

水环境中微塑料的污染现状、生态风险和未来展望

王睿

北京建筑大学环能与能源工程学院, 北京
Email: wangr654@163.com

收稿日期: 2021年7月17日; 录用日期: 2021年8月18日; 发布日期: 2021年8月25日

摘要

作为新兴污染物之一, 近年来微塑料(MPs)引起的环境问题受到了广泛关注。水体作为这类污染物的主要汇集地, 已成为热点研究对象。然而, 目前关于环境中微塑料的研究主要集中在采集和检测技术方面, 缺少对微塑料存在情况和环境行为的系统性研究报道, 且对水体环境中微塑料污染的治理工作尚未大规模开展。本文利用已有环境介质中微塑料的报道信息, 分别介绍了流域水体、饮用水和污水处理厂中微塑料的污染现状, 并归纳总结了微塑料的生态风险。此外, 还进一步分析了当前研究中存在的几个问题和微塑料污染的发展趋势, 提出今后应加强对环境中微塑料降解的研究。

关键词

微塑料, 污染现状, 生态风险, 水环境

Microplastics in Water: Pollution Status, Ecological Risks and Future Prospects

Rui Wang

School of Environment and Energy Engineering, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing
Email: wangr654@163.com

Received: Jul. 17th, 2021; accepted: Aug. 18th, 2021; published: Aug. 25th, 2021

Abstract

As one of the emerging pollutants, environmental problems caused by microplastics (MPs) have attracted great attention in recent years. Water body, as the gathering place of these pollutants, has

become a hot research object. However, the current studies on MPs in the environment are mainly focused on the collection and detection technology, and there is a lack of systematic studies on the presence and environmental behavior of MPs. The treatment of microplastic pollution in the water environment has not been carried out on a large scale. Based on the reported information of MPs in environmental media, the pollution status of MPs in basin water, drinking water and wastewater treatment plants was introduced, the harm to organisms was summarized in this paper. In addition, several problems existing in the current research and the development tendency of microplastic pollution were further analyzed. It was suggested that the degradation of MPs in the environment should be strengthened in the future.

Keywords

Microplastics, Pollution Status, Ecological Risks, Water Environment

Copyright © 2021 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. 引言

塑料在为人们的生活和生产提供便利的同时,对环境造成的不良影响及对生物体产生的巨大危害也日益突出。微塑料(microplastics, MPs)最早由 Richard 等人在 2004 年提出[1],具体是指直径小于 5 mm 的塑料纤维、颗粒或者薄膜[2] [3] [4]。由于体积小、比表面积大,微塑料自身的吸附能力很强,可以作为环境污染的主要载体[5],与有机污染物,如:多氯联苯、多环芳烃、双酚 A 等,聚集而形成有机污染体[6] [7] [8],甚至产生更高的毒性[9]。有研究表明,暴露在含有微塑料环境中的生物组织体内,累积的微塑料已经达到了相当高的水平[10] [11]。微塑料的风险防控也在近些年越来越受到重视[12] [13]。2019 年世界卫生组织发布《饮用水中的微塑料》,呼吁开展更多关于环境中微塑料及其风险的研究,2020 年中国发布《关于进一步加强塑料污染治理的意见》,明确提出了分阶段治理塑料污染的目标,2021 年起欧盟已对 10 种一次性塑料制品执行彻底禁用令。然而,在过去几十年间,世界各地生产和使用了大量的塑料产品,这些塑料造成的影响将会在未来相当长的一段时间内持续存在。

尽管微塑料在大气[14] [15]、土壤[16] [17]、水体[18] [19]和沉积物[20] [21]等环境介质中都被证明存在,但目前学术界对微塑料的毒理学效应及其生态风险的认识并不十分清楚[22] [23] [24],特别是对于水环境中微塑料去除途径的评论相当匮乏。此外,微塑料在采集、检测和监管方面也存在诸多局限[25] [26]。本文重点综述了水体环境中微塑料的污染现状,以及带来的生态风险。提出开展环境中微塑料去除途径的研究是未来的必然方向,今后应大力推进微塑料的无害化管理,以保护自然环境和生物健康。

2. 水体中微塑料的存在情况及污染现状

2.1. 水体中微塑料的成分及形态

微塑料的成分和形态对于研究塑料污染物的来源有一定的指示作用。微塑料的化学组成主要包括聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)、聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)、聚酰胺(PA)、聚乙酸乙烯酯(PVAc)、丙烯酸(AA)、聚苯乙烯(PS)等。根据厚度、质地和形状,可将微塑料的形态进行简单划分,通常分为薄膜、碎片、纤维、球状、线状、颗粒、泡沫。对水体中微塑料的种类与形态进行了梳理,如表 1 所示。大量研究表明,在江、河、湖、海中,微塑料的成分以聚酯类、聚乙烯和聚丙烯为主,形态多为纤维状、碎片和薄膜状。

