

基于 Bibexcel 和 Pajek 的海洋生态环境保护领域科学计量与知识图谱分析

尹希刚^{1,2}, 吕 阳², 沙忠利³

(1. 中国海洋大学 环境科学与工程学院, 山东 青岛 266100; 2. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室 信息文献中心, 山东 青岛 266237; 3. 中国科学院海洋研究所, 山东 青岛 266071)

摘要: 利用文献处理工具 Bibexcel 和网络分析工具 Pajek 对 SCIE 和 SSCI 文献数据库 1990—2020 年全球海洋生态环境保护文献数据进行统计与可视化分析, 以期揭示该领域的科研产出情况、领域知识基础、研究热点分布及前瞻发展态势。研究结果表明: 海洋生态环境保护领域文献产出近 30 年来持续增长; 美国、澳大利亚、加拿大、法国等国家在该领域内有着较强的科研竞争力和学术影响力, 其中美国处于研究合作核心地位, 美国加利福尼亚大学、法国国家科研中心等机构为主要发文机构; 海洋生态环境保护研究的热点方向主要为海洋生态环境修复与管控、气候变化、生态系统服务、海洋保护区等; 该领域研究学科交融趋势明显, 研究者应充分借鉴、吸收其他学科理念和方法, 加强海洋生态环境与气候变化、人为活动及生态物种等因素的制衡与协同。

关键词: 生态环境; 可视化分析; 发展态势; 海洋保护区

中图分类号: F224.32; G250 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2020)08-0239-13
DOI: 10.11759/hyxx20200517001

世界海洋面积约为 3.6 亿平方公里, 占地球面积的 70.8%, 海水体积约为 13.7 亿立方公里, 海洋包围着陆地^[1]。海洋生态环境是海洋生物赖以生存与发展的根本保障, 正是海水的有机统一性及其流动交换等物理、化学、生物、地质的有机关联, 才使海洋的整体性和组成要素之间密切相关^[2]。随着全球气候变化以及人类对海洋资源过度开发利用, 海洋生态环境质量有所下降, 造成部分海洋生态功能缺失, 自然灾害频繁发生, 例如海上溢油、有害藻华等, 给人类的生产和生活带来巨大损失^[3]。全球海洋生态环境退化趋势不断加剧, 引起世界广泛关注, 海洋生态环境保护已经成为海洋学研究前沿和可持续发展战略的重要部分, 具有很大的研究价值。

1 研究方法 with 数据源

1.1 研究方法 with 工具

本文主要采用了文献计量与社会网络分析的方法。文献计量法是采用数理统计学方法来定量描述、评价和预测学术现状与发展趋势的分析方法^[4]。社会网络分析法是对社会网络中行为者之间关系的研究, 在知识挖掘与网络分析中获广泛应用。本文围绕海洋生态环境保护主题, 从文献计量与可视化角度,

揭示国际海洋生态环境保护研究领域发展态势。

本文所采用的分析工具为 Bibexcel、Pajek。Bibexcel 是由瑞典科学家欧莱·皮尔逊开发的一款用于数据清洗与文献计量的软件^[5]; Pajek 是由荷兰学者弗拉迪米尔·巴塔格列和安德里·穆瓦共同开发的专门用于处理大型数据集的知识网络分析软件^[6], 具有强大的数据可视化功能。

1.2 数据来源

本文研究数据取自于 Web of Science 核心合集集中的科学引文索引数据库(SCI-EXPANDED)和社会科学引文索引数据库(SSCI)。采用主题检索方式, 构建高级检索式 TS=((Ocean OR Sea OR Marine)AND (ecological environment OR ecological condition OR ecotope OR

收稿日期: 2020-05-17; 修回日期: 2020-07-05

基金项目: 中国特色海洋国家实验室发展研究项目(BTT-C201706); 健康海洋科学管理技术框架与发展战略研究项目(2018SDKJ0505-2)

[Foundation: Research project for the development of national marine laboratory with Chinese characteristics, No.BTT-C201706; Research project on technology framework and development strategy of healthy marine science management, No. 2018SDKJ0505-2]

作者简介: 尹希刚(1976-), 男, 山东青岛人, 硕士, 助理研究员, 研究方向为海洋科技战略、海洋发展规划, 电话: 0532-58719711, E-mail: xgyin@qnlm.ac; 吕阳, 通信作者, 电话: 0532-835917311, E-mail: ylv@qnlm.ac

eco-environment OR ecology environment OR ecology condition) AND(protect* OR preserv* OR conserve OR conserves OR conserving OR conservation OR conservations)), 文献类型为 Article、Proceedings Paper、Review, 时间跨度为 1990—2020 年, 数据库更新时间为 2020 年 3 月 2 日, 精炼后共检索到 3 860 篇文献。

2 研究总体趋势

近 30 年全球海洋生态环境保护领域发文量与被引

情况如图 1 所示。除 2000 年与 2004 年前后略呈“V”形回落外, 其他年份均呈稳步增长趋势, 最大年度发文量为 433 篇(2019 年), 占总发文量的 11.2%, 最大年度增长率达 0.64%(2002 年)。被引结果表明, 3 860 篇文章共被引用 113 052 次, 篇均被引 29.29 次, h 指数为 134。被引次数由 1990 年 0 次跃升至 2019 年 16 054 次, 随年度呈现逐步上升态势。从整体来看, 近 30 年海洋生态环境保护研究在全球范围内受到持续关注。

