

环境中微塑料污染的研究进展综述

朱志浩^{1,*} 李同庆² 严茜茜¹

1. 重庆三峡学院环境与化学工程学院 重庆 404100

2. 长江水利委员会水文局长江上游水文水资源勘测局 重庆 400025

摘要: 本文对当前微塑料的研究进展进行了综述。文章主要探讨了微塑料在自然环境中的分布情况以及其对环境的影响, 对于科学认识微塑料污染问题具有重要的意义。此外, 还总结了微塑料的检测方法, 并对微塑料污染的管理和治理策略进行了讨论。最后, 本文提出了未来微塑料研究的发展方向, 深入探究了目前微塑料相关研究的不足, 这对推动相关政策制定和环境保护具有重要作用。

关键词: 微塑料; 污染现状; 检测方法; 毒性影响; 研究建议

引言

塑料制品主要是由原油精炼得到的单体聚合而成的高分子化合物^[1], 自1950年以来, 全球据统计已合成超过83亿吨塑料, 并且继续以每年3亿吨的速度增长^[2, 3]。塑料本身不是污染物, 塑料污染是塑料制品处理不当、塑料废弃物泄露才造成的生态环境污染风险。据统计, 全球生产的塑料中只有9%被回收利用, 有60%的塑料制品被丢弃并最终在环境中积累, 进入环境中的塑料通常会受到物理、化学等作用, 最终会裂解成小粒径的塑料颗粒, Thompson等人在21世纪初首次提出了微塑料的概念, 而美国海洋和大气管理局(NOAA)在2008年首次将直径在5毫米以下的塑料颗粒定义为“微塑料”^[4, 5]。

微塑料污染是近年来环境科学领域关注的重要问题。微塑料, 作为塑料污染的一种新形式, 因其微小的尺寸和广泛的分布, 对环境和生态系统产生了深远影响。微塑料不仅存在于海洋环境中, 也广泛分布在土壤、河流、湖泊等陆地水体中, 甚至影响到食物链的各个层次^[6]。

本综述将全面梳理微塑料污染的研究进展, 包括其来源、分布特征、生态效应以及检测方法等方面。同时, 我们也将探讨微塑料污染的风险评估和防治策略, 以期未来的研究和实践提供参考。

基金项目: ①重庆三峡学院研究生科研创新项目(YJSKY23016), 名称: 龙溪河流域梁平段沉积物中微塑料污染特征及其对重金属赋存形态的影响研究。②重庆三峡学院研究生科研创新项目(YJSKY23014), 名称: 基于SWAT模型的龙溪河流域(梁平段)非点源污染特征及最佳管理措施研究。

一、环境中微塑料污染现状

微塑料污染的研究可以追溯到20世纪70年代。早期的研究主要关注塑料在海洋环境中的存在和影响, 特别是关于大型塑料垃圾对海洋生物的危害。随着科技的进步和研究方法的不断完善, 人们开始关注更小尺寸的微塑料颗粒, 这些微塑料颗粒更容易被生物摄入并在生态系统中传播。随着对微塑料污染的关注不断增加, 科学家们开始开展更深入的研究, 涵盖了微塑料的来源、去向、生物富集、对生态系统和人类健康的影响等方面。目前, 微塑料污染已成为一个全球性的环境问题, 并得到了各界的广泛关注和研究。

通过文献检索可以发现, 关于微塑料污染的研究逐年递增, 其中, 涉及到大气, 水体, 土壤, 沉积物等各个环境中的微塑料污染调查, 而环境中的微塑料数量也在不断增长并刷新记录, 其中, 微塑料的污染范围也在不断的扩大, 近年来, 继太平洋最深处的马里亚纳海沟之后, 有学者在珠穆朗玛峰上发现了微塑料的踪迹^[7], 研究人员推测这些微塑料大概率是有较大塑料破裂形成。另外荷兰学者首次在人体血液发现了微塑料的存在^[8], 这些微塑料可能通过空气、水或食物等多种途径进入人体, 也可能通过特定的牙膏、唇膏和纹身墨水等进入人体。随着时间的发展, 关于微塑料的研究方向也有改变, 学者们开始关注微塑料本身, 研究微塑料的特性, 探究微塑料是如何影响生态环境^[9, 10]。

微塑料因其粒径小、比表面积大和迁移能力强等特点, 进入环境后会对自然生态造成严重的影响。当微塑料进入水体中, 小型水生生物可能会将微塑料误食, 导致消化道堵塞、营养摄取不足、生长发育异常甚至死亡。

