

土壤环境中微塑料的研究进展

夏菲菲

东北师范大学环境学院

DOI:10.12238/eep.v5i3.1566

[摘要] 微塑料污染近年来受到广泛关注,但对土壤中微塑料的相关研究较少。本文综述了土壤中微塑料的分类和来源,总结了其对土壤环境的影响,主要有改变土壤性质、影响污染物迁移转化、对土壤动植物产生毒性作用等。最后,对土壤微塑料的研究方向和重点进行了展望。

[关键词] 微塑料; 土壤环境; 土壤植物; 土壤动物

中图分类号: Q938.1+3 文献标识码: A

Recent advances of microplastics in soil environment

Feifei Xia

School of environment, Northeast Normal University

[Abstract] Microplastics pollution has attracted much attention in recent years, but there are few researches on microplastics in soil ecosystem. In this paper, the classification and sources of soil microplastics were reviewed, and the effects of soil microplastics were summarized, including changing the soil properties, affecting the migration and transformation of soil contaminations, and causing ecotoxicity to soil flora and fauna. Finally, the directions and emphasis for future research of soil microplastics were prospected.

[Key words] microplastics; soil ecosystem; soil flora; soil fauna

引言

塑料是以石油中提取的单体为原料,通过聚合反应合成的有机高分子化合物,是日常生产生活中常见的合成材料之一^[1]。塑料具有低价格、易生产、多种类、耐水耐高温等良好性质。塑料产品给生产生活带来了许多便利,但同时人们对塑料制品的滥用和不规范处理对环境造成了很大的破坏。大量的塑料使用后被随意丢弃,只有少量的能被回收利用。

环境中大块的塑料,经过紫外线辐射、碰撞磨损、水解作用、土壤侵蚀或生物作用,破碎成粒径较小的塑料颗粒,通常认为粒径<5mm的塑料颗粒称为微塑料^[2]。

1 微塑料的分类及来源

根据不同的生产方式和目的,环境中的微塑料可以分成初生微塑料和次生微塑料两类。初生微塑料主要是指在生产过程中被制成的微米级的塑料颗粒。如个人护理品(PCPs)、清洁用品和工业产品中添加的原始粒径小于5mm的塑料微珠和塑料纤维等。河流、污水处理厂是初生微塑料进入环境的主要途径。全球每年约有1500t用于个人护理品生产的微塑料通过污水处理厂排入水环境中。次生微塑料是由大型塑料垃圾经过破碎和降解形成的体积较小的塑料颗粒^[3]。次生微塑料是造成环境微塑料污染的主要原因。土壤等陆地生态系统作为微塑料的汇,容易受到塑料污染的影响。土壤中塑料的主要来源包括有机肥

施用、农用地膜残留、污水灌溉、以及大气沉降等。

1.1 有机肥滥用导致的土壤微塑料污染

有机肥在农业生产中应用广泛。而微塑料通过有机肥施用进入土壤环境中的相关研究缺乏,多是针对粒径>5mm的塑料颗粒,对于更小的粒径的微塑料污染情况还没有详细的说明。我国拥有广阔的农业用地,有机肥消耗量巨大,每年的施用量约有2200万t,有研究表明,堆肥中的微塑料含量为2.38-1200mg/kg^[4]。据此估计,我国每年通过有机肥输入土壤中的微塑料约为52.4-26400t。近年来,污泥作为土壤改良剂,其农业利用率正逐年提高,而经过污水处理后约98.3%的微塑料会积累在污泥中,通过农田污泥堆肥进入土壤。

1.2 废弃农用地膜导致的土壤微塑料污染

农用地膜可以显著提高作物产量和水分利用效率,地膜覆盖技术在我国得到极大的推广应用。据报道,仅2017年我国农用塑料薄膜的消费量超过147万t。研究指出,覆盖地膜的土壤中的微塑料含量高达18760个/kg。残膜回收率低是农业土壤中微塑料持续积累的重要原因,Huang等对中国19个省384个土壤样品进行了分析,发现土壤样品中大型塑料碎片(>5mm)的平均浓度为83.6kg/ha。这些地膜残片在物理、化学、生物作用下进一步分裂形成微塑料,并且随时间推移向深层垂直迁移。我国新疆的棉田长期使用地膜覆盖,其0-40cm土层中均检测到微塑料的

