, 发现游泳生物群落主要以小型个体为主, 稳定性较差。

2.4 大型藻类

不同区系大型海藻物种多样性的研究内容同样集中于群落组成和分布特征。潮间带作为海陆交界地带, 具有很高的生物多样性, 众多学者对潮间带大型海藻多样性进行了调查分析, 对明确中国沿岸大型海藻多样性以及资源保护具有重要意义(陈自强等, 2013; 张才学等, 2020)。除了现场采样调查外, 也可利用遥感等方法对大型藻类的组成分布进行调查, 如陈莹等(2020)基于GOCI卫星数据对黄海水域绿潮进行了监测。姚启学等(2016)使用ArcGIS软件进行距离分析和地形分析, 并分别结合藻类调查数据对其分布进行研究。吴祖立和章守宇(2019)指出, 在台风“海葵”的风浪作用下, 枸杞岛大型底栖海藻的优势种和生物量有所减少, 并提出投放抗风浪礁体的措施。人类活动和气候变化的影响会破坏大型海藻的多样性, 利用遥感等方法加强大面积监测海藻分布、探究海藻对环境变化的适应机制, 有助于潮间带海藻场的恢复和重建。

3 中国近海生态系统多样性研究

海洋生态系统是地球上面积最大且结构最复杂的生态系统, 也是地球生态环境的调节器和人类生命支持系统的重要组成部分。海洋生态系统按海区划分, 可以分为浅海生态系统、深海生态系统、大洋生态系统、火山口生态系统、河口生态系统、海湾生态系统、上升流生态系统等。按生物群落划分, 可以分为红树林生态系统、珊瑚礁生态系统、海草床生态系统等, 这些类型在我国均有分布。位于海岸带的红树林、珊瑚礁和海草床等典型生态系统蕴藏着丰富的生物多样性, 深海生态系统更是海洋生物多样性的宝库。近年来海洋生态系统的健康

状况得到了广泛关注, 滨海湿地的开发利用、近海石油开发、高密度海水养殖等人类活动不同程度地改变了当地海洋生态系统的结构和功能, 围填海工程直接侵占了生物栖息地, 导致生境破碎, 对海洋生物多样性造成威胁(杜建国等, 2011)。

红树林生态系统生境特殊, 是世界上最富多样性、生产力最高的海洋生态系统之一, 具有重要的生态、社会和经济价值, 是研究人员研讨植物耐盐抗性、改良盐碱地的良好材料。截至2019年, 我国红树林面积为2.89万ha, 近10年来总体面积有所增加, 但仍小于20世纪50年代的约5万ha (耿国彪, 2022)。红树林生态系统是高度动态和异质的系统, 需要进行长周期、大范围的监测, 除了理化指标, 水体中的浮游植物同样是监测的重点。通过评估浮游植物群落结构长周期的时空分布和多样性水平变化, 可以监测甚至预测红树林生态系统的健康程度(刘玉和黄玉山, 1995; 王雨等, 2010; 高宇和林光辉, 2018)。海洋中微塑料对海洋生态系统的污染同样值得关注, 作为近些年才被提出的新型污染物, 其对红树林生态系统健康的影响有待进一步的系统普查, 以探究红树林生态系统对其降解能力和在富集过程中对生物和环境的影响(李一璠等, 2022)。

珊瑚礁生态系统被称为海洋中的“热带雨林”, 生物多样性极高。受全球气候变化以及人类活动的影响, 珊瑚礁生态系统受到不同程度的破坏, 珊瑚礁的修复至关重要。随着渔业技术的发展, 人类的捕捞活动造成的渔业诱导进化导致鱼类资源向小型化、繁殖力下降的趋势发展, 不利于群落稳定。大型年长鱼类在种群的季节性繁殖和维护群落稳定性上起主导作用, 对所处的生态系统有更强的适应性, 更有利于物种多样性的维持。尤其是珊瑚礁生态系统中的鱼类功能群, 年长的鱼类对维持珊瑚礁正常生长的生态作用将越发明显(于道德等, 2021)。对珊瑚礁生态系统结构和生物多样性水平的评估, 慢慢从特定物种或单个生态系统修复工程向大尺度的生态修复转变, 系统修复理论、技术体系及其应用有待进一步探索提升(龙丽娟等, 2019)。

红树林、珊瑚礁和海草床通常在地理位置上相邻, 三者相互联系又相互区分, 关系十分复杂, 受到物种迁徙、营养循环以及广泛的物理性质影响等。我国在对受损海洋生态系统的修复工作中采取

了多种举措进行资源的整合, 既有共性上的整体规划, 又有针对各自结构、功能上的特点, 有的放矢地开展海洋生态系统环境修复工作。参照未被干扰的同类型生态系统, 采取生物修复、人工移植等方式, 从试点区域到全面协同修复(王丽荣等, 2018)。

深海生态系统同样面临一系列挑战, 如深海生物多样性下降、深海资源开采带来的生态破坏、陆源污染物等。深海生物多样性的丧失可能会损害深海生态系统的功能和可持续性(Danovaro et al, 2008)。虽然我国深海探测技术起步较晚, 但近10年在对深海的探索中取得了可喜的成果。目前, 我国拥有常压潜水装置、水下无人无缆水下机器人等深海探测装备, “蛟龙号”载人潜水器可以到达海底7,000 m的深度, “奋斗号”载人潜水器更是成功坐底深度10,909 m的马里亚纳海沟, “国之重器”的研发展示了我国在深海探测技术上的突飞猛进, 也为研究深海生物多样性奠定了基础。我国研究人员可以利用深海探测设备在空间及时间尺度上进一步认识深海生物多样性以及深海中广泛分布的海山、冷泉、热液等生态环境, 进而将深海生物多样性和深海环境建立起联系, 发展深海生态理论模型, 对深海生物多样性保护提供条件支持(谢伟和殷克东, 2019; 程娇等, 2021)。

在全球气候变化的背景下, 人类活动的影响已经明显改变了全球海洋的物理和化学属性, 环境的变化进一步对海洋生物多样性产生了广泛影响。海洋表层海水酸化和暖化、海平面上升、海流变化等一系列海洋环境的改变, 直接或间接地影响海洋生物多样性, 导致全球海洋物种的分布发生改变, 不同生态系统中的物种组成、群落结构、生命过程发生明显变化(孙军等, 2016; 谭红建等, 2022)。人类活动对海洋生物多样性在遗传、物种和生态水平的冲击主要表现在掠夺式地利用海洋生物资源、海水养殖的影响、污染和富营养、外来物种入侵和生境的破坏等方面(王友绍, 2011)。

近10年来, 我国陆续开展了河口、海藻床、红树林等典型生态系统恢复工作, 以及岸线整治等海洋生态保护修复工作。对多种生态系统进行全面的理化、生物等指标的调查和长时间的监测, 修复前评估, 修复时规划, 修复后监测。积极应用现代分子生物技术, 如细胞工程、分子育种等, 科学养殖,