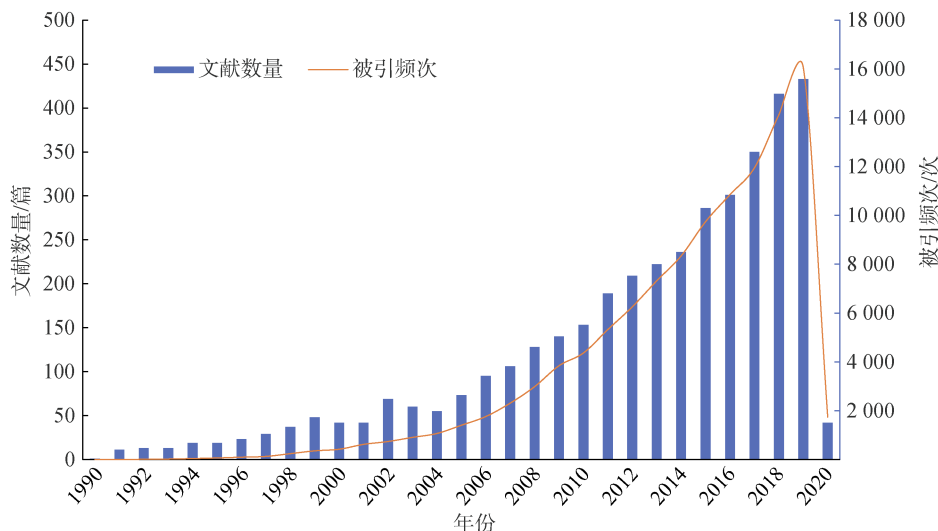


图 1 近 30 年海洋生态环境保护领域文献数量及被引频次年代分布

Fig. 1 The number and citation frequency of literatures in the field of marine ecological environment protection in recent 30 years

3 科研产出分析: 以发文量与被引为指标

3.1 国家层面科研产出分析

在 2015—2019 年, SCIE 和 SSCI 数据库中海洋生态

环境保护领域文献数量前 15 位的国家如图 2 所示。美国以 628 篇发文量位居全球第 1, 占这 5 年内发文总量的 35.2%, 平均每年产出 125 篇, 在该领域研究中占主导地位。此外, 英国、澳大利亚的科研产出量也较高。中国则以 158 篇发文量位居全球第 6, 5 年内平均发文 31 篇/年。

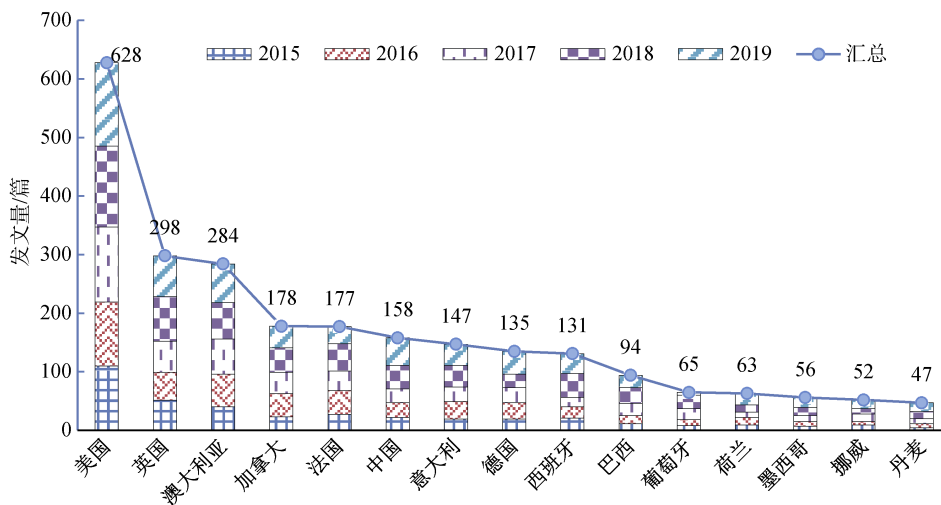


图 2 近 5 年发文量前 15 国家

Fig.2 Top 15 countries with publication volume in recent five years

在 1990—2020 年该领域发文总量前 15 位的国家如表 1 所示。美国总被引次数高达 56 274 次，英国、澳大利亚紧跟其后。加拿大、法国和德国位于第三梯队(≥9 000 次)；瑞典、墨西哥、英国、法国、加拿大、美国的篇均被引频次较高(≥40 次/篇)；美国、英国、澳大利亚和加拿大拥有超过 60 篇的高被引论文(被引频次≥50 次)，其 H 指数也是相对较高的。从科研产出综合指标来看，美国、英国、澳

大利亚、加拿大、法国这 5 个国家在该领域拥有较强的科研竞争力。中国的发文量、被引和 H 指数等指标均排名靠后，说明中国在海洋生态环境保护领域的研究产出相对较少，科研产出质量一般，综合影响力有待提升。

3.2 机构层面科研产出分析

该领域近 5 年发文量前 15 家机构情况如图 3 所示。

表 1 近 30 年来总发文量前 15 国家及其被引情况

Tab. 1 Top 15 countries and their citations in total publication volume in recent 30 years

序号	国家	发文量/篇	总被引次数/次	篇均被引频次/(次/篇)	高被引论文/篇	高被引论文所占比例/%	被引论文所占比例/%	h 指数
1	美国	1350	56 274	41.68	264	19.56	92.22	100
2	英国	616	30 375	49.31	128	20.78	93.02	78
3	澳大利亚	536	20 609	38.45	96	17.91	91.23	65
4	加拿大	378	16 027	42.4	74	19.58	94.18	61
5	法国	327	14 498	44.34	51	15.6	90.83	50
6	德国	278	9 202	33.1	44	15.83	92.09	48
7	意大利	263	6 732	25.6	33	12.55	93.54	45
8	中国	255	5 036	19.75	22	8.63	84.71	35
9	西班牙	252	6 962	27.63	44	17.46	89.29	47
10	巴西	152	1 391	9.15	2	1.32	80.92	19
11	荷兰	128	4 319	33.74	20	15.63	89.06	33
12	葡萄牙	116	2 762	23.81	16	13.79	93.1	27
13	墨西哥	97	4 936	50.89	10	10.31	79.38	21
14	挪威	97	3 167	32.65	22	22.68	89.69	32
15	瑞典	96	7 537	78.51	19	19.79	90.63	32