Table 1. Composition and shape of microplastics in water
表 1. 水体中微塑料的成分与形态

序号	地点	主要成分	主要形态	参考文献
1	长江流域	PA、PE、PP	纤维、碎片、薄膜、球状	[27]
2	玛纳斯河流域	PP、PET	86.2%纤维	[28]
3	漳江河口	52% PP、23% PE	43%碎片、18%纤维、18%颗粒	[29]
4	大辽河	74.53% PET	86.84%纤维	[30]
5	青海湖	PE、PP	碎片、纤维	[31]
6	滇池	33.33% PET、20.00% PEU、13.33% PP、10.00% PE、10.00% PVAc	纤维、碎片、薄膜	[32]
7	大西洋	49% PET、43% PA or AA/PET	94%纤维	[33]
8	热带西太平洋	50% PE、36% PP	41%薄膜、35%纤维、15%线状	[29]
9	西北太平洋	PP、PE、PS、PE-PP	碎片、纤维、颗粒、薄膜、泡沫	[29]

2.2. 流域水体微塑料污染情况

微塑料可以在大气、水体和土壤中进行迁移,并通过强风、洋流、雨水冲刷或者沉降等方式进入水体中。然而,目前尚未制定用来衡量水体中微塑料污染程度的统一标准,微塑料浓度的计量单位并不一致。研究人员对于不同水体中微塑料丰度的比较也持较为谨慎的态度。这主要是因为,采样和过滤方式的不同,会导致水体中微塑料的丰度呈现出较大差异。对已有研究中报道的部分地区流域水体微塑料丰度进行梳理,如表 2 所示。在微塑料的分布上,李天翠等[27]分析了长江流域水体微塑料的存在情况,结果表明在水体沿岸、库湾和河口地区,微塑料丰度高于河流、水库和湖泊中心。吴君怡等[34]认为水库、湖泊与河流中微塑料的含量高于入海口和近海海域。

Table 2. Abundance of microplastics in surface water
表 2. 表层水中微塑料的丰度

序号	地点	丰度(items/m ³)	参考文献
1	漳江河口	50~725	[29]
2	珠江	8725~53250	[35]
3	鄱阳湖	$5.0 \times 10^3 \sim 3.4 \times 10^4$	[36]
4	太湖	$3.4 \times 10^3 \sim 2.58 \times 10^4$	[37]
5	青藏高原河流	483~967	[38]
6	西贡河	$1.72 \times 10^5 \sim 5.19 \times 10^5$	[39]
7	多瑙河	1.7×10^4	[40]

2.3. 饮用水和污水处理厂中微塑料污染情况

除了在海洋、湖泊、淡水等水体环境中检测到微塑料,近年来饮用水和污水处理厂中微塑料的存在状况也越来越受到研究者的关注。江谦益[41]对净水厂以及自来水样品中的微塑料进行收集和研究所,结果表明,微塑料的形态以碎片为主,自来水中微塑料的平均丰度达到 440 个/L,净水厂对微塑料的总去除率在 51.83%~76.64%。Sehymanski 等[42]展开饮用水中微塑料的研究,发现在不同种类的瓶装饮用水中

均检测出了微塑料颗粒。刘梦瑶[43]分析了污水处理厂中微塑料的赋存特征和迁移规律,认为污水处理厂中微塑料的形态主要为纤维,这与 Vardar Suat 等[44]的研究结果相同。

3. 与微塑料相关的生态风险

3.1. 生物摄取

微塑料会对生物体的正常发育、代谢、内部结构组成产生潜在影响。生物摄取是一条重要的微塑料累积途径,通过摄食作用微塑料进入生物体的肠道内,致使肠道功能紊乱,严重的情况甚至会导致生物死亡。例如,当一些缺乏识别食物来源能力的生物,如鱼类、贝类等,摄入微塑料后,会产生假性饱腹感[45],长此以往会造成免疫系统失调、营养不良而死亡[46]。除了在生物体的肠道内,微塑料还可存在于鳃、淋巴等其他器官和组织中[47],影响酶活性和免疫系统。此外,微塑料富集在生物体内,通过食物链传递至下一营养级,也会引起较大的危害。

