

1998~2017 年国际北极地区海洋科学研究文献计量与发展态势

於维樱, 王琳, 冯志纲, 张灿影

(中国科学院海洋研究所 文献信息中心, 山东 青岛 266071)

摘要: 北极拥有其独特的地理位置和战略价值, 同时也是全球变暖最关键的敏感区, 世界各国针对北极地区制定了一系列政策计划, 并开展了多年的北极海洋科学研究。基于 Web of Science 数据库收录的 1998~2017 年 SCIE 文章, 采用文献计量与引文分析的方法与工具, 分析了 13784 篇北极海洋科学研究的整体态势与热点前沿, 结果表明: ①全球北极海洋科学研究呈现出加快增长趋势, 近 5 年的发文已经翻了一番, 年均发文在 689 篇以上; ②环北极八国是该领域研究的主要力量, 美国遥遥领先其他国家, 挪威、丹麦研究基底深厚但近年发展稍缓, 英国、德国是主要的非北极研究国, 瑞典、法国的论文质量均衡, 中国、波兰、格陵兰和荷兰则是该领域的后起之秀; ③俄罗斯科学院在本领域发文最多但文章质量良莠不齐, 德国极地及海洋研究所、丹麦&格陵兰地质调查机构与挪威海洋研究所的第一作者与通讯作者研究占比高, 哥本哈根大学、德国极地及海洋研究所、华盛顿大学在该领域科研影响力较大; ④全球海洋科学研究主要涉及地质学、海洋学、环境生态学、自然地理学、地球化学与地球物理学以及气象学与大气科学等领域, 研究热点包括北极气候变化与极端天气、冰川消融与海平面上升、北极生态系统特征结构、北极海洋酸化与污染防治等方面。随着“一带一路”、“冰上丝绸之路”和《中国的北极政策》白皮书的发布, 建议我国针对本国情况制定综合性北极科研计划, 并注重科研机构间跨部门、跨领域的研究合作, 加强与环北极国家和“一带一路”国家的合作, 加大科研投入并开展国际规模的科学考察活动。

关键词: 北极; 海洋科学; 战略计划; 文献计量; 发展态势

中图分类号: G350; P73 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3096(2018)10-0064-18

DOI: 10.11759/hyxx20180903002

北极拥有如地中海一般的重要地理位置, 北冰洋连接其他三大洋, 是联结亚、欧、北美北部的内陆海。北极沿岸既有美国、俄罗斯和加拿大等大国环绕, 又有挪威、瑞典、丹麦、芬兰和冰岛等北欧小国, 同时北极还是重要的淡水储藏库和灵敏的气候探针。北极在地缘政治、油气矿产、航运军事、科学研究、能源安全以及环境保护等多个方面都具有独特的战略价值, 因此世界各国一直对北极这片冰雪之地保持着较高的兴趣和热情。

经过多年的战略部署, 世界各国针对北极地区出台了一系列的战略计划。美国是环北极大国, 北极是美苏之间距离最短的地区, 因此美国一直施行的是积极的北极政策。在奥巴马执政期间, 美国政府密集发布了一系列有关北极的文件。2013 年 5 月, 《北极地区国家战略》明确将保护环境与加强科学研究列为美国在北极的核心利益之一, 气候变化、海冰监测、可持续发展等趋势性研究近年被美国提上北极治理议程, 黑炭限排、预防石油泄露等措施成为美国

作为北极理事会轮值主席国的工作重点。在这一战略的指导下, 美国国防部、海军、海岸警卫队等相继发布各自领域的北极战略和路线图。2015 年和 2016 年, 美国政府先后两次发布了《北极地区国家战略实施计划》, 详细阐述美国北极战略的目标和实施方案。美国总统特朗普刚上任就把目光瞄准了北极, 2017 年 4 月 28 日, 他签署了名为《美国优先海上能源战略》的行政命令, 旨在扩大国内能源生产的最新举动, 允许扩大在北极近海(北冰洋和大西洋)的石油与天然气开采^[1]。

收稿日期: 2018-09-03; 修回日期: 2018-09-14

基金项目: 青岛海洋科学与技术国家实验室鳌山科技创新计划项目 (2016ASKJ11)

[Foundation: Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), No. 2016ASKJ11]

作者简介: 於维樱(1988-), 女, 重庆人, 汉族, 硕士, 中级馆员, 从事科技信息监测与专题情报服务工作, 电话: 0532-82898758, E-mail: yuweiyi@qdio.ac.cn; 冯志纲, 通信作者, 研究馆员, 从事图书馆管理与情报研究, 电话: 0532-82898763, E-mail: zhi@qdio.ac.cn

俄罗斯同样也是环北极大国, 北极是俄罗斯主要的“自然资源战略基地”, 俄罗斯侧重于独立自主开发北极地区资源, 同时表现出对北极生态环境和可持续发展的关注。2009年, 俄政府颁布了《2020年前俄罗斯联邦在北极地区的国家政策基础和远景规划》, 首次确定了北极战略的战略目标和执行机制, 2009年又颁布《2020年前俄罗斯联邦国家安全战略》, 将北极战略提升到新的更高战略层次; 2014年5月, 《2020年前俄罗斯北极地区社会经济发展国家纲要》为具体实施北极战略规划提供了行动指南; 2015年7月, 总统普京批准《俄联邦海洋学说》, 北极被列为俄罗斯海上战略的优先方向^[2]。

加拿大一直积极主张本国在北极地区的主权, 政府方面重点强调保护北极的环境遗产和加强北极治理, 并成立世界级研究站支持科学研究活动。2008年8月, 加拿大提出投资1亿美元开始一项为期5年的大型北极测绘项目。2009年7月, 加拿大政府公布了《加拿大北部战略: 我们的北方、我们的遗产、我们的未来》, 将北方地区作为加拿大未来经济发展的重要组成部分。2010年8月, 加拿大政府发布了《北极外交政策声明》, 提出了主权行使、经济社会发展、环境保护和北极治理四个方面的政策目标^[3]。2016年12月, 加拿大总理特鲁多宣布了几项有关北极的行动, 这些措施将取代加拿大2009年北方战略和2010年北极外交政策声明, 以便在不断变化的北极地区抓住机遇并应对挑战。2017年8月, 加拿大发布了《泛地区可持续发展愿景》, 以此作为北极政策框架的基础, 包括加强资源开发、经济多样化、改善基础设施和创新等内容。

北极对于北欧五国(挪威、瑞典、丹麦、芬兰和冰岛)的重要性不言而喻, 2009年3月, 挪威出台了《北方的新进展: 挪威政府北极战略的下一步》, 指出了包括气候和环境研究、北极监测、海洋能源资源开发、商业活动、基础设施建设等方面的北极行动方向。2011年3月, 冰岛批准了《关于冰岛北极政策的议会决议》, 该决议旨在确保冰岛在气候变化、环境问题、自然资源、航海和社会发展影响等诸多方面的利益, 以及加强与其他国家的关系与合作。2011年8月, 丹麦推出了《丹麦王国2011~2020年北极战略》, 该战略的目的是在现有北极事务的基础上, 加强在北极面临的许多新机遇和挑战方面进行适当合作的基础。2011年10月, 瑞典发布了《瑞典北极区域战略》, 从历史联系、安全政策、经济纽

带、环境与气候、调查研究和文化等6个方面阐述了瑞典与北极的联系, 表明瑞典参与北极事务的立场^[4]。2013年8月, 芬兰发布《2013年芬兰北极地区战略》, 指出将依靠多种技术能力和充足的人才储备, 积极参与北极地区的可持续开发, 并寻求更加密切的国际合作。2016年1月, 瑞典环境与能源部提出了《瑞典新的北极环境政策》, 针对北极环境保护与资源可持续发展提出了应对之策。2017年, 挪威从地缘政治与社会发展角度制定了新的北极战略, 提出了国际合作、商业发展、知识提升、基础设施、环境保护以及能源储备等战略优先领域。

近年来, 随着全球变暖问题的逐渐凸显以及海冰融化的日益扩张和严峻, 北极的科学研究价值得到了极大的重视, 特别是北极的海洋科学研究成为了多个国家的战略布局要点。每年, 世界各国都会在北极投入大量科研经费, 积极研发适应北极环境的科考船与仪器设备, 并部署了多次北极科考工作。作为地理上的“近北极国家”, 中国一直积极参与北极的各项事务。自2013年“一带一路”发展战略的提出, 北极东北航道作为“冰上丝绸之路”更是受到了中国的高度重视。2018年1月26日, 国务院新闻办公室发表了《中国的北极政策》白皮书, 引起了中外媒体和公众对北极地区的关注。在科研领域, 中国不断加大研究资金的投入, 先后建立多个北极科考站, 并组织了多次大规模北极科考活动, 各地的北极科研团队如雨后春笋般纷纷成立。

近20年时间里, 环北极圈八国和全球其他北极科研参与国在北极地区海洋科学研究领域积累了大量的科研产出。由于研究体量庞大, 科研人员以北极为对象撰写不少综述性与计量分析文章。例如, 2007年 Shepherd 等^[5]总结了最近南极和格陵兰冰盖的海平面贡献, 2013年 Smedsrud 等^[6]综述了巴伦支海在北极气候系统中的作用, 2014年 Meier 等^[7]回顾最近观察到的变化以及对生物和人类活动的影响, 2015年 Khan 等^[8]评述了关于格陵兰冰盖质量平衡的文章。国内同样也有不少总结综述性文章, 如2015年曹勇和赵进平^[9]从上层海洋、主要水团、中层水以及北冰洋海流等多角度总结了2011~2014年中国的北极物理海洋学研究。此前, 已有学者采用过文献计量的方法对北极研究进行总结分析, 如2009年华薇娜等^[10]调研分析了1982~2008年Web of Science数据库中收录的中国南北极研究论文; 2012年Hua 等^[11]计量分析了1900~2010年全球核心期刊所发表的人文

与社科类北极研究论文, 同年皇甫青红和华薇娜^[12]调研了 1926~2010 年美加两国北极主题博士论文; 2015 年刘爱原等^[13]针对北极底栖生物研究领域对过去 30 年 SCIE 收录的相关文章进行了计量分析; 2017 年牛艺博等分析了 2011~2016 年 SCIE 数据库中所有发表的国际极地综合研究文章^[14]。

以上文章虽然在数据来源、年代分布、对象范围和分析角度等方面都有所不同, 但它们都拥有相同的理论依据和分析方法, 也就是情报分析领域常用的文献计量学方法。由此可见, 在大数据时代文献计量学非常适用于对某一科研领域进行宏观统计分析, 海洋科学家们一般对自己所从事的某一个或几个小的研究方向进行定性研究, 而图书情报人员则可以从大的研究领域着手, 采用科学完善的方法工具对大量科研文献进行定量分析, 并基于客观数据适当延伸至某一方向的定性分析。北极研究是全球科研的重点热门领域, 以往虽然已有类似研究, 但研究数据已经老旧, 研究对象也不是聚焦于海洋科学领域, 同时其结果也因分析角度的差异而有所不同。本文针对近些年全球海洋科学领域发表的文献数据进行计量分析, 让科研人员对本领域的当前发展态势有一个全面的了解, 以此客观数据结果为科研决策者提供科研管理与政策制定方面的参考。

