

# 土壤-地下水中微塑料迁移的影响因素及机制研究进展

董姝楠, 夏继红, 王为木, 刘 慧, 盛丽婷

(河海大学农业科学与工程学院, 南京 210098)

**摘 要:** 微塑料在环境中广泛分布, 世界范围内的农业土壤及地下水都已发现微塑料污染, 生态环境和人体健康受到严重威胁。研究土壤-地下水中微塑料迁移的影响因素及机制, 对于准确评价其分布归趋及环境风险具有重要意义。该研究通过文献调研, 对土壤-地下水环境中微塑料的来源、团聚及迁移研究进行梳理、归纳和总结, 系统阐明了土壤-地下水中微塑料迁移的影响因素, 剖析了影响微塑料迁移的机制, 并对未来研究进行展望。土壤中微塑料的来源可分为原位型微塑料和外源输入型微塑料 2 种, 地下水中的微塑料一般源自于土壤中微塑料的垂直迁移及地表-地下水微塑料交换。水体中微塑料的团聚受多种水环境因素的影响, 其团聚程度与迁移能力密切相关, 是迁移行为的基础和前提。土壤-地下水中影响微塑料迁移的因素可分为化学、物理、生物 3 类。水化学条件、介质成分、水流条件、介质物理条件、植物生长发育、小型动物及微生物的生命活动均会影响土壤-地下水中微塑料的迁移行为, 且影响机制各不相同。目前, 土壤-地下水中微塑料的迁移研究处于起步阶段, 在进一步的研究中, 野外尺度微塑料迁移、多元化微塑料迁移、微塑料特性对其迁移行为影响、微塑料迁移过程中的转化等研究值得重点关注。

**关键词:** 土壤; 地下水; 迁移; 微塑料; 影响因素; 影响机制

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2020.14.001

中图分类号: X592; X53

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2020)-14-0001-08

董姝楠, 夏继红, 王为木, 等. 土壤-地下水中微塑料迁移的影响因素及机制研究进展[J]. 农业工程学报, 2020, 36(14): 1-8. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2020.14.001 http://www.tcsae.org

Dong Shunan, Xia Jihong, Wang Weimu, et al. Review on impact factors and mechanisms of microplastic transport in soil and groundwater[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2020, 36(14): 1-8. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2020.14.001 http://www.tcsae.org

## 0 引 言

微塑料(Microplastic)指粒径小于 5 mm 的塑料微粒, 通常由工业直接生产或大型塑料破解产生<sup>[1-2]</sup>。近年来, 微塑料污染问题在全球范围引发科研人员的高度关注, 成为备受瞩目的研究热点。2016 年第二届联合国环境大会上, 微塑料污染被列入环境与生态领域的第二大科学问题。微塑料不易降解, 能够在环境中长期存在, 易对生态环境造成潜在威胁<sup>[3-4]</sup>。微塑料粒径可达纳米级, 环境中纳米微塑料通常迁移能力更强, 污染范围更广, 生物毒性更显著<sup>[5]</sup>。环境中的微塑料能够被动物摄食, 并通过食物链层层富集, 最终进入人体, 威胁人体健康<sup>[6-7]</sup>。

中国是塑料垃圾生产和排放大国, 农业土壤及相关地下水环境受严重的微塑料污染威胁<sup>[4,6]</sup>。研究微塑料的迁移行为, 对于综合评判及预测其在土壤-地下水中的污染风险具有重要理论意义和实际价值。目前的综述文章, 大多重点阐述土壤和地下水中微塑料的环境行为及生态效应, 而对微塑料迁移影响机制的阐述不够充分。

本文对国内外土壤-地下水中微塑料迁移的现有研究进展进行回顾和总结, 分析土壤-地下水中微塑料的可

能来源, 阐明土壤-地下水中影响微塑料迁移的化学、物理、生物因素, 剖析归纳影响微塑料迁移的机制, 并对未来研究的发展方向进行展望。

## 1 土壤-地下水中微塑料的来源

### 1.1 土壤中微塑料的来源

在欧洲和北美国家, 每年约有高达数十万吨微塑料进入农业土壤<sup>[8]</sup>。中国北方河北、山东等省份的土壤中微塑料丰度可达 14.7~158.5 个/kg, 而云南省部分地区则超过  $7.1 \times 10^3$  个/kg<sup>[9]</sup>。土壤中微塑料的来源可分为原位型微塑料和外源输入型微塑料 2 种。

原位型微塑料主要指土壤中塑料残余物经风化破解后产生的微塑料。土壤中的塑料残余物主要为农业生产过程中残留的农用地膜。中国农用地膜的覆盖面积和使用量(大于 140 万 t/a)常年居世界前列, 由于回收率较低, 大量农用地膜容易残留在农业土壤中<sup>[10-11]</sup>。由于具有质轻、料薄、难以生物降解等特性, 在长期外界作用下, 残留的农用地膜能够风化破碎成细小的微塑料颗粒, 长期存在于土壤环境中, 造成微塑料污染。

外源输入型微塑料指通过大气沉降、地表径流、灌溉、肥料施用等过程由外界进入土壤环境的微塑料。研究表明, 微塑料广泛存在于大气及地表水体中<sup>[12-14]</sup>。大气中的微塑料能够通过降水、降雪等湿沉降过程以及大气降尘等干沉降过程落于地表, 进入土壤及地表水体中<sup>[12]</sup>。地表水被认为是土壤中微塑料的重要源头之一。多个欧美国家

收稿日期: 2020-05-24 修订日期: 2020-06-20

基金项目: 国家重点研发计划专项(2018YFD0900805); 国家自然科学基金(41907160); 中央高校基本科研业务费(B200202098)

