

海山生物多样性研究近 10 年国际发展态势与热点

王琳¹, 张均龙¹, 徐奎栋^{1, 2, 3, 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. 中国科学院海洋大科学研究中心, 山东 青岛 266071)

摘要: 海山是全球深海生物多样性的汇聚区, 且以其高富钴结壳资源和高渔业资源成为深海探测研究热点。海山生态系统易受到人为活动的影响, 海山及其冷水珊瑚被认为是脆弱海洋生态系统的重要组成部分。对海山生物多样性的破坏以及过度开发可能对海洋健康造成不可逆的严重影响, 法律和地缘政治等因素的影响也使得保护海山生物多样性面临很多挑战。本研究对海山生物多样性近 10 年(2001—2020 年)的国际研究计划以及论文发表情况进行了综合分析, 探讨了海山生物多样性研究的国际发展态势和研究热点, 为海山生物多样性研究、保护与管理及相关国际合作的开展提供参考。

关键词: 海山; 生物多样性; 文献计量; 研究热点

中图分类号: P745; G359 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3096(2022)05-0143-11

DOI: 10.11759/hyhx20211227001

海山是从深海底隆起的高达 1 000 m 的海底山脉, 通常具有复杂的地形特征, 包括阶地、山顶、山脊、裂缝和火山口。海山为各种生物提供了不同的生活条件和基质, 长久以来被视为海洋生物多样性的热点区域, 是许多特有物种的栖息地^[1]。许多深海动物, 如珊瑚和海绵, 需要永久性地附着在岩石上生存。周围的海流可冲走海山上的沉积物, 露出岩石, 这些岩石就成为需要硬底质才能生长和附着动物的理想栖息地。许多可移动的动物也需依赖洋流, 流经海山的强海流可为生活在海山两侧的动物提供源源不断的食物, 也为其生存和繁衍提供坚实的生境基础。流经海山的洋流还会在海山周围产生局部上升流, 将硝酸盐和磷酸盐等对浮游植物生长至关重要的营养物质从深海提升到海洋表层, 促进浮游植物以及浮游动物的生长, 支撑了不同层次的生态系统发展^[2]。

海山在地理上相对孤立, 地质和物理化学因素的共同作用使得海山成为多种深海生物的丰富栖息地, 这也导致了海山生态系统特别容易受到人为活动的影响, 因此海山生态系统被认为是脆弱的海洋生态系统(Vulnerable Marine Ecosystem, VME)^[3]。由于海山区域通常既具有独特的生物多样性又具有很高的商业资源, 当开采不受管制时, 可能会导致严重的负面生态影响和经济损失。近几十年来,

受人类活动和气候变化影响, 特别是深海底拖网捕捞, 海山区域的生物多样性和生态系统面临着严重威胁。对海山生境的破坏以及资源过度开发可能对海洋健康造成不可逆的影响, 损害海洋为人类提供的生态服务和资源。有效的管理需要以充足的科学数据为基础, 但是目前人们对海山的许多方面知之甚少, 迄今为止, 在现有的 20 万座海山及海丘中, 只有 300 多座得到了较细致研究。所以, 迫切需要加强对海山的探索, 加深认识, 从而对其进行有效保护^[4]。

通过综合分析海山生物多样性近 10 年(2001—2020 年)的国际研究计划以及论文发表情况, 阐明了海山生物多样性研究的国际发展态势和研究热点。

收稿日期: 2021-12-27; 修回日期: 2022-02-16

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(41930533); “科学”号高端用户项目(KEXUE2019GZ04, KEXUE2020GZ02); 国家重点研发计划政府间国际科技创新合作专项(2021YFE0193700); 中国科学院战略性先导科技专项(XDB42000000)

[Foundation: National Natural Science Foundation of China Key Program, No. 41930533; KEXUE Foundation, Nos. KEXUE2019GZ04, KEXUE2020GZ02; National Key R&D Plan-Intergovernmental Special Project for International Scientific and Technological Innovation Cooperation, No. 2021YFE0193700; Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences, No. XDB42000000]

作者简介: 王琳(1982—), 女, 山东青岛人, 副研究馆员, 博士, 主要从事战略情报研究, 电话: 0532-82898758, E-mail: wanglin@qdio.ac.cn; 徐奎栋(1969—), 通信作者, 男, 山东青岛人, 研究员, 主要从事海洋生物分类与多样性研究, E-mail: kxu@qdio.ac.cn

1 文献分析实验方法

本文使用的文献数据来自 Clarivate 的科学引文索引数据库(Science Citation Index-Expanded)即 Web of ScienceTM 核心合集(SCI-E)。检索式设定为 TS = (seamount* AND (biodiversity OR *fauna OR species OR community* OR *benthos OR *plankton OR diversity OR taxonomy OR biogeography OR distribution OR endemism* OR conservation OR dispersal OR phylogeny OR abundance OR biomass OR biota OR ecology OR ecosystem*))^[5]。文献类型包括 ARTICLE、PROCEEDINGS PAPER 和 REVIEW。检索日期设定为 2011 年至 2020 年, 共计检索得到 1 458 篇发表文献(最后更新日期 2021-04-19, 检索日期为 2021-04-19)。

为了进一步分析海山生物多样性研究中新属新种发表方面的趋势, 使用检索式 TS=(“Seamount*” and (“new specie*” or “*n. sp.” OR “sp. n.” OR “nov. spec.*” OR “*spec. nov.” OR “new genus” OR “*n. g.” OR “*nov. gen.” OR “*gen. nov.”))在 Web of Science 数据库中检索, 检索日期设定为 2011 年至 2020 年, 共计检索得到 227 篇论文(最后更新日期 2022-01-19, 检索日期为 2022-01-19)。

