



DOI: 10.5846/stxb202104120942

姜璐, 余静. 基于文献计量的牡蛎礁研究现状与热点分析. 生态学报, 2021, 41(18): 7484-7491.

基于文献计量的牡蛎礁研究现状与热点分析

姜 璐¹, 余 静^{1,2,*}

¹ 中国海洋大学海洋与大气学院, 青岛 266100

² 中国海洋大学海洋发展研究院, 青岛 266100

摘要:牡蛎礁作为重要的海岸带生态系统,具备水质净化、提供栖息地等多种生态系统服务功能。为了解国内外牡蛎礁研究的现状与热点,分别以 Web of Science 核心合集数据库和中国期刊全文数据库为数据源,通过国内外发文趋势分析、高频关键词分析、关键词共现和聚类分析及主题时间演变分析等,分析牡蛎礁研究热点与趋势。研究结果表明:(1)国际与国内牡蛎礁研究发文量总体呈现上升趋势,但国内研究增长速率低于国际研究;(2)牡蛎礁生态恢复研究是国内外研究的共同关注点,但国内相关研究起步较晚;(3)以外,国际上对牡蛎礁的研究更加关注生态系统服务功能、气候变化等,而国内主要倾向于从地质学角度进行研究;(4)近年来,气候变化成为国际牡蛎礁研究新的热点,但国内对此关注较少。本研究将为了解当前国内外牡蛎礁研究现状及发展态势提供借鉴,并为我国牡蛎礁保护与修复方面的政策制定、科学研究等工作的开展提供情报参考。

关键词:牡蛎礁;文献计量;研究热点;聚类分析;主题时间演变

牡蛎礁是一种分布于河口和沿海地区,由牡蛎固着生长于硬底物表面的生物礁,具有净化水质、提供栖息地、海岸防护和固碳等重要生态系统服务功能及较高的经济价值^[1-2]。但是,由于不合理的开发利用及气候变化的影响,全球范围内牡蛎礁生态系统严重破坏,生态系统服务功能下降^[3-4]。目前,全球范围内已损失超过 85% 的牡蛎礁栖息地,是最受威胁的海岸带生态系统之一^[3,5]。自从 20 世纪 50 年代起,美国率先开展牡蛎礁恢复项目及相关学术研究^[6],目前,牡蛎礁生态恢复已经成为国际海洋生态恢复研究的热点^[7]。

我国已知的牡蛎礁栖息地广泛分布于天津大神堂^[8]、江苏小庙洪^[9]、福建深沪湾^[10]、江苏海门蛎岬山^[11]、浙江徐闻^[11]等区域。虽然,我国已在江苏蛎岬山和天津市大神堂设置海洋特别保护区以保护牡蛎礁资源,并将牡蛎礁现状调查与评估、生态修复的相关技术要求纳入《海岸带生态系统现状调查与评估技术导则》和《海岸带生态减灾修复技术导则》系列团体标准中,以支持、规范相关生态修复活动,但近年来我国牡蛎礁生境仍面临威胁^[12-13]。在学术研究方面,与国际社会相比,我国牡蛎礁相关文献资料有限,严重制约了牡蛎礁资源保护、修复等工作。

文献计量是一种对于科学研究的定量评价方法,旨在评价特定研究领域的学术研究工作^[14]。目前,文献计量分析已广泛应用于海草、珊瑚礁等海岸带生态系统^[15-16]以及海洋生态修复、海洋生态系统服务等研究领域^[7,17],以帮助识别研究热点,分析主题演变过程,对相关领域的研究进展有积极的促进作用。

基于此,本文利用文献计量学方法对国际、国内牡蛎礁研究的发文趋势、研究热点和主题演变进行分析与比较,旨在了解我国牡蛎礁研究现状的同时,阐明国际牡蛎礁研究热点和主题演变趋势,为我国牡蛎礁学术研究和生态修复实践工作的开展提供借鉴。

基金项目:国家自然科学基金联合基金项目(U1706215)

收稿日期:2021-04-12; 修订日期:2021-08-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: by6801@ouc.edu.cn

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

本文以 Web of Science 核心合集数据库为数据源,检索 1990—2019 年间发表的以“oyster reef*”为主题的牡蛎礁研究国际文献,经过筛选,共得到 667 条符合条件的文献信息。同时,本文以中国期刊全文数据库(CNKI)为数据源,检索将“牡蛎礁”作为主题的文献,获取国内研究数据源。由于 CNKI 中包含学术期刊、年鉴、学术报纸、专利等体裁,为保证分析质量,仅选择期刊论文作为数据来源,时间跨度与国际研究数据保持一致,共筛选出 121 篇文献。国际研究数据与国内研究数据检索时间均为 2020 年 9 月 28 日。

1.2 研究方法

文献计量是一种以文献的外部特征为研究对象,运用数理统计方法进行定量分析,客观反映某一研究领域研究现状和发展趋势的分析方法。通过分析国内外发文趋势和关键词,可以探明牡蛎礁研究领域的研究热点和主题演变规律。本研究借助 BibExcel 和 VOSviewer 两个软件,分析国际、国内牡蛎礁研究现状和热点。其中,BibExcel 主要用于发文趋势的统计和高频关键词分析;VOSviewer 用于关键词共现分析和聚类分析。

