

南海深海生物多样性国际研究态势与热点分析

张灿影¹, 徐奎栋^{1,2,3}, 焦英毅^{1,3}, 张均龙¹, 冯志纲¹, 陈春⁴

(1. 中国科学院海洋研究所, 山东 青岛 266071; 2. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室海洋生物学和生物技术功能实验室, 山东 青岛 266237; 3. 中国科学院大学, 北京 100049; 4. 中国科学院西北生态环境资源研究院, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 南海是西太平洋边缘海, 有陆架、陆坡、岛礁、深海平原、海山、冷泉等多种生境, 近 10 年来南海逐渐成为世界深海研究的热点。南海是中国海洋生物多样性最高的区域, 与作为海洋生物多样性中心的印太珊瑚大三角区具有一定的环境与生物连通性, 对南海的深海生物探测研究可丰富对西太平洋及印太交汇区生物多样性及地理分布格局的认知。目前有关南海的生物多样性研究主要集中在北部陆架浅海及岛礁, 对于深海生物多样性认知明显不足。本研究梳理了全球深海生物多样性的主要国际战略布局, 并对南海深海生物多样性 SCIE 论文发表情况进行了综合分析, 探讨了南海深海生物多样性研究态势, 对未来南海深海生物多样性调查与研究提出了研究展望和建议。

关键词: 南海; 深海生物多样性; 战略布局; 研究进展; 研究热点

中图分类号: P67 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2023)3-0128-09

DOI: 10.11759/hyxx20220621001

南海海底地形复杂, 中央海盆有深海平原、海山、冷泉等多种生境, 近 10 年来成为世界深海研究的热点^[1]。与中国其他海域相比, 南海的生境最为多样化, 热带和亚热带海洋环境为各种生物类群提供了有利的栖息地和繁殖条件, 是中国海洋生物多样性热点地区^[2-3], 也是世界海洋动物区系最具多样性的海区之一^[4]。然而, 有关南海生物多样性的研究大多集中在北部陆架浅海以及为数不多的南海岛礁, 对于南海深海的生物多样性调查主要聚焦于北部陆坡和冷泉区, 有关南海深海的生物区系特点和多样性分布格局依然不明^[5-9]。作为印太交汇区的一个边缘海, 南海与作为世界海洋生物多样性中心的珊瑚大三角具有一定的环境与生物连通性, 对南海的深海生物探测研究可丰富对西太平洋及印太交汇区生物多样性及地理分布格局的认知、促进南海及西太平洋的深海生物多样性保护与管理。

南海蕴藏着丰富的矿产资源, 随着载人深潜器和遥控水下机器人的深入调查与应用, 会有更多的结核结壳、深海稀土、海底砂矿等海底矿物资源被发现^[10]。随着对某些资源(钴)需求加大及陆地资源的日益枯竭, 各国对深海采矿的兴趣日增, 一些区域开始了深海采矿, 而深海采矿必将改变或破坏深海生物的栖息地, 导致物种丰度和多样性的减少, 甚

至消亡。但目前对深海的物种生物多样性及其分布缺乏研究和了解, 甚至连最常见的深海物种对噪声的敏感性都没有进行过深入研究^[11], 将很难评估深海采矿的潜在影响。

近年来, 随着科技的发展以及人们探索深海大洋能力的增强, 深海生物多样性调查、研究与评价逐渐成为许多国家海洋规划中的重要组成部分, 对深海生物资源的发掘和利用成为各海洋强国的要务。对深海相关战略布局开展综合分析, 将对深入开展南海深海生物多样性探测研究具有重要指导作用。本研究梳理了深海生物多样性的国际大型研究计划和项目, 综合分析了南海深海生物多样性相关论文的发表情况, 探讨了南海深海生物多样性研究态势,

收稿日期: 2022-06-21; 修回日期: 2022-11-11

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(XDA19060401); 国家自然科学基金重点项目(41930533); 国家重点研发计划政府间国际科技创新合作专项(2021YFE0193700); “科学”号高端用户项目(KEXUE2020GZ02) [Foundation: Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences, No. XDA19060401; National Natural Science Foundation of China, No. 41930533; National Key R & D Plan-Intergovernmental Special Project for International Scientific and Technological Innovation Cooperation, No. 2021YFE0193700; The Senior User Project of RV KEXUE, No. KEXUE-2020GZ02]

作者简介: 张灿影(1988—), 女, 安徽阜阳人, 馆员, 硕士, 主要从事海洋战略情报研究, E-mail: zhangcanying@qdio.ac.cn; 徐奎栋(1969—), 通信作者, 研究员, E-mail: kxu@qdio.ac.cn