作者简介: 董姝楠, 博士, 讲师, 主要从事农业环境污染及高效修复技术研究。Email: dsn@hhu.edu.cn

的淡水湖及河流中均检测出微塑料污染物,其丰度甚至可超过  $4 \times 10^5$  个/ $\text{km}^2$ <sup>[13-14]</sup>。中国地表水环境中同样存在微塑料污染问题,太湖中漂浮微塑料的丰度达  $1.0 \times 10^4 \sim 6.8 \times 10^6$  个/ $\text{km}^2$ <sup>[15]</sup>,而三峡库区微塑料丰度能达到  $3.4 \times 10^6 \sim 1.36 \times 10^7$  个/ $\text{km}^2$ <sup>[16]</sup>。地表水中的微塑料,能够通过地表径流及农业灌溉等方式直接进入并滞留在土壤中,形成土壤微塑料污染。污水处理过程中产生的污泥富含氮磷等营养成分,常通过堆肥处理被制成农业用肥。研究表明,污水处理虽能有效去除水体中的微塑料,但容易造成大量微塑料在污泥中累积<sup>[17-18]</sup>。常规污泥预处理方法难以有效去除累积的微塑料,使这些微塑料能够通过肥料施用进入土壤环境<sup>[19]</sup>。调查显示,欧盟国家每年约有  $4 \times 10^5$  t 的微塑料通过污泥堆肥进入农业土壤<sup>[9]</sup>。中国污泥堆肥的使用量呈逐年递增的趋势,其造成的土壤微塑料污染不可忽视。

## 1.2 地下水中微塑料的来源

近期,研究人员在地下水中也发现微塑料污染的情况。Panno 等<sup>[20]</sup>发现美国伊利诺伊州岩溶含水层中微塑料丰度最大为 15.2 个/L,其中大部分为塑料纤维。Mintenig 等<sup>[21]</sup>研究发现德国北部地区的地下水中出现轻度微塑料污染(丰度为 0~7 个/ $\text{m}^3$ ),且检测出的微塑料均具有较小的粒径,通常为 50~150  $\mu\text{m}$ 。

地下水中微塑料的来源研究较为缺乏,一般认为土壤中微塑料的垂直迁移及地表-地下水交换是地下水中微塑料的重要来源<sup>[22-24]</sup>。土壤中的微塑料能在生物活动及重力作用下,通过土壤孔隙或生物洞穴进入深部土层,最终侵入地下水环境<sup>[25-28]</sup>。另一方面,地表水与地下水存在广泛的沟通和普遍且持续的交换,地表水中的微塑料可能通过水量交换进入地下水环境。Re<sup>[29]</sup>提出了一种潜在的微塑料迁移机制,即当地表水作为水源补给地下水时,可能为微塑料进入地下水环境提供通道。此外,地下直接排污也可导致污水中的微塑料直接进入含水层,造成地下水微塑料污染。

## 2 水环境中微塑料的团聚机制

微塑料在水环境中的团聚与其迁移能力密切相关。微塑料分散稳定性较高的条件下,其在土壤-地下水介质中的迁移能力通常较强;而微塑料容易团聚的条件下,其在土壤-地下水中的迁移则会受到抑制。

研究表明<sup>[30-31]</sup>,水体中分散的微塑料能够在一定离子强度范围内(1~100 mmol/L NaCl 及 0.1~15 mmol/L  $\text{CaCl}_2$ )保持稳定。随着水环境离子强度的增强,微塑料颗粒之间双电层被压缩而变薄,表面电荷被屏蔽,颗粒间静电斥力减小而易于发生凝聚,稳定性逐渐降低<sup>[30-32]</sup>。与一价阳离子(例如  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 等)相比,高价阳离子(例如  $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$ 等)存在条件下微塑料更容易发生团聚。微塑料在水环境中通常显负电,因此水环境中的高价阳离子能够吸附在微塑料颗粒表面,降低其表面电势的绝对值,使其颗粒间静电斥力减小而更容易发生团聚<sup>[30,31-33]</sup>。对于表面存在羟基、羧基等官能团的微塑料颗粒,水环境中的高价阳离子可能与上述官能团形成桥

键,从而链接不同的微塑料颗粒,导致其团聚<sup>[34]</sup>。随着水环境 pH 值降低,微塑料表面的官能团逐渐质子化,亲水性降低而发生团聚;当 pH 值升高时,微塑料颗粒表面的官能团去质子化,表面电负性增加,颗粒间静电排斥力随之增加而不易发生团聚<sup>[35]</sup>。溶解性有机质(Dissolved Organic Matter, DOM)富含大量负电荷,可以增加微塑料颗粒之间的空间位阻效应及表面电负性,使得颗粒间空间及静电排斥作用增强,增强其在水溶液中的稳定性<sup>[30-32]</sup>。由于 DOM 富含亲水官能团,水环境中的  $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 离子能够在 DOM 分子间形成离子桥键,当水环境中  $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 离子浓度较低时,DOM 能够抑制微塑料的团聚;而当水环境中  $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 离子浓度较高时,水环境中的 DOM 反而会促进微塑料的团聚<sup>[36]</sup>。此外,Oriekhova 等<sup>[36]</sup>发现水环境中胶体物质( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、海藻酸盐等)能够通过中和表面电荷或增强离子桥键作用,影响微塑料的异相团聚行为。另一方面,Long 等<sup>[37]</sup>研究发现,微塑料颗粒能够富集在水生微生物表面,其稳定性受到微生物生理行为影响。

## 3 土壤-地下水中微塑料迁移机制

土壤-地下水中影响微塑料迁移的因素可分为化学、物理、生物 3 类。表 1 对土壤-地下水中微塑料迁移的各类影响因素、影响情况及对应影响机制进行总结。

### 3.1 化学因素对土壤-地下水中微塑料迁移的影响

#### 3.1.1 水化学条件

土壤-地下水环境中的离子强度、离子类型、pH、DOM 等水化学条件,都是影响微塑料迁移的重要因素。本文绘制了图 1 展示 DOM 及高价阳离子对微塑料在土壤-地下水介质中迁移的影响。

微塑料在土壤-地下水中的迁移能力通常随离子强度的升高而逐渐降低<sup>[38-44]</sup>。如上文所述,微塑料颗粒的团聚程度通常随着离子强度的升高而增强,其团聚体平均粒径不断增大,因而更容易受物理过滤作用滞留在土壤-地下水介质中,迁移能力不断降低。另一方面,随着离子强度的增加,微塑料颗粒与土壤-地下水介质之间的双电层会被压缩变薄,致使二者间的静电斥力减小,微塑料颗粒更容易沉积在介质表面,迁移能力降低<sup>[40-41]</sup>。粒径较小的微塑料在土壤-地下水介质表面的沉积速率通常较低,对离子强度的变化更敏感,其迁移能力更容易受到离子强度的影响<sup>[44]</sup>。

