

## 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

引用本文:

程万莉, 樊廷录, 王淑英, 等. 我国西北覆膜农田土壤微塑料数量及分布特征[J]. *农业环境科学学报*, 2020, 39(11): 2561–2568.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0505>

---

## 您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

### [不同地膜覆盖对土壤环境及芋艿生长的影响](#)

白娜玲, 张海韵, 张翰林, 郑宪清, 李双喜, 张娟琴, 何宇, 吕卫光

农业环境科学学报. 2020, 39(11): 2569–2577 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0476>

### [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>

### [畜禽粪便中铜和锌污染现状及风险分析](#)

袁凯, 熊苏雅, 梁静, 李彦明, 乔玉辉, 李花粉, 陈清

农业环境科学学报. 2020, 39(8): 1837–1842 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0142>

### [围垦对滨海稻田土壤N<sub>2</sub>O还原潜力的影响](#)

汪方圆, 张耀鸿, 饶旭东, 谢晴, 贾仲君

农业环境科学学报. 2020, 39(11): 2668–2674 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0533>

### [设施农田土壤重金属污染评价及分区阈值研究](#)

曹志强, 韦炳干, 虞江萍, 孟敏, 李海蓉, 杨林生, 尹舒慧, 李峰, 张国印, 陈清

农业环境科学学报. 2020, 39(10): 2227–2238 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0465>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

程万莉, 樊廷录, 王淑英, 等. 我国西北覆膜农田土壤微塑料数量及分布特征[J]. 农业环境科学学报, 2020, 39(11): 2561–2568.

CHENG Wan-li, FAN Ting-lu, WANG Shu-ying, et al. Quantity and distribution of microplastics in film mulching farmland soil of Northwest China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2020, 39(11): 2561–2568.



开放科学 OSID

## 我国西北覆膜农田土壤微塑料数量及分布特征

程万莉<sup>1</sup>, 樊廷录<sup>1,2\*</sup>, 王淑英<sup>1</sup>, 李尚中<sup>1</sup>, 张建军<sup>1</sup>, 赵刚<sup>1</sup>, 王磊<sup>1</sup>, 党翼<sup>1</sup>

(1. 甘肃省旱作区水资源高效利用重点实验室/甘肃省农业科学院旱地农业研究所, 兰州 730070; 2. 甘肃省农业科学院, 兰州 730070)

**摘要:**采集甘肃和陕北9个县区27块长期覆膜农田的81份土壤样品,采用密度浮选分离和加热分析法,并结合显微镜扫描统计微塑料数量和面积。结果表明,西北覆膜农田土壤微塑料含量很高,地块之间差异极大,0~30 cm土层微塑料丰度 $5.8 \times 10^2 \sim 1.189 \times 10^4$  pieces·kg<sup>-1</sup>,平均 $(5.09 \pm 1.21) \times 10^3$  pieces·kg<sup>-1</sup>,微塑料面积 $82 \sim 4155$  mm<sup>2</sup>·kg<sup>-1</sup>,平均 $(1.04 \pm 0.20) \times 10^3$  mm<sup>2</sup>·kg<sup>-1</sup>,微塑料大小平均 $0.19$  mm<sup>2</sup>·piece<sup>-1</sup>,最大 $7.11$  mm<sup>2</sup>·piece<sup>-1</sup>。按微塑料面积大小将其分为5个组,其中 $0 \sim 0.05$  mm<sup>2</sup>·piece<sup>-1</sup>和 $0.05 \sim 0.3$  mm<sup>2</sup>·piece<sup>-1</sup>组内的微塑料丰度分别占比38.8%和43.6%、面积分别占比8.7%和36.5%, $0.3 \sim 0.6$ 、 $0.6 \sim 1.0$ 、 $>1.0$  mm<sup>2</sup>·piece<sup>-1</sup>组内的丰度占比分别为10.5%、4.6%和2.5%、面积分别占比22.1%、16.8%和15.9%,即农田微塑料丰度随颗粒变小而增加。随着地膜覆盖年限增加,土壤中小颗粒微塑料丰度和面积所占比例增加,微塑料大小 $<0.05$  mm<sup>2</sup>·piece<sup>-1</sup>的丰度和面积所占比例覆膜28 a较5 a分别提高了44.9%和85.2%,而 $>0.3$  mm<sup>2</sup>·piece<sup>-1</sup>的丰度和面积占比却明显下降。长期覆膜农田土壤微塑料数量大,随覆膜时间增加颗粒变小丰度增加,土壤潜在污染加重。

**关键词:**微塑料;分布特征;农田土壤;覆膜

中图分类号:X53 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2020)11-2561-08 doi:10.11654/jaes.2020-0505

### Quantity and distribution of microplastics in film mulching farmland soil of Northwest China

CHENG Wan-li<sup>1</sup>, FAN Ting-lu<sup>1,2\*</sup>, WANG Shu-ying<sup>1</sup>, LI Shang-zhong<sup>1</sup>, ZHANG Jian-jun<sup>1</sup>, ZHAO Gang<sup>1</sup>, WANG Lei<sup>1</sup>, DANG Yi<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory for Efficient Utilization of Water Resources in Dryland Areas in Gansu Province/Dryland Agriculture Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China; 2. Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** In this study, 81 soil samples from the 0~30 cm layer were collected from 27 mulch farmlands in 9 counties of Gansu Province and north Shaanxi. The density floatation method using distilled water and heating identification was combined with optical microscope scanning to extract light-density microplastics (MiPs) from the soil samples, and count the number of pieces and sizes of these MiPs. The results showed that the MiPs were highly abundant in film mulched farmland soils in Northwest China. Their concentrations ranged from  $5.8 \times 10^2 \sim 1.189 \times 10^4$  pieces·kg<sup>-1</sup>, averaging at  $(5.09 \pm 1.21) \times 10^3$  pieces·kg<sup>-1</sup>. The MiPs covered an area of  $82 \sim 4155$  mm<sup>2</sup>·kg<sup>-1</sup>, with a mean of  $(1.04 \pm 0.20) \times 10^3$  mm<sup>2</sup>·kg<sup>-1</sup>. The MiPs were sized  $0.19$  mm<sup>2</sup>·piece<sup>-1</sup> on average, the biggest size being  $7.11$  mm<sup>2</sup>·piece<sup>-1</sup>. The MiPs were classified into 5 groups by size, of which in the size  $0 \sim 0.05$  and  $0.05 \sim 0.3$  mm<sup>2</sup>·piece<sup>-1</sup> the proportion of abundance and size respectively accounted for 38.8% and 43.6%, 8.7% and 36.5%, however in the size  $0.3 \sim 0.6$  and  $0.6 \sim 1.0$  and  $>1.0$  mm<sup>2</sup>·piece<sup>-1</sup> were 10.5%, 4.6% and 2.5%, 22.1%, 16.8% and 15.9%, respectively, implying that the abundance of the MiPs increased with the reduction in size. The

