

## 辽宁地区农田土壤中微塑料丰度及其在团聚体中的分布特征

王展, 陈春羽, 苏沛瑶, 邢云飞, 邹洪涛, 张玉龙

### 引用本文:

王展, 陈春羽, 苏沛瑶, 邢云飞, 邹洪涛, 张玉龙. 辽宁地区农田土壤中微塑料丰度及其在团聚体中的分布特征[J]. 农业环境科学学报, 2024, 43(4): 858-865.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11654/jaes.2023-0457>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 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

农业环境科学学报. 2021, 40(7): 1498-1508 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-1502>

#### 春季乌梁素海水体微塑料分布特征及影响因素

王志超, 杨建林, 杨帆, 李卫平, 杨文焕

农业环境科学学报. 2021, 40(10): 2189-2197 <https://doi.org/10.11654/jaes.2021-0454>

#### 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>

#### 水土环境中微塑料对磷的吸附行为

李旺, 祖波, 冉典容, 黄银权, 李嘉雯

农业环境科学学报. 2021, 40(8): 1758-1764 <https://doi.org/10.11654/jaes.2021-0284>

#### 土壤微塑料污染及生态效应研究进展

任欣伟, 唐景春, 于宸, 何娟

农业环境科学学报. 2018, 37(6): 1045-1058 <https://doi.org/10.11654/jaes.2017-1409>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

王展, 陈春羽, 苏沛瑶, 等. 辽宁地区农田土壤中微塑料丰度及其在团聚体中的分布特征[J]. 农业环境科学学报, 2024, 43(4): 858–865.

WANG Z, CHEN C Y, SU P Y, et al. Abundance of microplastics in farmland soil and its distribution in soil aggregate fractions in the Liaoning area[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2024, 43(4): 858–865.



开放科学 OSID

# 辽宁地区农田土壤中微塑料丰度及其在团聚体中的分布特征

王展, 陈春羽, 苏沛瑶, 邢云飞, 邹洪涛\*, 张玉龙

(沈阳农业大学土地与环境学院, 沈阳 110866)

**摘要:**为了明确辽宁地区农田土壤微塑料污染情况,本研究以辽宁14个地区的农田土壤为研究对象,采用密度分离和氧化分解的方法,结合显微镜和红外光谱技术测定了土壤及各级团聚体中微塑料的丰度和分布特征。结果表明:辽宁地区农田土壤中微塑料丰度为 $3\ 605\ \text{个}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,主要包括纤维状、颗粒状、块状和薄膜状4种形状,其中纤维状最多(42.11%),颗粒状和块状次之(29.10%和22.32%),薄膜状最少(6.47%)。纤维状微塑料的主要成分是尼龙,颗粒状微塑料的主要成分是聚对苯二甲酸乙二酯,块状和薄膜状微塑料的主要成分是聚乙烯。辽宁14个地区农田土壤中微塑料丰度及其形状组成各不相同,其中辽阳、朝阳、本溪、营口地区土壤中微塑料丰度显著高于其他地区。土壤中69.14%的微塑料以与团聚体结合的方式存在,尤其与小团聚体结合的最多,另外30.86%的微塑料以分散态存在。不同形状微塑料在团聚体中的分布也不同,纤维状和颗粒状微塑料主要存在于小团聚体中,薄膜状微塑料主要存在于大团聚体中,而块状微塑料在各级团聚体中的分布没有显著差异。研究表明,辽宁地区农田土壤中普遍存在微塑料污染,但是在空间上分布不均衡。土壤中微塑料主要是纤维,其成分是尼龙。土壤中的微塑料主要以与团聚体结合的方式存在,但是仍有一部分微塑料以分散态存在,在灌溉或降雨条件下存在向下淋失污染深层土壤和地下水的风险。

**关键词:**微塑料;土壤团聚体;农田土壤;辽宁地区

中图分类号:X53 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2024)04-0858-08 doi:10.11654/jaes.2023-0457

## Abundance of microplastics in farmland soil and its distribution in soil aggregate fractions in the Liaoning area

WANG Zhan, CHEN Chunyu, SU Peiyao, XING Yunfei, ZOU Hongtao\*, ZHANG Yulong

(Shenyang Agricultural University, College of Land and Environment, Shenyang 110866, China)

**Abstract:** To clarify microplastic pollution in farmland soil in the Liaoning area, the abundance and distribution of microplastics in the soil and aggregate fractions were determined using density separation, and oxidative decomposition combined with a microscope and Fourier infrared spectrometer. The farmland soils from 14 regions in Liaoning were collected as tested samples. The results showed that the abundance of microplastics in the farmland soil of the Liaoning area was  $3\ 605\ \text{items}\cdot\text{kg}^{-1}$ . There were four main shapes of microplastics in the soil, including fibers, granules, flakes, and films. Of the microplastics analyzed, fibers were found to be the most prevalent in the soil, with a ratio of 42.11%, followed by granules and flakes, with a ratio of 29.10% and 22.32%, respectively, while films accounted for the smallest ratio of 6.47%. The main component of fibers was nylon, the main component of granules was polyethylene terephthalate, and the main component of flakes and films was polyethylene. The abundance and shape composition of the microplastics in the farmland soil of the 14 regions of Liaoning were various. The abundance of microplastics in the soil of Liaoyang, Chaoyang, Benxi, and Yingkou was

收稿日期:2023-06-11 录用日期:2023-08-10

作者简介:王展(1979—),女,辽宁瓦房店人,博士,副教授,主要从事土壤中污染物迁移过程研究。E-mail:zhanwang@syau.edu.cn

\*通信作者:邹洪涛 E-mail:zht@syau.edu.cn

基金项目:农业农村部产地环境污染防控重点实验室/天津市农业环境与农产品安全重点实验室开放基金项目(H2017393);辽宁省教育厅面上(青年)项目(LJKZ0663)

