

DOI: 10.5846/stxb201803270611

王耕, 常畅, 于小茜, 徐惠民. 基于文献计量分析的珊瑚礁研究的现状与热点. 生态学报, 2019, 39(3): - .

Wang G, Chang C, Yu X X, Xu H M. Status quo and hotspots of coral reef research based on bibliometric analysis. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(3): - .

基于文献计量分析的珊瑚礁研究的现状与热点

王 耕^{1,2,*}, 常 畅¹, 于小茜¹, 徐惠民^{1,3}

1 辽宁师范大学城市与环境学院, 大连 116029

2 中国科学院南海海洋研究所, 广州 510301

3 钦州学院海洋学院, 广西 535011

摘要: 珊瑚礁生态系统在全球海洋生态中扮演着重要角色, 它为热带海洋动物提供栖息地, 为人类提供食物药物资源, 是全球生产力最高的生态系统之一。为了解当前国内外珊瑚相关研究的现状与热点, 利用文献计量的方法统计分析了珊瑚的相关研究。文章分别以 WEB OF SCIENCE 数据库和中国期刊全文数据库 (CNKI) 中期刊论文为国际和国内的数据源, 从文献计量的角度出发, 利用 Excel 按年份统计论文的发文数量, 通过 Bibexcel 得出高频词共词矩阵, 并用 Ucinet 和 Netdraw 得出共词网络可视化图谱。利用 SPSS 进行聚类分析, 分别将国内外相关研究分为四大类, 分析珊瑚相关研究趋势与热点。研究表明: ①国际与国内的研究除个别年份有所回落, 均基本成逐年上升趋势, 大致于 20 世纪 90 年代开始进入成熟阶段, 但国内的研究略迟于国际; ②国际上对珊瑚的研究更倾向于探究珊瑚礁退化的原因, 而国内则以提高珊瑚礁的造礁能力为研究热点; ③通过共词分析得出, 国际研究高频词中的 coral reefs, corals, climate change, sedimentation, 一定程度上也可视为研究热点; ④通过聚类分析, 国内外的珊瑚研究有一定的相似性, 主要集中在珊瑚礁生态系统、影响珊瑚的环境因子、气候因子等几个方面, 但国内外研究又各有侧重。总结得出, 有关珊瑚、珊瑚礁研究在国内外均以珊瑚礁为重点, 近年来和未来珊瑚礁研究注重于珊瑚礁修复或帮助珊瑚礁生态系统自行恢复。

关键词: 珊瑚; 珊瑚礁; 文献计量; 研究热点; 关键词; 共词分析; 聚类分析

Status quo and hotspots of coral reef research based on bibliometric analysis

WANG Geng^{1,2,*}, CHANG Chang¹, YU Xiaoxi¹, XU Huimin^{1,3}

1 School of Urban and Environmental Sciences, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China

2 South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China

3 Qinzhou College, Oceanography Institute, Guangxi 535011, China

Abstract: Coral reef ecosystems play an important role in the global marine ecosystem by providing habitats for tropical marine animals, providing food and drug resources to mankind, and protecting coasts from the beating of waves. The coral reef ecosystem is one of the most productive ecosystems in the world. In order to understand the status quo and hotspots of coral-related research in our country and the whole world, this study used the method of bibliometrics to statistically analyze the studies that are related to coral reefs. Bibliometrics is a method of mathematical statistics that is used to analyze and excavate information from many papers. In this study, the WEB OF SCIENCE database and the Chinese national infrastructure (CNKI) were the international and domestic data sources respectively. For the bibliometrics, this study used Excel to calculate the number of publications according to the year, Bibexcel to create a high-frequency co-word matrix, and Ucinet and Netdraw to draw a co-word network visualization map. Then, SPSS was used to analyze coral research trends and

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项 (A 类) XDA13020401; 教育部共建人文社会科学重点研究基地项目 (15JJD790039)

收稿日期: 2018-03-27; **网络出版日期:** 2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wanggeng@lnnu.edu.cn