微塑料的迁移能力通常随高价阳离子(例如  $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$ 等)浓度的升高而降低<sup>[40,45]</sup>。微塑料颗粒在高价阳离子存在时团聚程度较高,因而更容易滞留在土壤-地下水介质中,具有较低的迁移能力(图 1)。此外,水相中的土壤-地下水介质通常呈负电性<sup>[42-43,46-47]</sup>,除微塑料颗粒外,高价阳离子也能够吸附在土壤-地下水介质表面,导致微塑料颗粒和介质之间的静电斥力降低,使得微塑料颗粒更容易在介质中沉积,迁移能力下降<sup>[40,45]</sup>。另一方面,土壤-地下水介质表面通常也存在羟基、羧基等多种官能团,因此高价阳离子能够在微塑料和介质表面之间形成离子桥键,从而增强微塑料在土壤-地下水介质

表面的滞留，使其迁移能力降低<sup>[40,45]</sup>。

微塑料在土壤-地下水中的迁移能力通常随 pH 值的升高而增强<sup>[48-49]</sup>。微塑料团聚程度通常随 pH 值的升高而降低，其团聚体平均粒径随之下降，因而更容易通过土壤-地下水介质孔隙运移。此外，土壤-地下水环境 pH 值的变化，能够引起微塑料及土壤-地下水介

质表面官能团电离程度的改变，进而影响微塑料的迁移能力<sup>[50]</sup>。土壤-地下水介质表面官能团去质子化程度通常随 pH 值的升高而增强，使得介质表面负电荷量不断增加，微塑料颗粒与介质表面之间的静电斥力增大，因而微塑料颗粒更不容易在介质表面沉积，其迁移能力对应增强<sup>[48-49]</sup>。

表 1 微塑料在土壤-地下水中迁移的影响因素及机制

Table 1 Summary of impact factors and mechanisms of microplastic transport (MPT) in soil and groundwater				
类型 Type	亚类 Subtype	因素 Factor	MPT 随影响因素的变化	影响机制 Impact mechanism
化学因素 Chemical factor	水化学条件	离子强度	离子强度升高，MPT 能力降低	1) 增强微塑料团聚；2) 压缩微塑料与介质之间的双电层，降低静电排斥作用。
		高价阳离子	高价阳离子存在，MPT 能力降低	1) 增强微塑料团聚；2) 吸附在微塑料及介质表面，减少负电荷，降低静电排斥作用；3) 在微塑料与介质之间形成离子桥键。
		pH 值	pH 值升高，MPT 能力增强	1) 降低微塑料团聚；2) 官能团去质子化，增加微塑料与介质负电荷，增强静电排斥作用。
		溶解性有机质	溶解性有机质存在，MPT 能力增强	1) 降低微塑料团聚；2) 吸附在微塑料及介质表面，增加负电荷，增强静电排斥作用；3) 增强微塑料及介质之间的空间位阻效应；4) 覆盖微塑料在介质表面的沉积位点。
	介质成分	Fe/Al 氧化物	Fe/Al 氧化物含量越高，MPT 能力越低	1) Fe/Al 氧化物呈正电性，增加介质表面微塑料的沉积位点；2) Fe 或 Al 离子在微塑料与介质之间形成离子桥键。
		阳离子释放	介质表面释放的阳离子可能导致 MPT 能力降低	1) 阳离子浓度增加，离子强度升高；2) 高价阳离子含量增大。
物理因素 Physical factor	水流条件	孔隙水流速	孔隙水流速增大，MPT 能力增强	1) 微塑料受到的流体剪应力增强，沉积时间缩短，沉积量降低。
	介质物理条件	介质粒径	介质粒径越小，MPT 能力越低	1) 小粒径介质比表面积较大，微塑料沉积位点较多；2) 介质孔隙较小，微塑料颗粒物理过滤作用增强。
		介质粗糙度	介质粗糙度越高，MPT 能力越低	1) 微塑料沉积位点较多。
		饱和度	介质饱和度减小，MPT 能力降低。	1) 水-气界面存在对微塑料存在毛管吸引力，能捕获迁移的微塑料。
		非均质性	微塑料主要通过优势通道迁移	1) 优势流量较高，主导微塑料的迁移。
生物因素 Biotic factor	植物	根系发育	根系发育形成的裂隙增强微塑料的迁移	1) 形成优势通道。
	小型动物	运动活动	微塑料随小型动物的运动而迁移	1) 附着在小型动物体表；2) 被小型动物摄食；3) 活动形成的洞穴增强微塑料迁移。
		摄食行为	微塑料颗粒降低，迁移能力增强	1) 口器切断、咀嚼；2) 胃囊消化。
	微生物	生命活动	微生物存在，MPT 能力降低	1) 微生物表面提供微塑料沉积位点；2) 被微生物吞噬。
		自身性质	MPT 受微生物自身性质影响	1) 细胞表面疏水性不同；2) 胞外分泌物不同。

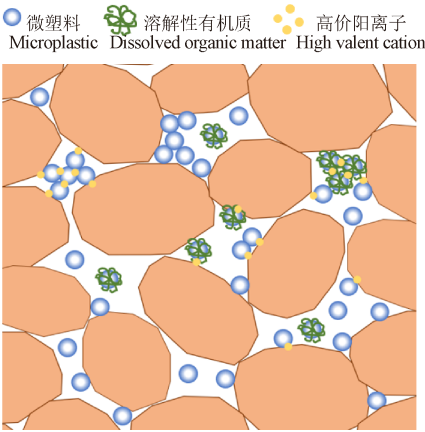


图 1 溶解性有机质与高价阳离子对微塑料在土壤-地下水介质中迁移的影响

Fig.1 Impacts of dissolved organic matter and high valent cation on microplastic transport in soil and groundwater system

土壤-地下水环境中 DOM 的存在通常能提高微塑料的迁移能力<sup>[41,45]</sup>。DOM 能通过  $\pi$ - $\pi$  键、氢键作用力等机制吸附在土壤-地下水介质表面<sup>[47]</sup>，增强介质的表面电负性。受此影响，微塑料与土壤-地下水介质之间的静电排

斥力增强，沉积量降低，迁移能力提高<sup>[41,45]</sup>。另一方面，被吸附的 DOM 可以覆盖土壤-地下水介质表面微塑料的沉积位点，同时增加微塑料与介质之间的空间位阻效应，降低微塑料的沉积量并提高其迁移能力<sup>[41,45]</sup>。DOM 对微塑料迁移的促进作用会受土壤-地下水环境中其他化学条件的影响。例如，当  $Mg^{2+}$ 、 $Ca^{2+}$  离子存在时，微塑料与土壤-地下水介质表面吸附的 DOM 容易通过这些高价阳离子形成离子桥键，可能造成微塑料迁移能力降低。