为南海深海矿产资源的开发利用和合理保护南海生物多样性提供参考和决策依据。

1 深海生物多样性研究战略布局

美国作为海洋强国,高度重视深海的勘探、深海科学研究和深海技术的开发,在众多国际研究计划和项目中处于领导地位,推动了一系列涉及深海生物多样性研究的国际合作,如全球性的国际海洋生物普查计划、深海海洋生物多样性普查、深海化能合成生态系统以及超深渊生态系统研究计划项目等。这些计划加强了对海山、热液、冷泉等特殊生境的调查及标本采集,发现了大量深海新物种,揭示了许多不为人知的深海生物多样性,确定了食物供给、水深和海底地形等对深海生物群落以及生命演化的影响。这些计划的实施,使得深海生物多样性研究与保护受到国际社会的空前重视和支持^[12-14]。

欧洲海洋局发布多个战略报告,评估了当前深海研究现状以及未来开发和管理深海资源的需求,提升用于深海研究和观测的技术与基础设施,并明确从基因层面到生态系统层面、从时间尺度到空间尺度进行全方位的研究,提高对欧洲海洋生物多样性的基础认知,提升海洋生物多样性影响因素研究^[15];同时强调发挥大数据的作用,提高生物数据源的准确性,包括图像、水声学数据和基因序列,以标准化方式存储和保存生物数据,利用大数据绘制局地尺度的海洋保护生境地图,并建立可持续、全球连接的长期生物观测网络^[16]。

英国自然环境研究理事会自2016年起扩大对大规模战略性研究的资助,新增深海生物多样性研究领域,重点研究主题包括:深海环境中动物种群的多样性、不同栖息条件对深海物种多样性的控制作用;深海物种种群规模及其分布、具有不同生命历史特征和处于不同深海环境中的不同物种之间的扩散和种群扩张;不同种群对于相应环境扰动的生理及行为响应。法国更加注重物种目录的编制,强调构建生物多样性动态化评价指标体系,以及构建基于合作伙伴关系的生物多样性监测网络^[17]。澳大利亚和新西兰发布的分类学与生物系统学十年规划也指出未来研究注重利用新兴技术,加速物种发现,扩大物种编目以及建立主要物种标本数据库^[18]。

日本强调海洋生物多样性保护要以海洋生物多样性保护战略和生物多样性国家战略为依据切实推进^[19]。在其颁布的《海洋科学技术研发计划》中,重

点强调构建包含生物化学数据的海洋综合观测系统,摸清海洋生物多样性及生物资源量,阐明海洋环境变化及对生态系统的影响,实现海洋资源管理、保护及可持续利用^[20]。日本海洋科学技术中心主导了日本的深海探测研究,尤其是海底资源的研究开发,并着力构建环境影响评价方法,完善环境宏基因组,明确提出通过环境DNA分析和现场观测,掌握深海生物分布和多样性现状,以及环境变化对深海生物多样性的影响^[21]。

综上,深海生物多样性领域关注的主题及方向有:深海生物多样性的本底调查和基础认知、深海探测技术研发与观测、深海生物多样性的维持机制及控制因素、深海资源区的环境影响评价等。随着对国家管辖外海域(公海)生物多样性保护及可持续利用相关国际谈判的推进,这些主题将受到持续关注。

中国深海科技的发展起步较晚,但在国家高技术研究发展计划(863计划)、中国科学院战略性先导科技专项以及国家重点研发计划等重大项目的支持下,成功研制出“蛟龙”号、“深海勇士”号、“奋斗者”号载人潜水器、“海马号”深海遥控无人潜水器、“潜龙一号”无缆自治潜水器以及“海斗一号”全海深自主遥控潜水器等装备,使中国拥有了进入深海进行科学探测和研究的能力。随着深海探测装备与技术的进步,有关深海的研究项目也日益增多,如中国科学院战略性先导科技专项(A类)“热带西太平洋海洋系统物质能量交换及其影响”和“海斗深渊前沿科技问题研究与攻关”、中国科学院战略性先导科技专项(B类)“印太交汇区海洋物质能量中心形成演化过程与机制”、国家重点基础研究发展计划(973计划)“超深渊生物群落及其与关键环境要素的相互作用机制研究”项目,以及国家科技基础资源调查专项“西太平洋典型海山生态系统科学调查”等。具体到南海深海研究,国家自然科学基金重大研究计划“南海深海过程演变”的实施,实现了我国南海深海研究的里程碑式突破,在深海盆成因与演化、深海沉积学、深层环流与生物地球化学等方面取得突破性的研究进展,在南海陆坡及海山中发现大片的冷水珊瑚林。其他有关南海深海的大型项目主要涉及深部构造、深层西边界流、海洋动力过程、碳循环以及天然气水合物等内容,鲜少聚焦生物多样性。部分关于南海深海的项目,如南海北部大陆斜坡海域渔业资源综合考察(1979—1980年)、国家973项目“南海陆坡生态系

统动力学与生物资源的可持续利用”(2014—2018年)等,主要以渔业资源调查和生态系统研究为主。这些项目与计划的实施推动了对南海深海生物多样性的了解,但目前对水体环境中的生物多样性调查远多于底栖环境,对于承载南海深海生物多样性主体的底栖生物的认识还十分欠缺,亟待加强对南海深海底栖生物多样性的调查研究。