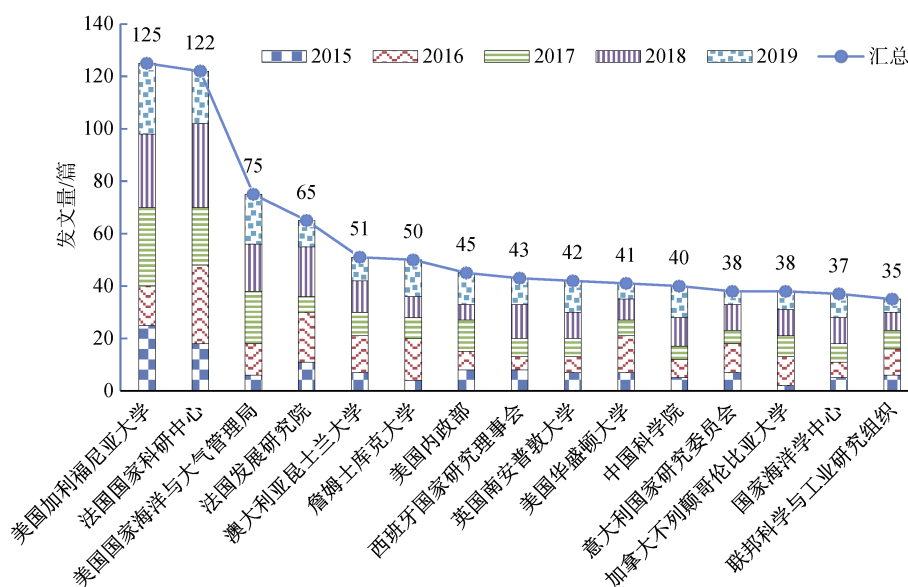


图 3 近 5 年发文量前 15 机构

Fig. 3 Top 15 institutions with publication volume in recent five years

2015—2019 年发文量多于 50 篇的研究机构为美国加利福尼亚大学、法国国家科研中心、美国国家海洋与大气管理局、法国发展研究院和澳大利亚昆士兰大学。美国、法国这两个国家的机构占多数比例，美国机构占三分之一，在海洋生态环境保护研究领域占主导地位。

1990—2020 年总发文量前 15 位机构科研产出指标情况如表 2 所示。总被引在 5 000 次以上的机构有 7 家，其中美国加利福尼亚大学的总被引高达 13 841 次；篇均被引多于 50 次/篇以上的机构有 5 家；含 20 篇及以

上高被引论文(被引频次≥50 次)的机构有 6 家；H 指数大于 30 以上的机构中，美国机构占多半。而中国在此领域的研究机构仅中国科学院进入前 15 位，77 篇总发文量被引仅达 2 252 次，高被引论文量、被引论文占比、H 指数等指标基本为末位。综合来看，美国加利福尼亚大学、法国国家科研中心、美国国家海洋与大气管理局、澳大利亚詹姆斯·库克大学在该领域有着较强的科研影响力，中国的机构科研成果质量和数量上都有待提升。

表 2 近 30 年总发文量前 15 位机构及其被引情况

Tab. 2 Top 15 institutions and their citations in total publication volume in recent 30 years

序号	机构名称	发文量/篇	总被引次数/次	篇均被引频次/(次/篇)	高被引论文/篇	高被引论文所占比例/%	被引论文所占比例/%	H 指数
1	美国加利福尼亚大学	239	13 841	57.91	67	28.03	94.14	57
2	法国国家科研中心	218	11 845	54.33	34	15.6	90.83	41
3	美国国家海洋与大气管理局	161	7 638	47.44	31	19.25	92.55	39
4	澳大利亚詹姆斯·库克大学	112	5 093	45.47	26	23.21	92.86	36
5	法国发展研究院	95	4 173	43.93	14	14.74	89.47	27
6	美国内政部	86	6 564	76.33	18	20.93	90.7	26
7	澳大利亚昆士兰大学	85	6 164	72.52	18	21.18	94.12	26
8	西班牙国家研究理事会	82	1 750	21.34	12	14.63	93.9	23
9	美国佛罗里达州立大学	82	2 402	29.29	16	19.51	91.46	27
10	美国华盛顿大学	80	3 019	37.74	20	25	91.25	32
11	中国科学院	77	2 252	29.25	10	12.99	87.01	22
12	加州大学圣塔芭芭拉分校	73	3 106	42.55	21	28.77	93.15	30
13	美国地质勘探局	70	6 346	90.66	16	22.86	92.86	25
14	大不列颠哥伦比亚大学	70	3 104	44.34	13	18.57	94.29	29
15	联邦科学与工业研究组织	68	3 234	47.56	17	25	94.12	26

4 合作网络分析：以频次和合作关系为基础

4.1 国家合作网络

通过 Bibexcel 对该领域 3 860 篇文献数据清洗，由 Pajek 绘制国家合作网络，如图 4 所示。图 4 中圆圈节点表示国家，节点大小表示节点的度值大小，节点越大，代表与该节点国家合著的节点国家的数量越多，则节点影响力越高。节点连线表示两国共同发表论文的数量，线越粗，代表节点关联强度越大。由图 4 可见，美国为最大节点，处于合作网络的核心地位，其次为澳大利亚、英国、加拿大等国家。从网络连线粗细来看，美国的主要合作对象为澳、英、加、法、德，这些国家在海洋生态环境保护领域具有较强科研优势。中国在该领域国际合作方面属中等水平，

与领域科研强国联系较为稀疏。

4.2 作者合作网络

在 Bibexcel 中以作者信息为提取标签，对 3 860 篇文献作者进行分析，取频次≥10 的 24 位高产作者，导入 Pajek 绘制出高产作者合作知识网络，如图 5 所示。

图 5 中的每个节点代表海洋生态环境保护研究领域的 1 位专家，节点越大，网络地位就越重要，表征着一定的研究水平。节点之间连线代表专家合作的关联程度，连线越粗，研究领域的相关性就越大，两者间研究合作的次数越多。从图 5 可看出，该领域形成了 5 个显著的合作群体。第一群体为以 Mcclanahan T(美国野生动物保护协会海洋规划组)、Cinner J(澳大利亚詹姆斯·库克大学)、Graham N(英国兰卡斯特大学环境中心)等 8 人为核心的“领头羊”队伍，该

