

# 黄海桑沟湾潮滩塑料垃圾与微塑料组成和来源研究

赵新月<sup>1,2</sup>, 熊宽旭<sup>1,3</sup>, 周倩<sup>1,2</sup>, 涂晨<sup>1</sup>,  
李连祯<sup>1</sup>, 骆永明<sup>1,2,4</sup>

(1.中国科学院海岸带环境过程与生态修复重点实验室(烟台海岸带研究所), 山东 烟台 264003; 2.中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049; 3.浙江海洋大学国家海洋设施养殖工程技术研究中心, 浙江舟山 316022; 4.中国科学院土壤环境与污染修复重点实验室(南京土壤研究所), 江苏 南京 210008)

**摘要:** 海岸带潮滩中微塑料来源复杂, 大块塑料在物理、化学、生物等作用下的破碎是潮滩微塑料的主要来源之一。本研究调查了黄海桑沟湾 7 个潮滩中不同尺寸塑料垃圾的组成、丰度以及微塑料的形状、颜色、成分等, 并通过定量和定性的方式了解塑料垃圾破碎与微塑料的关系以识别微塑料来源。结果表明, 聚苯乙烯泡沫在 5 mm~2.5 cm、1~5 mm 与 <1 mm 尺寸范围的样品中分别占 85%、97% 和 82%; 在 >2.5 cm 的塑料样品中, 与养殖相关的塑料占 76%; 塑料垃圾和微塑料的总体丰度随着尺寸的减小而增加 2~4 个数量级。1~5 mm 的微塑料丰度与 5 mm~2.5 cm 的塑料垃圾丰度具有显著相关性。通过对比不同尺寸塑料垃圾与微塑料的形态和成分特征, 识别出潮滩中的微塑料主要是由聚苯乙烯泡沫、聚乙烯浮子、黄色海绵、纤维渔绳以及聚丙烯绳等破碎形成, 表明养殖活动是桑沟湾潮滩塑料垃圾及微塑料的重要来源。未来需进一步探索微塑料来源的鉴别方法, 寻找识别微塑料来源的新证据。

**关键词:** 潮滩; 塑料垃圾; 微塑料; 组成; 来源

中图分类号: 文献标识码: A 文章编号: 1007-6336(\$article\_year)00-0001-08

## Compositions and sources of plastic debris and microplastics in different sizes from the Sanggou bay beaches, Yellow Sea, China

ZHAO Xin-yue<sup>1,2</sup>, XIONG Kuan-xu<sup>1,3</sup>, ZHOU Qian<sup>1,2</sup>, TU Chen<sup>1</sup>,  
LI Lian-zhen<sup>1</sup>, LUO Yong-ming<sup>1,2,4</sup>

(1.CAS Key Laboratory of Coastal Environmental Processes and Ecological Remediation, Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China; 2.College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3.National Engineering Research Center For Marine Aquaculture, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China; 4.Key Laboratory of Soil Environment and Pollution Remediation, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

**Abstract:** The sources of microplastics in coastal areas are complex. The fragmentation of large plastics through physical, chemical and biological processes is one of the main sources of microplastics in the beaches. This study investigated the compositions, abundances, shapes, colors and components of plastic debris and the microplastics of different sizes in 7 beaches in Sanggou bay of the Yellow Sea. We also studied the relationships between the fragmentation of plastic debris and microplastics by qualitative and quantitative analysis, which can be used to identify the sources of the microplastics. The results showed that polystyrene

收稿日期: 2019-01-06, 修订日期: 2019-03-25

基金项目: 中国科学院前沿科学重点研究项目 (QYZDJ-SSW-DQC015); 科技部国家重点研发计划课题 (2016YFC1402202)

作者简介: 赵新月 (1993-), 女, 河北秦皇岛人, 硕士研究生, 研究方向为海岸和海洋环境微塑料源解析; E-mail: xyzhao@yic.ac.cn

通讯作者: 骆永明, 研究员, E-mail: ymluo@yic.ac.cn; ymluo@issas.ac.cn

foam accounted for 85%, 97% and 82% of the samples in the size range of 5 mm ~ 2.5 cm, 1 ~ 5 mm and <1 mm respectively. In plastic debris >2.5 cm, the types of the plastic debris related to mariculture accounted for 76%. The total abundances of plastic debris and microplastics increased by 2 ~ 4 orders of magnitude with the decrease of sizes and the abundances of microplastics and plastic debris in 1 ~ 5 mm and 5 mm ~ 2.5 cm were significantly correlated. By comparing the morphology and components characteristics of different sizes of plastic debris and microplastics, the sources of microplastics were identified as fragmentations from polystyrene foam, polyethylene float, yellow sponge, fiber fishing ropes and polypropylene film ropes. The results indicate that mariculture is one of the important sources of plastic debris and microplastics in beaches of Sangou bay. In the future, it is necessary to further explore the identification methods of sources and find new evidences to identify the sources of microplastics.