2 海山生物多样性研究的主要国际计划与项目

2.1 欧盟大西洋行动计划

欧盟委员会在 2011 年提出要构建其大西洋海洋战略, 并且在 2013 年通过了“大西洋行动计划”(Action Plan for a Maritime Strategy in the Atlantic Area), 对欧盟在大西洋的资源开发、科研、环保等活动进行规划。该计划 2013 年正式开始, 2020 年结束。计划中的第二个优先事项是保护、保障和开发大西洋海洋和海岸环境的潜力, 评估大西洋生态系统和生物多样性的社会和经济价值以支持决策。该事项中的一个重要方面就是海洋资源的可持续管理, 包括探索海底并评估海山生态系统的生物多样性, 并了解大西洋矿产开采的可行性和环境影响, 为可持续的、高附加值的欧洲海洋经济奠定基础。到 2017 年, 该计划已发起了 1 200 多个新项目并吸引了近 60 亿欧元的投资。2020 年, 欧盟委员会通过了更新的“大西洋行动计划”, 以继续支持大西洋地区建立可持续、有弹性和有竞争力的蓝色经济^[6]。

此外, 欧盟委员会于 2020 年 5 月 20 日通过了新

的欧盟 2030 年生物多样性战略, 以保护自然和扭转生态系统的退化, 海山生态系统的研究与保护也是其中的重要组成部分。

2.2 全球海山项目

全球海山项目(The Global Seamounts Project, GSP)由全球海洋(Global Oceans)主导, 并与纽约大学、杜克大学等美国的多所大学和新西兰、南非、英国、加拿大、德国等国家的研究机构合作。全球海洋(Global Oceans)是一家美国的非营利性机构, 旨在开发深海、北极和大气的国际合作研究项目, 通过其创新的基础设施解决方案支持海洋科学。

该项目始于 2018 年, 计划在 2019—2023 年间进行一系列重大的深海考察, 对大西洋、太平洋和印度洋盆地的 18 个代表性海山生态系统进行密集、标准化的调查。这个项目包含模拟海山生态系统、GSP 实地考察与生态系统建模、通过分类学理解海山生物多样性、海山时空测量、海山底栖生物多样性的地貌指标以及对资源节约和政策制定的影响等这几个研究方向。该项目计划生成标准化的调查范围内的多组相互校准的多学科实地数据, 并由生态系统建模团队主导, 通过新兴的建模框架和建立 GSP 现场活动数据集开发领先的海山生态系统模型。项目研究目标是加速海山科学的发展, 从一个历史上的描述性方法, 走向对复杂生态系统功能和对环境压力的行为反应的理解。从而可以从气候变化、资源开采、污染和其他驱动影响的多个因素中探索反馈、协同效应、恢复力和潜在临界点^[7]。

2.3 加拉帕戈斯群岛海洋保护区海山研究项目

加拉帕戈斯群岛海洋保护区海山研究项目(Seamounts of the Galapagos Marine Reserve)是由加拉巴哥群岛查尔斯·达尔文基金会(Charles Darwin Foundation, CDF)这一国际非营利组织发起。该基金会自 1959 年以来就与厄瓜多尔政府达成协议, 并通过提供科学知识和技术援助以促进并确保对加拉帕戈斯群岛的保护。

由于加拉帕戈斯群岛的火山历史, 已知有数百个海山分布在保护区的海底, 海山高度从高于 3 000 m 至 100 m。鉴于大多数海山的山顶都位于水肺式潜水的安全潜水边界(小于 40 m)之外, 并且探索深海生态系统在技术和资金上都具有挑战性, 因此目前对海山和其他深海生境的理

合这一严重的知识鸿沟, CDF 与加拉帕戈斯国家公园管理局(The Galapagos National Park Directorate, GNPd)合作, 发起了多机构合作的加拉帕戈斯群岛海洋保护区海山研究项目, 以研究这些神秘的深海生态系统的生物多样性、生态学和自然环境。

项目在 2015 年至 2016 年之间开展了 3 次国际性海洋科考, 通过无人遥控潜水器(Remotely Operated Vehicles, ROV)和载人潜水器在 100~3 200 m 的深度进行了海山和熔岩流的勘探。在海山栖息地记录了超过 40 h 的视频样带, 并收集了 300 多个深海生物样品。此外, 科考船在 7 065 km² 的面积上进行了多波束测深调查, 以支持群岛海底高分辨率地图的开发。自 2016 年以来, 该项目一直在分析这一独特且有价值的数据集, 并致力于首次大规模表征这些神秘深海底栖生境和生物多样性, 从而向加拉帕戈斯国家公园管理人员提供有关海山生态系统的基本基准信息, 以支持基于科学的决策, 从而保护和管理这些未被充分研究的生态系统^[8]。

该项目的具体目标是: 1) 找到并绘制加拉帕戈斯海洋保护区(The Galapagos Marine Reserve, GMR)海山的分布图; 2) 在 GMR 中表征海山及相关深海生态系统的生物多样性和生态; 3) 与加拉帕戈斯群岛的当地社区分享科学发现, 提高当地人对海山的认识和了解; 4) 向加拉帕戈斯国家公园管理人员提供有关海山生态系统的基本基准信息。

2.4 国际自然保护联盟的海山项目

国际自然保护联盟(International Union for Conservation of Nature, IUCN)在 2009—2013 年期间主导了一系列针对海山的研究项目, 这些项目由联合国开发计划署(The United Nations Development Programme, UNDP)资助, 研究对象是南印度洋的海山, 侧重于探索在国家管辖范围以外的地区制定基于生态系统的渔业管理办法。这些管理战略针对的是海山和在公海发现的具有重要生物和商业意义的其他地区。项目的目标是解决公海可持续渔业管理和海洋生物多样性养护的三大障碍: 关于海山生态系统及其与渔业资源关系的科学知识差距; 缺乏全面有效的海洋生物多样性治理框架; 管理近海鱼类资源的困难, 包括监测和控制^[9]。