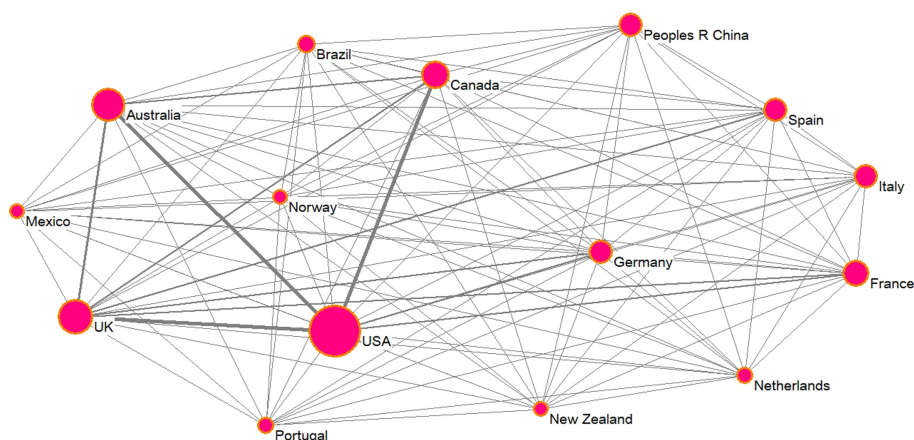


图 4 国家合作网络知识图谱

Fig. 4 Knowledge map of national cooperation network

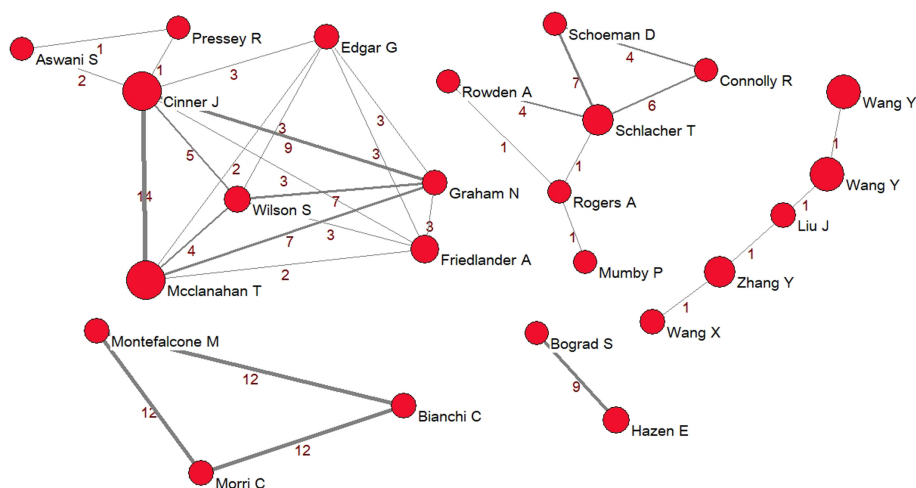


图 5 高产作者合作网络知识图谱

Fig. 5 Knowledge graph of high-yield author cooperative network

群体成员来自美洲、欧洲、大洋洲等地域，其合作具有高度国际化和跨地域性。第二群体为 Montefalcone M、Morri C 和 Bianchi C，他们均来自意大利热那亚大学，共同发文 12 篇，对该领域研究有一定影响力；第三群体为以 Schlacher T、Schoeman D(澳大利亚阳光海岸大学)等为代表的六人团体，他们主要从事海岸与河口、生物多样性保护等方面研究工作；第四群体由 Hazen E 和 Bograd S 组成，均来自美国国家海洋与大气管理局，两人在近 30 年合著近 10 次，重点在海洋渔业、蓝鲸等生态物种方面；第五群体则是中国的研究团队，但 5 人之间基本为两两之间的联结，团队合作紧密程度有待强化。总体来看，全球海洋生态环境保护方面的研究虽已形成部分合著群体，但网络中节点间资源的相互流通性一般，群体间存在合作孤岛现象。

5 研究基础分析：以引文和共被引关系为对象

文献共被引是测度文献间关系程度的一种研究方法。如果我们把研究前沿定义为一个研究领域的发展状况，那么研究前沿的引文就形成了相应的知识基础。因此，对海洋生态环境保护领域文献的引文进行分析，在一定程度上能够透析该领域研究基础，洞察研究领域的知识积累与脉络。

该领域参考文献频次集中被引排名前 15 的文献情况如表 3 所示，其共被引网络图谱结果如图 6 所示。文献[7](Halpern B 等, 2008)引文被引位居第一，其主要阐述人类活动分布、强度及其对海洋生态系统的影响，探究了全球保护资源科学分配和海洋空间规划，为研究者提供了很大的参考价值；其次，文

献[8](Jackson J 等, 2001)、[9](Costanza R 等, 1997) 分别位列被引第二、三位, 文献[8](Jackson J 等, 2001) 研究了过度捕捞带来的沿海生态系统灭绝性影响;

文献[9](Costanza R 等, 1997)阐述了生态系统服务及其生产它们的自然资本存量对生命系统重要性; 文献 [10](Worm B 等, 2006)揭示了生物多样性丧失在时空