收稿日期:2020-05-07 录用日期:2020-06-10

作者简介:程万莉(1989—),女,甘肃靖远人,硕士,助理研究员,从事土壤质量提升研究。E-mail:chwlir@163.com

\*通信作者:樊廷录 E-mail:13893425734@163.com

基金项目:国家玉米产业技术体系(CARS02-55);甘肃省农业科学院中青年基金(2019GAAS-36);甘肃省青年科技人才托举工程项目;甘肃省废旧农膜回收利用产业技术体系建设项目(2018-11-21)

**Project supported:** Project for the Chinese Agriculture Research System (CARS02-55); Youth Research Funding of Gansu Academy of Agricultural Sciences (2019GAAS-36); Youth Science and Technology Talent Commissioning Project of Gansu Province; Gansu Waste Agricultural Film Recycling Industrial Technology System Construction Project (2018-11-21)

percentage of MiPs sized  $0\sim0.05 \text{ mm}^2 \cdot \text{piece}^{-1}$  in the plastic film mulch increased in abundance (by 44.9%) and area (85.2%) over a time period of 5~28 years. In contrast, the corresponding values for the MiPs sized  $> 0.3 \text{ mm}^2 \cdot \text{piece}^{-1}$  decreased significantly. These results clearly demonstrate that over the long term, the sizes of MiP pieces in film mulch farmland are reducing, whereas their abundances are increasing, leading to worsening pollution.

**Keywords:** microplastics; distribution characteristics; farmland soil; plastic film mulch

微塑料(Microplastics, Mips)作为新型污染物正在成为备受关注的全球性环境问题<sup>[1]</sup>。因其比表面积大、吸附能力强、在环境中易于迁移和难以降解等特点在海洋或水体生态系统中得到广泛研究<sup>[2-3]</sup>。通常把 $<5 \text{ mm}$ 的塑料颗粒称为微塑料,其经过物理、化学等作用会进一步裂解成更小颗粒<sup>[4]</sup>。这些小颗粒更易吸附多氯联苯和多环芳烃等有机污染物及重金属,也易被海洋生物误食,造成危害<sup>[5-7]</sup>。迄今为止,有关微塑料的研究主要集中在海洋生态环境影响方面,许多学者已研究了其数量、来源、分布及毒理效应,明确了微塑料在淡水水体及沉积物中的富集状况<sup>[8]</sup>。由于土壤是一个复杂的三相体系,与海洋环境差异较大,难以直接将海洋环境中的研究思路和方法直接移植到土壤环境中,从土壤中获取微塑料远比在水中获取困难,致使土壤中微塑料相关研究工作进展缓慢。另外土壤中存在大量塑料碎片是司空见惯的现象,这在很大程度上也是导致土壤中微塑料积累研究被忽视的原因之一。Nizzetto 等<sup>[9]</sup>估算北美和欧洲每年排放约 11 万~73 万 t 微塑料到农田土壤中,大大超过了对海洋中微塑料的估计量。农田土壤微塑料研究才刚起步,已有研究显示,上海城郊菜地土壤中微塑料主要分布在浅层土壤<sup>[10]</sup>,黑龙江农田土壤 0~20 cm 微塑料颗粒大小分布在 60~2 400  $\mu\text{m}$  之间<sup>[11]</sup>,云南滇池南部湖盆区 0~10 cm 表层每千克土壤微塑料数量近 2 万片<sup>[12]</sup>。在高强度地膜覆盖的我国西北地区,农田土壤中肉眼可见地膜残片(直径 $>5 \text{ mm}$ )被认为是土壤微塑料的最主要来源<sup>[13]</sup>,但土壤微塑料数量和分布特征的研究还较少。由于对农田土壤微塑料本底值和科学认知研究的不充分,也就难以评估微塑料对农田土壤健康以及生产力的潜在危害。

环境样品中微塑料的分离提取是微塑料污染研究的关键。目前,水面漂浮微塑料主要通过过滤收集<sup>[14]</sup>;沉积物或土壤等固体样品通常采用筛分-浮选相结合进行分离收集,或者直接通过密度浮选法<sup>[15-17]</sup>,并结合加热法,用显微镜观察加热前后微塑料的变化,该方法简单、方便、成本低廉,不需化学试剂就能有效地鉴别微塑料。近年来,拉曼光谱或红外

线、扫描电镜-能谱法、裂解气相色谱-质谱法等也被用于识别和量化土壤中微塑料形态与组成结构的变化<sup>[1]</sup>,但成本高、耗时长。地膜覆盖是甘肃和陕北等西北干旱半干旱地区农业增产增效的重大技术措施,已应用 20 多年,甘肃是仅次于新疆全国地膜覆盖面积最大的省份之一,全省一半耕地已地膜化,地膜污染形势严峻。因此,本研究采集该区域 9 个县区 27 块典型覆膜农田 0~30 cm 土壤样品,参考 Zhang 等<sup>[18]</sup>提出的密度浮选和加热分离法提取和甄别农田土壤微塑料,结合电子显微镜和 Image J 软件计算微塑料丰度(每千克干土中微塑料数量,  $\text{pieces} \cdot \text{kg}^{-1}$ )和面积(每个微塑料面积,  $\text{mm}^2 \cdot \text{piece}^{-1}$ ),旨在阐明西北典型覆膜农田微塑料数量及分布特征,为农田土壤微塑料研究提供参考和基础数据。

