

微塑料对海洋生态系统的危害及其法律规制 路径

王心怡

南京信息工程大学法学与公共管理学院, 江苏 南京

收稿日期: 2026年1月18日; 录用日期: 2026年1月29日; 发布日期: 2026年2月25日

摘要

海洋微塑料污染已成为全球范围内的重大环境问题, 对海洋生态系统的平衡与功能造成了深远影响。本文从微塑料污染的来源及其对海洋生物、生态平衡和海洋循环的危害入手, 分析了微塑料对海洋生态系统的直接和间接影响。在梳理国内外法律规制现状的基础上, 指出了现行治理体系中存在的法律规定碎片化、跨国协作缺失、监督机制薄弱和公众参与不足等问题。针对上述挑战, 本文提出了完善法律法规、加强国际协作、健全监督执行机制和强化公众参与等路径建议。本文旨在为中国和国际社会在微塑料污染治理方面提供理论支撑和实践指导, 推动海洋环境保护法律体系的完善与有效实施, 实现对海洋生态系统的可持续管理。

关键词

微塑料污染, 海洋生态系统, 海洋环境保护

Microplastic Pollution in Marine Ecosystems: Ecological Impacts and Legal Governance Approaches

Xinyi Wang

School of Law and Public Administration, Nanjing University of Information Science and Technology,
Nanjing Jiangsu

Received: January 18, 2026; accepted: January 29, 2026; published: February 25, 2026

Abstract

Microplastic pollution has emerged as a pressing global challenge in marine environmental governance,

文章引用: 王心怡. 微塑料对海洋生态系统的危害及其法律规制路径[J]. 法学, 2026, 14(2): 140-147.

DOI: 10.12677/ojls.2026.142055

posing persistent and far-reaching threats to the integrity and functioning of marine ecosystems. This paper examines the major sources of marine microplastics and analyzes their adverse impacts on marine organisms, ecological balance, and oceanic processes, with particular attention to the direct and indirect ecological risks involved. Building upon a review of existing domestic and international legal frameworks, the study identifies key deficiencies in the current regulatory regime, including fragmented legal norms, inadequate transboundary coordination, weak enforcement and supervision mechanisms, and limited public participation. In response to these challenges, the paper proposes legal governance pathways encompassing the improvement of relevant legislation, the strengthening of international cooperation mechanisms, the enhancement of regulatory enforcement, and the promotion of public engagement. This study seeks to provide theoretical support and practical insights for China and the international community in addressing marine microplastic pollution, contributing to the development and effective implementation of a more coherent and sustainable marine environmental legal order.

Keywords

Microplastic Pollution, Marine Ecosystems, Marine Environmental Governance

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 问题的提出

海洋微塑料污染已经成为全球海洋环境面临的主要威胁之一。目前对于微塑料的广泛定义是粒径小于 5 mm 的塑料微粒[1], 包括初级微塑料(如工业生产中的塑料颗粒)和次级微塑料(由塑料垃圾在环境中降解形成)两类。这些微粒来自塑料制品的降解、工业生产的塑料颗粒泄漏以及日常用品(如化妆品和清洁剂)中的塑料添加剂等。近年来, 随着塑料制品的广泛使用, 微塑料的污染问题迅速加剧。水环境是最易受污染的系统之一, 微塑料等多种污染物可通过污水排放、地表径流或大气沉降等最终归于河、湖和海洋中[2]。研究表明, 微塑料已经广泛分布于海洋表层、海底沉积物、沿岸生态区及深海区域, 不仅对海洋生物构成威胁, 还可能通过食物链影响人类健康。世界自然基金会(WWF)的数据显示, 每年有超过 800 万吨塑料进入海洋, 其中相当比例会分解为微塑料颗粒[3], 持续对全球海洋生态系统带来挑战。