存在。因此长时间大量使用塑料农膜,不可避免地会使废弃农膜在土壤中残留累积,向土壤中持续输入微塑料污染物。

1.3 灌溉用水导致的土壤微塑料污染

许多研究表明,地表水受到微塑料的污染,水体中存在大量的微塑料,Xiong等研究发现,在长江中下游河段,平均每平方公里水域内微塑料个数高达 4.92×10^5 。此外,微塑料还被证明存在于许多的内陆湖泊中。用受污染的水源进行灌溉会将其引入土壤。此外,世界范围内,特别是一些缺水国家,农业上污水灌溉现象十分普遍。由于微塑料粒径太小,即使经过了污水处理也无法完全去除,因此许多微塑料会随着污水进入农田。由此可见,无论是湖泊河流还是污水中都会掺杂许多微塑料,造成土壤微塑料污染。

1.4 大气沉降导致的土壤微塑料污染

土壤微塑料的另一个重要源是大气沉降。大气中的许多微塑料来自于纺织纤维,轮胎,灰尘等,Dris等对巴黎城区中调查发现,巴黎地区日大气沉降微塑料丰度最高可达 $355 \text{个}/\text{m}^2$,每年沉降的微塑料至少为 3t 。Yukioka等对越南岷港道路扬尘中的微塑料进行了丰度调查,扬尘中粒径 $<5 \text{mm}$ 的微塑料丰度为 $19.7 \pm 13.7 \text{个}/\text{m}^2$ 。此外,垃圾以及其他沉积物等在自然环境和人类活动影响下破碎解离,产生微塑料颗粒和纤维,这些微塑料可以通过大气沉降进入土壤。

2 微塑料对土壤的影响

2.1 微塑料对土壤理化性质的影响

土壤是绿色植物生长的基地,由地球表面的岩石经风化发育而成。土壤处于大气圈、岩石圈、水圈、生物圈之间的过渡带,是联系有机界和无机界的中心环节。同时,土壤也是各种污染物的最大承受者。微塑料进入土壤后,会改变土壤颗粒之间的库仑力和范德华力,进而可能破坏土壤团聚体的结构。de Souza Machado等研究表明,微塑料对土壤团聚体的变化有一定的影响,会改变其容重、水力特征、土壤结构等。引起微塑料污染土壤的容重变化的原因可能是,微塑料的密度通常比土壤矿物的密度小。塑料薄膜可以改变土壤孔隙度,从而增加土壤水分的蒸发速度,导致土壤开裂。Liu等研究证明,当大量微塑料存在时,可能会降低土壤氧气含量,使土壤处于缺氧环境。微塑料的积累还可能影响土壤生态系统的养分循环过程。研究发现,微塑料的添加可以促进土壤可溶性养分有机碳、氮、磷积累。

2.2 微塑料对土壤中污染物迁移转化的影响

由于微塑料具有较大的表面积和疏水性,能够将重金属和疏水性有机污染物等有毒化学物质集中在其表面,成为污染物在环境中的载体,进而影响污染物在土壤中的迁移转化行为。近年来的研究表明,土壤环境中,Pb、Cd、Cr、Cu、Ag、Fe、Sb、Hg、Mn均可在微塑料上积累。不同种类微塑料对特定的重金属具有亲和力,Abbasi等发现聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)微塑料对植物根际中Pb、Cd和Zn积累最多。微塑料在自然环境中经过长时间的风化、磨损和光氧化过程后,其对重金属的吸附能力显著增强。微塑料对重金属的吸附可以进一步导致更复杂的毒理

效应,如农用地膜形成的微塑料能增强Cd的流动性,从而增大Cd的毒性。微塑料对疏水性有机污染物同样有积累作用。研究发现,土壤中聚乙烯薄膜残留中积累的农药远高于土壤颗粒。老化的微塑料表面存在微裂纹和氧化现象,更大的比表面积使老化微塑料对农药的吸附能力强于原始微塑料。因此,土壤中塑料薄膜和农药的残留问题需要更多关注。此外,塑料在破碎降解过程中也会释放有毒的添加剂,对洁净土壤产生污染。