2 结果分析

2.1 牡蛎礁研究文献发表趋势分析

为了准确、清晰地认识国际、国内牡蛎礁相关文献的发表情况,绘制国内外牡蛎礁研究年度文献分布及发表趋势图(图 1)。由图 1 可以看出,国际上对于该主题的逐年文献数量整体上呈现上升趋势。研究可以大致分为三个阶段:第一阶段(2000 年以前),文献数量较少,年度发文量不超过 10 篇,牡蛎礁研究处于萌芽时期;第二阶段(2000 至 2010 年),随着牡蛎礁生态经济价值被逐渐认可,学术界对牡蛎礁研究兴趣增长,牡蛎礁研究文献发表呈现稳定增长态势,年发文量增长至 20 篇左右,个别年份超过 30 篇;第三阶段(2011 至 2019 年),牡蛎礁相关文献骤增,开展了丰富的研究工作。而由文献发表趋势可以看出,国内对于牡蛎礁的关注相对不足。从年度文献发表数量来看大致可分为两个发展阶段:第一阶段(1990—2002 年)为萌芽期,年度发文量较少,某些年份甚至没有相关文献发表;第二阶段(2003—2019 年)为缓慢增长期,自 2003 年起,文献发表数量有了一定的增长,但增长幅度较小,年文献发表数量不超过 10 篇。为进一步明确国际、国内牡蛎礁研究领域的文献发表趋势,通过线性拟合的方式,添加趋势线,结果发现 Web of Science 数据库文献发表增速明显高于 CNKI。这说明,近年来国内牡蛎礁研究虽然有一定的发展,但文献发表增速明显低于国际社会,需要进一步加强研究力度,提升科研实力。

2.2 牡蛎礁研究高频关键词分析

关键词是对文章主题的高度概括和凝练,通过对高频关键词的分析能够把握牡蛎礁研究领域的主要内容。BibExcel 软件被应用于关键词频次分析。

国际高频关键词如表 1 所示,“oyster reef(牡蛎礁)”、“*Crassostrea virginica*(美洲牡蛎)”、“restoration(恢复)”、“recruitment(恢复健康)”和“ecosystem services(生态系统服务)”等关键词出现频次较多。国际牡蛎礁研究涉及了生态恢复、生态系统服务等多方面;研究较多的区域包括墨西哥湾(Gulf of Mexico)、切萨皮克湾

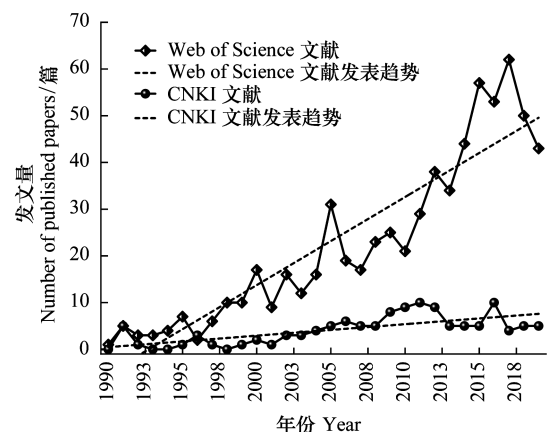


图1 Web of Science 核心合集数据库和 CNKI 数据库中牡蛎礁研究年度文献分布及发表趋势

Fig.1 Distribution and publication trend of studies on oyster reef in Web of Science Core Collection and CNKI databases

(Chesapeake Bay) 以及一些河口地区 (estuaries) 等;研究的牡蛎品种涉及美洲牡蛎 (*Crassostrea virginica*/eastern oyster) 和太平洋牡蛎 (*Crassostrea gigas*) 等。国内高频关键词如表 1 所示,“牡蛎礁”、“渤海湾”、“深沪湾”、“海面变化”和“生态修复”等出现频次较高。国内牡蛎礁研究涉及生态修复、生态保护和海洋地质等多个方面,研究区域主要涉及渤海湾和深沪湾。

根据高频关键词分析结果,国际、国内牡蛎礁研究内容有一些共同点,具体表现为国际、国内均对牡蛎礁生态修复有较大的研究兴趣,这可能是因为牡蛎礁的生态经济价值得到广泛认可,且全球范围内牡蛎礁生态功能受损严重,生态系统服务质量下降^[2-3];在研究区域方面,国内外研究重点均在海湾、河口等牡蛎礁分布区。但是,国际牡蛎礁研究主题明显更加丰富,如国际社会广泛关注的牡蛎礁生态系统服务、气候变化等研究热点均值得国内研究者借鉴并进行深入探讨。

