



请通过网上投稿系统投稿 网址:http://www.aes.org.cn

# 沈阳周边农田土壤中微塑料组成与分布

时馨竹, 孙丽娜, 李珍, 吕良禾

引用本文:

时馨竹,孙丽娜,李珍,等. 沈阳周边农田土壤中微塑料组成与分布[J]. 农业环境科学学报, 2021, 40(7): 1498-1508.

在线阅读 View online: https://doi.org/10.11654/jaes.2020-1502

# 您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

# 我国西北覆膜农田土壤微塑料数量及分布特征

程万莉, 樊廷录, 王淑英, 李尚中, 张建军, 赵刚, 王磊, 党翼 农业环境科学学报. 2020, 39(11): 2561-2568 https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0505

# 不同地区农田土壤多环芳烃污染特征与来源解析

刘月仙, 解小凡, 杜志伟, 邱慧, 张瑞丽, 张萌, 王伟 农业环境科学学报. 2020, 39(11): 2539-2547 https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0448

# 活性铁铝矿物对农田土壤有机碳固定的研究

龙娟, 廖宇琴, 文首鑫, 木志坚, 杨志敏 农业环境科学学报. 2021, 40(5): 1133-1140 https://doi.org/10.11654/jaes.2020-1247

# 天津市家庭养殖环境中抗生素污染特征与风险评估

阮蓉,张克强,杜连柱,丁工尧,王素英,支苏丽 农业环境科学学报.2021,40(1):202-210 https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0694

# 土壤镉污染北方小麦生产阈值及产区划分初探

管伟豆,肖然,李荣华,刘翔宇,潘君廷,黄永春,张增强,郭堤 农业环境科学学报. 2021, 40(5): 969-977 https://doi.org/10.11654/jaes.2020-1151



关注微信公众号,获得更多资讯信息

时馨竹, 孙丽娜, 李珍, 等. 沈阳周边农田土壤中微塑料组成与分布[J]. 农业环境科学学报, 2021, 40(7): 1498-1508. SHI X Z, SUN L N, LI Z, et al. Composition and distribution of microplastics in farmland soil around Shenyang[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2021, 40(7): 1498-1508.



# 沈阳周边农田土壤中微塑料组成与分布

时馨竹,孙丽娜\*,李珍,吕良禾

(沈阳大学环境学院,区域污染环境生态修复重点实验室,沈阳 110044)

**摘 要:**为明确沈阳周边农田土壤微塑料的形态、物质组成及其空间分布特征,以沈阳周边农田土壤为研究区,共设置23个采样点,采集了84个土壤样品,采用密度分离浮选法提取出土壤中微塑料,利用光学显微镜以及热裂解气相色谱-质谱联用仪(Py-GC/MS),对土壤中的微塑料进行形态鉴定和定性定量分析。结果表明:研究区土壤中微塑料物理性状分为薄膜状、碎片状、纤维状和颗粒状;土壤中微塑料的浓度为217.30~2512.18 μg·g<sup>-1</sup>,平均值为1327.69 μg·g<sup>-1</sup>。其中,聚乙烯(PE)微塑料的浓度最高,平均值为760.03 μg·g<sup>-1</sup>;其次为聚丙烯(PP)和聚苯乙烯(PS),平均值分别为374.07 μg·g<sup>-1</sup>和193.59 μg·g<sup>-1</sup>;土壤中微塑料浓度在空间上呈现出西部土壤(平均值1569.59 μg·g<sup>-1</sup>)>东部土壤(平均值1320.28 μg·g<sup>-1</sup>)>北部土壤(平均值1217.56 μg·g<sup>-1</sup>)>南部土壤(平均值1208.85 μg·g<sup>-1</sup>)。土壤微塑料浓度从地表向下明显降低,从表层土壤(0~5 cm)的998.76 μg·g<sup>-1</sup>减少到深层土壤(20~30 cm)的193.00 μg·g<sup>-1</sup>;不同的土壤种植模式对土壤微塑料浓度的影响明显,其中大棚土壤微塑料浓度较高,平均值为1439.56 μg·g<sup>-1</sup>,露天农田微塑料浓度平均值为1187.76 μg·g<sup>-1</sup>。生菜、葡萄、黄瓜大棚种植以及露天农田覆膜玉米种植模式下土壤微塑料含量较高。研究表明,沈阳周边农田土壤中微塑料主要组成类型为PE、PP和PS,且随土层加深,土壤微塑料浓度明显降低。

关键词:微塑料组成;微塑料分布;农田土壤;沈阳市

中图分类号:X53 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2021)07-1498-11 doi:10.11654/jaes.2021-0006

#### Composition and distribution of microplastics in farmland soil around Shenyang

SHI Xinzhu, SUN Lina\*, LI Zhen, LÜ Lianghe

(Key Laboratory of Ecological Restoration of Regional Polluted Environment, School of Environment, Shenyang University, Shenyang 110044, China)