**Key words:** beaches; plastic debris; microplastics; compositions; sources

由于塑料制品在各个行业中的广泛应用,塑料污染已成为全球关注的热点问题。大量研究报告显示,塑料垃圾在海洋垃圾中占主要比例<sup>[1]</sup>。塑料垃圾在潮滩或海洋环境中经过紫外辐射、风、浪和潮汐作用,可破碎形成塑料碎片甚至微塑料<sup>[2]</sup>。微塑料的定义为直径<5 mm的塑料碎片或塑料颗粒,主要分为原生微塑料和次生微塑料两类。原生微塑料多为工业喷砂、鼓风以及洗漱用品中的磨砂微珠或者作为原材料的树脂颗粒;次生微塑料则由大塑料经环境风化作用形成<sup>[3]</sup>,大塑料破碎产生的小、微塑料是次生微塑料的重要来源之一。

塑料垃圾与微塑料之间的关系密切。Eo等发现,潮滩上不同尺寸塑料垃圾与微塑料之间具有一定相关性,推测潮滩上<1 mm的微塑料是由>2.5 cm或1~5 mm的塑料经过风化作用产生<sup>[4]</sup>。大塑料在环境中可以破碎成不同尺寸的塑料碎片,尤其在潮滩环境中,物理和化学风化的共同作用加速了塑料碎片的脆化和降解<sup>[5]</sup>;尺寸较大的塑料碎片由于表面特征较为完整,来源容易识别,塑料碎片尺寸越小,来源越难以识别。迄今为止,微塑料的研究大部分以调查为主,多集中于微塑料类型、丰度、分布和生态风险的研究,对于次生微塑料来源追溯主要通过形貌和成分来判断,缺乏直接或间接证据。为此,我们尝试通过不同尺寸的塑料垃圾破碎与微塑料的关系来追溯环境中微塑料来源。桑沟湾为黄海养殖性海湾,具有多种形式的海水养殖活动。根据前期调查,在桑沟湾潮滩区域广泛分布着大量的养殖类塑料垃圾与微塑料。此外,桑沟湾滨海休闲娱乐等活动过程中也会带来塑料垃圾与微塑

料。本文以桑沟湾的7个潮滩为研究对象,调查不同尺寸塑料垃圾及微塑料的组成、丰度,分析不同尺寸塑料垃圾和微塑料的相关性及形态特征,识别潮滩环境中次生微塑料来源。本研究尝试用不同尺寸塑料垃圾破碎与微塑料的关系来识别微塑料来源,可为次生微塑料来源解析提供新思路,对源头控制塑料垃圾及微塑料也具有重要意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域概况

桑沟湾位于山东荣成(122°24'E~122°35'E, 37°01'N~37°09'N),北、西、南三面为陆地,东面向黄海,港湾众多,海湾面积约为163.20 km<sup>2</sup>,海岸线长74.40 km,滩涂面积占20 km<sup>2</sup><sup>[6]</sup>。桑沟湾水产资源丰富,气候适宜,是我国北方最具有代表性的养殖性海湾<sup>[7]</sup>。该地区养殖规模宏大,以滩涂养殖和浅海养殖为主,养殖类型有海带养殖、贝类养殖及贝藻混养,在湾内西南角还有小范围网箱养殖,养殖面积几乎覆盖整个海湾<sup>[6]</sup>。近年来,海洋牧场项目在桑沟湾南部海域兴建,该项目将渔业与旅游产业结合起来,大大推动了桑沟湾旅游业的快速发展。因此,桑沟湾地区养殖活动与旅游活动相结合,能够产生大量的养殖类或者休闲娱乐类塑料垃圾或微塑料,是研究塑料垃圾和微塑料污染及来源的理想区域。

### 1.2 塑料垃圾及微塑料样品采集

本研究调查了桑沟湾7个典型潮滩(图1),将海岸带潮滩分为三个不同区域:潮上带、高潮线、潮间带。在每个区域随机设置4个2×1 m大样方,收集样方内尺寸>2.5 cm的塑料垃圾样品;

