第 40 卷 第 4 期
2025 年 8 月

天津科技大学学报
Journal of Tianjin University of Science and Technology

Vol. 40 No. 4
Aug. 2025

DOI:10.13364/j.issn.1672-6510.20240046
网络首发日期：2024–11–05；网络首发地址：http://link.cnki.net/urlid/12.1355.n.20241105.1418.003

基于 CiteSpace 文献计量的海洋微塑料研究进展与热点分析

曹馨怡[1]，王丽丽[2]，刘宪斌[1]，张传国[2]
（1. 天津科技大学海洋与环境学院，天津 300457；2. 交通运输部天津水运工程科学研究院，天津 300456）

摘 要：近年来微塑料作为一种新污染物引起全球范围内的重视，已成为威胁海洋生态环境安全的重要污染物之一。本研究探究近年来国内外关于海洋微塑料的研究热点及趋势，挖掘该领域的知识结构和知识演化过程，可为后续研究提供有价值的参考和启示。应用 CiteSpace 可视化软件，对 2008—2023 年间收录在中国知网（China National Knowledge Infrastructure，CNKI）和 Web of Science（WOS）数据库中的共 4 750 篇主题为海洋微塑料的文献进行分析。研究结果表明：海洋微塑料相关研究在 2008 年后迅猛发展，中国和美国是此领域的主要研究力量，中国是发文量最大的国家，中国科学院在 CNKI 和 WOS 数据库中均为中国发文量最大的研究机构。海洋微塑料的积累及其对海洋环境的污染是目前国内外研究的热点之一，纳米级微塑料以及微塑料与有机污染物复合影响可能是未来的研究方向。该研究可以为全面了解海洋微塑料的研究现状以及发展趋势提供参考。

关键词：海洋微塑料；CiteSpace；文献计量分析；聚类可视化分析；研究趋势
中图分类号：X834 **文献标志码**：A **文章编号**：1672-6510（2025）04-0059-07

Research Progress and Hotspot Analysis of Ocean Microplastics Based on CiteSpace Bibliometrics Software

CAO Xinyi[1]，WANG Lili[2]，LIU Xianbin[1]，ZHANG Chuanguo[2]
（1. College of Marine and Environmental Sciences，Tianjin University of Science and Technology，Tianjin 300457，China；
2. Tianjin Institute of Water Transport Engineering，Ministry of Transport，Tianjin 300456，China）

Abstract：In recent years，microplastics have attracted global attention as an emerging contaminant，which has become one of the most important pollutants threatening the safety of marine ecological environment. Exploring the development hotspots and trends of marine microplastics at home and abroad in recent years，and presenting the knowledge structure and knowledge evolution process in this field can provide valuable reference and inspiration for subsequent research. In this study，CiteSpace visualization software was used to visualize 4 750 articles on marine microplastics published on the China National Knowledge Infrastructure（CNKI）and Web of Science（WOS）databases from 2008 to 2023. The results showed that the research on marine microplastics developed rapidly after 2008. China and the United States were the main research forces in this field. China was the country with the largest number of publications. Chinese Academy of Sciences was the research institution with the largest number of publications in China in CNKI and WOS databases. The accumulation of marine microplastics and its pollution to the marine environment were one of current research hotspots. Nanoscale microplastics and the combined effects of microplastics and organic pollutants may be one of the future research directions. This study could provide a reference for a comprehensive understanding of the research status and development trend of marine microplastics.

Key words：marine microplastics；CiteSpace；bibliometrics analysis；cluster visualization analysis；research trends

收稿日期：2024–03–21；**修回日期**：2024–06–25
基金项目：国家自然科学基金项目（42207425）
作者简介：曹馨怡（2000—），女，天津人，硕士研究生；**通信作者**：刘宪斌，教授，lxb0688@tust.edu.cn

引文格式：
曹馨怡，王丽丽，刘宪斌，等. 基于 CiteSpace 文献计量的海洋微塑料研究进展与热点分析[J]. 天津科技大学学报，2025，40(4)：59-65.
CAO X Y，WANG L L，LIU X B，et al. Research progress and hotspot analysis of ocean microplastics based on CiteSpace bibliometrics software[J]. Journal of Tianjin university of science and technology，2025，40(4)：59-65.