2 南海深海生物多样性研究计量分析

国际大型研究计划与项目的实施以及国家政策的引导,促进了深海生物多样性的研究成果的产出。选用美国科睿唯安公司 Web of Science 科学引文索引(Science Citation Index Expanded, SCIE)数据库作为基础数据来源,检索发现深海生物多样性论文 2 万余篇,从研究地域来看,深海生物多样性研究主要集中在地中海、大西洋和太平洋。为了解南海深海生物多样性研究进展和趋势,进一步将研究领域限定到南海,检索式为: TS=((“South China Sea”) and (deep-sea or “deep sea” or “continental slop” or “deep water” or seep or seeps or “cold vent” or seamount or seamounts) and (species or biodiversity or epifauna or fauna or infauna or benthos or *benthic)), 限定文章类型为 ARTICLE、PROCEEDINGS PAPER 和 REVIEW, 共计检索得到 339 篇发表于 1900—2022 年的文献(最后更新日期: 2022-3-13, 检索日期为:

2022-3-15)。人工筛除物理海洋学研究、组学研究、生物活性物质研究、生化过程研究、古生物或古环境反演等其他领域论文后,得到南海深海生物多样性为主题的相关研究 151 篇。以中国知网数据库为基础,以 SU=(生物多样性+物种+底栖生物+底栖动物+浮游植物+浮游动物+游泳动物+游泳生物)AND SU=(深海+冷泉+陆坡+海山)AND SU=南海进行检索,限定文章类型为期刊和学位论文,检索日期为 2022 年 3 月 15 日,仅检索到相关论文 13 篇,研究区域主要聚焦于南海北区陆坡区。因此,以检索到的 151 篇南海深海生物多样性 SCI 论文为基础数据,采用文献计量分析的方法对全球南海深海生物多样性研究文献的年代、机构以及研究热点分布等进行分析,以展现该研究领域的国际发展态势,把握相关研究的整体发展状况。

2.1 论文发文量年度变化情况

从发文时间来看(图 1), SCIE 数据库中最早有关南海深海生物多样性的论文发表于 1993 年,由南卡罗来纳大学的研究人员撰写,该论文调查了南海和苏禄海表层沉积物中底栖有孔虫群落随水深变化的变化趋势、不同水深范围底栖有孔虫群落的组成及其驱动因素^[22]。2010 年以前,中国共参与发表论文 11 篇。2010 年之后,中国大陆成为主要发文地区,共发文 96 篇。