表 1 高频关键词及出现频次

Table 1 High frequency keywords and their occurrence

国际 Global				国内 Domeste			
频次	关键词	频次	关键词	频次	关键词	频次	关键词
Frequency	Keywords	Frequency	Keywords	Frequency	Keywords	Frequency	Keywords
127	Oyster Reef	15	Seagrass	54	牡蛎礁	4	古环境
113	<i>Crassostrea Virginica</i>	15	Chesapeake Bay	14	渤海湾	4	海面变化
70	Oyster	14	Salinity	10	天津	4	生态修复
53	Restoration	13	Aquaculture	9	深沪湾	3	地质遗迹
26	Recruitment	13	Habitat Complexity	7	渤海湾西北岸	3	生境
25	Ecosystem services	12	<i>Crassostrea gigas</i>	6	海底古森林	3	海洋特别保护区
25	Eastern Oyster	12	Nekton	5	潮间带	3	高密度电法
21	Gulf of Mexico	12	Estuaries	5	海岸带	3	牡蛎
20	Habitat	12	Shellfish	5	全新世	3	埋藏牡蛎礁
20	Estuary	11	Eutrophication	5	人工鱼礁	3	生态恢复
18	Predation	11	Growth	5	沉积环境	3	硅藻分析
17	Habitat Restoration	11	Intertidal	4	贝壳堤	3	海洋保护区
16	Water Quality	10	Oyster Reef Restoration	4	长江口	3	地质环境变化
15	Denitrification			4	七里海		

2.3 牡蛎礁研究热点分析

关键词共现分析是文献计量学中常用的分析方法,可以体现研究主题与研究热点^[17]。为识别牡蛎礁研究热点,本研究运用 VOSviewer 软件进行国际、国内牡蛎礁研究关键词共现可视化分析。

为了更加清晰地显示国际牡蛎礁研究关键词共现关系,将关键词阈值设置为 6,可视化结果如图 2 所示。图中节点大小表示关键词出现频次,节点越大代表出现频次越高;节点之间的连线表示关键词之间共现频次,连线越粗代表关键词共现频次越高;节点之间以颜色区分不同聚类,各聚类可反映牡蛎礁研究的热点。

图 2 中,节点较大的关键词有“oyster reef(牡蛎礁)”、“*Crassostrea virginica*(美洲牡蛎)”、“restoration(恢复)”、“ecosystem services(生态系统服务)”、“recruitment(恢复健康)”以及“water quality(水质)”等。其中“oyster reef(牡蛎礁)”和“*Crassostrea virginica*(美洲牡蛎)”是两个最大的节点,连线最粗,表示目前牡蛎礁研究中,美洲牡蛎是研究的热点。“oyster reef(牡蛎礁)”和“restoration(恢复)”之间的连线强度位于第二位,表明对于牡蛎礁的恢复是国际牡蛎礁研究的重要关注点。根据聚类结果,国际牡蛎礁研究关键词被划分为 6 个研究主题,各主题包含的关键词见表 2。总结、归纳得到近 30 年来国际社会关于牡蛎礁研究的 6 个热点主题:(1)牡蛎礁渔业资源及生物栖息地研究;(2)牡蛎礁生态恢复研究;(3)气候变化背景下牡蛎礁生境研究;(4)牡蛎礁水质净化功能研究;(5)牡蛎礁栖息地监测研究;(6)锯缘青蟹栖息地研究。国内牡蛎礁关键词共现及聚类结果如图 3 所示。国内关于牡蛎礁研究文献较少,因此将关键词阈值设为 3。根据聚类结果,国内牡蛎礁研究关键词被划分为 6 部分,各聚类包含的关键词见表 3。聚类 1、聚类 2、聚类 3 主要从地质学的角度对牡蛎礁进行研究。聚类 4 和聚类 5 主要为牡蛎礁生态恢复研究,聚类 6 主要为牡蛎礁海洋保护区研究。具

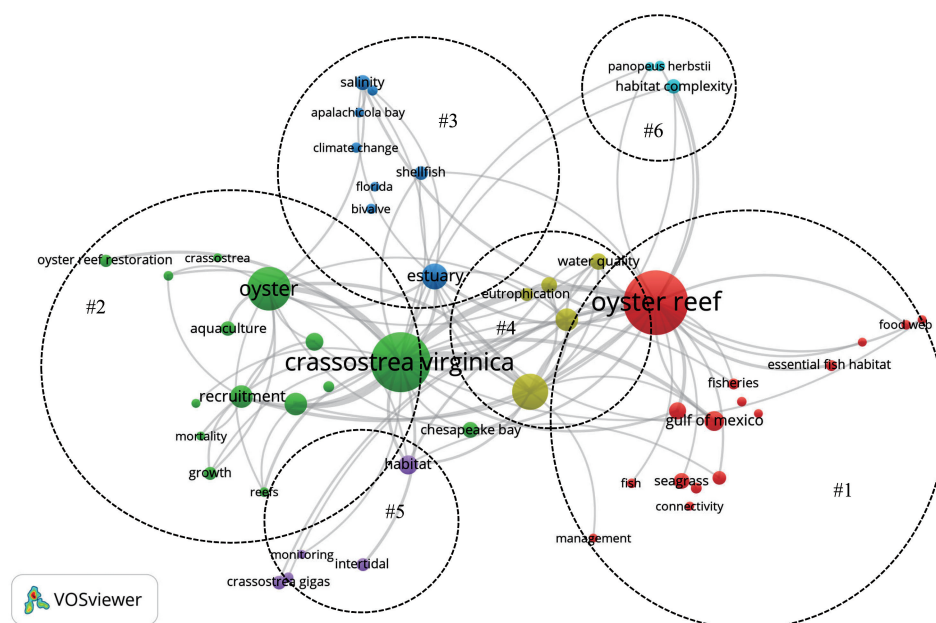


图 2 1990—2019 年国际牡蛎礁研究的主要关键词及其共现关系

Fig.2 Main keywords and their co-occurrence in the international oyster reef research from 1990 to 2019