此外，Peng 等<sup>[51]</sup>研究发现，土壤-地下水环境中的其他细微颗粒（如氧化石墨烯纳米颗粒等）能够吸附微塑料，并作为载体控制其迁移及沉积行为。土壤-地下水环境中的微塑料还能够吸附有机物、重金属等其他污染物，并作为载体对其迁移产生次生影响<sup>[32,52-53]</sup>。

3.1.2 介质成分

微塑料在不同土壤-地下水介质中的迁移行为往往差异较大，介质成分是影响微塑料迁移的主要因素之一<sup>[40,42,54]</sup>。Wu 等<sup>[42]</sup>研究了沙壤、黑壤、红壤 3 种不同土壤中微塑料的迁移行为，发现微塑料在沙壤及黑壤中具有较高的迁移能力，其穿透率分别高达 96.8%和 87.5%；而红壤中的微塑料迁移能力极低，在其试验条件下微塑料的穿透率



均为 0。研究表明,土壤中 Fe/Al 氧化物含量的不同是导致微塑料迁移率差异的关键因素<sup>[40,42]</sup>。微塑料在水相中一般呈负电性,而土壤中的 Fe/Al 氧化物在水相中一般呈正电性,因而微塑料在迁移过程中能够在静电吸引作用下沉积在 Fe/Al 氧化物表面,其迁移能力降低<sup>[40,42]</sup>。此外,Fe/Al 氧化物表面的 Fe 或 Al 离子,还可能与微塑料之间形成阳离子桥键,从而增加微塑料的沉积量,降低其迁移能力。土壤中的 Fe/Al 氧化物含量越高,能够为微塑料提供的沉积位点越多,微塑料的迁移能力越低。

此外,土壤-地下水介质在 pH 条件改变或水量更新的条件下可能释放一定数量的阳离子( $\text{Na}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 及 $\text{Al}^{3+}$ 等),导致阳离子浓度和种类增加<sup>[48]</sup>。土壤-地下水环境中离子浓度增加会导致离子强度增大,使得微塑料在介质表面的沉积量随之增加,其迁移能力降低。此外,土壤-地下水环境中阳离子种类增加,可能导致高价阳离子含量增大,从而降低微塑料迁移能力。

### 3.2 物理因素对土壤-地下水中微塑料迁移的影响

#### 3.2.1 水流条件

通常来看,微塑料在土壤-地下水中的迁移能力一般随孔隙水流速增大而增强。随着孔隙水流速的增加,微塑料在迁移过程中受到的流体剪应力增强,导致其在土壤-地下水介质表面沉积时间缩短,从而更难在土壤-地下水介质表面沉积,迁移能力显著提高<sup>[49,55-56]</sup>。然而,Tong 等<sup>[49]</sup>研究发现,当部分水化学条件利于微塑料颗粒在土壤-地下水介质表面沉积时(如低 pH 值、高离子强度等),孔隙水流速增大反而增加微塑料在介质表面的沉积量,使其迁移能力降低。

#### 3.2.2 介质物理条件

土壤-地下水介质的物理条件,如介质粒径、饱和度、非均质性等,也会影响微塑料的迁移行为。本文绘制了图 2 展示介质粒径及水-气界面对微塑料在土壤-地下水介质中迁移的影响。

微塑料的迁移能力通常随土壤-地下水介质粒径的减小而降低<sup>[40,57-58]</sup>。土壤-地下水介质的粒径越小,其比表面积越大,介质表面能够供给微塑料的沉积位点越多,使更多的微塑料能够在迁移过程中沉积在土壤-地下水介质中,从而具有较低的迁移能力。此外,砂土粒径越小的土壤-地下水介质通常具有较小的孔喉和渗透率,对微塑料颗粒的物理过滤作用越显著,使得微塑料具有较低的迁移率(图 2)。另一方面,微塑料的迁移能力可能随介质粗糙度的升高而降低<sup>[40]</sup>。与相对光滑的砂土颗粒相比,表面粗糙的砂土颗粒能够为微塑料提供更多的沉积位点,增加微塑料的沉积量,降低其迁移能力。

微塑料的迁移能力通常随土壤-地下水介质饱和度的减小而降低。非饱和条件下,土壤-地下水介质中存在大量气泡<sup>[59-61]</sup>。Sirivithayapakorn 等<sup>[59]</sup>研究表明,水-气界面对微塑料存在较高的毛管吸引力,能捕获水相中迁移的微塑料,使其沉积在水-气界面处(图 2)。当土壤-地下水饱和度升高,气泡分解而水-气界面消失,沉积的微塑料能被重新释放到水相,随水流继续迁移。

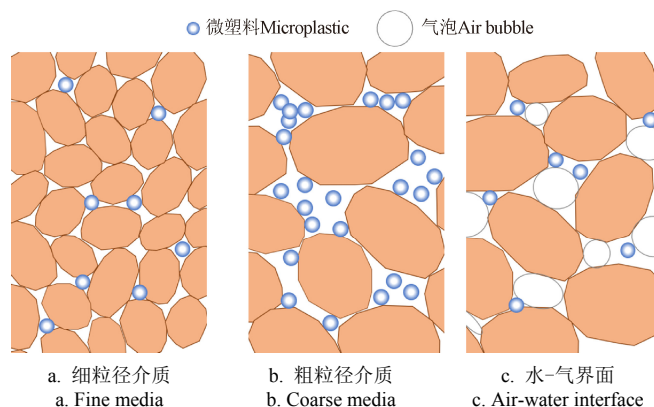


图 2 介质粒径与水-气界面对微塑料在土壤-地下水介质中迁移的影响

Fig.2 Impacts of media grain size and air-water interface on microplastic transport in soil and groundwater system

土壤-地下水介质通常具有较强的非均质性,由于构成非均质介质的各土壤组分往往渗透性差异较大,从而使土壤-地下水介质产生很多优势通道及优先流。非均质介质优势通道中的优先流往往流量较高,因而能够主导微塑料的迁移行为,使微塑料主要通过优势通道迁移,且这种主导作用通常随孔隙水流速的增大而更为显著<sup>[62]</sup>。