在大样方中心设置一个 0.5×0.5 m 的小样方, 收集表层 2 cm 的沉积物样品储存在采样袋中<sup>[4, 8]</sup> (图 2)。

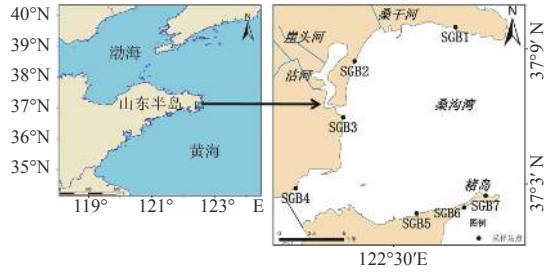


图 1 桑沟湾潮滩采样点分布

Fig. 1 The locations of sampling sites in Sanggou bay beaches of the Yellow Sea

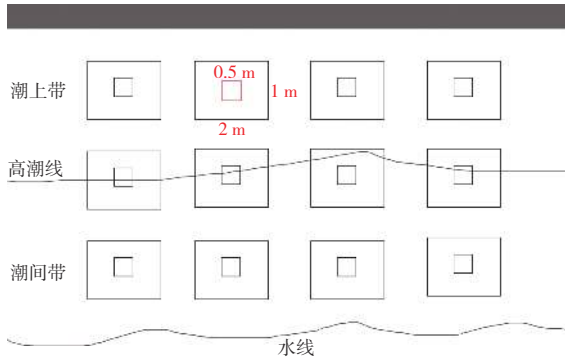


图 2 潮滩采样示意图 每条采样线设 4 个 2×1 m 大样方, 内部设 1 个 0.5×0.5 m 小样方

Fig. 2 Schematic of beach sampling The sampling lines are marked in red. Four 2×1 m large quadrats were placed along each sample line. One quadrat of 0.5×0.5 m was selected within each large quadrat

### 1.3 塑料垃圾及微塑料样品分离

潮滩沉积物样品经 60℃ 烘干后, 分别使用孔径 5 mm 和 1 mm 的钢筛将 5 mm ~ 2.5 cm 的塑料样品及 1 ~ 5 mm 的微塑料样品分选出来, 同时将每个区域四个样方中 <1 mm 的沉积物分别混合均匀、收集并进行 <1 mm 的微塑料浮选分离。微塑料的分离选用章海波等人设计的浮选装置<sup>[9]</sup>, 先用饱和氯化钠溶液浮选, 再用 30% 过氧化氢溶液消解浮选出的有机质, 最后用饱和氯化锌溶液 (密度为 1.5 g/cm<sup>3</sup>) 进行二次浮选, 静置后, 用真空抽滤装置抽滤上清液, 将浮选出的微塑料过滤至 20 μm 尼龙膜 (NY2004700, Ireland) 上<sup>[10]</sup>。使用体视显微镜 (SMZ25, Nikon Corporation, Tokyo, Japan) 挑选 <1 mm 的微塑料, 按照类型和颜色分类保存并计数。塑料垃圾及微塑料按尺寸范围分类如表 1。

### 1.4 塑料垃圾及微塑料鉴定

将塑料垃圾及微塑料按照类型进行分离后, 使用傅里叶变换红外光谱仪 (Nicolet iS5, 分辨率 4.0/cm, 扫描次数 32 次, 波长范围 650/cm ~ 4000/cm) 和显微傅里叶变换红外光谱仪 (Nicolet iN 10, 分辨率 8.0/cm, 采集时间 3 s, 扫描次数 16 次, 波长范围 675/cm ~ 4000/cm) 鉴定塑料垃圾及微塑料聚合物成分。

### 1.5 质控措施与数据分析

在微塑料筛选的过程中, 身穿防止衣物纤维脱落的实验服, 在洁净的实验室环境内过筛, 避免人员扰动。微塑料提取全过程用铝箔纸包裹,

表 1 桑沟湾潮滩塑料垃圾及微塑料分类及特征

Tab. 1 Classification and characteristics of plastic debris and microplastics in Sanggou bay beaches

尺寸	>2.5 cm	5 mm ~ 2.5 cm	1 ~ 5 mm	<1 mm
	白色泡沫	白色泡沫	发泡	发泡
	黄色海绵	黄色海绵	海绵	海绵
	纤维渔绳	纤维渔绳	纤维	纤维
	薄膜绳	薄膜绳	碎片	碎片
类型特征	包装袋	碎片	颗粒	颗粒
	碎片		小球	
	浮子			
	瓶/盖/盒子			
	其他			

注: 白色泡沫: white foam; 黄色海绵: yellow sponge; 纤维渔绳: fiber fishing rope; 薄膜绳: film rope; 包装袋: packaging bag; 浮子: float; 瓶/盖/盒子: bottle/cape/box; 发泡: foam; 海绵: sponge; 纤维: fiber; 碎片: fragment; 颗粒: granule; 小球: pellet; 其他: others

防止空气中纤维沉降污染,同时设置 3 个空白。空白中有 3~6 个微塑料,微塑料的数目已扣除与空白样品中相似的微塑料。微塑料浮选方法的回收率为 97%。

统计不同尺寸的塑料及微塑料数目,单位以个/m<sup>2</sup> 来表示。使用 Microsoft Excel 2010 制作统计表格,绘制饼图、柱形图,使用 ESRI ArcGIS 10.2 制作采样点图,使用 SPSS 19.0 作 Spearman 秩相关分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同尺寸塑料垃圾的组成、丰度及来源

