

Distribution characteristics and source tracing of microplastic pollution in offshore sediments

Lili Liu

Zhuanglang Branch of Pingliang Municipal Bureau of Ecology and Environment, Pingliang, Gansu, 744000, China

Abstract

As emerging pollutants, microplastics have become prevalent in marine sediments worldwide due to their small size, resistance to degradation, and strong migration capabilities. Coastal areas, with their high human activity levels, have become critical zones for microplastic accumulation. These microplastics not only disrupt benthic ecosystems and impair marine organisms' feeding and metabolic processes, but may also affect human health through the food chain. This study systematically analyzes the distribution patterns of microplastics across different sea areas and sediment layers, tracing pollution sources based on physical morphology, polymer types, and spatial characteristics. By establishing monitoring systems, strengthening source control measures, and promoting public engagement, practical governance strategies are proposed to provide theoretical foundations and technical support for coastal ecological conservation and microplastic pollution prevention.

Keywords

microplastics; offshore sediments; spatial distribution; pollution source tracing; management strategies

微塑料污染在近海沉积物中的分布特征及溯源分析

刘丽丽

平凉市生态环境局庄浪分局, 中国 · 甘肃 平凉 744000

摘要

微塑料作为新兴污染物, 因其粒径微小、难以降解、迁移能力强等特点, 已在全球范围内广泛存在于海洋沉积物中。近海区域由于人类活动频繁, 成为微塑料汇集的重要区域。沉积物中的微塑料不仅破坏底栖生态系统, 干扰海洋生物摄食与代谢, 还可能通过食物链影响人类健康。本文围绕微塑料在近海沉积物中的污染现状, 系统分析其在不同海域、不同沉积层中的分布情况, 并依据物理形态、聚合物类型与空间特征对污染来源进行追溯。通过构建监测体系、强化源头管控与推动公众参与, 提出切实可行的治理路径, 以期在近海生态环境保护与微塑料污染防控提供理论依据与技术支持。

关键词

微塑料; 近海沉积物; 空间分布; 污染溯源; 治理对策

1 引言

近年来, 随着塑料制品使用量的激增, 大量塑料垃圾通过河流、雨水径流与直接排放进入海洋, 逐渐碎化形成粒径小于 5 毫米的微塑料。由于其质量轻、漂浮性强、化学性质稳定, 微塑料广泛沉积于海洋表层与底层沉积物中, 尤其在近海区域表现出显著积聚特征。沉积环境中的微塑料作为多种有害物质的载体, 能吸附重金属、有机污染物等并长时间滞留, 进而引发生物毒性效应。与水体相比, 沉积物中的微塑料污染具有隐蔽性强、累积性高的特点, 其分布状况与来源构成日益引发研究关注。厘清其分布格局与溯源路径, 对于科学制定污染防控策略、提升近海生态系统韧性具有重要现实意义。

【作者简介】刘丽丽 (1990–), 女, 中国甘肃平凉人, 本科, 助理工程师, 从事生态环境监测研究。

2 微塑料污染在近海沉积物中的危害性

2.1 破坏沉积环境中底栖生物的生存基础

微塑料长期滞留于海洋沉积物中, 直接改变了底质结构与孔隙环境, 影响底栖动物的栖息与觅食条件。颗粒在沉积过程中易与细砂、黏土结合, 形成混合基质, 造成沉积物通透性下降, 限制水体与氧气的交换效率。氧化还原条件改变后, 底层区域可能形成厌氧环境, 进而抑制有氧微生物的活动, 打破原有生态微循环, 将引起整个营养级系统的不平衡, 影响海洋沉积区的生态恢复与物质循环能力, 最终削弱沉积环境的生态服务功能。

2.2 促进有毒污染物在沉积层中的富集累积

微塑料表面具有较大的比表面积与良好的吸附能力, 易与沉积物中的多环芳烃、重金属、持久性有机污染物等结合, 形成稳定复合体。这种结合不仅增强了有毒污染物的富集能力, 还延长了其在沉积层中的滞留时间, 使污染风险具

有长期性和滞后性。在还原性沉积环境中，重金属易被释放与再沉积形成循环积累过程，微塑料的存在放大了这一污染机制^[1]。此外，微塑料在沉积层中不断老化、裂解，暴露出更多活性表面，持续吸附周边污染物，导致污染水平不断升高。这些复合污染物难以通过自然沉降过程被稀释或分解，增加了生态环境修复的难度。

2.3 通过食物链影响海洋渔业资源与人类健康

沉积物中的微塑料通过底栖动物的摄食行为进入海洋食物网，沿不同营养级逐步传递，最终可能到达人类摄食层级。底栖无脊椎动物如多毛类、贝类等常被经济性鱼类摄食，而这些鱼类又是人类常见的水产品来源。微塑料在生物体内可引起组织损伤、炎症反应与免疫抑制，同时也可能释放添加剂和吸附的污染物，增加内源性毒性风险。摄入微塑料的鱼类、贝类可能在肌肉、肝脏等组织中累积化学污染物，影响其食用品质与营养安全。长期摄入微量污染物有可能对人体造成慢性健康影响，包括内分泌干扰、生殖毒性与神经系统损害。