微塑料还可能对水生生物的行为、生长、繁殖和免疫系统产生不利影响。微塑料也会进入土壤中，对土壤生物和微生物造成影响。微塑料的存在可能扰乱土壤中的生态系统，影响土壤微生物的群落结构和功能，降低土壤的肥力和生物多样性^[11]。微塑料可能对生态系统的平衡产生影响，例如改变食物链结构，影响食物网的稳定性^[12]。一些研究表明，微塑料的存在可能会导致食物链中的生物富集，从而影响整个生态系统的稳定性。微塑料还可能成为其他有害物质的载体，例如吸附有机污染物和重金属等，进而传递到食物链的更高层次，对生物体产生更大的危害。微塑料也存在于大气中，可能通过空气中的沉降或降雨而沉积到地表，对陆地生态系统产生影响。

二、环境中微塑料污染的来源分析

环境中微塑料的来源广泛，例如塑料制品在环境中经过长时间的暴露和自然降解，会逐渐分解成微小的颗粒，形成微塑料。例如，塑料袋、塑料瓶、塑料包装等在阳光、氧气和机械作用下会逐渐破裂成微小的碎片。洗涤衣物时，合成纤维（如聚酯纤维）会在洗涤过程中脱落一些微小的纤维，这些纤维最终通过洗衣机的排水管进入水体，成为水体中微塑料的重要来源。塑料颗粒在生产和运输过程中可能会发生溢散和泄漏，进而进入环境^[13, 14]。塑料颗粒广泛应用于塑料制品的生产，如塑料袋、塑料容器等，它们的流失和散落会导致微塑料的释放。塑料垃圾的不当处理也是微塑料污染的重要来源之一。例如，垃圾填埋场中的塑料垃圾可能会分解和颗粒化，进而进入土壤和水体。此外，不合理的废物处理和回收过程也可能导致微塑料的释放。污水处理厂在处理废水时，可能无法完全去除其中的微塑料颗粒。这些微塑料颗粒最终会随着处理厂的排放进入水体，导致水体中微塑料的污染。

三、微塑料的检测方法

微塑料的检测是环境科学研究中的重要课题之一。目前，已经发展出多种方法用于微塑料的检测和分析。例如通过显微镜观察样品中的微小颗粒，可以判断其是否为塑料微粒。然而，这种方法需要耗费大量时间和人力，并且对于微小的微塑料颗粒可能存在识别困难。FTIR 技术可以通过检测样品中的红外光谱来鉴定塑料微粒。不同类型的塑料具有特定的红外光谱特征，可以通过与已知的塑料光谱库进行比对来确定微塑料的类型^[15]。这种方法可以快速、准确地鉴定微塑料，但对于微小颗粒的检测灵敏度相对较低。拉曼光谱通过测量样品中的

拉曼散射光谱来识别塑料微粒。不同类型的塑料具有特定的拉曼光谱特征，可以通过与已知的塑料光谱库进行比对来确定微塑料的类型^[16]。与 FTIR 相比，拉曼光谱具有更高的灵敏度和分辨率，可以检测到更小尺寸的微塑料颗粒。荧光显微镜是一种利用荧光染料来标记和检测微塑料的方法。荧光染料可以与塑料微粒发生特异性的结合，使其在显微镜下呈现出明亮的荧光信号。这种方法可以实现对微塑料的快速、直观的检测，但需要使用特定的荧光染料^[17]。流式细胞仪是一种利用细胞流式技术来检测和计数微塑料颗粒的方法。微塑料颗粒可以通过流式细胞仪中的激光散射和荧光信号进行检测和分析。这种方法具有高通量、高灵敏度和自动化的优势，适用于大规模样品的快速检测^[18]。

四、微塑料污染的管理与治理

为了有效防治环境中微塑料的污染，需要加强对微塑料来源的管控和治理，推动微塑料污染的监测技术和方法的发展，加强科学研究，制定相关政策和标准，促进公众环境保护意识的提高。其中减少塑料制品的使用量是微塑料污染治理的关键。政府可以通过立法、政策和标准来推动减量化措施，例如限制一次性塑料制品的生产和使用、鼓励可降解塑料的研发和推广、提倡绿色包装和购物袋等。加强垃圾分类、回收和处理工作，防止塑料垃圾进入环境。提倡并加强塑料回收利用，减少塑料垃圾的填埋和焚烧，降低塑料进入环境的可能性^[19]。加强污水处理厂对微塑料的去除能力，采用更先进的污水处理技术，包括物理、化学和生物处理方法，以减少污水中微塑料的排放^[20]。建立微塑料的监测体系，对水体、土壤、大气等环境介质中的微塑料进行监测和评估，了解微塑料的分布和来源，为制定治理方案提供科学依据^[21]。通过宣传教育和公众参与活动，提高公众对微塑料污染问题的认识，倡导绿色消费和生活方式，引导公众积极参与微塑料污染治理。加强国际合作，共同应对跨境微塑料污染问题，推动国际标准的制定和执行，促进全球微塑料治理工作的开展。然而，微塑料污染的治理是一个长期而复杂的过程，需要政府、企业、科研机构和公众共同努力，综合运用政策法规、科技手段、社会参与等多种手段，才能有效解决微塑料污染问题。