hotspots by dividing related international and domestic studies into four clusters each. This research showed: ① According to the number of papers, the progress of international research had two periods, and the progress of domestic research can be separated into four parts: tentative exploration, embryonic development, fluctuating growth, and steady increase. The number of international and domestic studies on corals both had a roughly increasing tendency, although some years showed a decline. International and domestic studies came into maturity in the 1990s, but domestic studies were slightly later than international. ② The highest-frequency words in international studies were *coral*, *coral reefs*, *coral bleaching*, and *climate change*, while in domestic studies they were *coral reef*, *Scleractinian corals*, *Scleractinia*, and *Weizhou Island*. International coral studies were more inclined to explore the causes of coral reef degradation, while domestic research was focused on improving the reef-building ability of coral reefs. ③ According to the co-word analysis, the high-frequency key words from international studies *coral reefs*, *corals*, *climate change*, and *sedimentation* can be viewed as study hotspots to some extent. ④ According to cluster analysis, there was similarity between international and domestic studies. They both mainly focused on the aspects of the coral reef ecosystem and environmental and climatic factors that are affecting corals, but both international and domestic studies have their own inclinations. In a summary, because the current state of coral reef degeneration is serious, international and domestic studies have both focused on coral reefs. In recent years and in the future, studies about corals and coral reefs may pay more attention to the topic of restoring coral reefs or helping coral reef ecosystems recover on their own.

Key Words: coral; coral reef; bibliometric; research hotspots; key words; co-words analysis; cluster analysis

文献计量是一种基于数理统计的定量分析方法,它用科学文献的外在特征作为研究对象,研究文献的分布结构、数量关系和变化规律等,在此基础上探讨相关研究的特征和规律^[1-2],具有显著的客观性,量化,模型化的宏观研究优势,是一种成熟的文献分析和信息挖掘方法^[3-5]。文献计量最早提出于 20 世纪初期,该方法原本是图书情报领域的常用统计方法,随着各个学科领域的不断发展,目前文献计量被越来越多的学科应用,以了解学科的研究状况、热点及研究趋势^[6]。如,Zehra Taşkın^[7]等用该方法分析了《美国历史评述》对历史学领域的贡献,Tancoigne^[8]等用该方法研究了农业科学中的生态系统服务的发展态势。

珊瑚礁是在成百数千年的过程中由无数珊瑚虫死亡之后的骨骼沉积而形成的。在珊瑚礁里,无数的生物生活在珊瑚礁环境中,它们构成一个特殊的生态系统,称珊瑚礁生态系统,它被称为海洋的热带雨林或热带海洋中的绿洲^[9-10]。珊瑚礁生态系统是全球初级生产量最高的生态系统之一,生物多样性最为丰富,不仅为各种海洋生物提供了适宜的栖息地,还为人类提供食物、药物资源,增加渔业和旅游业的收入,保护海岸免受波浪冲击^[11-13]。然而近 50 年以来,由于全球气候变化,海洋酸化和人类的不合理活动,导致全球珊瑚礁整体呈加速退化的趋势^[14]。1998 年,由于全球气温升高,导致全球约 16%的珊瑚礁破坏^[15-16]。2013 年世界珊瑚礁大会报告称亚洲珊瑚大三角地区 85%的珊瑚礁正在受到过度开发、海洋污染和过度捕捞等人类不合理活动的威胁^[17]。就个别地区而言,大堡礁珊瑚礁覆盖率从 1985 年的 28%大幅下降到 2012 年的 13.8%;南海三亚鹿回头岸礁覆盖率从 1960 年的 80%—90%下降到 2009 年的 12%^[18]。目前,我国南海已有 70%的珊瑚完全退化,珊瑚礁荒漠化现象日趋严重,迫切需要全球的共同关注与保护。由此,为探求珊瑚礁生态系统的现状与发展,维护健康的珊瑚礁海岸关键区,有必要对当前的珊瑚研究进行统计分析。

1 数据来源与研究方法

有关国际的研究,本文以 WEB OF SCIENCE 数据库中的 WEB OF SCIENCE™核心合集为数据源,检索文献中含有“coral”,文献类型为 ARTICLE 的文献,搜索年份限制在 2017 年之前(包含 2017 年),并在检索结果中筛选出与生态环境相关的文献,最后得出 9585 条符合条件的结果。关于国内的研究,本文采用中国期刊全文数据库(CNKI)中主题为“珊瑚”并与生态环境有关的论文为数据源,(由于在 CNKI 中搜索的以“珊瑚”为

主题的论文涉及到人文社会科学、医学、工程地质等诸多领域,所以将论文限制在生态环境方面)搜索年份限制在 2017 年之前(包含 2017 年),筛选出共计 730 篇珊瑚相关文献。

分别将已选的 9585 篇国际文献题录和 730 篇国内文献题录导入 Bibexcel 中,导出文献的高频关键词,合并其中的近义词、同义词。国际文献筛选出词频大于 50 的关键词共计 64 个,国内文献筛选出词频大于 10 的关键词 47 个。利用 Bibexcel 将国际文献中导出的 64 个高频关键词生成 64×64 的共词矩阵,将国内文献中导出的 47 个高频关键词生成 47×47 的共词矩阵,分别导入到 Ucinet 中生成 .h 文件,再用 Netdraw 做出国际与国内珊瑚研究高频关键词共现网络可视图完成共词分析。分别将两个共词矩阵导入 SPSS,分析得出系统聚类分析树状图,对关键词进行聚类分析。