海洋生态系统是地球生命支持系统的重要组成部分, 微塑料污染却对这一系统造成多维度的危害。一方面, 微塑料的直接毒性作用可能导致海洋生物生理功能受损, 例如对食物链结构稳定性和物种多样性构成潜在威胁; 另一方面, 微塑料作为污染物载体, 可能吸附有毒物质并随海洋生物的迁徙扩散至更广泛的区域, 加剧污染的复杂性。此外, 微塑料污染对经济的负面影响也逐渐显现, 例如渔业资源减少、沿海旅游业受损以及海洋经济系统的长期脆弱性[4]。当前, 全球对微塑料污染的治理尚处于探索阶段, 现有法律框架对其规制存在明显不足, 例如责任主体不明、监控机制不健全以及跨国合作机制的执行力不足。因此, 研究海洋微塑料的法律规制问题具有重要的理论和实践意义, 不仅有助于完善现行法律体系, 也为全球范围内的环境治理提供参考。

本文旨在对微塑料污染的生态危害进行全面分析, 重点探讨其对海洋生态系统的直接和间接影响。此外, 本文将对国内外微塑料污染治理的法律现状进行梳理, 剖析现有法律体系的不足之处, 并提出切实可行的法律规制路径与实施建议。通过这项研究, 期望为微塑料污染治理提供科学依据和政策指导, 推动国际社会和国内法律体系在保护海洋环境方面达成共识。

2. 微塑料对海洋生态系统的危害

海洋微塑料污染是当代海洋生态危机的重要组成部分，其危害广泛且复杂。微塑料污染不仅威胁海洋生物的生存，还可能通过生态系统的级联效应影响整个海洋生态平衡，甚至对人类健康构成潜在威胁[5]。

2.1. 对海洋生物的影响

在海洋环境中，微塑料会积累一些有机污染物，而微塑料可能被海洋生物误认成食物，例如大型无脊椎动物(双壳类、贻贝、虾、牡蛎)、浮游动物、鱼类、鸟类以及鲸鱼，这为微塑料所吸附的有机污染物转移到海洋生物体内提供了途径。由于微塑料尺寸微小，具有较高的比表面积和表面能，易吸附有毒物质和微生物群落，进入食物链后，不可避免地会对各营养级海洋生物造成影响和损害[6]。微塑料通过摄食进入海洋生物体内，可能堵塞其消化道，引发组织损伤并导致营养不良。例如，北大西洋鳕鱼(*Engraulis encrasicolus*)摄食微塑料后，其消化系统功能显著下降，个体生长速度明显低于正常水平[7]。纤维型微塑料可将生物体缠绕，阻碍其行动，白色的微塑料容易被生物摄入，会引起饱腹感，但其实生物体并没有进食，身体没有能量的摄入，最终导致死亡[8]。此外，微塑料颗粒中含有的化学添加剂(如增塑剂、阻燃剂)会在生物体内释放有毒物质，对生物的内分泌系统造成干扰，从而影响其繁殖能力。更为严重的是，微塑料颗粒因其微小尺寸能够穿透细胞壁，从消化道扩散至血液、肝脏等器官，对生物体的整体健康构成威胁。例如，北极虾(*Pandalus borealis*)体内已检测到微塑料颗粒扩散至肝脏和肌肉组织，这种迁移效应进一步加剧了生物个体的健康危机[9]。因此，在海洋生物食物链中，微塑料可穿过不同的营养水平，从而将其载有的持久性有机污染物传递到食物链中不同营养水平的生物体内，以此对海洋生物造成严重的影响。微塑料对海洋生物的直接体现主要体现在其对生物体内消化道、代谢系统和免疫功能的损害。

2.2. 对海洋生态系统的影响

微塑料的广泛分布不仅深刻影响着海洋生物的生存状态，还对整个海洋生态系统的平衡与稳定构成了挑战，同时对于海洋环境的质量与情况也会产生一定程度的影响。

1. 生态平衡破坏

微塑料在海洋生态系统中的危害并不仅限于其自身的毒性，还通过吸附环境污染物、改变生态环境特性以及干扰底栖生物群落，对海洋生态系统的平衡和功能产生深远的间接影响。这些间接作用通过复杂的物理、化学和生态过程扩大了微塑料的污染范围，并加剧了其治理难度。

