

# 土壤中微塑料的污染防治综述

赵起越, 夏 夜, 沈秀娥

(北京市生态环境监测中心, 北京 100048)

**摘要:** 微塑料是一个新兴污染物, 也是当今全球关注的热点, 但有关土壤中微塑料的研究很少。对关于土壤中微塑料的来源、毒性及检测方法的相关文献及研究进行综述, 提出了土壤中微塑料的污染防治对策及需要开展的具体工作, 为土壤中微塑料的管控工作提供技术支持。

**关键词:** 土壤中微塑料; 毒性; 检测; 防治

自 20 世纪初以来, 塑料的开发应用使材料行业、基础资源及人们的日常生活发生了巨大变化, 全球每年生产塑料 3 亿 t 以上, 我国 2017 年产量就超过 7500 万 t<sup>[1-3]</sup>。由于塑料产品复用率低, 随着产量的增长, 塑料垃圾的产生量快速增加。据统计, 塑料垃圾占有所有固体废物的 85%, 其中 50% 由一次性塑料制品产生<sup>[4]</sup>。塑料不溶于水, 耐腐蚀, 但降解周期长, 回收成本较高, 所以大部分废塑料被填埋或随意丢弃。废弃塑料在自然环境中经紫外线照射、机械磨损或生物降解, 体积逐渐变小, 比表面积逐渐增大。国际上规定粒径小于 5 mm 的塑料为微塑料。由于体积小, 比表面积大, 微塑料对污染物吸附能力很强, 也容易被动物误食, 进入食物链, 引发严重的人体健康问题, 近些年, 微塑料污染受到国际社会越来越多的关注<sup>[5-8]</sup>。目前, 对水体中的微塑料研究较多<sup>[9-10]</sup>, 对陆地、土壤中的微塑料污染关注较少, 相关研究表明: 水体中的微塑料大部分来源于陆地塑料垃圾, 土壤中的塑料垃圾比海洋中多几倍至几十倍, 由此产生的微塑料污染可达 40 万 t<sup>[11-12]</sup>。

土壤中的微塑料会改变土壤的理化性质及物质循环, 如改变土壤对氮、磷等的吸收, 使土壤的结构和容量发生变化, 从而影响动、植物的生长发育及土壤生物多样性, 对土壤生态系统产生严重的负面影响。由于基体比较复杂, 土壤中微塑料的采

样、分析难度较大, 现有的水体及底泥的分析方法及评价模式也不适合土壤, 导致现在土壤中微塑料的研究报道很少, 基础数据几乎空白<sup>[13-14]</sup>。

近期, 陆地塑料垃圾的污染问题得到国际社会的重视, 我国于 2008 年颁布了《限塑令》, 10 年后, 又禁止国外进口除再生聚酯之外的一切塑料, 对废塑料的管控力度逐渐加大<sup>[15-17]</sup>, 土壤中微塑料的污染防治工作将成为生态环境保护的热点。我们参考了最新国内外技术及法规文献, 从土壤中微塑料的来源、毒性、检测手段和防控措施方面进行了综述, 对近期需要优先开展的工作进行细化梳理, 以期对管理部门进行土壤中微塑料的管控工作提供技术支持。

## 1 微塑料的来源及土壤微塑料的检测方法

### 1.1 土壤中微塑料的来源

农用地土壤污染与人体健康关系密切, 因此其微塑料污染的关注度相对较高, 如美国、欧洲及澳大利亚等地区, 把土地的塑料负荷作为农业生态系统风险管控不可或缺的要素<sup>[18]</sup>。污水处理厂的底泥通常可以作为土壤肥料, 研究表明: 市政污水处理厂对污水中微塑料的处理能力达 90% 以上, 而去除的微塑料均进入到污水厂底泥中, 在施肥时随着污泥进入土壤<sup>[19-21]</sup>。以这种方式引入土壤的微塑料欧洲每年有 6.3 万 ~ 43 万 t, 北美有 4.4 万 ~ 30 万 t<sup>[11, 18]</sup>。

农膜可以保持土地温度、控制杂草生长、减少水分蒸发并改良作物性能, 农膜材质以聚乙烯及聚氯乙烯为主, 厚度在 6 ~ 20  $\mu\text{m}$  之间, 由于环保意识淡薄, 作物生长周期结束后, 田地里会遗留许

