

文章编号: 1000-5641(2019)03-0174-12

## 海洋微塑料污染研究发展态势及存在问题

李道季<sup>1,2</sup>, 朱礼鑫<sup>1,2</sup>, 常思远<sup>1,2</sup>, 张 峰<sup>1,2</sup>, 王 璐<sup>1,2</sup>

- (1. 华东师范大学 河口海岸学国家重点实验室, 上海 200241;
2. 华东师范大学 海洋塑料研究中心, 上海 200241)

**摘要:** 微塑料(直径小于 5 mm)广泛分布于全球海洋中, 由其引发的污染问题近年来不仅逐步成为全球生态与环境科学的研究热点和前沿, 更受到各国政府机构、社会公众及非政府组织的大量关注. 海洋塑料污染问题早在 20 世纪 70 年代就被发现, 但近年来才在国际范围内得到重视, 国内外研究进展迅速. 然而, 当前海洋微塑料研究与应对仍然存在许多问题, 需要进一步明确与解决. 本文系统阐述了国际海洋微塑料污染研究的历史过程及关键事件和节点, 以及这些事件在推动海洋微塑料污染研究和应对中发挥的作用和意义, 并详细地介绍了中国海洋微塑料污染的研究和应对的现况, 以及海洋微塑料污染研究存在的问题.

**关键词:** 微塑料; 海洋污染; 海洋环境; 发展态势

**中图分类号:** X55    **文献标志码:** A    **DOI:** 10.3969/j.issn.1000-5641.2019.03.019

## State of marine microplastic pollution research and the limitations

LI Dao-ji<sup>1,2</sup>, Zhu Li-xin<sup>1,2</sup>, CHANG Si-yuan<sup>1,2</sup>,  
ZHANG Feng<sup>1,2</sup>, WANG Lu<sup>1,2</sup>

- (1. State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research,  
East China Normal University, Shanghai 200241, China;
2. Plastic Marine Debris Research Center, East China Normal  
University, Shanghai 200241, China)

**Abstract:** Microplastics (less than 5 mm in diameter) are ubiquitously distributed throughout the world's oceans. Marine microplastic pollution has become a global research hotspot and a new frontier in ecological and environmental sciences. The issue has increasingly attracted the attention of scientists, government agencies, and NGOs worldwide. Although the problem of marine plastic pollution was first discovered in the 1970s, it didn't gain attention in the international arena until recent years. Since then, microplastic research has progressed rapidly both globally and in China. However, there are still many problems with the research and response to marine microplastics, requiring further clarification and solutions. This paper first briefly reviews the chronological

收稿日期: 2019-05-06

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC1402205); 国家自然科学基金(41676190)

第一作者: 李道季, 男, 博士, 教授, 主要从事海洋生态与环境以及生物海洋学研究.

E-mail: daojili@sklec.ecnu.edu.cn.

development of marine microplastic research as well as the role and significance of key events. Thereafter, the paper discusses the state of marine microplastic pollution research and the mitigation efforts in China and abroad, highlighting the current limitations in the research and response to marine plastic and microplastic pollution.

**Keywords:** microplastics; marine pollution; marine environment; development state

## 0 引 言

微塑料 (Microplastics) 是指直径小于 5 mm 的塑料颗粒<sup>[1]</sup>, 广泛分布于全球海洋中 (见图 1)。作为新兴的海洋环境问题, 海洋微塑料污染逐渐引起越来越多的科研人员、政府部门、社会公众及非政府组织关注, 是国际生态与环境科学领域的研究热点和前沿, 也是全球海洋治理的热点问题<sup>[2-3]</sup> (见图 2)。

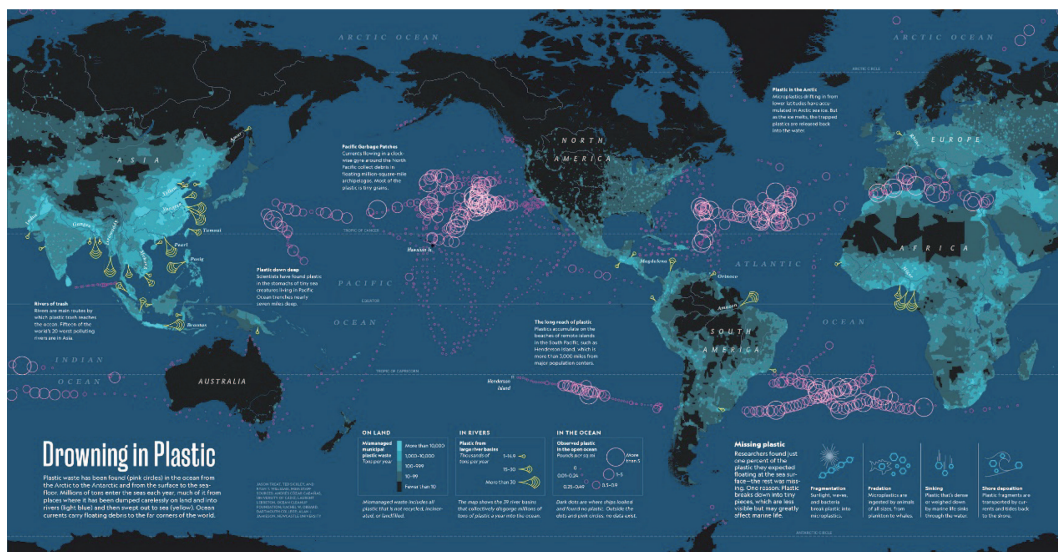


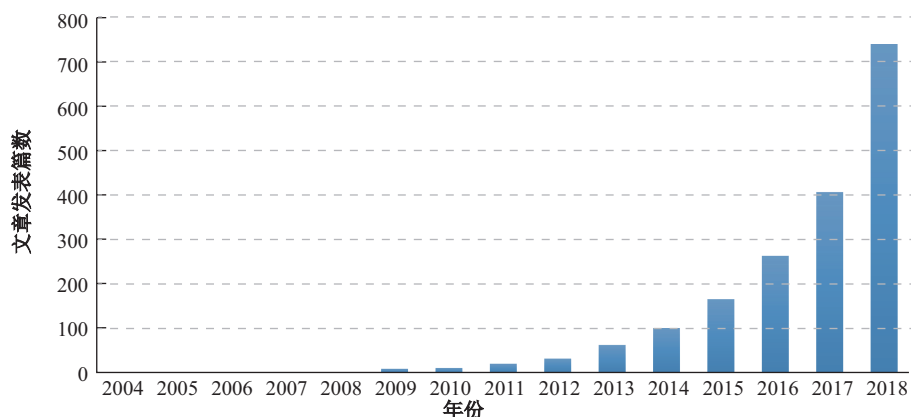
图 1 全球海洋塑料垃圾分布(粉色圆圈)及入海量估算(黄色扇形)(引自美国《国家地理》, 2018 年 6 月刊<sup>[4]</sup>)