公众也越来越认识到海洋的重要性, 围填海项目地停止和整改, 沿海城市针对典型生态系统的修复工作趋于完善。随着研究技术的更迭, 我们走向深海, 走进微观, 在更高的纬度上探究海洋生物多样性。历史的变迁, 当下的分布, 未来的趋势, 从生

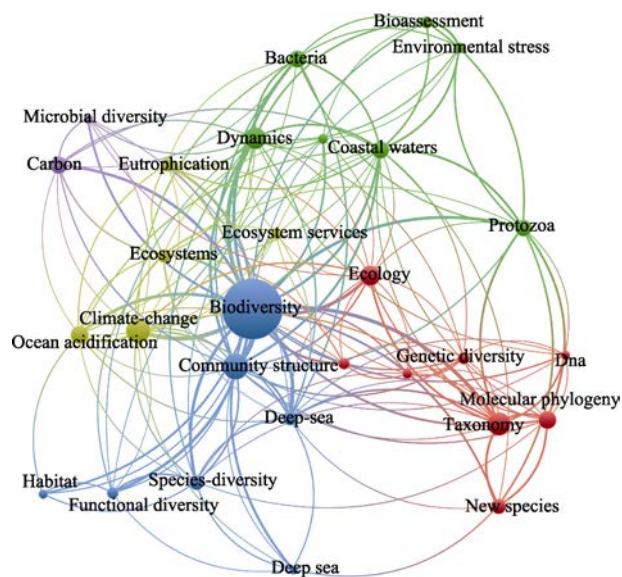


图3 2011–2021年中国海洋生物多样性研究英文关键字共现图(数据来源于Web of Science数据库)

Fig. 3 Keyword co-occurrence map for marine biodiversity studies in China from 2011 to 2021 (data from Web of Science database)

物基因到整个海洋环境这一平衡/非平衡的系统中, 我们对广袤海洋的探索还将更加深入(孙军, 2011)。

5 展望

中国海是一个生物多样性较高的区域, 靠近全球的海洋生物多样性中心, 其生物多样性高居世界第三。尽管我们已在海洋生物多样性方面开展了很多工作, 但仍然有许多工作亟待开展。

我们对中国海新的物种, 特别是无脊椎动物和原生动物的描述仍然在不断积累; 在对新的生态系统进行分类和取样以及对其中物种和栖息地进行长期监测方面仍需要加大努力; 外来物种的入侵将继续改变中国近海的生物多样性, 仍需持续监测; 对中国近海生物多样性的高异质性也不尽了解, 仍需尝试整合空间数据和时间的变动趋势, 需要在大尺度、可视化宏观生态模式下进行分析研究; 中国近海是一个复杂的区域, 生态环境和人类活动影响交汇并相互作用, 它们对海洋生物多样性产生的巨大潜在影响仍需评估; 虽然我们对生物多样性的单一胁迫因子已经非常了解, 但对多重因子及其交互作用影响的了解则非常有限; 我们也有必要对保护和管理中国近海生物多样性的措施进行全面分析; 在多样性保护与管理上, 还存在研究资金投入不够、基本科研条件还相对落后、管理的教条主义和

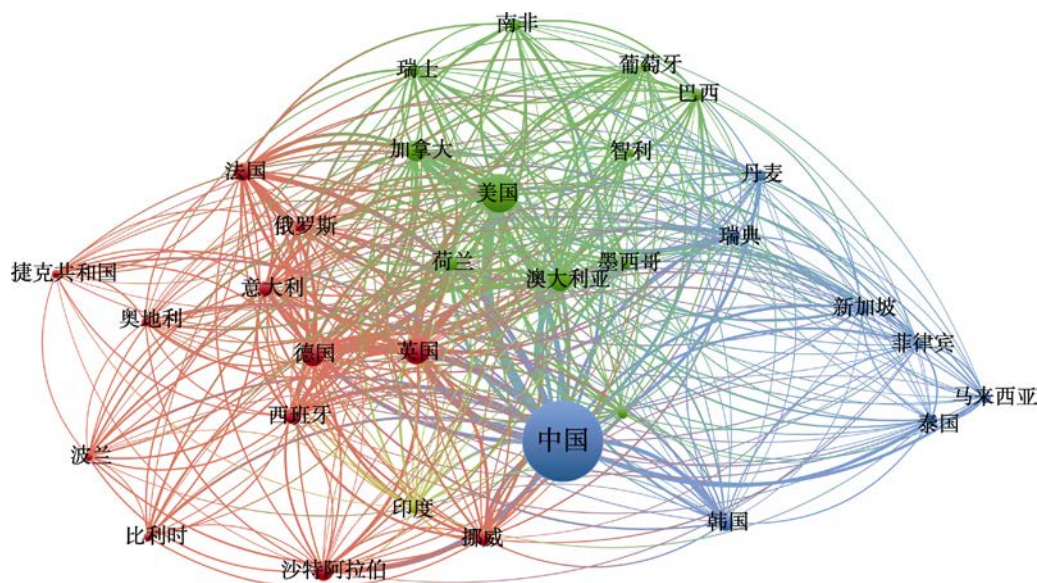



图4 2011–2021年中国海洋生物多样性研究国家合作共现图(数据来源于Web of Science数据库)

Fig. 4 International cooperation co-existence map for marine biodiversity studies in China from 2011 to 2021 (data from Web of Science database)

部门壁垒, 以及民众的认知和参与度不够等一系列问题。

由于中国国土几乎横跨了从世界陆地最高极的珠穆朗玛峰到海洋最深处的马里亚纳海沟, 同时也是世界人口最多和人为活动最强烈的地区, 因此中国珠穆朗玛峰-马里亚纳海沟的断面在物理环境、生态和社会经济上都有一个很显著的梯度, 在这样一个断面上的生物多样性研究可被视为一个范式, 一个陆海统筹、古今结合的理想场所。国家有必要加大在一些典型海洋生态系统水平生物多样性研究的投入, 也有必要让更多的民众参与到海洋生物多样性的保护中来。

