

土壤环境中微塑料的研究进展

于庆鑫, 刘 硕

哈尔滨师范大学地理科学学院, 黑龙江 哈尔滨

收稿日期: 2022年9月13日; 录用日期: 2022年10月13日; 发布日期: 2022年10月20日

摘 要

通过检索万方信息数据库和中外资料数据库等, 综述了土壤微塑料污染现状, 探讨了微塑料的预处理方法和对土壤环境的不利影响, 例如可以引起土壤物理性质的改变, 甚至影响土壤生态系统的功能和安全。本文旨在引起人们关注, 为环境保护提供参考。

关键词

土壤, 微塑料, 环境污染

Research Progress of Microplastics in Soil Environment

Qingxin Yu, Shuo Liu

College of Geographical Sciences, Harbin Normal University, Harbin Heilongjiang

Received: Sep. 13th, 2022; accepted: Oct. 13th, 2022; published: Oct. 20th, 2022

Abstract

By searching Wanfang Information database and Chinese and foreign data database, the present situation of soil microplastic pollution was reviewed, and the pretreatment methods of microplastic and its adverse effects on soil environment were discussed, such as the change of soil physical properties and even the function and safety of soil ecosystem. The purpose of this paper is to provide reference for environmental protection.

Keywords

Soil, Micro Plastic, The Environmental Pollution

Copyright © 2022 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

塑料是一种性质介于纤维和橡胶之间的高分子化合物, 因其具有质地轻、重量强度高、易加工、成本低等特征, 被广泛应用于各行各业。随着上世纪五十年代工商业、农业领域的大规模生产, 塑料的使用大幅度增加, 全球每年至少生产 300 万吨塑料, 预计 2050 年将会达到 330 亿吨。塑料进入环境后, 经过机械、生物降解、光降解等理化作用, 形成粒径小于 5 mm 的微塑料(MPs), 这一概念的首次提出是在 2004 年 Richard 等人在研究海洋水体之时, 那一时期的微塑料研究主要集中在水体环境中[1]。直到德国学者 Rillig 发现土壤环境中也存在微塑料污染问题, 土壤微塑料的研究才受到广泛关注, 成为环境与生态领域的第二大科学问题[2]。粒径小、比表面积大、疏水、难降解等特征使微塑料成为了重金属[3]、微生物、多环芳烃等物质的有效载体, 加剧了污染物在环境中的固存与积累, 造成了全国乃至全球微塑料污染。

2. 微塑料污染概况

2.1. 土壤环境中微塑料的研究进展

微塑料污染已十分广泛, 水、土壤、大气环境甚至生物体内均有存在, 严重危害了生态环境, 威胁到各类生物的生活乃至生存。联合国环境生态部于 2011 年将微塑料污染列为全球重大环境问题之一。土壤环境中存在微塑料污染问题是在 2012 年被首次发现, 自此土壤微塑料的研究才受到广泛关注, 逐渐成为环境与生态领域的第二大科学问题。陆地的微塑料储蓄量是海洋中的 4~23 倍是 MPs 颗粒巨大的源头与汇集之处。由于微塑料具有疏水性、比表面极大的特性, 极易吸附土壤中 PAHs、重金属、PCBs [4]等污染物, 对陆地生态系统有着极大的负面影响。聚合物类型、材料密度、破碎后 MPs 的形状与尺寸以及 MPs 的老化程度等都是污染物吸附的重要决定因素。

2.2. 土壤中微塑料的分布与来源

截至目前, 微塑料的相关研究已几乎涵盖环境的各个领域, 但其主要集中在水和沉积物中, 其他介质与环境中的研究起步较晚、研究较少。纵观 Web of Science 与中国知网(CNKI)数据库查询到的近年来(2012~2022 年)有关微塑料的学术论文, 有关土壤环境中微塑料的研究主要集中在来源解析、赋存特征以及行为等特征。在全球范围内, 七大洲的土壤样品中均检测到微塑料。有关土壤微塑料分布的研究中亚州占比最大, 非洲的研究占比较少。研究中采集的土壤样品类型多样, 如海岸线、耕地、河岸森林缓冲带等。不同研究的微塑料丰度存在极大差异, Koutnik 等人统计表明: 不同地区微塑料的丰度可以变化多达 8 个数量级, 这与赋存因素和采样方法都有着极大关联。目前, 研究土壤微塑料分布常用的数据单位有两类: 数量浓度(N/kg)和质量浓度(mg/kg、 $\mu\text{g}/\text{kg}$)。除不同区域的赋存特征外, 分布的研究较多集中在垂直方向的研究, Lv 等人还研究了植物在土壤中的种植深度对垂直分布的影响。