Fig. 1 The distribution of marine plastic debris in the world's oceans (pink circles) and an estimation of plastic waste flux exported to oceans by rivers (yellow sectors) (Map by Jason Treat, National Geographic, June Issue, 2018<sup>[4]</sup>)

早在 1972 年, 美国伍兹霍尔海洋研究所 Edward J. Carpenter 等就在《Science》上介绍了美国新英格兰近海及马尾藻海中的塑料垃圾分布<sup>[5-6]</sup>。1988 年, 美国大气和海洋管理局 (NOAA) 发布了 1985—1988 年间北太平洋水域漂浮塑料垃圾的分布及特征的调查报告, 并首次注意到大洋环流区域有相对较高的塑料垃圾含量<sup>[7]</sup>, 但在当时并未引起广泛关注。

1997 年, 美国阿尔加利特海洋研究中心 (Algalita Marine Research Foundation) Charles Moore 船长在媒体上撰文描述了其由夏威夷驾驶帆船返回洛杉矶途中在北太平洋海域发现大量塑料垃圾的经历, 引发社会各界的广泛关注, 这也是著名的太平洋垃圾带 (Great Pacific Garbage Patch) 的由来, 此区域也逐渐成为了媒体报道海洋垃圾污染的典型案例。随后, Charles Moore 船长于 2001 年发表了其对北太平洋副热带表层水域塑料垃圾状况

的调查结果,发现该区域漂浮塑料垃圾的平均含量为 334 271 个/ $\text{km}^2$ ,平均重量最高可达 5.114  $\text{kg}/\text{km}^2$ ,是该区域浮游动物重量的 6 倍<sup>[8]</sup>,引起各国政府、媒体和研究者的高度关注,但此时海洋微塑料污染问题尚未引起重视.



注:数据来源为 Web of Science;数据截至 2018 年 12 月 31 日;搜索关键词为 (“microplastics”或“microplastic”或“micro-plastic”或“micro-plastics”或“nanoplastics”) 及 (“marine”或“ocean”) 及 (“pollution”或“environment”或“litter”),搜索结果经筛选去重

图2 2004—2018 年间国内外发表的海洋微塑料污染论文数量

Fig. 2 Number of scientific publications related to marine microplastics over the period from 2004 to 2018

## 1 全球海洋微塑料污染研究的态势发展

尽管早在 1990 年就有文章使用了微塑料 (Micro-plastics) 一词<sup>[9]</sup>,当下为人熟知的“微塑料 (Microplastics)”概念直到 2004 年才首次被英国学者 Richard C. Thompson 使用<sup>[10]</sup>,即“需要借助显微镜才能较好地观察到的微塑料颗粒”,根据其野外调查结果,海洋中此类“微塑料”的含量在 20 世纪 60 年代到 90 年代间发生显著增加<sup>[10]</sup>,且因其可能被海洋生物摄食并具有潜在危害,引发了人们对微塑料污染的广泛关注. 2008 年,美国华盛顿大学“第一届国际海洋微塑料分布、影响及归趋研讨会”上首次将微塑料定义为“直径小于 5 mm 的塑料颗粒”<sup>[1]</sup>. 这一大小的塑料较易被海洋生物摄食,但并不能对海洋生物产生类似由大型塑料垃圾引起的缠绕危害<sup>[1]</sup>. 虽然此定义在此后已得到广泛使用,但当前学术界对微塑料的大小范围及定义仍然存在一定争议.

### 1.1 2010 年:海洋微塑料研究拉开序幕

2010 年,《Science》杂志刊登美国学者 Kara L. Law 等的研究成果,首次证实了塑料垃圾在北大西洋环流中聚集<sup>[11]</sup>,且早前在南北太平洋<sup>[8]</sup>和印度洋<sup>[12]</sup>大洋环流中均发现存在塑料垃圾聚集区,证明了塑料垃圾及微塑料在海洋中的普遍存在. 同年,联合国海洋环境保护科学问题联合专家组 (GESAMP) 组织举办了“海洋微塑料在海洋输运持久性、生物可富集性以及毒性物质的载体作用国际研讨会”,标志海洋微塑料研究正式拉开序幕,相关科学研究随后迅速开展.

### 1.2 2011—2014 年:海洋微塑料获联合国持续关注,开始限制人造塑料微珠

微塑料除了对海洋生物构成潜在危害外<sup>[13-14]</sup>,同样可能通过海产品贝类等途径进入人体体内<sup>[15]</sup>. 据估算,在欧洲每人每年可通过食用贝类摄入约 1.1 万个微塑料<sup>[15]</sup>. 此外,美国

学者 Kara L. Law 和英国学者 Richard C. Thompson 共同在《Science》上撰文强调关注海洋中的微塑料污染问题<sup>[16]</sup>, Marcus Eriksen、Andres Cozar、Erik van Sebille 等人也发表了多篇重要研究,揭示了全球海洋中的塑料垃圾包括微塑料的分布状况<sup>[17-19]</sup>。我国研究团队也在国际学术刊物上首次发表了我国海洋微塑料污染的研究成果<sup>[20]</sup>,描述了我国近岸河口环境中的海洋微塑料含量与分布状况。