表 3 参考文献频次集中被引前 15 的文献列表

Tab. 3 List of the top 15 cited documents in the frequency of reference

编 号	被引 频次	文献详细信息(第一作者, 年份, 卷号, 起始页码, 文献来源)	文献标题
1	164	Halpern B, 2008, V319, P948, Science	A global map of human impact on marine ecosystems 人类对海洋生态系统影响的全球地图
2	137	Jackson J, 2001, V293, P629, Science	Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems 历史过度捕捞和沿海生态系统近期衰退
3	102	Costanza R, 1997, V387, P253, Nature	The value of the world's ecosystem services and natural capital 全球生态系统服务及其自然资本的重要性
4	81	Worm B, 2006, V314, P787, Science	Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services 生物多样性丧失对海洋生态系统服务的影响
5	78	Pauly D, 1998, V279, P860, Science	Fishing down marine food webs 海洋捕捞食物网
6	78	Lotze H, 2006, V312, P1806, Science	Depletion, degradation, and recovery potential of estuaries and coastal seas 河口和沿海海域的枯竭、退化与潜力恢复
7	68	Burnham K, 2002, Model Selection Mult	Model Selection and Multimodel Inference 模型选择与多模态推理
8	67	Anderson M, 2008, Permanova Primer Gui	PERMANOVA+ for primer: Guide to software and statistical methods PERMANOVA+入门: 软件和统计方法指南
9	66	Hughes T, 2003, V301, P929, Science	Climate change, human impacts, and the resilience of coral reefs 气候变化、人类影响以及珊瑚礁的复原力
10	63	Bellwood D, 2004, V429, P827, Nature	Confronting the coral reef crisis 珊瑚礁危机的应对
11	62	Hoegh-Guldberg O, 2007, V318, P1737, Science	Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification 快速气候变化和海洋酸化下的珊瑚礁
12	62	Waycott M, 2009, V106, P12377, Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America	Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems 全球海草的加剧流失及其对沿海生态系统的威胁
13	62	Anderson M, 2001, V26, P32, Austral Ecology	A new method for non-parametric multivariate analysis of variance 一种新的非参数方差多元分析方法
14	61	Clarke K, 1993, V18, P117, Australian Journal of Ecology	Nonparametric multivariate analyses of changes in community structure 群落结构变化的非参数多元化分析
15	59	Spalding M, 2007, V57, P573, Bioscience	Marine ecoregions of the world: A bioregionalization of coastal and shelf areas 世界海洋生态区: 沿海和陆架地区的生物区域化

尺度上对海洋生态系统服务的影响; 文献[11](Pauly D 等, 1998)重点探索了海洋捕捞食物网, 研究发现全球渔业物种平均营养水平逐步下降; 文献[12](Lotze H 等, 2006)针对河口和沿海地区生态系统结构和功能修复开展了系列研究; 文献[13](Clarke K, 1993)、[14](Anderson M 等, 2001)、[15](Burnham K 等, 2002)分别对群落结构变化的非参数多元化分析、非参数方差多元分析、模型选择与多模态推理等海洋生态学应用方法进行了相关研究; 文献[16](Hughes T 等, 2003)、[17](Bellwood D 等, 2004)和[18](Hoegh-Guldberg O 等, 2007)均针对珊瑚礁生态作用进行了深入研究。此外, 文献[19](Waycott M 等, 2009)围绕海草草甸生态系统服务, 研究了海草损失率及其对生态环境威胁; 文献[20](Spalding M 等, 2007)对世界海洋生态区进行了探究, 为海洋资源分类、评估、保护与可持续利用提供了研究参考。

在图 6 中, 每一个节点为一篇引文, 节点大小为引文被引频次, 节点间连线表示引文的共被引关系, 线的粗细则为共被引强度。两篇文献的共被引强度越大, 两者在内容上就越相似。文献[7](Halpern B 等, 2008)、[8](Jackson J 等, 2001)、[10](Worm B 等, 2006)、[11](Pauly D 等, 1998)以及[12](Lotze H 等, 2006), 为文献共被引网络的核心节点, 在该领域具有重要影响。图 6 中节点布局已按出版年份先后顺序由上至下排列。该领域近 30 年影响力较大的共被引文献基本集中在 2001—2009 年。其中, 文献[11](Pauly D 等, 1998)与[8](Jackson J 等, 2001), 文献[8](Jackson J 等, 2001)与[12](Lotze H 等, 2006), 文献[12](Lotze H 等, 2006)与[19](Waycott M 等, 2009)等共被引关系强度较大, 研究内容具备一定相似性, 揭示领域共同主题, 对该领域后续研究起着很大的学术辐射和引领作用。

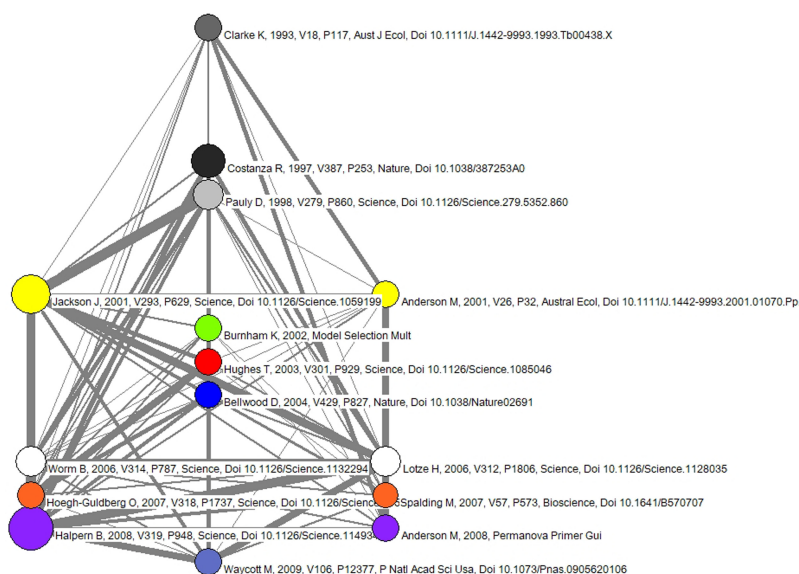


图 6 共被引网络知识图谱
Fig. 6 Co-cited network knowledge graph

6 研究前沿及热点分析: 以施引文献和耦合关系、共词关系为判据

6.1 文献耦合分析

施引文献是引用当前文献的后续文献, 是作为知识基础的被引文献的发展, 可以大致称为研究的前沿。如果两篇文献同时引用了至少一篇共同的文献, 就称这两篇文献是耦合关系^[21]。对施引文献耦合关系的分析, 能够在一定程度上探测领域知识前沿。