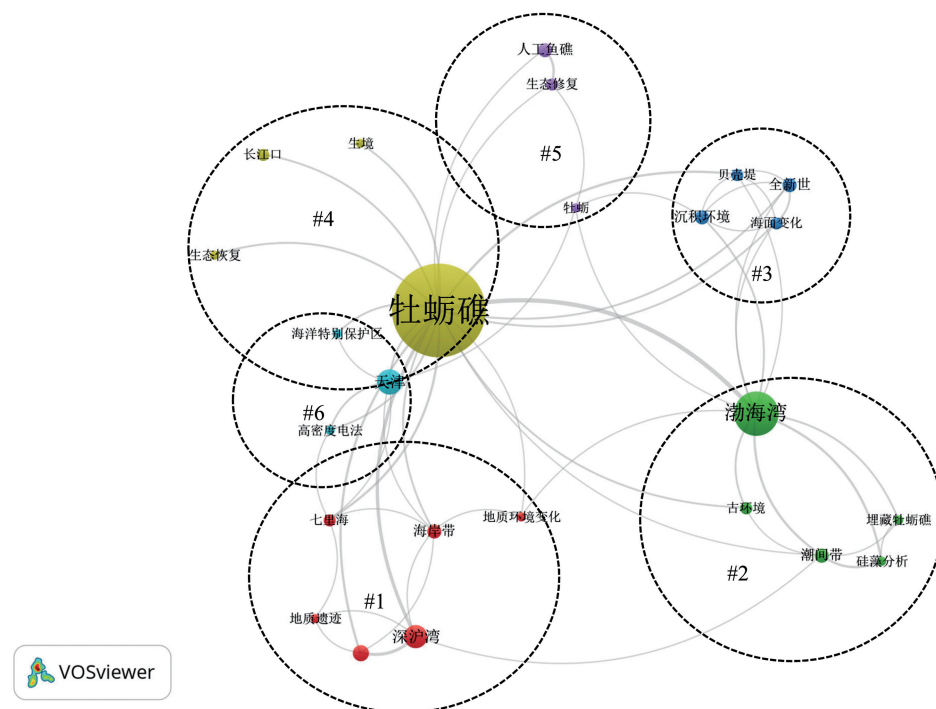


图 3 1990—2019 年国内牡蛎礁研究的主要关键词及其共现关系

Fig.3 Main keywords and their co-occurrence in the domestic oyster reef research from 1990 to 2019

体的,根据各集群主要关键词及相关研究内容,总结得到国内牡蛎礁 6 个热点主题:(1)深沪湾等区域的牡蛎礁地质研究;(2)渤海湾埋藏牡蛎礁研究;(3)气候变化背景下牡蛎礁生境研究;(4)牡蛎礁生境恢复研究;(5)以人工鱼礁为手段的牡蛎礁生态修复研究;(6)牡蛎礁海洋保护区研究。

表 2 国际牡蛎礁研究主要关键词聚类信息

Table 2 Cluster information of main keywords in the international oyster reef research	
聚类 Cluster	关键词 Keywords
聚类 1 Cluster 1	connectivity, ecosystem engineer, essential fish habitat, fish, fisheries, food web, gulf of mexico, habitat restoration, habitat structure, living shorelines, management, nekton, oyster reef, predator-prey interaction
聚类 2 Cluster 2	aquaculture, <i>Crassostrea virginica</i> , eastern oyster, growth, hydrodynamics, larvae, mortality, oyster, oyster reef restoration, oyster restoration, predation, recruitment, reefs
聚类 3 Cluster 3	apalachicola bay, bivalve, climate change, estuary, florida, freshwater inflow, salinity, shellfish
聚类 4 Cluster 4	denitrification, ecosystem services, eutrophication, restoration, water quality
聚类 5 Cluster 5	<i>Crassostrea gigas</i> , habitat, intertidal, invasive species, monitoring
聚类 6 Cluster 6	<i>Callinectes sapidus</i> , habitat complexity, <i>Panopeus herbstii</i>

表 3 国内牡蛎礁研究主要关键词聚类信息

Table 3 Cluster information of main keywords in the domestic oyster reef research			
聚类 Cluster	关键词 Keywords	聚类 Cluster	关键词 Keywords
聚类 1 Cluster 1	七里海、地质环境变化、地质遗迹、深沪湾、海岸带、海底古森林	聚类 4 Cluster 4	牡蛎礁、生境、生态恢复、长江口
聚类 2 Cluster 2	古环境 埋藏牡蛎礁 渤海湾、潮间带、硅藻分析	聚类 5 Cluster 5	人工鱼礁、牡蛎、生态修复
聚类 3 Cluster 3	全新世、沉积环境、海面变化、贝壳堤	聚类 6 Cluster 6	天津、高密度电法、海洋特别保护区