**Abstract**: In recent years, microplastics have emerged as a new type of pollutant contaminating the global environment; however, their composition and distribution characteristics within soil are rarely studied. In this study, we examined soil on farmland surrounding Shenyang City, which was collected from 23 sampling points. In total, we collected 84 soil samples, which were subjected to density separation flotation to extract soil microplastics. Optical microscopy and pyrolysis gas chromatography/mass spectrometry were performed to qualitatively and quantitatively analyze the soil microplastics and determine the micromorphology, composition and spatial distribution characteristics of these plastics in the soil of farmland surrounding Shenyang. The results revealed that the physical properties of microplastics in soil ranged from 217.30  $\mu$ g·g<sup>-1</sup> to 2 512.18  $\mu$ g·g<sup>-1</sup>, with an average value of 1 327.69  $\mu$ g·g<sup>-1</sup>. Polyethylene microplastics were found to be the most prevalent, with an average concentration of 760.03  $\mu$ g·g<sup>-1</sup>, followed by polypropylene and polystyrene, with average concentrations of 374.07  $\mu$ g·g<sup>-1</sup> and 193.59  $\mu$ g·g<sup>-1</sup>, respectively. Spatially, average concentrations of microplastics in the soil (1 208.85  $\mu$ g·g<sup>-1</sup>)>eastern soil(1 320.28  $\mu$ g·g<sup>-1</sup>)>northern soil(1 217.56  $\mu$ g·g<sup>-1</sup>)>southern soil(1 208.85  $\mu$ g·g<sup>-1</sup>).

收稿日期:2021-01-04 录用日期:2021-03-23

\*通信作者:孙丽娜 E-mail:3476424392@qq.com

基金项目:国家重点基础研究发展计划项目(2014CB441106)

2021年7月

作者简介:时馨竹(1996—),女,吉林省吉林市人,硕士研究生,从事污染土壤生态修复研究。E-mail:1727284816@qq.com

Project supported: National Key Basic Research and Development Program (2014CB441106)

The concentration of soil microplastics decreased from 998.76  $\mu g \cdot g^{-1}$  in surface soil (0~5 cm) to 193.00  $\mu g \cdot g^{-1}$  in deep soil (20~30 cm). The soil microplastics concentration was significantly affected by different planting patterns. The greenhouse soil microplastics concentration was higher with an average value of 1 439.56  $\mu g \cdot g^{-1}$  and the soil microplastics concentration was 1 187.76  $\mu g \cdot g^{-1}$ . The higher contents of microplastics in soil under greenhouse planting patterns of lettuce, grape, and cucumber and ground mulched corn is related to the longer time of mulching and mulching in the soil of facility agriculture, as well as the influence of plastic film on the recovery of the roots of these plants. In conclusion, the main types of MPs in the farmland soils surrounding Shenyang City were PE microplastics (polyethylene), PP microplastics (polypropylene) and PS microplastics (polystyrene), and the soil MPs concentration decreased significantly from surface to underground.

Keywords: composition of microplastics; distribution of microplastics; farmland soil; Shenyang City

近年来,微塑料(Microplastics)作为一种新型环 境污染物受到学者们广泛关注。微塑料是塑料的一 种形态,是指粒径不超过5mm的塑料颗粒<sup>11</sup>和塑料纤 维。农田土壤中微塑料的主要来源包括农用薄膜的 使用、污水污泥的灌溉、化肥添加以及大气沉降等四。 微塑料主要来源于塑料薄膜的物理破碎<sup>33</sup>,部分微塑 料直接来源于化肥件、服装的塑料纤维的、轮胎摩擦产 生的塑料颗粒<sup>10</sup>,以及洗手液、香皂、防晒霜、洗面奶、 沐浴液等个人护理品中的塑料微珠<sup>[7]</sup>,这些均与人类 的生产、生活密切相关。大气中的微塑料主要来源于 添加超细塑料纤维的纺织衣物,在清洗时塑料纤维会 被释到周围环境中回,且很容易通过呼吸进入到体内, 因此对人类健康构成了威胁<sup>181</sup>。有资料表明,全球每 人年均消费塑料60kg,全球塑料产量的年平均增长 率为8.5%<sup>[9]</sup>。塑料的发明在给人类生产、生活带来极 大便利的同时,塑料产品的使用与塑料垃圾的排放也 导致了微塑料的富集,对人体和生态健康产生了明显 的不良影响。

微塑料广泛存在于水、土壤以及大气环境中,其 对人类健康和生态环境构成了严重的威胁<sup>[10]</sup>。微塑 料是高分子有机聚合物,具有疏水性、持久性和难降 解性,因此从土壤中回收获取微塑料很困难<sup>[11]</sup>。微塑 料粒径小、密度轻、比表面积大,对污染物具有强烈吸 附性,因此可以对土壤的理化性质产生直接影响,从 而对土壤动植物以及微生物皆产生影响<sup>[3]</sup>。塑料本身 含有多种有害添加剂<sup>[12]</sup>,同时其还可以吸附土壤中的 重金属、多环芳烃<sup>[13]</sup>以及抗生素<sup>[3]</sup>等,并且可以与抗生 素发生复合效应,从而对土壤生态系统造成危害。一 方面,环境中微塑料易随水流动,导致塑料污染的扩 散与迁移,并且在沉积物或土壤中富集<sup>[11]</sup>;另一方面, 微塑料被水体中的浮游生物、鱼类、贝类等吸收<sup>[14]</sup>,或 被土壤上种植的植物吸收而进入根茎、果实,从而对 并会通过食物链逐级传递到人类,HORTON等发现 微塑料会随着食物链富集于生物体内,最终进入人 体,对人类健康产生影响<sup>[16-17]</sup>。海洋中多达114种水 生物种的体内发现有微塑料<sup>[18]</sup>。直径小于20μm的 微塑料能进入动物及人血液、淋巴系统,甚至可在肝 脏等器官富集,产生物理性阻塞和健康危害<sup>[19]</sup>。此 外,微塑料会释放有毒添加剂,积聚持久性有毒污染 物,同时可作为传播有毒或致病微生物的载体,可能 也对人体健康构成危害<sup>[20]</sup>。微塑料已被联合国专家 组(GESAMP)列为海洋生物的"温柔杀手"<sup>[21]</sup>。