此外, 自 2014 年开始, 法国全球环境基金(French Facility for Global Environment, FFEM)与 IUCN 合作, 发起了针对西南印度洋(South West Indian Ocean,

SWIO)国家管辖范围以外地区 (Areas Beyond National Jurisdiction, ABNJ)的 FFEM-SWIO (2014—2017)项目, 这也是 2009—2013 年海山项目的后续项目。项目先后开展了 MAD-Ridge (2016)和 Walters Shoal (2017)的两次海山调查^[10]。

2.5 欧盟地平线 2020 (Horizon 2020)研究与创新计划资助的海山研究项目

欧盟地平线 2020 研究与创新计划(Horizon 2020)资助的 ATLAS 项目(a Trans-Atlantic assessment and deep-water ecosystem-based spatial management plan for Europe, 2016—2020)开展了 40 多次科学考察, 聚焦于海绵、冷水珊瑚、海山和大洋中脊生态系统。该项目发现了 30 多个底栖群落, 在加的斯湾、直布罗陀海峡、阿尔伯兰海、亚速尔群岛和北极东部的戴维斯海峡发现了约 35 个新物种, 除了冷水珊瑚礁和深海海绵场, 还发现了双壳类 *Myonera atlasiana*。这些发现增加了对北大西洋深处生物多样性的了解同时, 也对国家和国际层面的政策产生了直接影响。例如, Luso 热液喷口的地点已被亚速尔群岛地区政府指定为海洋保护区^[11]。

欧盟地平线 2020 年资助的 iAtlantic 项目(Integrated Assessment of Atlantic Marine Ecosystems in Space and Time)旨在确定深海和大洋海洋生态系统不可逆转的变化阈值, 即临界点, 明确哪些驱动因素推动生态系统走向这些临界点以及哪些因素影响和支持生态系统对环境变化的适应能力。iAtlantic 项目的研究重点包括海山生态系统和生物多样性, 该项目在 2020 年开展的葡萄牙海底测绘活动中, 通过使用新的多波束测深调查发现了亚速尔群岛的一个新的海山——Diogo de Teive 海山^[12]。

2.6 美国国家海洋和大气管理局海山探索项目

美国国家海洋和大气管理局(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)的 Okeanos 探索号科考船是于 2010 年正式下水。NOAA 从 2011 年开始, 每年都组织并资助基于 Okeanos 探索号的海山探索项目。2021 年, NOAA 海洋勘探与研究办公室(Ocean Exploration and Research, OER)利用 Okeanos 探索号科考船在北大西洋开展勘探工作, 总共进行了 7 次科学考察, 收集了有关北大西洋布莱克高原地区未开发的深水区域和 20 多个海山的关键信息, 包括新英格兰(New England)海山和角隆起(Corner

Rise)海山。2021 年开展的海山科学考察发现了新的深海珊瑚和海绵群落以及很多新物种,并在 9 个潜水点观察到了高密度的生物群落,还在阿勒格尼海山 3 447 m 深处发现了高生物多样性。

2022 年,NOAA 海洋探索计划的考察重点在美国东南部、加勒比海和大西洋中脊。NOAA 计划对佛罗里达海峡及其周边地区进行测绘,并前往波多黎各的圣胡安进行两次测绘考察,完成波多黎各周边美国专属经济区的深水测绘,还计划在北大西洋的公海开展一系列针对大西洋中脊、亚速尔高原和查理吉布斯断裂带的探索,包括针对发散的板块边界、火山活动和热液喷口的地质学研究和海山生物多样性的生物学研究^[13]。

3 海山生物多样性近十年的发文情况

3.1 论文发文量年度变化

通过在 WOS 核心数据库检索发现,2011—2020 年一共发表了 1 458 篇关于海山生物多样性研究的论文,论文数量总体呈现平稳持续增长态势(图 1)。2020 年的论文发表数量增长最多,为 206 篇,几乎接近 2011 年论文发表数量(129 篇)的两倍。

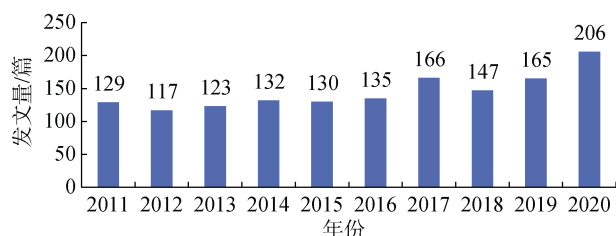


图 1 海山生物多样性发文量年度变化

Fig. 1 Annual changes of the publication outputs on seamount biodiversity from 2011 to 2020

3.2 学科领域及期刊分布

海山生物多样性近 10 年的论文共涉及 61 个 Web of Science 学科类别。“海洋学”涉及的论文数量最多,有 338 篇;“海洋和淡水生物学”为 293 篇,其次是“地球化学和地球物理学”202 篇,“综合地球科学”179 篇,“动物类”163 篇。从 Web of Science 学科领域每两年的发文量排名前十的变化可以看出(表 1),除了 2019—2020 年,“海洋学”学科领域的发文量一直处于领先地位,“海洋和淡水生物学”第二。收录海山生物多样性论文数量前 20 位的期刊详见表 2,有 45.5% 的论文发表在这 20 种期刊上。

Zootaxa 发表了 91 篇,是发文量最多的期刊。其中,*Geochemistry Geophysics Geosystems* 和 *Geochimica et Cosmochimica Acta* 等地学类期刊上发表的论文主要是与海山生物栖息地环境及海山生物多样性成因等方面相关的研究。

