

# Research on Coagulation Optimization to Control Microplastics Pollution in Surface Water

Shiya Sun Wen Sun Jiahui Zhang Xinyu Li Jianfei Xu

School of Environmental Science and Engineering, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou, Jiangsu, 215009, China

## Abstract

Microplastics (MPs) refer to plastic fragments with a particle size of less than 5mm. Studies have shown that MPs pose ecotoxicological risks to water bodies. However, the traditional water treatment process does not significantly remove MPs, and MPs are likely to harm human health through drinking water. This review mainly summarizes the removal of MPs by analyzing the occurrence, characteristics, abundance and comparison of coagulants, flocculants and measurement of MPs. The review is helpful to analyze the environmental behavior of MPs in surface water, further improve the removal effect of traditional water treatment process on MPs, and also provide theoretical basis and reference for the ecological risk assessment and pollution control of MPs in surface water.

## Keywords

MPs; coagulation; combined process; surface water treatment

# 混凝优化控制地表水中微塑料污染研究

孙诗雅 孙雯 张佳慧 李昕宇 许建飞

苏州科技大学环境科学与工程学院, 中国·江苏·苏州 215009

## 摘要

微塑料(MPs),是指粒径小于5mm的塑料碎片。研究表明MPs会给水体带来生态毒理风险。而传统给水处理工艺对MPs的去除效果并不显著,MPs很可能通过饮用水危害人体健康。本综述主要通过分析MPs的赋存、特性、丰度以及对比混凝剂、絮凝剂种类和计量等对混凝去除MPs相关研究进行总结。综述有助于解析MPs在地表水中的环境行为,为进一步提高传统给水处理工艺对MPs的去除效果提供思路,同时也为地表水中MPs的生态风险评估及污染防治提供理论依据和参考。

## 关键词

MPs; 混凝; 组合工艺; 地表水处理

## 1 引言

微塑料(MPs)是指大块塑料经紫外线照射、碰撞磨损或工业生产等方式形成的粒径小于5mm的塑料纤维、颗粒或者薄膜。国际上大量研究表明,MPs已广泛分布于海洋、陆地、河流、湖泊等自然环境中<sup>[1]</sup>,甚至在人类日常食用的食盐、饮用水中都发现了MPs的踪迹。MPs一旦进入食物链会造成巨大危害:物理方面,MPs易被浮游生物、海鸟、鱼类及蚯蚓等动物大量摄食,对其产生物理损伤,在动物体内富集,并堵塞消化道。化学方面,MPs自身含有大量的有毒有害化学物质,同时由于其比表面积大等原因极易吸

附土壤、水中的有机污染物和重金属等。在生物危害方面,MPs吸附的病原菌可能导致摄食生物致病<sup>[2]</sup>,甚至有研究表明,MPs可以影响物种延续后代,导致包括血栓、癌症在内的众多疾病。中国大部分地区的饮用水来源主要为地表水源,所以地表水中MPs种类、丰度特性等对后续的给水处理效果的影响十分重要,由此可见地表水环境中的MPs污染的严重性。

## 2 水环境中MPs的赋存特点

MPs在世界范围内的海洋和淡水中均有迹可循。根据Tsang等和邵宗泽等的相关研究,目前MPs在海水中的最大丰度值已超出每立方米海水100000个/m<sup>3</sup>;而太湖表层水体样中发现的MPs丰度最高为6.8×10<sup>6</sup>个/km<sup>2</sup>,为全球淡水湖泊中已找到的最高浓度。中国各主要地区和流域,包括三峡、洞庭湖、鄱阳湖、洪湖、太湖、丹江口等均发现