Project supported: Key Laboratory of Original Agro-Environmental Pollution Prevention and Control, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Tianjin Key Laboratory of Agro-Environment and Agro-Product Safety(H2017393); Foundation of Liaoning Educational Committee(LJKZ0663)

significantly higher than that of other regions. Additionally, 69.14% of the microplastics in the soil were associated with soil aggregates, especially micro-aggregates, and 30.86% of the microplastics were dispersed. The distribution of various shapes of microplastics in the aggregate fractions was also different. The fibers and granules were mainly in micro-aggregates, and the films were mainly in macro-aggregates; there were no obvious differences in the distribution of flakes in the various aggregate fractions. In conclusion, microplastics were widely present in the farmland soils of the Liaoning area, but their spatial distribution was uneven in the different areas. The microplastics in the soil were mainly fibers, which were composed of nylon. Most of the microplastics were associated with aggregates, but some were dispersed, exhibiting a potential risk of leaching into deeper soil and groundwater under irrigation or rainfall conditions.

**Keywords:** microplastic; soil aggregate; farmland soil; Liaoning area

微塑料被美国国家海洋和大气管理局(NOAA)定义为直径 $<5\text{ mm}$ 的塑料颗粒<sup>[1-2]</sup>。微塑料有两种来源:一种是最初生产就是特别小的颗粒,通常应用于化妆品和洗护用品中,称之为初级微塑料;另一种是大块的塑料制品经物理、化学、风化作用裂解成的较小的塑料颗粒,称之为次级微塑料。由于塑料产品在各个方面的广泛应用,进入陆地和水生生态系统的微塑料总量逐渐增加。进入环境中的微塑料对生态系统存在毒害作用。一方面微塑料在土壤环境中积累,影响土壤容重、堵塞土壤中部分孔隙,进而影响土壤渗透功能<sup>[3]</sup>;如果被生物误食,还会对生物的进食器官产生机械损伤甚至造成堵塞<sup>[4]</sup>。另一方面塑料能够释放酞酸酯等毒性物质<sup>[5]</sup>。除此之外微塑料还能够吸附重金属和多氯联苯等有毒污染物<sup>[6-8]</sup>,其可被生物吸收进而进入食物链<sup>[7,9-10]</sup>,威胁人类健康。

近年来陆地生态系统中微塑料污染逐渐受到广泛关注,因为陆地中存在的微塑料丰度可能是海洋的4~23倍<sup>[11]</sup>。Zubris等<sup>[12]</sup>曾在美国施用污泥的农田土壤中检测到纤维的存在,而且发现纤维随污泥施入土壤15年后依然保持与在污泥产品中同样的性质。Huerta等<sup>[13]</sup>调查发现墨西哥东南部的家庭花园土壤中微塑料的丰度为 $870\text{ 个}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。Piehl等<sup>[14]</sup>测定德国东南部农田土壤中微塑料丰度为 $(0.34\pm 0.36)\text{ 个}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。我国上海郊区<sup>[15]</sup>、西北黄土高原<sup>[16]</sup>、西南地区<sup>[17]</sup>、内蒙古河套灌区<sup>[18]</sup>、台湾省台南地区<sup>[19]</sup>及东北典型黑土区农田土壤中都检测到了微塑料的存在<sup>[20]</sup>。其中西南农田土壤中微塑料的丰度范围为 $7\ 100\sim 42\ 960\text{ 个}\cdot\text{kg}^{-1}$ (平均 $18\ 760\text{ 个}\cdot\text{kg}^{-1}$ )<sup>[17]</sup>,内蒙古河套灌区农田土壤中微塑料丰度在 $2\ 526\sim 6\ 070\text{ 个}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间<sup>[18]</sup>;台南农场不同深度土壤中微塑料丰度为 $11\sim 117\text{ 个}\cdot\text{m}^{-2}$ <sup>[19]</sup>。土壤中的微塑料以 $<1\text{ mm}$ 的微塑料居多<sup>[15]</sup>,主要类型有纤维状、块状、颗粒状、薄膜状等<sup>[21]</sup>。农田土壤中的微塑料主要集中在表层,随着土层深度加深,微塑料丰度明显降低<sup>[12,15,19,21]</sup>。留存在土壤中的微塑料会不

同程度地进入到土壤团聚体中<sup>[17]</sup>,影响土壤结构、容重、持水能力等物理性质,以及土壤动物和土壤微生物,甚至影响整个陆地生态系统<sup>[9,11,22]</sup>。

辽宁作为重要的粮食产区,其农田土壤也存在微塑料污染问题。时馨竹等<sup>[21]</sup>研究发现沈阳周边农田土壤中微塑料的丰度为 $217.30\sim 2\ 512.18\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ,其中聚乙烯的丰度最高。沈阳周边农田土壤中微塑料在空间上呈现不同的分布特征,而且存在向下迁移的现象。但是目前对辽宁地区农田土壤中微塑料在土壤团聚体中的分布情况尚不清楚。微塑料在团聚体中的分布,一方面能够反映微塑料对土壤结构的影响,另一方面能够反映土壤中微塑料的环境风险<sup>[16]</sup>。为了进一步了解辽宁地区农田土壤中的微塑料污染问题,本研究以辽宁14个地区的农田土壤为研究对象,测定了耕层土壤及各级团聚体中不同类型微塑料的丰度,并分析辽宁地区农田土壤中微塑料的分布特征及微塑料在土壤团聚体中的分布特征,研究结果将为辽宁地区农田土壤微塑料风险评估和防治工作提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试土壤样品