2 结果分析

2.1 珊瑚相关论文发文统计

在 WEB OF SCIENCE 数据库中检索的 9585 篇以“coral”为主题词的文献每年发布数量如图 1 所示,由于资源有限,只检索到 1989 年之后的相关文献,因此 1989 年之前的研究状况尚不明确。由图 1 可以看出,虽然个别年份有所回落,文献数量整体上呈逐年上升趋势。研究可以分为两个阶段,第一阶段(1990 年以前),文献数量较少,珊瑚研究处于萌芽时期;第二阶段(1991 至今),珊瑚文献开始骤增,这说明国际上针对于珊瑚的重视大致开始于此时,推测是由于 1991 年冷战结束,世界各国开始将目光投放在除军事政治之外的领域,对海洋方面的研究有所倾向。

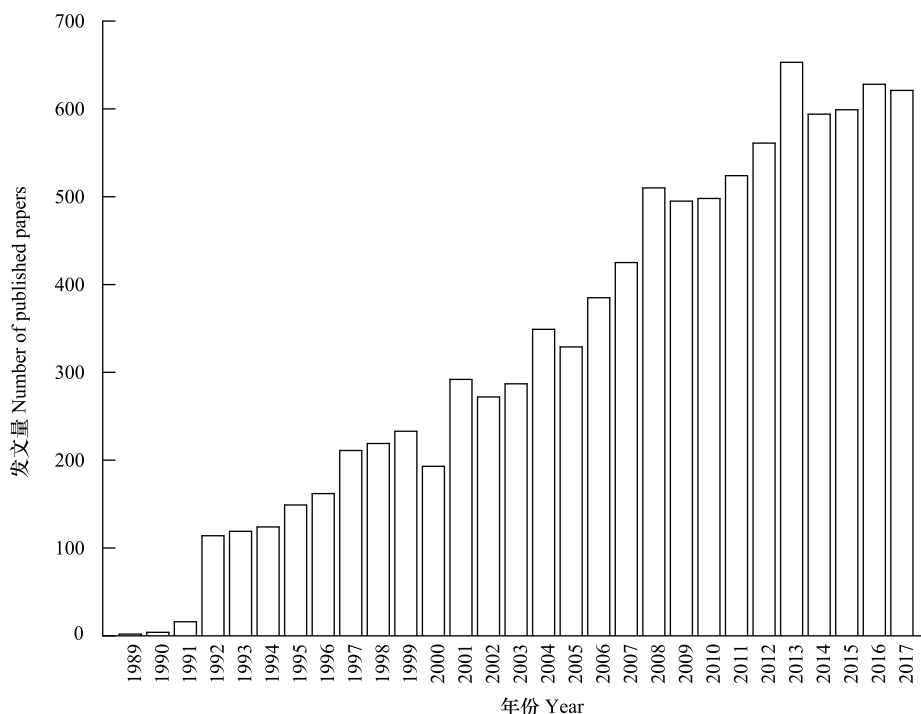


图 1 国际上有关珊瑚在生态环境领域的论文各年份分布数目

Fig.1 Number of articles about coral in ecological environment in each year in global

在 CNKI 中检索的 730 篇主题为“珊瑚”并与生态环境有关的文献每年发布数量如图 2 所示。由图 2 可以看出,随着时间的推移,文献的数量大体上呈上升趋势,尤其自 1994 年以来文献数量呈加速增长趋势。有关珊瑚的研究大体可分为四个阶段,第一阶段(1959—1990 年)初步探索阶段,文献数量不多,说明关于珊瑚在生态环境领域的重要性还未引起太多专家学者的重视;第二阶段(1991—2000 年)发展萌芽阶段,相比于第一阶段,文献数量有所增长,主要是由于《联合国海洋法公约》于 1994 年末生效,我国加强了对海上天然资源

的管理、污染处理,专家学者们开始重视,促使相关研究增加;第三阶段(2001—2007 年)波动增长阶段,在这期间国家“十二五”计划出台了《国家海洋事业发展规划》,强调了海洋事业的重要意义;第四阶段(2008 年至今)稳步增长阶段,这段时间推测是由于经济发展,人类活动频繁,污染加重,以及旅游业的发展给沿海珊瑚礁生态系统带来的直接压力,导致珊瑚礁退化所造成的负面影响开始显现,专家学者们开始重视,研究数量增加。综合来看国际和国内的珊瑚研究均是从 20 世纪 90 年代开始走向成熟,但国内要略迟于国际。图 2 中 2017 年论文数量较少,推测是由于统计数量时一些论文还未发表造成的。