1 方法工具与数据处理

1.1 研究方法与分析工具

文献计量学是以文献或文献相关媒介为研究对象, 采用数学、统计学等计量方法, 研究文献和文献工作系统的规律与科学管理, 以及探讨科学技术动态特征的一门学科^[15]。在文献计量分析方法中, 最为常用的便是引文分析法。为了揭示和研究某一学科领域的学术期刊、学位论文和作者等对象的数量特征和内在规律, 引文分析法利用各种数理统计方法和比较、抽象、概括等逻辑方法, 对这些分析对象的引用或被引用文献进行统计分析^[16]。

Dewent Data Analyzer(DDA)是科睿唯安公司开发的一个具有强大分析功能的文本挖掘软件, 可以对文本数据进行多角度的数据挖掘和可视化的全景分析, 帮助科研人员从大量的专利文献或科技文献中发现竞争情报和技术情报^[17]。UCINET 软件是一款社会网络集成分析软件, 其中的 Netdraw 插件可以实现二维关联数据的网络可视化分析, 用来研究

科研作者、论文、机构和关键词之间共现与引用关系^[18]。VOSviewer 是一款免费知识图谱绘制工具, 采用计量地图技术通过共现矩阵的相似矩阵创建一个以距离反应元素之间相似性的二维聚类地图^[19]。

1.2 数据来源与检索清洗

Web of Science(WOS)是一个大型的综合性多学科科学引文索引数据库, 收录了 100 年来各种重要核心期刊的文献与引文, 是目前提供引文回溯数据最深的数据库。它的学科覆盖范围极广, 内容包括了各大领域中最具影响力的多种科技期刊。WOS 数据库现由科睿唯安公司独立运行, 其下属的科学引文索引扩展版(Science Citation Index Expanded, SCIE)是国内外学者获取一流学术文献最常用的数据平台, 也是科研情报分析最权威的数据来源。

本文以 WOS 的 SCIE 数据库为来源, 从四个角度制定了关键检索词: ①从北极主要海域着手, 确定北冰洋范围内各个海区和边缘海的英文词汇; ②从北极主要海湾海峡和流经海流着手, 确定相关的英文词汇; ③从北极海域各类地理名词着手, 尽量穷举该地区海山海盆、海脊海岭的英文词汇; ④从“海洋”主题出发, 确定一些必备的海洋类关键词。针对本文研究的检索策略为: 从标题字段检索北极海域关键词, 从主题角度检索海洋关键词, 从年代角度限定发文起始时间为 1998~2017 年, 再从研究领域和 WOS 分类筛选海洋与地质相关领域, 排除完全不相关的其他领域。最终, 本文从 WOS 数据库的 SCIE 分库中检索得到 13784 条有效数据。

借助 DDA 分析软件的数据清洗功能, 将本文分析的 13 784 篇文献导入该软件, 采用软件自带的计算公式和叙词表, 以及人工科研经验的判读, 对国家、机构、关键词等字段进行清洗, 解决原始数据表述方式的混乱性和多义性, 最终可处理得到经过归类汇总的待分析基础数据。

通过上述检索策略和清洗方法, 所获数据能够较好地集合绝大部分该领域的研究内容, 比前人研究时单纯限定标题或主题为“arctic”更为准确地检索得到了北极海洋科学研究的主要文献, 其数据体量和领域聚焦性符合宏观统计和文献计量的需求。以这些文献为基础, 采用科学的定性定量分析方法, 运用成熟的大数据处理与可视化分析软件, 可以对近 20 年北极海洋科学研究的论文产出形成较为客观的定量分析和宏观认识, 为科研学者和科技政策制

定者提供一定的数据支持和定量参考。

2 北极海洋科学研究文献计量分析

2.1 整体发文态势分析

2.1.1 整体发文年代分布

1998~2017 年, 全球北极海洋科学研究累计发

文 13784 篇, 每年发文量从最初的 407 篇增长到了近 5 年的 1000 篇左右, 呈现出了发文量翻一番的增长规模, 近 20 年的年均发文量保持在 689.2 篇/年。发文年代较新的一半来自于 2010~2017 年, 而近 5 年发文量占总发文量的 36.1%(图 1)。由此可见, 该领域的科研产出在未来还将出现进一步发展的态势。

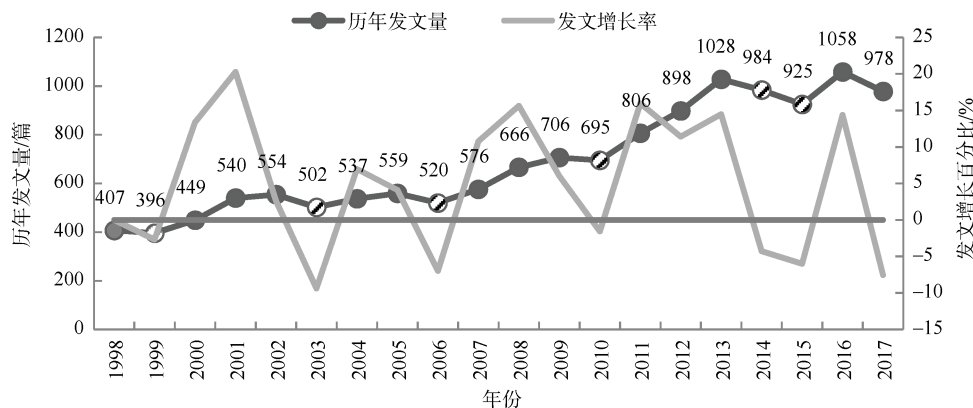


图 1 历年发文与增长情况(1998~2018 年)

Fig. 1 Article publication situation and growth rates (1998~2018)

注: 斜杠圈特指发文负增长的年代发文情况

2.1.2 主要发文国家分布

发文量的多少可以凸显一个国家在某一领域的科研体量, 同时也是科研实力的一种体现。近 20 年全球北极海洋科学研究的论文产出来自于 83 个全作者国家(所有论文作者所属国家)和 59 个第一作者国家(论文第一作者所属国家)。在 Top30 发文国家中, 欧洲国家共有 19 个, 另有 4 个美洲国家、3 个亚洲国家(中国、日本和韩国)、2 个大洋洲国家(澳大利亚、新西兰)和 1 个非洲国家(南非)。美国、挪威、丹麦、加拿大、格陵兰(岛)、芬兰和冰岛等环北极国家及属地纷纷在列, 且大多名列前茅, 具体发文地域分布见图 2, 颜色越深的国家其发文量越高。从图 3 中 Top15 国家的历年发文变化来看, 美国一直处于北极海洋研究的领先地位, 挪威、丹麦、加拿大、英国、德国和俄罗斯处于第二梯队, 这 6 个国家主要由挪威领跑。而包含中国在内的其余 8 国处于第三梯队, 2011 年以前主要由瑞典领跑, 2014 年以后中国正式成为第三梯队的领跑国。

图 4 展示了 Top15 国家的全作者发文和第一作者发文情况, 其中美国(4 430 篇)、挪威(2 555 篇)、丹麦(2 296 篇)、加拿大(1 955 篇)、英国(1 804 篇)、德国(1 783 篇)和俄罗斯(1 745 篇)等是发文较多的全作者国家。美国(3 051 篇)、挪威(1 630 篇)和丹麦

(1 401 篇)是第一作者发文排在前三位的国家。俄罗斯的第一作者发文位列第 4 名(1 331 篇), 其第一作者占比 76.28%, 紧随其后的是中国、美国、挪威和波兰。从第一作者发文占总发文比例来看, 美国(22.13%)、挪威(11.83%)、丹麦(10.16%)、加拿大(8.56%)四国的第一作者发文量已经超过了总发文的 50%, 中国(9.66%)、德国(7.52%)和英国(6.91%)的占比表现良好, 其余国家均为超过 3%。单独来看, 中国一共发表了 498 篇文章, 排在第 11 位。其中, 有 368 篇为第一作者发文, 第一作者发文占本国比例为 73.9%, 占全球发文比例为 9.66%。

2.1.3 主要发文机构分布

从表 1 的全部机构发文量(全部论文作者所属机构)来看, 俄罗斯科学院、哥本哈根大学、德国极地与海洋研究所、丹麦&格陵兰地质调查机构以及阿拉斯加大学系统是发文较多的前五名机构, 其中俄罗斯科学院的发文量达到了 1 124 篇。在发文量超过 130 篇的 51 家机构中, 美国机构有 13 家, 其次是 8 家挪威机构、6 家加拿大机构、5 家德国机构和 4 家丹麦机构, 中国科学院仅排在了 51 家机构的最后一位。需要指出的是, 阿拉斯加大学系统与加州大学系统都是由多家大学构成, 因此整体实力较强, 代表机构为阿拉斯加大学费尔班克斯校区与加州大学欧文

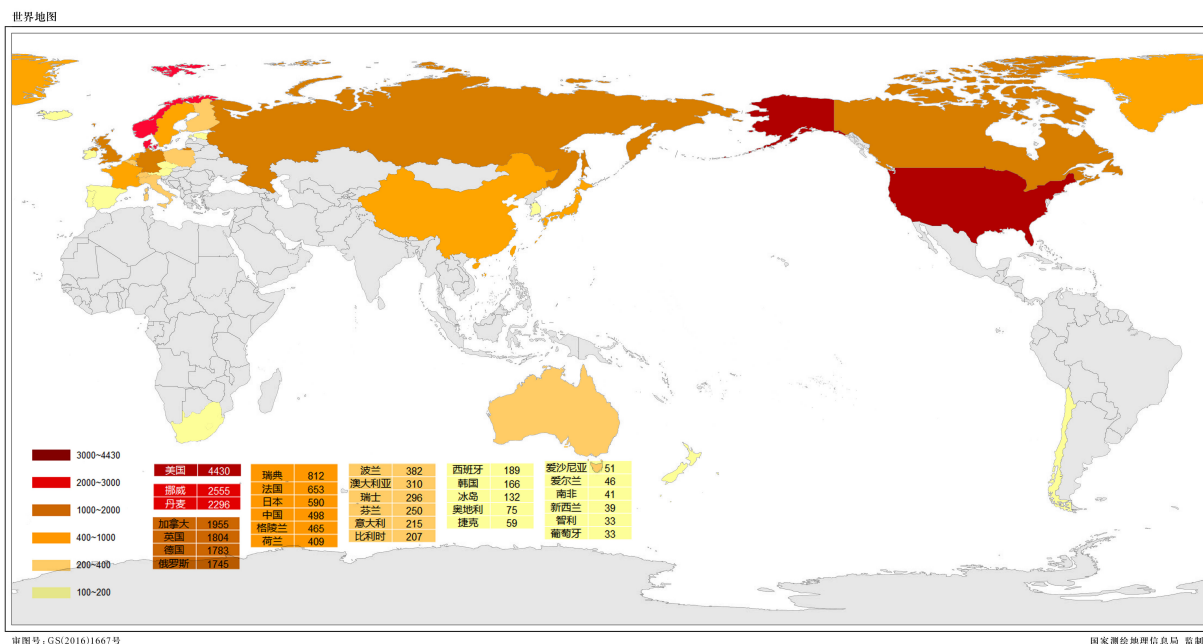


图 2 全球北极海洋科学研究发文地域分布图

Fig. 2 Geographical distribution of the output of papers on global Arctic marine sciences