3.2. 降解过程中释放有毒物质

生产塑料时的各种添加剂,如:双酚 A、壬基酚和邻苯二甲酸酯等成分,已被认定为是内分泌干扰物,甚至一些添加剂的成分还具有致畸性和致癌作用[48] [49]。在微塑料降解的过程中,这些成分如果释放到环境中,考虑到生物利用度和积累效应,可能会构成一定的风险。添加剂还可以和聚合催化剂发生化学结合,进而改变其从微塑料中浸出的能力[50],如果渗透到生物的细胞膜内,则会诱导其他毒理效应。

3.3. 作为污染物吸附载体

微塑料不仅自身分解会产生污染,而且由于具有良好的吸附性能,微塑料还可以作为载体,吸附环境中的重金属、疏水性有机污染物等有害物质,如:铅、镉、铜、多氯联苯、多环芳烃、多溴联苯醚、二噁英等,形成复合污染效应。这些污染体一旦进入环境中,或从生物体内被释放出来,将会带来更大的毒性。Rochman 等[51]对鱼类塑料摄食过程中的生物累积和健康效应进行研究,发现暴露在含有多氯联苯和微塑料混合物环境中的鱼类,出现了一系列应激反应并产生肿瘤病变。而微塑料吸附的有害物质,在淋溶作用下释放到土壤中,又会对植物的生长造成影响。

4. 结论与展望

1) 微塑料的污染程度已经遍及全球水体,这些微塑料可通过摄取作用进入生物体,并干扰生物的正常生长、代谢和繁殖。微塑料在降解过程中会释放大量的有毒物质,还有可能作为吸附载体与其他污染物形成毒性更大的污染体,产生进一步的生态风险。

2) 已知微塑料会对生物产生影响,目前在人体粪便中检测出了微塑料,然而对于如何评估微塑料摄入人体的水平、过量摄入引发的健康风险等方面的研究和可靠性报道还十分有限,建议加强此方面的研究,建立系统的评价体系。

3) 在预防 COVID-19 病毒的过程中,塑料广泛用于个人防护设备,预计随着后疫情时代的到来,水环境中微塑料的浓度会有所增加。尽管国内外已经有一些学者开始注意到给水厂、饮用水以及污水处理厂中的微塑料,但整体而言目前关于此方面的研究还较为欠缺,未来需要积极开展水中微塑料存在情况的调查及去除途径的研究。

4) 一些研究表明,在排水渠入口、河流沿岸、入海口等地,水中微塑料的平均丰度会明显高于其他位置,随着离入口处距离的增加,微塑料的平均丰度呈现逐渐降低的趋势。因此,除了采取必要的降解手段,在今后的发展中更要思考如何从源头上对塑料污染进行控制,以此降低微塑料污染发生的可能性。