## 1 材料和方法

### 1.1 样品采集

甘肃和陕西北部是我国地膜覆盖面积及覆盖强度较大的地区之一,气候由西部的干旱绿洲灌区到东部的半干旱雨养区,长期盛行一年一熟或两年三熟(夏休闲期复种)轮作制,农田地膜覆盖量平均  $75 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。2018 年 9—11 月作物收获后,用 GPS 定位甘肃和陕北 9 个县区 27 块典型覆膜农田的地理位置,调查种植作物和覆膜年限,结果见表 1。在作物收获后揭掉地表当季覆盖塑料薄膜后、农田土壤未翻耕前采集土样,每个地块根据面积大小和形状选取 3 个样方作为采样点,总共采集 81 个样点的土壤样品( $27 \times 3$ )。每个采样点用铁签作为四角支撑点连成一个  $100 \text{ cm} \times 100 \text{ cm}$  的正方形,逐层仔细捡拾 0~30 cm 深土壤样品中肉眼可见的残膜碎片(数据单独公开发表)。同步采集土壤样品,将每次采集的土壤均匀混合,用四分法取 2 kg 土壤样品标记后装入布袋,共 81 份带回实验室处理并进行微塑料提取。

### 1.2 微塑料提取

采集的土壤样品在实验室自然风干后,进一步除去肉眼可见的塑料残片、作物根系、石块等杂质后,采用密度-蒸馏水浮选法提取 81 个土壤样品中的微塑

料。(1)每个样品称取10.00 g土壤放入100 mL烧杯中,加入蒸馏水50 mL,室温下用玻璃棒充分搅拌均匀,用蒸馏水把玻璃棒上的黏附物冲洗到烧杯中,盖上锡箔纸,静置24 h,让土壤颗粒沉淀,得到均匀悬浮液;(2)用慢速定量滤纸(孔径<3 μm)过滤悬浮液到准备好的三角瓶中,然后再加50 mL蒸馏水到烧杯中,继续用玻璃棒搅拌并用蒸馏水冲洗玻璃棒,盖上锡箔纸再静置24 h;(3)重复(2)操作至少4次,使微塑料等物质吸附到滤纸上,直至原有烧杯上清液中无肉眼可见漂浮物;(4)将烧杯移至超声波清洗机中振荡2 h,以充分释放包裹于土壤颗粒中的微塑料,取出静置24 h后过滤;(5)将(4)得到的悬浮液继续用(2)中滤纸过滤吸附微塑料等,然后将滤纸仔细折叠,放在锡箔纸杯中,于60 ℃烘箱中烘至恒质量。为防止环境背景造成污染,实验人员穿棉质衣服,操作在封

闭环境中进行。

### 1.3 微塑料鉴别与大小计算

拍照:用毛刷子将滤纸上收集的微塑料等物质全部转移到载玻片上,并使其均匀分散不重叠,载玻片置于显微镜(Olympus CX41)下观察,并用连接于电脑的拍照系统(Q-Capture Pro7)拍摄照片记为1(图1A),然后保持显微镜和拍摄参数不变,将载玻片转移到恒温电热板(峰嵘DB-1A),130 ℃下加热4~8 s使微塑料变形;将载玻片放回显微镜拍下加热后微塑料照片记为2(图1B)。拍照全过程实验人员戴帽子和口罩,穿棉质衣服。

识别:在Photoshop CS6中将照片1和2叠加比对,加热前后发生形态变化的即为微塑料,形态未变化的为土壤颗粒中分离出来的有机物、石块等杂质。将照片1中加热后未变形的物质擦除,变形的微塑料