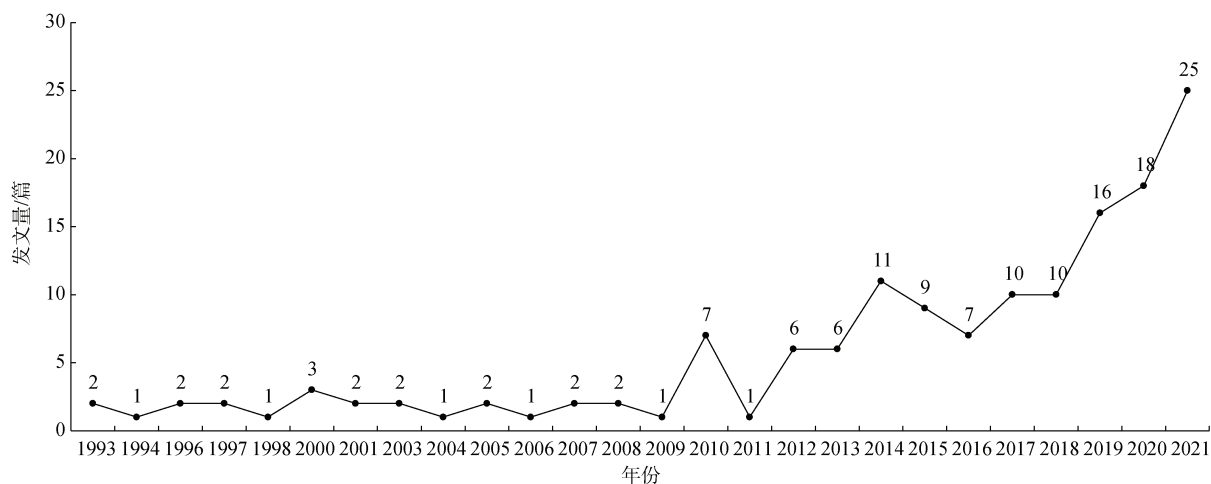


图 1 南海深海生物多样性 SCI 论文历年发文量

Fig. 1 Number of publications on deep-sea biodiversity in the South China Sea

2.2 研究机构与资助情况

在机构发文量方面,南海深海生物多样性发文量最多的前 3 个机构分别是中国科学院海洋研究所、中国科学院大学以及中国科学院南海海洋研究所,

发文前 10 机构中中国的研究机构占据 9 席(图 2)。

151 篇论文中有 118 篇论文受到资助,资助率为 78.15%, 论文均资助机构 3.31 个, 资助 6 篇及以上的资助机构见表 1。

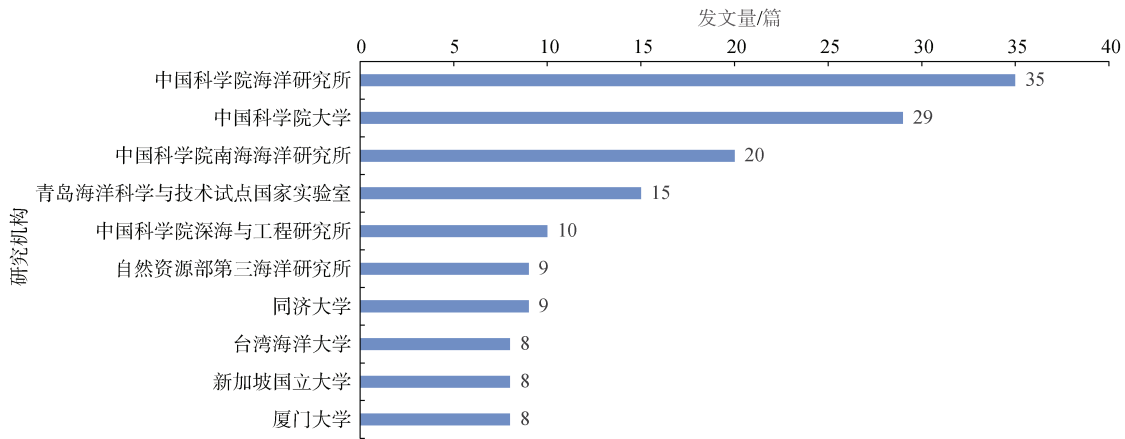


图 2 南海深海生物多样性 TOP10 发文机构及发文量

Fig. 2 Top 10 productive institutions in deep-sea biodiversity in the South China Sea

表 1 南海深海生物多样性主要资助机构(资助论文数量 ≥ 6 篇)

Tab. 1 Main funding agencies in deep-sea biodiversity in the South China Sea (number of supported papers ≥ 6)

| 序号 | 资助机构/项目 | 资助论文数量/篇 | 序号 | 资助机构/项目 | 资助论文数量/篇 |
|----|----------------------|----------|----|---------------------|----------|
| 1 | 国家自然科学基金 | 59 | 5 | 科学号高端用户项目 | 9 |
| 2 | 国家重点研发计划 | 33 | 6 | 中央高校基本科研业务费专项 | 8 |
| 3 | 中国科学院 | 27 | 7 | 中国台湾“科技部” | 6 |
| 4 | 国家重点基础研究发展计划(973 计划) | 12 | 8 | 国家高技术研究发展计划(863 计划) | 6 |

2.3 学科领域及期刊分布

按 Web of Science (WOS) 学科分类看, 南海深海生物多样性研究所涉及的相关研究学科有: 动物学、微生物学、海洋与淡水生物学、海洋学以及环

境科学与生态学等(表 2)。151 篇论文共发表在 60 种期刊上, 其中 Q1 区期刊发文 28 篇, Q2 区期刊发文 31 篇, Q3 区期刊发文 66 篇, Q4 区期刊发文 26 篇, 影响因子 ≥ 5 的期刊发文 7 篇, 发文 ≥ 3 篇的期刊见表 3。

表 2 南海深海生物多样性主要发文 WOS 学科类别(发文量 ≥ 5 篇)

Tab. 2 WOS subject categories related to deep-sea biodiversity in the South China Sea (article volume ≥ 5)

| 序号 | 研究方向 | 发文数量/篇 | 序号 | 研究方向 | 发文数量/篇 |
|----|-----------------------------|--------|----|--------------------------------------|--------|
| 1 | Zoology | 48 | 5 | Environmental Sciences & Ecology | 13 |
| 2 | Microbiology | 39 | 6 | Geology | 12 |
| 3 | Marine & Freshwater Biology | 29 | 7 | Paleontology | 9 |
| 4 | Oceanography | 18 | 8 | Biotechnology & Applied Microbiology | 5 |

表 3 南海深海生物多样性主要发文期刊(发文量 ≥ 3 篇)

Tab. 3 Main journals on deep-sea biodiversity in the South China Sea (number of papers ≥ 3)

| 排名 | 期刊 | 发文量/篇 | 排名 | 期刊 | 发文量/篇 |
|----|---|-------|----|---|-------|
| 1 | International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology | 21 | 7 | Antonie van Leeuwenhoek International Journal of General and Molecular Microbiology | 4 |
| 2 | Zootaxa | 21 | 8 | Raffles Bulletin of Zoology | 4 |
| 3 | Deep-Sea Research Part I-Oceanographic Research Papers | 9 | 9 | Frontiers in Marine Science | 3 |
| 4 | Crustaceana | 6 | 10 | Ichthyological Research | 3 |
| 5 | Marine Micropaleontology | 6 | 11 | Journal of Crustacean Biology | 3 |
| 6 | ZooKeys | 5 | 12 | Nautilus | 3 |