ORCID

孙军  <https://orcid.org/0000-0001-7369-7871>

参考文献

- Arbi I, Zhang JP, Liu SL, Wu YC, Huang XP (2017) Benthic habitat health assessment using macrofauna communities of a sub-tropical semi-enclosed bay under excess nutrients. *Marine Pollution Bulletin*, 119, 39–49.
- Chen BZ, Smith SL, Wirtz KW (2018) Effect of phytoplankton size diversity on primary productivity in the North Pacific: Trait distributions under environmental variability. *Ecology Letters*, 22, 56–66.
- Chen NS, Wang F (2021) Preface. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 52, 261. (in Chinese) [陈楠生, 王凡 (2021) 前言. 海洋与湖沼, 52, 261.]
- Chen QC (1997) Current status and prospects of marine biodiversity in China. *Chinese Biodiversity*, 5, 142–146. (in Chinese with English abstract) [陈清潮 (1997) 中国海洋生物多样性的现状和展望. 生物多样性, 5, 142–146.]
- Chen TT, Zhang YX, Song SQ, Liu Y, Sun XX, Li CW (2021) Diversity and seasonal variation of marine phytoplankton in Jiaozhou Bay, China revealed by morphological observation and metabarcoding. *Journal of Oceanology and Limnology*, 40, 577–591.
- Chen XH, Guo L, Li MM, Meng ZN, Lin HR (2014) Analysis of RAPD and mitochondrial *Cyrb* gene sequences of three cultured stocks of *Epinephelus coioides* from Guangdong Province, China. *South China Fisheries Science*, 10, 27–33. (in Chinese with English abstract) [陈兴汉, 郭梁, 李明明, 蒙子宁, 林浩然 (2014) 广东沿海3个斜带石斑鱼养殖群体的RAPD和线粒体 $Cyrb$ 基因序列变异分析. 南方水产科学, 10, 27–33.]
- Chen Y, Sun DY, Zhang HL, Wang SQ, Qiu ZF, He YJ (2020) Remote-sensing monitoring of green tide and its drifting trajectories in Yellow Sea based on observation data of geostationary ocean color imager, China. *Acta Optica Sinica*, 40(3), 1–13. (in Chinese with English abstract) [陈莹, 孙德勇, 张海龙, 王胜强, 丘仲锋, 何宜军 (2020) 结合GOCI数据的黄海绿潮遥感监测及漂移轨迹研究. 光学学报, 40(3), 1–13.]
- Chen Z, Sun J, Zhang GC (2018) Netz-phytoplankton community structure of the tropical Western Pacific Ocean in summer 2016. *Marine Sciences*, 42(7), 114–130. (in Chinese with English abstract) [陈卓, 孙军, 张桂成 (2018) 2016年秋季热带西太平洋网采浮游植物群落结构. 海洋科学, 42(7), 114–130.]
- Chen ZQ, Shou L, Liao YB, Gao AG, Zeng JN, Chen QZ (2013) Community structure of benthic algae and its seasonal variation in the rocky intertidal zone of Sanya. *Acta Ecologica Sinica*, 33, 3370–3382. (in Chinese with English abstract) [陈自强, 寿鹿, 廖一波, 高爱根, 曾江宁, 陈全震 (2013) 三亚岩相潮间带底栖海藻群落结构及其季节变化. 生态学报, 33, 3370–3382.]
- Cheng J, Sha ZL, Sun SE, Hui M (2021) Progress on the origin, evolution and biogeographic pattern of megafauna biodiversity in deep-sea chemosynthetic ecosystems, China. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 52, 508–521. (in Chinese with English abstract) [程娇, 沙忠利, 孙邵娥, 惠敏 (2021) 深海化能生态系统大型生物多样性分布格局及其起源演化研究进展. 海洋与湖沼, 52, 508–521.]
- Cui ZX, Zhang H, Song LS, You F (2011) Genetic diversity of marine animals in China: A summary and prospectiveness, China. *Biodiversity Science*, 19, 815–833. (in Chinese with English abstract) [崔朝霞, 张垲, 宋林生, 尤锋 (2011) 中国重要海洋动物遗传多样性的研究进展. 生物多样性, 19, 815–833.]
- Danovaro R, Gambi C, Dell'Anno A, Corinaldesi C, Fraschetti S, Vanreusel A, Vincx M, Gooday AJ (2008) Exponential decline of deep-sea ecosystem functioning linked to benthic biodiversity loss. *Current Biology*, 18, 1–8.
- Ding LP, Huang BX, Xie YQ (2011) Advances and problems with the study of marine macroalgae of China seas, China. *Biodiversity Science*, 19, 798–804. (in Chinese with English abstract) [丁兰平, 黄冰心, 谢艳齐 (2011) 中国大型海藻的研究现状及其存在的问题. 生物多样性, 19, 798–804.]
- Ding LP, Liu MY, Yan PZ, Wang YX, Wang XC, Huang BX (2022) Classification status and prospects of the family Ceramiaceae, Rhodophyta, China. *Guangxi Sciences*, 29, 131–146. (in Chinese with English abstract) [丁兰平, 刘美媛, 闫盼竹, 王艺晓, 王雪聪, 黄冰心 (2022) 红藻门仙菜科Ceramiaceae的分类现状与展望. 广西科学, 29, 131–146.]
- Ding LP, Ma YY, Huang BX (2012) The application and perspective of DNA barcoding technology on the macroalgae China. *Marine Sciences*, 36, 103–110. (in Chinese with English abstract) [丁兰平, 马元元, 黄冰心 (2012) DNA条形码技术在大型海藻学研究中的应用及前景. 海洋科学, 36, 103–110.]
- Dong D, Li XZ, Yang M, Gong L, Li Y, Sui JX, Gan ZB, Kou Q, Xiao N, Zhang JL (2021) Report of epibenthic macrofauna found from Haima cold seeps and adjacent deep-sea habitats, South China Sea. *Marine Life Science &*