收稿日期: 2020-03-01; 录用日期: 2020-05-01

基金项目: 北京市土壤环境质量监测体系完善课题。

作者简介: 赵起越 (1968-), 女, 北京人, 教授级高级工程师, 硕士, 研究方向为环境污染物的监测分析与评价。E-mail: qiyuezhao@126.com。

多废旧的农膜, 它们大小和深浅位置不一, 难以降解, 成为农用地土壤微塑料污染的重要来源。我国、日本和韩国农业覆膜使用较多, 而随着覆膜栽培技术的推广, 全球农膜的使用量与日俱增, 据报道我国自 2006 年至 2015 年, 农膜的使用量由 185 万 t 增至 260 万 t<sup>[22-23]</sup>, 因此, 废弃农膜产生的微塑料污染也越来越严重。

另外, 有机肥的施用也会带来微塑料污染。研究表明: 市政固体废物、人畜排泄物等均含有塑料或微塑料, 在堆肥生产中经降解、磨损、混合, 最终随施肥进入土壤。21 世纪初, 人们就在施用的有机肥中发现了不同粒径的塑料, 包括聚乙烯、塑料纤维、聚苯乙烯泡沫等, 占总重量的 5% 左右。世界各地对有机肥的质量和用量有不同的规定, 比如澳大利亚肥料中塑料的重量比为 0.5%, 等同于一公顷农田中含有 5 t 塑料<sup>[24]</sup>。我国有机肥年产量 2500 万 t, 施用量 2200 万 t, 因此有机肥施用造成土壤中的微塑料污染会更加严重<sup>[25]</sup>。

除此以外, 灌溉也是农田土壤微塑料的来源之一, 据统计, 全球灌溉面积达 270 hm<sup>2</sup>, 不管使用市政污水灌溉, 还是使用地表水(河、湖等)、地下水灌溉, 其水体中的微塑料均会随之进入土壤。不同水体的微塑料含量差异很大<sup>[23-27]</sup>, 污水及地表水大部分均有检出微塑料, 地下水也有被污染的趋势, 有的水体浓度很高, 比如, 我国长江口灌溉水中微塑料最高达到  $6.6 \times 10^3$  个/m<sup>3</sup>, 太湖水中微塑料丰度为  $3.4 \times 10^3 \sim 25.8 \times 10^3$  个/m<sup>3</sup><sup>[28-29]</sup>。

塑料生产使用或市政、工业垃圾填埋场也会造成土壤中的微塑料污染。塑料生产或使用中, 有时出现道路遗洒、废品处理不当等都会导致附近土壤被微塑料污染<sup>[30]</sup>。市政垃圾填埋场的塑料垃圾, 如衣服上的纤维、个人护理品中的玻璃微球、塑料包装物等均含有塑料或微塑料。大多数填埋场的使用寿命是几十年, 而塑料完全降解需要上百年, 因此, 废塑料不适合使用填埋方式进行处理<sup>[31]</sup>。然而, 出于种种原因, 塑料产品的填埋处理现在还没有废止, 有时塑料垃圾填埋量还超过设计负荷; 更有甚者, 有些地区因监管不利, 塑料垃圾随意丢弃现象严重, 导致大量废塑料被丢弃在荒野空地, 造成严重的土壤微塑料污染<sup>[32]</sup>。

除此以外, 道路上轮胎摩擦、建筑空地防尘网的覆盖等都会带来土壤的微塑料污染。大气颗粒物的长距离传输及沉降也是土壤微塑料污染的来源

之一<sup>[33-35]</sup>。

土壤中的微塑料分为初级微塑料和次级微塑料, 在土壤中两者很难分清。初级微塑料是直接排入土壤的微塑料, 如上述污水厂污泥带入的微塑料; 次级微塑料是经初级微塑料分解形成的, 如一些废弃塑料经光照、磨损、动物消化等变成微塑料进入土壤。