2.4 研究热点

文章关键词可以提供有关文章主题的重要信息,通过对作者关键词进行分析,可以获得主要研究方

向。南海深海生物多样性相关的文章共使用了约 410 个关键词,但其中 346 个关键词仅被使用了 1 次,占 84.39%。使用 2 次及以上的关键词见表 4。

表 4 南海深海生物多样性发文主要关键词(出现频次≥2 次)SCI 论文

Tab. 4 Main keywords related to deep-sea biodiversity in the South China Sea (occurrence frequency ≥ 2)

| 排名 | 关键词 | 出现频次/次 | 排名 | 关键词 | 出现频次/次 | 排名 | 关键词 | 出现频次/次 |
|----|--------------------------|--------|----|----------------------------------|--------|----|--------------------|--------|
| 1 | South China Sea | 54 | 23 | nov. | 3 | 45 | metagenome | 2 |
| 2 | deep sea | 23 | 24 | Sulu Sea | 3 | 46 | new genus | 2 |
| 3 | new species | 21 | 25 | Thoracica | 3 | 47 | Pacific Ocean | 2 |
| 4 | taxonomy | 17 | 26 | West Pacific | 3 | 48 | Patellogastropoda | 2 |
| 5 | cold seep | 16 | 27 | Alvinocarididae | 2 | 49 | phylogeny | 2 |
| 6 | distribution | 5 | 28 | Archaea | 2 | 50 | Radiolaria | 2 |
| 7 | diversity | 5 | 29 | benthic Foraminifera | 2 | 51 | radula | 2 |
| 8 | new record | 5 | 30 | biodiversity | 2 | 52 | rare | 2 |
| 9 | deep waters | 4 | 31 | biomass | 2 | 53 | recovery | 2 |
| 10 | methane seeps | 4 | 32 | Celebes Sea | 2 | 54 | seamount | 2 |
| 11 | 16S rRNA | 3 | 33 | chemosynthesis | 2 | 55 | sediment | 2 |
| 12 | Cirripedia | 3 | 34 | Clarion-Clipperton Fracture zone | 2 | 56 | Siphonostomatoidea | 2 |
| 13 | COI | 3 | 35 | coral reef | 2 | 57 | squat lobster | 2 |
| 14 | community structure | 3 | 36 | CRISPR-Cas system | 2 | 58 | stable isotopes | 2 |
| 15 | Crustacea | 3 | 37 | Decapoda | 2 | 59 | Stenopodidea | 2 |
| 16 | deep-sea sediment | 3 | 38 | distribution patterns | 2 | 60 | Sunda Shelf | 2 |
| 17 | foraminifera | 3 | 39 | environmental factors | 2 | 61 | surface sediments | 2 |
| 18 | gas hydrate | 3 | 40 | Epialtidae | 2 | 62 | synonym | 2 |
| 19 | marine sediment | 3 | 41 | fish fauna | 2 | 63 | Thaumarchaeota | 2 |
| 20 | microbial community | 3 | 42 | free-living nematode | 2 | 64 | zooplankton | 2 |
| 21 | morphology | 3 | 43 | Globospongicola | 2 | | | |
| 22 | Northern South China Sea | 3 | 44 | hydrothermal vent | 2 | | | |

梳理全部论文后发现,南海深海生物多样性热点研究生境是冷泉,主要研究对象是甲壳动物和微生物,其次是鱼类、有孔虫和冷水珊瑚。研究热点主要涉及如下 5 个方面:

2.4.1 深海新物种发现与分类

有 40 篇相关文献利用形态分类学与分子系统学等方法,对采集到的深海物种进行了研究,发现并描述了多个新物种,主要新物种为甲壳动物(虾、蟹等)、软体动物腹足纲以及鱼类等;主要关键词包括 new species、taxonomy、new record、new genus、Patellogastropoda、Cirripedia。

2.4.2 深海沉积物中细菌的分离与鉴定研究

有 29 篇相关文献从深海沉积物中获得大量分离株,并对所有分离菌株进行系统发育、生理学、生物

化学和形态学等方面分析,主要基于 16S rRNA 基因序列鉴定新物种。主要关键词包括 16S rRNA、sediment、deep-sea sediment、marine sediment、phylogenetic analysis、sp. nov.。

2.4.3 深海特定物种分布模式及群落结构研究

有 25 篇相关文献针对南海深海某些物种形态学以及群落结构进行了研究,尤其是底栖生物、原生生物和深海鱼类,主要关键词包括 distribution、morphology、fish fauna、COI、community structure、larval fish、distribution patterns、taxonomy、faunal composition、methane seeps、chemosynthetic community。

2.4.4 深海微生物群落多样性和群落结构研究

有 22 篇相关文献涉及深海微生物群落,主要是古细菌和细菌的多样性、分布与组成、群落结构及影

响因素等,主要关键词包括 Archaea、bacteria、diversity、microbial community、16S rRNA、gas hydrate、microbial diversity、cold seep、SSU rDNA、Haima cold seep、16S rRNA。