3 微塑料污染在近海沉积物中的分布分析

3.1 河口区沉积物中微塑料的空间分布状况

河口区作为陆地与海洋的交汇区域，承担着大量微塑料的输入与沉积作用，是近海微塑料分布最密集的区域之一。大量生活污水、工业废水和城市径流通过河流进入河口水域，携带不同来源和类型的微塑料颗粒，最终沉积于河口滩涂与海底沉积物中。受潮汐动力与水流扰动的共同影响，微塑料在河口沉积物中的分布呈现一定的沿岸带状结构，靠近入海口区域的浓度通常明显高于外侧区域。微塑料在河口沉积物中的富集程度还与排放口数量、水流流速与河床结构密切相关。在泥沙淤积较重的区域，微塑料更易被裹挟并随沉积物共同下沉，形成相对稳定的积聚区^[2]。

3.2 近岸带沉积物中微塑料的数量及类型分布

近岸带受人类活动强度影响显著，是海洋塑料废弃物汇聚的重要区域，沉积物中微塑料的数量相对较高。旅游活动、港口运输、渔业作业等为该地区提供了持续的塑料来源，使得不同形态与材质的微塑料广泛沉积于海底。常见的微塑料形态包括碎片、纤维、球状颗粒等，聚丙烯、聚乙烯和聚酯类材料占据主导地位。不同形态微塑料的沉积行为受密度与水动力条件制约，在沙质滩涂与岩质岸线间表现出明显分布差异。纤维类塑料因轻质与柔韧性常见于水动力强烈的潮间带区域，而密度较大的碎片类颗粒更易沉积于近岸底层区域。微塑料的垂向分布亦存在差异，部分区域表层富集明显，而某些低洼带则存在累积效应。

3.3 离岸区沉积物中微塑料的深度分布规律

离岸区域相对远离直接排放源，微塑料的沉积过程主要依赖海洋表层运输与水体垂向迁移，形成特定的深度分布结构。受水动力减弱与沉降速度限制，部分微塑料可通过颗

粒附着或生物团聚作用沉入深层海底沉积物中。在表层 10 厘米以内区域，微塑料浓度相对较高，多由近期输入与再悬浮作用造成；而在更深层段，其浓度趋于平稳，反映出早期沉积与长期累积的结果。不同水深带沉积物中微塑料类型存在一定差异，深层区域多以高密度聚合物为主，浅层则常含有多种轻质材料。沉积速率、底流强度与颗粒组合特性是影响深度分布的关键因子。在离岸区域的沉积核心样中，常可识别出不同时间段微塑料输入的历史记录，为评估长周期污染过程提供依据。

4 微塑料污染在近海沉积物中的溯源分析

4.1 生活垃圾与污水排放引入的微塑料来源

城市生活垃圾与污水处理系统是微塑料进入近海沉积物的核心路径之一。洗涤衣物过程中释放的合成纤维平均每次可达 1900 根，一座中型城市每年排入海洋的此类纤维量可超过 30 亿根。污水处理厂对微塑料的去除率受处理工艺影响较大，常规二级处理无法完全截留粒径小于 1 毫米的微粒，部分聚乙烯和聚丙烯类颗粒进入尾水后排入海域。居民使用含塑料微珠的个人护理品也为污染源之一，每克产品中微珠数量可达 330 个^[3]。雨水溢流在强降雨季节将道路灰尘与垃圾中残留塑料颗粒一并带入排水系统，从而进入入海口区域。调查发现某典型河口年均接纳城市生活微塑料输入量达 820 吨，其中 65% 以上沉积于河口滩涂与近岸底层。源自生活领域的微塑料具有分布面广、粒径小、种类繁多等特征，在近海沉积物中大量富集，形成长期污染沉积带。

4.2 渔业养殖与航运活动造成的微塑料排放

渔业与航运在海上活动中产生大量塑料废弃物，成为沉积物中微塑料的重要直接来源。聚乙烯绳网、泡沫浮标、尼龙渔具破损后释放大量碎片与纤维，其中一张标准规格的渔网在 1 年内可降解出 3 万段微纤维。海上养殖区每年平均使用塑料设施超过 700 吨，设施更新或老化过程中直接剥落进入海底沉积环境。船舶在港操作与航行期间产生塑料包材、油桶残片等漂浮物，在波浪与紫外作用下破裂进入沉积物。航线密集的近海水域每平方公里年均沉积塑料颗粒可达 16.5 公斤，其中约 42% 为渔业来源。港口装卸与船只维护产生的微粒沉积于码头和锚地附近，形成分布集中的污染带。作业频率高、设备更新快的区域更易出现微塑料富集。渔业和航运活动的区域特征明确，污染物以碎片和纤维为主，聚酯、尼龙和聚丙烯类塑料在样品分析中占比超过 80%，在近海沉积物中形成典型的人为输入印记。