如图 4 所示,牡蛎礁生态恢复研究(聚类 2、聚类 4)是国际牡蛎礁研究早期的研究热点,也是国际牡蛎礁研究始终关注的热点问题,在 2008 年以前已经积累了较多的研究成果。其中,美国切萨皮克湾是较早开展牡蛎礁生态恢复实践工作的地区,在早期进行了较多与之相关的学术研究^[18-19]。牡蛎礁生态恢复研究呈现逐渐深入的趋势,至今仍为牡蛎礁研究的热点^[4-5,20]。

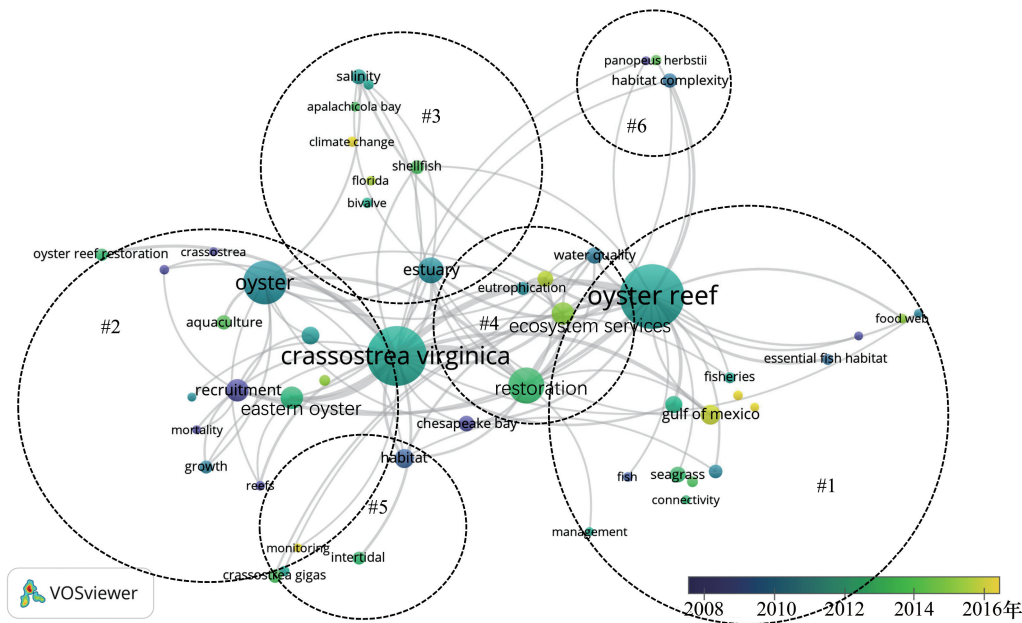


图 4 1990—2019 年国际牡蛎礁研究主要关键词时间演变趋势

Fig.4 Time evolution trend of main keywords in international oyster reef research from 1990 to 2019

2.4 牡蛎礁研究主题演变分析

为明晰牡蛎礁研究主题演变趋势,运用 VOSviewer 分别绘制国际、国内牡蛎礁研究关键词时间演变图(图 4、图 5),分析牡蛎礁研究主题演变特征。图中节点颜色代表关键词出现的平均时间,关键词节点越趋近于蓝

色表示出现时间越早,越趋近于黄色表示出现时间越晚。

牡蛎礁生态系统服务功能(聚类1、聚类4、聚类6)也是国际牡蛎礁研究的热点^[21-22],2010年以后,牡蛎礁生态系统服务功能得到广泛关注,相关研究更加丰富,水质净化和提供生物栖息地等生态系统服务功能也逐渐引起研究者的兴趣^[23-25]。

近年来,在人类活动和全球气候变化的影响下,牡蛎礁研究趋向复杂化、多元化。除了之前备受关注的牡蛎礁的水质净化、提供生物栖息地等生态系统服务功能研究和生态恢复研究外,大量研究关注全球气候变化对牡蛎礁的影响^[26-27]以及牡蛎礁在应对全球气候变化过程中发挥的作用^[28]。牡蛎礁与应对气候变化相关的生态系统服务功能也成为该领域的研究兴趣点,如牡蛎礁的碳汇价值和海岸防护价值等^[29-31]。

由时间演变趋势可以看出,牡蛎礁生态恢复和生态系统服务一直是国际牡蛎礁研究重点,随着牡蛎礁生境面临问题日益复杂,如气候变化的影响,牡蛎礁的固碳、海岸防护的功能在近年来也受到较多的关注,相关研究逐渐增多。

