

Research on the Comprehensive Effects of Migration and Transformation of Microplastics in the Environment

Cong Zhang

Yangzhou Yizheng Environmental Monitoring Station, Yangzhou, Jiangsu, 211400, China

Abstract

Microplastics refer to a class of plastic ppapers with a ppaper size of less than 5mm widely existing in the environment. Due to their tiny ppaper size and large surface area, microplastics are more harmful to the environment and organisms than large plastics, and have become a global focus of environmental issues in recent years. The paper discusses the environmental behavior of different types of microplastics and the environmental behavior of microplastics in different ecological environments. By analyzing the sources, migration, and transformation of microplastics in water bodies (freshwater, oceans), soil, and atmospheric media, the environmental behavior of microplastics is tracked, and prospects for future microplastic governance are proposed, hoping to provide a theoretical basis for future research on microplastics.

Keywords

microplastics; source; migration and transformation; environment behaviour

微塑料在环境中的迁移和转化的综合效应研究

张聪

扬州市仪征环境监测站, 中国 · 江苏 扬州 211400

摘 要

微塑料是指一类广泛存在于环境中的粒径小于5mm的塑料颗粒的总称, 因拥有微小粒径及较大表面积, 其相比大块塑料而言, 对环境和生物体具有更大的危害性, 成为近年来全球关注的环境问题热点。论文从不同类型微塑料的环境行为和微塑料在不同生态环境中的环境行为两大方面分别展开论述, 通过分析水体(淡水、海洋)、土壤、大气介质中微塑料的来源、迁移转化等, 追踪微塑料的环境行为, 并对未来微塑料的治理等工作提出展望, 希望能对未来微塑料的研究提供一定的理论基础。

关键词

微塑料; 来源; 迁移转化; 环境行为

1 引言

微塑料是一种新型有机污染物, 其概念早在 2004 年就已经提出, 之后国内外学者对于水体、土壤、大气环境中的微塑料环境行为开展了一系列的研究。因其具有轻薄、微小、易吸附等特点, 在陆地出现后随水流进入大海, 随气流暂时悬浮于空气中, 随动植物、土壤活动等深入土壤内部, 进入地下水中汇流入海, 再因退潮、干湿沉降等原因从水、大气环境再次进入土壤; 并有可能通过植物和水生动物食物链传递从而对人体健康产生潜在风险。有研究表明, 如果人类仍不加节制, 肆意生产和使用塑料, 在 80 年后微塑料将给生态系统带来极大风险。目前由于技术限制很难集中有效地收集处理微塑料, 微塑料在迁移过程中很难分解代谢。同时,

由于人们对微塑料的认知仍处于初级阶段, 因而深入了解微塑料在生态环境介质中的环境行为成为当前的首要任务^[1]。

2 不同类型微塑料的环境行为

环境中微塑料的来源比较复杂, 可分为初生微塑料和次生微塑料两大类。

2.1 初级微塑料的环境行为

初生微塑料的来源主要包括塑料、树脂颗粒的工业原料、含有微塑料颗粒或清洁微珠的工业化产品^[2]。

个人护理产品(洗面奶、磨砂膏、化妆品等)、清洁产品中的磨料、钻井液和空气爆破介质^[3]等物质中掺杂的初级微塑料大部分被冲洗并进入排水系统, 通过市政管网收集至污水处理厂。在污水处理过程中一部分微塑料进入污泥并埋入土壤, 另一部分微塑料随出水排入自然水体, 最终汇流入海^[4]。虽然污水处理厂对微塑料的去除有很好的效果, 但是由于没有对微塑料进行降解处理, 仅是一味地填埋, 导

【作者简介】张聪(1988-), 男, 中国江苏兴化人, 本科, 工程师, 从事土壤调查和固废管理研究。

致微塑料在环境中的含量仍呈指数级增长。芬兰赫尔辛基污水处理厂微塑料总去除率可达98%，每天却仍向水体排放约 6.5×10^7 个微塑料。波兰南部多个污水处理厂总体微塑料去除率在95%以上，污泥中微塑料丰度高达 62.6×10^3 ppapers/kg。污水处理厂污泥聚集大量有机物、重金属，与微塑料相结合对土壤环境产生更为深远的影响。

2.2 次级微塑料的环境行为

塑料制品、合成纺织品和橡胶制品因老化、磨损、工厂加工、洗涤、风化、紫外线照射等因素分裂出次级微塑料，部分暂时漂浮在大气，通过干湿沉降、风力运输落到土壤和水体表面，部分直接落入土壤或水体中，部分随着洗涤废水进入污水处理厂，最终与初级微塑料汇合共同在三相间迁移^[1]。此外，每年有近千万吨塑料从沿海地区迁移到海洋，打捞后保守估计仍旧有30多万吨塑料碎片残留在海面上，通过紫外线照射、波浪作用、风化、沉积物磨损破裂为次级微塑料，成为海洋微塑料的主要来源。