表1 甘肃省和陕西北部27个采样点的基本信息

Table 1 Basic informations of 27 sampling sites in Gansu and North Shaanxi

采样点序号 No.	采样点 Sampling sites	海拔 Altitude/m	当季种植作物 Crops	覆膜年限 Mulch years/a
1	高台县六三村 Liusan Village, Gaotai County, Gansu Province	1 337	玉米 Maize	15
2	高台县健康村 Jiankang Village, Gaotai County, Gansu Province	1 327	玉米 Maize	15
3	高台县南岔村 Nancha Village, Gaotai County, Gansu Province	1 340	玉米 Maize	15
4	凉州区陈家寨村 Chenjiazhai Village, Liangzhou District, Gansu Province	1 598	玉米 Maize	22
5	凉州区中沙村 Zhongsha Village, Liangzhou District, Gansu Province	1 532	玉米 Maize	12
6	凉州区马行河村 Maxinghe Village, Liangzhou District, Gansu Province	1 557	玉米 Maize	12
7	临夏县上石村 Shangshi Village, Linxia County, Gansu Province	2 074	玉米 Maize	9
8	临夏县中寨村 Zhongzhai Village, Linxia County, Gansu Province	1 966	玉米 Maize	28
9	临夏县大路村 Dalu Village, Linxia County, Gansu Province	2 225	玉米 Maize	12
10	安定区薛川村 Xuechuan Village, Anding District, Gansu Province	2 016	马铃薯 Potato	15
11	安定区高泉村 Gaoquan Village, Anding District, Gansu Province	2 109	马铃薯 Potato	21
12	安定区香泉村 Xiangquan Village, Anding District, Gansu Province	2 098	马铃薯 Potato	9
13	渭源县大涝子村 Dalaozi Village, Weiyuan County, Gansu Province	2 206	马铃薯 Potato	6
14	渭源县杨川村 Yangchuan Village, Weiyuan County, Gansu Province	2 115	马铃薯 Potato	23
15	渭源县西关村 Xiguan Village, Weiyuan County, Gansu Province	2 308	马铃薯 Potato	13
16	镇原县川郑村 Chuanzheng Village, Zhenyuan County, Gansu Province	1 450	玉米 Maize	4
17	镇原县梧桐村 Wutong Village, Zhenyuan County, Gansu Province	1 297	玉米 Maize	15
18	镇原县阳宁村 Yangning Village, Zhenyuan County, Gansu Province	1 456	玉米 Maize	5
19	泾川县东关村 Dongguan Village, Jingchuan County, Gansu Province	1 238	玉米 Maize	14
20	泾川县尹家洼村 Yinjiawa Village, Jingchuan County, Gansu Province	1 266	玉米 Maize	11
21	泾川县郭家咀村 Guojiazui Village, Jingchuan County, Gansu Province	1 255	玉米 Maize	12
22	靖边县车路壕村 Cheluhao Village, Jingbian County, Shaanxi Province	1 300	玉米 Maize	10
23	靖边县伊当湾村 Yidangwan Village, Jingbian County, Shaanxi Province	1 342	马铃薯 Potato	11
24	靖边县东胜村 Dongsheng Village, Jingbian County, Shaanxi Province	1 724	白菜 Cabbage	15
25	榆阳区闹牛海则村 Naoniuhaze Village, Yuyang District, Shaanxi Province	1 133	玉米 Maize	5
26	榆阳区西左界村 Xizuojie Village, Yuyang District, Shaanxi Province	1 146	玉米 Maize	5
27	榆阳区郝家伙场 Haojiahuochang Village, Yuyang District, Shaanxi Province	1 257	玉米 Maize	10

命名为N1保存。将N1导入Image J中统计微塑料的数量(丰度)和每个微塑料的像素值,用照片分辨率(300 dpi)和像素( $2\ 560\times1\ 920$ )、微塑料像素值、显微镜放大倍数40(目镜 $10\times$ 、物镜 $4\times$ )计算每个微塑料的面积。

分组:土壤中微塑料经各种生物、化学和物理因素作用后呈碎片、纤维和薄膜等不同形态,单纯用粒径长度尚不能充分反映微塑料颗粒的实际大小。已有研究以每个微塑料最长边的长度作为粒径分级,或用每千克干土中微塑料的毫克数来衡量微塑料含量<sup>[1,18]</sup>。本研究81份土壤样品(共取2 430 g干土)共检测到12 392个微塑料,以每个微塑料面积( $\text{mm}^2$ )大小,将其划分为0~0.05、0.05~0.3、0.3~0.6、0.6~1.0  $\text{mm}^2\cdot\text{piece}^{-1}$ 和 $>1.0\ \text{mm}^2\cdot\text{piece}^{-1}$ 共5个组。每个监测点每千克干土中微塑料面积为监测到所有微塑料面积之和。

#### 1.4 数据分析

微塑料丰度和面积以平均值±标准误表示(Mean±SE)。因受气候、土壤、耕作管理、物理化学等因素影响,土壤中微塑料丰度和大小(面积)呈现明显的非均匀偏态分布,不符合参数检验和方差分析要求,用SPSS 22.0和Excel作直方图和频数分布图。

## 2 结果与分析

### 2.1 农田土壤中微塑料丰度及大小

土壤中微塑料数量一般用其丰度表示,即每千克干土中微塑料丰度( $\text{pieces}\cdot\text{kg}^{-1}$ ),面积为每千克土壤中所有微塑料对应面积的和( $\text{mm}^2\cdot\text{kg}^{-1}$ )。结果表明,甘肃和陕北9个县区27块典型农田81个土壤样方中均检测到微塑料的存在,并且不同地块之间、同一地

块不同取样点之间微塑料丰度和面积差异较大(图2)。农田0~30 cm土层微塑料丰度平均值( $5.09\pm1.21$ ) $\times10^3\ \text{pieces}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,变异系数68.4%,最小为 $5.80\times10^2\ \text{pieces}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,最大为 $1.19\times10^4\ \text{pieces}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,最大值与最小值相差约20倍(图2A)。农田土壤微塑料面积平均值( $1.04\pm0.20$ ) $\times10^3\ \text{mm}^2\cdot\text{kg}^{-1}$ ,变异系数89.4%,最小为 $82\ \text{mm}^2\cdot\text{kg}^{-1}$ ,最大为 $4.16\times10^3\ \text{mm}^2\cdot\text{kg}^{-1}$ ,相差约50倍(图2B)。长期覆膜农田土壤中微塑料面积变异显著大于其丰度变异。进一步分析发现,干旱绿洲灌区(甘肃张掖和武威)、半干旱雨养区(甘肃中东部)、风沙半干旱灌区(西北部)微塑料丰度平均值依次为 $2.02\times10^3$ 、 $6.90\times10^3$ 、 $3.63\times10^3\ \text{pieces}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,微塑料面积为 $1.8\times10^2$ 、 $1.36\times10^3$ 、 $7.6\times10^2\ \text{mm}^2\cdot\text{kg}^{-1}$ ,微塑料平均面积为0.11、0.20、0.23  $\text{mm}^2\cdot\text{piece}^{-1}$ ,即半干旱雨养区土壤微塑料丰度和面积明显高于干旱绿洲灌区和风沙半干旱灌区,但干旱绿洲灌区和风沙半干旱灌区微塑料平均面积却小于半干旱雨养区,表明微塑料在土壤中的存在状况和大小可能受气候与灌溉条件、土壤耕作等综合因素影响。