目前,有关微塑料的研究主要集中在水体环境 中1101,对土壤以及沉积物中微塑料的研究刚发展起 来,沉积物或土壤中微塑料的分离提取通常采用筛分 与浮选相结合的方法[22],或者直接通过密度浮选 法[23-24]。近年来对土壤中微塑料的研究主要集中在 丰度以及粒径的大小上,而鲜见对土壤微塑料的定量 分析。如大辽河流域土壤中微塑料粒径主要集中 在 500~1 000 µm 之间<sup>[25]</sup>,平均丰度为(273.33±327.65) 个·kg<sup>-1</sup>;哈尔滨市典型黑土区覆膜耕地土壤中微塑料 粒径在60~2400 µm之间<sup>[26]</sup>。沈阳是东北老工业基地, 也是东北重要的蔬菜、粮食基地,其农田土壤中地膜 覆盖面积较大,但沈阳周边土壤中微塑料的分布情况 不清。本研究对沈阳周边东、南、西、北4个方向23个 村庄中不同类型农用土壤进行了平面和剖面样品采集, 通过对土壤微塑料进行分离、鉴定和定性定量分析, 旨在阐明沈阳周围农田土壤中微塑料的组成与分布 特征,以为农田土壤微塑料污染防控提供基础数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 土壤样品布点与采集

为明确沈阳周边农田土壤微塑料分布,对沈阳市 周边农用土地的利用现状进行了调研,并以此为基 础,按照所采土壤样品的代表性、可比性和经济性原 则,于2019年7—8月对沈阳周边农用土壤进行了现场勘查,确定了以抚顺(41°46′30″N,123°52′10″E)、苏家屯(41°32′44″N,123°19′18″E)、新民(41°50′05″N,122°59′40″E)和沈北(42°04′30″N,123°31′28″E)为中心的4个采样区,并根据农田土壤利用特点,对区内23个村庄的不同种植模式下的农田土壤进行随机布点,共布设平面土壤样点84个,包括5个土壤剖面取样点(5~10、10~20、20~30 cm),具体土壤样品布点情况见图1(红色采样点为大棚土壤,绿色采样点为露地农田)。

土壤样品的采集按照梅花采样法进行:为保证土 壤样品的代表性和可比性,在每个采样点选取3m×3 m样地,按梅花采样法选取5个样点,等量采集0~5 cm的表层土壤,混合成一个土壤样品定位于梅花中 心,并用GSP定位,每个样品约1kg。剖面土壤样品 通过垂直切面采集,在采样点处,挖掘一个长、宽、深 均为30 cm的正方体土坑,以10 cm为一层,在各层最 典型的中部自下而上逐层采样,在各层内分别用小土 铲切取一片土壤样,每个采样点的取土深度和取样量 一致,约1 kg。将土样装入自封袋带回实验室,并在 运输过程中尽量避免挤压,以保持土壤样品原有的土 壤结构。样品带回实验室后,在清洁避光的环境中将 土壤样品均匀铺开,自然风干,去除肉眼可见的大块 塑料残片(粒径大于5mm)、作物根系、石块等杂质后 密封保存备用。

## 1.2 微塑料提取

采用密度分离法对土壤微塑料进行分离浮选,具 体分离过程为:土样风干后,研磨并过孔径为5 mm的 网筛,去除粒径较大的颗粒和其他杂质,四分法装袋。 (1)每个样品称取3份100g土壤,作为3个平行样品 分别放入500 mL烧杯(1号烧杯)中。配制密度为1.2  $g \cdot cm^{-3}$ 的饱和 NaCl 溶液。(2) 向样品中加入 300 mL 饱 和 NaCl 溶液,并充分搅拌 3 min,静置 3 h,将每个样 品的悬浮上清液分别倒入1L烧杯(2号烧杯)中。(3) 重复(2)的操作,同样把悬浮上清液分别倒入对应的 2号烧杯中。(4)配制密度为 $1.6 g \cdot cm^{-3}$ 的饱和 $ZnCl_2$ 溶 液。向分离浮选了两次的3个平行土样(1号烧杯)中 分别加入300 mL饱和ZnCl。溶液,搅拌3 min,静置3 h,将悬浮上清液分别倒入对应的2号烧杯中。(5)将 样品的混合悬浮液(2号烧杯)用无油隔膜真空泵抽 滤,通过0.45 µm 有机滤膜,再用纯水将膜上的物质 冲到对应的50 mL烧杯(3 号烧杯)中,纯水控制在



图 1 沈阳市周边农田土壤样品的空间分布 Figure 1 Spatial distribution of soil samples in farmland around Shenyang 30~40 mL,然后将3号烧杯放进恒温水浴锅中60 ℃ 烘干水分。(6)烘干后向3号烧杯中加入30 mL 30% 的H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>溶液,再将3号烧杯放入气浴恒温振荡箱中, 50 ℃连续振荡24 h,对有机质进行消解。(7)消解后将 液体抽滤,过0.45 µm的有机滤膜(滤膜上附有的极 少量难以消解的杂质对样品质量的影响忽略不计), 空白膜质量为(0.089 6±0.000 5)g,记录抽滤后含有 样品的膜的总质量。(8)从0.45 µm膜上均匀取样,用 于土壤微塑料的物理形态鉴定。(9)用称量纸将含有 样品的滤膜包好,放入自封袋中。(10)使用十万分之 一的电子天平称量样品并定量取样,取样质量在 0.10~0.90 mg范围内,然后将样品转入到80 µL热解 杯中等待上机检测,利用F-search软件将实际检测的 样品与谱库(萨特勒谱库)中标准品进行对比分析,确 定微塑料种类。