### 3.3 生物因素对土壤-地下水中微塑料迁移的影响

#### 3.3.1 小型动物

小型动物的生命活动是影响微塑料在土壤环境中迁移的重要因素。土壤及土壤孔隙水中的微塑料颗粒可能会附着在小型动物(如蚯蚓、纤毛虫、线虫、鞭毛虫、螨、跳虫和变形虫等)的体表,或被小型动物摄食而进入其体内<sup>[26,63-67]</sup>。这些附着或被摄食的微塑料,能够随着小型动物的运动迁移至土壤其他区域,并通过脱落、排泄及死亡等方式滞留在该区域。Huerta 等<sup>[26]</sup>研究表明,微塑料能够在蚯蚓活动影响下从土壤表层向深部土层迁移,14 d 的迁移距离可达约 18 cm。Maass 等<sup>[63]</sup>研究发现,不同跳虫物种影响下微塑料颗粒的迁移情况明显不同,与等节跳虫相比,白符跳虫携带微塑料的迁移速率更快,迁移距离更远。Zhu 等<sup>[67]</sup>研究发现,微塑料颗粒可在土壤跳虫、螨的活动影响下沿土壤剖面向土层深处迁移,且甲螨对微塑料迁移的促进效果更强。

小型动物在摄食-消化-排泄微塑料的过程中,可能导致微塑料进一步破裂成粒径更小的颗粒,甚至产生纳米级微塑料。Rillig 等<sup>[8]</sup>研究表明,微塑料被蚯蚓摄食后,能够在其胃囊进一步破碎,形成次生微塑料,并通过排泄过程重新释放到土壤环境。部分小型动物(如跳虫、螨等)在摄食微塑料的过程中,其口器也可能通过切断、咀嚼等行为破碎微塑料颗粒<sup>[63]</sup>。粒径越小的微塑料通常越容易受生物扰动影响,具有更强的迁移能力,其在土壤中的迁移范围也更广<sup>[8,63]</sup>。

此外,小型动物活动所形成的孔洞、挖掘类哺乳动物造成的洞穴、植物根系发育导致的土壤裂隙能够提供优势通道,使得微塑料颗粒更容易在自身重力作用下由土壤表层向深部土层迁移<sup>[28,68]</sup>。

目前研究普遍认为,微塑料颗粒在土壤中的纵向迁

移是地下水中微塑料污染物的重要来源之一<sup>[24]</sup>。

### 3.3.2 微生物

除小型动物外, 土壤-地下水介质中往往还存在大量微生物, 对微塑料的迁移产生影响<sup>[69-70]</sup>。当土壤-地下水介质表面附着铜绿假单胞菌 (*Pseudomonas Aeruginosa*)、乳酸菌 (*Lactococcus Lactis*) 等细菌时, 迁移过程中的微塑料可能会附着在这些细菌表面, 或被细菌吞噬而进入其体内, 导致微塑料的沉积量增加, 迁移能力降低<sup>[69-70]</sup>。细菌的生长基质及分泌的胞外聚合物能够改变土壤-地下水介质的表面性质, 从而影响微塑料的迁移能力<sup>[70]</sup>。Tripathi 等<sup>[70]</sup>研究表明, 细菌的生长基质能够吸附在土壤-地下水介质表面, 掩蔽微塑料的沉积位点, 降低微塑料的沉积量, 从而提高其迁移能力。相反, 细菌分泌的胞外聚合物可能使土壤-地下水介质的表面电负性减小, 从而降低微塑料与土壤-地下水介质间的静电排斥作用, 增加其沉积量, 使其迁移能力下降。不同种类的微生物具有不同的细胞表面疏水性, 这种差异往往会对微塑料的迁移产生影响, 从而影响微塑料在介质表面的沉积和迁移行为<sup>[69]</sup>。Mitzel 等<sup>[69]</sup>研究表明, 亲水性生物膜存在时, 离子强度诱导微塑料沉积在土壤-地下水介质表面的作用更显著, 使得高离子强度条件下微塑料的迁移能力更低。土壤-地下水环境中离子强度的改变, 通常不会影响疏水性微生物对微塑料的截留, 但会导致亲水性微生物对微塑料的截留发生变化<sup>[69]</sup>。可见, 土壤-地下水介质表面的微生物及孔隙水化学条件通常对微塑料在介质中的滞留产生耦合影响, 这使得微塑料在土壤-地下水介质中的迁移行为变得更为复杂。

## 4 结论与展望

综上所述, 微塑料在土壤-地下水中的迁移受多种化学、物理及生物因素影响, 且影响机制各不相同。土壤-地下水中微塑料的迁移能力通常随离子强度、高价阳离子浓度、介质 Fe/Al 氧化物含量、介质表面阳离子释放量、介质粗糙度的升高而降低; 随 pH 值、溶解性有机质浓度、孔隙水流速、介质粒径、介质饱和度的升高而增强。此外, 植物生长发育、小型动物及微生物的生命活动也会对土壤-地下水中微塑料的迁移行为产生影响。

目前, 土壤-地下水中微塑料的迁移、转化、归趋等问题也日渐受到众多科研人员的重视。然而, 土壤-地下水中微塑料的迁移研究正处于起步阶段, 尚未形成完整全面的知识体系。在进一步的研究中, 以下几方面问题值得重点关注:

1) 野外尺度微塑料迁移研究。目前土壤-地下水中微塑料的迁移研究大多通过小尺度室内试验进行, 尽管室内试验能很好地阐明各类因素对微塑料迁移的影响机制, 但很难反映真实土壤-地下水环境的复杂性, 因此野外尺度的塑料迁移研究亟需开展。建议通过野外 Lysimeter 试验, 对微塑料的环境归趋进行量化研究。

2) 多元化微塑料迁移研究。目前研究大多采用工业聚苯乙烯微球 (模式微塑料) 作为目标对象, 难以全面概括环境中真实存在的微塑料, 亟需对多元化微塑料在

土壤-地下水中的迁移行为开展研究。

3) 微塑料特性对其迁移影响研究。细微颗粒的自身特性 (如粒径、表面性质、密度等) 通常会对其迁移行为产生较大影响, 而目前基于微塑料自身性质开展的迁移研究较少, 未来应推进该领域发展。

4) 微塑料迁移过程中的转化研究。微塑料的来源之一是环境中大型塑料垃圾的次生产物, 其在迁移过程中可能受到多种条件的影响而进一步破裂分解, 并释放塑化剂等有毒物质, 导致其基本理化性质发生改变, 并对环境造成潜在危害, 因此微塑料在土壤-地下水迁移过程中的转化行为也亟待探明。