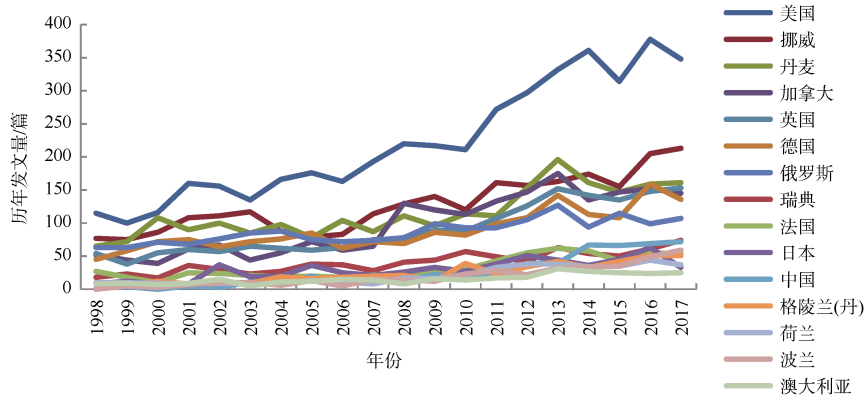


图 3 Top15 国家历年发文变化图

Fig. 3 Number of articles from the top 15 countries per year

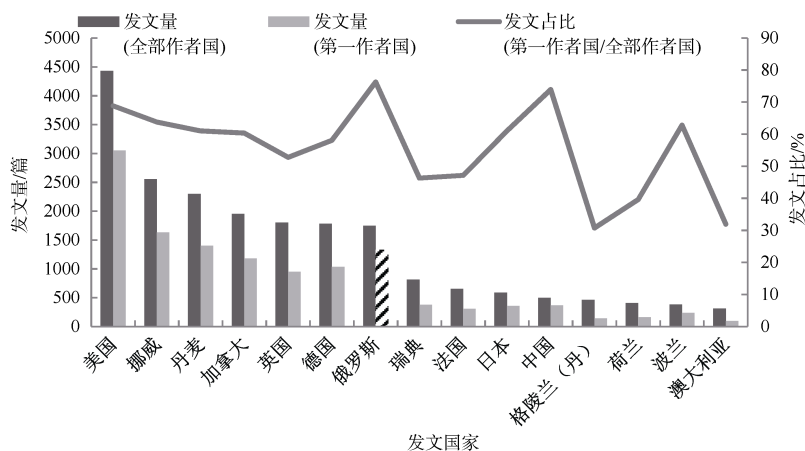


图 4 Top15 国家全作者发文与第一作者发文分布图

Fig. 4 Number of articles published from the top 15 countries by all authors and first authors

注: 斜杠数据柱突出体现俄罗斯的第一作者发文量

表 1 Top20 机构发文一览表

Tab. 1 Number of articles from the top 20 institutions published by all authors, first authors and corresponding authors

机构名称	全部机构 发文量/篇	第一机构		通讯机构	
		发文量/篇	占机构总发文比例	发文量/篇	占机构总发文比例
俄罗斯科学院	<u>1124</u>	817	<u>72.69%</u>	799	<u>71.09%</u>
哥本哈根大学	<u>818</u>	331	40.46%	308	37.65%
德国极地与海洋研究所	<u>782</u>	395	<u>50.51%</u>	372	47.57%
丹麦&格陵兰地质调查机构	<u>645</u>	347	<u>53.80%</u>	340	<u>52.71%</u>
阿拉斯加大学系统	<u>632</u>	289	45.73%	268	42.41%
华盛顿大学	570	261	45.79%	244	42.81%
挪威特罗姆瑟大学	553	255	46.11%	253	45.75%
美国国家海洋与大气局	537	230	42.83%	249	46.37%
奥胡斯大学	532	231	43.42%	221	41.54%
挪威极地研究所	510	208	40.78%	205	40.20%
奥斯陆大学	467	211	45.18%	209	44.75%
卑尔根大学	422	172	40.76%	167	39.57%
加拿大渔业与海洋局	409	135	33.01%	135	33.01%
科罗拉多大学	409	166	40.59%	156	38.14%
加州大学系统	390	146	37.44%	143	36.67%
挪威海洋研究所	358	183	<u>51.12%</u>	188	<u>52.51%</u>
斯瓦尔巴大学中心	323	94	29.10%	94	29.10%
伍兹霍尔海洋研究所	287	95	33.10%	100	34.84%
美国航天局	264	86	32.58%	97	36.74%
斯德哥尔摩大学	262	112	42.75%	112	42.75%

注：下划线标记为各指标中排名靠前的数据

分校。另外，丹麦&格陵兰地质调查机构是丹麦气候与能源部下属的独立研究机构，挪威特罗姆瑟大学现已更名为挪威北极大学，挪威海洋研究所 2018 年与挪威国家营养与海产研究所合并。

从第一机构发文情况来看，俄罗斯科学院仍然遥遥领先，排在后面的哥本哈根大学、德国极地与海洋研究所、丹麦&格陵兰地质调查机构的发文均超过了 300 篇。从第一发文占比来看，俄罗斯科学院仍表现良好，另外还有丹麦&格陵兰地质调查机构、挪威海洋研究所和德国极地与海洋研究所的第一发文占比较高。哥本哈根大学的占比仅为 40.46%，而挪威海洋研究所、斯德哥尔摩大学和科罗拉多大学的第一作者发文表现要优于全作者发文。

通讯作者发文方面，俄罗斯科学院有 799 篇通讯作者发文，其次是德国极地与海洋研究所、丹麦&格陵兰地质调查机构和哥本哈根大学。但在通讯作者发文占比方面，哥本哈根大学仍旧表现欠佳，俄罗斯科学院、丹麦&格陵兰地质调查机构、挪威海洋研究所、德国极地与海洋研究所、美国国家海洋

与大气局、挪威特罗姆瑟大学的通讯作者发文占比比较高。

从 Top20 机构的阶段发文变化来看(图 5)，排名靠前的 3 家机构在各阶段的发文都保持了领先状态，而丹麦&格陵兰地质调查机构在后三个阶段的增长较其他机构稍有减缓，挪威极地研究所在前两个阶段增长趋势突出，奥胡斯大学则是在后两个阶段增长突出。此外，奥斯陆大学在 1998~2002 年相对增长较快，加拿大渔业与海洋局在 2008~2012 年相对增长快速，美国国家海洋与大气局与加州大学系统则是在 2012~2017 年的增长势头相对表现迅猛。

2.2 研究影响力与合作分析

2.2.1 主要国家影响力分布与合作网络

从发文的被引频次、使用频次与发文新颖度等方面(表 2)，可以衡量出各国在北极海洋科学领域的研究影响力分布。经过统计，全部 13 784 篇文献总被引频次为 317 433 次，篇均被引达 23.03 次/篇。美国在总被引频次，篇均被引频次和高被引论文这 3 个方面都远远领先于其他国家，但近 3 年发文占比和

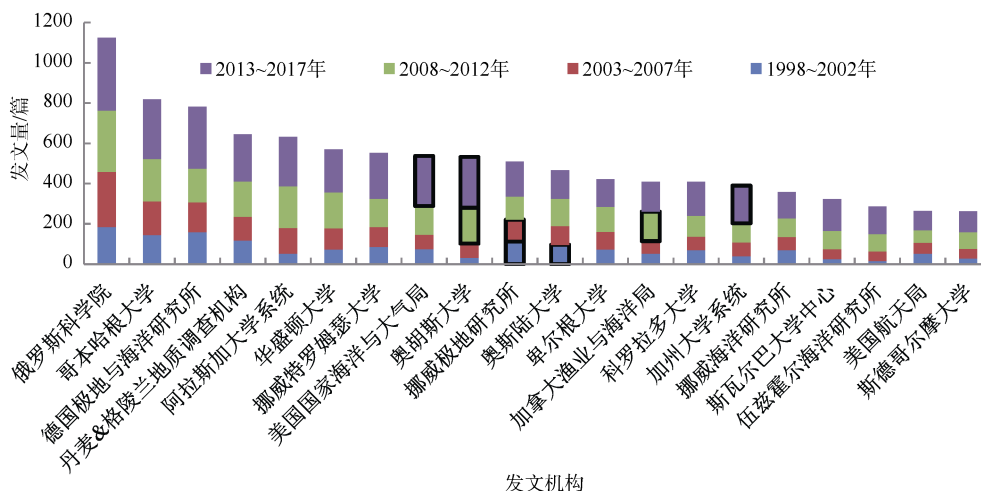


图 5 Top20 机构阶段发文变化图

Fig. 5 Number of articles from the top 20 institutions

注: 带黑框数据柱突出体现该机构的阶段发文较多

表 2 Top15 国家影响力指标一览表

Tab. 2 List of the impact indicators of the top 15 countries

国家	总被引 频次/次	篇均被引 频次/次	近 3 年发文 占比/%	文章 引用率/%	高被引 (≥ 50)/次	高被引 (≥ 100)/次
美国	<u>143505</u>	<u>32.39</u>	23.48	94.51	<u>779</u>	<u>275</u>
挪威	<u>60898</u>	23.83	22.43	<u>95.54</u>	<u>298</u>	71
丹麦	<u>56658</u>	24.68	20.34	90.98	<u>263</u>	74
加拿大	<u>51161</u>	26.17	22.71	93.76	<u>268</u>	78
英国	<u>53775</u>	<u>29.81</u>	24.17	<u>95.40</u>	<u>268</u>	<u>87</u>
德国	<u>52433</u>	<u>29.41</u>	22.60	<u>95.74</u>	<u>254</u>	<u>83</u>
俄罗斯	22189	12.72	18.40	82.12	88	28
瑞典	23551	<u>29.00</u>	22.78	93.84	98	35
法国	21137	<u>32.37</u>	23.28	<u>96.02</u>	103	38
日本	15108	25.61	23.90	93.56	71	21
中国	5767	11.58	<u>41.57</u>	84.74	13	5
格陵兰(丹)	6533	14.05	<u>30.97</u>	85.81	18	4
荷兰	14661	<u>35.85</u>	<u>28.36</u>	<u>97.80</u>	71	27
波兰	6027	15.78	<u>37.43</u>	92.15	20	6
澳大利亚	8826	28.47	23.87	91.61	56	12

注: 下划线标记为各指标中排名靠前的数据

文章引用率排名不佳。发文较多的前 6 个国家其总被引频次也较高, 瑞典与荷兰的引用表现优于发文表现, 所以其篇均被引频次也相对较高, 法国、英国和德国的篇均被引频次也不错。中国的总被引、篇均被引和文章引用率等指标均表现欠佳, 但近 3 年占比位列第一, 紧随其后的是波兰、格陵兰和荷兰。另外, 在文章引用率方面, 荷兰和法国表现突出。发文量较多的国家中, 其高被引 ≥ 50 的论文排名也相对靠前, 法国的高被引表现依旧突出, 而英国和德

国在高被引 ≥ 100 的文章方面表现良好。

从 Top30 国家之间合作发文来看(图 6), 美国是合作网络的中心性国家, 次中心是挪威、丹麦和英国, 挪威主要和欧洲国家合作较多, 丹麦主要和周边小国合作, 英国则主要和澳大利亚、爱尔兰合作。经过算法优化修剪后, 中国主要体现出与美国的合作, 而实际上中国还与德国、澳大利亚、加拿大、挪威和丹麦等 5 国有 30 篇以上的合作发文。根据“一带一路”官网上列举的国家名单, 全部 83 个发文国家