- Technology, 3, 1–12.
- Dong ZG, Li XY, Wang PL, Wang WJ, Zhang QQ, Yan BL, Sun XW (2013) Genetic diversity and genetic differentiation of swimming crab (*Portunus trituberculatus*) from six geographical populations of China Sea based on mitochondrial D-loop gene, China. *Journal of Fisheries of China*, 37, 1304–1312. (in Chinese with English abstract) [董志国, 李晓英, 王普力, 王文进, 张庆起, 阎斌伦, 孙效文 (2013) 基于线粒体D-loop基因的中国海三疣梭子蟹遗传多样性与遗传分化研究. *水产学报*, 37, 1304–1312.]
- Dou P, Cui BS, Xie T, Dong DZ, Gu BH (2016) Macrobenthos Diversity response to hydrological connectivity gradient. *Wetlands*, 36, S45–S55.
- Du GY, Wu FF, Guo H, Xue HF, Mao YX (2015) DNA barcode assessment of Ceramiales (Rhodophyta) in the intertidal zone of the northwestern Yellow Sea. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 33, 685–695.
- Du JG, Chen B, Zhou QL, Yang SY, Wen Q, Shi HH, Yu WW, Huang H (2011) Strategies for the marine biodiversity conservation based on the integrated coastal zone management, China. *Marine Science Bulletin*, 30, 456–462. (in Chinese with English abstract) [杜建国, 陈彬, 周秋麟, 杨圣云, 温泉, 石洪华, 俞炜炜, 黄浩 (2011) 以海岸带综合管理为工具开展海洋生物多样性保护管理. *海洋通报*, 30, 456–462.]
- Flombaum P, Gallegos JL, Gordillo RA, Rincón J, Zabala LL, Jiao N, Karl DM, Li WKW, Lomas MW, Veneziano D, Vera CS, Vrugt JA, Martiny AC (2013) Present and future global distributions of the marine cyanobacteria *Prochlorococcus* and *Synechococcus*. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 110, 9824–9829.
- Gao DH, Sun ZM, Huang CH, Yao JT, Wang YQ, Tan W, Chen FX (2020) First record of *Caulerpa lentillifera* J. Agardh (Bryopsidales, Chlorophyta) from China. *Marine Biology Research*, 16, 44–49.
- Gao F, Huang J, Zhao Y, Li LF, Liu WW, Miao M, Zhang QQ, Li JM, Yi ZZ, El-Serehy HA, Warren A, Song WB (2017) Systematic studies on ciliates (Alveolata, Ciliophora) in China: Progress and achievements based on molecular information. *European Journal of Protistology*, 61, 409–423.
- Gao Y, Lin GH (2018) Algal diversity and their importance in ecological processes in typical mangrove ecosystems. *Biodiversity Science*, 26, 1223–1235. (in Chinese with English abstract) [高宇, 林光辉 (2018) 典型红树林生态系统藻类多样性及其在生态过程中的作用. *生物多样性*, 26, 1223–1235.]
- Geng GB (2022) Protect and restore mangroves and maintain marine ecosystems. *Green China*, (3), 26–31. (in Chinese) [耿国彪 (2022) 保护修复红树林维护海洋生态系统. *绿色中国*, (3), 26–31.]
- Gong J, Song YJ, Zhang XL (2013) Phylogenetic and functional diversity of nitrogen cycling microbes in coastal sediments. *Biodiversity Science*, 21, 433–444. (in Chinese with English abstract) [龚骏, 宋延静, 张晓黎 (2013) 海岸带沉积物中氮循环功能微生物多样性. *生物多样性*, 21, 433–444.]
- Gu DX, Wang T, Xu YF, Wu N, Wang N, Hao Y, Wang G, Li WW, Liu GS (2021) Genetic diversity of wild populations of mantis shrimp *Oratosquilla oratoria* in Bohai Bay using microsatellite markers. *Fisheries Science*, 40, 693–699. (in Chinese with English abstract) [谷德贤, 王婷, 许玉甫, 吴宁, 王娜, 郝郁, 王刚, 李文雯, 刘国山 (2021) 利用微卫星分子标记分析渤海湾的口虾蛄遗传多样性. *水产科学*, 40, 693–699.]
- Guo SJ, Li YQ, Zhang CX, Zhai WD, Huang T, Wang LF, Ma W, Jin HL, Sun J (2014) Phytoplankton community in the Bohai Sea and its relationship with environmental factors. *Marine Science Bulletin*, 33, 95–105. (in Chinese with English abstract) [郭术津, 李彦翘, 张翠霞, 翟惟东, 黄韬, 王丽芳, 马威, 谨华龙, 孙军 (2014) 渤海浮游植物群落结构及与环境因子的相关性分析. *海洋通报*, 33, 95–105.]
- Guo SJ, Sun J, Zhang H, Zhai WD (2013) Phytoplankton communities in the Northern Yellow Sea in autumn 2011, China. *Journal of Tianjin University of Science & Technology*, 28(1), 22–29. (in Chinese with English abstract) [郭术津, 孙军, 张辉, 翟惟东 (2013) 2011年秋季北黄海浮游植物群落. *天津科技大学学报*, 28(1), 22–29.]
- Han QX, Li BQ, Han QY, Zhang Y, Wang YQ, Wang QC, Liu DY (2011) Preliminary study of the impact of fishery trawling on epifauna community in the coastal water of Weihai Port. *Marine Science Bulletin*, 30, 121–126. (in Chinese with English abstract) [韩庆喜, 李宝泉, 韩秋影, 张永, 王跃启, 王全超, 刘东艳 (2011) 渔业捕捞对威海港附近海域底上大型底栖群落结构影响的初步研究. *海洋通报*, 30, 121–126.]
- Ji YY, Xu L, Li H, Wang LG, Du FY (2019) Genetic structure of *Oithona setigera* from South China Sea based on 28S rDNA gene. *Journal of Tropical Oceanography*, 38, 89–97. (in Chinese with English abstract) [季莹莹, 徐磊, 黎红, 王亮根, 杜飞雁 (2019) 基于28S rDNA的南海刺长腹剑水蚤(*Oithona setigera*)种群遗传多样性研究. *热带海洋学报*, 38, 89–97.]
- Ke ZX, Huang LM, Tan YH, Yin JQ (2011) Plankton community structure and diversity in coral reefs area of Sanya Bay, Hainan Province, China. *Biodiversity Science*, 19, 696–701. (in Chinese with English abstract) [柯志新, 黄良民, 谭烨辉, 尹健强 (2011) 三亚珊瑚礁分布海区浮游生物的群落结构. *生物多样性*, 19, 696–701.]
- Li CH, Jia XP (2005) Advances and hot topics for the marine biodiversity protection in China. *South China Fisheries Science*, 1(1), 66–70. (in Chinese with English abstract) [李纯厚, 贾晓平 (2005) 中国海洋生物多样性保护研究进展与几个热点问题. *南方水产*, 1(1), 66–70.]
- Li CL, Wang MX, Cheng FP, Sun S (2011) DNA barcoding and its application to marine zooplankton ecology. *Biodiversity Science*, 19, 805–814. (in Chinese with English abstract) [李超伦, 王敏晓, 程方平, 孙松 (2011) DNA条