## 1.2 土壤中微塑料的检测

目前, 环境基体中微塑料的检测以水体为主, 有关海洋、底泥和海洋动物中的微塑料分析报道很多, 但土壤中的微塑料报道很少。土壤中的微塑料采集没有标准, 文献中报道的采样方法多种多样, 数据结果可比性不高<sup>[36]</sup>。采集到的土壤样品必须先经过分离才能进行检测。分离方法有密度浮选、筛分、加压溶剂萃取、酸碱消解法等, 土壤基体复杂, 含有大量有机质、有机纤维、砂石、黏土等, 其中有些物质与微塑料的密度相当, 使用密度萃取法不能进行较好的分离; 使用酸、碱溶液消解法虽然可去除有机质干扰, 但有时也会将微塑料消除; 加速溶剂萃取法会破坏微塑料的形态, 使后续溯源工作难度增加。在实际应用中, 可以根据实际情况选择分离方法, 同时对方法中的所有参数进行优化, 确定获得最佳分析结果后才可以使用<sup>[37-39]</sup>。

分离后的微塑料使用显微镜或电镜识别尺寸和形状, 使用傅里叶变换红外光谱或拉曼光谱进行化学结构的定性定量分析, 另外, 热解-气相色谱-质谱联用或热解析-气相色谱-质谱联用等技术也有应用。在这些方法中, 傅里叶红外光谱法可以通过特征光谱的指纹范围, 识别微塑料的种类, 应用较多, 但纳米级的微塑料不能使用红外光谱检测; 热解-气相色谱-质谱联用技术误判率较高, 且无法得到微塑料的粒径分布及颗粒数量的信息; 目视法灵敏度较低; 电镜法可能存在电荷效应产生误差等。因此土壤中微塑料使用的检测方法也需根据实际情况进行筛选<sup>[40-43]</sup>。

## 2 微塑料对土壤生物毒性效应

微塑料的生物毒性早有研究, 但大多数集中在海洋及河湖水体<sup>[44-45]</sup>, 有关土壤中微塑料的生物毒性研究很少, 微塑料的毒性分成如下两部分。

### 2.1 微塑料本身的毒性

微塑料体积较小, 易被动物误食, 对其肠道组

织造成物理损伤,严重的会阻塞消化道,降低动物的摄食率,影响生长发育;纳米级的微塑料会进入植物体,遮挡阳光,影响植物对水分和养分的运输,不仅对其生长发育产生影响,还会对人类健康构成威胁<sup>[46-52]</sup>。研究表明:微(纳米)级的微塑料易于在生物体和细胞内积累,引起生物代谢紊乱和局部发炎,造成细胞核分子层面的毒性<sup>[53]</sup>。

另外,微塑料中含有增塑剂、添加剂、阻燃剂等,如邻苯二甲酸酯类、双酚 A 等内分泌干扰物质,一旦动物摄食了微塑料,这些物质会释放出来,使动物的器官和组织发生化学损伤,对神经系统及生殖发育等都会产生不良影响<sup>[54-56]</sup>。类似的效应也体现在土壤植物上,研究表明:农田中的残留农膜会抑制小麦种子的萌发,并影响幼芽的生长发育<sup>[50-52]</sup>。

## 2.2 微塑料与其它物质的联合作用

微塑料粒径小,比表面积很大,在形成过程中表面通常带有缺损,极易吸附其它物质,如重金属、持久性有机污染物及其它有毒物质,并在表面进行富集。重金属、多环芳烃、多氯联苯、农药、抗生素等物质都是已知的致死、致畸、致突变毒性化合物,它们与微塑料结合后,通过协同作用产生联合毒性,对生物体的伤害更大<sup>[57-59]</sup>。微塑料进入生物体后将吸附的有毒物质释放出来,引起生物分子学、组织学、细胞学以及行为学等的改变,使土壤微生物群落活性降低,繁殖发育受到影响,甚至造成 DNA 损伤,产生癌变,有的可直接导致生物体死亡<sup>[60-61]</sup>。除此以外,微塑料上的生物膜可以为细菌和一些致病菌提供繁殖场所,通过食物链等途径增加生物和人类的曝露风险<sup>[62-63]</sup>。

## 3 土壤中微塑料的防治对策

土壤中微塑料数量大,降解时间长,危害大,修复困难,因此,土壤中微塑料的污染防治宜采取源头控制为主的对策。2015 年至 2018 年期间,许多国家纷纷颁布法律法规限制和禁止不可降解塑料的生产,如美国 2015 年颁布的《无微珠水域法案》中规定至 2017 年 7 月 1 日起,禁止在美国境内生产和销售添加了塑料微珠的清洁类化妆品。英国承诺在 2042 年前消除所有可避免的塑料垃圾。我国也在 2008 年实施了《限塑令》,明确规定在全国范围内不得生产、销售使用厚度小于 0.025 mm 的