随着塑料制品的大量使用，微塑料作为一种新污染物普遍存在于当今生态系统中，其粒径小于 5 mm，是造成环境污染的载体之一[1]。微塑料对生态环境和人类健康的影响越来越受到人们的关注。根据形成原因的不同，微塑料可分为原生微塑料和次生微塑料。原生微塑料指的是生产出来粒径小于 5 mm 的微塑料，例如洗面奶、牙膏等个人护理产品中添加的微小塑料颗粒[2]；次生微塑料指的是大块塑料经过长时间的风蚀、紫外线照射、水体冲刷等逐渐被分解下来的微米甚至是纳米尺寸的塑料[3]。根据形态特征的差异，微塑料可分为纤维状、碎片状、条状和薄膜状等[4]。根据成分的不同，微塑料可分为聚丙烯(PP)、聚乙烯(PE)、聚酰胺(PA)、聚苯乙烯(PS)、聚氯乙烯(PVC)和聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)微塑料等[5]。微塑料具有稳定的化学性质，在环境中的寿命数量级与黏土、黑碳等惰性持久性矿物质相似[6]，其在水体表面被去除的途径通常包括破碎成纳米级别颗粒、被生物摄食、被微生物包裹沉降到海底[7]。据保守估计，全世界海底有 1 400 万吨微塑料[8]。研究表明，包括浮游动物、双壳类、甲壳类和鱼类[9]在内的多种海洋动物可直接或间接吞食微塑料，微塑料在其体内富集并产生毒性。此外，微塑料对微生物也具有毒性作用，文开等[10]的研究表明，聚苯乙烯微塑料(PS-MPs)对水体微生物群落的丰富度和多样性有一定影响，PS-MPs 处理导致的变形杆菌的相对丰度显著增加，可能会对水生生物产生不良影响，从而影响整个水生生态系统。

本文借助文献计量学和可视化技术，对以海洋微塑料为关键词的研究文献进行全面、系统的分析。检索涉及海洋微塑料的研究文献，收集整合了 2000 年 1 月至 2023 年 6 月在中国知网(China National Knowledge Infrastructure，CNKI)和 Web of Science(WOS)数据库中收录的海洋微塑料方向的文献，使用 CiteSpace 软件对发文量、发文机构、研究国家与团队以及关键词的共现、突现和聚类分析等方面进行可视化分析，旨在客观准确地揭示该领域海洋微塑料的研究情况，为后续研究提供参考。

1　数据来源与研究方法

1.1　数据来源

以 CNKI 和 WOS 作为检索平台，检索时间跨度均为 2000—2023 年。CNKI 数据库检索条件为：主题 =“微塑料”AND“海洋”，文章类型限定为“期刊”或“学位论文”，通过筛选得到文献总共 460 篇。将筛选后的文章以“refworks”的格式保存为中文文献分析样本。WOS 数据库检索条件为：Topic =（“Ocean” AND “Microplastic”，“Marine” AND “microplastic”，“Sea” AND “microplastic”），检索得到 6 872 篇文献，进行去重处理，通过筛选得到文献 4 290 篇，将筛选后的文献以“全记录与引用的参考文献”的格式下载保存为纯文本文件作为外文文献分析数据样本。

1.2　研究方法

将样本导入 CiteSpace(6.2.R4)中，在 2000—2007 年没有相关文献数据，故将时间分区设置为 2008—2023 年，时间切片(time slice)设置为 1 年，节点类型(node types)依次选择作者(author)、机构(institution)、国家(country)、关键词(keywords)[11]，剪切方式(pruning)采用 sliced networks，数据分析在 Origin 2022 中进行，相关图形用 Origin 2022 软件绘制或 CiteSpace 软件直接导出。

2　结果与讨论

2.1　发文数量分析

为了解关于海洋微塑料的发文趋势，对发文量随着时间的变化进行可视化研究，CNKI 和 WOS 发文数量随时间变化趋势图如图 1 所示。

2004 年，普利茅斯大学的 Thompson 等[1]第一次提出微塑料的概念，但是在 WOS 数据库中第一篇关于海洋微塑料的文献在 2008 年才出现，而 CNKI 数据库中第一篇则在 2009 年才出现。在 WOS 数据库中，自 2011 年起关于海洋微塑料方向的发文量逐年上升，且在 2019—2020 年间发文量增幅较大，说明

国际研究者对该方向有着浓厚的研究兴趣。CNKI 数据库中该方向发文量在 2015—2020 年期间呈现明显上升趋势。

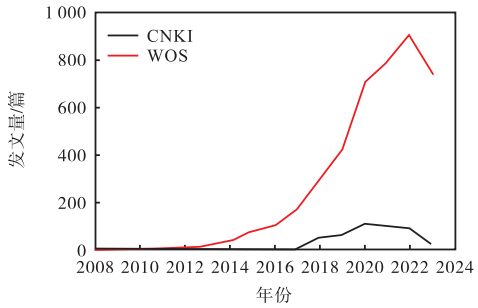

图 1　CNKI 和 WOS 发文数量随时间变化趋势图

Fig. 1　Trend chart of the number of articles published by CNKI and WOS over time

2.2　发文机构分析

一个国家的科研机构是科研人员进行科学研究的重要组织。科研机构的发文量不仅代表了科研机构的学术水平和科研能力，也代表该机构的影响力与学术活跃度[12]。中文发文机构合作图谱如图 2 所示。CNKI 数据库中关于海洋微塑料方向发文量较大的机构有中国科学院大学、中国海洋大学海洋环境与生态教育部重点实验室、青岛海洋科学与技术（试点）国家实验室海洋生态与环境科学功能实验室、华东师范大学河口海岸学国家重点实验室，其中青岛海洋科学与技术（试点）国家实验室海洋生态与环境科学功能实验室和中国海洋大学海洋环境与生态教育部重点实验室、中国科学院大学与华东师范大学河口海岸学国家重点实验室均存在一定的合作关系。中国海洋大学与青岛海洋科学与技术（试点）国家实验室海洋生态与环境科学功能实验室均形成了机构内部的紧密合作关系。