- 形码及其在海洋浮游动物生态学研究中的应用. 生物多样性, 19, 805–814.]
- Li HX, Huang XN, Li SG, Zhan AB (2019) Environmental DNA (eDNA)-metabarcoding-based early monitoring and warning for invasive species in aquatic ecosystems. *Biodiversity Science*, 27, 491–504. (in Chinese with English abstract) [李晗溪, 黄雪娜, 李世国, 战爱斌 (2019) 基于环境DNA-宏条形码技术的水生生态系统入侵生物的早期监测与预警. 生物多样性, 27, 491–504.]
- Li XZ (2011) An overview of studies on marine macrobenthic biodiversity from Chinese waters: Principally from the Yellow Sea. *Biodiversity Science*, 19, 676–684. (in Chinese with English abstract) [李新正 (2011) 我国海洋大型底栖生物多样性研究及展望: 以黄海为例. 生物多样性, 19, 676–684.]
- Li Y, Song PQ, Feng J, Zhang N, Zhang R, Lin LS (2019) Complete mitochondrial genome sequence and phylogenetic analysis of *Myoxocephalus scorpius* (Linnaeus, 1758). *Mitochondrial DNA Part B: Resources*, 4, 862–863.
- Li Y, Zheng W, Zheng TL (2013) Advances in research of marine microbial diversity and molecular ecology. *Microbiology China*, 40, 655–668. (in Chinese with English abstract) [李伟, 郑伟, 郑天凌 (2013) 海洋微生物多样性及其分子生态学研究进展. 微生物学通报, 40, 655–668.]
- Li YF, Bi R, Zhao PH, Liu WH, Li P (2022) Research progress on distribution characteristics and environmental behavior of microplastics in mangrove forests. *Chinese Journal of Ecology*, 41, 1835–1844. (in Chinese with English abstract) [李一璠, 毕然, 赵普晖, 刘文华, 李平 (2022) 红树林环境中微塑料污染分布特征及生态风险研究进展. 生态学杂志, 41, 1835–1844.]
- Li YX, Dong Y, Xu QZ, Fan SL, Lin HS, Wang MH, Zhang XL (2020) Genetic differentiation and evolutionary history of the circumpolar species *Ophiura sarsii* and subspecies *Ophiura sarsii vadicola* (Ophiurida: Ophiuridae). *Continental Shelf Research*, 197, 104805.
- Liang RS, Tang FS, He HB, Wang J, Li JT, Li QQ, Chen YZ, Lin L, Zhang K (2021) DNA barcoding and molecular phylogenetic relationships of *Epinephelus* species from western Pacific coastal areas. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 45, 851–860. (in Chinese with English abstract) [梁日深, 唐丰寿, 何浩斌, 汪健, 李江涛, 李青青, 陈轶之, 林鑫, 张凯 (2021) 西太平洋沿海石斑鱼属鱼类DNA条形码及分子系统进化研究. 水生生物学报, 45, 851–860.]
- Lin YJ, Moreno C, Marchetti A, Ducklow H, Schofield O, Delage E, Meredith M, Li ZC, Eveillard D, Chaffron S, Cassar N (2021) Decline in plankton diversity and carbon flux with reduced sea ice extent along the Western Antarctic Peninsula. *Nature Communications*, 12, 1–9.
- Liu CZ, Song LS, Wu Q (2002) Application of molecular biotechniques in research on marine microbial diversity: A review. *Marine Sciences*, 26(8), 27–30. (in Chinese with English abstract) [柳承璋, 宋林生, 吴青 (2002) 分子生物学技术在海洋微生物多样性研究中的应用. 海洋科学, 26(8), 27–30.]
- Liu HJ, Fu WC, Sun J (2015) Seasonal variations of netz-phytoplankton community in East China Sea continental shelf from 2009–2011. *Haiyang Xuebao*, 37, 106–122. (in Chinese with English abstract) [刘海娇, 傅文诚, 孙军 (2015) 2009–2011年东海陆架海域网采浮游植物群落季节变化. 海洋学报, 37, 106–122.]
- Liu K, Lin HS, He XB, Huang YQ, Li Z, Lin JH, Mou JF, Zhang SY, Lin LS, Wang JJ, Sun J (2019) Functional trait composition and diversity patterns of marine macrobenthos across the Arctic Bering Sea. *Ecological Indicators*, 102, 673–685.
- Liu RY (2011) Progress of marine biodiversity studies in China Seas. *Biodiversity Science*, 19, 614–626. (in Chinese with English abstract) [刘瑞玉 (2011) 中国海物种多样性研究进展. 生物多样性, 19, 614–626.]
- Liu XS, Wang L, Li S, Huo YZ, He PM, Zhang ZN (2015) Quantitative distribution and functional groups of intertidal macrofaunal assemblages in Fildes Peninsula, King George Island, South Shetland Islands, Southern Ocean. *Marine Pollution Bulletin*, 99, 1–2.
- Liu XS, Zhao R, Hua E, Lu L, Zhang ZN (2014) Macrofaunal community structure in the Laizhou Bay in summer and the comparison with historical data. *Marine Science Bulletin*, 33, 283–292. (in Chinese with English abstract) [刘晓收, 赵瑞, 华尔, 路璐, 张志南 (2014) 莱州湾夏季大型底栖动物群落结构特征及其与历史资料的比较. 海洋通报, 33, 283–292.]
- Liu Y, Huang YS (1995) Study on the population structure and pollution ecology of algae in mangrove area in Futian, Shenzhen. *China Environmental Science*, 15, 171–176. (in Chinese with English abstract) [刘玉, 黄玉山 (1995) 红树林区污水对藻类种群结构的影响. 中国环境科学, 15, 171–176.]
- Long LJ, Yang FF, Wei ZL (2019) A review on ecological restoration techniques of coral reefs. *Journal of Tropical Oceanography*, 38(6), 1–8. (in Chinese with English abstract) [龙丽娟, 杨芳芳, 韦章良 (2019) 珊瑚礁生态系统修复研究进展. 热带海洋学报, 38(6), 1–8.]
- Lü ZB, Li F, Xu BQ, Wang B (2012) Fish community diversity during spring and autumn in the Yellow Sea off the coast of Shandong. *Biodiversity Science*, 20, 207–214. (in Chinese with English abstract) [吕振波, 李凡, 徐炳庆, 王波 (2012) 黄海山东海域春、秋季鱼类群落多样性. 生物多样性, 20, 207–214.]
- Luan QS, Sun JQ, Wu Q, Wang J (2012) Phytoplankton community in adjoining water of the Antarctic Peninsula during austral summer 2010. *Advances in Marine Science*, 30, 508–518. (in Chinese with English abstract) [栾青杉, 孙坚强, 吴强, 王俊 (2012) 2010年夏南极半岛邻近海域的浮游植物群落. 海洋科学进展, 30, 508–518.]
- Luo XL, Ren YP, Xing L, Xu BD (2015) Species composition and diversity of crab assemblage in Haizhou Bay. *Biodiversity Science*, 23, 210–216. (in Chinese with English abstract) [罗西玲, 任一平, 邢磊, 徐宾铎 (2015) 海州湾蟹类群落种类组成及其多样性. 生物多样性, 23,