塑料袋。2018 年,随着电子商务快递的发展,我国发布了《快递封装用品》系列国家标准,要求快递包装袋采用生物降解塑料,避免过度包装<sup>[15-17]</sup>。

其次,对塑料垃圾进行妥善处置,完善塑料垃圾的管理。比如禁止塑料垃圾的随意丢弃,逐渐减少塑料垃圾的填埋量,鼓励废塑料的回收利用。现在废塑料回收的工艺逐渐成熟,许多方案设备简单,经济实用,但在一些落后国家或地区,塑料回收还只停滞在科研阶段,没有进一步形成有资金链保证的长期稳定的运转模式。为了顺应全球“减塑、限塑,甚至禁塑”的趋势,突破废塑料管控的瓶颈,行政部门应按照国家法律法规要求,使用经济手段,结合市场机制,促进塑料垃圾的减量化工作。如提高塑料的使用成本,要求塑料制品贴上耐久度及回收率标签,规范塑料回收技术,对于进行废塑料回收的项目优先审批,发放补助等。另外,大力支持可降解塑料的研发工作,鼓励使用环境友好的材料代替传统塑料。对于使用可降解材料的企业实行优惠政策,减税补贴,引导厂商减少塑料的产量<sup>[64-65]</sup>。

除此以外,还应开发受污染土壤的修复技术,并提升公众对微塑料污染的防范意识,形成全社会减少消费塑料制品的风气,促进塑料制造业的可持续发展。

## 4 土壤微塑料污染防治应优先开展的工作

### 4.1 建立并规范土壤中微塑料的采样分析方法

水体和底泥由于基体与土壤不同,其分析方法不能完全适用于土壤中微塑料的分析。土壤基体复杂,其中微塑料的测定涉及丰度、粒径、种类判定等方面。建立统一规范的土壤中微塑料采样分析方法是摸清土壤微塑料污染底数的基础,也是进行风险评估,完善法律法规的依据。该方法体系必须统一、规范,并可以与水体和大气中微塑料的分析接轨,以便于各种环境基体的数据比较,进行溯源研究。

### 4.2 开展土壤中微塑料的生物毒性研究

现在的生物毒性研究大多处于实验室实验阶段,实验物种少,污染剂量高,研究时间短,以后的毒性研究应在实际土壤环境中进行,增加长期效应数据,并结合基因组学、代谢组学等分子生物学技术,研究土壤中微塑料的生物毒性机理及对整个土壤生态系统的影响,提出土壤环境中微塑料残留

的参考标准。

#### 4.3 进行土壤微塑料在食物链中传递的研究

塑料中携带很多有机和无机污染物、致病菌等,通过土壤动物或植物进入食物链,最终可能被人类摄取。研究微塑料及其携带污染物在食物链中的传递规律,探明人类对其的暴露途径,为以后制定相应标准阈值、保护人体健康和生命安全奠定基础。

#### 4.4 完善法律法规

现有的土壤微塑料管控方面的法律法规不能满足微塑料污染防治的要求,应尽快建立健全法律法规,强化法律的可执行性及时效性,尤其侧重废塑料的管理,大力推广废塑料回收再生技术,搞活市场,加大公众参与力度,促进塑料产业的绿色发展。

#### 4.5 开发土壤修复技术

世界上大量的土地已经被微塑料污染,在减少塑料产量的同时,还要研发新型的土地修复技术,让被污染的土地得以恢复,彻底阻断微塑料对地下水的污染通道,保护饮用水源的安全。

研究发现:陆地土壤中的微塑料是环境介质中微塑料污染的重要来源,土壤中的微塑料不仅通过对生物的不利影响破坏土壤生态系统,还可通过食物链传递,对人体健康构成威胁<sup>[66]</sup>。土壤中的微塑料污染是持久性的,而人们对此的认知却非常有限,检测方法也不够成熟,污染防控措施基本空白。我国作为发展中的农业大国,土壤中微塑料的污染非常严重。目前,急需着手进行土壤中微塑料的调查研究,开发实用的采样分析方法,实施有效的污染防治措施,如源头控制、市场调节、经济补偿等,以促进绿色循环的塑料产业发展,削减微塑料对土壤的污染,为全球生态系统的可持续发展创造条件。