首先，微塑料因其表面的吸附特性，能够携带其他环境污染物，放大其生态危害。微塑料表面可以吸附重金属(如汞和铅)及持久性有机污染物(如多环芳烃和多氯联苯)，这些有毒物质通过微塑料进入海洋生物体内后，可能在食物链中产生累积效应。同时，微塑料还可能通过洋流迁移，将污染扩散至偏远区域。南极洲的科考研究表明，北半球工业废弃物产生的微塑料通过洋流运输至南极区域，对极地生态系统的原始平衡造成威胁[10]。其次，微塑料对海底沉积物结构和功能产生了深刻的影响。由于微塑料的微小尺寸和化学稳定性，其在沉积物中的聚集会增加沉积物的密实度，降低通透性和透水性，同时改变颗粒大小和组成[11]。此外，微塑料作为生物体的“栖息地”，能够为某些浮游生物、致病菌和外来物种提供附着和迁移的条件[12]。

2. 影响海洋循环

海洋环境中具有一种独特的循环体系，生物地化循环。这种循环不仅可以为海洋生物提供氧气上的支撑，也可以有效促进氧气与水分的交换，进而使海洋生物的生存得到保证。在局部海域和特定环境条件下，微塑料的富集可能通过影响浮游生物、表层生态过程等方式，对海洋生物地化循环产生潜在干扰，

甚至会直接影响到海洋中的生物化学反应,进而使海洋中的生物地化循环受到破坏。此外,微塑料对海洋碳循环的影响尤为显著。海洋作为全球碳储存的重要组成部分,通过浮游植物的光合作用和碳汇作用将二氧化碳固定为有机物。然而,微塑料颗粒可能吸附浮游植物表面的营养物质或遮蔽光照,从而降低其光合作用效率。

3. 国内外法律规制现状及面临的挑战

3.1. 国际法律规制现状

首先,全球性法律框架的局限性。现有全球性法律框架,如《联合国海洋法公约》(UNCLOS)和《生物多样性公约》(CBD),虽然确立了保护海洋环境和生物多样性的基本原则,但针对微塑料这一新兴污染问题的具体制度设计仍有不足。例如,《联合国海洋法公约》第192条明确要求缔约国“保护和保存海洋环境”,但该条文的广泛性与微塑料污染的复杂性之间缺乏足够的衔接,未能有效应对微塑料的跨国界污染特性。与此同时,《生物多样性公约》虽涉及保护生物栖息地免受污染影响,但对微塑料如何威胁海洋生物多样性的规制未能形成具体要求。这种法律条文的原则性与微塑料污染的广泛性和隐蔽性形成矛盾,导致国际治理在实践中难以落实。

其次,区域性法律框架的进展与局限。在区域性协定和政策层面,一些地区在微塑料治理方面取得了显著进展。以欧洲联盟(EU)为例,其发布的《欧洲塑料战略》(2018年)和《循环经济行动计划》(2020年)从塑料制品的全生命周期管理入手,提出了限制一次性塑料制品、提高塑料废弃物回收率、减少微塑料来源等具体目标。例如,欧洲在政策中禁止某些特定微塑料的生产与使用,同时资助绿色替代品的研发,为行业的转型提供支持。这种全链条治理模式在一定程度上为其他地区提供了可参考的治理路径。

此外,某些区域性协定将微塑料污染治理纳入区域合作框架,如《赫尔辛基公约》(HELCOM)和《地中海行动计划》(MAP)。这些协定通过技术指南和行动计划,提出了区域内的污染监测与管理目标。例如,《地中海行动计划》明确要求缔约国每年提交塑料污染防治进展报告,并强调微塑料的源头治理与废弃物管理的结合。然而,这些区域性协定在面对跨区域污染时,因缺乏全球统一标准和强制执行机制,实际规制效果有限。跨国界的污染特性使得区域内部的单一努力难以遏制问题的扩散,尤其在缺乏国际合作时,区域间协调与统一行动难以实现。