3.3 国家与地区发文情况比较

针对第一作者所属国家与地区进行分析发现,2011—2020 年海山生物多样性研究在 WOS 核心数据库中发文量排在前 20 位的国家或地区中(图 2),排在前 3 位的国家分别是美国、中国和日本。美国发表了 273 篇论文,发文量远超排名第 2 的中国(157)和排名第 3 的日本(120)。排在第 4 至第 10 的国家分别是:英国(102)、葡萄牙(92)、德国(91)、澳大利亚(81)、巴西(62)、新西兰(59)、法国(57)。

中国在海山生物多样性研究方面的论文产出近 10 年来增速较快,研究力度明显加强,2020 年发文量首次排名第 1(图 2)。

3.4 研究机构发文情况

根据对 WOS 核心数据库的检索,发文量前 10 名的第一作者所署研究机构如图 3 所示,发文量最多的是中国科学院海洋研究所(48 篇),其次是葡萄牙亚述尔群岛大学(46 篇),第三名是新西兰水和大气国家研究所(28 篇)。

3.5 海山生物新物种发表分析

2011—2020 年,研究海山生物新种的论文共计 227 篇。其中,中国和美国在有关海山新物种发表方面的论文数量相同,均为 34 篇,日本居第 3 位,发表了 26 篇(图 4)。

对第一作者发文机构进行分析发现,中国科学院海洋研究所共发表了 31 篇论文,位居第一,新西兰水和大气国家研究所排名第 4,德国海洋生物多样性研究中心排名第 5。排名第 2 和第 3 的青岛海洋科学与技术试点国家实验室和中国科学院海洋大科学研究中心均为中国科学院海洋研究所的共建单位(图 5)。

3.6 研究热点

近 10 年发表的海山生物多样性研究论文中,有 53 个关键词使用了 10 次以上(表 3),出现频次最多的前 10 个关键词分别是:海山、深海、分类、新物种、生物多样性、生物地理学、热液喷口、海洋保护区、小型底栖生物和亚速尔群岛。热点研究区域

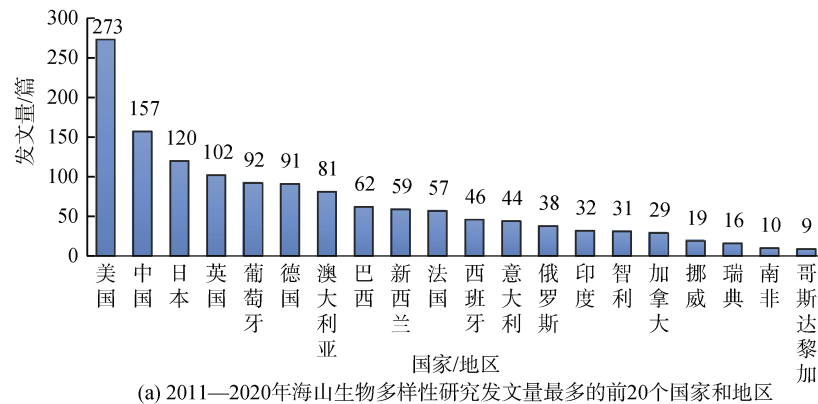
表 1 2011—2020 年海山生物多样性 SCI 发文的 WOS 学科类别变化
Tab. 1 Changes in WOS research areas of the published papers on seamount biodiversity from 2011 to 2020

Web of Science 类别	2011—2012 年	2013—2014 年	2015—2016 年	2017—2018 年	2019—2020 年
1	Oceanography	Oceanography	Oceanography	Oceanography	Marine & Freshwater Biology
2	Marine & Freshwater Biology	Marine & Freshwater Biology	Marine & Freshwater Biology	Marine & Freshwater Biology	Oceanography
3	Geochemistry & Geophysics	Geosciences, Multidisciplinary	Geochemistry & Geophysics	Zoology	Environmental Sciences
4	Geosciences, Multidisciplinary	Geochemistry & Geophysics	Geosciences, Multidisciplinary	Geochemistry & Geophysics	Zoology
5	Multidisciplinary Sciences	Zoology	Zoology	Geosciences, Multidisciplinary	Geochemistry & Geophysics
6	Zoology	Multidisciplinary Sciences	Multidisciplinary Sciences	Environmental Sciences	Geosciences, Multidisciplinary
7	Ecology	Fisheries	Ecology	Microbiology	Multidisciplinary Sciences
8	Fisheries	Ecology	Microbiology	Multidisciplinary Sciences	Biodiversity Conservation
9	Microbiology	Environmental Sciences	Biodiversity Conservation	Biodiversity Conservation	Ecology
10	Paleontology	Microbiology	Environmental Sciences	Ecology	Microbiology

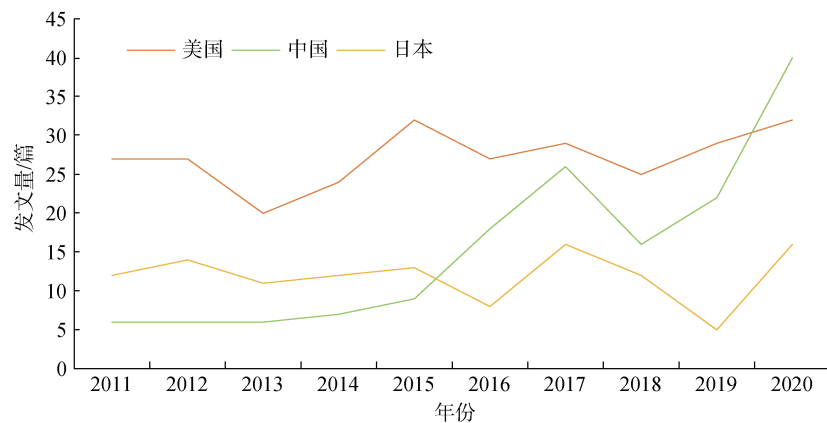
表 2 2011—2020 年 WOS 数据库中海山生物多样性研究发文量前 20 位的期刊