- 210–216.]
- Ma CA, Xu LL, Tian W, Lü WW, Zhao YL (2012) The influence of a reclamation project on the macrobenthos of an East Nanhui tidal flat. *Acta Ecologica Sinica*, 32, 3–11. (in Chinese with English abstract) [马长安, 徐霖林, 田伟, 吕巍巍, 赵云龙 (2012) 围垦对南汇东滩湿地大型底栖动物的影响. *生态学报*, 32, 3–11.]
- Ma QY, Han DY, Liu H, Xue Y, Ji YP, Ren YP (2015) Construction of a continuous trophic spectrum for the food web in Jiaozhou Bay using stable isotope analyses. *Acta Ecologica Sinica*, 35, 7207–7218. (in Chinese with English abstract) [麻秋云, 韩东燕, 刘贺, 薛莹, 纪毓鹏, 任一平 (2015) 应用稳定同位素技术构建胶州湾食物网的连续营养谱. *生态学报*, 35, 7207–7218.]
- Mou WX, Yang G, Hao Q, Xu ZQ, Li CL (2021) The zooplankton community in Cosmonaut Sea: Community structure and environmental factors. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 52, 925–935. (in Chinese with English abstract) [牟文秀, 杨光, 郝镭, 徐志强, 李超伦 (2021) 南极夏季宇航员海浮游动物群落结构及其与环境因子的关系. *海洋与湖沼*, 52, 925–935.]
- Qu FY, Yu ZS (2010) The application of taxonomic diversity in macrobenthic ecology: Taking Yellow Sea for example. *Biodiversity Science*, 18, 150–155. (in Chinese with English abstract) [曲方圆, 于子山 (2010) 分类多样性在大型底栖动物生态学方面的应用: 以黄海底栖动物为例. *生物多样性*, 18, 150–155.]
- Quan JX, Dai JX, Shang X (1999) Studies on the genetic diversity of marine organisms: A review. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 29, 283–288. (in Chinese with English abstract) [权洁霞, 戴继勋, 尚迅 (1999) 海洋生物遗传多样性研究现状. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 29, 283–288.]
- Shan BB, Liu Y, Yang CP, Zhao Y, Zhang GJ, Wu Q, Sun DR (2021) DNA barcoding of fish in Mischief Reef—Fish diversity of a reef-fish community from Nansha Islands. *Frontiers in Marine Science*, 7, 618954.
- Shao KT (2011) Ten years accomplishment of Census of Marine Life. *Biodiversity Science*, 19, 627–634. (in Chinese) [邵广昭 (2011) 十年有成的“海洋生物普查计划”. *生物多样性*, 19, 627–634.]
- Sikder MNA, Abdullah AI M, Xu GJ, Hu GB, Xu HL (2019) Spatial variations in trophic-functional patterns of periphytic ciliates and indications to water quality in coastal waters of the Yellow Sea. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 2592–2602.
- Song L, Wang NB, Yang GJ, Song YG (2013) The stress response of biological communities in China's Yalu River Estuary and neighboring waters. *Acta Ecologica Sinica*, 33, 2790–2802. (in Chinese with English abstract) [宋伦, 王年斌, 杨国军, 宋永刚 (2013) 鸭绿江口及邻近海域生物群落的胁迫响应. *生态学报*, 33, 2790–2802.]
- Sun J (2011) Marine biodiversity: Why so high? *Biodiversity Science*, 19, 611–613. (in Chinese) [孙军 (2011) 海洋生物多样性: 为什么存在高的多样性? *生物多样性*, 19, 611–613.]
- Sun J (2018) Protection of marine species diversity in China. *Acta Oceanologica Sinica*, 37, 1–3.
- Sun J, Cai LZ, Chen JF, Shan XJ, Ding LP, Huang LF, Jin XS, Lin M, Liu Y, Shao ZZ, Xu KD, Wang Y, Zhang XH (2019) Progress on marine biological studies in China over the past 70 years. *Haiyang Xuebao*, 41, 81–98. (in Chinese with English abstract) [孙军, 蔡立哲, 陈建芳, 单秀娟, 丁兰平, 黄凌风, 金显仕, 林茂, 刘洋, 邵宗泽, 徐奎栋, 王雨, 张晓华 (2019) 中国海洋生物研究70年. *海洋学报*, 41, 81–98.]
- Sun J, Guo Y, Park GS, Hudson A (2022) Dynamics of ecosystems and anthropogenic drivers in the Yellow Sea large marine ecosystem. *Acta Oceanologica Sinica*, 41, 1–3.
- Sun J, Lin M, Chen MX, Xu KD (2016) Marine biodiversity under global climate change. *Biodiversity Science*, 24, 737–738. (in Chinese) [孙军, 林茂, 陈孟仙, 徐奎栋 (2016) 全球气候变化下的海洋生物多样性. *生物多样性*, 24, 737–738.]
- Sun J, Liu DY (2004) The application of diversity indices in marine phytoplankton studies. *Acta Oceanologica Sinica*, 26(1), 62–75. (in Chinese with English abstract) [孙军, 刘东艳 (2004) 多样性指数在海洋浮游植物研究中的应用. *海洋学报*, 26(1), 62–75.]
- Sun XW, Sun MC, Zhang S, Zhang H, Liu J, Lu L (2011) Preliminary study on macrobenthos in the second phase artificial reef construction area of Haizhou Gulf. *Journal of Biology*, 28, 57–61. (in Chinese with English abstract) [孙习武, 孙满昌, 张硕, 张虎, 刘健, 卢璐 (2011) 海州湾人工鱼礁二期工程海域大型底栖生物初步研究. *生物学杂志*, 28, 57–61.]
- Sun YX, Li XX, Tan Y, Wang J, Dong YW (2022) Microhabitat thermal environment controls community structure of macrobenthos on coastal infrastructures. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 277, 108060.
- Tan HJ, Cai RS, Du JG, Hu WJ (2022) Climate change and marine ecosystems: Impacts, adaptation, and vulnerability. *Transactions of Atmospheric Sciences*, 45, 489–501. (in Chinese with English abstract) [谭红建, 蔡榕硕, 杜建国, 胡文佳 (2022) 气候变化与海洋生态系统及服务: 影响、适应和脆弱性——IPCC AR6 WGII报告之解读性. *大气科学学报*, 45, 489–501.]
- Tang YJ, Fang ZQ, Zhong YT, Zhang ZW, Chen K, An D, Yang XB, Liao BW (2012) Succession of macrofauna communities in wetlands of *Sonneratia apetala* artificial mangroves during different ecological restoration stages. *Acta Ecologica Sinica*, 32, 3160–3169. (in Chinese with English abstract) [唐以杰, 方展强, 钟燕婷, 张再旺, 陈康, 安东, 杨雄邦, 廖宝文 (2012) 不同生态恢复阶段无瓣海桑人工林湿地中大型底栖动物群落的演替. *生态学报*, 32, 3160–3169.]
- Wang AL, Wang WN, Hu JR, Liu BB, Sun RY (2000) Study on marine organism diversity in China. *Journal of Hebei University (Natural Science Edition)*, 20, 204–208. (in Chinese with English abstract) [王安利, 王维娜, 胡俊荣,