中, 有 38 个属于“一带一路”沿线国家, 图 7 展示了这些国家在北极海洋研究领域的合作发文情况, 俄罗斯是合作网络的中心, 波兰、中国和奥地利是次中

心。另外, 中国、奥地利和南非还是桥梁性国家, 中国与俄罗斯、奥地利、土耳其这三个“一带一路”国家之间的合作较为紧密。

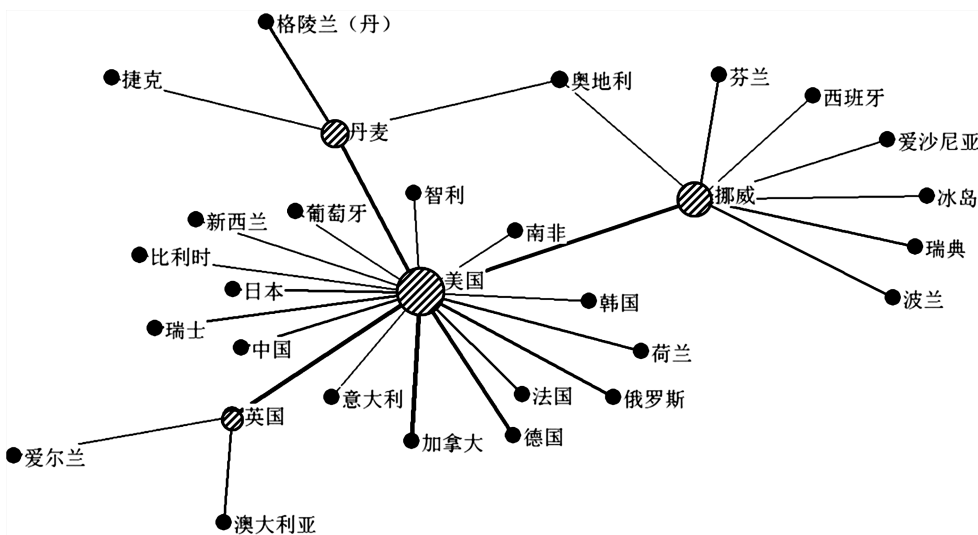


图 6 Top30 国家合作发文网络图

Fig. 6 Cooperation network of the top 30 countries

注: 斜杠填充点为合作网络中心及次中心

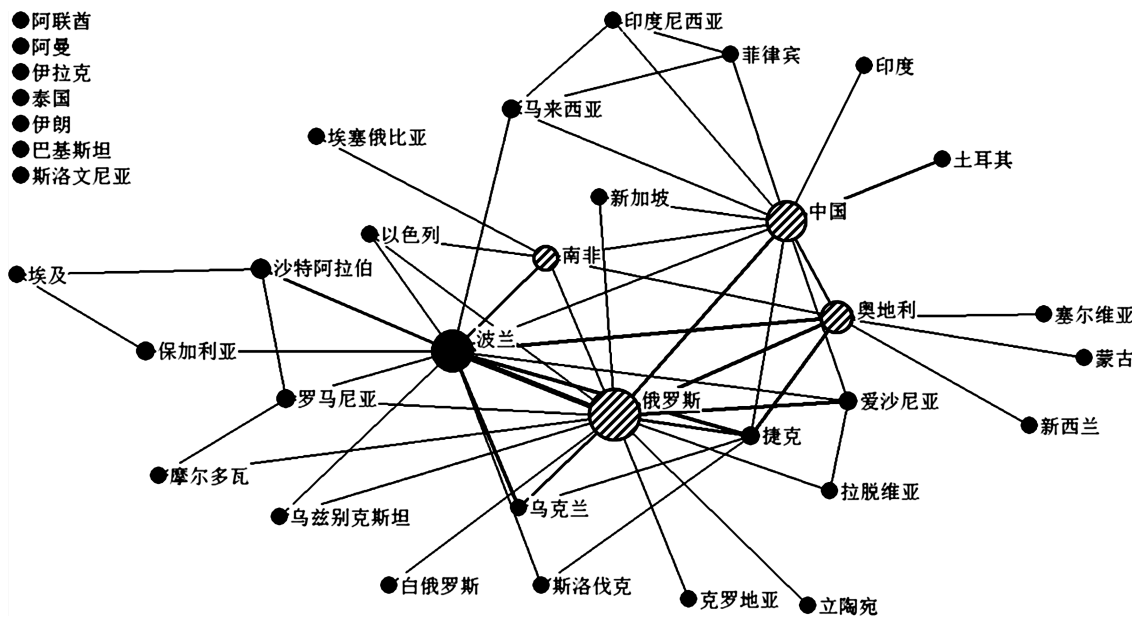


图 7 “一带一路”国家合作发文网络图

Fig. 7 Cooperation network of the top “Belt and Road” countries

注: 斜杠填充点为合作网络中心及次中心

2.2.2 主要机构影响力分布与合作网络

采用同样的分析方法和指标, 我们也能看出主要机构之间的影响力区别(表 3)。首先, 德国极地与海洋研究所、华盛顿大学与哥本哈根大学的总被引频次位列前三, 美国航天局、华盛顿大学与科罗拉多

大学的篇均被引频次较高, 伍兹霍尔海洋研究所、斯瓦巴大学中心的近 3 年发文较多, 美国航天局、德国极地与海洋研究所、卑尔根大学和加拿大渔业与海洋局的文章引用率较高。高被引论文方面, 华盛顿大学、德国极地与海洋研究所、科罗拉多大学与哥本哈

根大学在两个频次档上均拥有较多高被引论文。

国家海洋与大气管理局是合作网络的中心，德国极地与海洋研究所、科罗拉多大学与哥本哈根大学为

从 Top51 机构之间的合作发文来看(图 8)，美国

表 3 Top20 机构影响力指标一览表

Tab. 3 List of the impact indicators of the top 20 institutions

机构	总被引 频次/次	篇均被引 频次/次	近 3 年 发文占比/%	文章 引用率/%	高被引 (≥50)/次	高被引 (≥100)/次
俄罗斯科学院	11 605	10.32	18.68	81.76	49	11
哥本哈根大学	<u>24 221</u>	29.61	21.52	92.67	<u>102</u>	<u>35</u>
德国极地与海洋研究所	<u>26 664</u>	34.10	24.55	<u>97.06</u>	<u>127</u>	<u>44</u>
丹麦&格陵兰地质调查机构	14 124	21.90	20.62	91.94	74	10
阿拉斯加大学系统	17 492	27.68	22.63	95.09	93	25
华盛顿大学	<u>25 664</u>	<u>45.02</u>	23.51	95.44	<u>144</u>	<u>69</u>
挪威特罗姆瑟大学	13 657	24.70	25.32	94.94	73	13
美国国家海洋与大气局	13 882	25.85	27.37	95.53	73	21
奥胡斯大学	11 721	22.03	<u>30.64</u>	93.42	40	14
挪威极地研究所	16 235	31.83	22.75	96.47	84	31
奥斯陆大学	11 615	24.87	18.63	96.36	63	13
卑尔根大学	12 118	28.72	20.62	<u>97.39</u>	58	21
加拿大渔业与海洋局	11 926	29.16	17.36	<u>97.31</u>	65	17
科罗拉多大学	18 119	<u>44.30</u>	24.94	96.33	<u>99</u>	<u>40</u>
加州大学系统	14 460	37.08	28.72	96.92	81	30
挪威海洋研究所	8 040	22.46	20.67	95.81	38	6
斯瓦尔巴大学中心	6 754	20.91	<u>29.72</u>	94.43	30	7
伍兹霍尔海洋研究所	11 309	39.40	<u>31.36</u>	96.17	70	26
美国航天局	12 259	<u>46.44</u>	21.59	<u>97.73</u>	63	26
斯德哥尔摩大学	9 869	37.67	26.34	95.04	41	18

注：下划线标记为各指标中排名靠前的数据

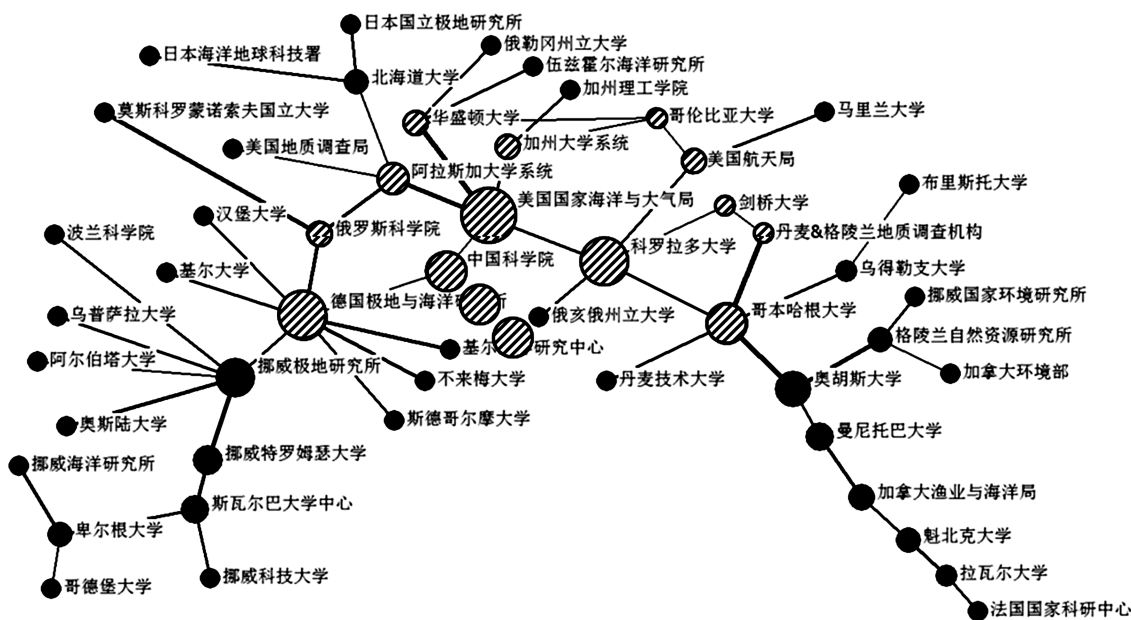


图 8 Top51 机构合作发文网络图

Fig. 8 Cooperation network of the top 51 institutions

注：斜杠填充点为合作网络中心及次中心

次中心，中国科学院虽然发文量不算多，但国际合作比较广泛，处于次中心和桥梁性位置。另外，俄罗斯科学院、阿拉斯加大学系统、华盛顿大学等机构也是合作网络的重要机构。挪威海洋研究所与丹麦奥胡斯大学虽然发文量较多，但不处于合作网络中心，主要是这两家机构的合作发文集中在本国和周边小范围北极圈国家，与美国、俄罗斯和德国等实力科研国家的合作相对较少。

2.2.3 研究方向与热点前沿分析

(1) 主要研究方向布局

从发文所属的研究领域与 WOS 分类来看(图 9)，国际上关于北极海洋的论文主要为地质学与海洋学研究，其次是生态学、地理学与环境科学等方面的研究，第三类研究为海洋大气科学、海洋生物学与海洋