潮滩塑料垃圾及微塑料组成如图 3 所示。聚苯乙烯泡沫在 5 mm~2.5 cm、1~5 mm 与 <1 mm 塑料及微塑料样品中比例较高,分别为 85%、97% 和 82%,在 >2.5 cm 的塑料垃圾组成中,没有明显的主要成分类型。周倩等调查山东半岛滨海潮滩沉积物中微塑料时同样发现了大量的聚苯乙烯泡沫<sup>[11]</sup>。在 >2.5 cm 的塑料样品组成中,发现纤维渔绳和薄膜绳组成比例分别为 29% 和 24%,聚苯乙烯泡沫占 13%,浮子占 6%,黄色海绵占 3%。在走访调查的过程中我们注意到,纤维渔绳、薄膜绳、黄色海绵和浮子也被广泛应用于养殖活动中,这些与养殖活动相关的塑料类型占比

为 76%,远大于其他类型的塑料垃圾。

从以上结果来看,养殖活动中使用的塑料制品是潮滩塑料垃圾及微塑料的一个重要来源。我们推测,这一结果可能与桑沟湾渔业养殖中使用的聚苯乙烯泡沫浮筒有关,这种泡沫浮筒在长时间使用后受到海浪冲击与磨损破碎成更小的发泡颗粒或碎片,所以在 5 mm~2.5 cm 和 <5 mm 塑料及微塑料中占比丰富<sup>[12]</sup>。除此以外,通过对桑沟湾沿岸及周边区域进行走访调查了解到,海产品的运输与保存也会使用类似材质的白色泡沫箱,这些白色泡沫箱也会被遗弃进入海洋环境中。此外,在 SGB1、SGB2 和 SGB6 潮滩中(图 4),>2.5 cm 类型的包装袋、瓶/盖/盒子占有一定比例,包装袋大多为食品包装袋,如饼干袋、雪糕袋等;瓶/盖/盒子,基本为饮料瓶(盒)和瓶盖。SGB2 和 SGB6 采样点为开发的旅游潮滩,这些可能为旅游休闲活动中丢弃的塑料垃圾;而 SGB1 潮滩紧靠居民生活区,这些包装袋、瓶/盖/盒子可能为居民生活中丢弃的塑料垃圾。因此,除去聚苯乙烯泡沫、薄膜绳、纤维渔绳等养殖类塑料类型外,休闲娱乐活动和生活中丢弃的包装袋和饮料瓶等是产生潮滩塑料垃圾及微塑料污染的另一个来源。

通过计算不同尺寸塑料的丰度(图 4),>2.5 cm

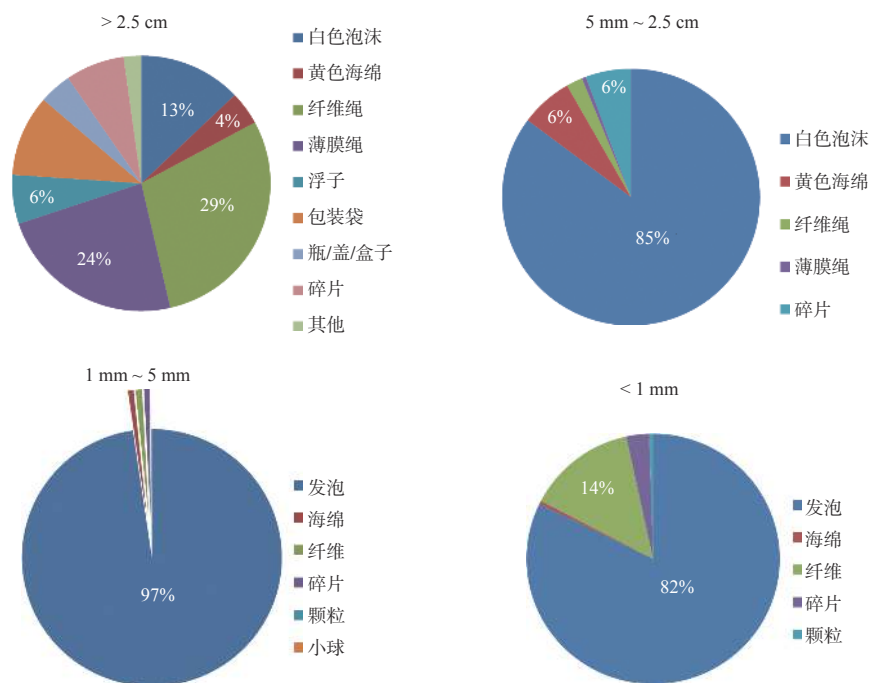


图 3 桑沟湾潮滩不同尺寸塑料垃圾及微塑料的类型和组成

Fig. 3 Types and composition of plastic debris and microplastics of different sizes in Sanggou bay beaches