### 2.2 农田土壤微塑料丰度和大小的分布特征

27个监测点的81个土壤样品(共2 430 g干土)中共检测和甄别到12 392个微塑料颗粒。81份土壤样品中的微塑料丰度及检测到所有微塑料颗粒面积大小均呈现明显的不均匀分布(图3)。总体来看,土壤中丰度较小的微塑料出现次数较多,面积越小的微塑料出现次数越多。0~30 cm土层中微塑料丰度 $<3\times10^3\ \text{pieces}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $3\times10^3\sim8\times10^3\ \text{pieces}\cdot\text{kg}^{-1}$ 出现的次数最高(图3A),分别为30次和32次,占总次数的38.4%和41.0%,即每千克土壤中微塑料丰度 $<8\ 000\ \text{pieces}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的占79.4%, $<3\ 000\ \text{pieces}\cdot\text{kg}^{-1}$ 与 $3\ 000\sim8\ 000\ \text{pieces}\cdot\text{kg}^{-1}$

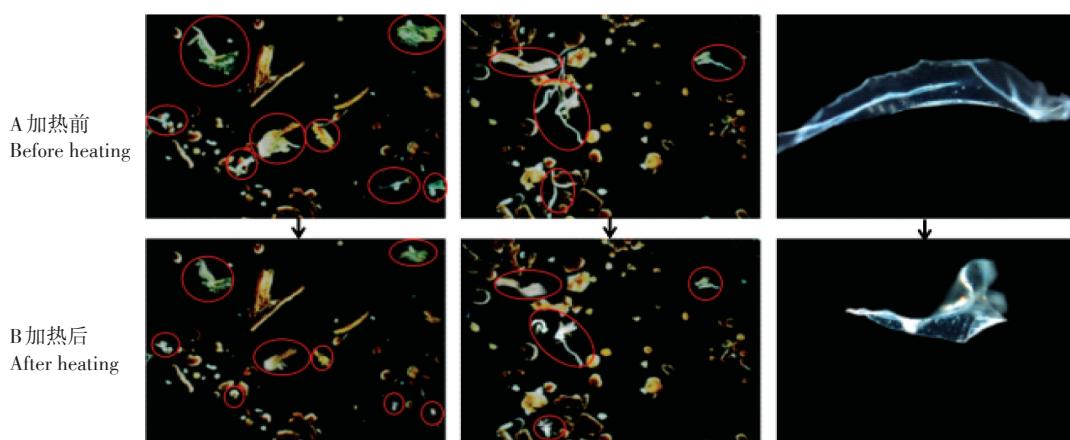


图1 显微镜下拍摄的土壤微塑料加热前后形态变化(图中圆圈中的为微塑料)

Figure 1 Change of MiPs shapes from photos taken by camera under microscope(MiPs were circled)

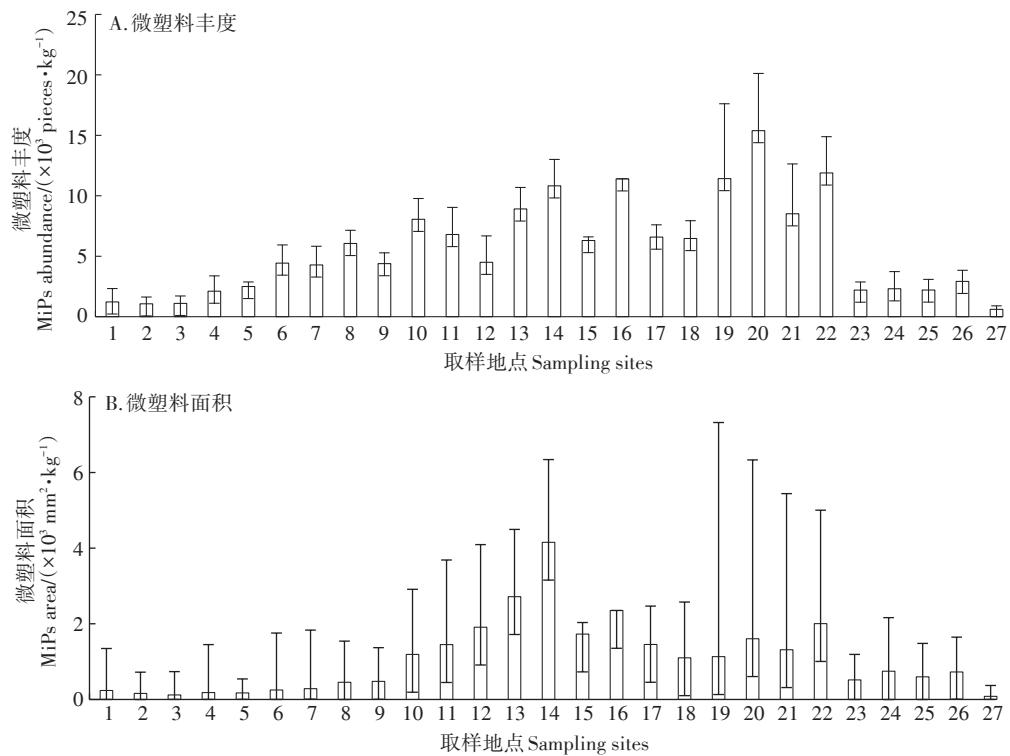


图2 甘肃和陕西27个监测点0~30 cm土层微塑料丰度和面积的变化

Figure 2 The abundance and area of MiPs in 0~30 cm soil layer at 27 sampling sites in Gansu and Shaanxi

pieces·kg $^{-1}$ 的所占比例接近。

检测到的所有微塑料中,每个微塑料颗粒平均面积 $0.19\text{ mm}^2\cdot\text{piece}^{-1}$ ,最大 $7.11\text{ mm}^2\cdot\text{piece}^{-1}$ ,变异系数为174.7%。从每个微塑料面积大小出现次数的频数分布来看(图3B),检测到的微塑料可分为5个组,其中 $<0.05\text{ mm}^2\cdot\text{piece}^{-1}$ 和 $0.05\sim0.3\text{ mm}^2\cdot\text{piece}^{-1}$ 出现的次数为4 584次和5 643次,占微塑料总数的36.9%和45.5%,大小在 $0\sim0.3\text{ mm}^2\cdot\text{piece}^{-1}$ 范围内的微塑料出现总次数占82.4%,即土壤中面积 $<0.3\text{ mm}^2\cdot\text{piece}^{-1}$