化学，另外还有一些多学科交叉性研究，北极渔业科学也是研究的一个重点。从发文领域来看，Top10 国家均以地质学研究为首，多数国家的海洋学研究要重于环境生态学，丹麦比较侧重于环境生态保护、自然地理与地球化学研究，瑞典比较侧重于自然地理学研究，法国比较侧重于海洋大气科学研究。中国在北极研究以海洋学和地质学为主，其次为自然地理与环境生态学。

从主要发文期刊来看(表 4)，《Geophysical Research Letters》、《Journal of Geophysical Research-Oceans》、《Polar Biology》、《Deep-Sea Res Part II-Top Stud Oceanography》、《Quaternary Science Reviews》与《Oceanology》等刊物上发表了大量北极海洋研究论文，这些期刊多属于 JCR1 区和 2 区，可见该领域的

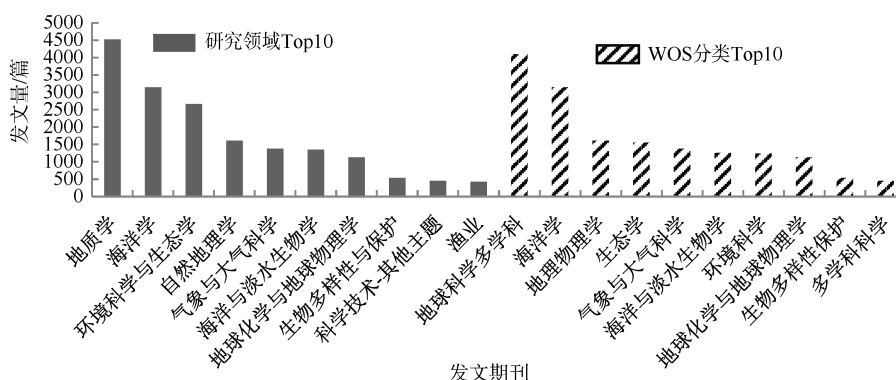


图 9 文章所属研究领域与 WOS 分类(Top10)

Fig. 9 Research Areas and Web of Science classifications of all papers (top 10)

表 4 Top10 期刊发文量与领域影响一览表

Tab. 4 Article number, area and ranking of the top 10 journals

期刊	发文量	影响因子	分区排名
Geophys. Res. Lett.	636	4.339	GEOSCIENCES, MULTIDISCIPLINARY 11/189 Q1
J. Geophys. Res.-Oceans	603	2.711	OCEANOGRAPHY 11/64 Q1
Polar Biol.	451	1.954	BIODIVERSITY CONSERVATION 26/55 Q2 ECOLOGY 88/158 Q3
Deep-Sea Res. Part II-Top. Stud. Oceanogr.	315	2.451	OCEANOGRAPHY 13/64 Q1
Quat. Sci. Rev.	255	4.334	GEOGRAPHY, PHYSICAL 5/49 Q1 GEOSCIENCES, MULTIDISCIPLINARY 12/189 Q1
Oceanology	251	0.597	OCEANOGRAPHY 55/64 Q4
J. Geophys. Res.-Atmos. Cryosphere	246	3.38	METEOROLOGY & ATMOSPHERIC SCIENCES 18/86 Q1
	243	4.524	GEOGRAPHY, PHYSICAL 4/49 Q1 GEOSCIENCES, MULTIDISCIPLINARY 8/189 Q1
Polar Res.	225	1.5	ECOLOGY 107/158 Q3 GEOSCIENCES, MULTIDISCIPLINARY 124/189 Q3 OCEANOGRAPHY 40/64 Q3
J. Glaciol.	211	3.2	GEOGRAPHY, PHYSICAL 14/49 Q2 GEOSCIENCES, MULTIDISCIPLINARY 42/189 Q1

注：下划线标记为各指标中排名靠前的数据

整体论文质量较高, 相关研究已经比较成熟。从所属的分区领域来看, 这些期刊主要属于地学领域和海洋学领域, 另外还有少量属于生物多样性与生态学、自然地理学和气象学与大气科学领域。

从高频作者关键词(论文中使用频次较高的作者关键词)来看, 北极海洋研究的热门地域为格陵兰、北冰洋、斯瓦尔巴、巴伦支海、白令海、楚科奇海、波弗特海和白海。冰盖、海冰、冰芯、冰川等是最主要的研究对象, 其次是沉积物、同位素、碳、汞、铅、重金属、硝酸盐、叶绿素、二氧化碳等微量元素、污染物成分、生物营养成分以及海水化学成分。第三类研究对象是北极熊、北极狐、环斑海豹、弓头鲸等大型北极生物和哺乳动物, 毛鳞鱼与鳕鱼等北极鱼类物种, 浮游生物、硅藻、冰藻、有孔虫、底栖生物、桡足类等微、小型生物及其化石。从关键词体现的研究方向来看, 全球变暖与气候变化、二氧化碳吸收与循环、冰川消融与季节动荡、海面温度与海平面变化、冰-海相互作用、温盐变化与时空变率、淡水起源与输送路径等物理海洋学研究是最主要的研究方向, 其次是北极海洋生物的食物网结构、饲养捕食习性、种群分布与丰度变化、多样性保护与恢复、新物种发现与分类等海洋生物方面的研究。当然, 北极海域地壳结构、地质年代变化以及古海洋学与古气候探讨也是一大研究方向。从方法性词汇来看, 北极海洋科学研究主要涉及的研究方法包括古海洋学、同位素示踪、海洋与气候模拟、卫星遥

感与传感器技术、生物地球化学、生物地理学、航测技术、地质年代学、水文学和形态学等。

从关键词共现网络来看(图 10), 北极当然是共现网络的中心, 次中心是海冰、格陵兰、北冰洋和全新世等词汇。此外, 白令海、波福特海、斯瓦尔巴等地域词汇和气候变化、温度、北极熊、生物量和浮游生物等词汇还是关键词网络的桥梁词汇, 在各类研究中起到衔接作用。从标题与摘要关键词聚类来看(图 11), 北极海洋科学研究主要有四个大类: ①红色聚类为物理海洋类词汇, 包括格陵兰冰架、海冰、冰流、融化、冰消、循环、变暖、季风、通量、热量、质量平衡等; ②蓝色聚类为海洋地质类词汇, 包括沉积、西格陵兰、海平面、记录、地壳、岩石、岩心、大陆架边缘、历史、年龄、层序等词汇; ③绿色聚类为海洋生物类词汇, 包括物种、栖息地、海湾、数量、丰度、规模、样本、标本、生物质、生物量、多样性、新物种、种群、饮食、性别、鱼类、动物、鸟类等; ④蓝色聚类为海洋生态类词汇, 主要有深层水、表层水、水深、盐度、有机碳、碳、甲烷等词汇, 这一聚类相对分散, 比其他聚类交叉性较大, 这与海洋生态学研究涉及多学科科学的实际相符。

通过分析被引频次较多的高被引论文, 以及经典的综述性文章, 我们可以得出北极海洋科学领域的主要研究内容。经过总结发现, 高被引论文和综述论文中绝大多数文章都是涉及冰川气候、冰盖体积

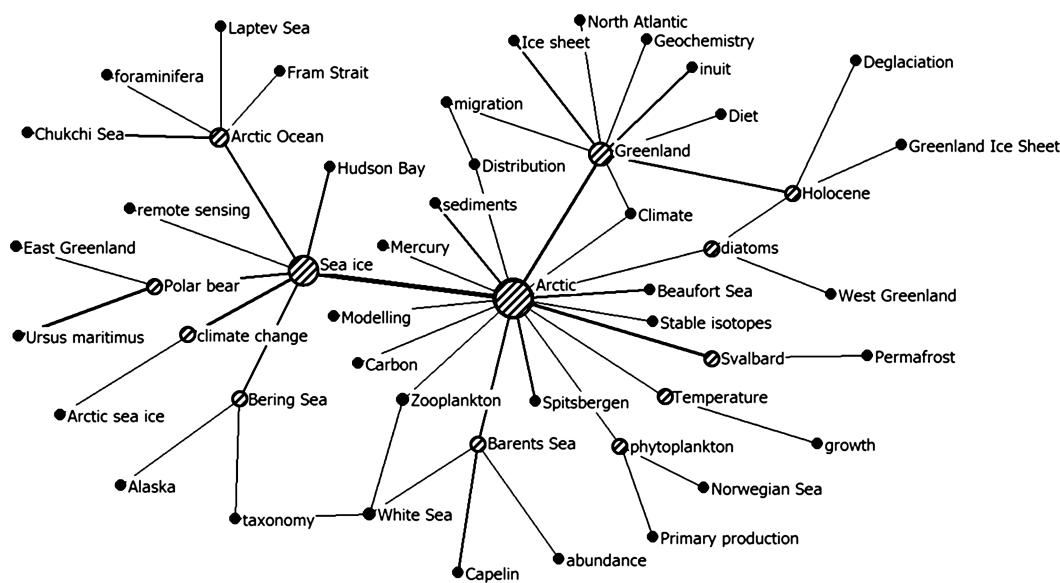


图 10 Top50 作者关键词共线网络图

Fig. 10 Cooperation network of the top 50 author keywords

注: 斜杠填充点为合作网络中心及次中心

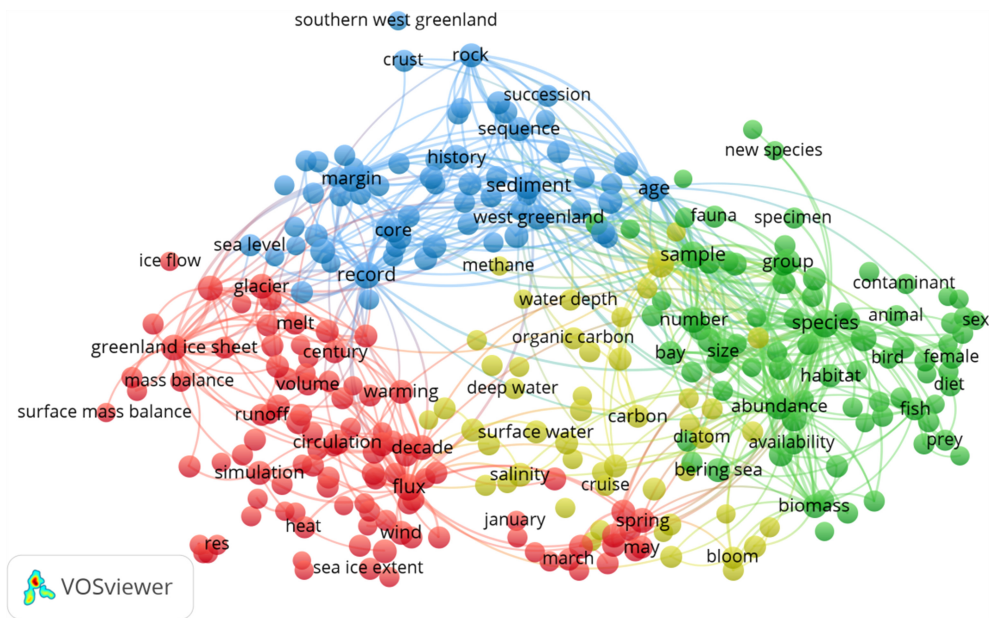


图 11 Top100 标题与摘要关键词聚类图
Fig. 11 Clustering diagram of the top 100 title and abstract keywords