【基金项目】2020年大学生创新创业训练计划项目(项目编号:202010332073Y)。

【作者简介】孙诗雅(2001-),女,中国江苏盐城人,在读本科生,从事给排水科学与工程研究。

MPs 的存在。特别是长三角地区重要河流和湖泊（太湖、苏州河、黄浦江、长江口等）均遭受了不同程度的聚酯、丙烯酸、人造丝等塑料污染的威胁。而作为长三角一体化实施的关键水域——太湖，其表面水中的 MPs 丰度及浮游生物体内 MPs 含量在全球范围的淡水湖泊中居前位。

水环境中 MPs 来源主要是各种工业原料、食品包装袋及生活用品以及护肤品的塑料颗粒和衣物清洗产生的纤维，在旅游区、港口、盐场和养殖场等区域，遗留大量塑料垃圾，其大多数都会随着排水管道进入污水处理厂<sup>[9]</sup>。然而，目前污水处理厂的工艺并不是为 MPs 的去除所设计的，这导致污水处理厂出水仍含大量 MPs，其主要由聚酯 PES 和聚乙烯 PE 组成。主要形态为颗粒状和纤维状。W.D.Jean-Pierre 等在饮用水样品中都检测出纤维占主导的 MPs。而且不同级别水系中纤维占比多有不同，其中长三角地区，纤维占比最高的是城市小河（88%），其次是上海苏州河（85%），上海黄浦江（81%），长江口（66%）和海近岸（37%）。

此外，水环境中 MPs 表面电荷多为负值，以疏水性为主，因而在水环境中的赋存相较于其他微粒可能更加稳定和分散。加之其比表面积大、疏水等特性，在水中往往会作为污染物的吸附载体。污染物被 MPs 吸附之后会影响到它们在水环境中的分布和降解等，这种联合作用也可能引起不可预测的生态风险。

### 3 MPs 的聚合

MPs 的聚合行为受其自身特性（尺寸、形状、表面电荷、官能团等）和环境因素（温度、pH、NOM、无机离子、悬浮的黏土颗粒以及微生物等）综合影响。水环境中的 pH 和离子强度在某种程度上可以影响静电相互作用从而影响 MPs 对吸附质的吸附。此外，温度的升高会导致吸附分子的迁移率和溶解度增大，使得 MPs 与污染物间的范德华力减小，从而增强了 MPs 的吸附能力。另外，MPs 上生物膜的形成更加促进了污染物的聚集。而且 MPs 的老化也会改变 MPs 的结构，同时生成含氧官能团，导致 MPs 亲水性、吸附污染物能力都发生改变。

而天然有机物（NOM）作为饮用水水源污染物的重要组成部分，其物化性质以及特性组分种类直接影响 MPs 在水环境中的赋存状态，特别是分散稳定性。研究发现，腐殖类 NOM 可增强 MPs 颗粒之间的位阻和静电斥力，阻碍了 MPs 的聚合速度。而对于空间稳定性更高的 NPs，NOM 的存在进一步限制了 NPs 聚合的条件。不仅如此，Cai 等发现，NOM 存在下，不同价离子对于 NPs 聚合效果的影响也截然不同。但上述研究中所采用的 NOM 多为腐殖质（HA、富

里酸），并不能全面反映自然水体中 NOM 对 MPs/NPs 聚合的影响。非腐殖质类 NOM（如蛋白质、糖类等）以及更符合水环境实际情况的亲疏水混合 NOM 对 NPs 的聚合行为所产生的影响以及相关机理研究应给予更多的关注。

### 4 混凝控制 MPs 研究

目前，给水处理控制 MPs 相关研究多集中于混凝、膜滤、砂滤、消毒、光催化等，而且混凝是研究频次最高的工艺。Wang 等认为在传统给水处理工艺中，混凝—沉淀对 MPs 的去除起主导作用。从已有研究结果来看，MPs 的形状、尺寸、浓度以及混凝剂的种类和剂量、混凝条件、水化特性等都会对 MPs 混凝效果产生不同程度的影响。Arenas 等认为混凝可有效降低 NPs 表面电荷，促进聚集，有助于后续过滤工艺对 NPs 的去除。王博东等发现水环境中 MPs 多呈负电，在酸性环境中更易被呈正电的混凝絮体吸附、捕获。Wang 等发现纤维类 MPs 在混凝中更容易附着在絮凝物上，因此混凝能够很好地去除纤维类 MPs。