尽管国际社会在微塑料污染治理方面取得了一定进展,尤其是区域性协定和政策在技术指南与目标制定方面具有一定成效,但全球法律框架的不完善、区域协定的约束力不足以及国际协作的缺失,仍是实现有效治理的主要障碍。

3.2. 国内法律规制现状

中国在微塑料污染治理方面的法律规制尚处于起步阶段,目前主要依托于涵盖塑料污染的相关条款间接进行规制,但针对微塑料污染的专门性法律体系尚未建立。这种法律体系的不完善在一定程度上制约了微塑料污染治理的系统性和针对性。

首先,现行法律对微塑料污染治理的规制不足。现有的《中华人民共和国海洋环境保护法》(以下简称《海洋环境保护法》)、《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》(以下简称《固体废物污染环境防治法》)和《中华人民共和国水污染防治法》(以下简称《水污染防治法》)虽然在污染防治方面作出了原则性规定,但针对微塑料污染这一特殊问题的规制内容仍显不足。例如,《固体废物污染环境防治法》虽要求加强塑料废弃物的管理与回收,但未对微塑料的来源控制、监测标准及治理方法作出明确规定。《海洋环境保护法》对海洋环境保护确立了较为全面的框架,但未将微塑料列入需要特别监管的污染物类型,从而难以有效覆盖微塑料污染的特殊治理需求。此外,《水污染防治法》中涉及的水体污染监测和治理条款,

主要针对常见的化学污染物，而对微塑料作为隐性污染物的监管尚未形成针对性规定。这些法律体系的局限性，导致微塑料污染治理在法律层面缺乏足够的支持。

其次，政策层面的探索与进展。近年来，中国在政策层面逐步强化对塑料污染问题的关注。2020年发布的《关于进一步加强塑料污染治理的意见》提出了一系列针对塑料污染的治理措施，例如减少一次性塑料制品的使用、限制不可降解塑料袋的生产和销售，并推动绿色替代材料的研发。这些政策在宏观塑料污染的源头治理方面发挥了积极作用。然而，针对微塑料污染的全生命周期管理仍显不足。政策更多聚焦于减少宏观塑料制品的使用，而微塑料在生产、流通及废弃物管理中的特定环节尚未被充分纳入。特别是在微塑料的生产源头控制、环境监测和治理技术的具体实施方面，政策尚未提供细化指导。

3.3. 我国微塑料治理面临的主要挑战

随着微塑料污染问题逐渐引起国际社会的重视，各类全球性与区域性法律框架已开始涉足微塑料治理。然而，现有国际法律在应对微塑料污染方面仍存在体系不完善、规制不具体的问题，难以形成全面有效的治理机制。

1. 法律规定碎片化

中国现行法律体系中，涉及塑料污染治理的条款主要分散于《海洋环境保护法》《固体废物污染环境防治法》和《水污染防治法》等法律中，但缺乏统一的法律框架。这些法律在各自领域内针对宏观塑料污染提出了一些原则性规定，但对于微塑料污染这一新型环境问题，尚未形成系统性规制。其次，微塑料污染具有跨领域、多环节的特性，需要多个部门协作进行综合治理。然而，现有法律框架难以支持跨部门协调。此外，现行法律多集中于塑料废弃物的管理和回收，对微塑料作为隐性污染物的全生命周期治理涉及较少，特别是在生产和排放源头环节存在明显盲区。微塑料污染不仅源于塑料废弃物的降解，还包括工业产品中的添加剂(如化妆品中的塑料微珠)以及工业和加工过程中的次生微塑料释放。然而，这些重要污染源未被现行法律充分规制，导致微塑料污染的治理难以系统化、规范化，亟需通过完善法律框架和扩展规制范围加以解决。