土壤样品采自辽宁省14个地区的农田土壤表层(0~20 cm)(表1)。采样点选取平缓的玉米地。每个地区选择8~10个采样点,每个取样点在 $5\text{ m}\times 5\text{ m}$ 范围内,以三点取样法采集土壤样品,样品混合均匀、风干去除砾石后备用。

### 1.2 全土中微塑料的提取和测定

称取每个地区的土壤样品 $20.0\text{ g}$ ,用于测定全土中微塑料的丰度。测定方法参照Zhang等<sup>[17]</sup>的方法。

#### 1.2.1 消解土壤有机质

首先向土壤中加入 $30\text{ mL}$ 的35%  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,在 $60\text{ }^\circ\text{C}$ 沙浴环境下氧化 $2\text{ h}$ ,氧化过程中加 $1\sim 2$ 滴异丙醇作为消泡剂,并用玻璃棒搅拌,使 $\text{H}_2\text{O}_2$ 和土壤颗粒充分

表1 土壤采样点

Table 1 Location of sampling sites

序号 Serial number	采样点 Site	经纬度 Longitude and latitude
1	沈阳市	41°42' N, 123°05' E
2	大连市	39°37' N, 121°50' E
3	鞍山市	40°39' N, 122°52' E
4	抚顺市	41°48' N, 123°52' E
5	本溪市	41°06' N, 123°44' E
6	丹东市	40°25' N, 124°03' E
7	锦州市	41°42' N, 121°20' E
8	营口市	40°30' N, 122°28' E
9	阜新市	42°11' N, 121°07' E
10	辽阳市	41°15' N, 123°09' E
11	盘锦市	42°11' N, 121°07' E
12	铁岭市	42°17' N, 123°33' E
13	朝阳市	41°25' N, 120°25' E
14	葫芦岛市	40°40' N, 119°32' E

接触,使土壤颗粒充分氧化。然后加入2 mL 10%的FeSO<sub>4</sub>和20 mL 0.5 mol·L<sup>-1</sup>的NaOH继续氧化,静置24 h。

### 1.2.2 提取土壤微塑料

浮选: Zhang等<sup>[17]</sup>在浮选微塑料时使用了NaI溶液,但是考虑到NaI价格比较昂贵,而且毒性较强,本研究改用Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O和NaCl混合盐溶液(密度1.52 g·mL<sup>-1</sup>)。因为大部分微塑料密度小于1.4 g·mL<sup>-1</sup><sup>[23]</sup>,因此密度1.52 g·mL<sup>-1</sup>的混合盐溶液可以保证浮选效果。首先向氧化消解之后的土壤中加入去离子水,初步浮选土壤中的微塑料,收集含有微塑料的上清液;然后用Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O和NaCl混合盐溶液进一步重复浮选土壤中的微塑料,经过搅拌、超声、离心往复循环3次后,收集含有微塑料的浸提液。

过滤:将浮选过程收集到的所有含有微塑料的浸提液用0.45 μm水系尼龙微孔滤膜进行抽滤,将微塑料收集至滤膜上。用去离子水将滤膜上的物质(微塑料及其他未消解完全的有机物)冲洗至小烧杯,60℃下烘干。

氧化:烘干完成后,加入35%的H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>消解有机质,60℃下氧化48 h。然后用0.45 μm滤膜抽滤。保存好滤膜,用于后续观察和测定。

### 1.2.3 微塑料的观察统计和红外光谱测定

微塑料的观察统计:用连续变倍体式显微镜(SZ680,重庆奥特)观察滤膜上的微塑料,并根据不同形状(纤维状、块状、薄膜状、颗粒状)进行分类统

计,尽管人工目测的方法存在一定的误差,但是该方法还是在很多研究中得到应用<sup>[17,24-25]</sup>。

微塑料红外光谱测定:采用傅里叶红外光谱仪(Thermo NICOLET IR 200FT-IR,美国)对4种形状微塑料样品进行红外谱图分析。测定条件:波数范围为4 000~500 cm<sup>-1</sup>,16次扫描,64次累加,测试温度为25℃,相对湿度为35%~45%。

### 1.3 土壤团聚体中微塑料的提取和测定

选取沈阳地区的土壤样品100.0 g,用于测定土壤各级团聚体中微塑料的丰度。

#### 1.3.1 筛分团聚体

用团聚体筛分仪对土壤样品进行湿筛,放入筛孔为1.00、0.25、0.05 mm的筛柱,30 r·min<sup>-1</sup>筛分30 min。筛分完成后,将留在每个筛子上的土壤物质及水桶中土壤物质的沉淀转移到干净的烧杯中,并在60℃下烘干<sup>[17]</sup>。

筛分后按大小将团聚体分级为:>0.05~0.25 mm微团聚体(小团聚体),>0.25~1 mm粒径团聚体(中团聚体),>1 mm粒径团聚体(大团聚体),≤0.05 mm分散态的土壤<sup>[17]</sup>。

#### 1.3.2 各粒径团聚体中微塑料的测定方法

各粒径团聚体中微塑料的测定方法同全土中微塑料的测定方法。

#### 1.3.3 分散态微塑料的计算

分散态微塑料的计算公式:

$$C_d = C_b - \sum (c_i p_i)$$

式中: C<sub>d</sub>为分散态微塑料的丰度; C<sub>b</sub>为全土中微塑料的丰度; c<sub>i</sub>为某一粒径团聚体中微塑料的丰度; p<sub>i</sub>为对应粒径团聚体的丰度。