一般来说, 土壤环境中的 MPs 由两大类组成: 初级 MPs 和次级 MPs。初级 MPs 是专门为某些特定用途而生产的, 通常添加到个人洗漱用品、化妆品、制药和工业磨料中, 这些 MPs 首先会进入水环境中, 再通过污水处理厂的排放, 最终进入土壤环境。次级 MPs 是由大型塑料在环境中通过光化学反应、机械磨损、风化或裂解产生的, 是土壤的主要来源。随着现代农业的飞速发展, 塑料制品被大量应用到种植、

施肥和农膜覆盖等工、农业活动和日常活动中。在这些来源中, 地膜是占比最大的来源之一, 尤其广泛存在于世界寒冷和干旱地区, 以到达保持适宜的温度和提高作物产量的目的。暴露在光照下, 结合耕作等机械力, 它们会破裂成尺寸较小的 MPs 进入土壤环境中, 特别是在地膜回收率较低的地域。

2.3. 微塑料对土壤环境的影响

MPs 的大量赋存不仅可以直接影响土壤理化性质还会对作物生长有着极大的负面影响。Machado 等人将四种常见类型(PP 纤维、PA 微珠、PE 和 PET 碎片)、不同浓度的 MPs 放置在壤质砂土中 5 周, 结果显示: MPs 不同程度地影响了土壤的容重等性质[4]。BOOTS 等人通过实验发现 HDPE 会使土壤 pH 值降低、也会影响土壤水稳性团聚体大小的分布。此外, MPs 的化学组成上含碳量相对较高, 土壤中碳氮比在 MPs 的作用下会有所增加, 微生物的固氮能力被提升, 这就使其他土壤微生物和植物的生长和养分吸收受到抑制, 根际微生物的活性变化也会受到影响[5]。

塑料制品在生产使用过程中会添加增塑剂、稳定剂、润滑剂等化学成分。这些添加剂会随着 MPs 的降解而被释放到土壤环境中导致作物生长受到阻碍。有研究表明: 邻苯二甲酸二丁酯(DBP)对辣椒果实中的维生素 C 和辣椒素含量和大白菜叶片中的叶绿素含量均产生了消极影响; PE (5%)和 PLA (1%)微塑料对土壤质量变化的敏感指标——DOC 含量没有显著影响, 而 Liu 等人发现高浓度 PP 微塑料(28%)具有促进水解酶活性的效果, 进而增加可溶性碳氮含量, 提高土壤养分。由此可见, 低浓度微塑料对 DOC 的形成影响程度较低, 而高浓度微塑料可以促进 DOC 的形成。相关实验也表明: MPs 会阻碍玉米和马铃薯对水分和养分等物质的吸收和利用, 也显著地改变了农作物的元素组成以及作物产量等[6]。除影响作物生长外, 还会威胁土壤生物的正常生长, 例如: 高浓度 MPs ($>90 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$)会显著影响寡毛类环节动物的繁殖能力; 白玉蜗牛摄食微塑料纤维表现出食量、排泄量减少[7], 胃肠壁绒毛明显损伤的现象; 蚯蚓受到 MPs 影响后肠道组织出现损伤, 还会出现诱导氧化应激并刺激神经毒性反应[8]; 甚至有研究发现 MPs 可以通过食物链进入人体内, 在成年人粪便和结肠切除标本中均检测到了 MPs, 这证实了微塑料可以被人类摄食, 影响人体内环境稳态、免疫系统等, 损害人体健康。微塑料作为环境污染物的载体, 具备吸附和转移如多环芳烃(PAHs)、杀虫剂和除草剂等有机污染物的能力[9], 并能够通过土壤动物和微生物的摄食在土壤食物链中积累, 使得毒性效应剧增。总而言之, MPs 对生态系统有着不同程度的影响, 但同时, 影响机制尚未清晰, 需要通过大量实验完善生物毒性效应的标准化研究, 并且应在原位土壤环境下建立农作物和微生物的微塑料剂量-效应关系, 评估不同剂量 MPs 对土壤理化性质、微生物和作物胁迫的响应。

3. 土壤中微塑料的预处理

土壤独特的团聚体结构使土壤中的动植物、微生物等物质与微塑料的结合更加紧密, 因此在分离提取土壤环境中的 MPs 时难度要更大。迄今为止土壤中 MPs 的分离技术主要有: 密度浮选、加压真空流体萃取、筛分过滤法等。密度浮选法是目前较为常用的一中提取方法。由于微塑料的密度(一般在 $0.8\sim 1.4 \text{ g}/\text{cm}^3$)与土壤的密度(一般为 $2.65 \text{ g}/\text{cm}^3$)差异较大, 因此利用 NaCl ($1.2 \text{ g}/\text{cm}^3$)、ZnCl₂ ($1.5\sim 1.7 \text{ g}/\text{cm}^3$), CaCl₂ ($1.5 \text{ g}/\text{cm}^3$)等饱和盐溶液对土壤样品中的微塑料进行密度浮选。在实验过程中, 由于 NaCl 溶液价格低、性质稳定, 常常被用来选作浮选盐溶液, 但由于溶液的浓度越高, 微塑料浓度的范围越大, 因此在提取高密度微塑料时, 通常选择密度高达 $1.5\sim 1.8 \text{ g}/\text{cm}^3$ 的饱和 NaI 与 ZnCl₂ 溶液, 以此提高提取的种类与效率。