3 微塑料在不同生态环境中的环境行为

微塑料因自身轻薄、微小等特性，可在三相中任意穿梭，该过程充满复杂性和不确定性^[1]。

3.1 微塑料在水环境中的环境行为

微塑料可以通过水体冲刷、径流作用及大气沉降进入水环境中，海洋中微塑料还可来源于城市污水直接排放、娱乐性沙滩等。当微塑料存在于水体环境中，容易吸附其他污染物，影响它们的迁移行为，进而对生态效应产生影响^[5]。目前，已经在地表的河流中、湖泊内、水库等淡水系统中测得微塑料的存在。同时，由于微塑料拥有较为稳定的物理化学性质，其已经在海洋水体、海洋生物甚至是海盐中广泛存在。

3.1.1 海洋环境

海洋微塑料主要来自陆源污染物、海源污染物和大气污染物，而大气中微塑料的实际来源也是陆源污染，因此陆源和海源污染才是海洋微塑料的根本来源，据统计98%的初生微塑料来自陆源塑料垃圾，仅有2%来自海上活动^[6]。

海洋中的微塑料在汇入海洋之前往往已在环境中存在了一定时间，经历了一系列物理作用和化学作用，使其性质发生了一定程度的改变；在汇入海后又受到海浪拍打和太阳辐射，使得微塑料的老化进一步加剧。老化后的微塑料的物理化学性质会发生较为明显的改变。其表面出现侵蚀、沟壑，比表面积增大，表面官能团发生改变，这些改变为后期微塑料与环境发生相互作用提供了先决条件^[6]。

海洋中常见的微塑料类型^[6]主要包括聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、聚氯乙烯等。因其本身尺寸微小、数量庞大且来源广泛导致其危害远超普通尺寸的海洋塑料垃圾，加之在海洋水力作用下的迁移和沉降导致其污染波及区域十分广泛。^[7]另外，微塑料进入海洋后，在大气运动和大气洋流的

作用下会向环流区域聚集，形成微塑料的高污染区，引起微塑料空间分布的不均匀^[6]，大大增加了微塑料污染治理的难度。同时，微塑料自身携带的添加剂在海水中的释放，与金属、有机污染物及微生物等构成的复合污染物均会对海洋动植物的生长、生存和繁殖产生负面效应，甚至通过捕食作用沿食物链传递，对高等动物及人类健康造成威胁。此外，微塑料还可以作为海水中痕量化学物质的吸附载体，对生物产生联合毒性^[7]。

3.1.2 淡水环境

在环境中，紫外线辐射是促使塑料破碎、分解的主要推动力，与海洋等大型水域相比，河流、湖泊等小型水域中的微塑料暴露于紫外线中的可能性更高，因此更有利于微塑料的生成。

近年来，越来越多的研究表明，内陆的湖泊河流和海洋一样面临着严重的微塑料污染问题。湖泊是内陆水体微塑料污染重要的“汇”。对于湖泊而言，封闭的环境条件下，密度大的塑料便沉积下来，密度小的塑料会漂浮在水面上方。相关研究在包括北美五大湖地区、蒙古偏远湖泊、非洲维多利亚湖等世界各区域的湖泊中都发现了微塑料的赋存，而中国学者也在青海湖、太湖、洞庭湖、鄱阳湖、洪湖、乌梁素海等湖泊发现了较高的微塑料丰度^[8]。河流是陆源微塑料向湖泊、海洋传输的重要通道，作为一个复杂的水体环境，河流水流快的地方微塑料会被裹挟向下，而水流较缓慢的地方微塑料便会沉降进入底泥。

冰雪圈近年来被发现是淡水环境微塑料重要的“汇”。通过大气传输的微塑料会通过降雪进入高山和极地冰冻圈，并在积雪中积累。研究人员在北极和欧洲高山地区的积雪中发现了最大丰度达到 154×10^3 个/L的微塑料污染，最新的研究还表明，北极冰雪圈表面的微塑料可能会加速冰雪圈的升温和融化^[9]。

3.2 微塑料在土壤环境中的环境行为

陆地环境中的微塑料主要来源于农业活动（地膜和农膜使用）、污泥（化妆品、衣物及工业生产过程中的微塑料沉积）施用及堆肥、微塑料污染的灌溉水和大气沉降等过程。据估算，进入陆地环境的微塑料可能会超过40万t，这远高于海洋和淡水环境中微塑料含量的总和^[10]。地膜和农膜的广泛应用成为农田中次生微塑料的主要来源之一，根据国外统计数据显示，北美和欧洲地区年均通过污泥进入农田的微塑料量均远远高于全球年输入农田的塑料量。在中国，由于地膜被大量使用，破碎的地膜直接废弃于农田土壤中，使其成为土壤微塑料主要的来源。此外，在耕作期间，由于居民环保意识淡薄，农用塑料包装随意丢弃，也是土壤微塑料来源之一。同时，由垃圾填埋或其他表面沉积物产生的微粒和微纤维，也可以通过大气沉降作用进入陆地环境。德国海洋生物研究机构的研究人员发现，每千克干燥污泥中约含有2.4万个塑料微珠。有研究指出，在最后一次污泥施用15年以后，