自 2011 年起,联合国环境规划署 (UNEP) 将海洋塑料垃圾列为《2011 年联合国环境规划署年鉴》三大主要议题之一,对其给予特别关注。2014 年,在内罗毕召开的第一届联合国环境大会 (UNEA1) 上,联合国环境规划署发布《2014 年联合国环境规划署年鉴》和《评估塑料的价值》报告,将海洋塑料垃圾污染列为过去十年中最为紧迫的十大环境问题之一,并通过了“海洋塑料废弃物和微塑料”决议,指出海洋中日益增加的塑料垃圾正不断威胁到海洋生态环境,每年对全球海洋生态系统造成高达 130 亿美元的经济损失。

另外,考虑到部分微塑料源自人造塑料微珠,存在潜在环境风险,美国伊利诺伊州于 2014 年 6 月首次出台法案禁止在个人护理产品中添加塑料微珠,并规定 2018 年底前禁止生产含有塑料微珠的肥皂和化妆品,2019 年底前彻底禁止此类产品的销售。随后,美国纽约州和加利福尼亚州也相继出台了类似法案,禁止塑料微珠的使用。

### 1.3 2015 年:海洋塑料垃圾和微塑料研究产生国际影响

2015 年,一是美国国家海洋和大气管理局 (NOAA) 发布的《海洋环境中微塑料实验室分析方法》,是国际上第一个发布的海洋微塑料监测方法指南<sup>[21]</sup>。二是美国学者 Jenna R. Jambeck 在《Science》刊文称通过估算认为 2010 年全球沿海地区向海洋输入的塑料垃圾的总量约为 480 万~1 270 万 t,亚洲国家是主要的海洋塑料垃圾输出来源,且中国位列第一<sup>[22]</sup>,在国际上引发对海洋塑料垃圾污染的高度关注。然而,虽然这是国际上首次报道全球各国家和地区向海洋输送的塑料垃圾总量,但由于其研究方法缺乏实测数据支持,导致其结果仍然存在很大争议。三是中国学者在海盐中首次发现微塑料的存在<sup>[23]</sup>,引发人们对食品安全的广泛担忧和关注。

同年,世界自然基金会 (WWF) 和美国波士顿咨询公司 (BCG) 发布了《振兴海洋经济:2015 行动案例》<sup>[24]</sup>,强调塑料垃圾对海洋经济和生态系统的威胁。始于 2011 年的欧盟 JPI Oceans 也开展了海洋微塑料污染研究,投入 750 万欧元启动 4 个微塑料研究项目,包括:BASEMAN (确定欧洲微塑料分析的基线和标准);EPHEMARE (微塑料在海洋生态系统中的生态毒理学效应);PLASTOX (微塑料对海洋生物直接和间接的生态毒理学效应);WEATHER-MIC (微塑料的降解如何影响其在海洋环境中的输运、归宿和毒性)。

2015 年世界海洋日,联合国环境规划署向全球发布《化妆品中的塑料:个人护理是否正在污染环境》报告<sup>[25]</sup>,呼吁各国逐步禁止在个人护理品和化妆品中添加塑料微珠,多个国家对此纷纷出台了相关的政策和法规进行响应和支持。2015 年底,美国总统奥巴马签署《2015 年无微珠水系法案》(Microbead-Free Waters act of 2015),要求逐步废止含有塑料微珠的洗护产品。同年 12 月初,美国众议院通过一项提案,规定自 2017 年 7 月 1 日起,肥皂、牙膏及其他身体护理用品中禁止添加塑料微珠。

2015 年 4 月,联合国海洋环境保护科学问题联合专家组 (GESAMP) 发布了《海洋中微塑料的来源、去向和影响:全球评估 (第一部分)》<sup>[26]</sup>,其中指出微塑料污染不容忽视,其对海洋生物的危害程度甚至等同于大型海洋垃圾。报告建议:① 鉴定进入海洋的塑料垃圾和微塑料的主要来源和种类;② 应将废弃的塑料认定为资源而不是废弃物;③ 提高对海洋环

境中塑料垃圾和微塑料影响的认识;④将纳米级的微塑料颗粒纳入未来海洋塑料污染的研究中;⑤评估塑料和微塑料转移到生物体内的可能性;⑥进一步研究被摄食的微塑料导致的化学危害,并呼吁各国应在微塑料管控方面采取预防性措施。此外,同年举办的联合国大会首脑会议上通过了《2030年可持续发展议程》,提出了17个可持续发展目标(SDGs),其中SDG14明确指出“到2025年,预防和大幅减少各类海洋污染,特别是陆上活动造成的污染,包括海洋废弃物污染和营养盐污染”<sup>[27]</sup>。

#### 1.4 2016年:海洋微塑料生态毒理学研究受到关注

2016年6月,瑞典学者Oona M. Lönnstedt等在《Science》刊文称其首次证明了海鲈鱼幼体对微塑料的选择性摄食,且海鲈鱼幼体的生长和发育均会受到微塑料影响<sup>[28]</sup>,极大推动了科学界和公众对微塑料问题的关注,但此文因学术造假最终撤稿。同时,美国科学院院刊《Proceedings of the National Academy of Sciences》刊文称聚丙烯(PP)微塑料会影响到牡蛎的繁殖<sup>[29]</sup>,认为微塑料会通过改变海洋生物的摄食及能量分配从而对海洋生物产生影响。随后,英国学者Tamara S. Galloway等发表评述文章,称海洋微塑料将为人类未来子孙后代带来很大麻烦<sup>[30]</sup>,使海洋微塑料研究持续吸引关注。

进一步地,2016年在内罗毕召开的第二届联合国环境大会(UNEA2)继续探讨海洋塑料垃圾污染,将其认定为与全球气候变化、臭氧耗竭和海洋酸化并列的全球性环境问题,呼吁国际社会从国际法规和政策层面推动海洋微塑料的管理和控制。会上,联合国海洋环境保护科学问题联合专家组(GESAMP)发布了《海洋中微塑料的来源、去向和影响:全球评估(第二部分)》<sup>[31]</sup>。