由于土壤基质比其他介质更加复杂, 在提取土壤中微塑料时, 需要去除有机质, 保证 MPs 的计数与识别的准确性, 酸(HNO₃、HCl、HClO₃)、碱(NaOH、KOH)、氧化剂(H₂O₂)、酶等试剂对土壤样品进行

消解等方法。酸消解法是指利用强无机酸氧化并破坏化合物, 处理条件相对激烈, 是一种促使分子裂解的处理方式, 较早应用于沉积物和生物样品中有机物的去除, 根据提取的微塑料种类不同也应选择合适的酸进行消解。 HNO_3 因其消解效果优良, 是最常用的酸消解剂, 但在消解过程中会破坏 PET、PS、PA 等聚合物的表面基团、降低筛分丰度。HCl 属于非氧化性酸, 消解效率相对较低, 在消解有机物时通常不做选择。碱消解法相较于酸消解处理条件较为温和, Hurley [10] 等人于 2018 年研究比较了 10% NaOH 和 10% KOH 溶液在土壤微塑料分析中对有机物的去除效果, 结果发现, 使用 10% KOH 消解一天效果最好。同时他们也发现碱消解法对微塑料的形态结构影响较小, 但对有机物的去除能力也较低。酶消解法适用于废水和生物样品, 不会影响微塑料结构及微塑料含量且处理效率较高, 但因其成本较高, 去除土壤样品中有机物的效果有待验证, 因此较少使用在实验中。

4. 结论

本文介绍了微塑料污染状况、来源、预处理等概况, 并重点综述了最新研究中, 微塑料颗粒对生态环境的影响, 极大程度地引起人类对微塑料污染问题的重视, 呼吁人类关注土壤生态健康, 进一步对微塑料的污染机制进行研究。

参考文献

- [1] Rillig Matthias, C. (2012) Microplastic in Terrestrial Ecosystems and the Soil? *Environmental Science & Technology*, **46**, 6453-6454. <https://doi.org/10.1021/es302011r>
- [2] Thompson, R.C., *et al.* (2004) Lost at Sea: Where Is All the Plastic? *Science*, **304**, 838. <https://doi.org/10.1126/science.1094559>
- [3] Zhou, Y.F., Liu, X.N. and Wang, J. (2019) Characterization of Microplastics and the Association of Heavy Metals with Microplastics in Suburban Soil of Central China. *Science of the Total Environment*, **694**, Article ID: 133798. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133798>
- [4] Rummel, C.D., Jahnke, A., Gorokhova, E., *et al.* (2017) Impacts of Biofilm Formation on the Fate and Potential Effects of Microplastic in the Aquatic Environment. *Environmental Science & Technology Letters*, **4**, 258-267. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.7b00164>
- [5] Boots, B., Russell, C.W. and Green, D.S. (2019) Effects of Microplastics in Soil Ecosystems: Above and Below Ground. *Environmental Science & Technology*, **53**, 11496-11506. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b03304>
- [6] Wang, J., Liu, X., Li, Y., *et al.* (2019) Microplastics as Contaminants in the Soil Environment: A Mini-Review. *Science of the Total Environment*, **691**, 848-857. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.209>
- [7] Song, Y., Cao, C.J., Qiu, R., *et al.* (2019) Uptake and Adverse Effects of Polyethylene Terephthalate Microplastics Fibers on Terrestrial Snails (*Achatina fulica*) after Soil Exposure. *Environmental Pollution*, **250**, 447-455. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.04.066>
- [8] Chen, Y.L., *et al.* (2020) Defense Responses in Earthworms (*Eisenia fetida*) Exposed to Low-Density Polyethylene Microplastics in Soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **187**, Article ID: 109788. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109788>
- [9] Corcoran, P.L., Norris, T., Ceccanese, T., *et al.* (2015) Hidden Plastics of Lake Ontario, Canada and Their Potential Preservation in the Sediment Record. *Environmental Pollution*, **204**, 17-25. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.04.009>
- [10] Hurley, R.R., Lusher, A.L., Olsen, M. and Nizzetto, L. (2018) Validation of a Method for Extracting Microplastics from Complex, Organic-Rich, Environmental Matrices. *Environmental Science & Technology*, **52**, 7409-7417. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b01517>