参考文献

- [1] Thompson, R.C., *et al.* (2004) Lost at Sea: Where Is All the Plastic? *Science*, **304**, 838. <https://doi.org/10.1126/science.1094559>
- [2] Arthur, C., Baker, J.E. and Bamford, H. (2008) Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects, and Fate of Microplastic Marine Debris. University of Washington, Tacoma.
- [3] 郝爱红, 赵保卫, 张建, 马锋锋, 段凯祥, 刘辉, 张鑫, 冉富霖. 土壤中微塑料污染现状及其生态风险研究进展[J]. 环境化学, 2021, 40(4): 1100-1111.
- [4] Lambert, S. and Wagner, M. (2016) Characterisation of Nanoplastics during the Degradation of Polystyrene. *Chemosphere*, **145**, 265-268. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.11.078>
- [5] Zhang, K., *et al.* (2018) Microplastic Pollution in China's Inland Water Systems: A Review of Findings, Methods, Characteristics, Effects, and Management. *Science of the Total Environment*, **630**, 1641-1653. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.300>
- [6] 贾雨薇, 赵建亮, 于旭彪, 陈长二, 应光国. 微塑料对疏水性有机污染物的生物富集影响研究进展[J]. 生态毒理学报, 2019, 14(6): 1-10.
- [7] Prata, J.C., *et al.* (2019) Identifying a Quick and Efficient Method of Removing Organic Matter without Damaging Microplastic Samples. *Science of the Total Environment*, **686**, 131-139. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.456>
- [8] Uber, T.H., *et al.* (2019) Sorption of Non-Ionic Organic Compounds by Polystyrene in Water. *Science of the Total Environment*, **682**, 348-355. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.040>
- [9] Sighicelli, M., *et al.* (2018) Microplastic Pollution in the Surface Waters of Italian Subalpine Lakes. *Environmental Pollution*, **236**, 645-651. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.008>
- [10] 于翔, 许莉莉, 刘强, 黄伟, 曹亮, 窦硕增. 象山湾常见海洋生物体内微塑料的丰度、形态和成分组成研究[J]. 渔业科学进展, 2021, 42(4): 9-18.
- [11] Dmytriw, A.A. (2020) The Microplastics Menace: An Emerging Link to Environment and Health. *Science of the Total Environment*, **707**, Article ID: 135558. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135558>
- [12] 骆永明, 周倩, 章海波, 潘响亮, 涂晨, 李连祯, 杨杰. 重视土壤中微塑料污染研究防范生态与食物链风险[J]. 中国科学院院刊, 2018, 33(10): 1021-1030.
- [13] Song, K., Ding, R.R., Sun, C.Y., Yao, L.G. and Zhang, W.C. (2021) Microparticles and Microplastics Released from Daily Use of Plastic Feeding and Water Bottles and Plastic Injectors: Potential Risks to Infants and Children in China. *Environmental Science and Pollution Research International*. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14939-7>
- [14] Allen, S., *et al.* (2019) Atmospheric Transport and Deposition of Microplastics in a Remote Mountain Catchment. *Nature Geoscience*, **12**, 339-344. <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0335-5>
- [15] 周帅, 李伟轩, 唐振平, 高媛媛, 刘迎九. 气载微塑料的赋存特征、迁移规律与毒性效应研究进展[J]. 中国环境科学, 2020, 40(11): 5027-5037.
- [16] Li, J., Song, Y. and Cai, Y.B. (2020) Focus Topics on Microplastics in Soil: Analytical Methods, Occurrence, Transport, and Ecological Risks. *Environmental Pollution*, **257**, Article ID: 113570. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113570>
- [17] 刘雅倩, 马菁, 牟键坤, 任文杰, 刘金雨, 李佳馨, 刘芯贝, 王莹. 土壤环境中微塑料污染研究进展及展望[J]. 环境科学与技术, 2021, 44(4): 45-53.
- [18] Peng, L.C., *et al.* (2020) Micro- and Nano-Plastics in Marine Environment: Source, Distribution and Threats—A Review. *Science of the Total Environment*, **698**, Article ID: 134254. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134254>
- [19] 白濛雨, 赵世焯, 彭谷雨, 高磊, 李道季. 城市污水处理过程中微塑料赋存特征[J]. 中国环境科学, 2018, 38(5): 1734-1743.
- [20] Manbohi, A., Mehdinia, A., Rahnama, R., Dehbandi, R. and Hamzehpour, A. (2021) Spatial Distribution of Microplastics in Sandy Beach and Inshore-Offshore Sediments of the Southern Caspian Sea. *Marine Pollution Bulletin*, **169**, Article ID: 112578. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112578>
- [21] 周泽妍, 王思琦, 张盼月, 张光明, 王洪杰, 朱晓磊, 张海涛. 白洋淀-府河入淀口段沉积物中微塑料的丰度及分布特征[J]. 环境工程学报, 2021, 15(1): 360-367.
- [22] Moharir, R.V. and Kumar, S. (2019) Challenges Associated with Plastic Waste Disposal and Allied Microbial Routes for Its Effective Degradation: A Comprehensive Review. *Journal of Cleaner Production*, **208**, 65-76. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.059>