结构变化、温度变化与海平面上升、海洋水文、洋流与季节振荡的研究。如 Rignot 和 Kanagaratnam 等^[20]利用格陵兰的卫星雷达干涉测量观测，在 1996~2000 年间检测到北纬 66 度以下广泛的冰川加速度，以此分析格陵兰冰盖的速度结构变化；Comiso 等^[21]根据卫星数据揭示的 2007 年夏季北极海冰覆盖率异常低的情况，分析了北极海域冰盖的加速下降；Rignot 等^[22]又提出了过去 20 年来格陵兰和南极冰盖质量平衡的一致记录，并通过过去 8 年中两种独立技术的比较得到验证，从而指出格陵兰和南极冰盖消融加速对海平面上升的贡献。

第二个方面有涉及古代地层结构、岩石成分、地球化学方面的研究。如 Bjorck 等^[23]基于冰芯的氧同位素记录提出了北大西洋地区跨越时间间隔的新事件地层学；Gudlaugsson 等^[24]根据多个地震反射剖面区域网格记录的巴伦支海西南部晚古生代结构和构造发育，研究了形成于石炭纪中期的一个 300 公里宽的裂谷带，是格陵兰岛与挪威之间东北大西洋裂谷的直接延续，也建立了与北极裂谷的从属构造联系；Rosing 等^[25]研究了 3700 万年前来自格陵兰西部海底浊积岩和浮游沉积岩中的碳同位素比值。

第三个方面就是关于北极地区海洋生态系统，以及藻类、鱼类及其他浮游生物的物种特性与环境变化研究。例如 Hop 等^[26-27]分别综述分析了弗拉姆海峡到斯瓦尔巴群岛孔斯峡湾的海洋生态系统和浮

游生物物理、生理特征；Carmack 和 Macdonald^[28]采用自上而下的传统方法研究分析了波弗特海的物理与地球化学环境，从而为保护该海域生物多样性提供参考；Grebmeier 等^[29]探讨了白令海北部主要生态系统的转变，并指出北白令海生态系统正在摆脱其原有的系统特征，且生物群落的变化与区域大气和水文强迫的变化同时发生，海洋哺乳动物种群分布的地理位移与海冰减少相吻合；Wassmann 等^[30]描述和量化了巴伦支海的关键生态系统组分和基本食物网结构，探讨了食物网与碳通量之间的关系，以及浮游动物和远洋鱼类对生态系统能量的有效转移。

(2) 近 10 年研究热点分析

从近 10 年发表的论文集合中，筛选出高被引、高影响因子、近 5 年高引用、高使用文章，可以分析出北极海洋科学领域的热点研究方向。首先，物理海洋与海洋地质领域针对海冰消融与北极冰川变化的研究仍然占主导，但不同于前些年科研人员对古气候变化的热衷，近 10 年的研究更多倾向于最近几年冰川体积的减小和冰盖厚度的变薄。例如，Pritchard 等通过使用高分辨率的冰、云和陆地高程卫星(ice, cloud, and land elevation satellite, ICESat)激光测高法来绘制沿格陵兰和南极冰盖的整个地面边缘变化，以解决此前重复卫星测高观测无法监测大多数快速流动的沿海冰川问题^[31]；采用 GRACE(Gravity Recovery and Climate Experiment)卫星重力观测验证的

质量预算进行计算, van den Broeke 等^[32]量化了最近格陵兰岛质量损失的各个组成部分,证实了冰盖融化微小的年度变化情况; Boe 等^[33]通过分析 18 个现有气候模型中过去海冰覆盖的模拟趋势,发现每年 9 月份海冰覆盖的模拟演变与过去变化趋势之间存在直接关系,由此指出在未来温室气体排放量中等的情况下,北冰洋可能在 21 世纪末之前的每年 9 月呈现无冰状态。

除了研究冰层变化外,格陵兰溢出冰川的动态变化与季节振荡也是研究的一个热点。例如 Bartholomew 等^[34]的研究展示了通过全球定位系统接收器获得的格陵兰冰盖西缘冰川运动数据,结果显示夏季冰速大幅增加,比冬季背景值高出 220%。这些加速活动在整个夏季过程中将冰川向上迁移,海冰融化和冰运动之间的关系随季节和站点而变化; Nick 等^[35]提出了一个数值冰流模型,再现了格陵兰最大的溢出冰川之一——黑尔黑姆冰川(Helheim Glacier)的显著变化; 2013 年, Nick 等^[36]又提出了一个冰川流动模型(包含对冰川最终海洋目的地的全动态处理),并使用这个模型模拟了四个主要海洋溢出冰川的流动行为。物理海洋领域针对北极地区淡水通量与输送路径的研究也是近 10 年的热点之一。例如 Morison 等^[37]通过分析海面高度和海底压力的卫星观测数据表明,在 2005~2008 年冰层范围减少期间,北冰洋主要的淡水含量变化其实是加拿大盆地淡水增加与欧亚盆地淡水减少之间的平衡变化; Giles 等^[38]使用 1995~2010 年的连续卫星测量结果分析得出,与北极西部波弗特环流相关的海平面高度穹丘已经变得陡峭,表明了西部北冰洋淡水储存量因风力驱动的波弗特环流发生旋转而增加。

在海洋生物领域,针对北极微生物与藻类的研究内容仍然是该领域的最大热点。例如 Holmes 等^[39]研究了来自六条北极河流的样本中溶解有机碳、溶解有机氮、总溶解磷、溶解无机氮、硝酸盐和二氧化硅的通量,首次在泛北极尺度上使用一致的采样和分析方法确定季节和年度成分通量,显示出河流中成分浓度和通量的强烈季节性变化以及河流之间的巨大差异,从而提供了从陆地到北冰洋和周围海域的成分通量最佳可用估值; Boetius 等^[40]在 2012 年夏季航次中观察到冰藻生物质以平均每平方米 9 克碳的含量广泛沉积到北极中央盆地的深海底层,这一研究数据将有助于评估当前气候变化对北极生产力、生物多样性和生态功能的影响。

其次,受全球变暖与二氧化碳排放增多的影响,针对北极海洋二氧化碳吸收与海洋酸化问题的研究也是该领域的热点方向。例如, Yamamoto-Kawai 等^[41]研究发现文石的不饱和是近期加拿大盆地海冰融化的直接后果,这种海洋酸化的不饱和状态将影响浮游和底栖钙化生物群,从而影响北极生态系统的组成; Cai 等^[42]报告了加拿大盆地海面二氧化碳浓度的高分辨率调查结果,并预测北冰洋盆地在无冰条件下不会吸收大量的大气二氧化碳。

(3) 近 5 年研究前沿分析

根据影响因子、近 3 年高被引频次和近 180 天高使用频次,我们可以从近 5 年发表的文章中筛选出具有代表性的前沿研究主题。北极海洋科学近 5 年的研究热点没有发生太大的变化,全球变暖与北极冰川消融仍然是不变的核心主题,除此以外还有一些关于其他主题的前沿成果。

首先在海洋生物领域,针对北极熊种群动态、饮食特性、健康状况的研究明显增多。例如 Peacock 等^[43]分析了戴维斯海峡北极熊亚种群(*Ursus maritimus*) 35 年的捕获和收益数据,以量化其当前的种群数量统计数据; Bromaghin 等^[44]使用标记-再重新捕获模型来调查 2001~2010 年南部波弗特海北极熊的种群动态,并表明海冰以外的因素可以影响其生存; Rogers 等^[45]研究并绘制了阿拉斯加南部波弗特海成年雌性北极熊五种组织的碳、氮稳定同位素谱,以评估组织间的同位素变异性,并确定该群体中是否发生任何饮食变化。

除了北极熊研究外,关于浮游生物、溶解有机碳、甲烷产量与泄漏以及海水铁源等方面也有一些新的前沿研究。例如, Horvat 等^[46]调查了过去 30 年来楚科奇海冰覆盖区域大型浮游植物藻华发生的时间、频率和演变,通过模拟表明最近北极海冰变薄是导致亚冰层光照普遍增加的主要原因,所以气候变化可能对北冰洋的生态系统产生影响; Musilova 等^[47]同时测量了整个消融季节的总初级生产力、群落呼吸、溶解有机碳成分以及格陵兰冰盖不同表层生境的输出变化情况,研究发现微生物生产与冰川表层融水中不稳定溶解有机物的浓度之间有着显著的相关性; Berndt 等^[48]证实了水合物在天然气渗漏中发挥作用,并表明斯瓦尔巴特群岛的渗漏已经持续了至少 3 000a,其底水温度存在 1~2℃的季节性波动,导致了天然气水合物的形成和解离出现周期性变化,从而在观察点出现渗漏; Bhatia 等^[49]提供了格

陵兰冰盖西南边缘冰川融水中溶解铁和悬浮铁微粒浓度的测量结果, 并认为冰川径流是周围海岸带生物可利用铁的重要来源, 且随着气候变暖导致格陵兰冰盖融化程度升级, 冰川径流也可能会增加。

在物理海洋领域, 针对北极深海峡谷与环流系统的研究具有代表性和前沿性。例如, Morlighem 等^[50]通过质量守恒优化方案将来自机载雷达探测的稀疏冰厚数据与卫星导出的高分辨率冰运动数据相结合, 以前所未有的空间细节和精度来推断格陵兰冰盖整个周边的冰厚度和地形, 以此了解格陵兰冰盖下方的海底冰川峡谷; Sévellec 等^[51]使用最优通量扰动框架和综合气候模型来估计大西洋经向翻转环流对北极和全球热力强迫的敏感性以及对普遍性海冰融化的敏感性研究发现, 在十年时间尺度上, 副极地北大西洋上的通量异常对翻转环流的影响最大, 而在多年代时间尺度上北极的通量异常变得更加重要。

在海洋生态领域, 随着各国越来越重视北极环境治理问题, 一些关于北极海冰中微型物料残留物、北极生物受污染物的影响、北极环境监测以及北极酸化问题等受到了科研人员更多的关注。例如, Obbard 等^[52]研究指出偏远地区北极海冰的微塑料浓度比在高污染地表水中的微塑料浓度高出几个数量级, 研究结果表明微塑料已远离人口中心积累, 需要评估大量传统微塑料污染物在海冰融化时释放到海洋的可能性, 以及塑料对海洋生物的物理和毒理学影响; Cózar 等^[53]广泛采样研究了北极海冰中悬浮的塑料碎片, 并通过模型研究表明热盐环流的极向分支将漂浮的碎片从北大西洋转移到格陵兰和巴伦支海, 这对于这条塑料输送带来说将是一个死胡同; Overeem 等^[54]通过校准卫星图像估算了格陵兰岛 160 条预设河流的悬浮泥沙浓度, 并将这些悬浮沉积物的重建与融水径流的数值计算相结合, 从而量化了冰盖融化输出的沉积物数量和空间模式, 研究表明未来加速融化和冰盖流动可能会增加从格陵兰岛到其峡湾和附近海洋的泥沙输送; Qi 等^[55]研究表明北冰洋的酸化速度比太平洋和大西洋更为迅速, 在上层能够直接观察到“酸化”水的大规模扩张。