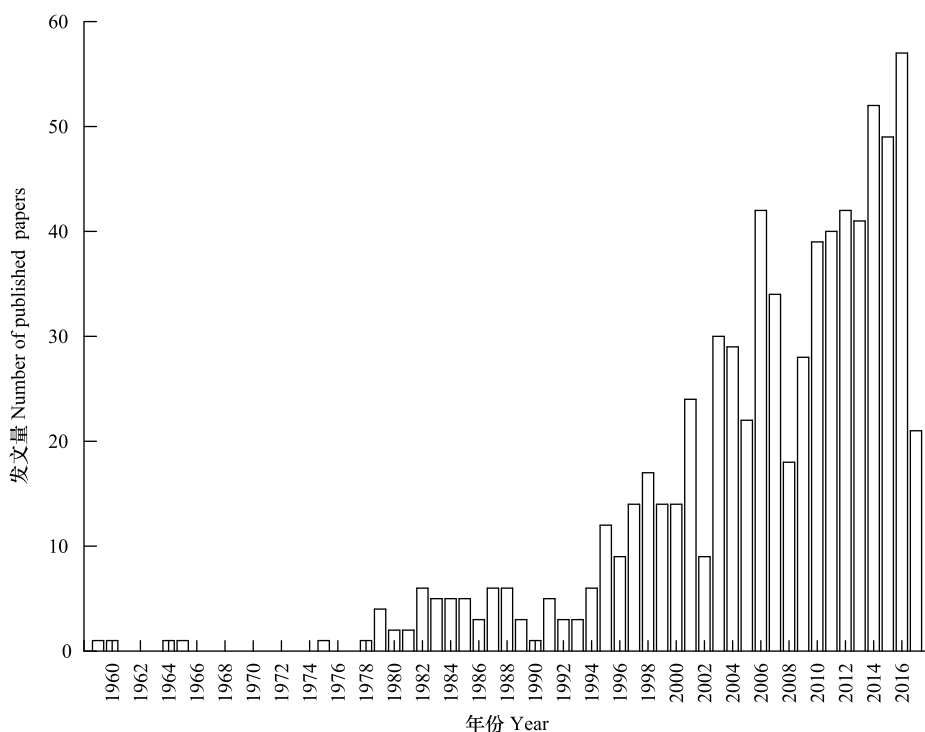


图 2 国内有关珊瑚在生态环境领域的论文各年份分布数目

Fig.2 Number of articles about coral in ecological environment in each year in domestic

2.2 高频关键词分析

关键词是对文章的高度概括和精炼,提炼出多篇文章中的高频关键词一定程度上可以代表该领域的研究热点^[4,19]。利用 Bibexcel 将从 WEB OF SCIENCE 数据库中提取高频关键词如表 1 和 CNKI 中提取的高频关键词如表 2。根据表 1 可以看出国际上有关珊瑚的研究的出现最多的关键词为 coral reefs(珊瑚礁)和 corals(珊瑚),其次是 coral bleaching(珊瑚白化), climate change(气候变化), recruitment(珊瑚幼虫), Symbiodinium(共生藻)等。由此分析得出国际上珊瑚研究热点是关于珊瑚礁的退化原因,比较侧重珊瑚白化的研究;珊瑚白化对造礁能力的影响等。根据表 2,可以看出在我国的珊瑚研究领域,珊瑚礁是出现频次最多的关键词,是学科研究的核心,次核心关键词为造礁珊瑚,造礁石珊瑚,珊瑚,涠洲岛。由此可见国内则更倾向于对造礁珊瑚研究,以寻求增加珊瑚礁覆盖面积,从而改善海洋生态环境。透过这些高频关键词,可以看出国内外针对于珊瑚的研究多集中在珊瑚礁上,这与当前珊瑚礁的严重退化形势息息相关,无论是国内还是国外珊瑚礁都是学者们的研究重点。

2.3 高频关键词的共现分析

共词分析法是文献计量方法的一种,通过对某个学科领域的研究主题或方向的关键词共同出现在同一篇文献中的情况进行分析,以此判断该领域中各个方向或主题间的关系^[20-22]。该方法最早出现在 20 世纪 70 年代中后期,目前广泛应用于多个研究领域,探索各领域或学科的研究现状与热点,探究其历史发展脉络^[23]。将共词分析法与社会网络分析软件结合,即可生成社会网络分析图,将共词分析结果可视化,从而清晰地展示

