

稀缺性、生态价值等因素,扩大有偿使用范围,实行市场化定价并建立动态调整机制,反映资源真实价值。要保障流转主体权益,明确主体资格,重点保障农民在集体资源流转中的知情权与收益权,完善收益分配机制,兼顾各方利益并强化风险防控。要落实抵押担保功能,完善相关规定,鼓励金融产品创新,健全抵押登记制度,拓宽融资渠道,助力资源开发与生态保护。

3.4 完善监管体系,强化生态保护刚性约束

完善的监管体系是改革落地和生态保护的重要保障,需构建“事前预防、事中监管、事后追责”全流程体系,提升监管效能。事前强化预防,严守“三条控制线”,落实用途管制和项目准入制度,加强动态监测提供数据支撑。事中提升精准度,推进“天空地人”一体化监管,运用数字化技术实现全流程监管,规范市场行为并建立动态台账。事后严格追责,完善法律责任追究和损害赔偿制度,实行终身追责,强化法律震慑。同时健全社会监督机制,畅通公众参与渠道,强化宣传教育和舆论监督,营造全民保护氛围

3.5 健全生态产品价值实现机制,打通“两山”转化通道

健全生态产品价值实现机制,是推动自然资源资产产权制度改革的重要目标,也是实现“绿水青山转化为金山银山”的关键路径,必须完善生态产品价值核算、生态补偿、市场化交易等机制,推动生态产品价值最大化。一是完善价值核算体系,建立统一标准与方法,明确核算范围和指标,开展自然资源资产负债表编制,推动核算结果纳入绩效考核、生态补偿等工作,量化生态价值。二是健全生态补偿机制,扩大补偿范围、提高补偿标准,完善多元补偿方式,建立跨区域补偿机制,鼓励社会参与,平衡生态保护与受益地区利益。三是完善市场化交易机制,拓展碳排放权、林权等交易品种,探索特许经营等新模式,强化绿色金融支持,推动生态产品价值变现^[5]。四是推动产业绿色转型,发展生态农业、生态旅游等绿色产业,推广绿色技术,完善扶持政策,实现生态与经济协同发展。

4 中国自然资源资产产权制度改革的保障措施

4.1 强化政策支撑,优化改革政策环境

要强化改革保障,推动举措落地见效。一是完善配套政策体系,围绕确权、流转等改革重点,制定实施细则、管理办法等配套政策,形成“主政策+配套政策”格局,加强政策协同避免冲突。二是加大财政投入,重点支持确权登记、生态修复等工作,建立多元化资金投入机制,鼓励社会

资本参与,优化资金使用效率并强化监管。三是深化试点示范,扩大试点范围、丰富试点内容,总结可复制经验并全国推广,鼓励各地结合实际因地制宜开展改革创新。

4.2 提升技术支撑,加强人才保障

提升技术支撑,强化科技赋能,需推进数字化智能化应用,构建全国统一自然资源大数据平台,整合各类数据实现共享,推广卫星遥感等技术,打造“天空地人”一体化监管体系,同时推进相关技术研发与标准完善。加大科技创新投入,支持关键技术研发,突破确权登记、生态修复等瓶颈,推动成果转化,加强国际技术交流合作。构建统一技术标准体系,完善各类技术规范,加强标准推广和人员培训,推动技术与管理深度融合。

加强人才保障,打造高素质队伍,要完善培养机制,推动校企合作,培育兼具多领域知识的复合型人才,加强现有人员培训提升专业能力。健全人才引进政策,重点引进高端人才,完善激励机制,通过绩效考核等留住人才。优化人才结构,充实基层力量,推动跨区域跨部门人才交流,加强职业道德教育,打造政治过硬、业务精湛、作风优良的人才队伍,为自然资源资产产权管理提供坚实支撑。

5 结语

自然资源资产产权制度改革是生态文明体制改革核心内容和关键举措,虽已取得集中统一管理、确权登记推进等阶段性成效,但仍存在产权界定模糊等突出问题,根源在于制度、技术、利益、人才等多因素制约,需坚持系统思维,构建“确权-权责-流转-监管-价值实现”全链条改革路径和“法律-政策-技术-人才”四位一体保障体系。研究展望指出,未来应深化全民所有自然资源资产所有权委托代理机制、推进产权管理数字化转型、完善生态产品价值实现机制、加强国际交流合作。

参考文献

- [1] 谭荣,沈镭,邱少俊,等.新时期自然资源资产产权制度改革的实践进展与理论意义[J].自然资源学报,2024,39(11):2525-2540.
- [2] 张军,李丽.自然资源资产产权制度改革的理论逻辑与实践路径[J].中国人口·资源与环境,2023,33(5):1-9.
- [3] 李娟,王浩.我国自然资源资产确权登记的实践困境与优化路径[J].资源科学,2022,44(8):1521-1530.
- [4] 卢现祥,李慧.自然资源资产产权制度改革:理论依据、基本特征与制度效应[J].改革,2021,(02):14-28.
- [5] 陈健,刘敏.生态产品价值实现机制与自然资源资产产权改革的协同路径[J].生态学报,2023,43(12):4890-4898.