由图5可知,国内牡蛎礁研究在早期多为地质学研究,将牡蛎礁作为一种重要的地质现象^[32-33]。深沪湾是国内早期牡蛎礁研究的重点区域。随后,研究区域的不断拓展,关于牡蛎礁地质学方面的研究不断深入^[34-35]。与此同时,逐步开展牡蛎礁发育环境及群落特征等方面的基础研究^[36-37],研究范围也逐渐拓展到长江口、渤海湾等区域。

随着牡蛎礁生态系统服务价值得到广泛认可,我国学者也开展了牡蛎礁生态系统服务^[38]、生态评价^[9]、生态系统恢复^[39]及管理保护^[12,40]等相关研究,但文献数量较少。其中,牡蛎礁生态系统恢复为重点研究内容。

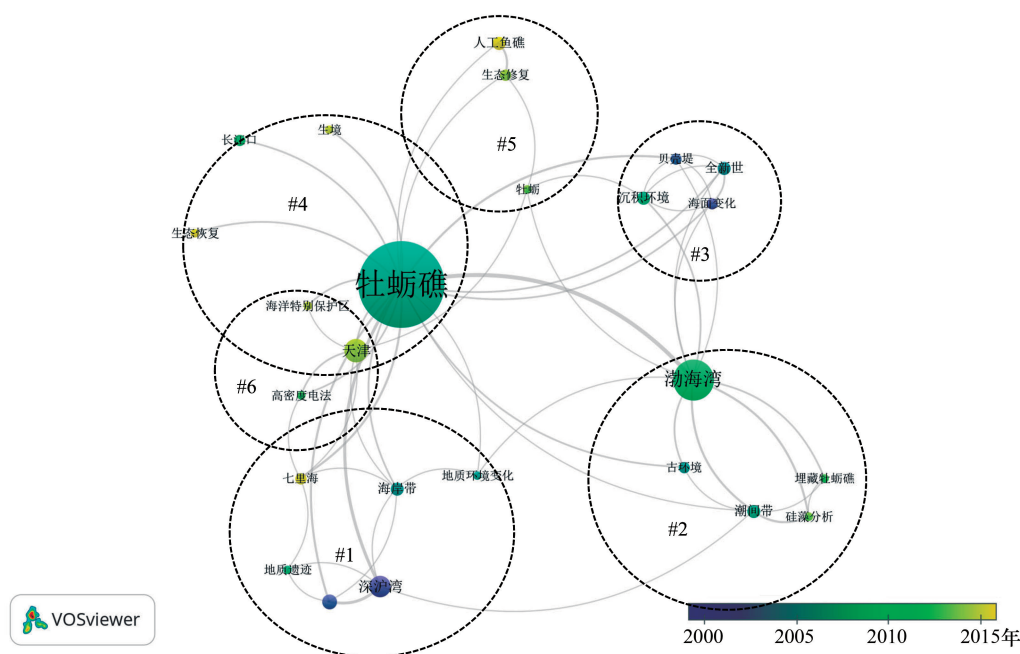


图5 1990—2019年国内牡蛎礁研究高频关键词时间演变趋势

Fig.5 Time evolution trend of main keywords in domestic oyster reef research from 1990 to 2019

3 结论与展望

本研究以文献计量为分析方法,结合 BibExcel 和 VOSviewer 软件对 1990—2019 年的国内外牡蛎礁相关文献发表趋势,研究热点及主题演变趋势进行分析,得到以下几点结论:

(1) 1990—2019 年间,国内外牡蛎礁研究发文量均呈现线性增长趋势,表明牡蛎礁研究关注度不断提升。

(2) 国际牡蛎礁研究热点包括生态恢复、生态系统服务、全球气候变化背景下牡蛎礁生境变化及响应等方面;国内牡蛎礁研究热点包括牡蛎礁地质学研究、生态恢复等方面。其中,牡蛎礁生态恢复是国内外学者的共同关注点。

(3) 目前,国内牡蛎礁研究主要从地质学的角度进行探讨,而对于国际社会普遍关注的水质净化、提供生物栖息地、固碳、海岸防护等生态系统服务功能以及气候变化背景下牡蛎礁生境变化及适应性等问题的研究尚不深入。

(4) 在时间维度,随着人类开发利用活动强度的增加以及全球气候变化,国际、国内牡蛎礁研究主题均呈现多元化趋势。

当前,国内牡蛎礁研究虽然呈现多元化趋势,但仍存在以下几点问题,仍需进一步加强。首先,我国牡蛎礁分布情况尚不清晰,这对牡蛎礁生境恢复、保护与管理均造成较大难度,应开展专门性研究,明确我国牡蛎礁分布情况;其次,我国虽然已经开展了一些牡蛎礁生态修复项目,但是相关的学术研究成果却很少,难以将实践经验转化成系统、科学的指导。因此,在未来的研究中可以对已经实施且具有良好效果的项目进行研究,形成经验总结,指导后续实践。再者,全球气候变化背景下,我国牡蛎礁生境所受到的影响及其在应对气候变化方面所起到的作用应该引起研究者的重视。海岸带生态系统,如红树林、盐沼、海草床等已被确认为可靠的碳汇,在应对气候变化方面发挥重要作用。在未来,牡蛎礁在我国实现碳中和目标进程中所扮演的角色同样值得关注。