#### 1.5 2017年微塑料研究主要进展

##### 1.5.1 海洋微塑料在方法学的建立、对海洋生态系统影响和河流入海通量等方面的研究

2017年,英国学者Tamara S. Galloway等在《Nature Ecology & Evolution》刊文阐释了海洋微塑料对珊瑚白化及海洋生态系统的影响<sup>[32]</sup>。荷兰学者Laurent Lebreton等利用模型估算了由全球河流向海洋输出塑料垃圾的总量,并认为亚洲的河流是主要的贡献者<sup>[33]</sup>,但其模型目前有待实测数据的验证。2017年初英国学者Blair Crawford和Brian Quinn出版了《Microplastic pollutants》专著,详细地介绍了最新的海洋微塑料研究方法,是目前描述海洋微塑料研究和分析技术方法方面最为全面的著作之一。同年,我国学者在《水环境中的微塑料污染》一书中提出了“海洋中微塑料定量的局限性及改进和标准化的建议”<sup>[34]</sup>。2017年4月,我国学者发起并领衔了联合国教科文组织政府间海洋科学委员会西太平洋分委会(UNESCO-IOC-WESTPAC)“亚太区域海洋微塑料的分布、来源、归趋和影响”项目,旨在建立统一方法学的基础上,全面开展亚太区域海洋微塑料的来源、输运和归趋研究。

##### 1.5.2 国际应对海洋塑料及微塑料污染的重要政策

2017年,二十国集团(G20)汉堡峰会通过了“二十国集团海洋垃圾行动计划”,将海洋塑料污染和微塑料问题上升到了全球治理层面。联合国教科文组织政府间海洋科学委员会(UNESCO-IOC),联合国环境署地中海行动计划(UNEP-MAP),联合国环境署西北太平洋海洋和海岸地区环境保护、管理和开发行动计划(UNEP-NOWPAP),北太平洋海洋科学组织(PICES)等国际组织也分别召开了国际会议或组织了工作组探讨海洋塑料和微塑料垃圾污染的应对方式,倡导各国家和地区提高海洋塑料污染和微塑料的应对水平,并积极进行相应治理。英国、韩国等多个国家先后发出声明,将逐步禁止在化妆品和个人护理产品中使用塑料微珠,保护海洋生态环境。

### 1.6 2018年的重要进展

调查表明,在北太平洋环流带 160 万 km<sup>2</sup> 的研究区域中富集的垃圾数量是模型估算量值的 4~16 倍<sup>[35]</sup>,且正在呈指数增长。2018 年 4 月,美国学者 Evan Ward 在上海“第二届海洋微塑料污染与控制国际学术研讨会”上报道了海洋贻贝对微塑料的选择性摄食,对国际上利用海洋贝类作为微塑料污染程度指示生物的研究方法提出了挑战。另外,海洋表层的微塑料也被发现能够通过海洋雪与生物摄食在水体中进行垂直输运<sup>[36]</sup>。2018 年底,联合国海洋环境保护科学问题联合专家组 (GESAMP) 完成了“海洋垃圾监测指南”编制,规范了海洋微塑料监测方法。在应对海洋塑料垃圾污染方面,欧盟于 2018 年 5 月提出“限塑令”,决定禁止一批一次性塑料制品,并要求欧盟成员国在 2025 年前使 90% 的塑料饮料瓶得到回收,此方案于 2019 年 3 月获欧盟议会高票通过<sup>[37]</sup>。为了进一步呼吁世界各国齐心协力应对一次性塑料污染问题,联合国环境规划署将 2018 年世界环境日的主题定为“塑战速决”(Beat Plastic Pollution)。美国国家地理杂志也于 2018 年世界海洋日当天出版“塑料星球 (Planet or Plastics)”专刊,呼吁全球关注解决塑料污染问题。

### 1.7 国际公约

国际上,涉及到海洋垃圾管理的公约早在 20 世纪 70 年代就已经开始实行,如《防止倾倒废物及其他物质污染海洋的公约》(《伦敦公约》,LC,1972 年)、《国际防止船舶造成污染公约》(1973 年)等。其他如《联合国海洋法公约》(1982 年)、《关于控制危险废物越境转移及其处置的巴塞尔公约》(1989 年)、《联合国生物多样性公约》(1992 年)、联合国粮农组织《负责任的渔业行为守则》(1995 年)、联合国环境署《保护海洋环境免受陆地活动影响的全球行动纲领》(GPA,1995 年)、《伦敦议定书》(LP,1996 年)、《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》(2001 年)、国际化学品管理战略方针(SAICM,2006 年)、全球海洋垃圾伙伴关系(GPML,2012 年)、七国集团治理海洋废弃物行动计划(2015 年)、二十国集团海洋垃圾行动计划(2017 年)等都对海洋塑料污染问题给予了高度关注。

## 2 中国海洋微塑料污染研究

我国海洋微塑料污染相关研究始于 2013 年,华东师范大学研究团队率先在我国长江口及邻近沿海和东南沿海河口开展海洋微塑料研究,并报道了研究区域水体中微塑料的污染状况,成为我国海洋微塑料研究的发端<sup>[20]</sup>。

### 2.1 国家重点研发计划“海洋微塑料监测和生态环境效应评估技术研究”项目

由于 2014—2015 年间国际上海洋微塑料研究快速升温,我国在海洋微塑料的科学研究及污染应对方面均处在落后局面。为此,华东师范大学李道季于 2015 年 11 月向中央提出“尽快开展我国海洋微塑料监测和研究”的建议,使微塑料问题在中国获得政策关注。2016 年初,原环境保护部、国家海洋局和科学技术部落实立项国家重点研发计划“海洋环境安全保障”专项“海洋微塑料监测和生态环境效应评估技术研究”项目,并于 2016 年 9 月启动实施,是目前全球投入最大的海洋微塑料污染科研项目,主要研究海洋微塑料监测研究方法、在近海迁移扩散机制、对海洋生态系统的潜在危害、生态风险评估技术和微塑料管控与处置技术研发等。目前已取得了一系列阶段性重要成果,包括:①建立了我国《海洋微塑料监测技术规程》,获得立项,并自 2016 年在我国近海海洋微塑料监测中试行至今,为我国海洋微塑料污染情况公报的发布提供了基础性技术支撑;②揭示了我国沿海水体、海洋鱼类贝类、沉积物等生物及环境介质中微塑料的组成与数量分布;③初步建立了渤海、长江口及东海的微塑料输运数值模型及在近海的输运形态,揭示了我国漂浮型和悬浮型微塑料的季