### [参 考 文 献]

- [1] Law K L, Thompson R C. Microplastics in the seas[J]. Science, 2014, 345(6193): 144-145.
- [2] 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.  
Deng Yixiang, Lei Kun, An Lihui, et al. Countermeasures on control of plastic litter and microplastic pollution[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2018, 33(10): 1042-1051. (in Chinese with English abstract)
- [3] 马乃龙, 程勇, 张利兰. 微塑料的生态毒理效应研究进展及展望[J]. 环境保护科学, 2018, 44(6): 117-123.  
Ma Nailong, Cheng Yong, Zhang Lilan, et al. Research progress and prospect of ecotoxicological effects of microplastic[J]. Environmental Protection Science, 2018, 44(6): 117-123. (in Chinese with English abstract)
- [4] 王彤, 胡献刚, 周启星. 环境中微塑料的迁移分布、生物效应及分析方法的研究进展[J]. 科学通报, 2018, 63(4): 385-395.  
Wang Tong, Hu Xiangang, Zhou Qixing. The research progress in migration, distribution, biological effects and analytical methods of microplastics[J]. Chinese Science Bulletin, 2018, 63(4): 385-395. (in Chinese with English abstract)
- [5] 杨婧婧, 徐笠, 陆安祥, 等. 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.  
Yang Jingjing, Xu Li, Lu Anxiang, et al. Research progress on the sources and toxicology of micro (nano) plastics in environment[J]. Environmental Chemistry, 2018, 37(3): 383-396. (in Chinese with English abstract)
- [6] Bouwmeester H, Hollman P C H, Peters R J B. Potential health impact of environmentally released micro- and nanoplastics in the human food production chain: Experiences from nanotoxicology[J]. Environmental Science & Technology, 2015, 49(15): 8932-8947.
- [7] 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.  
Luo Yongming, Zhou Qian, Zhang Haibo, et al. Pay attention to research on microplastic pollution in soil for prevention of ecological and food chain risks[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2018, 33(10): 1021-1030. (in Chinese with English abstract)
- [8] Rillig M C. Microplastic in terrestrial ecosystems and the soil[J]. Environmental Science & Technology, 2012, 46(12): 1021-1030.

- 6453-6454.
- [9] 侯军华, 檀文炳, 余红, 等. 土壤环境中微塑料的污染现状及其影响研究进展[J]. 环境工程, 2020, 38(2): 16-27, 15. Hou Junhua, Tan Wenbing, Yu Hong, et al. Microplastics in soil ecosystem: A review on sources, fate, and ecological[J]. Environmental Engineering, 2020, 38(2): 16-27, 15. (in Chinese with English abstract)
- [10] 靳拓, 薛颖昊, 张明明, 等. 国内外农用地膜使用政策、执行标准与回收状况[J]. 生态环境学报, 2020, 29(2): 411-420. Jin Tuo, Xue Yinghao, Zhang Mingming, et al. Research advances in regulations, standards and recovery of mulch film[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2020, 29(2): 411-420. (in Chinese with English abstract)
- [11] 彭训广, 王彩虹, 孙力, 等. 农用薄膜对土壤污染现状、原因与治理对策[J]. 价值工程, 2010, 29(4): 83. Peng Xunguang, Wang Caihong, Sun Li, et al. The current situation and reasons of soil pollution from the agriculture plastic film and its coping strategies[J]. Value Engineering, 2010, 29(4): 83. (in Chinese with English abstract)
- [12] 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: 290-293.
- [13] Eerkes-Medrano D, Thompson R C, Aldridge D C. Microplastics in freshwater systems: A review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs[J]. Water Research, 2015, 75: 63-82.
- [14] Rezaei S, Park J, Din M F M, et al. Microplastics pollution in different aquatic environments and biota: A review of recent studies[J]. Marine Pollution Bulletin, 2018, 133: 191-208.
- [15] Su Lei, Xue Yingang, Li Lingyun, et al. Microplastics in Taihu Lake, China[J]. Environmental Pollution, 2016, 216: 711-719.
- [16] Zhang Kai, Gong Wen, Lv Jizhong, et al. Accumulation of floating microplastics behind the Three Gorges Dam[J]. Environmental Pollution, 2015, 204: 117-123.
- [17] Mintenig S M, Int-Veen I, Loeder M G J, et al. Identification of microplastic in effluents of waste water treatment plants using focal plane array-based micro-Fourier-transform infrared imaging[J]. Water Research, 2017, 108: 365-372.
- [18] 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.
- [19] Mahon A M, O'Connell B, Healy M G, et al. Microplastics in sewage sludge: Effects of treatment[J]. Environmental Science & Technology, 2017, 51(2): 810-818.
- [20] Panno S V, Kelly W R, Scott J, et al. Microplastic contamination in Karst groundwater systems[J]. Groundwater, 2019, 57(2): 189-196.
- [21] Mintenig S M, Loeder M G J, Primpke S, et al. Low numbers of microplastics detected in drinking water from ground water sources[J]. Science of the Total Environment, 2019, 648: 631-635.
- [22] Yao Liming, Hui Li, Yang Zhuang, et al. Freshwater microplastics pollution: Detecting and visualizing emerging trends based on Citespace II[J]. Chemosphere, 2020, 245: 125627.
- [23] Koelmans A A, Nor N H M, Hermesen E, et al. Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality[J]. Water Research, 2019, 155: 410-422.
- [24] 蒲生彦, 张颖, 吕雪. 微塑料在土壤-地下水中的环境行为及其生态毒性研究进展[J]. 生态毒理学报, 2020, 15(1): 44-55. Pu Shengyan, Zhang Ying, Lv Xue. Review on the environmental behavior and ecotoxicity of microplastics in soil-groundwater[J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2020, 15(1): 44-55. (in Chinese with English abstract)
- [25] Qi Ruimin, Jones D L, Li Zhen, et al. Behavior of microplastics and plastic film residues in the soil environment: A critical review[J]. Science of the Total Environment, 2020, 703: 134722.
- [26] Huerta Lwanga E, Gertsen H, Gooren H, et al. Incorporation of microplastics from litter into burrows of Lumbricus terrestris[J]. Environmental Pollution, 2017, 220: 523-531.
- [27] 刘治君, 杨凌肖, 王琼, 等. 微塑料在陆地水环境中的迁移转化与环境效应[J]. 环境科学与技术, 2018, 41(4): 59-65, 90. Liu Zhijun, Yang Lingxiao, Wang Qiong, et al. Migration and transformation of microplastics in terrestrial waters and effects on eco-environment[J]. Environmental Science & Technology, 2018, 41(4): 59-65, 90. (in Chinese with English abstract)
- [28] 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. Ren Xinwei, Tang Jingchun, Yu Chen, et al. Advances in research on the ecological effects of microplastic pollution on soil ecosystems[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2018, 37(6): 1045-1058. (in Chinese with English abstract)
- [29] Re V. Shedding light on the invisible: Addressing the potential for groundwater contamination by plastic microfibers[J]. Hydrogeology Journal, 2019, 27(7): 2719-2727.
- [30] Cai Li, Hu Lingling, Shi Huahong, et al. Effects of inorganic ions and natural organic matter on the aggregation of nanoplastics[J]. Chemosphere, 2018, 197: 142-151.
- [31] Li Shuocong, Liu Hong, Gao Rui, et al. Aggregation kinetics of microplastics in aquatic environment: Complex roles of electrolytes, pH, and natural organic matter[J]. Environmental Pollution, 2018, 237: 126-132.
- [32] Liu Jin, Ma Yini, Zhu Dongqiang, et al. Polystyrene nanoplastics-enhanced contaminant transport: Role of irreversible adsorption in glassy polymeric domain[J]. Environmental Science & Technology, 2018, 52(5): 2677-2685.
- [33] Lu Songhua, Zhu Kairuo, Song Wencheng, et al. Impact of water chemistry on surface charge and aggregation of polystyrene microspheres suspensions[J]. Science of the Total Environment, 2018, 630: 951-959.
- [34] Oncsik T, Trefalt G, Csendes Z, et al. Aggregation of negatively charged colloidal particles in the presence of multivalent cations[J]. Langmuir, 2014, 30(3): 733-741.
- [35] Jodar-Reyes A B, Ortega-Vinuesa J L, Martin-Rodriguez A. Electrokinetic behavior and colloidal stability of polystyrene