土壤中仍能检测到微塑料纤维的存在,其含量明显超过了对照区域^[11]。由于土壤生态系统复杂多变,对其中的微塑料进行分离和检测具有一定的难度,水生生态系统的研究模式也不适用于陆地环境,因此,关于陆地环境中微塑料的来源研究相对较少。

排入土壤环境中的微塑料将表面吸附的各种物质(如重金属、有机物质和有毒物质等)释放到土壤环境中,改变土壤pH、土壤孔隙率、土壤质地黏重、电导率、土壤有机质和土壤营养成分。土壤中添加高密度PE导致土壤pH降低,添加聚乳酸导致土壤pH升高、电导率降低,说明不同类型微塑料聚合物对土壤理化性质产生不同影响。微塑料进入土壤环境,直接或间接改变土壤环境理化性质的稳定性,尤其是次级微塑料对土壤理化性质发生改变产生显著影响,影响土壤中动植物及微生物群落的有序生命活动。

3.3 微塑料在大气环境中的环境行为

工业粉尘的排放是大气中微塑料污染的来源之一。Dris等研究者观察到法国巴黎大气中存在合成纤维、混合纤维和天然纤维等,推测室内空气微塑料(纤维类)污染可能是大气环境中微塑料的重要来源。

微塑料由于轻薄易转移的特性,在随气流移动的同时,移动速度很快、移动方向不定。据模型显示,在大气环境中,微塑料的迁移长度可达95km。所以存在大量受到气流影响从水体而来的老微塑料与因塑料制品、纤维纺织品、合成橡胶等磨损分裂产生的新微塑料在大气汇合。由于城市塑料工业发展迅猛,产生的次级微塑料含量较高,导致市区中大气微塑料含量远高于郊区。一部分空气中悬浮的微塑料随着生物呼吸与进食进入并聚集在生物体内,从而对机体造成机械损伤;另一部分微塑料通过干湿沉降再次进入水体或者侵入土壤环境,从而产生一系列不良影响。有些研究报道了一些内陆偏远湖泊中微塑料的存在,这说明大气环境中微塑料通过输移和沉降成为海洋、湖泊和陆地微塑料的来源之一。例如,Dris等发现法国巴黎城区及郊区大气沉降中含有纤维类微塑料,周倩等在中国烟台市区大气降尘和降水中分离和鉴定到四种类型的微塑料(纤维类、碎片类、薄膜类和泡沫类)。由于现如今研究时间尚少、技术尚不成熟,使得微塑料在大气中迁移转化规律和污染特性尚不明晰,未来仍需重点研究。

4 展望

总体来看,环境中微塑料的来源与我们的生活密切相

关。近年来,国内外关于淡水、大气及陆地环境中微塑料污染的研究逐渐增多,但是对于环境介质中微塑料的源解析工作还存在不足。进入环境中的大块微塑料破碎、分解的速度是无法估计的,对环境中的初生微塑料和次生微塑料进行定量化难以实现,这增加了对微塑料来源进行追溯的难度。此外,现有的微塑料提取、分离和鉴定方法没有统一的标准,更重要的是化学质量平衡法、同位素示踪、化学或生物指纹图谱等溯源技术还未广泛用于微塑料源解析的研究中。未来需要根据不同种类微塑料特性建立与之匹配的监测分析方法,并结合准确高效的溯源分析技术,以解决目前环境介质中微塑料来源研究中的瓶颈和不足。

参考文献

- [1] 张雅珊,陈宗耀,马伟芳.微塑料的迁移转化及其生态风险研究进展[J].化工进展,2022,41(11):6080-6098.
- [2] 刘沙沙,付建平,郭楚玲,等.微塑料的环境行为及其生态毒性研究进展[J].农业环境科学学报,2019,38(5):957-969.
- [3] Suaria G, Achtypi A, Perold V, et al. Microfibers in oceanic surface waters: A global characterization[J]. Science Advances, 2020,6(23):eaay8493.
- [4] Zhang Q, Zhao Y, Du F, et al. Microplastic Fallout in Different Indoor Environments[J]. Environmental Science & Technology: ES&T, 2020(11):54.
- [5] 王琼杰,张勇,陈雨,等.水体中微塑料的环境影响行为研究进展[J].化工进展,2020,39(4):1500-1510.
- [6] 包木太,程媛,陈剑侠,等.海洋微塑料污染现状及其环境行为效应的研究进展[J].中国海洋大学学报(自然科学版),2020,50(11):69-80.
- [7] 李富云,贾芳丽,涂海峰,等.海洋中微塑料的环境行为和生态影响[J].生态毒理学报,2017,12(6):11-18.
- [8] Su L, Xue Y, Li L, et al. Microplastics in Taihu Lake, China[J]. Environmental Pollution, 2016,216:711-719.
- [9] Evangeliou N, Grythe H, Klimont Z, et al. Atmospheric transport is a major pathway of microplastics to remote regions[J]. Nature Publishing Group, 2020(1).
- [10] 任欣伟,唐景春,于宸,等.土壤微塑料污染及生态效应研究进展[J].农业环境科学学报,2018,37(6):1045-1058.
- [11] Zubris K A V, Richards B K. Synthetic fibers as an indicator of land application of sludge[J]. Environmental Pollution, 2005,138(2):201-211.