## 1.3 土壤微塑料的物理形态鉴定

使用奥林巴斯体式显微镜(SZX10, Tokyo)对微 塑料物理形态进行鉴定,并观察记录和镜检分类。对 土壤样品进行分离浮选后,先通过肉眼从滤膜上挑出 较明显的塑料样品,将其置于显微镜下,观察各类微 塑料外观形态与颜色等特征,分别记录微塑料的类型 (纤维状、碎片状、颗粒状和薄膜状等),并按颜色分为 透明、蓝色、黑色、绿色和红色5类,通常目检法显微 镜的放大倍数为10~16倍。

使用热裂解-气相色谱/质谱联用仪(美国,ThermoFisher, Pyr: EGA/PY-3030D, GC: Thermo TRACE GC ULTRA, MS: Thermo ISQ,检出限为11.5、2.5 FM), 运用云点提取与热降解相结合(CPE),热解气相色 谱-质谱联用方法<sup>[27-28]</sup>(Py-GC/MS)对微塑料进行定 性定量分析。将分离浮选出的微塑料样品放入 80 μL的裂解杯中,高温裂解下,分析挥发出的产物中的 单个化合物,通过分析比对微塑料中聚合物燃烧产物 的热谱图与已知标准样品的特征热谱图,判断聚合物 的种类,以对微塑料进行定性定量分析,该方法可行 且重现性好,灵敏度高,对实际样品基体干扰容忍度 好,操作简便。

#### 1.4 数据处理分析

土壤样品中微塑料含量用每克干土中微塑料含 量(µg·g<sup>-1</sup>)表示。采用Excel 2016对土壤微塑料数据 进行处理,运用ArcGIS 10.6软件绘制土壤的空间布 点图。采用Origin 9.0软件绘图。对沈阳周边农田土 壤中微塑料的分布特征进行分析,统计沈阳周边农田 土壤中微塑料的总量,对比不同利用类型、不同剖面 土壤中微塑料含量的差别。

# 2 结果与分析

#### 2.1 土壤微塑料的物理形态特征

土壤微塑料物理形态见图2。结果表明,沈阳周 边农田土壤中微塑料颜色多样,有透明、蓝色、黑色和 红色。在对土样进行前处理时,观察到微塑料的物理 形状有薄膜状、碎片状、纤维状和颗粒状。纤维状微 塑料直径较小、长径较大、面积较小,颜色均匀、厚度 一致、呈细丝状;薄膜状微塑料表面较平整、面积较 大、表面较光滑、无规则的细胞及有机结构、颜色均匀 透亮、厚度较小。

#### 2.2 土壤微塑料的组成特征

蓮膜

Plastic film

对沈阳周边的84个农田土壤样品中的微塑料进 行了热裂解-色谱/质谱分析,得到不同种类微塑料的 热裂解-气相色谱和质谱图(图3至图5),并利用Fsearch软件将实际检测样品的色谱与谱库(萨特勒谱 库)中标准品进行对比分析,得到检测物质的匹配度 排位表,匹配度≥60% 谱图对应的样品可以确定为微 塑料,由此确定微塑料的成分。气相色谱的定性分析 采用色-质联用、保留值法和标准对照法,定量分析采 用内标法。聚乙烯(PE)裂解温度为335~450℃,完全 裂解时间较长,出峰值较高;聚丙烯(PP)裂解温度为



图 2 万嵩山的似塑科及具亚阀图 Figure 2 The separated microplastics and its micrographs

www.aer.org.cn



图 3 土壤 PE 微塑料热裂解气相色谱-质谱图

Figure 3 Gas chromatography-mass spectrometry of thermal pyrolysis of soil PE microplastics

328~410 ℃,热裂解比PE快,出峰值较低;聚苯乙烯 (PS)裂解温度为300~400 ℃,热裂解时间最短,出峰 较少。由于热解温度不同,在热解过程中不同种类微 塑料间不会产生影响。 根据检测结果可以看出(图6),沈阳周边农田土 壤中PE微塑料检出率最高,为81.40%,其次为PP和 PS,检出率分别为54.15%和52.60%,聚氯乙烯(PVC) 及聚酯(PET)没有检出,除这5种微塑料外,由于浮选





Figure 4 Gas chromatography-mass spectrometry of thermal pyrolysis of soil PP microplastics

液密度的限制并没有关注其他种类微塑料。农田土 壤中微塑料总浓度范围为 217.30~2 512.18 μg·g<sup>-1</sup>, 总浓度平均值为 1 327.69 μg·g<sup>-1</sup>。其中, PE 微塑料 浓度最大,从 132.72~1 690.95 μg·g<sup>-1</sup>,平均值为 760.03 μg·g<sup>-1</sup>;其次为 PP,浓度为 56.38~893.04 μg· g<sup>-1</sup>,浓度平均值为374.07 μg·g<sup>-1</sup>; PS浓度最小,为 28.19~1 201.19 μg·g<sup>-1</sup>,平均值为193.59 μg·g<sup>-1</sup>。土壤 中 PE微塑料的平均浓度远高于土壤中其他种类微塑 料的浓度平均值,分别是 PP和 PS的2.03倍和3.93 倍。 PE、PP和 PS在该研究土壤中占比分别为