2. 跨国协作的缺失

微塑料污染具有显著的跨国界特性，受到水流和风力的影响，一个国家的塑料废物可能会对另一个国家所管辖的海域或对海洋公域造成环境损害[13]，单一国家或地区的治理难以全面遏制污染。中国作为塑料制品生产和消费大国，在微塑料治理中不仅面临国内污染治理的压力，也承担着在国际治理中发挥关键作用的责任。然而，当前中国在跨国协作中面临多重挑战，这在国际机制参与、责任划分和技术支持等方面尤为突出。尽管中国已加入《联合国海洋法公约》(UNCLOS)等全球性法律框架，并积极参与《地中海行动计划》(MAP)和《赫尔辛基公约》(HELCOM)等区域性协定的研究和观察，但在微塑料治理中的具体参与和话语权有限。现有国际机制针对微塑料污染的协作仍处于起步阶段，未能为中国等发展中国家提供足够的支持。其次，目前，国际社会在微塑料定义、监测方法和污染评估标准上缺乏一致性，给中国在参与跨国治理时带来实际困扰。此外，一些发达国家制定了严格的微塑料使用禁令，但对进口塑料制品的监管宽松，这使中国在履行国际治理义务时，面临政策不对等的压力。

3. 监督执行机制薄弱

首先，执法标准和监测指标不完善。微塑料污染的监测具有较高的技术要求，但现行法律法规尚未建立统一的监测标准和指标。例如，微塑料的粒径范围、来源分类及污染程度评估等关键环节，缺乏明确的技术规范和法律依据。这种标准缺失不仅限制了执法部门的监测能力，也增加了对违法行为进行追责和处罚的难度。建立快速高效的微塑料分析监测方法，不仅能为我国的微塑料污染研究提供技术支持，也有助于我国在今后相关国际法规的制定中处于有利地位[14]。其次，微塑料污染治理需要高水平的技术

和设备支持,但地方执法机构因资金和技术资源有限,难以满足实际需求。例如,许多沿海城市缺乏专门的微塑料监测设备和专业人员,导致污染源追踪和治理的精准度较低。同时,一些基层环保部门因执法力量薄弱,对企业排放和塑料废弃物处理的监督不足,使得法律实施效果大打折扣。

4. 公众参与社会监督不足

作为一种隐性污染,微塑料的危害通常难以被直观感知,公众对其环境和健康风险的认知相对有限。例如,许多人未意识到一次性塑料制品的广泛使用以及不规范的废弃物处理可能是微塑料污染的重要来源。这种认知不足导致公众在减少塑料使用、参与垃圾分类和支持环保政策等方面的积极性不高,进一步加剧了污染问题。其次,社会监督机制不完善。虽然现行法律对塑料污染治理提出了一些要求,但公众在其中的监督作用尚未充分发挥。例如,公众对企业违法排放或政府执法不力的监督途径有限,举报机制也不够畅通。同时,由于缺乏系统的环保教育,许多公众对监督职责和权利了解不足,无法有效参与到治理过程中。

4. 海洋微塑料污染的中国完善路径

4.1. 完善法律法规

完善国内法律体系,特别是制定并执行专门性法律,是有效应对中国海洋微塑料污染问题的关键路径。首先,应以《中华人民共和国海洋环境保护法》《固体废物污染环境防治法》为基石,构建海洋微塑料污染治理的基本法律框架,并在此基础上细化出台专项法律法规。除了中央政府层面制定海洋微塑料污染治理法律法规外,地方政府也可以根据当地情况制定地方法规和政策,为企业和公众参与海洋微塑料污染治理提供法律保障。根据沿海地区微塑料污染的实际情况、公众参与治理的可行性,制定具体的、以实践为基础的法律法规,促进和改进公众参与海洋微塑料污染的治理,并确定公众参与整个治理过程的权利和义务。在现行法律框架下,将微塑料管控要求具体嵌入既有制度,比单独制定原则性条款更具可操作性。其中,生产者责任延伸制度(Extended Producer Responsibility, EPR)为微塑料污染的全生命周期治理提供了现实制度基础。现行《固体废物污染环境防治法》已初步确立了生产者对产品废弃阶段承担回收和处置责任的基本思路,但该制度主要针对宏观塑料制品,对微塑料这一隐性污染形态覆盖不足。鉴于微塑料污染在很大程度上源于塑料制品在生产、使用和降解过程中的持续释放,有必要在现有 EPR 框架下,进一步明确塑料制品生产者在微塑料排放控制、替代材料研发及回收体系完善方面的法定义务。从国内立法实践看,微塑料污染治理在企业责任层面仍存在明显短板,现行制度中未明确生产者对塑料全生命周期的责任,企业缺乏使用可降解替代材料的动力^[15],从而在一定程度上削弱了法律对微塑料污染源头的实际效果。