Tab. 2 The top 20 journals about seamount biodiversity research in WOS database from 2011 to 2020

排名	发文量/篇	期刊
1	91	<i>Zootaxa</i>
2	82	<i>Deep-Sea Research Part II-Topical Studies in Oceanography</i>
3	64	<i>Deep-Sea Research Part I-Oceanographic Research Papers</i>
4	62	<i>PloS One</i>
5	52	<i>Frontiers in Marine Science</i>
6	33	<i>Geochemistry Geophysics Geosystems</i>
7	31	<i>Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom</i>
8	28	<i>Earth and Planetary Science Letters</i>
9	27	<i>Marine Biodiversity</i>
10	24	<i>Scientific Reports</i>
11	21	<i>Frontiers in Microbiology</i>
12	20	<i>Progress in Oceanography</i>
13	19	<i>Geochimica et Cosmochimica Acta</i>
14	18	<i>Geophysical Research Letters</i>
15	17	<i>Marine Ecology Progress Series</i>
16	16	<i>Journal of Geophysical Research-Solid Earth</i>
17	16	<i>Marine Geology</i>
18	15	<i>Tectonophysics</i>
19	14	<i>Acta Oceanologica Sinica</i>
20	13	<i>PeerJ</i>



(a) 2011—2020年海山生物多样性研究发文量最多的前20个国家和地区



(b) 2011—2020年美国、中国和日本海山生物多样性研究发文量年度变化

图 2 2011—2020 年海山生物多样性研究发文量

Fig. 2 The amount of papers on seamount biodiversity from 2011 to 2020

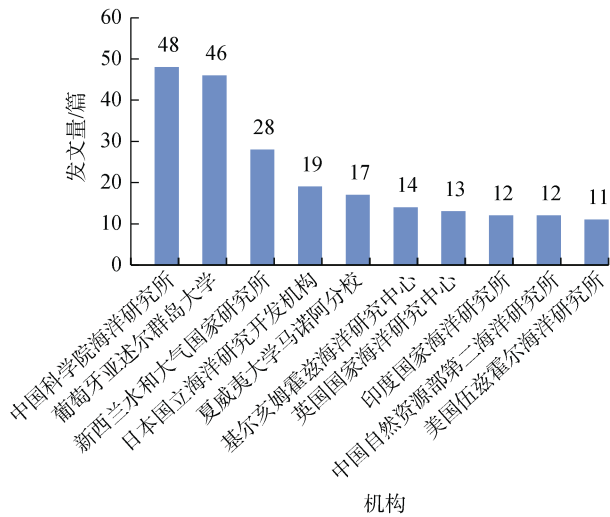


图3 2011—2020年海山新物种研究发文章最多的前10个第一作者所署机构

Fig. 3 Top 10 first author affiliations with the largest publication on seamount new species research from 2011 to 2020

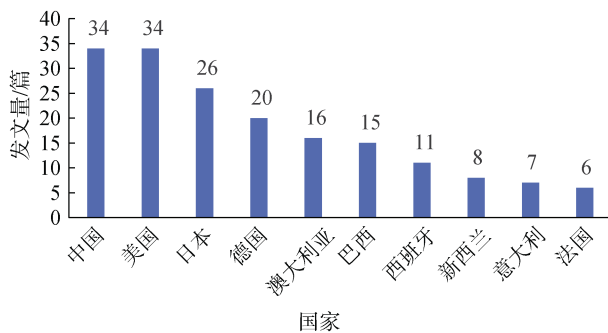


图4 2011—2020年全球海山新物种发文章情况

Fig. 4 Global publication outputs of Seamount new species from 2011 to 2020

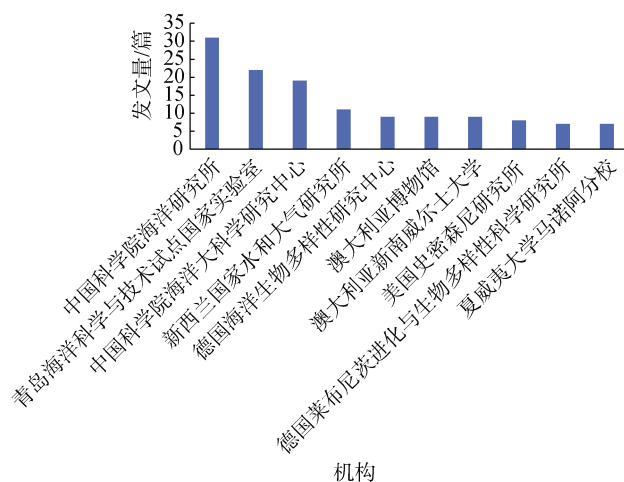


图5 2011—2020年海山新物种研究发文章前10名机构

Fig. 5 Top 10 institutions of the research on seamount new species from 2011 to 2020

表3 2011—2020年海山生物多样性研究使用频次较高(>10次)的关键词

Tab. 3 The most frequently used keywords (> 10 times) on seamount biodiversity research from 2011 to 2020