文献耦合数量前 10 位的文献列表, 如表 4 所示。

论文#2047^[22]与论文#805^[23]的耦合文献数量高达 66 篇, 耦合关系强度最大, 它们从生态和进化重要性的角度探究海洋物种分布, 注重人为活动与物种协同, 以期保护海洋生物多样性和维持生物适应力。其次, 论文#3668^[24]与论文#475^[25]耦合文献 64 篇, 也有较紧密的关系, 它们主张种群生理学与渔业生态学联系起来, 评估鱼类物种对环境变化的生理与行为反应, 预测环境变化对种群影响, 科学管理远洋鱼类; 另外, 论文#3604^[26]与论文#1531^[27]以 59 篇耦合文献数量位居第三位, 重点研究了海洋大型物种觅食生

境与潮汐环境的相互作用。此外, 研究者还重点关注气候变化与沿海系统的适应影响、环境样品基因测

序与生物分类关联性、沿海工程结构与潮间带生态系统服务的关系等耦合主题。

表 4 文献耦合数量前 10 列表
Tab. 4 Top 10 list of coupled literature

序 号	耦合的文 献数量	论文 1 编号	论文 1 名称	论文 2 编号	论文 2 名称
1	66	#2047	How anthropogenic activities affect the establishment and spread of non-indigenous species post-arrival	#805	Ocean sprawl: challenges and opportunities for biodiversity management in a changing world
2	64	#3668	Physiology in the service of fisheries science: Why thinking mechanistically matters	#475	Themed Issue Article: Conservation Physiology of Marine Fishes Fisheries conservation on the high seas: linking conservation physiology and fisheries ecology for the management of large pelagic fishes
3	59	#3604	Confusion reigns? a review of marine megafauna interactions with tidal-stream environments	#1531	Oceanographic drivers of marine mammal and seabird habitat-use across shelf-seas: A guide to key features and recommendations for future research and conservation management
4	51	#3692	Climate change and adaptational impacts in coastal systems: the case of sea defences	#805	Ocean sprawl: challenges and opportunities for biodiversity management in a changing world
5	49	#610	Environmental DNA metabarcoding: Transforming how we survey animal and plant communities	#1638	Past, present, and future perspectives of environmental DNA (eDNA) metabarcoding: A systematic review in methods, monitoring, and applications of global eDNA
6	48	#3644	Conserving intertidal habitats: What is the potential of ecological engineering to mitigate impacts of coastal structures?	#805	Ocean sprawl: challenges and opportunities for biodiversity management in a changing world
7	46	#647	Between a rock and a hard place: Environmental and engineering considerations when designing coastal defence structures	#805	Ocean sprawl: challenges and opportunities for biodiversity management in a changing world
8	45	#1024	Land reclamation and artificial islands: Walking the tightrope between development and conservation	#805	Ocean sprawl: challenges and opportunities for biodiversity management in a changing world
9	42	#526	Atlas of modern organic-walled dinoflagellate cyst distribution	#163	Bitectatodinium spongium (Zonneveld, 1997) Zonneveld et Jurkschat, comb nov. from modem sediments and sediment trap samples of the Arabian Sea (northwestern Indian Ocean): taxonomy and ecological affinity
10	41	#610	Environmental DNA metabarcoding: Transforming how we survey animal and plant communities	#204	Uses and Misuses of Environmental DNA in Biodiversity Science and Conservation

6.2 共词网络分析

关键词是对文章核心的高度概括和精炼。通过共词分析可以揭示领域研究热点, 反映领域科学研究水平及其发展历史的动态和静态结构^[28]。该领域词频 25 次以上关键词列表见表 5, 对词频前 30 位关键词进行网络聚类后, 得到该领域关键词共现知识图谱见图 7。

由表 5 可知, “conservation(保护)”、“climate change(气候变化)”、“biodiversity(生物多样性)”、

“fisheries(渔业)”等为该领域高频关键词, 珊瑚礁、海草、大型藻类及海鸟、底栖动物等生态物种成为该领域重要研究元素。从整体来看, 关键词中涉及环境保护、生态服务及规划等方面的词较多。图 7 清晰地反映出国际海洋生态环境保护领域高频关键词之间的共现关系。由图 7 可知, “conversion(保护)”与“climate change(气候变化)”的节点最大, 连线最粗, 表明与生态环境保护联系最密切的是气候变化; 另外, “conversion(保护)”与“biodiversity(生物多样性)”、“fisheries(渔业)”、“marine protected area(海

表 5 高频关键词及其词频

Tab. 5 High-frequency keywords and their frequency

频次	关键词	频次	关键词	频次	关键词
210	conservation	40	diversity	30	macroalgae
156	climate change	38	social-ecological systems	30	habitat
112	marine protected areas	38	biogeography	29	stable isotopes
109	biodiversity	38	ecosystem-based management	29	restoration
100	ecology	37	taphonomy	29	adaptation
73	fisheries	36	coral reef	29	coastal
66	marine protected area	36	fisheries management	29	sustainability
53	fish	34	monitoring	28	remote sensing
53	management	34	seagrass	28	seabirds
52	coral reefs	33	marine spatial planning	28	paleoecology
51	mediterranean sea	33	migration	28	aquaculture
41	environment	33	governance	27	dispersal
41	marine conservation	33	evolution	27	mediterranean
41	ecosystem services	32	resilience	26	benthos
41	marine	30	palaeoecology	25	GIS