2.4.5 底栖有孔虫分布与丰度及其影响因素

有 10 篇相关文献研究了南海深海底栖有孔虫的物种组成、空间分布、丰度及影响因素等,主要关键词包括 benthic foraminifera、diversity、biogeography、distribution、stable isotopes、environmental factors。

还有少数文章涉及深海物种遗传特性、遗传差异性与深海适应机制以及深海塑料堆上的生物多样性研究。研究人员在南海西沙海槽多个海沟的大型塑料堆上发现附生于塑料表面的生物群落,鉴定出 49 种底栖生物,包括珊瑚、甲壳动物、寄生扁形动物和贝类卵囊,这意味着深海大型塑料堆正成为深海生物多样性新热点^[23]。

3 建议及展望

相对于陆架浅海区域,因采样和调查不足、样品获取有限、数据欠缺等原因,中国目前对深海海洋生物多样性研究不多,处于系统调查研究的初级阶段,相对比地中海、大西洋等海域,南海深海生物多样性的研究占整体深海生物多样性比例不高,研究投入明显不足。为进一步了解南海深海生物的物种组成、分布及其多样性特点,加深对南海深海生物多样性的认知,提高中国南海深海生物多样性调查研究和保护工作水平,结合国际深海海洋生物多样性重大计划与项目部署方向和趋势以及我国现阶段的调查情况,现提出如下建议。

3.1 结合新技术开展南海深海多生境系统探查,制定中国主导的国际研究计划

目前南海生物多样性研究主要由中国主导,资助机构也集中在国内,针对南海生物多样性基础调查时间都是分散的,关于物种分布、群落结构特征及影响因素的研究都是针对某一年或某几个航次,研究较为零散,调查分析结果相对独立,缺乏长期动态调查和监测研究。而且调查位置多集中在陆坡和冷泉区域,对于海山、深海平原等典型生境调查研究有限。新技术如 eDNA 分析、代谢组学、元转录组学等生物分析技术的发展极大地提升了海洋评估与调查能力,将其应用于测量和监测生物群落,有望提升深海生物多样性保护、监测与研究。由于深

海环境特殊,利用传统方法进行生物样品采集和形态鉴定存在困难,相比之下,eDNA 技术更灵敏、高效、便捷,能更全面评估深海生物多样性^[24]。目前利用新技术开展南海深海生物多样性的研究不多。未来的研究中应注重综合使用多种先进的研究调查手段,增强南海深海生物多样性观测,摸清不同生境海洋生物资源量及其分布与影响因素。同时应加大国际合作力度,利用中国在南海深海研究中已取得的成果优势,联合周边国家,实施由中国牵头发起的大型研究计划,扩大南海深海调查范围,提高调查频次的连贯性。

3.2 完善南海生物多样性编目,建立深海生物资源样品库和深海生物多样性信息系统

采样技术、水下机器人及水下影像系统等装备技术的发展与应用,使得深海生物学的调查研究也更为全面和深入。虽然每年都有大量物种被发现,仅 2021 年全球就发现了 2 241 个海洋新物种^[25],但海洋中 91% 的物种仍有待描述^[26]。由于调查难度大,南海大多数的物种还未被发现、命名或记录。在海洋生物面临环境污染、栖息地丧失和气候变化的多重压力之际,为保护南海生物多样性,为现有的生物多样性编制物种名录,加深对南海深海海域的物种认知非常重要。建立深海生物资源样品库,对生物标本进行标准化整理存放,并开展 DNA 条形码获取工作,构建信息完整、准确且可共享使用的现代化海洋生物多样性信息系统,服务深海科研活动。可基于申请的方式,允许研究人员访问获取样本资源,并对物种进行分类与编目工作。这些生物样本资源可提供关于深海环境的重要基线数据,对馆藏样品进行科学研究,可帮助科研人员探索 and 发现新的生物与环境、生物与生物之间的互作方式,对发现改善人类健康和环境的自然产品等有重要帮助。

3.3 创新发展大数据和人工智能驱动的深海生物多样性研究

近年来大数据、人工智能和分子生物学等新技术新方法给海洋科学研究带来了“革命性的变革”,主要海洋国家利用这些数字化手段在海洋生物多样性调查与研究方面取得重要进展。2021 年以来美国国家海洋和大气管理局 NOAA 宣布了多个科技战略规划,包括《人工智能战略规划 2021—2025》《组学

技术战略规划 2021—2025》《数据战略规划》和《云战略规划》，加强大数据在未来海洋研究领域中的应用^[27]。国内也注意到生物多样性大数据资源是国家重要战略资源^[28]，注重借助大数据和人工智能力量应对生物多样性问题。依托中国科学院战略性先导科技专项(A类)“地球大数据科学与工程”，中国正构建独具特色的中国生物多样性开放式大数据平台，如物种多样性数据平台和生物多样性与生态安全大数据平台等，为中国生物多样性监测与保护提供科技支撑。随着更多海洋观测站的建立和采集数据量的指数级增长，大数据已成为海洋保护和人类活动管理不可缺少的信息。IPBES 和 IPCC 指出，结构化数据的缺乏是获取生物多样性知识的主要障碍^[29]。未来应以标准化方式存储生物采集数据，包括图像、水声数据和基因序列等，并利用人工智能对大数据进行分析，推动分类学和生物系统学的发展，满足生物多样性研究和调查的需求。通过结构化大数据和人工智能的应用，促进全球深海生物多样性研究数据的共享，为世界深海多样性调查的发展注入强劲的力量。