4.3 大气沉降与陆源径流携带的微塑料输入

大气颗粒物与陆地径流在微塑料迁移中起到长距离运输和多点扩散的作用，增强了污染物的空间扩展能力。塑料加工厂与道路扬尘排放中微粒通过气流迁移，每日可向近海区域沉降超过 600 万个颗粒。塑料焚烧、工业磨损等过程释放的微粒在空气中停留时间长、粒径小，能够沉降于水面并

最终进入沉积层。研究表明,沿海城市大气干沉降中的微塑料浓度可达每平方米2.3万个颗粒,湿沉降则在暴雨过程中显著上升。陆源径流汇集农田薄膜残留、建筑废料与垃圾填埋区渗出物,微塑料随雨水进入排洪系统后最终抵达近海区域。样品数据显示暴雨后微塑料通量可达平时的4.6倍,聚乙烯薄膜类在其中占比超过60%。高密度区域在强降水季节沉积速率显著上升,促使浅层沉积物富集程度加剧^[4]。

5 海沉积物中微塑料污染的治理策略

5.1 构建近海沉积物微塑料污染常态化监测体系

近海沉积物中微塑料污染具有隐蔽性强、迁移路径复杂的特点,建立系统化、标准化的监测体系是实现有效治理的基础。监测方案应覆盖典型河口、近岸带与离岸区,采样点布局应考虑水动力边界、排放通道和海床类型的异质性。监测指标需包括微塑料浓度、聚合物类型、粒径分布与形态结构,并结合沉积物理化性质进行综合分析。应采用红外光谱、热解气相色谱质谱联用等高通量识别技术,实现对微粒的准确分类与定量。建议建立月度或季度滚动监测制度,动态记录沉积物污染变化趋势。数据应纳入区域海洋环境信息平台,形成微塑料污染数据库,为污染源识别与风险评估提供数据支撑。通过构建监测与预警联动机制,可及时响应突发性输入事件,实现污染响应的快速处置与评估修正,为治理策略优化与管控方案制定提供依据。

5.2 加强排放源管理与海洋塑料废弃物回收制度

微塑料污染控制需从源头削减进入海洋环境的塑料废弃物量,强化重点行业和区域的排放源管理是关键路径。在城市污水处理方面应加装微滤装置,提高对直径小于1毫米微粒的截留能力,推动新建污水厂采用三级或高级处理技术。渔业养殖需推广可降解材料或重复使用设备,建立网具回收登记制度,防止渔网破损后直接丢弃入海。港口与航运企业应规范船舶塑料垃圾分类与回收流程,配置专用接收设施,避免操作中丢失塑料包装与碎屑。针对塑料制品制造企业,需加强排污许可管理,严控微粒排放指标。沿海地区可构建海漂垃圾拦截与回收系统,结合风向和流速布设网栅和浮筒,拦截尚未沉积的塑料废弃物,降低其沉降进入海底的

概率。通过政府引导、企业主体和公众参与三方联动,形成闭环管理模式,逐步构建源头管控与终端治理协同并进的制度框架。

5.3 推动立法监管与公众行为引导的联动机制

实现对微塑料污染的长效治理,需要将科学研究成果转化为法律制度约束,推动管理机制与公众行为的有机协同。应在国家与地方层面设立专门的微塑料管控条款,对排放标准、责任主体与环境监测进行细化规定,明确执法机构的监管权限与责任边界。推动涉海行业特别是渔业、航运、旅游等领域纳入塑料减排责任清单,建立信用评级与动态通报制度,对违法排放行为实施惩戒性约束。在立法基础上,应加强科普教育与行为引导,通过学校教育、社区宣传与媒体传播提升公众对微塑料污染的认知水平,培育塑料消费的环保理念。推动无微珠产品标签制度,引导消费者选择低污染产品,减少污染物从消费端流入环境的可能。构建以法规制度为核心、科技支撑为保障、公众参与为基础的复合治理体系,是实现微塑料污染沉积控制的关键路径。

6 结语

微塑料在近海沉积物中的广泛存在及其带来的生态与健康风险,已成为当前海洋环境保护领域的重要议题。通过对其危害性、分布特征与来源路径的系统分析,可为污染防治提供明确的技术方向与治理重点。解决微塑料沉积问题,必须从源头削减排放、中间阻断迁移、终端强化清除入手,构建全流程、多维度的综合治理体系。未来应进一步加强监测网络建设与法治机制完善,推动科研成果向政策应用转化,实现对沉积性微塑料污染的科学应对与持续管控。

参考文献

- [1] 刘姝蓓.基于新污染物微塑料检测探索仪器分析中色谱光谱融合教学方法[J].色谱,2025,43(08):978-983.
- [2] 丁贺宁,惠彩,龙於洋,沈东升.不同环境塑料际病原菌的赋存与传播研究进展[J].中国环境科学,2025,45(07):3978-3993.
- [3] 姜婷婷,黄琳,栗有志,刘俊,李海涛,赵品瑶.水产品中微塑料的污染现状及检测方法研究进展[J].色谱,2025,43(08):881-893.
- [4] 倪宇航,赵丹,陈思思,易世蓉,王琳琳.环境水体中微塑料的预处理及定量方法研究[J].干旱环境监测,2025,39(02):88-92.