图 2　中文发文机构合作图谱

Fig. 2　Cooperation map of Chinese publishing institutions

英文发文机构合作图谱如图 3 所示，图中连接线的颜色从冷色调到暖色调代表机构合作发文的时间由远到近。

图 3　英文发文机构合作图谱

Fig. 3　Cooperation map of English publishing institutions

WOS 数据库关于海洋微塑料方向发文量较大的机构有中国科学院（中国，188 篇）、国家科学研究中心（法国，123 篇）、亥姆霍兹联合会（德国，113 篇）、华东师范大学（中国，98 篇）、中国科学院大学（中国，95 篇）、国家研究委员会（意大利，86 篇）、中华人民共和国自然资源部（中国，83 篇）、法国研究型大学联盟协会（法国，79 篇）、埃克塞特大学（英国，72 篇）、普利茅斯大学（英国，66 篇）、中国海洋大学（中国，60 篇）、发展研究所（法国，59 篇）等。在国内的机构中，中国科学院、中国海洋大学、中国科学院大学有着紧密的合作关系。

2.3　研究国家分布

国家合作网络图谱如图 4 所示。

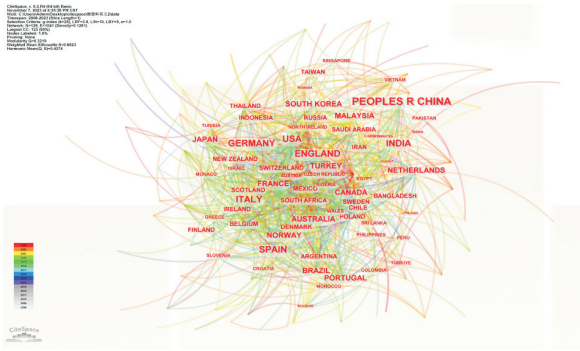

图 4　国家合作网络图谱

Fig. 4　Network map of national cooperation

WOS 数据库中关于海洋微塑料方向的发文数量最多的国家分别为中国、美国、德国、英国、意大利，发文数量分别为 977 篇、503 篇、405 篇、364 篇、346 篇。中国发文量最大，说明中国在海洋微塑料领域起到了重要作用，具有较大国际影响力。除发文量外，节点中介中心性也是一项重要参数，节点中介中心性

越高，传播的影响力越大[13]，而当节点中介中心性大于 0.1 时，该节点被称作关键节点[14]。发文国家的节点中介中心性大于 0.1 的国家为美国（0.20）、英国（0.19）、西班牙（0.16）、法国（0.14）。上述结果说明，美国在海洋微塑料领域发文影响力较大，在合作网络中起到了关键的桥梁作用。

2.4　研究作者分析

CNKI 数据库中作者合作共现图如图 5 所示。

图 5　CNKI 数据库中作者合作共现图

Fig. 5　Author collaboration co-occurrence map in CNKI database

在海洋微塑料方向发文数量较多的作者依次为李锋民、刘强、李道季、王菊英，发文的数量分别为 8 篇、5 篇、4 篇和 4 篇。

WOS 数据库中作者合作共现图如图 6 所示，在海洋微塑料方向发文数量较多的第一作者是 Wang Jun、Thompson R C、Shi Huahong、Li Daoji、Huang Wei、Cai Minggang、Xu Xiangrong、Li Hengxiang，说明此领域研究主要集中在国内，并在国际上产生了一定的影响力。

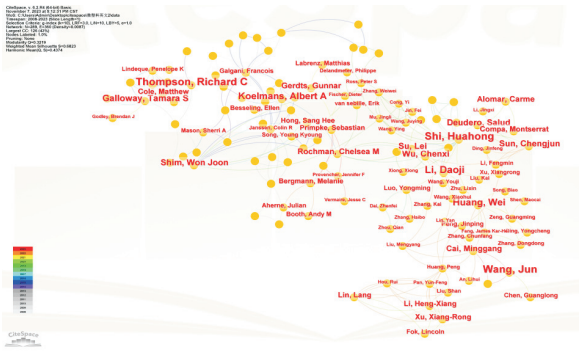

图 6　WOS 数据库中作者合作共现图

Fig. 6　Author collaboration co-occurrence map in WOS database

WOS 数据库中被引作者共现图如图 7 所示。通过分析 WOS 数据库被引文献的作者可知，有关海洋微塑料方向的被引频次较高的作者为 Cole M、Browne M A、Andrady A L、Thompson R C、Wright S L 等，被引用频次分别为 2 088、1 929、1 837、1 634、1 555 次。被引文献的节点中介中心性较高，在国际上产生了较高影响力的作者为 Browne M A、Thompson R C、Lusher A L、Dris R，节点中介中心性分别为 0.31、0.17、0.15、0.10。与中国科研人员相比，国外科研人员在该领域影响力更高，合作关系更加紧密，团队协作性更高。