的微塑料居多。而大小在 $0.3\sim0.6$ 、 $0.6\sim1.0\text{ mm}^2\cdot\text{piece}^{-1}$ 和 $>1.0\text{ mm}^2\cdot\text{piece}^{-1}$ 范围内微塑料出现次数分别占10.5%、4.2%和2.9%(表2)。特别是面积小于平均数( $0.19\text{ mm}^2\cdot\text{piece}^{-1}$ )的微塑料出现次数所占比例高达74.6%。在5个分组范围内,面积 $0\sim0.05\text{ mm}^2\cdot\text{piece}^{-1}$ 的微塑料面积占比仅8.7%,显著低于对应范围内的微塑料丰度占比(36.9%), $0.05\sim0.3\text{ mm}^2\cdot\text{piece}^{-1}$ 范围内的微塑料面积占比达到36.5%, $0.3\sim0.6$ 、 $0.6\sim1.0\text{ mm}^2\cdot\text{piece}^{-1}$ 和 $>1.0\text{ mm}^2\cdot\text{piece}^{-1}$ 范围内的面积占比却

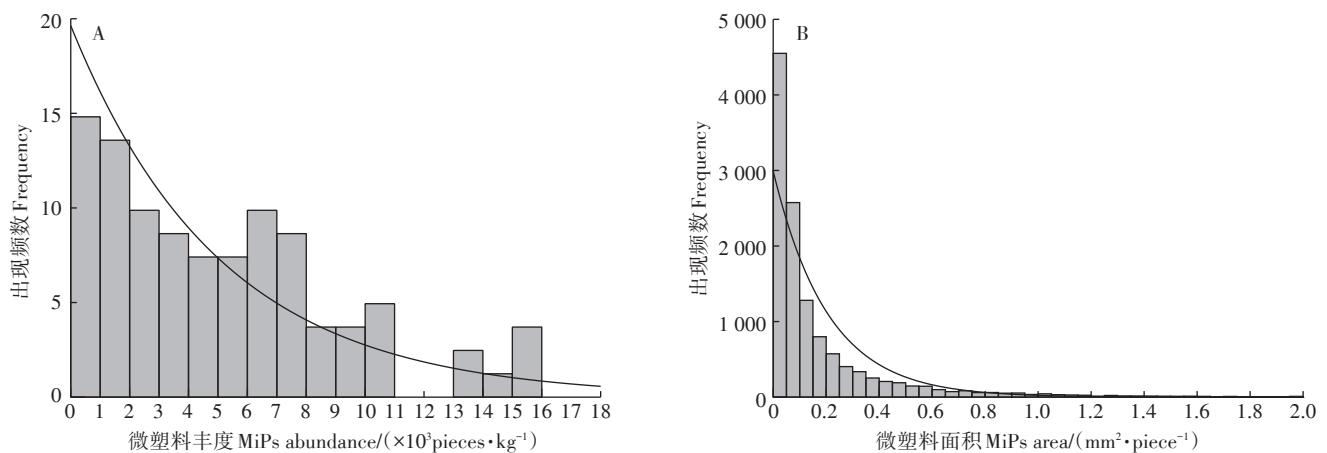


图3 甘肃和陕西27个监测点0~30 cm土层微塑料丰度和大小的频次分布

Figure 3 Frequency distribution of the abundance and area of MiPs in 0~30 cm soil layer in Gansu and Shaanxi

高于相应分组内的微塑料丰度占比(表2)。即覆膜农田土壤中微塑料丰度随其面积减小而增大,面积小的微塑料丰度较大(图3)。

### 2.3 农田覆膜年限与微塑料丰度和大小的关系

经调研农户地膜覆盖年限,甘肃和陕北27个监测点中地膜覆盖时间最短的是4 a,最长的是28 a,其中14个监测点覆膜年限在10~20 a(表1)。农田覆膜年限长短对土壤中微塑料丰度和大小影响较大(表3)。进一步分析发现,面积为 $0\sim0.05 \text{ mm}^2\cdot\text{piece}^{-1}$ 的微塑料丰度占比由覆膜5 a的31.8%增加到覆膜10 a的44.5%、15 a的49.5%和28 a的57.6%,相应覆膜年限微塑料面积所占比例依次为2.8%、5.8%、13.4%和18.8%;覆膜年限对面积 $0.05\sim0.3 \text{ mm}^2\cdot\text{piece}^{-1}$ 微塑料丰度占比影响不明显,而对其面积占比影响同 $0\sim0.05 \text{ mm}^2\cdot\text{piece}^{-1}$ 微塑料的变化情况基本一致,随覆膜年限增加微塑料面积占比显著提高。然而,面积为 $0.3\sim0.6$ 、 $0.6\sim1.0$ 、 $>1.0 \text{ mm}^2\cdot\text{piece}^{-1}$ 微塑料随着覆膜年限延长,其丰度和面积所占比例均下降(表3)。随着覆膜年限的增加,土壤中小颗粒微塑料丰度和面积所占比例均明显增加,可以推断长期覆膜后农田土壤中积累的微塑料由大颗粒逐渐向小颗粒转化,导致小颗粒微塑料所占面积增加、比表面积增大,这可能会加