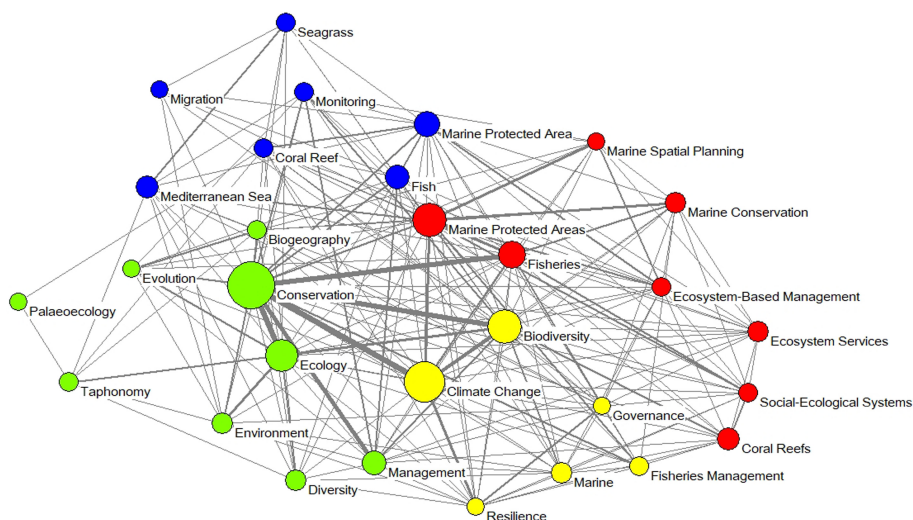


图 7 共词网络知识图谱

Fig. 7 Co-word network knowledge graph

洋保护区) 也具有较强的关联性。通过聚类, 得到该领域 4 个划分群体, 集群 1(绿色)为海洋生态环境保护、修复及管控, 研究者重点探讨了环境演化、生物多样性等; 集群 2(黄色)为气候变化及其与海洋生态环境交互作用, 研究生态还原能力、环境适应能力等生态特性, 探索气候变化与农业、渔业管理关联作用机制; 集群 3(红色)为基于生态系统服务的海洋保护区研究, 侧重于海洋生态规划、社会生态系统服务及其对海洋空间开发利用, 关注“coral reefs(珊瑚礁)”、“fish(鱼类)”、“benthos(底栖生物)”等在内的珊瑚礁生态系统。集群 4(蓝色)为水体环境下生物多

样性保护研究, 关注大型藻类、海草等物种, 研究区集中在波罗的海和地中海等海域。从整体看, 集群 1 与集群 2 关键词节点及其群体结构联系最为紧密, 表明气候变化与海洋生态环境之间存在权衡与协同的关系。

结合海洋生态环境保护领域重要引文及综述, 得知国外大部分研究集中在生态系统结构变化、服务功能变化和海洋生态系统规划管理。一方面侧重在海洋开发利用中的生态保护问题, 另一方面侧重气候变化从温度、海水酸碱度和海洋生态过程等方面对生态系统服务功能的影响。国内研究则注重海

洋生态环境保护的经济效益研究,侧重近海污染防治与近岸生态保护、生态补偿制度等。由国内外引文综述及关键词分析可知海洋生态环境保护领域的热点分布和发展现状,并可从中洞悉该领域的一些重要科学问题。“climate change(气候变化)”近十余年来位居高频热点,表明气候变化已成为影响海洋生态系统服务的关键因素,气候变化引发的全球性环境演变和生态系统结构功能变化亟需解决;全球的“biodiversity”(生物多样性)等自然条件变化对于海洋生态环境演变与保护有着深刻的影响,尤其是珊瑚礁、红树林等,在全球海洋生态环境中发挥重要的服务供给与环境调节作用,因此建立海洋保护区、加强生态物种保护,也是海洋生态环境保护的必要途径;基于生态系统的渔业管理、海岸带管理等管理研究空间较大,说明海洋生态系统管理规划、综合治理等成为近年研究重点;人类用海活动(如围填海、滨海电厂、溢油等)造成生态环境不断恶化,海域使用金远低于实际损害成本,需要生态损害补偿来补充海洋生态价值损失,因此海洋生态损害补偿研究成为治理和抑制海洋生态损害的重要保障;海洋生态系统服务及其“biogeography”(生物地理过程)、“evolution”(演化)、“resilience”(修复)、“restoration”(恢复)等在引文及关键词中出现频率也较高,研究表明海洋生态系统健康调控、海洋生态系统关键生物地球化学过程、海洋生态系统关键生物生产过程、近海生态环境保护与修复技术等也已成为该领域的重大科学问题。

7 学科领域分析:以领域学科方向和领域共现关系为桥梁

7.1 领域学科方向

表6列出了海洋生态环境保护领域前15位学科主题方向,该领域研究所涉及的相关方向有环境科学与生态、海洋与淡水生物学、地质学、古生物学、渔业以及动物学等。

7.2 领域共现分析

以海洋生态环境保护领域的3860篇来源数据为基础,提取领域类别信息,经Bibexcel数据清洗,转入Pajek可视化,得到如图8所示的领域共现知识图谱。由图谱可知环境科学、海洋与淡水生物学、生态学占据主导,是主要的关联研究领域。海洋淡水生物学与环境科学、生态学之间有着较强的关联度,

表6 海洋生态环境保护领域涉及的主要学科方向
Tab. 6 Major disciplines involved in the field of marine ecological environment protection

研究方向	发文量	占全部学科发文量比例/%
环境科学与与生态	1 875	48.58
海洋淡水与生物学	1 005	26.04
海洋学	533	13.81
生物多样性保护	407	10.54
地质学	385	9.97
科学技术学	260	6.74
水资源	241	6.24
古生物学	225	5.83
自然地理学	216	5.60
渔业	188	4.87
动物学	150	3.89
生命科学与生物医学	132	3.42
进化生物学	129	3.34
微生物学	109	2.82
植物科学	88	2.28

它们之间存在着重要的学科交叉性。此外,地球科学多学科与生态学、水资源与环境科学等学科间也存在领域结合点,其创新及结合对于海洋生态环境保护领域研究发展起着关键作用。