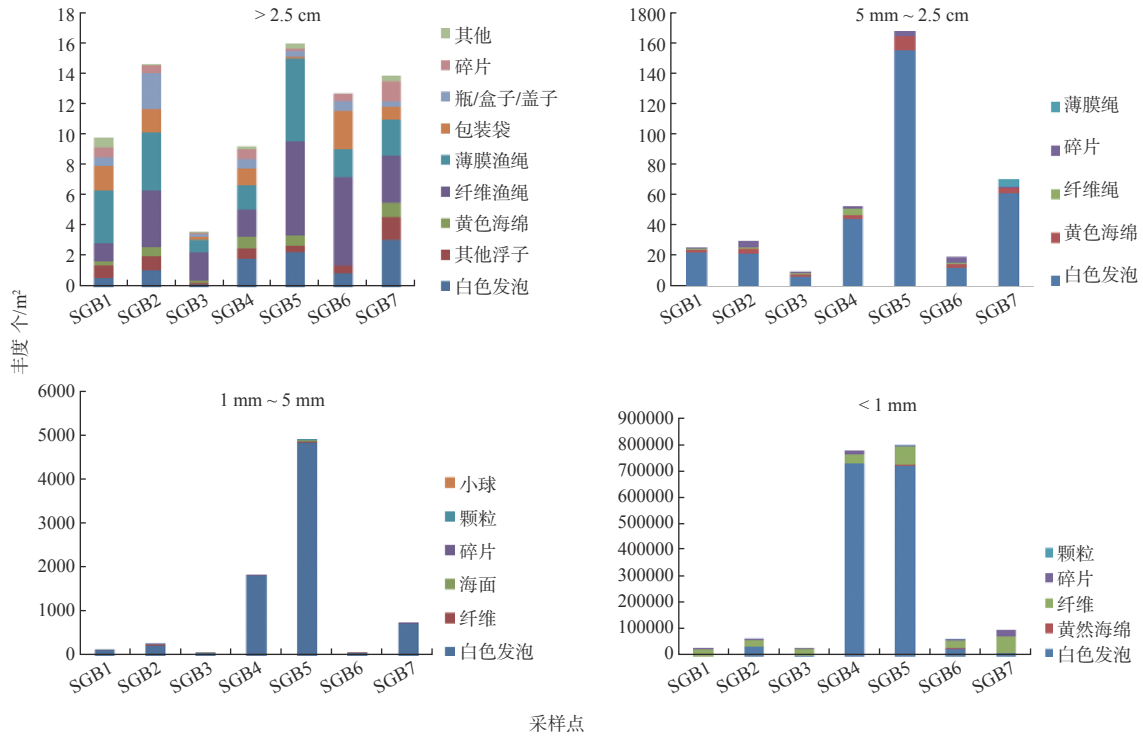


图 4 桑沟湾不同潮滩中不同尺寸塑料垃圾及微塑料的类型及丰度

Fig. 4 Types and abundances of plastic debris and microplastics of different sizes in different beaches of Sanggou bay

的塑料平均丰度为 12 个/m<sup>2</sup>; 5 mm ~ 2.5 cm 的平均丰度为 52 个/m<sup>2</sup>, 1 ~ 5 mm 的为 1073 个/m<sup>2</sup>, < 1 mm 的平均丰度为 603555 个/m<sup>2</sup>。随着尺寸的减小, 塑料垃圾的丰度逐渐递增。其中 SGB5 采样点在 >2.5 cm、5 mm ~ 2.5 cm、1 ~ 5 mm 和 < 1 mm 的塑料及微塑料丰度中均呈现最高, 分别为 16 个/m<sup>2</sup>、167 个/m<sup>2</sup>、4862 个/m<sup>2</sup> 和 3329554 个/m<sup>2</sup>, 而 SGB3 采样点在 >2.5 cm、5 mm ~ 2.5 cm 和 1 ~ 5 mm 的塑料及微塑料丰度中均呈现最低, 丰度分别为 3 个/m<sup>2</sup>、11 个/m<sup>2</sup> 和 67 个/m<sup>2</sup>。

根据丰度结果显示, 塑料碎片的总体丰度随着尺寸的减小而增加 2 ~ 4 个数量级, 可能是大块塑料被冲上岸后发生破碎而产生的结果。SGB5 采样点的塑料以及微塑料丰度分布最高, 可能是由于 SGB5 采样点位于渔业养殖公司附近, 岸滩上停放着大量的渔业养殖筏架, 这些养殖筏架所用的浮力材料为聚苯乙烯浮筒。长时间的光照、风浪和潮汐等环境作用, 使得聚苯乙烯养殖浮筒发生破碎。SGB3 采样点中 > 1 mm 的塑料及微塑料丰度最低, 可能是由于该采样点为休闲娱乐潮滩, 每天会有两次岸滩清洁活动,