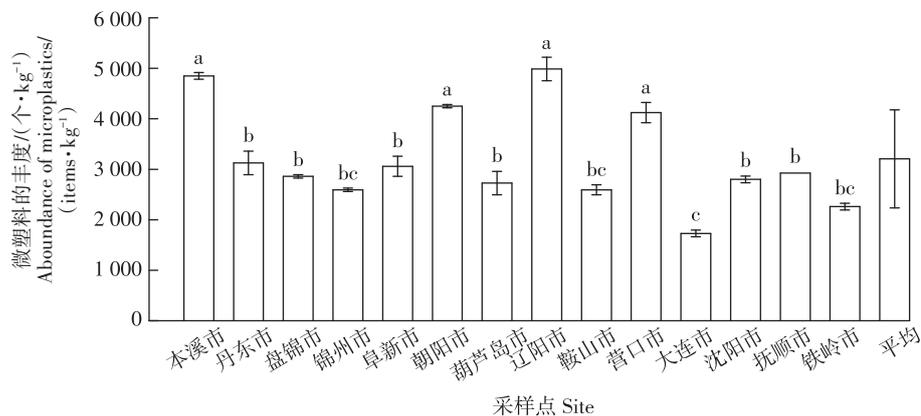
### 1.4 数据处理

微塑料的丰度表示为单位风干土中微塑料的个数(个·kg<sup>-1</sup>),数据分析和图表制作分别采用Excel 2010和Origin 17完成。不同地区农田土壤中微塑料的丰度,不同粒级团聚体中微塑料丰度所占的比例,及不同类型微塑料在各级团聚体中的丰度的方差分析及多重比较(LSD)采用SPSS 16.0完成。

## 2 结果与讨论

### 2.1 辽宁地区耕层土壤中微塑料的分布

辽宁省14个地区的农田土壤样品中均检测到了微塑料,土壤中微塑料的丰度范围为2 128~5 387个·kg<sup>-1</sup>,平均丰度为3 206个·kg<sup>-1</sup>(图1)。辽宁地区耕层土壤中的微塑料丰度与内蒙古河套灌区农田土壤中



不同字母表示采样点之间的差异显著( $P<0.05$ )。

Different letters indicate significant statistical differences ( $P<0.05$ ) among sampling sites.

图1 辽宁地区农田土壤中微塑料丰度空间分布

Figure 1 Spatial distribution of microplastics abundance in the farmland soil in Liaoning area

微塑料丰度相近( $2\ 526\sim 6\ 070$  个 $\cdot\text{kg}^{-1}$ )<sup>[18]</sup>,但是低于武汉菜地及空地土壤( $6.9\times 10^5$  个 $\cdot\text{kg}^{-1}$ )<sup>[26]</sup>和滇池南部菜地土壤( $7\ 100\sim 42\ 960$  个 $\cdot\text{kg}^{-1}$ )<sup>[17]</sup>。微塑料在土壤中积累会影响土壤的性质,进而影响整个陆地生态系统<sup>[9]</sup>。

土壤中的微塑料来源主要有农膜覆盖、施肥、农田灌溉和空气沉降等<sup>[27-28]</sup>。由于各地农业发展水平不同、种植方式不同、管理方式不同<sup>[21]</sup>以及空气沉降的不确定性导致土壤中微塑料丰度呈现空间上分布的不均衡。辽宁不同地区农田土壤微塑料丰度差异显著( $P<0.05$ ),其中辽阳、朝阳、本溪、营口市地区农田土壤中的微塑料丰度显著大于其他地区,这4个地区农田土壤微塑料丰度之间差异不显著。朝阳、营口市地区地膜覆盖比例较高<sup>[29]</sup>,尽管本研究中的采样农田均未做地膜覆盖处理,但是长期地膜覆盖产生的微塑料会随着风迁移影响周边甚至距离较远的土壤。朝阳地区和辽阳地区有机肥使用量较多<sup>[30]</sup>,有机肥中含有大量的微塑料<sup>[31]</sup>,有机肥施用量大,向土壤带入的微塑料也较多。本溪地区虽然地膜覆盖比例和有机肥使用量均不高,但其农田土壤中微塑料含量较高,说明本溪地区农田土壤中微塑料的主要来源可能是地表水灌溉或扬尘等。今后的研究应进一步明确各地区农田土壤中微塑料的来源,从而针对不同来源采取相应的防治措施,降低微塑料污染。丹东、盘锦、阜新、葫芦岛、沈阳、抚顺地区农田土壤中微塑料丰度显著高于大连,这6个地区农田土壤中微塑料丰度差异不显著。锦州、鞍山、铁岭、大连地区农田土壤中微塑料丰度差异不显著。

## 2.2 辽宁地区耕层土壤中微塑料的形状和类型

辽宁地区农田土壤中微塑料的形状主要包括纤维状、颗粒状、块状和薄膜状(图2)。14个地区农田土壤中微塑料的形状组成各不相同(图3),整体上表现为:纤维状占比最大,为42.11%;其次是颗粒状和块状,占比分别为29.10%和22.32%;薄膜状最少,占比仅为6.47%(表2)。Zhang等<sup>[16]</sup>和Ding等<sup>[32]</sup>研究西北毛乌素沙地土壤和西南地区农田土壤中微塑料污染时也发现土壤中微塑料的主要形状是纤维状。这可能是长期农业活动过程中人类自身以及通过农业工具带入土壤的塑料及其降解产物,或者生活污水及纺织品洗涤废水<sup>[33-34]</sup>中的纤维状微塑料,通过农业污水灌溉进入土壤环境。另外大气沉降和地表径流也是纤维状微塑料的潜在来源<sup>[35-36]</sup>。