#### 参考文献:

- [1] 张思梦, 查金, 孟伟, 等. 环境中塑料及其对人体健康的影响 [J]. 中国塑料, 2019, 33 (4): 81-88.
- [2] Geyer R, Jambeck J R, Law K L. Production, use, and fate of all plastics ever made [J]. *Science Advances*, 2017, 3 (7): e1700782.
- [3] 中国塑料加工工业协会. 中国塑料加工工业 [J]. 中国塑料, 2018, 32 (4): 1-5.
- [4] 颜毓洁, 王艳. 全球掀起“禁塑”风暴 [J]. 生态经济, 2019, 35 (1): 1-4.
- [5] 杨璐, 许超, 张智力, 等. 微塑料的研究进展 [J]. 绿色包装, 2018 (9): 63-66.
- [6] Wright S L, Kelly F J, Sciences A E, et al. Plastic and human health: a micro issue? [J]. *Environmental Science & Technology*, 2017, 51 (12): 6634-6647.
- [7] Zhao J, Ran W, Teng J, et al. Microplastic pollution in sediments from the Bohai Sea and the Yellow Sea, China [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 640-641: 637-645.
- [8] Jambeck J R, Geyer R, Wilcox C, et al. Plastic waste inputs from land into the ocean [J]. *Science*, 2015, 347: 768-771.
- [9] 李爱峰, 李方晓, 邱江兵, 等. 水环境中微塑料的污染现状、生物毒性及控制对策 [J]. 中国海洋大学学报, 2019, 49 (10): 88-100.
- [10] Seoane M, González-Fernández C, Soudant P, et al. Polystyrene microbeads modulate the energy metabolism of the marine diatom *Chaetoceros neogracile* [J]. *Environmental Pollution*, 2019, 251: 363-371.
- [11] Nizzetto L, Futter M, Langaas S. Are agricultural soils dumps for microplastics of urban origin? [J]. *Environmental Science & Technology*, 2016, 50 (20): 10777-10779.
- [12] Browne M A, Crump P, Niven S J, et al. Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks [J]. *Environmental Science & Technology*, 2011, 45, (21): 9175-9179.
- [13] Rillig M C. Microplastic in terrestrial ecosystems and the soil? [J]. *Environ Sci Technol*, 2012, 46: 6453-6454.
- [14] Corradini F, Bartholomeus H, Lwanga E H, et al. Predicting soil microplastic concentration using vis-NIR spectroscopy [J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 650: 922-932.
- [15] 鲁晶晶. 美国联邦海洋垃圾污染防治立法及其借鉴 [J]. 环境保护, 2019, 47 (19): 56-60.
- [16] 杨亚卓, 张虹. 环境中微塑料的源头管控 [J]. 中小企业管理与科技, 2019 (2): 164-165, 167.
- [17] 胡裕岭. 欧盟通过禁塑法令 [J]. 检查风云, 2019 (1): 50-51.
- [18] Ng E L, Lwanga E H, Eldridge S M, et al. An overview of microplastic and nanoplastic pollution in agroecosystems [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 627: 1377-1388.
- [19] Willén A, Junestedt C, Rodhe L, et al. Sewage sludge as fertilizer—environmental assessment of storage and land application options [J]. *Water Science and Technology*, 2017, 75 (5): 1034-1050.
- [20] Mason S A, Garneau D, Sutton R, et al. Microplastic pollution is widely detected in US municipal wastewater treatment plant effluent [J]. *Environmental Pollution*, 2016, 218: 1045-1054.
- [21] Bayo J, Olmos S, Alcolea A, et al. Microplastics and microfibers in the sludge of a municipal wastewater treatment plant [J]. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 2016, 11 (5): 812-821.