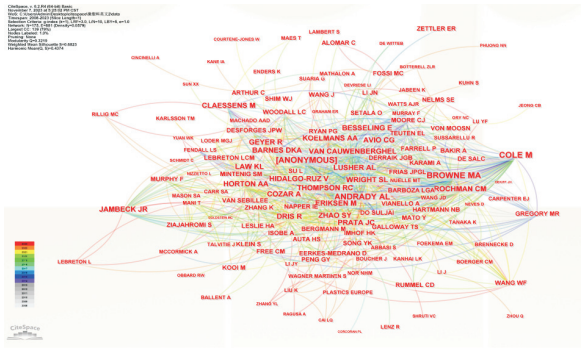

图 7　WOS 数据库中被引作者共现图

Fig. 7　Cited authors co-occurrence map in WOS database

2.5　关键词分析

2.5.1　关键词突现分析

关键词突现代表的是在研究期间的某个时间段突然成为研究热点的关键词，关键词突现可以显示未来的发展趋势和研究热点[15]。在 CNKI 数据库中，“沉积物”是唯一一个突现词（突现强度 2.97），在 2016 年出现，并且在 2019 年开始成为研究热点。微塑料会在海水潮汐的作用以及水体中的悬浮物、泥沙等物质裹挟的情况下被冲刷留在岸滩上，也有可能在微生物的作用下增重沉积于水底的沉积物中[16]。在 2016 年 6 月 28 日至 7 月 21 日的不同海区考察中发现，渤海、北黄海和南黄海沉积物中微塑料丰度平均值分别为每千克沉积物（干质量）中 171.8、123.6 和 72.0 个[17]，因此海洋沉积物中微塑料需被重点关注。

WOS 数据库中的关键词突现图如图 8 所示。WOS 数据库关于海洋微塑料方向共有 25 个关键词在研究期间突现，成为研究热点。突现强度最高的为“accumulation（积累）”，突现强度为 35.51，在 2010—2017 年成为研究热点。而近几年的研究热点为“atmospheric fallout（大气沉降物）”“mussels（贻贝）”“aquatic environments（水生环境）”“surface（表面）”，突现强度分别为 11.75、10.23、7.53 和 6.96。纳米微塑料和微塑料对底栖生物污染的影响以

及空气中的微塑料通过沉降进入水体可能是未来的研究趋势。

Keywords	Year	Strength	Begin	End	2008—2023
accumulation	2010	35.51	2010	2017	
plastic debris	2011	17.21	2011	2017	
marine debris	2009	12.55	2012	2017	
environment	2009	21.86	2013	2017	
transport	2009	13.26	2013	2016	
chemicals	2009	12.59	2013	2015	
mytilus edulis l	2014	34.20	2014	2018	
persistent organic pollutants	2009	18.66	2014	2018	
zooplankton	2014	15.72	2014	2017	
ocean	2009	17.30	2015	2018	
great lakes	2015	13.94	2015	2018	
resin pellets	2009	11.80	2015	2019	
synthetic polymers	2009	7.98	2015	2016	
mussel	2015	6.74	2015	2016	
north sea	2016	12.50	2016	2018	
quantitative analysis	2017	9.38	2017	2018	
mytilus edulis	2017	8.77	2017	2019	
mediterranean sea	2015	7.31	2017	2018	
1st observations	2018	13.31	2018	2020	
trace metals	2020	10.25	2020	2021	
treatment plants	2020	7.93	2020	2021	
atmospheric fallout	2021	11.75	2021	2023	
mussels	2020	10.23	2021	2023	
aquatic environments	2021	7.53	2021	2023	
surface	2021	6.96	2021	2023	

图 8　WOS 数据库中的关键词突现图

Fig. 8　Keywords burst detection visualization in WOS database

2.5.2　关键词共现分析

利用 CiteSpace 生成 CNKI 和 WOS 数据库中关于海洋微塑料方向研究的高频关键词共现图谱。CNKI 数据库中关键词共现图谱如图 9 所示。在 CNKI 数据库中出现频次最高的关键词为“微塑料”，其次为“吸附”“分布”“分布特征”“沉积物”“重金属”“生态风险”“海洋污染”（出现频次≥15 次），它们在 460 篇文献中分别出现了 341 次、28 次、22 次、21 次、21 次、18 次、16 次和 15 次。