Figure 5 Gas chromatography-mass spectrometry of thermal pyrolysis of soil PS microplastics

43.26%、28.78%和27.96%。

## 2.3 土壤微塑料空间分布特征

沈阳周边农田土壤中微塑料分布特征见表1。 从表中可以看出,不同地区农田土壤的微塑料含量差 异较大,沈阳西部农田土壤中微塑料总浓度最高,为 822.94~2 512.18 μg·g<sup>-1</sup>,平均值为1 569.59 μg·g<sup>-1</sup>,变 异系数为 86.1%;其次为沈阳东部农田土壤,其微塑 料浓度为657.93~2 192.92 μg·g<sup>-1</sup>,平均值为1 320.28



2021年7月

图 6 沈阳周边农田土壤微塑料浓度分布 Figure 6 Concentration distribution of microplastics in farmland soil around Shenvang

μg·g<sup>-1</sup>,变异系数为79.9%;沈阳北部和南部土壤微塑 料浓度相对较低,分别为217.30~2238.19 μg·g<sup>-1</sup>和 680.71~1641.79 μg·g<sup>-1</sup>,平均值分别为1217.56 μg· g<sup>-1</sup>和1208.85 μg·g<sup>-1</sup>,变异系数分别为66.8%和 63.8%。西部农田土壤中微塑料浓度平均值分别是 东部、北部和南部农田土壤中的1.19、1.29倍和1.30 倍,变异系数分别是东部、北部和南部农田土壤中的 1.08、1.29倍和1.35倍。沈阳西部农田土壤中微塑料 浓度相对较高,主要与该地区地膜和棚膜长期使用有 关,也一定程度上受到化肥使用的影响。现场调查表 明,西部地区设施农业起步早、发展快,地膜、棚膜以 及化肥使用量不断增加,导致该地区塑料薄膜碎片在 农田土壤中积累相对较多。

沈阳周边不同区域农田土壤微塑料组成特征相 似,均表现为PE>PP>PS。与土壤微塑料总浓度分布 相似,PE微塑料在西部地区土壤中浓度最高,平均值 为942.80 μg·g<sup>-1</sup>,其次为南部土壤和东部土壤,北部 土壤中PE浓度最低;西部土壤中PE微塑料平均浓度 分别为南部、东部和北部的1.25、1.30倍和1.50倍;不 同区域土壤PE微塑料的变异系数分别为88.6%(西 部)、56.9%(南部)、75.8%(东部)和123.9%(北部)。 与PE微塑料不同,东部土壤中PP微塑料浓度相对较高,平均值为425.03  $\mu$ g·g<sup>-1</sup>,北部、南部和西部土壤中 PP微塑料浓度相对较低,分别为329.09、326.87  $\mu$ g· g<sup>-1</sup>和321.75  $\mu$ g·g<sup>-1</sup>,东部土壤中 PP微塑料平均浓度 分别为北部、南部和西部的1.29倍、1.30倍和1.32倍。 PS微塑料浓度在北部土壤中最高,平均值为261.79  $\mu$ g·g<sup>-1</sup>;其次为西部土壤和东部土壤,平均值分别为 209.27  $\mu$ g·g<sup>-1</sup>和163.31  $\mu$ g·g<sup>-1</sup>,南部土壤中PS微塑料 浓度最低,平均值为130.59  $\mu$ g·g<sup>-1</sup>,北部土壤中PS平 均浓度分别为西部、东部和南部的1.25、1.55倍和 2.00倍。

不同研究区PE微塑料浓度明显高于PP和PS微 塑料浓度,并且西部土壤中PE微塑料浓度最大,这主 要与沈阳西部农田土壤中设施大棚较多,棚膜用量大 和棚膜类塑料产品的组成成分有关。目前农用薄膜 类塑料主要成分为PE、PP和PA(聚酰胺树脂),其中 PE占比最大,为77.54%;此外,日常生活中的塑料制 品如膜类食品包装袋,以及地膜在农业上的应用也是 微塑料的潜在来源[29-30]。4个研究区农田土壤中不同 种类微塑料组成一致,微塑料浓度均表现为PE>PP> PS,且差异显著,这可能与沈阳周边农田土壤都广泛 使用棚膜以及地膜有关,因为薄膜类微塑料的主要成 分为PE,并且有地膜覆盖的土壤微塑料含量要比没 有覆膜的土壤地区高四。另外可能与污水灌溉和污 泥土地利用有关。有研究表明,灌溉农田所使用的污 水中同样含有微塑料,其主要来源是日常洗护用品, 市场上各种洗面奶和沐浴露中均检测到微塑料,成分 以PE为主<sup>[7]</sup>,因此污水灌溉和污泥土地利用可导致农 田土壤中微塑料 PE 含量明显增高。本研究中 PE 以 及PP为微塑料的主要成分,这与研究人员对上海稻 鱼共养土壤中微塑料的研究结果相同[32]。

表1 不同区域农田土壤中微塑料分布特征( $\mu g \cdot g^{-1}$ ) Table 1 Distribution characteristics of microplastics in farmland soil in different regions( $\mu g \cdot g^{-1}$ )