参考文献 (References):

- [1] 全为民, 冯美, 周振兴, 吴祖立, 唐峰华, 王云龙, 包小松, 沈辉, 成伟. 江苏海门蛎岬山牡蛎礁恢复工程的生态评估. 生态学报, 2017, 37(5): 1709-1718.
- [2] Grabowski J H, Brumbaugh R D, Conrad R F, Keeler A G, Opaluch J J, Peterson C H, Piehler M F, Powers S P, Smyth A R. Economic valuation of ecosystem services provided by oyster reefs. Bioscience, 2012, 62(10): 900-909.
- [3] Beck M W, Brumbaugh R D, Airolidi L, Carranza A, Coen L D, Crawford C, Defeo O, Edgar G J, Hancock B, Kay M C, Lenihan H S, Luckenbach M W, Toropova C L, Zhang G F, Guo X M. Oyster reefs at risk and recommendations for conservation, restoration, and management. Bioscience, 2011, 61(2): 107-116.
- [4] Reeves S E, Renzi J J, Fobert E K, Silliman B R, Hancock B, Gillies C L. Facilitating better outcomes: how positive species interactions can improve oyster reef restoration. Frontiers in Marine Science, 2020, 7: 656.
- [5] Zu Ermgassen P S E, Bonačić K, Boudry P, Bromley C A, Cameron T C, Colsoul B, Coolen J W P, Frankic A, Hancock B, Van Der Have T M, Holbrook Z, Kamermans P, Laugen A T, Nevejan, N, Pogoda B, Pouvreau S, Preston J, Ranger C J, Sanderson W G, Sas H, Strand Å, Sutherland W J. Forty questions of importance to the policy and practice of native oyster reef restoration in Europe. Aquatic Conservation-Marine and Freshwater Ecosystems, 2020, 30(11): 2038-2049.
- [6] Hernández A B, Brumbaugh R D, Frederick P, Grizzle R, Luckenbach M W, Peterson C H, Angelini C. Restoring the eastern oyster: how much progress has been made in 53 years? Frontiers in Ecology and the Environment, 2018, 16(8): 463-471.
- [7] 俞炜炜, 马志远, 张爱梅, 胡文佳, 陈光程, 刘云鹏, 陈彬. 海洋生态修复研究进展与热点分析. 应用海洋学学报, 2021, 40(1): 100-110.
- [8] 曾容, 杨翼, 刘捷, 许艳, 刘书明. 天津大神堂牡蛎礁海洋特别保护区生态旅游环境容量研究. 海洋开发与管理, 2018, 35(3): 87-91.
- [9] 顾勇, 齐德利, 葛云健, 于蓉, 张忍顺. 江苏小庙洪牡蛎礁生态评价与保护区建设. 海洋科学, 2005, 29(3): 42-47.
- [10] 俞鸣同, 藤井昭二, 坂本亨. 福建深沪湾牡蛎礁的成因分析. 海洋通报, 2001, 20(5): 24-30.
- [11] 熊兰兰, 汪思茹, 张一帆, 常立侠, 周厚诚. 发掘海岛文化, 打造文化旅游品牌——以徐闻大汉三墩四岛为例. 海洋信息, 2014, (2): 37-41.
- [12] 殷小亚, 陈海刚, 乔延龙, 陈亮. 天津大神堂牡蛎礁国家级海洋特别保护区现状及对策. 海洋湖沼通报, 2015, (1): 162-166.
- [13] 全为民, 周为峰, 马春艳, 冯美, 周振兴, 唐峰华, 吴祖立, 范瑞良, 王云龙, 包小松, 沈辉, 成伟. 江苏海门蛎岬山牡蛎礁生态现状评价. 生态学报, 2016, 36(23): 7749-7757.
- [14] Lima C O, Bonetti J. Bibliometric analysis of the scientific production on coastal communities' social vulnerability to climate change and to the impact of extreme events. Natural Hazards, 2020, 102(3): 1589-1610.