结合傅里叶红外光谱仪对辽宁地区耕层土壤中提取处理的典型微塑料进行聚合物成分鉴定,结果如图2所示。纤维状微塑料被鉴定为尼龙;颗粒状微塑料为聚对苯二甲酸乙二酯;薄膜状和块状微塑料被鉴定为聚乙烯。由于红外光谱测定时只选择不同形状微塑料的部分样品进行测定,而往往同种形状的微塑料的化学组成也并不相同<sup>[37]</sup>,因此本研究中的红外光谱测定结果并不代表辽宁地区耕层土壤中所有微塑料的化学组成类型。

## 2.3 辽宁地区耕层土壤中微塑料在团聚体中的分布特征

本实验以沈阳地区的土壤样品为例,测定土壤各级团聚体中微塑料的丰度(图4)。

土壤小团聚体中微塑料的丰度最高,占比为

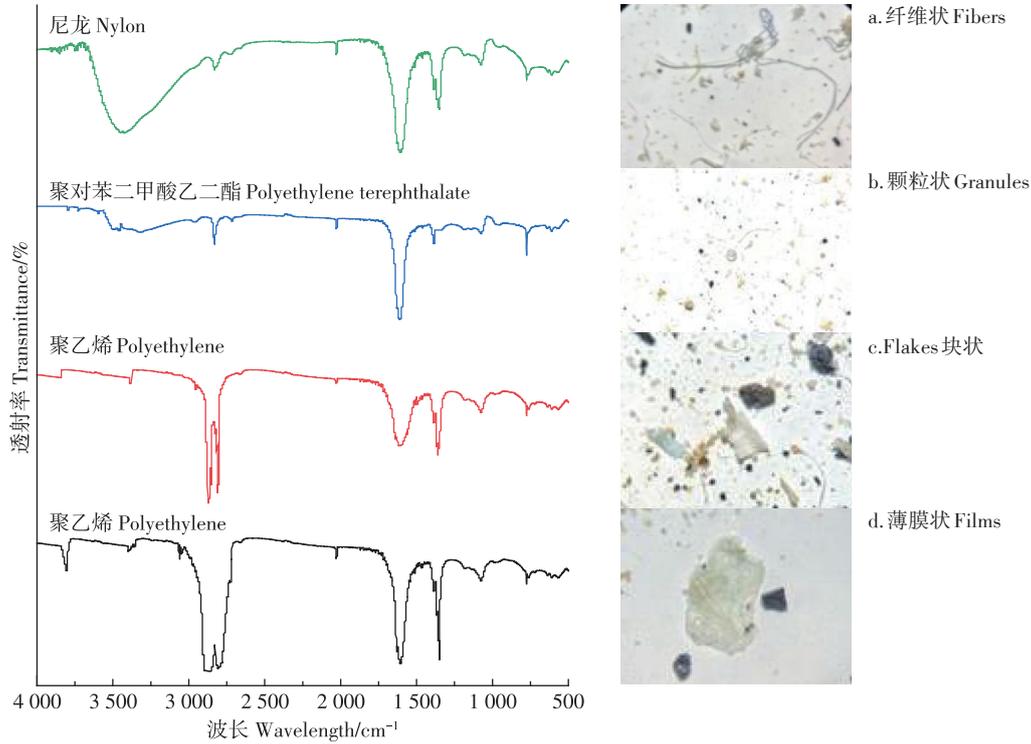


图2 土壤中的微塑料(放大倍数40倍)及其傅里叶红外光谱图  
Figure 2 Microplastics in soil(magnification times 40) and their FTIR spectra

表2 各采样点不同形状微塑料的丰度及占比

Table 2 Range and ratio of each microplastic shape at the sampling sites of the present study

形状 Shape	丰度/(个·kg <sup>-1</sup> ) Range/(items·kg <sup>-1</sup> )	平均值/(个·kg <sup>-1</sup> ) Average/(items·kg <sup>-1</sup> )	中位数/(个·kg <sup>-1</sup> ) Median/(items·kg <sup>-1</sup> )	标准误/(个·kg <sup>-1</sup> ) SD/(items·kg <sup>-1</sup> )	变异系数 CV	占比 Ratio/%
纤维状 Fibers	997.5~2 460.5	1 518.14	1 463.4	351.40	0.23	42.11
颗粒状 Granules	399.1~1 805.8	1 048.88	709.7	379.67	0.36	29.10
块状 Flakes	0~2 593.5	804.43	731.5	672.28	0.84	22.32
薄膜状 Films	0~598.5	233.36	216.3	190.30	0.82	6.47
总量 Total amount	2 128.3~5 386.5	3 604.80	3 291.8	969.47	0.27	—