Research progress on the impacts of microplastics and heavy metals on aquatic organisms

Shan Wang Wenjing Zhang Xinyue Ma Xinyi Zhu

College of Life Sciences, Shenyang Normal University, Shenyang, Liaoning, 110034, China

Abstract

With the surge in global plastic product usage and the acceleration of industrialization, microplastics and heavy metal pollution have emerged as one of the primary environmental issues confronting aquatic ecosystems. These two pollutants are ubiquitous in aquatic environments and exhibit long-term accumulation and biological toxicity, posing a serious threat to the survival and health of aquatic organisms. Microplastics can serve as carriers for heavy metals, forming composite pollutants through adsorption and enrichment, further exacerbating their ecological risks. This paper, through a literature review analysis, reviews the recent research progress on the impacts of microplastics and heavy metals on aquatic organisms and provides an outlook for future related research. Starting from an overview of pollutants, their sources, distribution characteristics, bioaccumulation effects, and toxicity mechanisms, the paper focuses on exploring the synergistic and antagonistic effects of microplastics and heavy metals on the physiology and behavior of aquatic organisms. The aim is to provide a reference for assessing the environmental behavior and ecological risks of composite pollutants of microplastics and heavy metals, and to offer insights for future related research.

Keywords

Microplastics; Heavy metals; Combined pollution; Aquatic organisms; Toxicity research

微塑料与重金属对水生生物的影响研究进展

王珊 张文静 马欣悦 朱心怡

沈阳师范大学生命科学学院, 中国·辽宁 沈阳 110034

摘要

随着全球塑料制品使用量的激增以及工业化进程的加速, 微塑料和重金属污染已成为水生生态系统面临的主要环境问题之一。这两种污染物在水环境中普遍存在, 且具有长期累积性和生物毒性, 对水生生物的生存和健康构成严重威胁。微塑料可作为重金属的载体, 通过吸附、富集作用形成复合污染物, 进一步加剧其生态风险。本文通过文献综述分析方法, 梳理了近年来微塑料和重金属对水生生物影响的研究进展, 并对未来相关研究提出展望。从污染物的概述、来源、分布特征、生物富集效应以及毒性机制等方面入手, 重点探讨了微塑料与重金属的协同、拮抗作用对水生生物生理、行为的影响。旨在为评估微塑料与重金属复合污染物的环境行为以及其生态风险提供一定借鉴, 并为未来相关研究提供一定参考。

关键词

微塑料; 重金属; 复合污染; 水生生物; 毒性研究

1 引言

近年来, 随着塑料制品的大规模使用及工业化进程加快, 微塑料与重金属污染已成为水环境面临的突出问题。微塑料(MPs)一般是指环境中粒径小于5毫米的塑料颗粒, 这类物质自然降解难度大, 能够在环境中长期留存。重金属(如铅、镉、汞等)则因其高毒性、难降解性和生物累积性,

对生态系统和人类健康构成持久威胁。值得注意的是, 微塑料与重金属常在水体中共同存在, 微塑料因其较大的比表面积和疏水性, 可作为重金属的理想载体, 通过吸附作用形成复合污染物, 从而改变重金属的环境归趋和生物有效性, 产生“载体效应”或“木马效应”, 对水生生物可能产生不同于单一污染的毒性效应^[1]。这种复合污染的生态风险日益受到关注。因此, 本文系统梳理了微塑料与重金属的相互作用及其对水生生物的复合毒性研究进展, 以期为准评估其环境风险提供科学依据。

【基金项目】沈阳师范大学大学生创新创业项目(项目编号: S202510166060、S202510166056)。

【作者简介】王珊(2005—), 女, 中国四川内江人, 本科, 从事生态环境研究。

2 微塑料和重金属在水体环境中的相互作用研究进展

2.1 微塑料对重金属的吸附

MPs 因比表面积较大及疏水性强, 能吸附和解吸环境中的污染物, 因此 MPs 容易成为其它污染物的载体, 与各种污染物共存从而改变污染物的特征。研究发现在水体环境中微塑料能够吸附镉、铬、铜、铁、铅、等重金属, 且均具有较强的吸附能力。微塑料上可以负载大量不同种类的重金属, 研究表明 4 种原始塑料颗粒能负载大量的 Pb^{2+} 、 Cu^{2+} 和 Cd^{2+} 。微塑料在水环境中对重金属的吸附行为受微塑料表面特性(如粒径、老化程度、官能团)、重金属种类(如铅、镉、汞)以及环境条件(pH、盐度、有机质)共同影响。微塑料通过表面静电作用、络合或离子交换等机制吸附重金属, 形成复合污染物, 可能增强重金属的生物可利用性。老化后的微塑料因表面氧化和粗糙度增加, 吸附能力往往更强。这种协同效应加剧了重金属的生态风险, 并通过食物链传递威胁生物健康^[2]。