- [15] 王耕, 常畅, 于小茜, 徐惠民. 基于文献计量分析的珊瑚礁研究现状与热点. 生态学报, 2019, 39(3): 1114-1123.
- [16] 周元慧, 胡刚, 张忠华, 陶旺兰, 王俊丽, 付瑞玉. 基于 Web of Science 的国际海藻研究文献计量评价. 生态学报, 2019, 39(11): 4200-4211.
- [17] 王耕, 张挥航. 基于文献计量的海洋生态系统服务研究热点与趋势分析. 生态学报, 2020, 40(7): 2496-2505.
- [18] Mann R L. Restoring the oyster reef communities in the Chesapeake bay: a commentary. Journal of Shellfish Research, 2000, 19(1): 335-339.
- [19] Harding J M, Mann R. Estimates of naked Goby (*Gobiosoma bosc*), striped blenny (*Chasmodes bosquianus*) and Eastern oyster (*Crassostrea virginica*) larval production around a restored Chesapeake Bay oyster reef. Bulletin of Marine Science, 2000, 66(1): 29-45.
- [20] David A A. Oyster reef restoration and biological invasions: an overlooked or a non-issue? Frontiers in Marine Science, 2020, 7: 544691.
- [21] Breitburg D L, Coen L D, Luckenbach M, Mann R L, Posey M, Wesson J A. Oyster reef restoration: convergence of harvest and conservation strategies. Journal of Shellfish Research, 2000, 19(1): 371-377.
- [22] Peterson C H, Grabowski J H, Powers S P. Estimated enhancement of fish production resulting from restoring oyster reef habitat: quantitative valuation. Marine Ecology Progress Series, 2003, 264: 249-264.
- [23] Kellogg M L, Cornwell J C, Owens M S, Paynter K T. Denitrification and nutrient assimilation on a restored oyster reef. Marine Ecology Progress Series, 2013, 480: 1-19.
- [24] DePiper G S, Lipton D W, Lipcius R N. Valuing ecosystem services: oysters, denitrification, and nutrient trading programs. Marine Resource Economics, 2017, 32(1): 1-20.
- [25] Blomberg B N, Palmer T A, Montagna P A, Pollack J B. Habitat assessment of a restored oyster reef in South Texas. Ecological Engineering, 2018, 122: 48-61.
- [26] Ridge J T, Rodriguez A B, Fodrie F J. Evidence of exceptional oyster-reef resilience to fluctuations in sea level. Ecology and Evolution, 2017, 7(23): 10409-10420.
- [27] Thompson V D, Rick T, Garland C J, Thomas D H, Smith K Y, Bergh S, Sanger M, Tucker B, Lulewicz I, Semon A M, Schalles J, Hladik C, Alexander C, Ritchison B T. Ecosystem stability and Native American oyster harvesting along the Atlantic Coast of the United States. Science Advances, 2020, 6(28): eaba9652.
- [28] Ridge J T, Rodriguez A B, Fodrie F J. Salt marsh and fringing oyster reef transgression in a shallow temperate estuary: implications for restoration, conservation and blue carbon. Estuaries and Coasts, 2017, 40(4): 1013-1027.
- [29] Fodrie F J, Rodriguez A B, Gittman R K, Grabowski J H, Lindquist N L, Peterson C H, Piehler M F, Ridge J T. Oyster reefs as carbon sources and sinks. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 2017, 284(1859): 20170891.
- [30] Walles B, Troost K, Van Den Ende D, Nieuwhof S, Smaal A C, Ysebaert T. From artificial structures to self-sustaining oyster reefs. Journal of Sea Research, 2016, 108: 1-9.
- [31] Morris R L, Bilkovic D M, Boswell M K, Bushek D, Cebrian J, Goff J, Kibler K M, La Peyre M K, McClenachan G, Moody J, Sacks P, Shinn J P, Sparks E L, Temple N A, Walters L J, Webb B M, Swearer S E. The application of oyster reefs in shoreline protection: are we over-engineering for an ecosystem engineer? Journal of Applied Ecology, 2019, 56(7): 1703-1711.
- [32] 张士三, 周秋麟, 何明海, 邵合道. 福建深沪湾古森林及牡蛎礁遗迹及其保护的意義. 海洋与海岸带开发, 1991, 8(4): 34-37.
- [33] 王宏. 渤海湾全新世贝壳堤和牡蛎礁的古环境. 第四纪研究, 1996, (1): 71-79.
- [34] 李冬玲, 范昌福, 黄玥, 蒋辉, 王宏, 商志文. 渤海湾西北岸中全新世埋藏牡蛎礁的硅藻记录及古环境意义. 海洋通报, 2009, 28(3): 22-28.
- [35] 肖艺, 董卫宏, 商志文, 陈永胜, 杨圣坤, 杨朋, 李志华. 天津市地质遗迹特征及保护对策研究. 地质调查与研究, 2020, 43(4): 353-360.
- [36] 王建, 赵梅, 白世彪, 龚晓辉, 张茂恒, 吴艳红, 萧家仪. 黄海南部海门近岸牡蛎礁发育的物质基础与环境背景. 地理研究, 2009, 28(5): 1170-1178.
- [37] 全为民, 安传光, 马春艳, 黄厚见, 成伟, 王云龙, 沈新强, 陈亚瞿. 江苏小庙洪牡蛎礁大型底栖动物多样性及群落结构. 海洋与湖沼, 2012, 43(5): 992-1000.
- [38] 沈新强, 全为民, 袁骥. 长江口牡蛎礁恢复及碳汇潜力评估. 农业环境科学学报, 2011, 30(10): 2119-2123.
- [39] 于庆云, 张晓理, 韩锡锡. 天津大神堂活牡蛎礁渔业资源养护与生态修复浅析. 海洋经济, 2014, 4(5): 16-22.
- [40] 李建芬, 商志文, 陈永胜, 田立柱, 姜兴钰, 王福, 胡云壮, 李勇, 杨朋, 文明征, 袁海帆, 施佩歆, 王宏. 渤海湾牡蛎礁的研究现状与保护建议. 地质调查与研究, 2020, 43(4): 317-333.