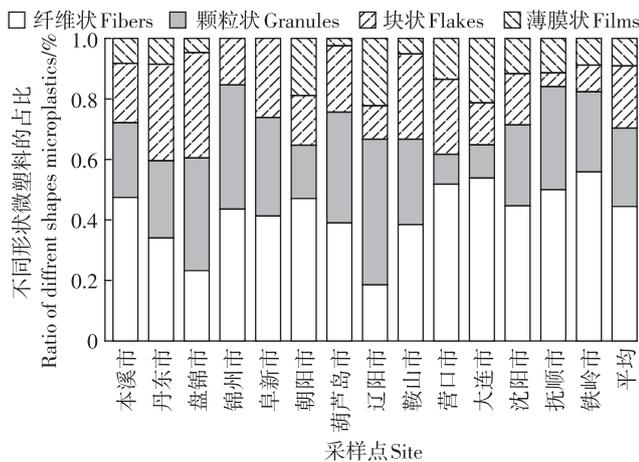
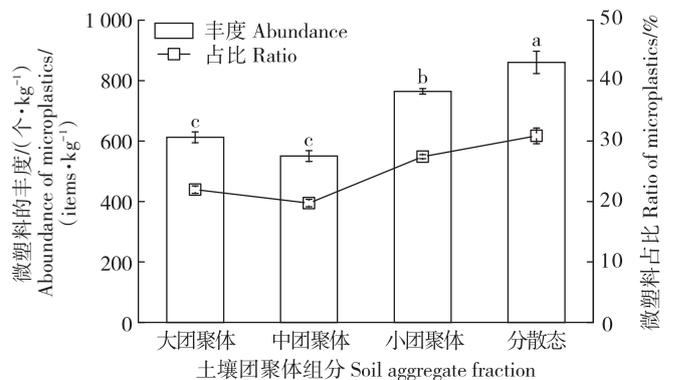


图3 不同地区土壤中各形状微塑料的占比

Figure 3 Ratio of various shapes microplastics in soil of different areas



不同字母表示各级团聚体之间的差异显著(P<0.05)。图5同。  
Different letters indicate significant differences (P<0.05) among soil aggregate fractions. The same as figure 5.

图4 不同粒级团聚体中微塑料的丰度及占比

Figure 4 Abundance and ratio of microplastic in soil aggregate fractions

27.42%,大团聚体中微塑料的占比为21.97%,中团聚体中微塑料的占比为19.75%,分散态土壤中微塑料的占比为30.86%。土壤中69.14%的微塑料以与团聚体结合的方式存在,但是仍然有大量的微塑料易于通过降雨或灌溉而向下迁移。而与团聚体有关的微塑料主要存在于小团聚体中,本实验研究结果与Zhang等<sup>[17]</sup>和刘亚菲<sup>[38]</sup>的研究结果相一致。

方差分析结果表明,土壤各级团聚体中微塑料的丰度差异显著( $P<0.05$ ),其中分散态土壤中的微塑料丰度显著高于各级团聚体中微塑料的丰度,小团聚体中微塑料的丰度显著高于中团聚体和大团聚体中微塑料的丰度,而中团聚体和大团聚体中微塑料的丰度差异不显著(图4)。

#### 2.4 辽宁地区耕层土壤团聚体中微塑料的形状

不同形状微塑料在各级团聚体中的分布存在较大差异(图5)。纤维状微塑料主要存在于小团聚体中,存在于小团聚体中的纤维状微塑料显著高于在大团聚体和中团聚体中的纤维状微塑料(图5a)。Zhang等<sup>[17]</sup>和刘亚菲<sup>[38]</sup>在研究滇池湖滨农田土壤微塑料污染时也发现了类似的结果。Edwards等<sup>[39]</sup>认为土壤中的微团聚体具有较强的稳定性,一方面是因为其颗粒小( $<0.25\text{ mm}$ ),另一方面还因为微团聚体中包含多种

胶结剂<sup>[40]</sup>。这意味着当细小的纤维状微塑料进入到微团聚体中,也能够被稳定地固定在微团聚体中,而不倾向于结合到大团聚体中。块状微塑料在3种粒级团聚体中的丰度差异不显著,因为在本实验的微塑料观察条件下发现各种粒径大小的块状微塑料都存在,因此可能参与不同粒径团聚体的形成过程(图5b)。薄膜状微塑料主要存在于大团聚体中,存在于大团聚体中的微塑料丰度显著高于中团聚体和小团聚体中的薄膜状微塑料(图5c),薄膜状微塑料尺寸相对较大(图1),更倾向于在大团聚体的形成中被包裹<sup>[17,38]</sup>。颗粒状微塑料在土壤团聚体中的丰度随着团聚体尺寸的降低而显著增加(图5d),因为在本实验的微塑料观察条件下,颗粒状微塑料被界定为较小的没有明显棱角的微塑料,其在各粒级团聚体中分布的原因与纤维状微塑料类似。

### 3 结论

(1) 辽宁地区农田土壤中微塑料丰度范围为2 128~5 387个 $\cdot\text{kg}^{-1}$ ,平均丰度为3 605个 $\cdot\text{kg}^{-1}$ 。主要形状是纤维状微塑料,占比为42.11%;其次是颗粒状和块状,占比分别为29.10%和22.32%;薄膜状最少,占比仅为6.47%。纤维状微塑料的主要成分是尼龙,