项目Items		东部Eastern	南部Southern	西部Western	北部Northern
总浓度 Total concentration	范围Range	657.93~2 192.92	680.71~1 641.79	822.94~2 512.18	217.30~2 238.19
	平均值 Average	1 320.28	1 208.85	1 569.59	1 217.56
PE	范围Range	347.19~1 000.22	410.25~1 092.35	544.81~1 517.89	132.72~1 690.95
	平均值 Average	725.95	751.38	942.80	626.66
PP	范围Range	112.43~893.04	176.54~492.59	210.34~644.89	56.38~891.35
	平均值 Average	425.03	326.87	417.52	329.09
PS	范围Range	43.44~468.09	36.54~266.41	48.61~1 201.19	28.19~1 020.23
	平均值 Average	169.31	130.59	209.27	261.79

1505

#### www.aer.org.cn

为明确土壤微塑料从地表向下的纵向分布情况, 在沈阳西部采集了5个土壤剖面的土壤样品,并对其 进行了微塑料组成特征分析(图7),结果表明,5个土 壤剖面中均为表层土壤(0~5 cm)的微塑料浓度最高, 且呈向下逐渐降低的趋势。0~5 cm 表层土壤中微塑 料浓度为 613.26~1 517.90 µg·g<sup>-1</sup>, 平均值为 998.76 µg·g<sup>-1</sup>;5~10 cm 处,土壤微塑料浓度降低,为 338.02~ 1 042.72 μg·g<sup>-1</sup>,平均值为700.01 μg·g<sup>-1</sup>,土壤微塑料 浓度降幅为29.91%; 10~20 cm 土壤微塑料浓度为 219.99~698.84 µg·g<sup>-1</sup>,平均值为488.59 µg·g<sup>-1</sup>,从5~ 10 cm 到 10~20 cm, 土壤微塑料浓度降幅为 30.20%; 20~30 cm 土壤微塑料浓度为 105.03~310.08 µg·g<sup>-1</sup>, 平均值为193.00 µg·g<sup>-1</sup>,从10~20 cm到20~30 cm,土 壤微塑料浓度降幅最大,为60.50%。该结果的原因 是,农田土壤中的棚膜和地膜在破碎后形成微塑料, 微塑料首先会进入到表层土壤(0~5 cm)中,由于微塑 料粒径小日本身具有疏水性、持久性和难降解性,容 易吸附在植物的根茎上15,并且不易向深层土壤迁



Figure 7 Concentration of microplastics in soil profile of farmland

around Shenyang

#### 农业环境科学学报 第40卷第7期

移,因此大部分微塑料积累在表层土壤中。这与研究 人员对上海菜地农田土壤中微塑料分布的研究相符, 其研究表明表层土壤中微塑料的丰度大于深层土壤 中微塑料的丰度<sup>[33]</sup>。苏婷婷等<sup>[34]</sup>发现膨润土颗粒对 微塑料颗粒与天然胶体及人工纳米颗粒的迁移产生 影响,并且随着溶液离子强度的增加,MWCNTs(多壁 碳纳米管)在多孔介质中的迁移能力降低,说明随着 土层加深,离子强度增强,从而对微塑料颗粒向下的 迁移和沉积产生抑制。

# 2.4 不同种植模式下土壤微塑料特征

不同种植模式下土壤微塑料分布不同(图8)。 露天农田中微塑料总浓度为217.30~2 324.22 µg·g<sup>-1</sup>, 平均值为1 187.76 µg·g<sup>-1</sup>。与露天农田相比,大棚土 壤中微塑料总浓度较高,为612.35~2 512.18 µg·g<sup>-1</sup>, 平均值为1 439.56 µg·g<sup>-1</sup>,是露天农田的1.21倍。从 不同区域农用大棚与露天农田中微塑料组成可以看 出,除沈阳东部大棚土壤微塑料与露天农田微塑料浓 度接近外,在沈阳北部、西部和南部区域,大棚土壤中 微塑料浓度均明显高于露天农田。大棚土壤中微塑 料浓度分别为550.04 µg·g<sup>-1</sup>(西部)、494.78 µg·g<sup>-1</sup>(北 部)和464.20 µg·g<sup>-1</sup>(南部),分别是对应地区露天农 田微塑料浓度的1.17、1.52倍和1.49倍。

不同区域大棚土壤中微塑料组成表现为PE>PP> PS,且土壤中PE浓度明显高于PP和PS,PE浓度平均 值分别是PP和PS浓度平均值的2.20倍和4.07倍(北 部)、2.01倍和5.43倍(西部)、2.40倍和6.11倍(南 部)、1.95倍和4.92倍(东部);与大棚土壤微塑料组成 相似,露天农田中微塑料组成也表现为PE>PP>PS,但 PP和PS浓度明显增高,特别是北部区域土壤PS微塑 料增幅较大,该结果可能与北部露天农田中更广泛的 使用含有微塑料的化肥<sup>14</sup>有关。调查表明,化肥中微



Figure 8 Characteristics of microplastics composition in soil of greenhouse and ground

塑料的主要组成类型为PS,因此化肥的大量使用导 致了土壤中PS含量的增加。大棚土壤中PE浓度明 显高于露天农田,主要是农用大棚薄膜广泛使用的结 果<sup>[35]</sup>。农用薄膜所用的塑料材料为低密度聚乙烯<sup>[36]</sup>、 线型低密度聚乙烯和乙烯-醋酸乙烯共聚物等,掉落 的大块棚膜和地膜经过光照、风化等环境作用,易破 碎形成微塑料<sup>[11]</sup>,进而导致大棚农田土壤中PE含量 偏高。此外,采样点附近有农民生活区产生的生活塑 料垃圾和含有合成微纤维<sup>[37]</sup>的洗衣废水排放,以及含 有微塑料的污水灌溉<sup>[2]</sup>和污泥使用,这些也对大棚土 壤中微塑料浓度的升高有所贡献。