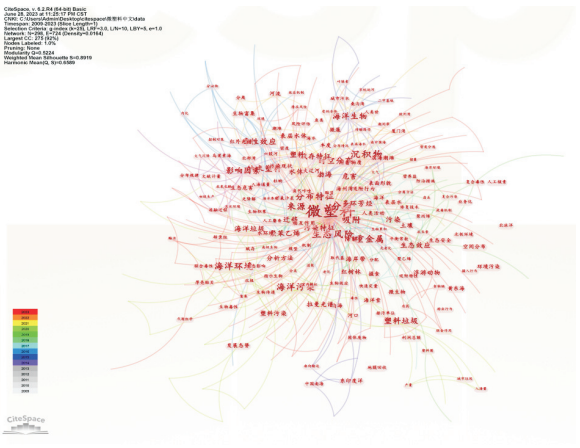

图 9　CNKI 数据库中关键词共现图谱

Fig. 9　Keywords co-occurrence map in CNKI database

WOS 数据库中关键词共现图谱如图 10 所示。WOS 数据库在 2008—2023 年英文文献中出现频次较高的关键词为“marine environment（海洋环境）”“pollution（污染）”“plastic debris（塑料碎片）”“ingestion（摄取）”“海洋（sea）”“accumulation（积累）”“sediments（沉积物）”“particles（微粒）”，上述关键词在文献中出现频次均超过 600 次，在 4 290 篇英文文献中出现的频次分别为 1 525、1 218、1 004、933、865、823、763、676 次，中介中心性分别为 0.14、0.08、0.06、0.08、0.03、0.10、0.04、0.13。关键词的中介中心性大于 0.1 的有“marine environment（海洋环境）”“accumulation（积累）”“abundance（丰度）”（图 10）。上述结果说明，在海洋微塑料领域，海洋微塑料积累对海洋水生环境的污染以及微塑料在水体中的丰度受到了广泛、持续的关注。

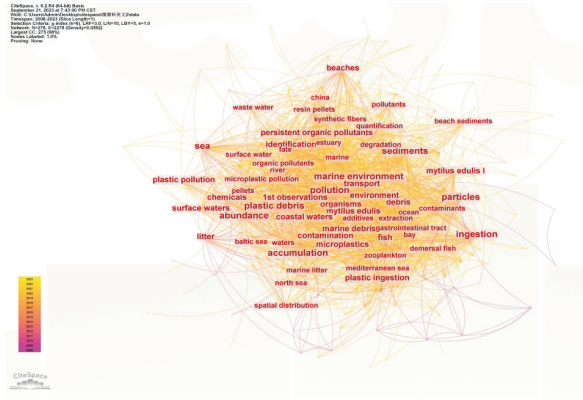

图 10　WOS 数据库中关键词共现图谱

Fig. 10　WOS keywords co-occurrence map

2.5.3　关键词聚类分析

基于 CNKI 核心数据库对文献关键词进行聚类可视化分析，结果如图 11 所示。

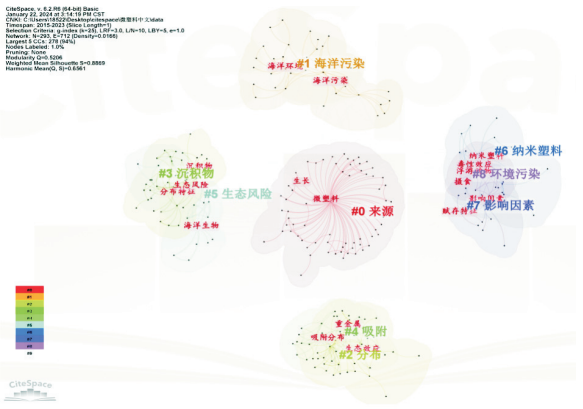

图 11　CNKI 数据库中关键词聚类分析结果

Fig. 11　Keywords clustering analysis results in CNKI database

由图 11 可知：中文文献关键词得到 8 个网络聚

类，分别为“来源”“沉积物”“海洋污染”“分布”“吸附”“纳米微塑料”“生态风险”“影响因素”。从关键词的聚类结果来看，国内关于海洋微塑料的研究方向大部分围绕着“微塑料的来源”“微塑料的迁移及分解”和“微塑料的危害”。微塑料会以各种方式，比如海滩垃圾、大气输运、河流汇入、渔业生产活动等被运输到海洋中[18]。