节性输运特征;④揭示了我国近岸海域鱼类、贝类等海洋生物体内微塑料污染特征;⑤建立了我国入海塑料垃圾产生量预测模型,修正了西方学者对我国入海塑料垃圾量的高估;⑥初步构建了微塑料污染生态风险评估方法,并进行实际运用;⑦完成了我国塑料制品生产及塑料垃圾污染管理调查和研发相关处置技术等。目前,我国海洋微塑料研究处于国际并跑水平。

## 2.2 中国海洋微塑料研究发展迅速

从 2015 年开始,国家自然科学基金先后资助了 20 余项与海洋微塑料相关的研究及 50 余项非涉海的微塑料研究。我国研究团队已在海滩、河口、近海、内陆河流、湖泊等不同环境中开展微塑料研究工作,甚至也已经拓展到深海、大洋和极地等国际水域<sup>[38-39]</sup>。当前,我国微塑料研究主要关注其不同海洋环境介质中的含量、分布、特征及监测分析方法<sup>[36,40-44]</sup>;在海洋生物体内的含量,如海洋浮游生物<sup>[39]</sup>、底栖生物<sup>[45-46]</sup>、鱼类<sup>[47]</sup>和鸟类<sup>[48]</sup>;海洋生物摄食微塑料后的累积及其毒理效应<sup>[47-52]</sup>;海洋微塑料对持久性有机污染物 (POPs) 的富集机制<sup>[53-54]</sup>,海洋微塑料附着微生物的群落结构<sup>[55]</sup>以及微塑料的生态风险评估<sup>[43-44]</sup>。2018 年,我国在塑料垃圾入海通量模型建立与预测方面取得重要成果<sup>[56]</sup>,给出了我国塑料垃圾入海量及变化预测结果,修正了西方学者关于“中国是全球 192 个沿海国家中陆源海洋塑料垃圾最大源头”的估算结果<sup>[22]</sup>,在国际上产生重大影响。

2015 年 12 月,我国首个海洋塑料研究中心在华东师范大学成立,主要致力于开展海洋塑料和微塑料污染及应对的综合研究,包括海洋微塑料方法学、生态环境风险评估、管控政策、新型绿色材料研发、环保塑料产品设计、科普教育等。国家海洋局自 2016 年开始在我国近海开展海洋微塑料业务化监测,并于 2017 年在国家海洋环境监测中心建立海洋微塑料研究中心。2018 年中国太平洋、印度洋和南北极科考航次上均开展了一系列海洋微塑料调查。对深海沉积物中的微塑料,中国科学院深海科学与工程研究所于 2017 年对马里亚纳海沟中的海洋微塑料进行了初步尝试性采样分析研究。2018 年 11 月,华东师范大学与从事深海科考的“彩虹鱼”公司合作开展了西太平洋马里亚纳海沟海域及深渊的水层大体积采样分析、挑战者深渊沉积物采样分析等,探究海洋微塑料前沿科学问题。

## 2.3 开展国内外学术交流,推动深化海洋微塑料研究

2016 年 10 月,中国首个海洋微塑料污染专题国际学术会议“第 283 期东方科技论坛‘微塑料海洋污染与控制国际学术研讨会’”在上海召开,该会议由中国科学院、中国工程院和上海市人民政府联合主办,华东师范大学协办,引领我国海洋微塑料研究。其后,国内多个环境科学类会议纷纷设立微塑料研究分会场,探讨微塑料污染问题。2018 年 4 月,“第二届海洋微塑料污染与控制国际学术研讨会”在上海召开,对海洋塑料污染的最新科学研究和社会的应对框架、海洋塑料入海量估算、生态风险评估、塑料污染管控政策和应对海洋塑料污染的公益行动等进行了深入交流和探讨,进一步扩大了中国在国际海洋微塑料污染研究与治理领域的话语权。同年 6 月,“第一届全国环境(海洋)微塑料污染与管控学术研讨会”在浙江舟山举行,与会学者交流了我国环境微塑料的研究进展。

## 2.4 积极参与联合国、国际组织及区域合作研究

目前,中国正积极参与联合国及区域合作框架下的双边和多边应对海洋塑料垃圾污染的国际合作和行动,中国学者在联合国环境规划署 (UNEP)、联合国教科文组织政府间海洋科学委员会 (UNESCO-IOC)、北太平洋海洋科学组织 (PICES)、联合国环境署西北太平洋行动计划 (UNEP-NOWPAP)、联合国海洋环境保护科学问题联合专家组 (GESAMP) 等

多个国际组织中积极参与并开展了应对海洋塑料垃圾污染的国际合作,并领衔区域合作研究.2017年,华东师范大学发起了联合国教科文组织政府间海洋科学委员会西太平洋分委会(IOC-WESTPAC)“亚太区域海洋微塑料的分布、来源、归趋和影响”项目,并在2018年5月联合韩国、加拿大、日本学者共同发起了北太平洋海洋科学组织(PICES)海洋微塑料研究工作组(MP-WG).2018年3月,中国环境科学研究院开展了联合国环境署西北太平洋行动计划(UNEP-NOWPAP)海洋微塑料方法学研究计划.2018年10月,国家海洋环境监测中心张薇薇与华东师范大学李道季分别参与了联合国海洋环境保护科学问题联合专家组(GESAMP)第40工作组“海洋塑料垃圾监测指南”的编写和评审工作,该指南于2019年3月在内罗毕第四届联合国环境大会期间发布.另外,华东师范大学研究团队还承担了联合国环境署《海洋垃圾热点评估方法》白皮书的起草工作,并将于近期发布.2018年6月,我国学者与美国学者作为共同主席负责召集主持了美国海洋湖沼学会(ASLO)2019年水环境科学年会“水环境中塑料污染”分会,探讨了全球水生态系统中微塑料的生态风险评估问题.