排名	出现频次	关键词
1	256	seamount
2	129	deep sea
3	63	taxonomy
4	52	new species
5	41	biodiversity
6	33	biogeography
7	32	hydrothermal vents
8	28	marine protected area
9	26	meiofauna
10	22	Azores
11	21	Vulnerable Marine Ecosystems
12	20	cold-water corals
13	20	distribution
14	19	benthos
15	19	New Zealand
16	18	South China Sea
17	17	fisheries
18	17	Porifera
19	16	oceanic islands
20	16	Pacific Ocean
21	15	ferromanganese crusts
22	15	Fish
23	15	subduction
24	14	Antarctica
25	14	community structure
26	14	Connectivity
27	14	deep-sea corals
28	14	Geochemistry
29	14	Southern Ocean
30	13	conservation
31	13	coral
32	13	ROV
33	13	subduction zones
34	12	endemism
35	12	Mid-Atlantic Ridge
36	12	mid-ocean ridge
37	12	Zetaproteobacteria
38	11	bathymetry
39	11	Condor seamount
40	11	diversity
41	11	Indian Ocean
42	11	phylogeny
43	10	abundance
44	10	Brazil
45	10	coral reef
46	10	fisheries management

续表

排名	出现频次	关键词
47	10	geomorphology
48	10	hydrothermal
49	10	mantle plume
50	10	Mediterranean sea
51	10	micronekton
52	10	morphology
53	10	stable isotopes

是亚速尔群岛、新西兰、南海、太平洋、南极和大西洋等。对比每两年使用最多的前 10 个关键词(表 4), 2017—2020 年, 珊瑚、种群机构、连通性、小型游泳生物和地球化学等关键词出现频次变高, 热点研究区域也由太平洋、新西兰、南极洲转变为南大洋、亚速尔群岛和地中海。这与国际研究计划的部署也是一致的, 亚速尔群岛是欧盟地平线 2020 计划资助的海山研究相关项目的重点研究区域。

表 4 2011—2020 年海山生物多样性研究的关键词变化情况

Tab. 4 Changes of keywords on seamount biodiversity research from 2011 to 2020

2019—2020 年	2017—2018 年	2015—2016 年	2013—2014 年	2011—2012 年
seamount	seamount	seamount	seamount	seamount
deep sea	deep sea	deep sea	deep sea	deep sea
taxonomy	taxonomy	taxonomy	Azores	taxonomy
new species	new species	new species	taxonomy	new species
biogeography	Biodiversity	Biodiversity	Condor seamount	Biodiversity
marine protected area	South China Sea	distribution	hydrothermal vents	biogeography
meiofauna	hydrothermal vents	seamount subduction	new species	distribution
Biodiversity	marine protected area	biogeography	Biodiversity	hydrothermal
Vulnerable Marine Ecosystems	meiofauna	Porifera	Benthos	hydrothermal vents
Deep-sea corals	Indian Ocean	Subduction zones	bathyal	diversity
Cold-water coral	Southern Ocean	Antarctica	Fish	Iron-oxidizing bacteria
Community structure	Azores	Ferromanganese crusts	fisheries	mantle plume
Connectivity	Benthos	Fisheries management	bacteria	Mid-Atlantic Ridge
distribution	biogeography	hydrothermal vents	Bathymetry	oceanic islands
diversity	Cold-water corals	mantle plume	biogeography	Pacific Ocean
hydrothermal vents	Community structure	mid-ocean ridge	coral	Ross Sea
Mediterranean sea	Stable isotopes	New Zealand	Deep-sea sediments	Antarctica
Micronekton	Conservation	oceanic islands	Metals	bacteria
Porifera	coral	Pacific Ocean	New Zealand	Bathymetry
Abundance	Geochemistry	paleoceanography	Subduction zones	biomineralization

使用 VOSviewer 软件对关键词进行聚类分析(图 6)可以看出, 海山生物多样性研究主要分为 3 个研究版块, 分别是: 1) 海山生物多样性及分类学研究, 关键词包括 species、fauna、taxa、morphology、genus、identification、Crustacea 和 sequence 等, 研究区域主要涉及太平洋、日本周边和南海; 2) 海山生态系统研究及管理, 关键词包括 habitat、ecosystem、coral、impact、conservation、management、fishery、biomass、productivity 等; 3) 海山的形成及演化研究, 关键词包括 formation、crust、process、margin、model、

deposit、element、geochemistry、fault、subduction 和 volcanism 等。

4 结论

通过分析海山生物多样性近 10 年的发文情况可以明显看出, 海山生物多样性论文发表数量总体呈现平稳持续增长态势, 论文发表数量排在前 3 位的国家分别是美国、中国和日本。中国在海山生物多样性研究方面的论文产出近 10 年来增速较快, 研究力度明显加强, 2020 年发文量首次排名第一。通过对