- 刘彬彬, 孙儒泳 (2000) 中国海洋生物多样性的研究. 河北大学学报: 自然科学版, 20, 204–208.]
- Wang HJ, Sun Y, Wang WQ, Fan QJ, Wang SM, Xie SH (2018) Methodological options for molecular marker technology in marine biology research. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 46(21), 1–6. (in Chinese) [王惠君, 孙妍, 王文泉, 范庆君, 王仕明, 谢诗宏 (2018) 分子标记技术在海洋生物研究中的方法选择. *江苏农业科学*, 46(21), 1–6.]
- Wang HS, Jiang H, Chen Z, Yang CJ, Ye L (2022) Evolution analysis of members in family Carassiidae based on mitochondrial genome. *Chinese Journal of Fisheries*, 35(2), 14–20. (in Chinese with English abstract) [王海山, 蒋欢, 陈治, 杨超杰, 叶乐 (2022) 基于线粒体基因组的鲢科鱼类进化分析. *水产学杂志*, 35(2), 14–20.]
- Wang JJ, He XB, Lin HS, Lin JH, Huang YQ, Zheng CX, Zheng FW, Li RG, Jiang JX (2014) Community structure and spatial distribution of macrobenthos in the shelf area of the Bering Sea. *Acta Oceanologica Sinica*, 33, 74–81.
- Wang LR, Yu HB, Li CT, Sun N (2018) Progress in marine ecosystem restoration. *Journal of Applied Oceanography*, 37, 435–446. (in Chinese with English abstract) [王丽荣, 于红兵, 李翠田, 孙妮 (2018) 海洋生态系统修复研究进展. *应用海洋学学报*, 37, 435–446.]
- Wang XZ, Wang F, Sun J (2022) Distribution and environmental impact factors of picophytoplankton in the Eastern Indian Ocean. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10, 628.
- Wang Y, Lin M, Chen XQ, Lin GM (2011) Spatial and temporal variation of phytoplankton and impacting factors in Jiulongjiang Estuary of Xiamen, China. *Acta Ecologica Sinica*, 31, 3399–3414. (in Chinese with English abstract) [王雨, 林茂, 陈兴群, 林更铭 (2011) 九龙江河口浮游植物的时空变动及主要影响因素. *生态学报*, 31, 3399–3414.]
- Wang Y, Lu CY, Tan FY, Tang SM (2010) Phytoplankton diversity and assessment of trophic state in Futian mangroves in Shenzhen. *Marine Environmental Science*, 29, 17–21. (in Chinese with English abstract) [王雨, 卢昌义, 谭凤仪, 唐森铭 (2010) 深圳红树林水体浮游植物多样性与营养状态评价. *海洋环境科学*, 29, 17–21.]
- Wang YS (2011) Research on the diversity of marine ecosystems. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 26, 184–189. (in Chinese with English abstract) [王友绍 (2011) 海洋生态系统多样性研究. *中国科学院院刊*, 26, 184–189.]
- Wu Q, Li ZY, Wang J, Shan XJ, Jin XS (2018) Inter-annual variation in the community structure of crustaceans in the Bohai Sea during summer. *Progress in Fishery Sciences*, 39(2), 16–23. (in Chinese with English abstract) [吴强, 李忠义, 王俊, 单秀娟, 金显仕 (2018) 渤海夏季甲壳类群落结构的年际变化. *渔业科学进展*, 39(2), 16–23.]
- Wu ZL, Zhang SY (2019) Effect of typhoon on the distribution of macroalgae in the seaweed beds of Gouqi Island, Zhejiang Province. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 21, 159–168. (in Chinese with English abstract) [吴祖立, 章守宇 (2019) 台风对浙江枸杞岛大型底栖海藻分布的影响分析. *中国农业科技导报*, 21, 159–168.]
- Xia M (1999) Research progress of genetic diversity. *Chinese Journal of Ecology*, 18, 59–65. (in Chinese with English abstract) [夏铭 (1999) 遗传多样性研究进展. *生态学杂志*, 18, 59–65.]
- Xie W, Yin KD (2019) Development trend of deep-sea ecosystem and marine protected areas. *Strategic Study of Chinese Academy of Engineering*, 21(6), 1–8. (in Chinese with English abstract) [谢伟, 殷克东 (2019) 深海海洋生态系统与海洋生态保护区发展趋势. *中国工程科学*, 21, 1–8.]
- Xu KD (2011) Biodiversity and biogeography of marine microbenthos: Progress and prospect. *Biodiversity Science*, 19, 661–675. (in Chinese with English abstract) [徐奎栋 (2011) 海洋微型底栖生物的多样性与地理分布. *生物多样性*, 19, 661–675.]
- Xu KD (2020) Preface. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 51, 433. (in Chinese) [徐奎栋 (2020) 前言. *海洋与湖沼*, 51, 433.]
- Xu KD, Lin M, Wang SQ, Li Y, Wu XW, Wang CG (2020) Marine taxonomy in the China Seas and Western Pacific Ocean: Progress and prospects. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 51, 728–739. (in Chinese with English abstract) [徐奎栋, 林茂, 王少青, 李阳, 吴旭文, 王春光 (2020) 中国海及西太平洋生物分类研究进展及展望. *海洋与湖沼*, 51, 728–739.]
- Xu WZ, Cheung S, Shin PKS (2014) Structure and taxonomic composition of free-living nematode and macrofaunal assemblages in a eutrophic subtropical harbour, Hong Kong. *Marine Pollution Bulletin*, 85, 764–773.
- Xu ZL (2011) The past and the future of zooplankton diversity studies in China seas. *Biodiversity Science*, 19, 635–645. (in Chinese with English abstract) [徐兆礼 (2011) 中国近海浮游动物多样性研究的过去和未来. *生物多样性*, 19, 635–645.]
- Yang M, Kou Q, Li XZ (2018) Advances in DNA barcoding of macrozoobenthos in coastal waters of China. *Marine Sciences*, 42, 163–173. (in Chinese with English abstract) [杨梅, 寇琦, 李新正 (2018) 中国近海大型底栖动物DNA条形码的研究进展. *海洋科学*, 42, 163–173.]
- Yang W, Sun T, Yang ZF (2016) Effect of activities associated with coastal reclamation on the macrobenthos community in coastal wetlands of the Yellow River Delta, China: A literature review and systematic assessment. *Ocean & Coastal Management*, 129, 1–9.
- Yang XL, Lü HB, Hu CY, Zhang XM (2018) Spatial-temporal variations of benthic macroalgae and their responses to variations in the environment in the artificial reef zones of Laoshan Bay. *Journal of Fishery Sciences of China*, 25, 642–653. (in Chinese with English abstract) [杨晓龙, 吕洪斌, 胡成业, 张秀梅 (2018) 崂山湾人工礁区大型底栖海藻时空格局及对环境变化的响应. *中国水产科学*, 25, 642–653.]
- Yao GY, Zhang H, Xiong PP, Jia HX, Shi Y, He MX (2022) Community characteristics and genetic diversity of