### 2.5 中国应对海洋塑料垃圾污染的政策法规

虽然我国尚无法律直接管控海洋微塑料污染,但国家很早就针对塑料垃圾制定了一系列法律法规及政策措施,并不断对其加以增补和修订,如:《中华人民共和国防治陆源污染物污染损害海洋环境管理条例》(1990年)、《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》(2016年修订)、《废塑料回收与再生利用污染控制技术规范》(2007年)、《中华人民共和国循环经济促进法》(2009年)、《中华人民共和国清洁生产促进法》(2012年)、《中华人民共和国环境保护法》(2014年)、《中华人民共和国海洋环境保护法》(2017年修订)、《中华人民共和国水污染防治法》(2017年修订)、《中华人民共和国海洋倾废管理条例》(2017年修订)、《禁止洋垃圾入境推进固体废物进口管理制度改革实施方案》(2017年)等,并多次修改完善《进口废物管理目录》中固体废物管理规定和条例.近年来,国家相继出台了“水十条”(2015年)、“土十条”(2016年)、“河长制”(2016年)等环境保护政策,沿海部分城市也开展了“湾长制”(2017年)试点工作.此外,我国是较早发布“禁塑令”(《关于立即停止生产一次性发泡塑料餐具的紧急通知》,2001年)、“限塑令”(《国务院办公厅关于限制生产销售使用塑料购物袋的通知》,2007年)的国家之一.目前我国正在快速推进应对塑料垃圾问题的修法和立法工作,大力推进实施城市垃圾分类、“无废城市”试点及“美丽乡村”和生态文明建设等举措,并在多地开展“打击固体废物环境违法行为专项行动”.2018年7月,生态环境部发布了《中华人民共和国固体废物污染环境防治法(修订草案)(征求意见稿)》,全面禁止固体废物进口(包括废塑料).上述政策措施对削减陆源固体废物污染、控制塑料垃圾入海起到了重要作用,将有效地减少我国向环境和海洋中输送的塑料垃圾,改善全球海洋塑料污染状况.

## 3 海洋微塑料污染研究存在的问题

### 3.1 研究方面

近年来,虽然海洋微塑料研究在国际上取得了巨大进展,但目前微塑料在全球海洋分布赋存状况,对海洋生物个体和种群乃至生态系统的影响,对人类健康的影响等关键科学问题尚未得到解答,其研究主要存在以下三方面问题<sup>[57]</sup>:

(1) 海洋微塑料研究尚缺乏统一监测、分析和评估技术标准.随着海洋微塑料研究的快速发展与新认识的出现,海洋微塑料在形态、组成、成分、大小、数量分布等数据上表现出极大的差异性,导致国际上在研究方法学方面存在很大争议,仅在基本研究方法方面形成



了一定共识. 关键科学技术问题无法得到有效解决, 导致在不同地点、不同环境中获取的微塑料监测分析数据缺乏可比性, 难以准确进行环境生态风险评估. 尽管国内外已经发布了一些研究方法和分析技术指南, 但标准化的不同环境介质中微塑料样品采集、定量、定性分析以及鉴定技术方法仍需进一步探讨和完善, 研究结果的可比较性低.

(2) 海洋微塑料源汇过程仍不清楚. 海洋微塑料已广泛分布于全球各海区, 但目前其来源、迁移途径、输运过程、在海洋中的特性变化、在海洋食物网中的传递、与更小尺寸塑料在海洋环境中的相互作用和最终归趋等均未得到确证. 当前估算塑料垃圾及微塑料进入海洋的通量模型及估算方法也需要进一步研究完善, 准确度有待提高. 此外, 海洋塑料垃圾及微塑料在海洋中的移除过程和机制也待探讨.

(3) 海洋微塑料的毒理学效应和潜在生态风险仍不清楚, 其生态风险评估方法也有待完善. 目前大量微塑料毒理学研究结果基于的实验室微塑料浓度严重高于微塑料在真实海洋环境中的浓度水平, 尚无直接证据证实微塑料对海洋生物和海洋生态系统的影响. 微塑料在生物体内的累积过程、累积机制及对生物功能的影响也尚不明晰. 且由于水体中大量的微塑料是由人造塑料纤维而非塑料微粒组成, 导致环境浓度水平下海洋塑料和微塑料污染的生态毒理学效应、致毒机制和生态风险均存在大量未知, 也缺少证据证实其对人类健康的影响.

### 3.2 政策层面

作为新兴海洋环境污染物, 微塑料虽已获得国际社会的高度关注, 但现有法规、政策措施和行动计划等多是针对大型塑料垃圾. 由于目前科学上对海洋微塑料污染认知的局限性, 各国目前仅从源头上对人造塑料微珠(即原生微塑料)进行管控, 缺少对环境中次生微塑料的应对政策和措施. 总体而言, 目前海洋塑料垃圾和微塑料污染治理还存在以下问题.

(1) 尚未形成全球层面合作应对和削减海洋塑料垃圾且具有约束力的联合行动, 各国削减塑料垃圾入海量的目标还没有得到落实, 且各国海洋塑料垃圾防控和治理的政策制定和执行进度不一, 缺少有效国际监管.

(2) 各国在环境保护、产业发展和国际贸易等政策上存在分歧, 导致部分国际公约及协定无法得到严格履行, 无法有效遏制塑料垃圾和微塑料从源头及生命周期各个阶段中的产生并进入环境.

(3) 当前海洋塑料垃圾污染公共环境意识教育体系有待完善<sup>[57]</sup>. 通过激发公众环保意识, 促使其改变消费行为, 自觉养成垃圾分类的习惯, 推动塑料垃圾的资源化循环利用, 从而在源头上解决塑料污染问题.

(4) 塑料制品生产者对其产品的全生命周期过程认识不足, 无法准确识别和控制其产品生命周期过程中产生的微塑料污染, 导致各国政府无法有效制定削减海洋微塑料污染的环保政策、产业发展政策和国际贸易政策.

(5) 塑料用品回收处理及资源化利用率低, 一次性塑料用品使用量极大, 难以从源头上减少塑料垃圾及微塑料入海.

(6) 塑料垃圾处置技术尚存争议, 且填埋、焚烧等现有解决方案均需要大量财政投入, 无法得到广泛普及.

(7) 现有海洋塑料垃圾收集治理技术治理效果不佳, 收集与回收需要投资金额巨大, 尚未得到各国的积极响应, 在我国也缺乏高效的塑料污染治理技术.