不同种植模式下土壤剖面中微塑料的分布不同 (图7)。大棚芸豆种植下表层土壤微塑料浓度最大, 为1517.90 µg·g<sup>-1</sup>,从地表向下土壤微塑料浓度降幅 最大,为90.46%;大棚西红柿与生菜种植下土壤微塑 料从 0~5 cm 到 5~10 cm 降幅较小, 分别为 44.88% 和 38.44%,从 5~10 cm 到 20~30 cm 降幅变大,分别为 64.13%和66.13%;露天玉米和大葱种植模式下,土壤 微塑料从地表向下降幅相对较小,降幅分别为 62.53%和70.96%。不同种植模式均表现出表层土壤 微塑料富集现象,主要原因是设施农业发展使用了大 量的棚膜和地膜,棚膜和地膜在物理风化、化学风化 与生物风化作用下破碎形成微塑料,微塑料首先会进 入到表层土壤中,并且容易吸附在植物的根茎上15, 不易向深层土壤迁移,导致微塑料积累在表层土壤 中。目前对土壤以及沉积物中微塑料的研究刚发展 起来,如对上海郊区土壤[33]、黑龙江农田土壤[26]和云 南滇池湖盆区农田土壤<sup>[38]</sup>中微塑料分布特征进行的 研究,结果均表明土壤表层微塑料含量较高。

#### 3 结论

(1)沈阳周边农田土壤中微塑料的物理形态有薄 膜状、纤维状、碎片状和颗粒状。通过定性定量分析 检测出土壤中微塑料主要组成有 PE(聚乙烯)、PP(聚 丙烯)和 PS(聚苯乙烯)。土壤中微塑料总浓度为 217.30~2 512.18 µg·g<sup>-1</sup>,平均值为1 327.69 µg·g<sup>-1</sup>,组 成特征为 PE>PP>PS。

(2)在平面土壤中,沈阳西部农田土壤中微塑料 浓度平均值最大,其次是东部和北部,南部最小。在 不同利用类型土壤中,大棚土壤微塑料浓度高于露天 农田。

(3)在剖面土壤中,表层土壤(0~5 cm)微塑料浓 度最高,向下呈逐渐降低的趋势。从表层土壤到深层 土壤,微塑料浓度降幅逐渐变小。

#### 参考文献:

- WRIGHT S L, KELLY F J. Plastic and human health: A micro issue?
   Environmental Science & Technology, 2017, 51(12):6634–6647.
- [2] 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 Y M, ZHOU Q, ZHANG H B, et al. Pay attention to research on microplastic pollution in soil for prevention of ecological and food chain risks
  [J]. Bulletin of the Chinese Academy of Sciences, 2018, 33(10):1021-1030.
- [3] 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 J H, TAN W B, YU H, et al. Microplastics in soil ecosystem: A review on sources, fate and ecological impact[J]. *Environmental Engineering*, 2020, 38 (2):16-27, 15.
- [4] KEHRES B, AKTUELL H K. Änderung der Düngemittelordnung[J]. BGK e V, 2015.
- [5] CESAF S, TURRA A, BARUQUE-RAMOS J. Synthetic fibers as microplastics in the marine environment: A review from textile perspective with a focus on domestic washings[J]. Science of the Total Environment, 2017, 598:1116–1129.
- [6] BlÄSING M, AMELUNG W. Plastics in soil: Analytical methods and possible sources[J]. Science of the Total Environment, 2018, 612:422– 435.
- [7] LEI K, QIAO F, LIU Q, et al. Microplastics releasing from personal care and cosmetic products in China[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2017, 123(1/2):122-126.
- [8] GASPERI J, WRIGHT S L, DRIS R, et al. Microplastics in air: Are we breathing it in?[J]. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 2018(1): 1–5.
- [9] DUIS K, COORS A. Microplastics in the aquatic and terrestrial environment:Sources(with a specific focus on personal care products), fate and effects[J]. Environmental Sciences Europe, 2016, 28(1):1-25.
- [10] 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. LIUSS, FUJP,GUOCL, et al. Research progress on environmental behavior and ecological toxicity of microplastics[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2019, 38(5):957-969.
- [11] ZARFL C, MATTHIES M. Are marine plastic particles transport vectors for organic pollutants to the arctic[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2010, 60:1810-1814.
- [12] 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.
- [13] 李贞霞,李庆飞,李瑞静,等.黄瓜幼苗对微塑料和镉污染的生理 响应[J]. 农业环境科学学报, 2020, 39(5):973-981. LI Z X, LI Q F, LI R J, et al. Physiological response of cucumber seedlings to microplastics and cadmium[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2020, 39(5):973-981.
- [14] WEGNER A, BESSELING E, FOEKEMA E M, et al. Effects of nanop-

#### 农业环境科学学报 第40卷第7期

olystyrene on the feeding behavior of the blue mussel (*Mytius edulis* L.)[J]. *Environmental Toxicology & Chemistry*, 2012, 31(11):2490-2497.