- macrobenthos in Haima cold seep. *Frontiers in Marine Science*, 9, 920327.
- Yao QX, Song WH, Cai HC, Wang F (2016) Study on the macroalgae based on the ArcGIS in Nanji Islands Marine Nature. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 44(18), 11–15, 61. (in Chinese with English abstract) [姚启学, 宋伟华, 蔡厚才, 王飞 (2016) 基于ArcGIS的南麂列岛潮间带大型底栖藻类研究. *安徽农业科学*, 44(18), 11–15, 61.]
- Yao X, Yu D, Wang XM, Liu T (2011) Development and application of DNA barcoding technology for macroalgae. *Modern Science*, (2), 161–162. (in Chinese with English abstract) [姚雪, 于丹, 王绪敏, 刘涛 (2011) 大型海洋藻类DNA条形码技术的开发与应用. *今日科苑*, (2), 161–162.]
- Yu DD, Song JJ, Liu KK, Chi WD, Gai SS, Tang JW, Yuan TZ, Wu HY (2021) An ecosystem perspective on fisheries conservation based on the importance of the big old fish. *Acta Ecologica Sinica*, 41, 7432–7439. (in Chinese with English abstract) [于道德, 宋静静, 刘凯凯, 迟雯丹, 盖珊珊, 唐君玮, 袁廷柱, 吴海一 (2021) 大型年长鱼类对海洋生态系统生物资源养护的作用. *生态学报*, 41, 7432–7439.]
- Zhang CX, Zhou WN, Sun XL, Song ZG (2020) Seasonal succession of macroalgae community in Naozhou Island. *Journal of Tropical Oceanography*, 39, 74–84. (in Chinese with English abstract) [张才学, 周伟男, 孙省利, 宋之光 (2020) 硃洲岛大型海藻群落季节演替. *热带海洋学报*, 39, 74–84.]
- Zhang GQ, Yang JL, Li PY, Liang XY, Liang RS, Lin L, Li QQ (2022) The morphological and molecular phylogenetic studies of a new record *Gymnothorax* species in the coastal waters of China: *Gymnothorax mucifer*. *Haiyang Xuebao*, 44(7), 112–121. (in Chinese with English abstract) [张国庆, 杨杰奎, 李培源, 梁馨艺, 梁日深, 林鑫, 李清清 (2022) 我国近海裸胸鲳属鱼类新记录种——黏裸胸鲳 (*Gymnothorax mucifer*) 形态与分子系统学研究. *海洋学报*, 44(7), 112–121.]
- Zhang J, Wang XL, Jiang YE, Chen ZZ, Zhao XY, Gong YY, Ying YP, Li ZY, Kong XL, Chen GB, Zhou M (2019) Species composition and biomass density of mesopelagic nekton of the South China Sea continental slope. *Deep-sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 167, 105–120.
- Zhang JH (2014) The variation of biodiversity of macrobenthic fauna with salinity and water depth near the Pearl Estuary of the northern South China Sea. *Biodiversity Science*, 22, 302–310. (in Chinese with English abstract) [张敬怀 (2014) 珠江口及邻近海域大型底栖动物多样性随盐度、水深的变化趋势. *生物多样性*, 22, 302–310.]
- Zhang JL, Shi BZ, Zhao F, Xu KD (2016) Progress and prospect in marine benthology in China. *Studia Marina Sinica*, (1), 194–204. (in Chinese with English abstract) [张均龙, 史本泽, 赵峰, 徐奎栋 (2016) 中国海洋底栖生物学发展回顾与展望. *海洋科学集刊*, (1), 194–204.]
- Zhang QJ, Zhao LB (2018) Overview of China's ocean satellite development. *Satellite Application*, (5), 28–31. (in Chinese) [张庆君, 赵良波 (2018) 我国海洋卫星发展综述. *卫星应用*, (5), 28–31.]
- Zhang WC, Li HB, Feng MP, Yu Y, Zhao Y, Zhao L, Xiao T, Sun J (2014) Phytoplankton in the deep sea, a review. *Acta Ecologica Sinica*, 34, 3820–3826. (in Chinese with English abstract) [张武昌, 李海波, 丰美萍, 于莹, 赵苑, 赵丽, 肖天, 孙军 (2014) 深层海洋浮游植物研究综述. *生态学报*, 34, 3820–3826.]
- Zhang WC, Zhao Y, Dong Y, Li HB, Zhao L, Xiao T (2021) Biogeography of epipelagic marine plankton. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 52, 332–345. (in Chinese with English abstract) [张武昌, 赵苑, 董逸, 李海波, 赵丽, 肖天 (2021) 上层海洋浮游生物地理分布. *海洋与湖沼*, 52, 332–345.]
- Zhang Y, Lü ZB, Xu ZF, Liu YH, Jin Y (2011) Ecological characteristics of macrobenthic communities and their relation to water environmental factors in four bays of southern Shandong Peninsula. *Acta Ecologica Sinica*, 31, 4455–4467. (in Chinese with English abstract) [张莹, 吕振波, 徐宗法, 刘义豪, 靳洋 (2011) 山东半岛南部海湾底栖动物群落生态特征及其与水环境的关系. *生态学报*, 31, 4455–4467.]
- Zhang ZW, Chen AH, Yao GX, Wu JP, Wu YP, Xu GP, Cheng HL (2010) SRAP analysis on germplasm of wild *Meretrix meretrix* off Chinese coasts. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 41, 429–434. (in Chinese with English abstract) [张志伟, 陈爱华, 姚国兴, 吴建平, 吴杨平, 许广平, 程汉良 (2010) 我国沿海不同地理原种文蛤 (*Meretrix meretrix*) 的SRAP分析. *海洋与湖沼*, 41, 429–434.]
- Zhao S, Liu XD, Zhang AJ, Liu YT, Leng Y (2013) Effects of thermal water discharged from Huangdao power plant on structure of macrozoobenthos. *The Administration and Technique of Environmental Monitoring*, 25, 18–23. (in Chinese with English abstract) [赵升, 刘旭东, 张爱君, 刘一霆, 冷宇 (2013) 黄岛电厂温排水对大型底栖生物群落的影响. *环境监测管理与技术*, 25, 18–23.]
- Zheng TL, Zhang HQ, Zhang XH (2013) Genetic diversity status and conservation strategies of *Miichthys miiuy*. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 54, 1183–1186. (in Chinese) [郑天伦, 张海琪, 张晓辉 (2013) 鳊鱼的遗传多样性现状及保护策略. *浙江农业科学*, 54, 1183–1186.]
- Zhu J, Zhang YR, Yan ZY, Jin YJ, Li ZM (2016) Status of fishery resources near Daishan Island in Zhejiang Province, China. *Modern Agricultural Science and Technology*, (14), 252–254. (in Chinese with English abstract) [朱剑, 张玉荣, 严忠雍, 金衍健, 李子孟 (2016) 浙江岱山岛附近海域春秋季节渔业资源调查研究. *现代农业科技*, (14), 252–254.]

(责任编辑: 李新正 责任编辑: 黄祥忠)