不会有塑料垃圾堆滞 in 岸滩的现象, 从而其破碎现象并不明显。

### 2.2 不同尺寸塑料垃圾及微塑料的相关性分析

利用 spearman 秩相关对 >2.5 cm、5 mm ~ 2.5 cm、1 ~ 5 mm 和 <1 mm 的塑料碎片进行相关性分析, 结果如表 2。

表 2 桑沟湾潮滩不同尺寸塑料垃圾及微塑料的 spearman 秩相关系数

Tab. 2 Spearman's rank correlation among abundances of plastic debris and microplastic with different sizes in Sanggou bay beaches

尺寸	总丰度	白色发泡	非发泡
>2.5 cm、5 mm ~ 2.5 cm	0.679	0.857*	0.679
>2.5 cm、1 ~ 5 mm	0.571	0.857*	0.679
>2.5 cm、<1 mm	0.536	0.571	0.321
5 mm ~ 2.5 cm、1 ~ 5 mm	0.964**	0.929**	0.786*
5 mm ~ 2.5 cm、<1 mm	0.857*	0.429	0.500
1 ~ 5 mm、<1 mm	0.893**	0.714	0.429

注: \*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$

由不同尺寸的塑料垃圾与微塑料的相关性分析显示, 在总丰度上, 5 mm ~ 2.5 cm 和 1 ~ 5 mm、5 mm ~ 2.5 cm 和 <1 mm 以及 1 ~ 5 mm 和

<1 mm 之间的丰度具有显著相关性, 相关系数分别为 0.964 ( $p < 0.01$ )、0.857 ( $p < 0.05$ )、0.893 ( $p < 0.05$ ), 其中 5 mm ~ 2.5 cm 和 1 ~ 5 mm 的塑料丰度之间的相关系数最高。在白色发泡的丰度上, >2.5 cm 和 5 mm ~ 2.5 cm、>2.5 cm 和 1 ~ 5 mm 以及 5 mm ~ 2.5 cm 和 1 ~ 5 mm 三组的相关性较高, 尤其是 5 mm ~ 2.5 cm 和 1 ~ 5 mm 塑料相关性高达 0.929 ( $p < 0.01$ ), 这一结果和 Lee 等 (2015) 的研究结果相似<sup>[11]</sup>。在非发泡塑料类型中, 5 mm ~ 2.5 cm 和 1 ~ 5 mm 相关性为 0.786 ( $p < 0.05$ )。以上结果表明, <1 mm 的微塑料可能依赖于 1 ~ 5 mm 或者 5 mm ~ 2.5 cm 的塑料存在; 1 ~ 5 mm 的微塑料可能依赖于 5 mm ~ 2.5 cm 或 > 2.5 cm 的塑料而存在。不同尺寸的塑料碎片之间存在有一定的破碎关系, 这种破碎关系可能有助于微塑料来源的识别。

### 2.3 塑料垃圾和微塑料的聚合物成分与特征

采用傅里叶变换红外光谱仪和显微-傅里叶变换红外光谱仪对不同尺寸的塑料垃圾及微塑料进行成分鉴定。在  $\geq 5$  mm 的塑料垃圾中, 白色泡沫的成分为聚苯乙烯。聚苯乙烯泡沫在环境条件下经过风化作用, 其分子结构稳定性遭到破坏, 尤其是光照的影响, 发生光氧化降解, 产生分子链断裂、重组现象, 使得该种材料更容易破碎而形成小发泡颗粒或白色碎片<sup>[13]</sup>。养殖浮子成分为聚乙烯, 其表面孔隙小、质地柔软有韧性, 多以黑色、白色和蓝色为主。黄色海绵成分为聚氨酯, 在环境中受到光、热、水等因素的影响, 呈现出变黄、变脆、强度降低等特征<sup>[14]</sup>。纤维渔绳的成分为聚乙烯和聚丙烯, 直径在 200 ~ 300  $\mu\text{m}$ 。用于贝类或海带养殖的薄膜绳为不透明薄膜状, 颜色以绿色和黑色为主, 成分为聚丙烯, 聚丙烯分子的主链上有不稳定叔碳原子, 在环境中受到光和热的作用, 其分子链更容易发生降解, 力学性能下降, 甚至会发生粉化<sup>[15]</sup>。包装袋成分多以聚丙烯和聚乙烯为主。饮料瓶的主要成分为聚对苯二甲酸乙二醇酯, 少数为聚乙烯, 容器盒子成分多为聚丙烯。