- latex coated with ionic surfactants[J]. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2006, 297(1): 170-181.
- [36] Oriekhova O, Stoll S. Heteroaggregation of nanoplastic particles in the presence of inorganic colloids and natural organic matter[J]. *Environmental Science-Nano*, 2018, 5(3): 792-799.
- [37] Long M, Paul-Pont I, Hegaret H, et al. Interactions between polystyrene microplastics and marine phytoplankton lead to species-specific hetero-aggregation[J]. *Environmental Pollution*, 2017, 228: 454-463.
- [38] Xu Shuang, Qi Jun, Chen Xijuan, et al. Coupled effect of extended DLVO and capillary interactions on the retention and transport of colloids through unsaturated porous media[J]. *Science of the Total Environment*, 2016, 573: 564-572.
- [39] Alimi O S, Budarz J F, Hernandez L M, et al. Microplastics and nanoplastics in aquatic environments: Aggregation, Deposition, and enhanced contaminant transport[J]. *Environmental Science & Technology*, 2018, 52(4): 1704-1724.
- [40] Quevedo I R, Tufenkji N. Mobility of functionalized quantum dots and a model polystyrene nanoparticle in saturated quartz sand and loamy sand[J]. *Environmental Science & Technology*, 2012, 46(8): 4449-4457.
- [41] Pelley A J, Tufenkji N. Effect of particle size and natural organic matter on the migration of nano- and microscale latex particles in saturated porous media[J]. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2008, 321(1): 74-83.
- [42] Wu Xiaoli, Lyu Xueyan, Li Zhengyu, et al. Transport of polystyrene nanoplastics in natural soils: Effect of soil properties, ionic strength and cation type[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 707: 136065.
- [43] Chu Xianxian, Li Tiantian, Li Zhen, et al. Transport of microplastic particles in saturated porous media[J]. *Water*, 2019, 11(12): 2474.
- [44] May R, Li Yusong. The effects of particle size on the deposition of fluorescent nanoparticles in porous media: Direct observation using laser scanning cytometry[J]. *Colloids and Surfaces A-Physicochemical and Engineering Aspects*, 2013, 418: 84-91.
- [45] Franchi A, O'Melia C R. Effects of natural organic matter and solution chemistry on the deposition and reentrainment of colloids in porous media[J]. *Environmental Science & Technology*, 2003, 37(6): 1122-1129.
- [46] Dong Shunan, Shi Xiaoqing, Gao Bin, et al. Retention and release of graphene oxide in structured heterogeneous porous media under saturated and unsaturated conditions[J]. *Environmental Science & Technology*, 2016, 50(19): 10397-10405.
- [47] Dong Shunan, Sun Yuanyuan, Gao Bin, et al. Retention and transport of graphene oxide in water-saturated limestone media[J]. *Chemosphere*, 2017, 180: 506-512.
- [48] Sadri B, Pernitsky D, Sadrzadeh M. Aggregation and deposition of colloidal particles: Effect of surface properties of collector beads[J]. *Colloids and Surfaces A-Physicochemical and Engineering Aspects*, 2017, 530: 46-52.
- [49] Tong Meiping, Johnson W P. Excess colloid retention in porous media as a function of colloid size, fluid velocity, and grain angularity[J]. *Environmental Science & Technology*, 2006, 40(24): 7725-7731.
- [50] Wang Mei, Gao Bin, Tang Deshan. Review of key factors controlling engineered nanoparticle transport in porous media[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2016, 318: 233-246.
- [51] Peng Shengnan, Wu Dan, Ge Zhi, et al. Influence of graphene oxide on the transport and deposition behaviors of colloids in saturated porous media[J]. *Environmental Pollution*, 2017, 225: 141-149.
- [52] Cai Li, Peng Shengnan, Wu Dan, et al. Effect of different-sized colloids on the transport and deposition of titanium dioxide nanoparticles in quartz sand[J]. *Environmental Pollution*, 2016, 208: 637-644.
- [53] Wang Fen, Wong C S, Chen Da, et al. Interaction of toxic chemicals with microplastics: A critical review[J]. *Water Research*, 2018, 139: 208-219.
- [54] Bouchard D, Zhang Wei, Chang Xiaojun. A rapid screening technique for estimating nanoparticle transport in porous media[J]. *Water Research*, 2013, 47(12): 4086-4094.
- [55] Zhang Qiulan, Raoof A, Hassanizadeh S M. Pore-scale study of flow rate on colloid attachment and remobilization in a saturated micromodel[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2015, 44(5): 1376-1383.
- [56] Wu Lei, Gao Bin, Munoz-Carpena R, et al. Single collector attachment efficiency of colloid capture by a cylindrical collector in laminar overland flow[J]. *Environmental Science & Technology*, 2012, 46(16): 8878-8886.
- [57] Bradford S A, Yates S R, Bettahar M, et al. Physical factors affecting the transport and fate of colloids in saturated porous media[J]. *Water Resources Research*, 2002, 38(12): 1327.
- [58] Bradford S A, Bettahar M. Concentration dependent transport of colloids in saturated porous media[J]. *Journal of Contaminant Hydrology*, 2006, 82(1-2): 99-117.
- [59] Sirivithayapakorn S, Keller A. Transport of colloids in unsaturated porous media: A pore-scale observation of processes during the dissolution of air-water interface[J]. *Water Resources Research*, 2003, 39(12): 1346.
- [60] Hoggan J L, Sabatini D A, Kibbey T C G. Transport and retention of  $\text{TiO}_2$  and polystyrene nanoparticles during drainage from tall heterogeneous layered columns[J]. *Journal of Contaminant Hydrology*, 2016, 194: 30-35.
- [61] Zhuang Jie, Qi Jun, Jin Yan. Retention and transport of amphiphilic colloids under unsaturated flow conditions: Effect of particle size and surface property[J]. *Environmental Science & Technology*, 2005, 39(20): 7853-7859.
- [62] Morales V L, Parlange J Y, Steenhuis T S. Are preferential flow paths perpetuated by microbial activity in the soil matrix: A review[J]. *Journal of Hydrology*, 2010, 393(1-2): 29-36.
- [63] Maass S, Daphi D, Lehmann A, et al. Transport of microplastics by two collembolan species[J]. *Environmental Pollution*, 2017, 225: 456-459.
- [64] Kiyama Y, Miyahara K, Ohshima Y. Active uptake of artificial particles in the nematode *Caenorhabditis elegans*[J]. *Journal of Experimental Biology*, 2012, 215(7): 1178-1183.
- [65] Zhu Dong, Bi Qingfang, Xiang Qian, et al. Trophic predator-prey relationships promote transport of microplastics compared with the single *Hypoaspis aculeifer* and *Folsomia candida*[J]. *Environmental Pollution*, 2018, 235: 150-154.
- [66] Rillig M C, Bonkowski M. Microplastic and soil protists: A call for research[J]. *Environmental Pollution*, 2018, 241: 1128-1131.