重微塑料对土壤的潜在污染。

### 3 讨论

土壤中微塑料数量和大小受气候环境、灌溉条件、土壤耕作强度、自然风化、覆膜年限等综合因素影响,全球不同区域研究中数据差异很大。意大利地中海沿海区域微塑料丰度 $2\sim175 \text{ pieces}\cdot\text{kg}^{-1}$ <sup>[119]</sup>,新加坡红树林土壤中为 $(62.8\pm27.2) \text{ pieces}\cdot\text{kg}^{-1}$ <sup>[120]</sup>,瑞士自然保护区内土壤为 $593 \text{ pieces}\cdot\text{kg}^{-1}$ <sup>[121]</sup>,我国黑龙江周边农田微塑料丰度最大为 $800 \text{ pieces}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、面积为 $1.1\sim12.6 \text{ mm}^2\cdot\text{kg}^{-1}$ <sup>[111]</sup>,云南滇池南部湖盆区 $0\sim10 \text{ cm}$ 土壤微塑料数量 $1.3\times10^4\sim2.8\times10^4 \text{ pieces}\cdot\text{kg}^{-1}$ <sup>[112]</sup>,覆膜20 a后内蒙古河套灌区土壤微塑料丰度高达 $6\sim262.5 \text{ pieces}\cdot\text{kg}^{-1}$ <sup>[122]</sup>。本研究甘肃和陕北覆膜农田 $0\sim30 \text{ cm}$ 土壤微塑料丰度和面积大小呈现非均匀分布,丰度和面积平均值分别为 $(5.09\pm1.21)\times10^3 \text{ pieces}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $(1.04\pm0.20)\times10^3 \text{ mm}^2\cdot\text{kg}^{-1}$ ,这些初步结果预示着西北覆膜农田土壤微塑料污染的潜在风险很大,并且半干旱雨养区微塑料数量和面积大于河西与陕北的干旱半干旱灌区,这可能是由于灌溉使部分微塑料随水分入渗逐渐迁移到30 cm以下土层,旱作区土壤水分不足且频繁干湿交替致使微塑料移动性较差,或许也与土壤类型、耕作措施等有关,但目前这些尚缺乏相关的数据和文献佐证,仅是推测,亟待后续深入研究。

在不同粒径的微塑料中,土壤中 $<1 \text{ mm}$ 的微塑料所占比例较高<sup>[23-24]</sup>。内蒙古河套灌区覆膜20 a的农田土壤微塑料粒径 $<1$ 、 $1\sim3 \text{ mm}$ 的比例达到52.1%、31.9%,覆膜5~10、10~20 a农田土壤微塑料数量年平均增长14.46%、3.95%<sup>[22]</sup>。Zhao等<sup>[25]</sup>在中国长江入海口水体中观测到的 $<1 \text{ mm}$ 的微塑料丰度占50%。大量研究表明,这些更细小的微塑料(1 mm左右或 $\mu\text{m}$ 级)更容易进入生物体组织甚至细胞中,土壤中微塑料比表面积大小与土壤中有机污染物和重金属吸附

表2 覆膜农田土壤微塑料分组及其微塑料丰度和面积占比变化

Table 2 Area groups of MiPs and percentage of number and area in the corresponding groups

微塑料大小分组 MiPs area group/ ( $\text{mm}^2\cdot\text{piece}^{-1}$ )	微塑料丰度占比 Percentage of MiPs number/%	微塑料面积占比 Percentage of MiPs area/%
0~0.05	36.9	8.7
0.05~0.3	45.5	36.5
0.3~0.6	10.5	22.1
0.6~1.0	4.2	16.8
$>1.0$	2.9	15.9

表3 农田覆膜年限对不同分组内土壤微塑料丰度和面积占比的影响

Table 3 Effects of mulch years on the numbers and areas of MiPs in different area groups

微塑料大小分组 MiPs area groups/ ( $\text{mm}^2\cdot\text{piece}^{-1}$ )	微塑料丰度占比 Percentage of MiPs number/%					微塑料面积占比 Percentage of MiPs area/%				
	5 a	10 a	15 a	22 a	28 a	5 a	10 a	15 a	22 a	28 a
0~0.05	31.8	44.5	49.5	58.4	57.6	2.8	5.8	13.4	18.6	18.8
0.05~0.3	34.7	39.6	43.4	34.7	38.7	18.3	31.2	47.2	42.7	57.0
0.3~0.6	20.0	9.4	5.1	5.3	2.9	31.5	24.0	16.8	23.0	14.8
0.6~1.0	10.0	3.9	1.0	1.1	0.6	29.4	16.8	7.5	8.9	5.7
$>1.0$	3.5	2.5	1.0	0.5	0.2	18.1	22.2	15.1	6.7	3.7

有关,面积越小迁移能力越强<sup>[26-28]</sup>,迁移过程中微塑料老化和磨损又会使比表面积增加,放大生态毒性<sup>[29]</sup>。本研究农田土壤微塑料大小平均0.19 mm<sup>2</sup>·piece<sup>-1</sup>,<0.3 mm<sup>2</sup>·piece<sup>-1</sup>的数量占82.4%、面积占45.2%,<0.1 mm<sup>2</sup>·piece<sup>-1</sup>的微塑料数量占57.8%,特别是在0~0.05 mm<sup>2</sup>·piece<sup>-1</sup>和0.05~0.3 mm<sup>2</sup>·piece<sup>-1</sup>范围内,覆膜28 a农田土壤微塑料丰度较覆膜5 a增加了44.9%和10.4%,相应的微塑料面积占比增加了85.2%和68.0%,面积越小的微塑料其数量所占比例增加,面积越大的微塑料其数量所占比例减少。这可能是因为随覆膜时间增加大粒径微塑料向小粒径转化,小粒径微塑料通过生物体的能力会越强,将威胁土壤动物和植物的正常生长。因此,土壤中<0.3 mm<sup>2</sup>·piece<sup>-1</sup>的微塑料是造成微塑料污染的主要组分,需要更加关注这些丰度较高、颗粒更细的微塑料研究,加强农田微塑料在土壤中迁移、转化特征及其可能产生的生态风险研究,以为西北适宜地膜覆盖区域土壤残膜管理措施制定提供依据。