2.3 微塑料对土壤植物的影响

植物是土壤生态系统的重要组成部分,土壤环境必然影响植物生长。微塑料、其吸附的污染物以及塑料添加剂可以作用于植物体,产生毒性效应。微塑料对陆生植物的影响取决于微塑料的类型、大小和浓度等。Bosker等人的研究发现,微塑料阻塞水芹(*Lepidium sativum*)种子气孔而抑制水分吸收,导致短期种子发芽率受到明显抑制,且微塑料粒径越大,其抑制作用越强。Qi等发现微塑料抑制了小麦(*Triticum aestivum*)在营养和生殖阶段其地上部分和地下部分的生长,并且,可生物降解微塑料对小麦生长的抑制作用比低密度聚乙烯(LDPE)更强。廖苑辰等发现聚苯乙烯(PS)微塑料使小麦(*Triticum aestivum*)的光合色素合成受阻,蛋白生成受抑,并影响氧化应激。此外,微塑料通过改变土壤理化性质间接对植物产生影响,如影响植物的根系特征、生长和养分吸收。研究发现,微塑料降低了土壤容重,增强了土壤透气性,从而减小植物根系穿透阻力,促进植物根系生长。微塑料使植物根系的微生物群落改变。Qi等的研究表明,可生物降解微塑料对小麦生长的不利影响强于LDPE,是由于在可生物降解塑料处理下,小麦根际微生物群落中芽孢杆菌及其变种等细菌的相对丰度较高,对小麦根际细菌群落的组成和结构产生更强的影响。最后,微塑料对植物的影响因植物种类和土壤类型而异,考虑到植物对生态系统的重要性以及土壤微塑料污染的普遍性,为系统评估微塑料对陆生植物的影响,进一步的研究应包括更多类型的塑料颗粒、植物种类和土壤条件。

2.4 微塑料对土壤动物的影响

微塑料体积小,易被土壤动物摄入,并且通过食物链累积。有证据表明,微塑料可以在肠道中停留很长一段时间。动物对微塑料和其衍生化学品(塑料添加剂和吸附污染物)的摄入可造成各种毒理学效应。此外,微塑料还可以使土壤动物居住的周围环境发生变化,从而对土壤动物产生间接影响。蚯蚓通常被视为土壤动物区系的代表类群,目前,微塑料对蚯蚓的影响研究最为深入。Huerta Lwanga等发现微塑料对蚯蚓(*Lumbricus terrestris*)的生长存在抑制作用。Chen等将蚯蚓(*Eisenia fetida*)暴露于不同浓度的LDPE微塑料环境中28 d,发现在较高暴露浓度下($\geq 1.0 \text{g}/\text{kg}$ LDPE),蚯蚓出现表皮损伤、氧化应激和神经毒性反应。Lahive等发现线蚓(*Enchytraeus crypticus*)在高浓度尼龙颗粒($>90 \text{g}/\text{kg}$)的暴露情况下,对尺寸更小的微塑料($13\text{--}18\mu\text{m}$)摄入最多,且其生殖率显著降低。Kwak and An等的研究首次发现,微塑料会影响蚯蚓体腔细胞的活力,对雄性生殖器官造成损害,微塑料暴露对蚯蚓的精子产生有害影响。另外,微塑料可以

在蚯蚓的消化道中,被分解为碎片状的更小的、纳米级的塑料颗粒,并随后通过抛物排泄进入土壤,这可能与蚯蚓消化道内的放线菌门和厚壁菌门组成的蚯蚓肠道微生物组有关。目前,土壤中微塑料检测手段有限,且微塑料本身吸附的污染物对土壤生物的毒性效应还需进行更多研究,微塑料与土壤生物相互作用的潜在机制还需要进一步阐明。

3 未来研究展望

微塑料种类繁多、成分复杂,在土壤中广泛分布。但当前,微塑料对土壤生态系统的影响研究较少,需要大量的研究支撑形成完整的体系。今后的研究,可以从以下几个方面进一步完善:

(1)建立统一的微塑料提取、鉴定、监测、量化的标准体系,开展全球范围的微塑料污染监测。目前,微塑料污染评价缺乏统一的标准,导致现有研究数据的可比性低。因此,建立统一、高效、便捷的微塑料处理监测方法十分重要。世界范围内对土壤中微塑料污染的现状调查仍十分有限,有必要对不同土地利用方式和不同地区的微塑料分布情况进行系统监测,并将各种自然过程和人类活动对土壤中微塑料污染的贡献进行量化。

(2)考虑到微塑料在土壤中的广泛分布,微塑料对土壤性质的影响需要进一步的研究。除微塑料的类型外,还需要考虑粒径、形状和浓度的影响。由于土壤理化性质的任何改变都可能影响植物和微生物群落,乃至影响整个陆生生态系统,因此需要从机理上揭示微塑料如何改变土壤理化性质。

(3)目前微塑料的研究多在实验室尺度开展,微塑料对土壤

生态系统的影响研究通常使用高浓度(>1%)微塑料,且暴露时间较短,无法模拟自然条件下的微塑料影响。另一方面,微塑料对动植物影响的相关研究多集中于分子、细胞、组织、器官层面。未来研究需结合环境的实际特征,并将研究层次进一步扩大至个体、种群,建立从细胞到种群的不同层次的评估机制,为人类健康风险和生态环境评估提供基础和参考。

(4)微塑料作为环境污染物的载体,可以吸附污染物,但其吸附-解吸机理尚不明晰,需对微塑料和土壤污染物的复合污染机制进一步研究,以全面准确评估微塑料的环境风险。

[参考文献]

[1]Hermabessiere L,Dehaut A,Paul-Pont I,et al.Occurrence and effects of plastic additives on marine environments and organisms: A review[J].Chemosphere,2017:781-793.

[2]Thompson R C,Olsen Y,Mitchell R P,et al.Lost at sea:where is all the plastic?[J].Science,2004,304(5672):838.

[3]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.

[4]Blasing M,Amelung W.Plastics in soil:Analytical methods and possible sources[J].Science of The Total Environment,2018,612:422-435.

作者简介:

夏菲菲(2001--),女,汉族,湖南省长沙市人,本科在读,东北师范大学环境学院,研究方向:环境科学。

中国知网数据库简介:

CNKI介绍

国家知识基础设施(National Knowledge Infrastructure, NKI)的概念由世界银行《1998年度世界发展报告》提出。1999年3月,以全面打通知识生产、传播、扩散与利用各环节信息通道,打造支持全国各行业知识创新、学习和应用的交流合作平台为总目标,王明亮提出建设中国知识基础设施工程(China National Knowledge Infrastructure, CNKI),并被列为清华大学重点项目。

CNKI 1.0

CNKI 1.0是在建成《中国知识资源总库》基础工程后,从文献信息服务转向知识服务的一个重要转型。CNKI 1.0目标是面向特定行业领域知识需求进行系统化和定制化知识组织,构建基于内容内在关联的“知网”、并进行基于知识发现的知识元及其关联关系挖掘,代表了中国知网服务知识创新与知识学习、支持科学决策的产业战略发展方向。

CNKI 2.0

在CNKI 1.0基本建成以后,中国知网充分总结近五年行业知识服务的经验教训,以全面应用大数据与人工智能技术打造知识创新服务业为新起点,CNKI工程跨入了2.0时代。CNKI 2.0目标是将CNKI 1.0基于公共知识整合提供的知识服务,深化到与各行业机构知识创新的过程与结果相结合,通过更为精准、系统、完备的显性管理,以及嵌入工作与学习具体过程的隐性知识管理,提供面向问题的知识服务和激发群体智慧的协同研究平台。其重要标志是建成“世界知识大数据(WKBD)”、建成各单位充分利用“世界知识大数据”进行内外脑协同创新、协同学习的知识基础设施(NKI)、启动“百行知识创新服务工程”、全方位服务中国世界一流科技期刊建设及共建“双一流数字图书馆”。