- [67] Zhu Dong, Chen Qinglin, An Xinli, et al. Exposure of soil collembolans to microplastics perturbs their gut microbiota and alters their isotopic composition[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2018, 116: 302-310.
- [68] 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.
- Liu Shasha, Fu Jianping, Guo Chuling, et al. Research progress on environmental behavior and ecological toxicity of microplastics[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2019, 38(5): 957-969. (in Chinese with English abstract)
- [69] Mitzel M R, Sand S, Whalen J K, et al. Hydrophobicity of biofilm coatings influences the transport dynamics of polystyrene nanoparticles in biofilm-coated sand[J]. *Water Research*, 2016, 92: 113-120.
- [70] Tripathi S, Champagne D, Tufenkji N. Transport behavior of selected nanoparticles with different surface coatings in granular porous media coated with *Pseudomonas aeruginosa* biofilm[J]. *Environmental Science & Technology*, 2012, 46(13): 6942-6949.

## Review on impact factors and mechanisms of microplastic transport in soil and groundwater

Dong Shunan, Xia Jihong, Wang Weimu, Liu Hui, Sheng Liting

(College of Agricultural Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** Microplastic (the small plastic with the diameter lower than 5 mm) has been widely detected in soil and groundwater worldwide, which draws high attention of researchers and publics as an emerging contaminant. For better predicting and evaluating the environmental risk of microplastic in soil and groundwater environment, mechanism studies focus on microplastic transport are necessary. Nevertheless, transport and retention processes of microplastic in soil and groundwater environment are far from comprehensively known, which should receive more attention. This review summarized the current studies of microplastic source, aggregation, and transport in soil and groundwater environment. Important chemical, physical and biotic factors affecting microplastic transport in soil and groundwater environment were detailly identified and analyzed. The main chemical factors were the hydrochemical condition (e.g. ionic strength, electrolyte type, pH value and dissolved organic matter) and media chemical composition (e.g. Fe/Al oxide ratio and cation release). The main physical factors were the solution flow condition (e.g. flow rate) and media physical composition (e.g. grain size, surface roughness, saturation and heterogeneity). The main biotic factors were the plants (e.g. root development), small soil animals (e.g. movement and ingestion), and microorganisms (e.g. vital activity and basic property). The aggregation of microplastic in water environment was improved with increasing ionic strength, decreasing pH value and dissolved organic matter concentration, and the presence of high valent cations. The transport of microplastic in soil and groundwater environment was enhanced with increasing pH value, media grain size, flow rate and moisture content, however, it was inhibited with increasing ionic strength, surface roughness and electrolyte valence. With the presence of dissolved organic matter, the mobility of microplastic was significantly increased. Microplastic showed a low mobility in porous media containing the high amount of Fe/Al oxide. The transport of microplastic was also decreased if the porous media released cations into aqueous phase. In addition, preferential flow generated in structured heterogeneous media may dominate the transport of microplastic. Root growth and development produced cracks and holes in soils, providing preferential channels for microplastic to vertically migrate. Small soil animals (e.g. earthworms and collembolans) may capture, ingest or carry microplastic and influence its transport behavior subsequently. Microorganisms (e.g. bacteria and algae) living on the surface of porous media may capture or adsorb moving microplastic, which then may increase the retention and decrease the transport of microplastic in soil and groundwater environment. The related impact mechanism of the factors mentioned above were systematically discussed and visually illustrated by schematic diagrams. At the end of this review, current knowledge gaps and prospective topics needed to be promoted were highlighted for further developing and investigating the fate and transport of microplastic in soil and groundwater environment. Given current researches were almost limited to laboratory scale and polystyrene microsphere, field researches (e.g. lysimeter experiments), diversified type, the basic property and transform researches should be emphasized on in future microplastic transport studies. This review contributes to expanding our knowledge of fate and transport of microplastics in soil and groundwater environment.

**Keywords:** soils; groundwater; transport; microplastic; impact factors; impact mechanism