## 4 结论

西北作为我国地膜用量和覆盖面积最大的地区,覆膜农田普遍存在着土壤微塑料,并且数量较高,0~30 cm土层每千克干土中微塑料丰度和面积为(5.09±1.21)×10<sup>3</sup> pieces和(1.04±0.20)×10<sup>3</sup> mm<sup>2</sup>,微塑料平均大小0.19 mm<sup>2</sup>·piece<sup>-1</sup>。长期覆膜农田面积<0.3 mm<sup>2</sup>·piece<sup>-1</sup>的微塑料数量占82.4%、面积占45.2%,特别是<0.01、<0.1 mm<sup>2</sup>·piece<sup>-1</sup>范围内的微塑料数量占4.5%、57.8%,即土壤微塑料主要以微米级存在。随着地膜覆盖时间延长,农田土壤中<0.3 mm<sup>2</sup>·piece<sup>-1</sup>的微塑料数量和面积所占比例均明显增加,>0.3 mm<sup>2</sup>·piece<sup>-1</sup>的微塑料数量和面积占比却下降,预示着大颗粒会逐渐向小颗粒转化,一定时期内农田土壤微塑料潜在污染将呈现出加重趋势。

## 参考文献:

- [1] 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 Qian, ZHANG Hai-bo, LI Yuan, et al. Progress on microplastics pollution and its ecological effects in the coastal environment[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2015, 60(33):3210~3220.
- [2] Setälä O, Fleming-Lehtinen V, Lehtiniemi M. Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web[J]. *Environment Pollution*, 2014, 185:77~83.
- [3] Law K L, Thompson R C. Microplastics in the seas[J]. *Science*, 2014, 345(6193):144~145.
- [4] Thompson R C, Olsen Y, Mitchell R P, et al. Lost at sea: Where is all the plastic?[J]. *Science*, 2004, 304:838.
- [5] Antunes J C, Frias J G L, Micaelo A C, et al. Resin pellets from beaches of the Portuguese coast and adsorbed persistent organic pollutantse [J]. *Estuarin, Coastal & Shelf Science*, 2013, 130:62~69.
- [6] Ashton K, Holmes L, Turner A. Association of metals with plastic production pellets in the marine environment[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2010, 60:2050~2055.
- [7] Tanaka K, Takada H, Yamashita R, et al. Accumulation of plastic-derived chemicals in tissues of seabirds ingesting marine plastics[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2013, 69:219~222.
- [8] 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 Sha-sha, FU Jian-ping, GUO Chu-ling, et al. Research progress on environmental behavior and ecological toxicity of microplastics[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2019, 38(5):957~969.
- [9] Nizzetto L, Futter M, Langaas S. Are agricultural soils dumps for microplastics of urban origin? [J]. *Environmental Science & Technology*, 2016, 50:10777~10779.
- [10] Liu M T, Lu S B, Song Y, et al. Microplastic and mesoplastic pollution in farmland soils in suburbs of Shanghai, China[J]. *Environment Pollution*, 2018, 242:855~862.
- [11] 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 Xu. Spatial distribution of microplastics in mollisol farmland of northeast China[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2019: 19~20.
- [12] 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 Ya-fei. Quantity and distribution of microplastics in farmland soil of lake shore in Dianchi Lake[D]. Kunming: Yunnan University, 2018:13~18.
- [13] 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 Jun-hua, TAN Wen-bing, YU Hong, et al. Microplastics in soil ecosystem: A review on sources, fate and ecological impact[J]. *Environmental Engineering*, 2020, 38(2):16~27, 15.
- [14] 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.
- [15] Corcoran P L, Biesinger M C, Grifi M. Plastics and beaches: A degrading relationship[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2009, 58:80~84.
- [16] Nuelle M T, Dekiff J H, Remy D, et al. A new analytical approach for monitoring microplastics in marine sediments[J]. *Environmental Pollution*, 2014, 184:161~169.
- [17] Qi R M, Davey L J, Li Z, 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.
- [18] Zhang S L, Yang X M, 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.
- [19] Vianello A, Boldrin A, Guerriero P, et al. Microplastic particles in sediments of Lagoon of Venice, Italy: First observations on occurrence, spatial patterns and identification[J]. *Estuarine, Coast & Shelf Science*, 2013, 130:54–61.
- [20] Nor N H M, Obbard J P. Microplastics in Singapore's coastal mangrove ecosystems[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2014, 79(1/2): 278–283.
- [21] Scheurer M, Bigalke M. Microplastics in Swiss floodplain soils[J]. *Environmental Science & Technology*, 2018, 52(6):3591–3598.
- [22] 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):204–208.  
WANG Zhi-chao, MENG Qing, YU Ling-hong, 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 – 208.
- [23] Song Y K, Hong S H, Jang M, et al. Large accumulation of micro-sized synthetic polymer particles in the sea surface microlayer[J]. *Environmental Science & Technology*, 2014, 48(16):9014–9021.
- [24] Cauwenbergh V L, Claessens M, Vandegehuchte M B, et al. Assessment of marine debris on the Belgian Continental Shelf[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2013, 73:161–169.
- [25] 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: 562–568.
- [26] Von M N, Burkhardt-Holm P, Köhler A. Uptake and effects of microplastics on cells and tissue of the blue mussel *Mytilus edulis* L. after an experimental exposure[J]. *Environmental Science & Technology*, 2012, 46:11327–11335.
- [27] 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, 30(5):973–981.  
LI Zhen-xia, LI Qing-fei, LI Rui-jing, et al. Physiological response of cucumber seedlings to microplastics and cadmium[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2020, 30(5):973–981.
- [28] Lusher A L, McHugh M, Thompson R C. Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2013, 67:94–99.
- [29] 周倩, 章海波, 周阳, 等. 滨海河口潮滩中微塑料的表面风化和成分变化[J]. 科学通报, 2018, 63(2):214–224.  
ZHOU Qian, ZHANG Hai-bo, ZHOU Yang, et al. Surface weathering and changes in components of microplastics of from estuarine beaches [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2018, 63(2):214–224.