3 总结与展望

3.1 研究态势分析与总结

通过计量分析发现, 全球在北极海洋科学领域的研究一直保持着稳步发展态势, 且发展速度有着

明显加快的趋势, 近 5 年的发文已经达到了翻一番的增长量, 年均发文超过了 689 篇。从国家角度来看, 环北极八国在该领域的发文占据明显优势, 美国在该领域的研究遥遥领先于其他国家, 其次是挪威、丹麦、加拿大、英国、德国和俄罗斯。美国在总被引、均被引和高被引方面均表现优异, 但近 3 年发文占比和文章引用率不算理想, 这与其在该领域的研究历史长、研究体量大有关。挪威、丹麦和加拿大虽然在该领域拥有较大的研究体量和高质量的研究积累, 但其整体文章质量不均衡, 且近几年的发展相对缓慢。英国和德国在该领域的研究发展处于稳定状态, 除了最新发文外, 其他指标均表现良好。瑞典和法国属于研究体量较小, 但论文质量较高的国家。中国、波兰、格陵兰与荷兰是该领域的后起之秀, 近 3 年的发文较多, 但还需要慢慢积累优秀成果, 而荷兰在该领域已经站稳脚跟。从合作角度来看, 美国同样是优势明显的中心国家, 挪威、丹麦和英国的国际合作同样频繁。“一带一路”国家中, 俄罗斯、中国、奥地利和南非发挥了良好的合作效用。

从机构角度来看, 美国与挪威机构居多, 其次是加拿大、德国和丹麦机构。俄罗斯科学院的各类发文均位居第一, 德国极地与海洋研究所、丹麦 & 格陵兰地质调查机构、第一作者发文占比较高, 丹麦 & 格陵兰地质调查机构的通讯作者发文占比也位于前列。挪威海洋研究所虽然发文量不算多, 但第一作者与通讯作者占比较高。从历年发文来看, 挪威极地研究所与奥斯陆大学早年发文较多, 美国国家海洋与大气局、奥胡斯大学与加州大学系统近年发文较多, 加拿大渔业与海洋局则在中间阶段发文多, 近些年有所下降。机构影响力方面, 俄罗斯科学院的发文量与被引情况不成正比, 影响力方面较其他机构稍弱。哥本哈根大学、德国极地与海洋研究所、华盛顿大学则是该领域影响力较大的机构, 各类指标均表现突出。科罗拉多大学虽然发文不多, 但篇均被引和高被引较好。奥胡斯大学、斯瓦尔巴大学中心和伍兹霍尔海洋研究所则是在近 3 年更侧重于北极海洋研究。美国国家海洋与大气管理局、德国极地与海洋研究所、科罗拉多大学与哥本哈根大学是北极海洋研究领域较活跃的国际合作对象, 挪威海洋研究所与丹麦奥胡斯大学虽然有一定研究实力, 但与其他科研大国之间的合作稍弱。

从研究方向来看, 全球北极海洋科学研究主要涉及地质学、海洋学、环境生态学、自然地理学、

地球化学与地球物理学以及气象学与大气科学等领域。从关键词聚类来看, 北极海洋科学研究主要以物理海洋性研究为主, 其次是海洋地质学、海洋生物学与海洋生态学研究。从高频作者关键词来看, 格陵兰、北冰洋、斯瓦尔巴、巴伦支海、白令海、楚科奇海、波弗特海和白海是较热门的研究区域。而全球北极海洋科学研究主要方向为: ①热门海区全球变暖与气候变化、二氧化碳吸收与循环、冰川消融与季节动荡、海面温度与海平面变化、冰-海相互作用、温盐变化与时空变率、淡水起源与输送路径; ②海洋生态系统与海水中的微量元素、污染物成分、生物营养成分以及其他化学成分; ③大型北极生物和哺乳动物、鱼类物种与小型浮游生物的食物网结构、饲养捕食习性、种群分布与丰度变化、多样性保护与恢复、新物种发现与分类; ④北极海域的地壳结构、地质年代变化以及古海洋学与古气候。从代表性高被引论文来看, 该领域的全球研究主要有 3 个方向: ①北极冰川气候、冰盖体积结构变化、温度变化与海平面上升、海洋水文、洋流与季节振荡; ②北极古代地层结构、岩石成分、地球化学方面; ③北极地区海洋生态系统, 以及浮游生物、藻类鱼类的物种特性与环境变化。

从近 10 年的代表性热点文献来看, 物理海洋与生物生态领域的研究比较热门, 全球北极海洋科学研究仍旧以海冰消融与北极冰川变化研究为主导。物理海洋方面, 冰川体积减小和冰盖厚度变薄更加受到重视, 针对格陵兰溢出冰川的动态变化与季节振荡, 以及北极地区淡水通量与输送路径的研究成为一大热点。生物生态方面, 学者们开始进一步探讨北极微生物与藻类的生态系统结构与营养物质变化, 而北极海洋二氧化碳吸收与海洋酸化问题的研究也是该领域的热点方向。

从近 5 年的代表性前沿文献来看, 针对北极熊种群动态、饮食特性、健康状况的研究明显增多。另外, 针对浮游生物、溶解有机碳、甲烷产量与泄漏以及海水铁源等方面的研究有了新的发现, 对于北极深海峡谷与环流系统的研究也有了新的认识。由于近年各国增加了对北极治理问题的重视, 国家上出现了不少针对北极海冰中微型物料遗留物、北极环流对塑料垃圾的输送、北极生物受污染物的影响、北极环境监测以及北极海域酸化等问题的前沿研究。

3.2 未来研究部署与展望

近年来, 世界各国对北极海洋研究进行了密集部署, 使北极持续成为海洋研究的焦点。从国际上来看, 各个国家在北极的海洋科学研究主要服务于本国参与北极事务、打通北极航线、开采北极自然资源、保护北极环境与生态系统、应对北极气候变化与全球影响方面的需求。从国内情况来看, 2013 年我国提出了“一带一路”的发展方针, 多数北极国家成为了我国全球发展战略的盟国。2017 年 7 月 3 日, 国家主席习近平与俄罗斯总统普京提出要开展北极航道合作, 共同打造“冰上丝绸之路”。2018 年中国又首次发布了《中国的北极政策》白皮书, 表明中国将进一步加强北极研究部署, 以拓展我国在北极地区的影响力。

中国在北极海洋领域的研究已经有所积累, 总发文量排名第 11 位, 近 3 年的最新发文比例颇高。但我国在该领域的优秀研究成果还不算突出, 国内研究力量也相对分散, 各机构在北极海洋方面的研究实力暂不能与国际领先机构匹敌。另外, 我国已经在北极研究的国际舞台上占据了一席之地, 国际合作方面也有了良好的局势。为了更好地服务于我国北极政策, 建议针对我国实际情况制定综合性的北极科研计划, 在国内科研机构之间开展跨机构、跨部门、跨领域的北极海洋研究, 在国外加强与环北极国家和“一带一路”国家的合作研究, 加大科研投入, 建设北极科考站与研究所, 进一步增加国际层面上的大型北极科考任务。在全球变暖的大趋势下, 我国应该更加关注北极气候变化与极端天气、冰川消融与海平面上升以及北极生态系统结构特征问题, 同时也要对北极海洋酸化与污染问题提高重视, 并开展更多的研究分析。

参考文献:

- [1] 刘昱彤. 奥巴马政府以来的美国北极战略研究[D]. 长春: 吉林大学, 2017.
Liu Yutong. Study on Arctic strategy of the United States from Obama administration[D]. Changchun: Jilin University, 2017.
- [2] 卢泽元. 俄罗斯北极战略研究[D]. 哈尔滨: 黑龙江大学, 2014.
Lu Zeyuan. Study on Arctic strategy of Russian[D]. Ha'erbin: Heilongjiang University, 2014.
- [3] 桂静. 加拿大北极应对策略评析[J]. 中国海洋大学学报(社会科学版), 2011(1): 10-14.

- Gui Jing. New Arctic strategies of Canada and its solutions[J]. *Journal of Ocean University of China(Social Sciences)*, 2011(1): 10-14.
- [4] 何剑锋, 张芳. 从北极国家的北极政策剖析北极科技发展趋势[J]. *极地研究*, 2012, 24(4): 408-414.
He Jianfeng, Zhang Fang. The development of Arctic science and technology based on the Arctic policies of Arctic nations[J]. *Chinese Journal of Polar Research*, 2012, 24(4): 408-414.
- [5] Shepherd A, Wingham D. Recent sea-level contributions of the Antarctic and Greenland ice sheets[J]. *Science*, 2007, 315(5818): 1529-1532.
- [6] Smedsrud L H, Esau I, Ingvaldsen R B, et al. The role of the Barents Sea in the Arctic climate system[J]. *Reviews of Geophysics*, 2013, 51: 415-449.
- [7] Meier W N, Hovelsrud G K, van Oort B E H, et al. Arctic sea ice in transformation: A review of recent observed changes and impacts on biology and human activity [J]. *Reviews of Geophysics*, 2014, 52: 185-217.
- [8] Khan S A, Aschwanden A, Bjørk A A, et al. Greenland ice sheet mass balance: a review[J]. *Reports on Progress in Physics*, 2015, 78(4): 046801.
- [9] 曹勇, 赵进平. 2011-2014 年中国北极物理海洋学的研究进展[J]. *海洋学报*, 2015, 37(11): 1-10.
Cao Yong, Zhao Jinping. Progress in Arctic physical oceanography in China during 2011-2014[J]. *acta Oceanologica Sinica*, 2015, 37(11): 1-10.
- [10] 华薇娜, 张洁, 刘芳, 等. 美国 WoS 数据库收录的中国南北极研究论文的调研与分析[J]. *极地研究*, 2009, 21(2): 124-140.
Hua Weina, Zhang Jie, Liu Fang, et al. A bibliometric study on polar research articles participated by Chinese scholars covered in WOS. *Advances in Polar Science*, 2009, 21(2): 124-140.
- [11] Hua Weina, Yuan Shunbo, Yan Miaomiao, et al. A quantitative analysis of Arctic related articles in the humanities and social sciences appearing in the world core journals[J]. *Scientometrics*, 2012, 91: 703-718.
- [12] 皇甫青红, 华薇娜. 美加两国北极主题博士论文的调研与分析[J]. *极地研究*, 2012, 24(3): 307-314.
Huangfu Qinghong, Hua Weina. Bibliometric study of dissertations on the theme of the Arctic in the USA & Canada. *Advances in Polar Science*, 2012, 24(3): 307-314.
- [13] 刘爱原, 林荣澄, 郭玉清. 全球北极底栖生物研究文献计量分析[J]. *生态学报*, 2015, 35(9): 2789-2799.
Liu Aiyuan, Lin Rongcheng, Guo Yuqing. A bibliometric study of the arctic benthos in world. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(9): 2789- 2799.
- [14] 牛艺博, 张树良, 赵纪东, 等. 2010-2016 年国际极地研究综合评价分析[J]. *冰川冻土*, 2017, 39(5): 1039-1046.
Niu Yibo, Zhang Shuliang, Zhao Jidong, et al. Comprehensive evaluation and analysis of the international polar research from 2010 to 2016[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2017, 39(5): 1039-1046.
- [15] 邱均平. 关于“文献计量学”术语及其定义[J]. *图书情报知识*, 1985(3): 22-25.
Qiu Junping. Terms and definitions of “bibliometrics”[J]. *Document, Informaiton & Knowledge*, 1985(3): 22-25.
- [16] 王倩. 对引文分析法在图书馆学情报学中应用的分析和再思考[J]. *科技情报开发与经济*, 2011, 21(26): 8-11.
Wang Qian. Analysis on and reconsideration about the application of citation analysis method in library science and information science[J]. *Sci-Tech Information Development & Economy*, 2011, 21(26): 8-11.
- [17] 科睿唯安. 德温特数据分析软件[DB/OL]. <https://clarivate.com.cn/products/derwent-data-analyzer/>, [2018-08-15].
Clarivate Analytics. Derwent Data Analysis Software [DB/OL]. <https://clarivate.com.cn/products/derwent-data-analyzer/>, [2018-08-15].
- [18] 邓君, 马晓君, 毕强. 社会网络分析工具 Ucinet 和 Gephi 的比较研究[J]. *情报理论与实践*, 2014, 37(8): 133-138.
Deng Jun, Ma Xiaojun, Bi Qiang. A comparative study of social network analysis tools Ucinet and Gephi[J]. *Information studies: Theory & Application*, 2014, 37(8): 133-138.
- [19] 周晓分, 黄国彬, 白雅楠. 科学计量可视化软件的对比与数据预处理研究[J]. *图书情报工作*, 2013, 57(23): 64-72.
Zhou Xiaofen, Huang Guobin, Bai Yanan. Comparison between scientific visualization metrology software and the data pretreatment[J]. *Library and Information Service*, 2013, 57(23): 64-72.
- [20] Rignot E, Kanagaratnam P. Changes in the velocity structure of the Greenland Ice Sheet[J]. *Science*, 2006, 311(5763): 986-990.
- [21] Comiso J C, Parkinson C L, Gersten R, et al. Accelerated decline in the Arctic sea ice cover[J]. *Geophysical Research Letters*, 2008, 35(1): 179-210.
- [22] Rignot E, Velicogna I, van den Broeke M R, et al. Acceleration of the contribution of the Greenland and Antarctic ice sheets to sea level rise[J]. *Geophysical Research Letters*, 2011, 38(5).
- [23] Björck S, Walker M J C, Cwynar L C, et al. An event stratigraphy for the Last Termination in the North Atlantic region based on the Greenland ice-core record: a proposal by the INTIMATE group[J]. *Journal of Quaternary Science: Published for the Quaternary Research*