在 <5 mm 的微塑料成分中, 白色发泡类和黄色海绵微塑料与塑料垃圾中对应样品的成分相同。纤维类微塑料分为两类, 第一类为粗纤维, 直径范围为 200 ~ 300  $\mu\text{m}$ , 成分多为聚乙烯, 少

数为聚丙烯; 第二类为细纤维, 直径为 10 ~ 20  $\mu\text{m}$ , 主要为聚酯类和丙烯酸类, 少数为聚丙烯或聚乙烯成分。碎片类和颗粒类微塑料的成分主要为聚丙烯和聚乙烯。

### 2.4 微塑料来源识别

次生源是微塑料主要来源之一。本研究将收集的大塑料、小塑料及微塑料进行了表面形态和成分比较, 以鉴别微塑料来源。

图 5 为收集到的不同尺寸塑料垃圾及微塑料样品。在 1 ~ 5 mm 微塑料样品中, 观察到部分黑色碎片, 质地柔软、结构致密, 通过与 >2.5 cm 的塑料垃圾样品特征进行对比发现, 其颜色、质地与养殖中聚乙烯浮子相同(图 5a), 再经红外光谱鉴定后发现成分均为聚乙烯(图 6), 故推测该微塑料颗粒来源于养殖中使用的聚乙烯浮子。最近, Chen 等在象山湾养殖场调查中同样发现了大量聚乙烯浮子破碎形成的微塑料<sup>[16]</sup>。图 5b 和图 5c 分别为白色发泡类和纤维类塑料。白色发泡类因其独特的颜色和形状, 更容易识别。结合桑沟湾养殖活动的特点和对大块泡沫塑料来源分析, 这种发泡类微塑料多来源于养殖活动中使用的聚苯乙烯泡沫, 经过风化破碎而形成发泡类微塑料; 而纤维类微塑料直径一般约在 0.2 ~ 0.3 mm, 比衣物纤维粗, 在尺寸为 5 mm ~ 2.5 cm 和 1 ~ 5 mm 的渔绳类塑料垃圾样品中也有相似特征的纤维出现, 通过与大塑料的渔绳进行对比后, 发现颜色、尺寸、质地均相同, 成分也均为聚乙烯(图 6), 据此可以推测该类型的微塑料来源于纤维渔绳的破碎。目前, 已有一些调查研究表明<sup>[11, 17]</sup>, 潮滩中有类似渔绳的微塑料纤维存在; 由于养殖、捕鱼等活动, 每年会有大量废弃的渔绳被丢弃在潮滩或海洋环境中, 经过环境风化作用破碎成纤维状微塑料。在不同尺寸的塑料及微塑料中均发现有黄色海绵(图 5d), 其主要成分为聚氨酯(图 6)。该类塑料制品多被渔民用作养殖的定位浮标, 经过潮汐流、风浪等作用可滞留在潮滩上。Zhou 等在黄渤海潮滩土壤中也发现了大量的海绵类微塑料<sup>[17]</sup>。此外, 在 <1 mm 的微塑料样品中还观测到大量不透明的绿色、白色及黑色碎片, 这种类型的碎片也容易破碎, 在显微镜下挑选过程中不易被识别; 在 1 ~ 5 mm、5 mm ~ 2.5 cm 的塑料垃圾及微塑料样