在海洋中的微塑料会由于海流、风力等作用进行水平迁移，也会因为重力作用进行垂向迁移至沉积物中[19]，这些过程中微塑料也可能会因为各种原因被破碎成纳米微塑料。微塑料在迁移过程中会被水体中的微生物吸附，从而影响海洋生物的正常生长发育，或被摄食进入生物体中对生物体的肠道等形成机理性损伤；微塑料还会对环境产生激素污染，引起海洋环境的生态风险并且造成严重的污染[20]。Besseling 等[21]首次发现纳米微塑料会对大型溞（*Daphnia magna*）的生活产生巨大的影响：当大型溞暴露在纳米微塑料环境中时，体形会变小，繁殖能力会受到影响；当大型溞暴露在不同浓度、不同老化程度的纳米微塑料中时，均呈现产出的子代体形小、数量低的特征。在野外考察实验中，Su 等[22]发现河蚬受微塑料污染的程度已经非常高。Li 等[23]的研究表明，微塑料的物理化学性质在河蚬对微塑料的摄入偏向中起决定性作用。在摄入微塑料后，能明显观察到河蚬的体质量减小且产生脂质过氧化损伤[24]。Guilhermino 等[25]在含有微塑料和氟苯尼考的培养液中培养河蚬 96 h，发现鳃和消化腺中乙酰胆碱酯酶活性降低，抗氧化酶活性升高，脂质过氧化水平升高。Yu 等[26]在含聚苯乙烯微塑料的培养液中培养淡水大型甲壳类动物中华绒螯蟹 21 d 后，发现其肝脏出现明显的氧化损伤。Chen 等[27]的研究表明，在鱼的不同组织中会出现纳米微塑料颗粒积累。

基于 WOS 数据库对文献关键词进行聚类可视化分析，结果如图 12 所示。结果表明：英文文献关键词得到 6 个网络聚类，分别为“commercial fish（经济鱼类）”“organic pollutant（有机污染物）”“northern China（中国北方）”“single-use plastics（一次性塑料）”“oxidative stress（氧化应激）”“wastewater treatment plant（污水处理厂）”。

Makhdoumi 等[28]通过回顾已发表的研究，在 7 个国家 46 种不同鱼类的 26 块肌肉中发现了微塑料，在分析的商品鱼样本中，56.5% 含有微塑料。这说明微塑料通过鱼类到人类的转移是可实现的。微塑料通过大洋扰动以及人类活动遍布全球各地海域，在中国黄海地区，表层海水中微塑料丰度为（545 ± 282）件/m^3，每千克沉积物（干质量）中为（37.1 ± 42.7）个，与其他海域相比，微塑料的污染水平为中等[29]。塑料的耐用性确保无论它在哪里，它都不会在短时间内消失[30]。由于塑料垃圾的分解和破碎，因此微塑料污染势必会越来越严重。疏忽大意和不负责任地大量使用塑料和微塑料，最终会对环境造成严重污染[31]。在水体环境中生活的双壳类和鱼类等生物，在摄入微塑料后会诱导水生生物产生氧化应激反应，从而对水生生物造成生理性伤害[26,32]。沿海地区的污水处理厂中会出现大量的微塑料，进水口微塑料浓度与悬浮固体浓度呈正相关，而在出水中微塑料与污水处理厂的运行负荷有关，所以在超负荷运行的污水处理厂的污水中微塑料丰度会较高[33]。

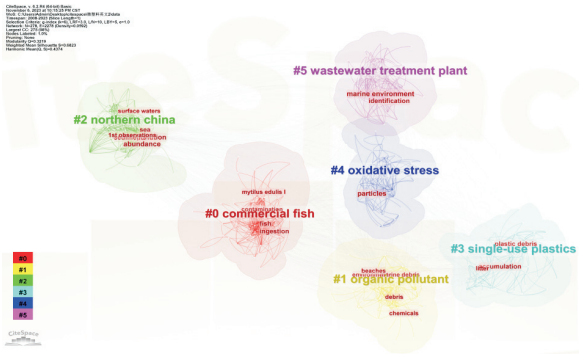

图 12　WOS 数据库中关键词聚类分析结果

Fig. 12　Keywords clustering analysis results in WOS database

从“CNKI”核心数据库和 WOS 数据库的关键词分析中可得，微塑料被研究的方向大部分围绕着其分布以及迁移状态，但由于微塑料的形态特征，其会吸附环境中一些污染物，造成对环境的复合污染。未来微塑料可能会被全球科学界持续关注。

3　结　语

海洋微塑料相关研究于 2008 年起迅猛发展，中国是发文量最大的国家，美国在海洋微塑料领域发文影响力较大，在合作网络中起到了关键的桥梁作用。中国科学院是 CNKI 和 WOS 数据库中该领域发表文章最多的中国研究机构。在海洋微塑料领域，海洋微塑料积累对海洋环境造成的污染以及微塑料在水体中的丰度受到了广泛持续的关注。关键词突现图显示，近年来海洋微塑料的研究热点为大气沉降物、

贻贝、水生环境和海水表层，未来研究可能持续关注纳米微塑料、微塑料与有机污染物复合作用对底栖生物的影响以及空气中的微塑料通过沉降进入水体等。今后的研究可集中在微塑料的监测和评估、相关政策和法规的制定、可持续的生产和消费方式的推广等方向，从而推动海洋生态系统的可持续发展。

参考文献：

[1] THOMPSON R C，OLSEN Y，MITCHELL R P，et al. Lost at sea：where is all the plastic?[J]. Science，2004，304(5672)：838.