- [22] Brodhagen M, Goldberger J R, Hayes D G, et al. Policy considerations for limiting unintended residual plastic in agricultural soils [J]. *Environmental Science & Policy*, 2017, 69: 81–84.
- [23] 严昌荣, 刘恩科, 舒帆, 等. 我国地膜覆盖和残留污染特点与防控技术 [J]. *农业资源与环境学报*, 2014, 31 (2): 95–102.
- [24] AS4454, 2012, Australian standard composts, Soil conditioners and mulches [S].
- [25] Murphy F, Ewins C, Carbonnier F, et al. Wastewater treatment works (WwTW) as a source of microplastics in the aquatic environment [J]. *Environmental Science & Technology*, 2016, 50 (11): 5800–5808.
- [26] 杨帆, 李荣, 崔勇, 等. 我国有机肥料资源利用现状与发展建议 [J]. *中国土壤与肥料*, 2010 (4): 77–82.
- [27] 许霞, 侯青桐, 薛银刚, 等. 污水厂中微塑料的污染及迁移特征研究进展 [J]. *中国环境科学*, 2018, 38 (11): 4393–4400.
- [28] Zhao S, Zhu L, Wang T, et al. Suspended microplastics in the surface water of the Yangtze estuary system, China: first observations on occurrence, distribution [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2014, 86 (1–2): 562–568.
- [29] Su L, Xue Y, Li L, et al. Microplastics in Taihu lake, China [J]. *Environmental Pollution*, 2016, 216: 711–719.
- [30] Fuller S G, Gautam A. A procedure for measuring microplastics using pressurized fluid extraction [J]. *Environmental Science & Technology*, 2016, 50: 5774–5780.
- [31] 赵胜利, 黄宇生, 朱照宇. 塑料废弃物污染的综合治理研究进展 [J]. *生态环境*, 2008, 17 (6): 2473–2481.
- [32] 邓义祥, 雷坤, 安立会, 等. 我国塑料垃圾和微塑料污染源头控制对策 [J]. *中国科学院院刊*, 2018, 33 (10): 1042–1051.
- [33] Dris R, Gasperi J, Saad M, et al. Synthetic fibers in atmospheric fallout a source of microplastics in the environment? [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2016, 104 (1–2): 290–293.
- [34] 周倩, 田崇国, 骆永名. 滨海城市大气环境中发现多种微塑料及其沉降通量差异 [J]. *科学通报*, 2017, 62 (33): 3902–3909.
- [35] 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.
- [36] 汤庆峰, 李琴梅, 魏晓晓, 等. 环境样品中微塑料分析技术研究进展 [J]. *分析测试学报*, 2019, 38 (8): 1009–1019.
- [37] 范玉梅, 石佳颖, 高李璟. 土壤中微塑料的来源及检测 [J]. *化工时刊*, 2019, 33 (6): 28–31.
- [38] Bläsing M, Wulf A. Plastics in soil: Analytical methods and possible sources [J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 612: 422–435.
- [39] Souza A A, Machado D S, Wai C, et al. Impacts of microplastics on the soil biophysical environment [J]. *Environmental Science & Technology*, 2018, 52 (17): 9656–9665.
- [40] Green D S, Boots B, O'Connor N E, et al. Microplastics affect the ecological functioning of an important biogenic habitat [J]. *Environmental Science & Technology*, 2017, 51 (1): 68–77.
- [41] Shan J J, Zhao J B, Liu L F, et al. A novel way to rapidly monitor microplastics in soil by hyperspectral imaging technology and chemometrics [J]. *Environmental Pollution*, 2018, 238: 121–129.
- [42] Hidalgo-Ruz V, Gutow L, Thompson R C, et al. Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification [J]. *Environmental Science & Technology*, 2012, 46 (6): 3060–3075.
- [43] 王强强, 宁保安, 梁俊. 环境中包装材料微塑料的检测及其研究进展 [J]. *包装工程*, 2019, 40 (13): 116–122.
- [44] Basto M N, Nicastro K R, Tavares A I, et al. Plastic ingestion in aquatic birds in Portugal [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2019, 138: 19–24.
- [45] Syakti A D, Jaya J V, Rahman A, et al. Bleaching and necrosis of staghorn coral (*Acropora formosa*) in laboratory assays: Immediate impact of LDPE microplastics [J]. *Chemosphere*, 2019, 228: 528–535.
- [46] Lwange E H, Gertsen H, Gooren H, et al. Microplastics in the terrestrial ecosystem: Implications for *lumbricus terrestris* (Oligochaeta, Lumbricidae) [J]. *Environ Sci Technol*, 2016, 50 (5): 2685–2691.
- [47] 屈沙沙, 朱会卷, 刘锋平, 等. 微塑料吸附行为及对生物影响的研究进展 [J]. *环境卫生学杂志*, 2017, 7 (1): 75–78.
- [48] 刘沙沙, 付建平, 郭楚玲, 等. 微塑料的环境行为及毒性研究 [J]. *农业环境科学学报*, 2019, 38 (5): 957–969.
- [49] Nizzetto L, Bussi G, Futter M N, et al. A theoretical assessment of microplastic transport in river catchments and their retention by soils and river sediments [J]. *Environmental Science Processes & Impacts*, 2016, 18 (8): 1050–1059.
- [50] 骆永明, 周倩, 章海波, 等. 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.
- [51] Rillig M C, Ziersch L, Hempel S. Microplastic transport in soil by earthworms [J]. *Scientific Reports*, 2017, 7 (1): 1362.
- [52] Liu E K, He W Q, Yan C R. ‘White revolution’ to ‘white pollution’: Agricultural plastic film mulch in China [J]. *Environmental Research Letters*, 2014, 9 (9): 091001.
- [53] 杨婧婧, 徐笠, 陆安祥. 环境中微(纳米)塑料的来源及毒理学研究进展 [J]. *环境化学*, 2018, 37 (3): 383–396.
- [54] 张擎擎, 张胥, 邹亚丹, 等. 微塑料与有机污染物的相互作用研究进展 [J]. *生态毒理学报*, 2018, 13 (1): 40–49.
- [55] 嘉怿. 为了生态, 减塑、限塑乃至禁塑 [J]. *上海质量*, 2019 (6): 74–75.
- [56] Wang J, Lv S, Zhang M, et al. Effects of plastic film residues on occurrence of phthalates and microbial activity in soils [J]. *Chemosphere*, 2016, 151: 171–177.