4.2. 加强国际协作

微塑料污染不同于传统海洋污染,其显著特征在于能够随洋流、大气沉降等自然过程实现跨国界迁移,污染来源国、受害国与治理责任主体之间往往并不一致。正如前文所分析的,微塑料污染具有高度的跨界性,这一生态特征决定了单一国家通过国内立法难以实现有效治理。因此,法律对策的重点不应仅停留在倡导国际合作层面,而应进一步通过制度化程序回应微塑料污染的跨界流动特征。为此,中国应在国际微塑料治理中发挥更加积极的作用,推动建立全球性的治理机制和协作框架。一方面,应围绕微塑料污染的跨界流动特性,在国际法框架下推动建立稳定的信息通报、联合监测和执法协作程序,通过程序性义务的明确化,降低跨境治理中的协调成本与责任模糊问题;另一方面,通过加入或深化参与全球性协定和区域性机制,增强国际话语权,争取更多国际支持。与此同时,应加大双边和多边合作力度,重点与发达国家合作引进先进的治理技术,推动与发展中国家的技术共享与经验交流。在资金支持

方面, 可与国际组织合作建立专项基金, 促进技术转移和能力建设, 为治理资源有限的发展中国家提供支持。

4.3. 完善监督执行机制

针对监督执行机制薄弱的问题, 应通过建立标准化监测体系、提升执法能力和强化跨部门协作, 切实提高执法效能。鉴于微塑料具有显著的吸附性, 其在海洋环境中往往并非以单一污染形态存在, 而是通过吸附重金属、持久性有机污染物等方式, 形成复合污染风险。现行法律与技术规范主要围绕单一污染因子设定监测指标, 难以真实反映微塑料污染的生态危害程度。因此, 在法律制度层面, 有必要针对微塑料污染的吸附特性, 构建符合污染导向的监测标准体系。在具体制度设计上, 应当在现有水环境与海洋环境监测制度中, 将微塑料所携带污染物的类型、负载水平与生态风险一并纳入监测和评估范围, 从而为行政执法与责任追究提供更具科学性的依据。同时, 监督执行机制的完善不仅体现在行政监管层面, 也直接关系到后续损害救济机制的有效运作。在损害救济层面, 微塑料污染的隐蔽性与长期性使其在因果关系认定和责任归属方面面临现实困难。为避免因举证不能而削弱法律规制效果, 有必要在现行环境侵权责任框架下, 对微塑料污染损害适用更为严格的归责原则。

4.4. 保障公众参与

公众的广泛参与和社会监督是实现微塑料污染治理目标的重要保障。为此, 应首先加强环保宣传教育, 通过社区活动、媒体宣传和校园课程等形式, 普及微塑料污染的危害及治理知识, 提高公众的认知水平, 增强其参与环保行动的主动性和责任感。其次, 应建立便捷的公众参与渠道, 开发数字化环保平台, 为公众提供举报污染行为、查询治理数据和反馈意见的窗口, 提升公众在污染监督中的能动性。同时, 在政策和法律制定过程中, 应扩大公众的参与范围, 通过听证会、意见征集等形式, 充分吸纳公众和环保组织的意见, 提升政策的科学性和可行性。此外, 应激励公众参与到塑料污染治理的实际行动中。例如, 通过积分奖励机制鼓励垃圾分类和减少塑料使用, 促进社会力量与政府治理目标的协同, 最终形成全社会共同参与微塑料污染治理的良性循环。