[2] FENDALL L S，SEWELL M A. Contributing to marine pollution by washing your face：microplastics in facial cleansers[J]. Marine pollution bulletin，2009，58(8)：1225-1228.

[3] 高园园，温志良，孔露露，等. 海洋环境中微塑料污染：来源、分布及风险[J]. 环境污染与防治，2023，45(6)：875-880.

[4] SUN Y Z，DUAN C X，CAO N，et al. Effects of microplastics on soil microbiome：the impacts of polymer type，shape，and concentration[J]. Science of the total environment，2022，806：150516.

[5] 张晨曦，孙景春，林承刚. 海洋微塑料对重金属的吸附行为及其复合毒性研究进展[J]. 海洋科学，2022，46(8)：155-170.

[6] KOELMANS A A，REDONDO-HASSELERHARM P E，NOR N H M，et al. Risk assessment of microplastic particles[J]. Nature reviews materials，2022，7(2)：138-152.

[7] CÓZAR A，ECHEVARRÍA F，GONZÁLEZ-GORDILLO J I，et al. Plastic debris in the open ocean[J]. Proceedings of the national academy of sciences，2014，111(28)：10239-10244.

[8] BOHDAN K. Estimating global marine surface microplastic abundance：systematic literature review[J]. Science of the total environment，2022，832：155064.

[9] 张合彩，王彩会，石长应，等. 微塑料生物毒性及影响研究进展[J]. 安徽大学学报(自然科学版)，2023，47(4)：67-76.

[10] 文开，柳金涛，王欢，等. 微塑料污染对海水微生物群落特征的影响[J]. 环境科学与技术，2022，45(5)：60-69.

[11] 陈悦，陈超美，刘则渊，等. CiteSpace 知识图谱的方法论功能[J]. 科学学研究，2015，33(2)：242-253.

[12] 秦佳良，余学梅. 数字创新中的领导力与管理研究：基于 CiteSpace 知识图谱分析[J]. 技术经济，2023，42(3)：126-141.

[13] 高川宇，李春越，李艺凡，等. 基于 CiteSpace 的磷转化微生物研究文献计量和可视化分析[J]. 微生物学通报，2023，50(11)：5235-5248.

[14] 张玲，白军红，梁金凤，等. 基于 CiteSpace 文献计量的湖泊抗生素抗性基因研究进展与热点分析[J]. 环境科学学报，2022，42(1)：308-320.

[15] 周婷，吉敏全. 中国碳减排技术研究发展趋势：基于 CiteSpace 的可视化分析[J]. 江苏商论，2023(4)：100-105.

[16] 李征. 海州湾近岸海域海水及表层沉积物中微塑料种类及分布特征研究[D]. 上海：上海海洋大学，2020.

[17] ZHAO J M，RAN W，TENG J，et al. Microplastic pollution in sediments from the Bohai Sea and the Yellow Sea，China[J]. Science of the total environment，2018，640：637-645.

[18] 施庆还，林子增，季钰浩. 环境中微塑料的来源、转移机制及降解方法研究[J]. 应用化工，2022，51(11)：3327-3332.

[19] 陈泓哲，庞金玲，郭辉革，等. 海洋中塑料污染物的迁移、归趋及其监测[J]. 应用海洋学学报，2023，42(2)：346-358.

[20] 鲁娅梅，张万筠，刘娜，等. 微塑料对海洋环境影响的研究现状[J]. 辽宁化工，2022，51(12)：1775-1777.

[21] BESSELING E，WANG B，LURLING M，et al. Nanoplastic affects growth of *S. obliquus* and reproduction of *D. magna*[J]. Environmental science & technology，2014，48(20)：12336-12343.

[22] SU L，CAI H W，KOLANDHASAMY P，et al. Using the Asian clam as an indicator of microplastic pollution in freshwater ecosystems[J]. Environmental pollution，2018，234：347-355.

[23] LI L Y，SU L，CAI H W，et al. The uptake of microfibers by freshwater Asian clams(*Corbicula fluminea*) varies based upon physicochemical properties[J]. Chemosphere，2019，221：107-114.

[24] OLIVEIRA P，BARBOZA L G A，BRANCO V，et al. Effects of microplastics and mercury in the freshwater bivalve *Corbicula fluminea*(Müller，1774)：filtration rate，biochemical biomarkers and mercury bioconcentration[J]. Ecotoxicology and environmental safety，2018，164：155-163.