- [ 57 ] Rios L M, Moore C, Jones P R. Persistent organic pollutants carried by synthetic polymers in the ocean environment [ J ]. *Marine Pollution Bulletin*, 2007, 54 ( 8 ): 1230-1237.
- [ 58 ] Bakir A, Rowland S J, Thompson R C. Enhanced desorption of persistent organic pollutants from microplastics under simulate physiological conditions [ J ]. *Environmental Pollution*, 2014, 185: 16-23.
- [ 59 ] 邹亚丹, 张擎擎, 张弢, 等. 微塑料与农药污染的联合毒性作用研究进展 [ J ]. *生态毒理学报*, 2017, 12 ( 4 ): 25-33.
- [ 60 ] Batel A, Linti F, Scherer M, et al. Transfer of benzo [ a ] pyrene from microplastics to *Artemia nauplii* and further to zebrafish via a trophic food web experiment: CYPIA induction and visual tracking of persistent organic pollutants [ J ]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2016, 35 ( 7 ): 1656-1666.
- [ 61 ] 包旭辉, 闫振华, 陆光华. 我国淡水中微塑料的污染现状及生物效应研究 [ J ]. *水资源保护*, 2019, 35 ( 6 ): 115-123.
- [ 62 ] Syberg K, Khan F R, Selck H, et al. Microplastics: addressing edolgical risk through lessons learned; Microplastics ecological risk [ J ]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2015, 34 ( 5 ): 945-953.
- [ 63 ] Oberbeckmann S, Kreikemeyer B, Labrenz M. Environmental factors support the formation of specific bacterial assemblages on microplastics [ J ]. *Frontiers in Microbiology*, 2017, 8: 2709.
- [ 64 ] 王佳佳, 梁善媛, 刘妹蕾, 等. 废弃塑料对环境的负面影响及对策分析 [ J ]. *农村经济与科技*, 2019, 30 ( 16 ): 1-2.
- [ 65 ] 曹磊, 王璟. 运用市场机制推进我国塑料污染治理的建议 [ J ]. *塑料包装*, 2019, 29 ( 2 ): 36-39.
- [ 66 ] de Souza Machado A A, Kloas W, Zarfl C, et al. Microplastics as an emerging threat to terrestrial ecosystems [ J ]. *Global Change Biology*, 2018, 24 ( 4 ): 1405-1416.

### Overview of pollution prevention and control of microplastics in soil

ZHAO Qi-yue, XIA Ye, SHEN Xiu-e ( Beijing Municipal Eco-Environmental Monitoring Center, Beijing 100048 )

**Abstract:** Microplastics are an emerging pollutant and a hot spot in the world today, but there are few researches on microplastics in soil. Suminarize the relevant literature and research on the sources, toxicity and determination of microplastics in soil, put forward the pollution prevention and control countermeasures of microplastics in soil and specific work that needs to be carried out, and provide technical support for the management and control of microplastics in soil.

**Key words:** microplastics in soil; toxicity; determination; prevention and control