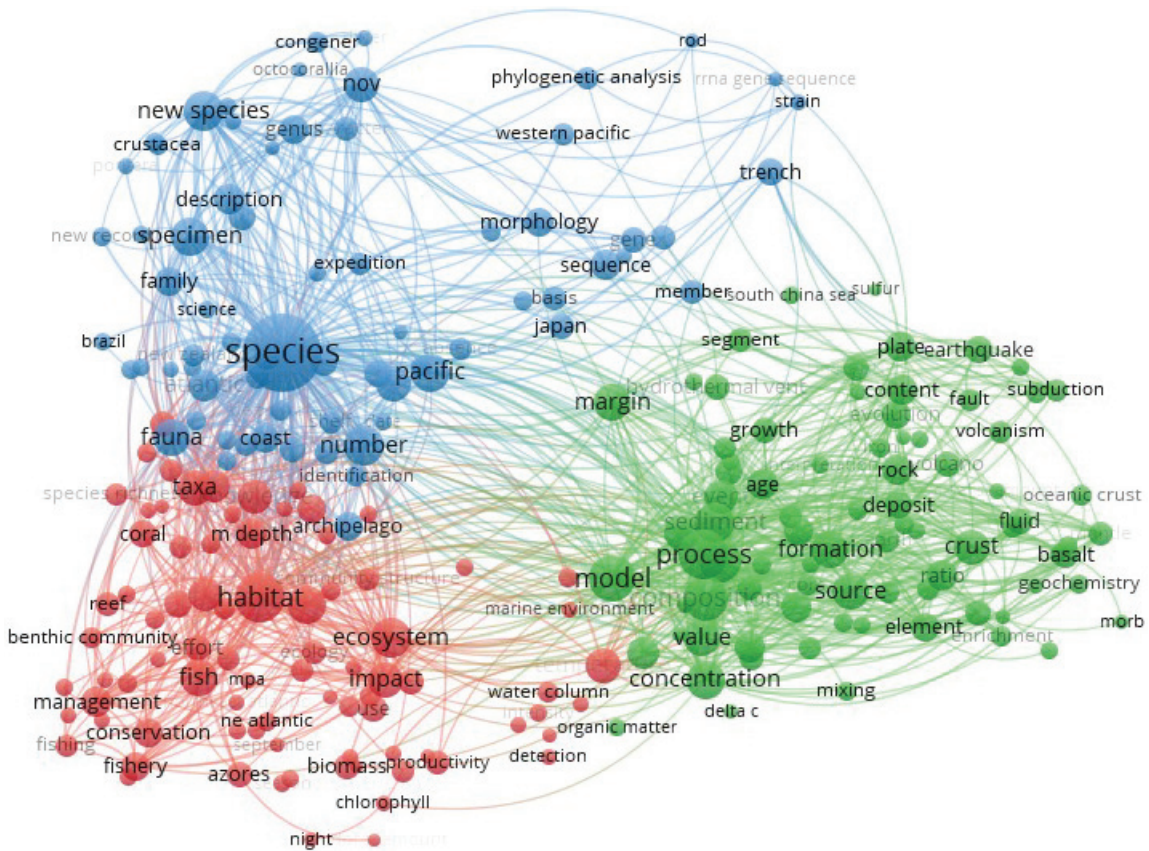


图 6 2011—2020 年海山生物多样性研究的关键词聚类分析
Fig. 6 Keyword cluster analysis of seamount biodiversity research from 2011 to 2020

第一作者所著研究机构进行分析,中国科学院海洋研究所在海山生物多样性研究方面的发文量最多。此外,中国和美国在有关海山新物种发表方面的论文发表数量相同,日本次之。近几年的海山热点研究区域是亚速尔群岛、新西兰、南海、太平洋、南极和大西洋等区域。海山生物多样性及分类学研究、海山生态系统研究及管理以及海山的形成及演化研究是近10年海山生物多样性研究的3个重要研究方向。

海山主要分布在国家管辖外海域(ABNJ), 没有统一、完整的法律框架保护, 而且海山区域的生物多样性非常脆弱, 正受到日益严重的威胁。Pitcher 等^[14]提出使用一个框架——海山生态系统评估框架(Seamount Ecosystem Evaluation Framework, SEEF), 用以规范化海山的特征参数。另一个评估海山保护的框架是Taranto 等^[15]针对生物多样性公约(Convention on Biological Diversity, CBD)到 2020 年前要达到保护 10% 的海洋生物群落这一目标而提出的。实现这一目标需要鉴定生态学上或生物学上重要的海洋区域(Ecologically or Biologically Significant Marine Areas,

EBSA), 包括海山。提名 EBSA 的 7 个选择标准包括: 1) 独特性或稀有性; 2) 对物种生命史阶段的特殊重要性; 3) 对受威胁、濒危或减少的物种和/或栖息地的重要性; 4) 脆弱性、敏感性或恢复缓慢; 5) 生物生产力; 6) 生物多样性; 7) 自然性。Clark 等^[16]尝试用具有“生物学意义”的物理变量来对全球海山进行分类, 将四种关键的环境变量(群落的潜在物种丰富度和丰度、深度、含氧量和海山与大陆的邻近关系)应用于 Kitchingman 等^[17]发布的海山深海区数据集。研究鉴定了遍布世界各大洋的 194 座具有相似特征的海山, 这些类型分类系统可以在任何地理尺度上应用, 从而帮助划分海山的保护优先级。

建立海洋保护区(Marine Protected Area, MPA)被认为是一种能有效保护海山的重要手段,海山的地理位置对其管理的有效性也起着重要作用。国家管辖范围内水域和专属经济区的海山相对容易管理,因为大多数国家已经有了法律以及制定和实施 MPA 项目的管理依据。澳大利亚、新西兰、挪威和美国是最早在国家管辖范围内保护海山的国家。在国家

管辖范围以外的地区,通常没有明确的法律机制来指定保护区。2007 年联合国大会关于可持续渔业特别提到需要保护海山^[18],呼吁各国立即单独或通过区域渔业管理组织采取行动,且保持与预防方法和生态系统方法相一致,可持续地管理鱼类种群并保护脆弱的海洋生态系统,包括海山、热液喷口和冷水珊瑚,防止其受到破坏性捕鱼活动的影响。法律和地缘政治的影响使得保护海山和 ABNJ 的其他栖息地面临很多挑战,这需要各国之间进行高度的跨学科合作和协调。

《联合国海洋法公约》(United Nations Convention on the Law of the Sea, UNCLOS)规定了各国保护、养护和管理海洋的义务,包括 ABNJ,但没有制定出具体的保护手段,所以,目前大多数 ABNJ 范围内的海洋开发活动基本上没有得到有效的管理和控制。联合国也正致力于创建一个基于联合国海洋法公约的执行协议来填补海山保护的法律空缺,但由于关系到各国的海洋权益,这个执行协议的推出可能是一个复杂而漫长的过程。具体来说,保护海山的生物多样性,有效的方法可能包括:1) 建立全球公认的海洋保护区机制。在对可能影响海洋生态系统的活动进行环境影响评估时,必须考虑到对海山生态系统的威胁。2) 发展一套明确的规则来分享和使用来自国家管辖范围以外地区的遗传资源,促进透明度和所有国家的参与。3) 发展和建立开放共享的海山生物多样性数据资源库。4) 促进与资助对 ABNJ 区域深海海山生物多样性的科学探索与研究,加强区域范围与国际上不同研究机构之间的合作与交流,避免重复投资。5) 加强对 ABNJ 区域鱼类种群的管理,采取预防性的捕捞限制措施,以防止过度捕捞。6) 提升公众保护海洋的意识,推动海山生物多样性保护知识的传播。