5. 结语

微塑料污染已成为威胁海洋生态系统的重要环境问题, 对海洋生态系统造成了深远影响, 其复杂的污染特性和广泛的生态影响也对全球和区域的环境治理提出了严峻挑战。而现有法律体系在治理微塑料污染方面仍存在诸多不足, 亟需完善更加系统化的治理体系, 进一步推动国内外在微塑料污染治理领域的共识与行动, 以实现海洋生态系统的全面保护。

参考文献

- [1] Thompson, R.C., Olsen, Y., Mitchell, R.P., Davis, A., Rowland, S.J., John, A.W.G., *et al.* (2004) Lost at Sea: Where Is All the Plastic? *Science*, **304**, 838-838. <https://doi.org/10.1126/science.1094559>
- [2] 杨秉倬, 黄河. 微塑料对水生生物的生态毒理效应研究进展[J]. 环境与发展, 2019, 31(9): 126-130.
- [3] Jambeck, J.R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T.R., Perryman, M., Andrady, A., *et al.* (2015) Plastic Waste Inputs from Land into the Ocean. *Science*, **347**, 768-771. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>
- [4] Beaumont, N.J., Aanesen, M., Austen, M.C., Börger, T., Clark, J.R., Cole, M., *et al.* (2019) Global Ecological, Social and Economic Impacts of Marine Plastic. *Marine Pollution Bulletin*, **142**, 189-195. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.03.022>
- [5] 耿秋霞, 魏志伟, 张钊, 等. 海洋微塑料污染现状及其微生物降解研究进展[J/OL]. 环境科学, 1-18. <https://doi.org/10.13227/j.hjlx.202504174>, 2026-01-27.
- [6] 王钰, 张飞. 海洋微塑料污染的生物危害及防治研究进展[J]. 海洋渔业, 2025, 47(3): 450-460.

-
- [7] Thompson, R.C., Moore, C.J., vom Saal, F.S. and Swan, S.H. (2009) Plastics, the Environment and Human Health: Current Consensus and Future Trends. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, **364**, 2153-2166. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0053>
- [8] 张治国. 水环境中微塑料的污染及防治措施[J]. 塑料助剂, 2021(1): 18-23.
- [9] Grøsvik, B.E., Granberg, M.E., Kögel, T., Lusher, A.L., Gomiero, A., Halldorsson, H.P., *et al.* (2023) Microplastics in Arctic Invertebrates: Status on Occurrence and Recommendations for Future Monitoring. *Arctic Science*, **9**, 165-175. <https://doi.org/10.1139/as-2022-0004>
- [10] Cunningham, E.M., Rico Seijo, N., Altieri, K.E., Audh, R.R., Burger, J.M., Bornman, T.G., *et al.* (2022) The Transport and Fate of Microplastic Fibres in the Antarctic: The Role of Multiple Global Processes. *Frontiers in Marine Science*, **9**, Article ID: 1056081. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.1056081>
- [11] Brennecke, D., Duarte, B., Paiva, F., Caçador, I. and Canning-Clode, J. (2016) Microplastics as Vector for Heavy Metal Contamination from the Marine Environment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **178**, 189-195. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2015.12.003>
- [12] Kiessling, T., Gutow, L. and Thiel, M. (2015) Marine Litter as Habitat and Dispersal Vector. In: Bergmann, M., Gutow, L. and Klages, M., Eds., *Marine Anthropogenic Litter*, Springer International Publishing, 141-181. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_6
- [13] 何蕾, 黄芳娟, 殷克东. 海洋微塑料作为生物载体的生态效应[J]. 热带海洋学报, 2018, 37(4): 1-8.
- [14] Sussarellu, R., Suquet, M., Thomas, Y., Lambert, C., Fabioux, C., Pernet, M.E.J., *et al.* (2016) Oyster Reproduction Is Affected by Exposure to Polystyrene Microplastics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **113**, 2430-2435. <https://doi.org/10.1073/pnas.1519019113>
- [15] 吕瑞. 海洋微塑料污染防治的法律机制构建[J]. 塑料工业, 2025, 53(10): 166-167.