出某个研究领域中哪些关键词常放在一起研究,共现次数越多,程度就越高,也就是该领域的研究热点。

表 1 国际高频关键词及其词出现频次

Table 1 High frequency key words and their frequencies in global

频次 Frequency	关键词 Key words	频次 Frequency	关键词 Key words	频次 Frequency	关键词 Key words
1329	coral reefs	120	biodiversity	67	remote sensing
1125	corals	116	disturbance	66	nutrients
296	coral bleaching	111	photosynthesis	66	sea surface temperature
270	climate change	108	predation	66	algae
207	recruitment	105	temperature	63	recovery
205	Symbiodinium	105	herbivory	62	Mediterranean Sea
202	coral reef fishes	101	settlement	62	bacteria
187	Scleractinia	100	macroalgae	59	eutrophication
184	Zooxanthellae	97	growth	59	monitoring
183	bleaching	91	cold-water corals	58	reef fish
167	symbiosis	90	competition	58	stable isotopes
158	Scleractinian corals	87	reproduction	58	South China Sea
155	Great Barrier Reef	83	Porites	56	taxonomy
151	marine protected areas	83	dispersal	56	mortality
149	Caribbean	83	diversity	55	bioerosion
146	Calcification	75	soft coral	55	thermal stress
144	Red Sea	75	conservation	54	turbidity
141	sedimentation	74	connectivity	53	Cnidaria
136	resilience	71	Lophelia pertusa	52	larvae
135	coral disease	71	fish	52	disease
133	ocean acidification	70	community structure		
124	Acropora	69	Indian Ocean		

表 2 国内高频关键词及其词出现频次

Table 2 High frequency key words and their occurrence in domestic

频次 Frequency	关键词 Key words	频次 Frequency	关键词 Key words	频次 Frequency	关键词 Key words
115	珊瑚礁	20	海洋酸化	13	全球气候
42	造礁珊瑚	19	海水温度	13	滨珊瑚
35	造礁石珊瑚	18	鹿回头	13	西沙群岛
35	涠洲岛	18	海洋生态环境	12	生物礁
35	珊瑚	17	海洋生态系统	11	生态环境
33	岸礁	17	虫黄藻	11	堡礁
32	气候变化	17	共生藻	11	鹿角珊瑚
31	南海	17	海洋环境	11	海平面变化
31	全球变暖	17	海洋保护区	10	海洋生物学
30	生物多样性	17	全新世	10	海洋鱼类
30	人类活动	16	海洋公园	10	海洋环保
28	过度捕捞	15	亚龙湾	10	海洋资源
28	生态系统	14	热带海洋	10	全球海洋
27	礁坪	14	海洋生态	10	全球变化
22	珊瑚白化	14	渔业厅	10	旅游项目
20	石珊瑚	13	南沙群岛		