参考文献:

- [1] IUCN. Seamount Conservation[EB/OL]. [2021-12-21]. <https://www.iucn.org/resources/issues-briefs/seamount-conservation>.
- [2] 张均龙, 徐奎栋. 海山生物多样性研究进展与展望[J]. 地球科学进展, 2013, 28(11): 1209-1216.
ZHANG Junlong, XU Kuidong. Progress and Prospects in Seamount Biodiversity[J]. Advance in Earth Science, 2013, 28(11): 1209-1216.
- [3] XU Kuidong. Exploring seamount ecosystems and biodiversity in the tropical Western Pacific Ocean[J]. Journal of Oceanology and Limnology, 2021, 39(5): 1585-1590.
- [4] Monterey Bay National Marine Sanctuary. A Review of Resource Management Strategies for Protection of Seamounts[EB/OL]. [2021-12-21]. <https://sanctuaries.noaa.gov/science/conservation/seamount14.html>.
- [5] 郭琳, 冯志纲, 张均龙, 等. 基于 SCI-E 的国际海山生物多样性研究现状及研究热点解析[J]. 海洋科学, 2016, 40(4): 116-125.
GUO Lin, FENG Zhigang, ZHANG Junlong, et al. Current status and hot topics in seamount biodiversity research: a bibliometric analysis based on the SCI-E database[J]. Marine Sciences, 2016, 40(4): 116-125.
- [6] The European Commission. Action plan for a maritime strategy in the Atlantic area[EB/OL]. (2013-05) [2021-12-21]. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1395674057421&uri=CELEX:52013DC0279>.
- [7] Global Oceans. Global Seamounts Project[EB/OL]. [2021-12-21]. https://global-oceans.org/main/global-seamounts_project/.
- [8] Charles Darwin Foundation. Seamounts of the Galapagos Marine Reserve[EB/OL]. [2021-12-21]. <https://www.darwinfoundation.org/en/research/projects/seamounts-of-the-galapagos-marine-reserve>.
- [9] IUCN. Seamounts Project[EB/OL]. [2021-12-21]. <https://www.iucn.org/theme/marine-and-polar/our-work/international-ocean-governance/conservation-seamounts-ecosystems/seamounts-project>.
- [10] IUCN. FFEM-SWIO Projects[EB/OL]. [2021-12-21]. <https://www.iucn.org/theme/marine-and-polar/our-work/international-ocean-governance/conservation-seamounts-ecosystems/ffem-swio-project>.
- [11] The European Commission. A Trans-Atlantic assessment and deep-water ecosystem-based Spatial management plan for Europe[EB/OL]. (2021-12-07)[2021-12-21]. <https://cordis.europa.eu/project/id/678760>.
- [12] iAtlantic. Our work[EB/OL]. (2021-12-21)[2021-12-21]. <https://www.iatlantic.eu/our-work/work-packages/>.
- [13] NOAA. Expeditions[EB/OL]. (2022-02-15)[2022-02-15]. <https://oceanexplorer.noaa.gov/explorations/explorations.html>.
- [14] PITCHER T J, MORATO T, STOCKS K I, et al. Seamount Ecosystem Evaluation Framework (SEEF): A tool for global seamount research and data synthesis[J]. Oceanography, 2010, 23: 123-125.
- [15] TARANTO G H, KVILE K Ø, PITCHER T J, et al. An ecosystem evaluation framework for global seamount conservation and management[J]. PLoS One, 2012, 7(8): e42950.
- [16] CLARK M R, WATLING L, ROWDEN A A, et al. 2011. A global seamount classification to aid the scientific

- design of marine protected area networks[J]. Ocean and Coastal Management 54(1): 19-36.
- [17] KITCHINGMAN A, LAI S[R]// MORATO T, PAULY D. Seamounts: biodiversity and fisheries. Canada: The University of British Columbia, 2004: 7-12.
- [18] United Nations General Assembly (UNGA). Resolution 61/105-Sustainable Fisheries[EB/OL]. (2006-12-08) [2022-04-16]. <https://undocs.org/A/RES/61/105>.

Analysis of the international trend and research hotspots of seamount biodiversity research in the past decade

WANG Lin¹, ZHANG Jun-long¹, XU Kui-dong^{1, 2, 3, 4}

(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. Center for Ocean Mega-Science, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China)

Received: Nov. 27, 2021

Key words: seamount; biodiversity; bibliometric; research hotspot

Abstract: Seamounts are the global reservoirs of deep-sea biodiversity and have become a hot spot for deep-sea exploration and research due to their high cobalt-rich crust resources and high fishing resources. Seamounts are vulnerable to human activities such as bottom trawling and thus seamount ecosystems and their cold-water corals have been considered as important components of Vulnerable Marine Ecosystems (VMEs). The destruction of seamounts and overexploitation may have an irreversible and serious impact on seamounts' biodiversity and the health of the ocean. Legal and geopolitical factors also bring great challenges to seamount biodiversity and conservation. This research conducted a comprehensive analysis on the international programs and the publication output of seamount biodiversity in the past decade (2001-2020), to illustrate the international trend and research hotspots of the seamount biodiversity research. We aim to provide information for the research, conservation and management of seamount biodiversity as well as related international cooperation.

(本文编辑: 杨悦)