8 总结及研究展望

8.1 主要结论

近30年全球海洋生态环境保护领域发文量及被引量呈逐步上升趋势,研究者对海洋生态环境保护领域的关注持续升温;美国、英国、澳大利亚、加拿大、法国在该领域拥有较强科研竞争力和学术影响力。在机构层面,美国加利福尼亚大学、法国国家科研中心、澳大利亚詹姆斯·库克大学科研力量较强,中国研究产出较少,其科研团队、成果数量及论文质量亟需提升。美国与澳、英、加、法、德等国家之间合作力量与科研优势相对突出,并形成部分合著群体,中国与这些科研强国联系不够紧密,研究群体间存在合作孤岛现象,该领域全球合作态势仍有较大发展空间。

由引文及共被引分析可知,2001—2009年涌现出一批重要共被引文献,这些文献重点聚焦人类活动与海洋生态环境协同、生物多样性、生态系统结构和功能修复、海洋生态保护区等方向,其相互影响及传播构筑成强共引关系网络,对该领域起了重要科研辐射作用。由文献耦合分析得知海洋生物物种

- [8] Jackson J, Kirby M, Berger W, et al. Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems[J]. *Science*, 2001, 293(5530): 629-638.
- [9] Costanza R, D' Arge R, deGroot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [10] Worm B, Barbier E, Beaumont N, et al. Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services[J]. *Science*, 2006, 314(5800): 787-790.
- [11] Pauly D, Christensen V, Dalsgaard J, et al. Fishing down marine food webs[J]. *Science*, 1998, 279(5352): 860-963.
- [12] Lotze H, Lenihan H, Bourque B, et al. Depletion, degradation, and recovery potential of estuaries and coastal seas[J]. *Science*, 2006, 312(5781): 1806-1809.
- [13] Clarke K. Nonparametric multivariate analyses of changes in community structure[J]. *Australian Journal of Ecology*, 1993, 18(1): 117-143.
- [14] Anderson M. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance[J]. *Austral Ecology*, 2001, 26(1): 32-46.
- [15] Burnham K P, Anderson D R. Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach[M]. Berlin: Springer, 2002.
- [16] Hughes T, Baird A, Bellwood D, et al. Climate change, human impacts, and the resilience of coral reefs[J]. *Science*, 2003, 301(5635): 929-933.
- [17] Bellwood D, Hughes T, Folke C, et al. Confronting the coral reef crisis[J]. *Nature*, 2004, 429(6994): 827-833.
- [18] Hoegh-Guldberg O, Mumby P, Hooten A, et al. Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification[J]. *Science*, 2007, 318(5857): 1737-1742.
- [19] Waycott M, Duarte C, Carruthers T, et al. Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems[J]. *Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America*, 2009, 106(30): 12377-12381.
- [20] Spalding M, Fox H, Halpern B, et al. Marine ecoregions of the world: A bioregionalization of coastal and shelf areas[J]. *Bioscience*, 2007, 57(7): 573-583.
- [21] Kessler M M. Bibliographic coupling between scientific papers[J]. *American Documentation*, 1963, 14(1): 10-25.
- [22] Johnston E, Dafforn K, Clark G, et al. How anthropogenic activities affect the establishment and spread of non-indigenous species post-arrival[J]. *Oceanography and marine biology*, 2017, 55: 389-419.
- [23] Firth L, Kights A, Bridger D, et al. Ocean sprawl: challenges and opportunities for biodiversity management in a changing world[J]. *Oceanography and marine biology*, 2016, 54: 193-269.
- [24] Horodysky A, Cooke S, Brill R, et al. Physiology in the service of fisheries science: Why thinking mechanistically matters[J]. *Reviews in fish biology and fisheries*, 2015, 25(3): 425-447.
- [25] Horodysky A, Cooke S, Graves J, et al. Themed issue article: conservation physiology of marine fishes fisheries conservation on the high seas: linking conservation physiology and fisheries ecology for the management of large pelagic fishes[J]. *Conservation Physiology*, 2016, DOI: 10.1093/conphys/cov059.
- [26] Benjamins S, Dale A, Hastie G, et al. Confusion reigns? a review of marine megafauna interactions with tidal-stream environments[J]. *Oceanography and Marine Biology*, 2015, 53: 1-54.
- [27] Cox S, Embling C, Hosegood P, et al. Oceanographic drivers of marine mammal and seabird habitat-use across shelf-seas: A guide to key features and recommendations for future research and conservation management[J]. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 2018, 212: 294-310.
- [28] 伍若梅, 孔悦凡. 共词分析与共引分析方法的比较研究[J]. *情报资料工作*, 2010, (1): 25-28.
Wu Ruomei, Kong Yuefan. A comparison on co-word analysis and co-citation analysis[J]. *Information and Documentation Services*, 2010, (1): 25-28.

Scientific measurement and knowledge map analysis in the field of marine ecological environmental protection based on Bibexcel and Pajek

YIN Xi-gang^{1, 2}, LÜ Yang², SHA Zhong-li³

(1. College of Environmental Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 2. Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao 266237, China; 3. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China)

Received: May 17, 2020

Key words: ecological environment; visual analysis; development trend; marine protected area

Abstract: Using the document processing tool (Bibexcel) and network analysis tool (Pajek) to perform statistical and visual analysis on the SCIE and SSCI document database from 1990 to 2020 for global marine ecological environmental protection literature data, revealing the scientific research output, domain knowledge base, and research hotspot distribution in this field and forward-looking development trends. The results of the study show that: the literature output in the field of marine ecological environmental protection has continued to grow in the past 30 years; the United States, Australia, Canada, France and other countries have strong scientific research competitiveness and academic influence in this field, of which the United States is at the core of research cooperation; The University of California, the French National Research Center and other institutions are the main document issuing organizations; the hotspots of marine ecological environmental protection research are mainly marine ecological environmental restoration and management, climate change, ecosystem services, marine protected area, etc.; The trend of blending research disciplines in this field is obvious, and researchers should fully learn from and absorb the ideas and methods of other disciplines to strengthen the checks and balances between the marine ecological environment and climate change, human activities, and ecological species.

(本文编辑: 康亦兼)