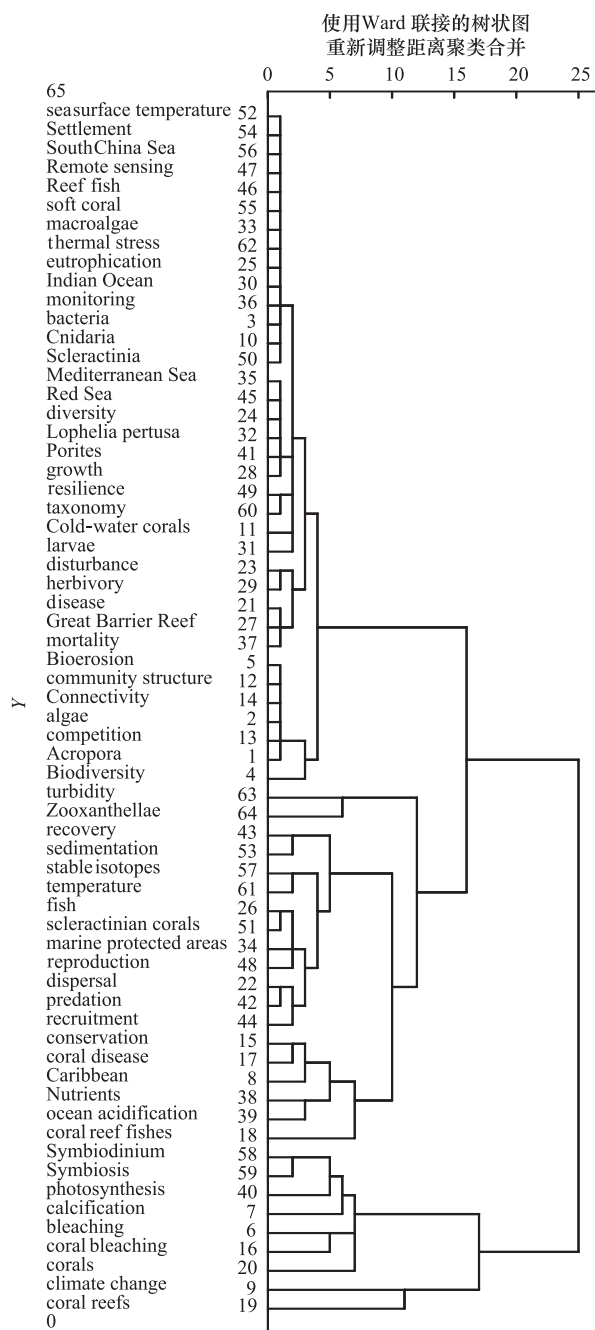


图5 国际关键词系统聚类分析树状图

Fig.5 Tree diagram of hierachical cluster analysis of key words in global

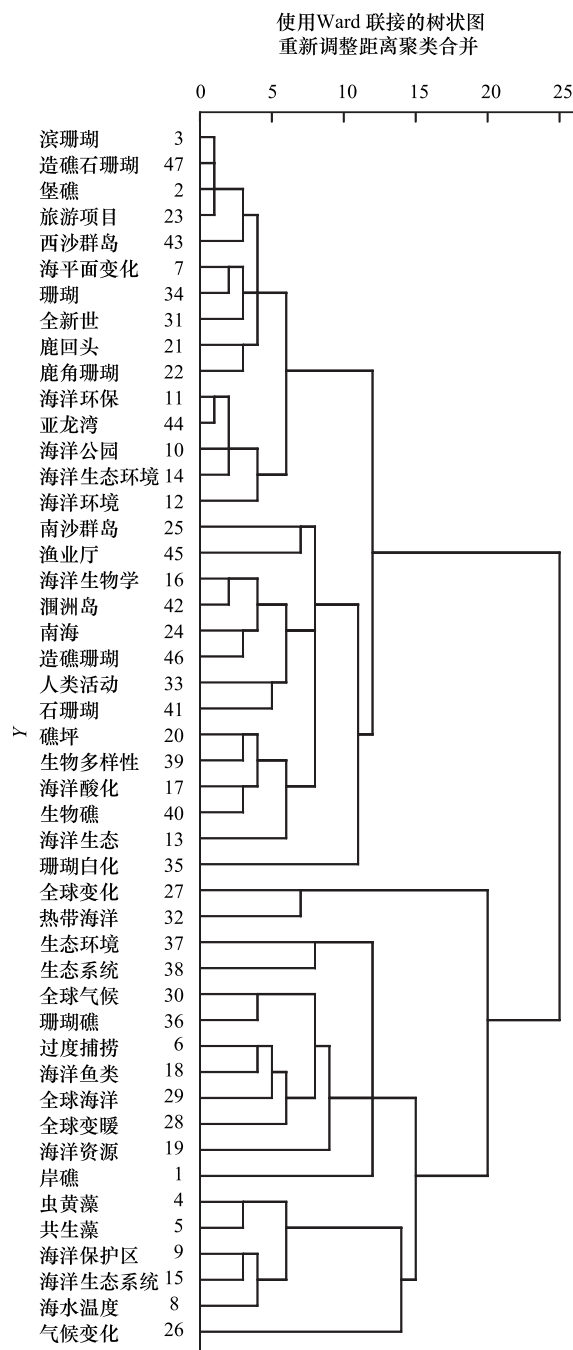


图6 国内关键词系统聚类分析树状图

Fig.6 Tree diagram of hierachical cluster analysis of key words in domestic

集4的研究包括全球变化和热带海洋,或者说是海平面变化对珊瑚礁生态系统的影响。

根据国际国内的高频关键词聚类分析的四个群集,国内外珊瑚研究有一定相似性。首先国内外都有关于珊瑚礁生态系统和与珊瑚相关的环境因子的研究;都有关于气候变化对珊瑚礁影响研究等。二者不同的是:国际着重研究珊瑚白化等使珊瑚礁退化的原因,而国内更重视珊瑚礁造礁能力与人类活动对珊瑚礁生态系统的影响,由此看出,国际上对珊瑚的退化研究优于国内,所以国内在探究珊瑚造礁能力的同时还要借鉴国外,挖掘珊瑚退化的各种原因,从根本上解决珊瑚退化问题。

表 4 国内珊瑚研究关键词聚类群体划分
Table 4 Cluster groups of coral studies key words in domestic