- Association, 1998, 13(4): 283-292.
- [24] Gudlaugsson S T, Faleide J I, Johansen S E, et al. Late Palaeozoic structural development of the south-western Barents Sea[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 1998, 15(1): 73-102.
- [25] Rosing M T. ^{13}C -depleted carbon microparticles in >3700-Ma sea-floor sedimentary rocks from West Greenland[J]. *Science*, 1999, 283(5402): 674-676.
- [26] Hop H, Pearson T, Hegseth E N, et al. The marine ecosystem of Kongsfjorden, Svalbard[J]. *Polar Research*, 2002, 21(1): 167-208.
- [27] Hop H, Falk-Petersen S, Svendsen H, et al. Physical and biological characteristics of the pelagic system across Fram Strait to Kongsfjorden[J]. *Progress in Oceanography*, 2006, 71(2-4): 182-231.
- [28] Carmack E C, Macdonald R W. Oceanography of the Canadian Shelf of the Beaufort Sea: a setting for marine life[J]. *Arctic*, 2002: 29-45.
- [29] Grebmeier J M, Overland J E, Moore S E, et al. A major ecosystem shift in the northern Bering Sea[J]. *Science*, 2006, 311(5766): 1461-1464.
- [30] Wassmann P, Reigstad M, Haug T, et al. Food webs and carbon flux in the Barents Sea[J]. *Progress in Oceanography*, 2006, 71(2-4): 232-287.
- [31] Pritchard H D, Arthern R J, Vaughan D G, et al. Extensive dynamic thinning on the margins of the Greenland and Antarctic ice sheets[J]. *Nature*, 2009, 461(7266): 971.
- [32] van den Broeke M, Bamber J, Ettema J, et al. Partitioning recent Greenland mass loss[J]. *science*, 2009, 326(5955): 984-986.
- [33] Boé J, Hall A, Qu X. September sea-ice cover in the Arctic Ocean projected to vanish by 2100[J]. *Nature Geoscience*, 2009, 2(5): 341.
- [34] Bartholomew I, Nienow P, Mair D, et al. Seasonal evolution of subglacial drainage and acceleration in a Greenland outlet glacier[J]. *Nature Geoscience*, 2010, 3(6): 408.
- [35] Nick F M, Vieli A, Howat I M, et al. Large-scale changes in Greenland outlet glacier dynamics triggered at the terminus[J]. *Nature Geoscience*, 2009, 2(2): 110.
- [36] Nick F M, Vieli A, Andersen M L, et al. Future sea-level rise from Greenland's main outlet glaciers in a warming climate[J]. *Nature*, 2013, 497(7448): 235.
- [37] Morison J, Kwok R, Peralta-Ferriz C, et al. Changing arctic ocean freshwater pathways[J]. *Nature*, 2012, 481(7379): 66.
- [38] Giles K A, Laxon S W, Ridout A L, et al. Western Arctic Ocean freshwater storage increased by wind-driven spin-up of the Beaufort Gyre[J]. *Nature Geoscience*, 2012, 5(3): 194.
- [39] Holmes R M, McClelland J W, Peterson B J, et al. Seasonal and annual fluxes of nutrients and organic matter from large rivers to the Arctic Ocean and surrounding seas[J]. *Estuaries and Coasts*, 2012, 35(2): 369-382.
- [40] Boetius A, Albrecht S, Bakker K, et al. Export of algal biomass from the melting Arctic sea ice[J]. *Science*, 2013, 339(6126): 1430-1432.
- [41] Yamamoto-Kawai M, McLaughlin F A, Carmack E C, et al. Aragonite undersaturation in the Arctic Ocean: effects of ocean acidification and sea ice melt[J]. *Science*, 2009, 326(5956): 1098-1100.
- [42] Cai W J, Chen L, Chen B, et al. Decrease in the CO_2 uptake capacity in an ice-free Arctic Ocean basin[J]. *Science*, 2010: 1189338.
- [43] Peacock E, Taylor M K, Laake J, et al. Population ecology of polar bears in Davis Strait, Canada and Greenland[J]. *The Journal of Wildlife Management*, 2013, 77(3): 463-476.
- [44] Bromaghin J F, McDonald T L, Stirling I, et al. Polar bear population dynamics in the southern Beaufort Sea during a period of sea ice decline[J]. *Ecological Applications*, 2015, 25(3): 634-651.
- [45] Rogers M C, Peacock E, Simac K, et al. Diet of female polar bears in the southern Beaufort Sea of Alaska: evidence for an emerging alternative foraging strategy in response to environmental change[J]. *Polar Biology*, 2015, 38(7): 1035-1047.
- [46] Horvat C, Jones D R, Iams S, et al. The frequency and extent of sub-ice phytoplankton blooms in the Arctic Ocean[J]. *Science advances*, 2017, 3(3): e1601191.
- [47] Musilova M, Tranter M, Wadham J, et al. Microbially driven export of labile organic carbon from the Greenland ice sheet[J]. *Nature Geoscience*, 2017, 10(5): 360.
- [48] Berndt C, Feseker T, Treude T, et al. Temporal constraints on hydrate-controlled methane seepage off Svalbard[J]. *Science*, 2014: 1246298.
- [49] Bhatia M P, Kujawinski E B, Das S B, et al. Greenland meltwater as a significant and potentially bioavailable source of iron to the ocean[J]. *Nature Geoscience*, 2013, 6(4): 274.
- [50] Morlighem M, Rignot E, Mouginot J, et al. Deeply incised submarine glacial valleys beneath the Greenland ice sheet[J]. *Nature Geoscience*, 2014, 7(6): ngeo2167.
- [51] Sévellec F, Fedorov A V, Liu W. Arctic sea-ice decline weakens the Atlantic Meridional Overturning Circulation[J]. *Nature Climate Change*, 2017, 7(8): 604.
- [52] Obbard R W, Sadri S, Wong Y Q, et al. Global warming releases microplastic legacy frozen in Arctic Sea ice[J]. *Earth's Future*, 2014, 2(6): 315-320.
- [53] Cózar A, Martí E, Duarte C M, et al. The Arctic Ocean as a dead end for floating plastics in the North Atlantic branch of the Thermohaline Circulation[J]. *Science*

advances, 2017, 3(4): e1600582.

[54] Overeem I, Hudson B D, Syvitski J P M, et al. Substantial export of suspended sediment to the global oceans from glacial erosion in Greenland[J]. Nature Geo-

science, 2017, 10(11): ngeo3046.

[55] Qi D, Chen L, Chen B, et al. Increase in acidifying water in the western Arctic Ocean[J]. Nature Climate Change, 2017, 7(3): 195.

Bibliometric analysis and development trends of global Arctic marine scientific research

YU Wei-ying, WANG Lin, FENG Zhi-gang, ZHANG Can-ying

(Documentation and Information Center, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China)

Received: Sep. 3, 2018

Key words: Arctic; marine science; strategic plans; bibliometric analysis; development trends

Abstract: The Arctic is a remarkable location that has strategic value, and is the area that is most sensitive to global warming. A series of policies and plans for the Arctic region has been proposed, and considerable marine scientific research has been conducted in this region through the years. On the basis of the 1998~2017 Science Citation Index Expanded articles included in the Web of Science database, the overall situation and hot spot frontiers of 13, 784 Arctic marine scientific research papers were analyzed using the methods and tools of bibliometric and citation analyzes. Results show that: (1) the global Arctic Ocean scientific research has an accelerating growth trend. Publications in the past 5 years have doubled, with an average of 689 articles per year. (2) The eight countries around the Arctic are the main research forces in this field. The United States is well ahead of other countries. Meanwhile, Norway and Denmark have extensive research foundations; however, their development speed in recent years has been relatively slow. The UK and Germany are the major non-Arctic research countries. Research papers from Sweden and France have a balanced quality. China, Poland, Greenland, and Netherlands are the rising stars in this field. (3) The Russian Academy of Sciences has published the most articles among all institutions. However, the quality of the articles varies. The Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research, the Geological Survey of Denmark and Greenland, and the Norwegian Institute of Oceanography have a high proportion of papers published as the first or corresponding author. Meanwhile, the University of Copenhagen, the Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research, and the University of Washington have a high scientific research influence in the field. (4) The global marine scientific research is mainly involved in areas such as geology, oceanography, environmental sciences and ecology, physical geography, geochemistry and geophysics, and meteorology and atmospheric sciences. The research hot spots include Arctic climate change and extreme weather, glacial ablation and sea level rise, system characteristics of Arctic ecology, Arctic Ocean acidification, and pollution prevention. On the basis of China's strategic policy on the Arctic region, a comprehensive Arctic research plan for China's own situation should be developed and cross-departmental and interdisciplinary research cooperation among research institutions should be considered. Moreover, cooperation with Arctic and "Belt and Road" countries should be strengthened, investment in scientific research on the Arctic Ocean should be increased, and scientific research activities should be conducted on an international scale.

(本文编辑: 罗 璇 丛培秀)