- [15] 李连祯,周倩,尹娜,等.食用蔬菜能吸收和积累微塑料[J].科学通报,2019,64(9):928-934. LILZ,ZHOUQ,YINN, et al. Uptake and accumulation of microplastics in an edible plant[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2019, 64(9):928-934.
- [16] HORTON A A, WALTON A, SPURGEON D J, et al. Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities [J]. Science of the Total Environment, 2017, 586:127–141.
- [17] NIZZETTO L, FUTTER M, LANGAAS S. Are agricultural soils dumps for microplastics of urban origin[J]. *Environmental Science & Technology*, 2016, 50(20):10777-10779.
- [18] COLE M, LINDEQUE P, FILEMAN E, et al. Microplastic ingestion by zoopl ankton[J]. *Environmental Science & Technology*, 2013, 47 (12):6646-6655.
- [19] 文泽波. 人体首次确认被微塑料污染[J]. 大众科学, 2018(10):34-35. WEN Z B. The first confirmed human contamination with micro-plastics[J]. *China Public Science*, 2018(10):34-35.
- [20] 何蕾, 黄芳娟, 殷克东.海洋微塑料作为生物载体的生态效应[J]. 热带海洋学报, 2018, 37(4):1-8. HE L, HUANG F J, YIN K D. The ecological effect of marine microplastics as a biological vector[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2018, 37(4):1-8.
- [21] 邵媛媛, 张帆, 梁庆霞. 陆地-海洋生态系统微塑料污染现状研究
  [J]. 生态环境学报, 2020, 29 (10): 2118-2129. SHAO Y Y, ZHANG F, LIANG Q X. Research on microplastic pollution in terrestrial-marine ecosystems[J]. Ecology and Environment Sciences, 2020, 29(10): 2118-2129.
- [22] 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]. *Environment Science & Technology*, 2012, 46(6): 3060-3075.
- [23] CORCORAN P L, BIESINGER M C, GRIFI M. Plastics and beaches: A degrading relationship[J]. Marine Pollution Bulletin, 2009, 58:80– 84.
- [24] 周倩,章海波,李远,等.海岸环境中微塑料污染及其生态效应研究进展[J]. 科学通报, 2015, 60(33): 3210-3220. ZHOU Q, ZHANG H B, LI Y, et al. Progress on microplastics pollution and its ecological effects in the coastal environment[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2015, 60(33): 3210-3220.
- [25] 韩丽花,李巧玲,徐笠,等.大辽河流域土壤中微塑料的丰度与分 布研究[J]. 生态毒理学报, 2020, 15(1):174-185. HAN L H, LI Q L, XU L, et al. Abundance and distribution of microplastics of soils in Daliao River basin[J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2020, 15(1): 174-185.

- [26] 刘旭. 典型黑土区耕地土壤微塑料空间分布特征[D]. 哈尔滨:东 北农业大学, 2019:19-20. LIU X. Spatial distribution of microplastics in mollisol farmland of northeast China[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2019:19-20.
- [27] ZHOU X X, HAO L T. Cloud-point extraction combined with thermal degradation for nanoplastic analysis using pyrolysis gas chromatography – mass spectrometry[J]. *Analytical Chemistry*, 2019, 91, 1785 – 1790.
- [28] PETER K. Identification of synthetic polymers and copolymers by analytical pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry[J]. Environmental Science Technology, 2014, 19:1203-1223.
- [29] LUSHER A L, HERNANDEZ-MILIAN G, O'BRIEN J, et al. Microplastic and macroplastic ingestion by a deep diving, oceanic cetacean: The true's beaked whale *Mesoplodon mirus*[J]. *Environmental Pollution*, 2015, 199:185-191
- [30] FREE C M, JENSEN O P, MASON S A, et al. High-levels of microplastic pollution in a large, remote, mountain lake[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2014, 85(1):156–163.
- [31] ZHANG G S, LIU Y F. The distribution of microplastics in soil aggregate fractions in southwestern China[J]. Science of the Total Environment, 2018, 642:12-20.
- [32] LV W, ZHOU W, LU S, et al. Microplastic pollution in rice-fish coculture system: A report of three farm-land stations in Shanghai, China[J]. Science of the Total Environment, 2019, 652:1209–1218.
- [33] LIU M T, LU S B, SONG Y, et al. Microplastic and mesoplastic pollution in farmland soils in suburbs of Shanghai, China[J]. *Environmental Pollution*, 2018, 242:855–862.
- [34] 苏婷婷, 蔡荔, 杨海燕, 等. 膨润土颗粒对多壁碳纳米管在饱和多 孔介质中迁移的影响[J]. 环境化学, 2015, 34(4):671-677. SU T T, CAI L, YANG H Y, et al. Influence of bentonite particles on the transport and deposition of multi-walled carbon nanotubes insaturated porous media[J]. Environmental Chemistry, 2015, 34(4):671-677.
- [35] NG E L, ESPERANZA H L, SIMON M. E, et al. An overview of microplastic and nanoplastic pollution in agroecosystems[J]. Science of the Total Environment, 2018, 627:1377–1388.
- [36] 李爱英, 张帆, 许育辉, 等. 农用大棚塑料薄膜材料的研究进展[J]. 化工新型材料, 2014(12):25-26. LI A Y, ZHANG F, XU Y H, et al. Research progress of agricultural shed film materials[J]. New Chemical Materials, 2014(12):25-26.
- [37] BROWNE M A, CRUMP P, NIVEN S J, et al. Accumulation of microplastic on shorelines woldwide: Sources and sinks[J]. *Environmental Science & Technology*, 2011, 45(21):9175–9179.
- [38] 刘亚菲. 滇池湖滨农田土壤中微塑料数量及分布研究[D]. 昆明: 云南大学, 2018:13-18. LIU Y F. Quantity and distribution of microplastics in farmland soil of lake shore in Dianchi Lake[D]. Kunming: Yunnan University, 2018:13-18.