集群 Cluster	关键词 Key words
群集 1 Clusters 1	岸礁、虫黄藻、共生藻、过度捕捞、海水温度、海洋保护区、海洋生态系统、海洋鱼类、海洋资源、全球变暖、全球气候、全球海洋、珊瑚白化、珊瑚礁
群集 2 Clusters 2	堡礁、滨珊瑚、海平面变化、海洋公园、海洋环保、海洋环境、海洋生态、海洋生态环境、海洋生物学、海洋酸化、礁坪、鹿回头、鹿角珊瑚、旅游项目、南海、南沙群岛、全新世、人类活动、珊瑚、生态环境、生态系统、生物多样性、生物礁、石珊瑚、涠洲岛、西沙群岛、亚龙湾、渔业厅、造礁珊瑚、造礁石珊瑚
群集 3 Clusters 3	气候变化
群集 4 Clusters 4	全球变化、热带海洋

3 结论

(1)国际上对珊瑚的研究大致可以 1991 年为界分为两个阶段,1991 年之后进入成熟发展时期。国内可分为 4 个阶段:初步探索阶段,发展萌芽阶段,波动增长阶段,稳步增长阶段。综合来看,不论是国内还是国外,研究数量都是自 20 世纪 90 年代底开始大体呈逐年上升趋势,这与近些年来珊瑚礁退化,海洋生态环境恶化有关。

(2)国际上有关珊瑚的研究的出现最多的关键词为 coral reefs, corals, coral bleaching, climate change 等,我国的珊瑚研究中出现频次最多的关键词为珊瑚礁,造礁珊瑚,造礁石珊瑚等,这说明国外对珊瑚的研究更倾向于探究珊瑚礁退化的原因,而国内则以提高珊瑚礁的造礁能力为研究热点。

(3)根据高频关键词网络共现网络可视图看出,国际研究中关键词 coral reefs, corals, climate change, sedimentation 等词所代表的节点较大说明它们与其他关键词一起研究的次数较多,这些词一定程度上也可视为当前的研究热点。

(4)从国际国内的高频关键词聚类分析结果来看,国际着重研究珊瑚白化等使珊瑚礁退化的原因,而国内更重视珊瑚礁造礁能力与气候变化和人类活动对珊瑚礁生态系统的影响。国际上对珊瑚的退化的研究优于国内,所以国内在以后的研究中应增加对珊瑚退化问题的研究,从源头上解决退化问题。

综上所述,珊瑚礁是目前国内外的有关珊瑚在生态环境领域的研究的重点,但国内外的研究各有侧重,国外对珊瑚的研究以珊瑚礁退化为研究热点,而国内则以提高珊瑚礁的造礁能力为研究热点。这也折射出当前全世界珊瑚礁形势不容乐观,各种自然因素和人为因素在推动着珊瑚礁的退化,珊瑚礁生态系统亟待修复,因此,国内外未来的研究会倾向于珊瑚修复或帮助珊瑚礁生态系统自行恢复。本文存在的不足:由于资源有限,国际文献尚未收集到 1989 年之前的相关文献,导致分析不够全面。本文从 CNKI 上搜索“珊瑚”为主题的文献,由于 CNKI 不能准确地筛选出生态环境领域的文献,所以采用手动筛选,可能会有漏选或错选,使筛选结果不够准确。

参考文献 (References):

[1] Nederhof A J. Bibliometric monitoring of research performance in the Social Sciences and the Humanities: A Review. Scientometrics, 2006, 66 (1): 81-100.

[2] 钟赛香, 曲波, 苏香燕, 毛鹏, 游细斌. 从《地理学报》看中国地理学研究的特点与趋势——基于文献计量方法. 地理学报, 2014, 69(8): 1077-1092.

[3] Fernandes C H, Meirelles L M, Neto J R, Dos Santos J B G, Faloppa F, Albertoni W M. Characteristics of global publications about wrist arthroscopy: a bibliometric analysis. Hand Surgery, 2012, 17(3) 311-315.

[4] 张玲玲, 巩杰, 张影. 基于文献计量分析的生态系统服务研究现状及热点. 生态学报, 2016, 36(18): 5967-5977.

[5] 田亚平, 常昊. 中国生态脆弱性研究进展的文献计量分析. 地理学报, 2012, 67(11): 1515-1525.

[6] Gerdri N, Kongthon A, Puengrusme S. Profiling the research landscape in emerging areas using bibliometrics and text mining: a case study of biomedical engineering (BME) in Thailand. International Journal of Innovation and Technology Management, 2017, 14(2): 1740011.