## [参 考 文 献]

- [1] ARTHUR C, BAKER J, BAMFORD H. Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects, and Fate of Microplastic Marine Debris [C]. September 9-11, 2008, University of Washington Tacoma. WA: Tacoma, 2008.
- [2] LAW K L. Plastics in the marine environment [J]. Annual Review of Marine Science, 2017, 9(1): 205-229.
- [3] BORRELLE S B, ROCHMAN C M, LIBOIRON M, et al. Opinion: Why we need an international agreement on marine plastic pollution [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2017, 114(38): 9994-9997.
- [4] NATIONAL GEOGRAPHIC. What happens to the plastic we throw out? [EB/OL]. [2019-05-13]. <https://www.nationalgeographic.com/magazine/2018/06/the-journey-of-plastic-around-the-globe/>.
- [5] CARPENTER E J, SMITH K L. Plastics on the sargasso sea surface [J]. Science, 1972, 175(4027): 1240-1241.
- [6] CARPENTER E J, ANDERSON S J, HARVEY G R, et al. Polystyrene spherules in coastal waters [J]. Science, 1972, 178(4062): 749-750.
- [7] DAY R H, SHAV D G, DAVID G S, et al. The quantitative distribution and characteristics of marine debris in the North Pacific Ocean, 1985-88 [C]//Proceedings of the Second International Conference on Marine Debris, 2-7 April 1989, Honolulu, Hawaii. National Oceanic and Atmospheric Administration, 1990.
- [8] MOORE C J, MOORE S L, LEECASTER M K, et al. A comparison of plastic and plankton in the north Pacific central gyre [J]. Marine Pollution Bulletin, 2001, 42(12): 1297-1300.
- [9] RYAN P, MOLONEY C. Plastic and other artefacts on South African beaches: Temporal trends in abundance and composition [J]. South African Journal of Science, 1990, 86: 450-452.
- [10] THOMPSON R C, OLSEN Y S, MITCHELL R P, et al. Lost at sea: Where is all the plastic? [J]. Science, 2004, 304(5672): 838-838.
- [11] LAW K L, MORETFERGUSON S, MAXIMENKO N, et al. Plastic accumulation in the North Atlantic subtropical gyre [J]. Science, 2010, 329(5996): 1185-1188.
- [12] BARNES D K, MILNER P. Drifting plastic and its consequences for sessile organism dispersal in the Atlantic Ocean [J]. Marine Biology, 2005, 146(4): 815-825.
- [13] VON MOOS N R, BURKHARDTHOLM P, KOHLER A, et al. Uptake and effects of microplastics on cells and tissue of the blue mussel *mytilus edulis* L. after an experimental exposure [J]. Environmental Science & Technology, 2012, 46(20): 11327-11335.
- [14] WRIGHT S L, ROWE D, THOMPSON R C, et al. Microplastic ingestion decreases energy reserves in marine worms [J]. Current Biology, 2013, 23(23): R1031-R1033.
- [15] VAN CAUWENBERGHE L, JANSSEN C R. Microplastics in bivalves cultured for human consumption [J]. Environmental Pollution, 2014, 193: 65-70.
- [16] LAW K L, THOMPSON R C. Microplastics in the seas [J]. Science, 2014, 345(6193): 144-145.
- [17] ERIKSEN M, LEBRETON L C M, CARSON H S et al. Plastic pollution in the world's oceans: More than 5 Trillion plastic pieces weighing over 250,000 tons afloat at sea [J]. Plos One, 2014, 9(12): e111913.
- [18] COZAR A, ECHEVARRIA F, GONZALEZ J, et al. Plastic debris in the open ocean [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2014, 111(28): 10239-10244.
- [19] VAN SEBILLE E, WILCOX C, LEBRETON L, et al. A global inventory of small floating plastic debris [J]. Environmental Research Letters, 2015, 10(12): 124006.
- [20] ZHAO S Y, ZHU L X, WANG T, et al. Suspended microplastics in the surface water of the Yangtze Estuary System, China: First observations on occurrence, distribution [J]. Marine Pollution Bulletin, 2014, 86(1): 562-568.
- [21] NOAA. Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments [R]. National Oceanic and Atmospheric Administration, 2015.
- [22] JAMBECK J R, GEYER R, WILCOX C, et al. Plastic waste inputs from land into the ocean [J]. Science, 2015, 347(6223): 768-771.
- [23] YANG D Q, SHI H H, LI L, et al. Microplastic pollution in table salts from China [J]. Environmental Science & Technology, 2015, 49(22): 13622-13627.
- [24] HOEGH G O. Reviving the ocean economy: The case for action-2015 [R/OL]. WWF International. [2019-05-13]. <https://www.worldwildlife.org/publications/reviving-the-oceans-economy-the-case-for-action-2015>.
- [25] UNEP. Plastic in cosmetics: Are we polluting the environment through our personal care? [R]. The Global Programme of Action for the Protection of the Marine Environment from Land-based Activities 2015. [2019-05-13]. [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/9664/-Plastic.in.cosmetics\\_Are\\_we.polluting.the.environment.through.our.personal.care.-2015Plas.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/9664/-Plastic.in.cosmetics_Are_we.polluting.the.environment.through.our.personal.care.-2015Plas.pdf?sequence=3&isAllowed=y).