参考文献:

- [1] 汪品先. 从南海 10 年展望深海科技前景[J]. 前瞻科技, 2022, 1(2): 9-19.
WANG Pinxian. Decadal survey in the South China Sea: Prospects of deep-sea technologies[J]. Science and Technology Foresight, 2022, 1(2): 9-19.
- [2] 乔春艳, 郝映东, 陆洋, 等. 南海北部潮间带自由生活线虫的生物量及生物多样性初步研究[J]. 聊城大学学报: 自然科学版, 2021, 34(2): 66-72.
QIAO Chunyan, HAO Yingdong, LU Yang, et al. Preliminary study on biomass and biodiversity of free-living nematodes in intertidal zone of Northern South China Sea[J]. Journal of Liaocheng University(Nat. Sci.), 2021, 34(2): 66-72.
- [3] NG P K L, TAN K S. The state of marine biodiversity in the South China Sea[J]. Raffles Bulletin of Zoology, 2000, 8: 3-7.
- [4] 江艳娥, 林昭进, 黄梓荣. 南海北部大陆架区渔业生物多样性研究[J]. 南方水产科学, 2009, 5(5): 32-37.
JIANG Yan'e, LIN Zhaojin, HUANG Zirong. Biodiversity of fishery resources in the continental shelf of Northern South China Sea[J]. South China Fisheries Science, 2009, 5(5): 32-37.
- [5] HUANG D, LICUANAN W Y, HOEKSEMA B W, et al. Extraordinary diversity of reef corals in the South China Sea[J]. Marine Biodiversity, 2015, 45(2): 157-168.
- [6] 徐奎栋. 印太交汇区海洋生物多样性中心形成演化机制研究进展与展望[J]. 海洋与湖沼, 2021, 52(2): 262-273.
XU Kuidong. Formation and evolution mechanisms of marine biodiversity center in the Indo-Pacific convergence region: progress and prospects[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2021, 52(2): 262-273.
- [7] XU L, WANG X H, DAMME K V, et al. Assessment of fish diversity in the South China Sea using DNA taxonomy[J]. Fisheries Research, 2021, 233: 105771.
- [8] HUANG D L, CHEN J, XU L, et al. Larval fish assemblages and distribution patterns in the Zhongsha Atoll (Macclesfield Bank, South China Sea)[J]. Frontiers in Marine Science, 2022, 8: 787765.
- [9] XU H C, DU M G, LI J T, et al. Spatial distribution of seepages and associated biological communities within Haima cold seep field, South China Sea[J]. Journal of Sea Research, 2020, 165(S1): 1-9.
- [10] 吴时国, 张汉羽, 矫东风, 等. 南海海底矿物资源开发前景[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(31): 12673-12682.
WU Shiguo, ZHANG Hanyu, JIAO Dongfeng, et al. Prospect analysis of submarine mineral resources exploitation in South China Sea[J]. Science Technology and Engineering, 2020, 20(31): 12673-12682.
- [11] WILLIAMS R, ERBE C, DUNCAN A, et al. Noise from deep-sea mining may span vast ocean areas[J]. Science, 2022, 377(6602): 157-158.
- [12] 刘瑞玉. 中国海物种多样性研究进展[J]. 生物多样性, 2011, 19(6): 614-626.
LIU Ruiyu. Progress of marine biodiversity studies in China seas[J]. Biodiversity Science, 2011, 19(6): 614-626.
- [13] 孙松, 孙晓霞. 国际海洋生物普查计划[J]. 地球科学进展, 2007, 22(10): 1081-1086.
SUN Song, SUN Xiaoxia. Census of marine life[J]. Advances in Earth Science, 2007, 22(10): 1081-1086.
- [14] 柳双权, 彭晓彤. 深渊科技进展与展望[J]. 前瞻科技, 2022, 1(2): 121-133.
LIU Shuangquan, PENG Xiaotong. Progress and prospect of the Hadal science and technology[J]. Science and Technology Foresight, 2022, 1(2): 121-133.
- [15] European Marine Board. Navigating the Future IV [EB/OL]. [2013-06]. <https://www.marineboard.eu/science-strategy-publications?page=1>.
- [16] GUIDI L, GUERRA F, CANCHAYA A C, et al. Big Data in Marine Science [EB/OL]. [2020-04-6]. https://www.marineboard.eu/sites/marineboard.eu/files/public/publication/EMB_FSB6_BigData_Web_v4.pdf.
- [17] Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer. Contribution to a National Marine Science Research Strategy for 2020 [EB/OL]. [2008-01]. http://www.ifremer.fr/content/download/13104/198137/file/brochure_