- [7] Taşkın Z, Akça S. Mapping and bibliometric analysis of *American historical* review citations and its contribution to the field of history. *Journal of Information & Knowledge Management*, 2016, 15(4): 1650039.
- [8] Tancoigne E, Barbier M, Cointet J P, Richard G. The place of agricultural sciences in the literature on ecosystem services. *Ecosystem Services*, 2014, 10: 35-48.
- [9] Lionel N G S, Loke-Ming C. Coral reef restoration in Singapore-Past, present and future. (2017-03-23) [2018-01-02]. https://www.worldscientific.com/doi/pdf/10.1142/9789813230620_0001.
- [10] Shafir S, Van Rijn J, Rinkevich B. Steps in the construction of underwater coral nursery, an essential component in reef restoration acts. *Marine Biology*, 2006, 149(3): 679-687.
- [11] Rolf P M B, Nieuwland G, Erik H M. Coral reef crisis in deep and shallow reefs: 30 years of constancy and change in reefs of Curacao and Bonaire. *Coral Reefs*, 2005, 24(3): 475-479.
- [12] Hoegh-Guldberg O. Coral reef ecosystems and anthropogenic climate change. *Regional Environmental Change*, 2011, 11(S1): 215 - 227.
- [13] 张乔民, 余克服, 施祺, 赵美霞. 全球珊瑚礁监测与管理保护评述. *热带海洋学报*, 2006, 25(2): 71-78.
- [14] 张成龙, 黄晖, 黄良民, 刘胜. 海洋酸化对珊瑚礁生态系统的影响研究进展. *生态学报*, 2012, 32(5): 1606-1615.
- [15] 李元超, 黄晖, 董志军, 练健生, 周国伟. 珊瑚礁生态修复研究进展. *生态学报*, 2008, 28(10): 5047-5054.
- [16] 吴钟解, 王道儒, 涂志刚, 李元超, 陈家日, 张光星. 西沙生态监控区造礁石珊瑚退化原因分析. *海洋学报*, 2011, 33(4): 140-146.
- [17] 张振冬, 温泉, 樊景凤, 梁斌, 蔡悦荫, 郭皓. 弹性思维在珊瑚礁资源管护中的应用. *海洋开发与管理*, 2013, 30(7): 61-64.
- [18] 覃祯俊, 余克服, 王英辉. 珊瑚礁生态修复的理论与实践. *热带地理*, 2016, 36(1): 80-86.
- [19] 曹永强, 朱明明. 近 20 年来我国空气污染研究热点与趋势的文献计量分析. *华北水利水电大学学报: 自然科学版*, 2016, 37(3): 76-81.
- [20] Callin M, Law J R, Rip A. Mapping the Dynamics of Science and Technology: Sociology of Science in the Real World. London: Macmillan, 1986: 225-226.
- [21] Cambrosio A, Limoges C, Courtial J P, Laville F. Historical scientometrics? Mapping over 70 years of biological safety research with coword analysis. *Scientometrics*, 1993, 27(2): 119-143.
- [22] 李秋云, 韩国圣, 张爱平, 徐虹. 1979—2012 年中国旅游地理学文献计量与内容分析. *旅游学刊*, 2014, 29(9): 110-119.
- [23] 曹永强, 李维佳, 袁立婷. 基于文献计量学的我国水资源优化配置研究现状分析. *华北水利水电大学学报: 自然科学版*, 2017, 38(5): 63-69.
- [24] 曹永强, 郭明, 刘思然, 杨俊. 基于文献计量分析的生态修复现状研究. *生态学报*, 2016, 36(8): 2442-2450.
- [25] Kostoff R N, Shlesinger M F, Tshiteya R. Nonlinear dynamics text mining using bibliometrics and database tomography. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 2004, 14(1): 61-92.
- [26] 薛薇. 统计分析与 SPSS 的应用. 北京: 中国人民大学出版社, 2001.
- [27] 王宏伟, 郑爽, 曹永强. 基于文献计量分析的国内山洪灾害现状研究. *中国水利水电科学研究院学报*, 2017, 15(1): 29-36.
- [28] Yonge C M, Nicholls A G. Studies on the physiology of corals. IV. The structure, distribution and physiology of the zooxanthellae. *Scientific Report*, 1931, 1(6): 135-176.
- [29] Li A G, Reidenbach M A. Forecasting decadal changes in sea surface temperatures and coral bleaching within a Caribbean coral reef. *Coral Reefs*, 2014, 33(3): 847-861.
- [30] Ferreira B P, Costa M B S F, Coxey M S, Gaspar A L B, Velela D, Araujo M. The effects of sea surface temperature anomalies on oceanic coral reef systems in the southwestern tropical Atlantic. *Coral Reefs*, 2013, 32(2): 441-454.
- [31] 李淑, 余克服. 珊瑚礁白化研究进展. *生态学报*, 2007, 27(5): 2059-2069.