- [26] GESAMP. Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: A global assessment [R/OL]. [2019-05-13]. [http://ec.europa.eu/environment/marine/good-environmental-status/descriptor-10/pdf/GESAMP\\_microplastics%20full%20study.pdf](http://ec.europa.eu/environment/marine/good-environmental-status/descriptor-10/pdf/GESAMP_microplastics%20full%20study.pdf).
- [27] 联合国海洋大会. 《2030 年可持续发展议程》及其 17 项可持续发展目标, 目标 14: 保护和可持续利用海洋和海洋资源以促进可持续发展 [R]. [2019-05-13]. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/zh/oceans/>.
- [28] LÖNNSTEDT O M, EKLÖV P. Environmentally relevant concentrations of microplastic particles influence larval fish ecology [J]. Science, 2016, 352(6290): 1213-1216.
- [29] SUSSARELLU R, SUQUET M, THOMAS Y, et al. Oyster reproduction is affected by exposure to polystyrene microplastics [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2016, 113(9): 2430-2435.
- [30] GALLOWAY T S, LEWIS C. Marine microplastics spell big problems for future generations [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2016, 113(9): 2331-2333.
- [31] GESAMP. Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: Part two of a global assessment [R/OL]. [2019-05-13]. [http://ec.europa.eu/environment/marine/good-environmental-status/descriptor-10/pdf/GESAMP\\_microplastics%20full%20study.pdf](http://ec.europa.eu/environment/marine/good-environmental-status/descriptor-10/pdf/GESAMP_microplastics%20full%20study.pdf).
- [32] GALLOWAY T S, COLE M, LEWIS C, et al. Interactions of microplastic debris throughout the marine ecosystem [J]. Nature Ecology and Evolution, 2017, 1(5): 116.
- [33] LEBRETON L, DER ZWET J V, DAMSTEEG J, et al. River plastic emissions to the world's oceans [J]. Nature Communications, 2017(7): 1-10.
- [34] ZHAO S Y, ZHU L X, GAO L, et al. Limitations for microplastic quantification in the ocean and recommendations for improvement and standardization [M]//ZENG E Y. Microplastic Contamination in Aquatic Environments. [S.l.]: Elsevier, 2018: 27-49.
- [35] LEBRETON L, SLAT B, FERRARI F F, et al. Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic [J]. Scientific Reports, 2018, 8(1): 4666.
- [36] ZHAO S Y, WARD E, DANLEY M, et al. Mincer, field-based evidence for microplastic in marine aggregates and mussels: Implications for trophic transfer [J]. Environmental Science Technology, 2018, 52(19): 11038-11048.
- [37] EUROPEAN COMMISSION. Circular Economy: Commission welcomes European Parliament adoption of new rules on single-use plastics to reduce marine litter [EB/OL]. (2019-03-27)[2019-05-13]. [http://europa.eu/rapid/press-release\\_STATEMENT-19-1873\\_en.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_STATEMENT-19-1873_en.htm).
- [38] PAN Z, GUO H S, CHEN H Z, et al. Microplastics in the Northwestern Pacific: Abundance, distribution, and characteristics [J]. Science of The Total Environment, 2018, 650: 1913-1922.
- [39] SUN X, LIU T, ZHU M, et al. Retention and characteristics of microplastics in natural zooplankton taxa from the East China Sea [J]. Science of the Total Environment, 2018 (640/641): 232-242.
- [40] ZHAO S Y, ZHU L X, LI D J, et al. Microplastic in three urban estuaries, China [J]. Environmental Pollution, 2015, 206: 597-604.
- [41] ZHAO S Y, DANLEY M, WARD J E, et al. An approach for extraction, characterization and quantitation of microplastic in natural marine snow using Raman microscopy [J]. Analytical Methods, 2016 (9): 1470-1478.
- [42] PENG G Y, ZHU B S, YANG D Q, et al. Microplastics in sediments of the Changjiang Estuary, China [J]. Environmental Pollution, 2017, 225: 283-290.
- [43] PENG G Y, XU P, ZHU B S, et al. Microplastics in freshwater river sediments in Shanghai, China: A case study of risk assessment in mega-cities [J]. Environmental Pollution, 2018, 234: 448-456.
- [44] XU P, PENG G Y, SU L, et al. Microplastic risk assessment in surface waters: A case study in the Changjiang Estuary, China [J]. Marine Pollution Bulletin, 2018, 133: 647-654.
- [45] LI J N, YANG D Q, LI L, et al. Microplastics in commercial bivalves from China [J]. Environmental Pollution, 2015, 207: 190-195.
- [46] LI H X, MA L S, LIN L, et al. Microplastics in oysters *Saccostrea cucullata* along the Pearl River Estuary, China [J]. Environmental Pollution, 2018, 236: 619-625.
- [47] JABEEN K, SU L, LI J N, et al. Microplastics and mesoplastics in fish from coastal and fresh waters of China [J]. Environmental Pollution, 2017, 221: 141-149.
- [48] ZHAO S Y, ZHU L X, LI D J, et al. Microscopic anthropogenic litter in terrestrial birds from Shanghai, China: Not only plastics but also natural fibers [J]. Science of The Total Environment, 2016, 550: 1110-1115.
- [49] LI J N, QU X Y, SU L, et al. Microplastics in mussels along the coastal waters of China [J]. Environmental Pollution, 2016, 214: 177-184.
- [50] CHEN Q Q, GUNDLACH M, YANG S Y, et al. Quantitative investigation of the mechanisms of microplastics and nanoplastics toward zebrafish larvae locomotor activity [J]. Science of The Total Environment, 2017, 584/585: 1022-1031.
- [51] JABEEN K, LI B W, CHEN Q Q, et al. Effects of virgin microplastics on goldfish (*Carassius auratus*) [J]. Chemosphere, 2018, 213: 323-332.

- [52] WANG Y, ZHANG D, ZHANG M X, et al. Effects of ingested polystyrene microplastics on brine shrimp, *Artemia parthenogenetica* [J]. *Environmental Pollution*, 2019, 224: 715-722.
- [53] ZHANG H B, ZHOU Q, XIE Z Y, et al. Occurrences of organophosphorus esters and phthalates in the microplastics from the coastal beaches in north China [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 616/617: 1505-1512.
- [54] CHEN Q Q, ZHANG H B, ALLGEIER A, et al. Marine microplastics bound dioxin-like chemicals: Model explanation and risk assessment [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2019, 364: 82-90.
- [55] JIANG P L, ZHAO S Y, ZHU L X, et al. Microplastic-associated bacterial assemblages in the intertidal zone of the Yangtze Estuary [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 624: 48-54.
- [56] BAI M Y, ZHU L X, AN L H et al. Estimation and prediction of plastic waste annual input into the sea from China[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2018, 37(11): 30-43.
- [57] 李道季. 海洋微塑料污染状况及其应对措施建议 [J]. *环境科学研究*, 2019, 32(2): 197-202.

(责任编辑: 李万会)