- strat_uk09.pdf.
- [18] Taxonomy Decadal Plan Working Group. Discovering biodiversity: a decadal plan for taxonomy and biosystematics in Australia and New Zealand 2018–2027[EB/OL]. [2018-04]. <http://www.rioe.or.jp/pdf/379.pdf>.
- [19] 日本内閣府. 《第3期海洋基本计划》. [EB/OL]. [2018-07-18]. <https://www8.cao.go.jp/ocean/policies/plan/plan03/plan03.html>.
- [20] 日本科学技术学术审议会海洋开发分科会. 《海洋科学技术に係る研究开发计划》[EB/OL]. [2017-01]. http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu5/reports/_icsFiles/afieldfile/2017/02/28/1382579_1.pdf.
- [21] Japan Agency for Marine-Earth Science & Technology. 国立研究开发法人海洋研究开发机构的中长期目标达成するための计划(中长期计划)[EB/OL]. [2017-03-29]. <https://www.jamstec.go.jp/j/about/project/pdf/keikaku2019.pdf>.
- [22] MIAO Q M, THUNELL R C. Recent deep-sea benthic foraminiferal distributions in the South China and Sulu Seas[J]. *Marine Micropaleontology*, 1993, 22(1/2): 1-32.
- [23] SONG X, LYU M, ZHANG X, et al. Large plastic debris dumps: new biodiversity hot spots emerging on the deep-sea floor[J]. *Environmental Science & Technology*, 2021, 8(2): 148-154.
- [24] 王学涛. 基于环境 DNA 宏条形码的热带西太平洋和南极半岛邻近海域底栖生物多样性研究[D]. 青岛: 自然资源部第一海洋研究所, 2021.
WANG Xuetao. Benthic biodiversity in the tropical Western Pacific and the ocean adjacent to Antarctic Peninsula revealed with environmental DNA metabarcoding[D]. Qingdao: First Institute of Oceanography, MNR, 2021.
- [25] World Register of Marine Species. WoRMS press release: ten remarkable new marine species from 2021. [EB/OL]. [2022-03-18]. <https://www.marinespecies.org/news.php?p=show&id=8993>.
- [26] MORA C, TITTENSOR D P, ADL S, et al. How many species are there on earth and in the ocean?[J]. *PLoS Biol*, 2011, 9(8): e1001127.
- [27] National Oceanic and Atmospheric Administration. NOAA's Cloud and Data strategies to unleash emerging science and technology[EB/OL]. [2020-07]. <https://www.noaa.gov/media-release/noaa-s-cloud-and-data-strategies-to-unleash-emerging-science-and-technology>.
- [28] 马克平, 朱敏, 纪力强, 等. 中国生物多样性大数据平台建设[J]. *中国科学院院刊*, 2018, 33(8): 838-845.
MA Keping, ZHU Min, JI Liqiang, et al. Establishing China Infrastructure for Big Biodiversity Data[J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2018, 33(8): 838-845.
- [29] Agence Française de Développement. Artificial intelligence in support of marine biodiversity: introducing an unprecedented international scientific challenge. [EB/OL]. [2022-02-23]. <https://www.afd.fr/en/presse-release/artificial-intelligence-in-support-of-marine-biodiversity?origin=en/actualites/communiqu-de-presse>.

Analysis of international trends and hotspots in research on deep-sea biodiversity in the South China Sea

ZHANG Can-ying¹, XU Kui-dong^{1, 2, 3}, JIAO Ying-yi^{1, 3}, ZHANG Jun-long¹,
FENG Zhi-gang¹, CHEN Chun⁴

(1. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Laboratory for Marine Biology and Biotechnology, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao 266237, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 4. Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Received: Jun. 21, 2022

Key words: South China Sea; deep-sea biodiversity; strategic layout; research progress; research hotspot

Abstract: The South China Sea is a marginal sea of the Western Pacific Ocean, with numerous habitats, such as continental shelves, continental slopes, reefs, abyssal plains, seamounts, and cold seeps. Over the past ten years, the South China Sea has gradually become a hotspot in deep-sea research. The sea has the highest marine biodiversity in China and has certain environmental and biological connectivity with the Coral Triangle, the world's center of marine biodiversity. The exploration and investigation of deep-sea organisms in the South China Sea will enrich the understanding of biodiversity and geographical distribution patterns in the Western Pacific and Indo-Pacific convergence region. Studies on the biodiversity in the South China Sea have mainly focused on the shallow waters and reefs on the northern continental shelf, and the knowledge of deep-sea biodiversity is insufficient. This study reviewed the major international strategic layouts and research programs in deep-sea biodiversity, analyzed SCIE papers on deep-sea biodiversity in the South China Sea, and summarized the research situation and trends. Future research prospects are proposed for the investigation of deep-sea biodiversity in the South China Sea.

(本文编辑: 谭雪静)