[25] GUILHERMINO L，VIEIRA L R，RIBEIRO D，et al.

(下转第 72 页)

scheme g-C_3N_4/carbon nanotubes/$Bi_{25}FeO_{40}$ heterostructure with enhanced visible-light photocatalytic performance towards tetracycline degradation[J]. Chemical engineering journal, 2022, 429: 132130.

[13] 陈志鹏, 尹涵, 黄静宇, 等. $Bi_{25}FeO_{40}$ 及 $Bi_{25}FeO_{40}$/GO 的制备及其光芬顿催化性能[J]. 青岛科技大学学报(自然科学版), 2020, 41(1): 46–50.

[14] 徐啸, 刘杰. 水热法制备软铋矿材料 $Bi_{25}FeO_{40}$ 及其催化性能研究[J]. 化学与生物工程, 2019, 36(12): 29–32.

[15] KHOJASTEH F, MERSAGH M R, HASHEMIPOUR H. The influences of Ni, Ag-doped TiO_2 and SnO_2, Ag-doped SnO_2/TiO_2 nanocomposites on recombination reduction in dye synthesized solar cells[J]. Journal of alloys and compounds, 2022, 890: 161709.

[16] MA Z P, ZHANG L N, MA X, et al. Design of Z-scheme g-C_3N_4/BC/$Bi_{25}FeO_{40}$ photocatalyst with unique electron transfer channels for efficient degradation of tetracycline hydrochloride waste[J]. Chemosphere, 2022, 289: 133262.

[17] 李江朋, 张慧斌. 三维多孔 $LaFeO_3/CeO_2/SrTiO_3$ 光芬顿和光催化协同脱色亚甲基蓝[J]. 无机盐工业, 2024, 56(5): 141–148.

[18] LIU D, LI C L, NI T J, et al. 3D interconnected porous g-C_3N_4 hybridized with Fe_2O_3 quantum dots for enhanced photo-Fenton performance[J]. Applied surface science, 2021, 555: 149677.

[19] SUN K Q, YUAN H, YAN Y J, et al. Visible-light-response 2D/2D $Bi_2Fe_4O_9/ZnIn_2S_4$ van der Waals S-scheme heterojunction with efficient photocatalysis-self-Fenton degradation of antibiotics[J]. Journal of water process engineering, 2024, 58: 104803.

[20] LI J M, CAO Z, WANG Q Z, et al. Highly dispersed Fe/SnS_2/kaolinite composite for the enhanced photo-Fenton degradation of tetracycline hydrochloride[J]. Journal of alloys and compounds, 2024, 976: 173061.

[21] GUO S J, LI D Q, YAN Y, et al. A novel recyclable photocatalytic composite TiO_2NTs@$Bi_{25}FeO_{40}$ for tetracycline mineralization[J]. Journal of photochemistry and photobiology A: chemistry, 2024, 456: 115799.

责任编辑: 周建军

(上接第 65 页)

Uptake and effects of the antimicrobial florfenicol, microplastics and their mixtures on freshwater exotic invasive bivalve *Corbicula fluminea*[J]. Science of the total environment, 2018, 622/623: 1131–1142.

[26] YU P, LIU Z Q, WU D L, et al. Accumulation of polystyrene microplastics in juvenile *Eriocheir sinensis* and oxidative stress effects in the liver[J]. Aquatic toxicology, 2018, 200: 28–36.

[27] CHEN Q Q, YIN D Q, JIA Y L, et al. Enhanced uptake of BPA in the presence of nanoplastics can lead to neurotoxic effects in adult zebrafish[J]. Science of the total environment, 2017, 609: 1312–1321.

[28] MAKHDOUMI P, HOSSINI H, PIRSAHEB M. A review of microplastic pollution in commercial fish for human consumption[J]. Reviews on environmental health, 2023, 38(1): 97–109.

[29] ZHU L, BAI H Y, CHEN B J, et al. Microplastic pollution in North Yellow Sea, China: observations on occurrence, distribution and identification[J]. Science of the total environment, 2018, 636: 20–29.

[30] BARNES D K A, GALGANI F, THOMPSON R C, et al. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments[J]. Philosophical transactions of the royal society B: biological sciences, 2009, 364(1526): 1985–1998.

[31] SINGH A P, DEVI A S. Microplastics and single use plastics: a curse of over consumerism[J]. International journal of advanced scientific research and management, 2019, 4(4): 384–388.

[32] LI Z Q, CHANG X Q, HU M H, et al. Is microplastic an oxidative stressor? Evidence from a meta-analysis on bivalves[J]. Journal of hazardous materials, 2022, 423: 127211.

[33] LONG Z X, PAN Z, WANG W L, et al. Microplastic abundance, characteristics, and removal in wastewater treatment plants in a coastal city of China[J]. Water research, 2019, 155: 255–265.

责任编辑: 周建军