Ma 等在对毫米尺度的聚乙烯分别进行铁盐和铝盐混凝研究时发现，聚乙烯粒径与混凝效果呈一定的相关性，且 NOM（腐殖酸）存在与否、离子强度、浊度对毫米级聚乙烯的混凝效果不会产生显著影响；Cai 等认为常规混凝剂/絮凝剂投加量并不能有效混凝毫米级聚乙烯，除非加大投加剂量，而且辅以高剂量的絮凝剂（聚丙烯酰胺）可以进一步提高聚乙烯的去除率，但混凝剂投加量控制不当也会带来混凝剂残留、增加健康风险等负面效应。

而目前已发表的混凝去除 MPs 的文献大多聚焦于大尺寸 MPs，针对微纳 MPs 去除研究较少。事实上，饮用水源中存在的 MPs 粒径大多在微纳级别，由于 MPs 的尺寸、比表面积、稳定性等较毫米级 MPs 差异显著，其混凝行为和机制也大不相同。amirez Lina 等选用聚合氯化铝（PACl）和氯化铁（FeCl<sub>3</sub>）作为混凝剂对聚苯乙烯、TiO<sub>2</sub>、CeO<sub>2</sub> 三种纳米颗粒进行混凝，发现纳米聚苯乙烯混凝效果不及 TiO<sub>2</sub> 和 CeO<sub>2</sub>，进一步说明纳米级塑料在水环境中的稳定性和分散性较强，更加难以去除。

### 5 混凝组合工艺控制 MPs 研究

目前混凝参与的组合工艺去除 MPs 相关研究大多集中于混凝—砂滤、混凝—膜滤、混凝—高级氧化、混凝—砂滤—颗粒活性炭、混凝—气浮等。相较单一工艺，组合工艺在 MPs 去除效果上展现出更加优良的特性，其中，混凝—超滤组合工艺协同净水因其可提升污染物去除效率、有效提高膜性能、控制膜污染等优点受到了学者的关注，同时也被认为是值得深入研究的 MPs 污染控制协同组合技术。Ma

Baiwen 等在研究混凝—超滤协同去除 MPs 时发现随着混凝剂投加量的增加,超滤膜污染逐渐加重。不过混凝絮体中大尺寸聚乙烯的存在有助于超滤膜表面滤饼层的重构,特别是滤饼层孔隙率的增加,从而在一定程度上缓解了膜污染。王博东等也得出了同样的规律,而且发现小尺寸 MPs 在混凝后更容易形成致密的滤饼层从而导致更严重的膜污染。因此,针对小尺寸 MPs 控制的相关组合工艺优化研究值得深入探讨。

## 6 结语

MPs 作为一种新型污染物,其在水环境中的赋存特点、聚合特性、混凝去除规律等研究尚处于起步阶段,特别是针

对小尺寸 MPs 控制研究更加值得关注。目前,混凝与沉淀、膜滤、砂滤、活性炭、高级氧化、光催化等联合去除 MPs 相关研究等都具有较高的研究价值,而相关组合工艺特别是混凝—超滤被认为是值得深入研究的 MPs 控制组合工艺。

## 参考文献

- [1] Rillig M C, Ingrassia R, De Souza Machado A A. Microplastic incorporation into soil in Agroecosystems[J].Frontiers in Plant Science,2017(8):1805.
- [2] 李红岩,张海峰,李洁,等.饮用水中MPs污染研究进展[J].净水技术,2019,38(7):7-12.
- [3] 梁恒,唐小斌,柳斌,等.超滤组合工艺处理含藻水膜污染机制及调控研究[J].给水排水,2020,56(7):54-60.