2.2 微塑料对重金属的富集

微塑料对重金属的富集行为主要表现为其表面特性与重金属离子之间的物理化学相互作用。微塑料因具有较大的比表面积和疏水性, 可通过吸附、络合或静电作用捕获水体中的重金属离子(如铅、镉、汞等)。其富集能力受微塑料类型(如聚乙烯、聚苯乙烯)、老化程度、环境 pH、盐度及有机质含量等因素影响。例如, 老化后的微塑料因表面氧化生成含氧官能团, 可增强对重金属的吸附容量。此外, 微塑料与重金属的结合可能形成复合污染物, 通过食物链传递, 加剧生态风险。这种富集行为不仅延长了重金属在环境中的滞留时间, 还可能通过解吸作用在生物体内释放, 威胁生态系统健康。

3 对水生生物毒性研究进展

3.1 微塑料对水生生物的毒性研究进展

微塑料作为全球性新兴污染物, 其对水生生物的毒性效应已成为环境科学领域的重要研究课题。现有研究表明, 微塑料可通过物理损伤和化学毒性双重途径危害水生生物: 一方面, 微塑料颗粒可直接造成消化道堵塞、组织磨损等机械损伤, 其粒径越小危害越大, 纳米级颗粒甚至能穿透细胞膜; 另一方面, 塑料生产中添加的有毒化学物质(如增塑剂、阻燃剂、双酚 A 等)会在环境中持续释放, 引发内分泌干扰、神经毒性和生殖障碍等严重后果^[3]。值得注意的是, 微塑料在环境老化过程中表面特性发生改变, 不仅会释放更多添加剂, 还会增强与其他污染物的结合能力, 从而放大其毒性效应。

微塑料的毒性表现具有明显的尺寸、形状和材质依赖性。不同聚合物类型因其化学组成差异而呈现不同的毒性特征, 其中含有较多添加剂的微塑料通常毒性更强。小粒径微

塑料更容易被生物吸收并进入循环系统, 而纤维状微塑料则可能造成特殊的物理损伤。最新研究发现, 微塑料还能与生物体内的蛋白质、DNA 等大分子发生相互作用, 可能干扰基因表达和代谢过程。未来研究需要重点关注微塑料长期低剂量暴露的累积效应、与其他污染物的协同作用, 以及在不同环境条件下的毒性转化规律, 为水生态风险评估提供更全面的科学依据。

3.2 重金属对水生生物的毒性研究进展

重金属污染已成为威胁我国水生态系统健康的重要环境问题。随着工业化与城市化发展, 大量重金属经矿山开采、工业废水和农业径流进入水体, 其中铅(Pb)因持久性、高毒性和生物累积性成为典型污染物。研究表明, Pb 对水生生物的毒性首先体现在初级生产者微藻上, 会阻碍细胞分裂、减少叶绿素合成、降低光合效率并引发细胞形态畸变^[4], 既抑制微藻种群增长, 又通过食物链破坏生态系统能量流动。在高等水生生物中, Pb 具有组织特异性积累特征, 如石斑鱼幼鱼暴露实验中, 代谢活跃的肝脏、排泄器官肾脏及呼吸器官鳃均明显富集 Pb, 且积累呈剂量依赖性。

Pb 的毒性机制涉及多生理层次干扰: 细胞层面, 它与巯基等活性基团结合, 破坏酶系统, 诱发氧化应激, 导致脂质过氧化和 DNA 损伤^[5]; 器官层面, 引发鱼类肝代谢紊乱、肾排泄障碍及鳃呼吸受阻。最新研究发现, 低浓度 Pb 长期暴露还会导致水生生物行为异常、免疫下降和生殖障碍等亚致死效应。值得注意的是, 重金属常与微塑料、有机污染物等其他压力因子共存, 可能产生协同毒性。未来需重点研究重金属在食物网中的传递规律、长期低剂量暴露的生态风险, 以及开发高效生物修复技术, 为水环境保护提供科学依据。

3.3 微塑料-重金属复合污染对水生生物的影响

微塑料可以和重金属共存于各种水生生物中, 并产生毒性效应, 表现在生长繁殖、炎症、酶活性等方面。微塑料不仅作为载体促进重金属(如 Cd、Pb 等)在肠道、肝脏等组织中的富集, 还会与其产生联合毒性作用, 导致更强烈的氧化损伤、炎症反应和组织病理变化。复合暴露会显著破坏肠道微生物群落结构和多样性, 损害肠道屏障功能, 同时干扰肝脏代谢和解毒相关基因的表达。研究表明, 这种复合污染的毒性效应并非简单的相加作用, 而是通过微塑料对重金属生物有效性的调控产生协同放大效应, 最终对水生生物的生理功能、免疫防御和代谢稳态造成多重危害。微塑料与重金属复合污染并非总是协同增强毒性, 某些情况下会呈现拮抗效应。这些发现表明复合污染的作用机制具有复杂性, 需结合具体污染物类型和作用途径来分析。

3.3.1 鱼类

化学性损伤是微塑料危害鱼类的主要方式。近年来, 许多研究都证实了重金属吸附会显著增强微塑料对鱼类损伤作用。