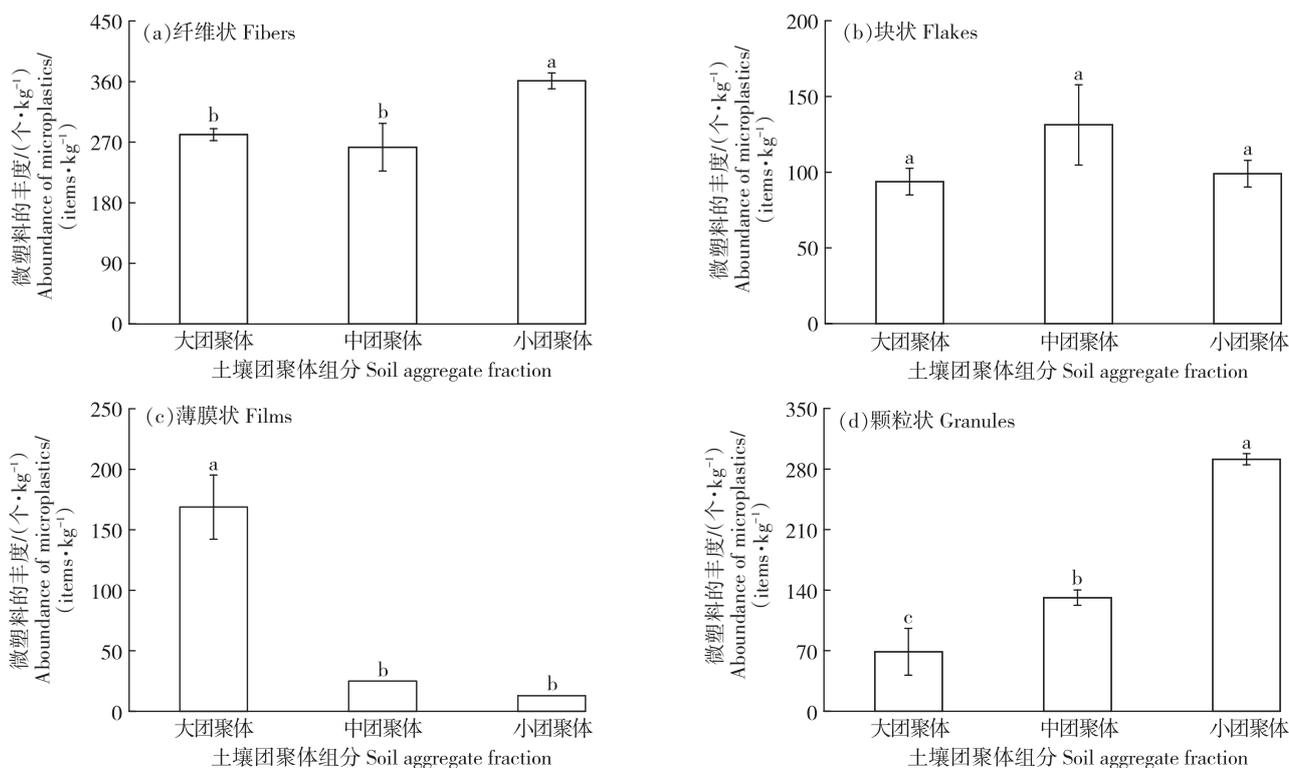


图5 各级土壤团聚体中的不同形状微塑料

Figure 5 Different shape of microplastics in soil aggregate fractions

颗粒状微塑料的主要成分是聚对苯二甲酸乙二酯,块状和薄膜状微塑料的主要成分是聚乙烯。

(2) 辽宁14个地区农田土壤中微塑料丰度差异显著,其中辽阳、朝阳、本溪、营口地区的微塑料丰度显著高于其他地区,各地区农田土壤中微塑料的形状组成也不尽相同。

(3) 土壤中69.14%的微塑料以与团聚体结合的方式存在,30.86%的微塑料以分散态存在于土壤中,其中与团聚体结合的微塑料主要存在于小团聚体中。

(4) 各形状微塑料在土壤团聚体中的分布不同。纤维状和颗粒状微塑料主要存在于小团聚体中;块状微塑料在各级微团聚体中均匀分布;而薄膜状微塑料主要存在于大团聚体中。

#### 参考文献:

- [1] CAUWENBERGHE L V, JANSSEN C R. Microplastics in bivalves cultured for human consumption[J]. *Environmental Pollution*, 2014, 193: 65-70.
- [2] FENDALL L S, SEWELL M A. Contributing to marine pollution by washing your face: microplastics in facial cleansers[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2009, 58(8): 1225-1228.
- [3] DERRAIK J G B. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2002, 44(9): 842-852.
- [4] CATTLE S R, ROBINSON C, WHATMUFF M. The character and distribution of physical contaminants found in soil previously treated with mixed waste organic outputs and garden waste compost[J]. *Waste Management*, 2020, 101: 94-105.
- [5] WANG J, LUO Y, TENG Y, et al. Soil contamination by phthalate esters in Chinese intensive vegetable production systems with different modes of use of plastic film[J]. *Environmental Pollution*, 2013, 180: 265-273.
- [6] FRIAS J P G L, SOBRAL P, FERREIRA A M. Organic pollutants in microplastics from two beaches of the Portuguese coast[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2010, 60(11): 1988-1992.
- [7] ENHLRT R E. The complex interaction between marine debris and toxic chemicals in the Ocean[J]. *Environmental Science & Technology*, 2012, 46: 12302-12315.
- [8] HOLMES L A. Interactions of trace metals with plastic production pellets in the marine environment[J]. *International Maritime Health*, 2013, 64: 126-128.
- [9] RILLIG M C. Microplastic in terrestrial ecosystems and the soil?[J]. *Environmental Science & Technology*, 2012, 46: 6453-6454.
- [10] TEUTEN E, ROWLAND S J, GALLOWAY T S, et al. Potential for plastics to transport hydrophobic contaminants[J]. *Environmental Science & Technology*, 2007, 41(22): 7759-7764.
- [11] NIZZETTO L, FUTTER M, LANGAAS S. Are agricultural soils dumps for microplastics of urban origin?[J]. *Environmental Science & Technology*, 2016, 50: 10777-10779.
- [12] ZUBRIS K A V, RICHARDS B K. Synthetic fibers as an indicator of land application of sludge[J]. *Environmental Pollution*, 2005, 138: 201-211.
- [13] HUERTA LWANGA E, MENDOZA VEGA J, KU QUEJ V, et al. Field evidence for transfer of plastic debris along a terrestrial food chain[J]. *Scientific Reports*, 2017, 7(1): 14071.
- [14] PIEHL S, LEIBNER A, LÖDER M G J, et al. Identification and quantification of macro- and microplastics on an agricultural farmland[J]. *Scientific Reports*, 2018, 8: 17950.
- [15] LIU M, LU S, SONG Y, et al. Microplastic and mesoplastic pollution in farmland soils in suburbs of Shanghai, China[J]. *Environmental Pollution*, 2018, 242: 855-862.
- [16] ZHANG S, YANG X, GERTSEN H, et al. A simple method for the extraction and identification of light density microplastics from soil[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 616/617: 1056-1065.
- [17] ZHANG G, LIU Y. The distribution of microplastics in soil aggregate fractions in southwestern China[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 642: 12-20.
- [18] 王志超, 孟青, 于玲红, 等. 内蒙古河套灌区农田土壤中微塑料的赋存特征[J]. *农业工程学报*, 2020, 36(3): 204-209. WANG Z C, MENG Q, YU L H, et al. Occurrence characteristics of microplastics in farmland soil of Hetao Irrigation district, Inner Mongolia[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2020, 36(3): 204-209.
- [19] FAKOUR H, LO S L, YOASHI N T, et al. Quantification and analysis of microplastics in farmland soils: characterization, sources, and pathways[J]. *Agriculture*, 2021, 11: 330.
- [20] 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: 19-22. LIU X. Spatial distribution of microplastics in mollisol farmland of northeast China[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2019: 19-22.
- [21] 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.
- [22] ZHANG G, ZHANG F, LI X. Effects of polyester microfibers on soil physical properties: perception from a field and a pot experiment[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 670: 1-7.
- [23] 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.
- [24] FISCHER E K, PAGLIALONGA L, CZECH E, et al. Microplastic pollution in lakes and lake shoreline sediments: a case study on Lake Bolsena and Lake Chiusi (central Italy)[J]. *Environmental Pollution*, 2016, 213: 648-657.
- [25] BALDWIN A K, CORSI S R, MASON S A. Plastic debris in 29 Great Lakes tributaries: relations to watershed attributes and hydrology[J]. *Environmental Science & Technology*, 2016, 50: 10377-10385.
- [26] CHEN Y, LENG Y, LIU X, et al. Microplastic pollution in vegetable