五、结论与展望

在对微塑料污染的研究中，我们了解到微塑料已经广泛地分布在土壤、海洋、河流和湖泊等环境中，并可能通过食物链等方式影响生态系统和人类健康。同时，我们也注意到了微塑料污染分析方法的研究进展，这为

我们对微塑料污染进行准确评估提供了重要工具。然而,关于微塑料的来源、迁移转化机制以及生态效应等方面的研究仍存在许多未知之处,需要我们进一步探索。

此外,虽然我们已经取得了一些关于微塑料污染控制对策的研究进展,但目前的措施仍然有限,且难以完全消除微塑料污染。因此,我们需要寻找更有效的方法来减少微塑料的产生和排放,同时也要提高我们对微塑料污染的监测和管理能力。

参考文献

- [1] LI Y, LU Q, YANG J, et al. The fate of microplastic pollution in the Changjiang River estuary: A review [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2023, 425.
- [2] GEYER R, JAMBECK J R, LAW K L. Production, use, and fate of all plastics ever made [J]. *Science Advances*, 2017, 3(7).
- [3] WANG W, THEMELIS N J, SUN K, et al. Current influence of China's ban on plastic waste imports [J]. *Waste Disposal & Sustainable Energy*, 2019, 1(1): 67–78.
- [4] CHEN Q, SHI G, REVELL L E, et al. Long-range atmospheric transport of microplastics across the southern hemisphere [J]. *Nature Communications*, 2023, 14(1).
- [5] THOMPSON R C, OLSEN Y, MITCHELL R P, et al. Lost at sea: Where is all the plastic? [J]. *Science*, 2004, 304(5672): 838–.
- [6] VAN DEN BERG P, HUERTA-LWANGA E, CORRADINI F, et al. Sewage sludge application as a vehicle for microplastics in eastern Spanish agricultural soils [J]. *Environmental Pollution*, 2020, 261.
- [7] NAPPER I E, DAVIES B F R, CLIFFORD H, et al. Reaching New Heights in Plastic Pollution—Preliminary Findings of Microplastics on Mount Everest [J]. *One Earth*, 2020, 3(5): 621–30.
- [8] LESLIE H A, VAN VELZEN M J M, BRANDSMA S H, et al. Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood [J]. *Environment International*, 2022, 163.
- [9] 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): 138–52.
- [10] 徐甜甜, 陈海波, 谢东丽, et al. 微塑料的化学老化过程及吸附有机污染物的研究进展 [J]. *环境化学*: 1–12.
- [11] QIN Y, LI F, XIAO J, et al. Effects of farmland microplastic on rice straw decomposition and microbial activity [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2022, 35(4): 748–56.
- [12] WU F, ZENG J, XU X, et al. Status of marine microplastic pollution and its ecotoxicological effects on marine fish [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2019, 41(2): 85–98.
- [13] HORTON A A, SVENDSEN C, WILLIAMS R J, et al. Large microplastic particles in sediments of tributaries of the River Thames, UK – Abundance, sources and methods for effective quantification [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2017, 114(1): 218–26.
- [14] AKDOGAN Z, GUVEN B. Microplastics in the environment: A critical review of current understanding and identification of future research needs [J]. *Environmental Pollution*, 2019, 254.
- [15] 万青云, 黄燕平, 秦嘉, et al. 环境中微塑料检测分析方法研究进展 [J]. *环境监测管理与技术*, 2024, 36 (02): 1–6.
- [16] 崔胜东, 李永增, 彭伟金, et al. 饮用水中的微塑料及其拉曼光谱检测技术研究进展 [J]. *激光生物学报*, 2024, 33 (01): 14–23.
- [17] 章勇. 水环境微塑料分析方法研究进展 [J]. *安徽农学通报*, 2024, 30 (05): 62–5.
- [18] 陈琢玉, 文昌淑, 李燕灵, et al. 土壤环境中微塑料的研究进展和展望 [J]. *环境保护与循环经济*, 2024, 44 (02): 52–7.
- [19] 王晓雄, 刘心悦. 空气中微塑料的危害与治理 [J]. *生态经济*, 2023, 39 (12): 5–8.
- [20] 游洋洋, 张涛, 梁增强, et al. 我国农田土壤中微塑料污染研究进展与环境管理现状 [J]. *环境生态学*, 2024, 6 (02): 101–6.
- [21] NAQASH N, MANZOOR S, SINGH R. Microplastic hazard, management, remediation, and control strategies: a review [J]. *International Journal of Environmental Technology and Management*, 2023, 26(3–5): 153–72.