- [23] 张羽西, 缪爱军. 微塑料对人体健康的影响概述[J]. 南京大学学报(自然科学), 2020, 56(5): 729-736.
- [24] 丁平, 张丽娟, 黄道建, 于云江, 李歆, 黄楚珊, 陈棉彪, 吴庆瑶, 胡国成. 微塑料对海洋生物的毒性效应及机理研究进展[J]. 海洋湖沼通报, 2021, 43(2): 144-153.
- [25] 李丹文, 林莉, 潘雄, 吴晓晖. 淡水环境中微塑料采样及预处理方法研究进展[J]. 长江科学院院报, 2021, 38(7): 14-23.
- [26] 周倩, 章海波, 李远, 骆永明. 海岸环境中微塑料污染及其生态效应研究进展[J]. 科学通报, 2015, 60(33): 3210-3220.
- [27] 李天翠, 黄小龙, 吴辰熙, 郭文思. 长江流域水体微塑料污染现状及防控措施[J]. 长江科学院院报, 2021, 38(6): 143-150.
- [28] 王高亮. 玛纳斯河流域微塑料污染特征研究与生态风险评估[D]: [硕士学位论文]. 石河子: 石河子大学, 2020.
- [29] 孙炎. 不同水环境微塑料污染研究及生态效应案例分析[D]: [硕士学位论文]. 厦门: 自然资源部第三海洋研究所, 2020.
- [30] 王旭. 大辽河入海微塑料分布特征、来源及通量研究[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连海事大学, 2020.
- [31] Xiong, X., Zhang, K., Chen, X.C., Shi, H.H., Luo, Z. and Wu, C.X. (2018) Sources and Distribution of Microplastics in China's Largest Inland Lake—Qinghai Lake. *Environmental Pollution*, **235**, 899-906. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.12.081>
- [32] 袁海英, 侯磊, 梁启斌, 李佳琛, 任甲. 滇池近岸水体微塑料污染与富营养化的相关性[J]. 环境科学, 2021, 42(7): 3166-3175.
- [33] Kanhai, L.D.K., Officer, R., Lyashevskaya, O., Thompson, R.C. and O'Connor, I. (2017) Microplastic Abundance, Distribution and Composition along a Latitudinal Gradient in the Atlantic Ocean. *Marine Pollution Bulletin*, **115**, 307-314. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.12.025>
- [34] 吴君怡, 张燕, 李宁远, 封黎扬, 方瑜媛. 中国水环境微塑料污染及水处理工艺对其去除效果[J]. 中国给水排水, 2020, 36(16): 17-23.
- [35] Yan, M.T., et al. (2019) Microplastic Abundance, Distribution and Composition in the Pearl River along Guangzhou City and Pearl River Estuary, China. *Chemosphere*, **217**, 879-886. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.11.093>
- [36] Yuan, W.K., Liu, X.N., Wang, W.F., Di, M.X. and Wang, J. (2019) Microplastic Abundance, Distribution and Composition in Water, Sediments, and Wild Fish from Poyang Lake, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **170**, 180-187. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.11.126>
- [37] Su, L., et al. (2016) Microplastics in Taihu Lake, China. *Environmental Pollution*, **216**, 711-719. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.06.036>
- [38] Jiang, C.B., et al. (2019) Microplastic Pollution in the Rivers of the Tibet Plateau. *Environmental Pollution*, **249**, 91-98. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.03.022>
- [39] Lahens, L., et al. (2018) Macroplastic and Microplastic Contamination Assessment of a Tropical River (Saigon River, Vietnam) Transversed by a Developing Megacity. *Environmental Pollution*, **236**, 661-671. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.005>
- [40] Lechner, A., et al. (2014) The Danube So Colourful: A Potpourri of Plastic Litter Outnumbers Fish Larvae in Europe's Second Largest River. *Environmental Pollution*, **188**, 177-181. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.02.006>
- [41] 江谦益. 给水环境中微塑料的分离鉴定及污染特征研究[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连理工大学, 2020.
- [42] Schymanski, D., Goldbeck, C., Humpf, H.-U. and Fürst, P. (2018) Analysis of Microplastics in Water by Micro-Raman Spectroscopy: Release of Plastic Particles from Different Packaging into Mineral Water. *Water Research*, **129**, 154-162. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.11.011>
- [43] 刘梦瑶. 某污水处理厂中微塑料赋存特征与迁移规律研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2020.
- [44] Vardar, S., Onay, T.T., Demirel, B. and Kideys, A.E. (2021) Evaluation of Microplastics Removal Efficiency at a Wastewater Treatment Plant Discharging to the Sea of Marmara. *Environmental Pollution*, **289**, Article ID: 117862. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117862>
- [45] Jabeen, K., et al. (2017) Microplastics and Mesoplastics in Fish from Coastal and Fresh Waters of China. *Environmental Pollution*, **221**, 141-149. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.11.055>
- [46] Silva Pegado, T.S., et al. (2018) First Evidence of Microplastic Ingestion by Fishes from the Amazon River Estuary. *Marine Pollution Bulletin*, **133**, 814-821. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.06.035>
- [47] Avio, C.G., et al. (2015) Pollutants Bioavailability and Toxicological Risk from Microplastics to Marine Mussels. *Environmental Pollution*, **198**, 211-222. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.12.021>

-
- [48] 张楠, 徐一卢, 陈蕾. 微塑料中的添加剂及生态风险[J]. 应用化工, 2020, 49(4): 989-992.
- [49] Costa, J.P., Santos, P.S.M., Duarte, A.C. and Rocha-Santos, T. (2016) (Nano)plastics in the Environment—Sources, Fates and Effects. *Science of the Total Environment*, **566-567**, 15-26. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.041>
- [50] EPA (1992) Plastics Pellets in the Aquatic Environment. Environmental Protection Agency, Washington DC, 1-109.
- [51] Rochman, C.M., Hoh, E., Kurobe, T. and The, S.J. (2013) Ingested Plastic Transfers Hazardous Chemicals to Fish and Induces Hepatic Stress. *Scientific Reports*, **3**, Article No. 3263. <https://doi.org/10.1038/srep03263>