- farmlands of suburb Wuhan, central China[J]. *Environmental Pollution*, 2020, 257:113449.
- [27] 汤庆峰, 高峡, 李琴梅, 等. 农田土壤微塑料污染研究现状与问题思考[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(15):72-78. TANG Q F, GAO X, LI Q M, et al. Research status and existing problems of microplastic pollution in farmland soil[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2021, 49(15):72-78.
- [28] 李鹏飞, 侯德义, 王刘炜, 等. 农田中的(微)塑料污染:来源、迁移、环境生态效应及防治措施[J]. 土壤学报, 2021, 58(6):314-330. LI P F, HOU D Y, WANG L W, et al. (Micro)plastics pollution in agricultural soils: sources, transportation, ecological effects and preventive strategies[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2021, 58(6):314-330.
- [29] 王艺陶, 兰希平, 赵博, 等. 辽宁省农用地膜使用现状调查分析[J]. 农业科技与装备, 2017(10):70-72. WANG Y T, LAN X P, ZHAO B, et al. Survey and analysis on using status of agricultural mulching film in Liaoning Province[J]. *Agricultural Science & Technology and Equipment*, 2017(10):70-72.
- [30] 邢月华, 汪仁, 包红静, 等. 辽宁省玉米主产区农田土壤施肥状况调查[J]. 中国农学通报, 2010, 26(19):166-169. XING Y H, WANG R, BAO H J, et al. Investigation of fertilization on corn in main production regions of Liaoning Province[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(19):166-169.
- [31] WEITHMANN N, MÖLLER J N, LÖDER M, et al. Organic fertilizer as a vehicle for the entry of microplastic into the environment[J]. *Science Advances*, 2018, 4(4):eaap8060.
- [32] DING L, WANG X, OUYANG Z, et al. The occurrence of microplastic in Mu Us Sand Land soils in northwest China: different soil types, vegetation cover and restoration years[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2021, 403:123982.
- [33] 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.
- [34] GORD E A, LENOBLE J L, NOËL M, et al. Retention of microplastics in a major secondary wastewater treatment plant in Vancouver, Canada[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2018, 133:553-561.
- [35] CHUBARENKO I P, ESIUKOVA E E, BAGAEY A V, et al. Three-dimensional distribution of anthropogenic microparticles in the body of sandy beaches[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 628/629:1340-1351.
- [36] ALAM F C, SEMBIRING E, MUNTALIF B S, et al. Microplastic distribution in surface water and sediment river around slum and industrial area(case study: Ciwalengke River, Majalaya District, Indonesia) [J]. *Chemosphere*, 2019, 224:637-645.
- [37] LI S T, DING F, FLURY M, et al. Macro- and microplastic accumulation in soil after 32 years of plastic film mulching[J]. *Environmental Pollution*, 2022, 300:118945.
- [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, 2018:24-29. LIU Y F. Quantity and distribution of microplastics in farmland soil of lake shore in Dianchi Lake[D]. Kunming: Yunnan University, 2018:24-29.
- [39] EDWARDS A P, BREMNER J M. Microaggregates in soils[J]. *European Journal of Soil Science*, 1967, 18(1):64-73.
- [40] TISDALL J M, OADES J M. Organic matter and water-stable aggregates in soils[J]. *European Journal of Soil Science*, 1982, 33:141-163.

(责任编辑:李丹)