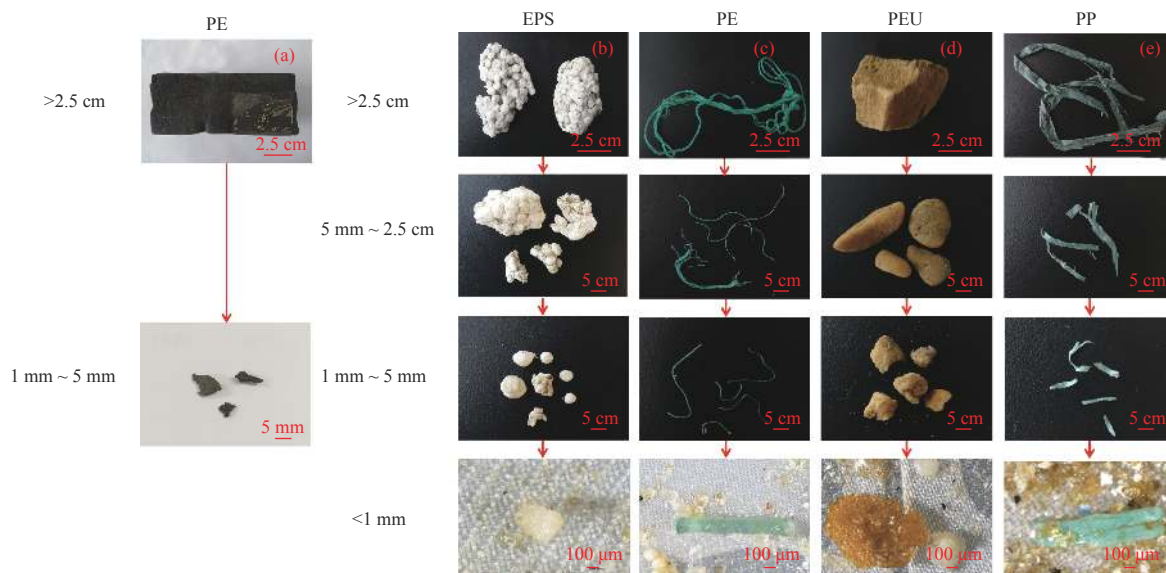


图 5 桑沟湾潮滩中大塑料垃圾破碎成次生微塑料现象的野外调查 (a) 聚乙烯浮子; (b) 白色发泡; (c) 渔绳纤维; (d) 黄色海绵; (e) PP 薄膜绳

Fig. 5 Field investigation of the breakdown of macroplastic into secondary microplastics along the Sanggou bay beaches

(a) PE float; (b) White foam; (c) Fishing rope fiber; (d) Yellow sponge; (e) PP film rope

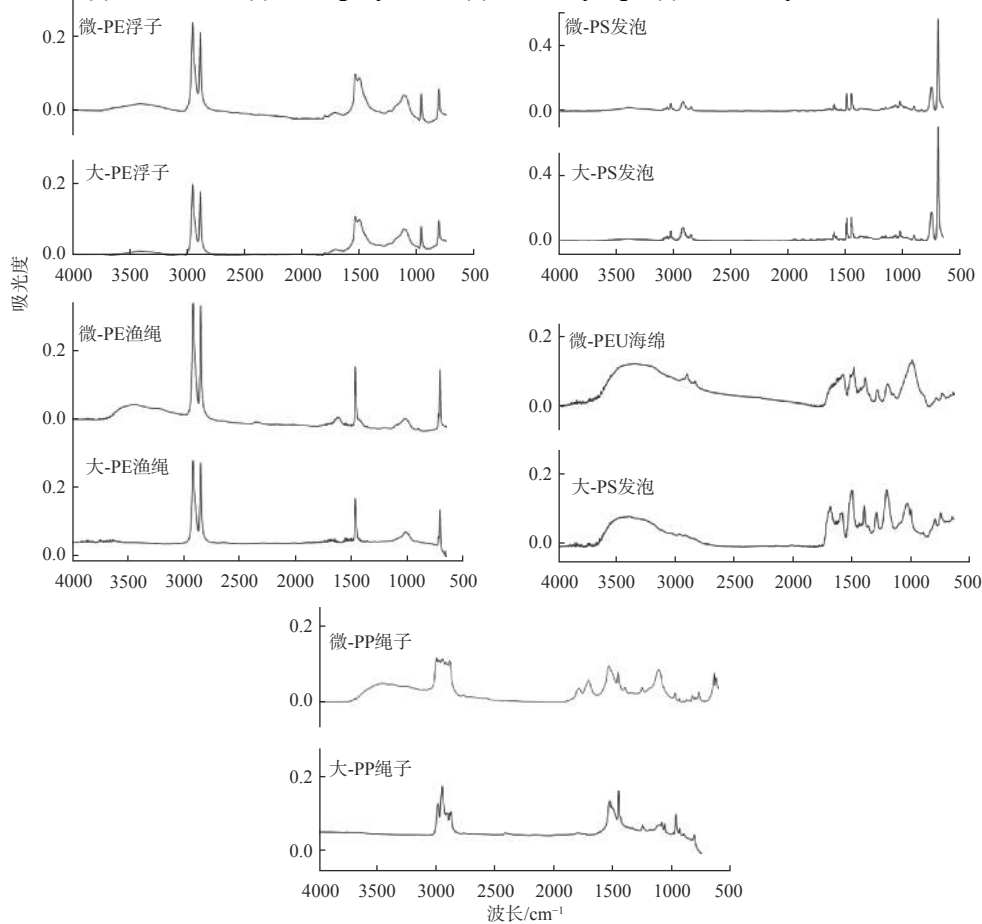


图 6 桑沟湾潮滩中微塑料与大塑料垃圾的红外光谱对比图

Fig. 6 Comparison of infrared spectra between microplastics and plastics debris from the Sanggou bay beaches

品中均可见相似的碎片存在(图 5e),成分均为聚丙烯(图 6)。据此,我们推断该类型的塑料碎片来源于聚丙烯薄膜绳。

除了与养殖相关的微塑料外,在 1~5 mm 的微塑料中还有大量的聚乙烯和聚丙烯碎片,其中一类碎片较薄,很可能由大塑料包装袋破碎而形成;而另一类硬质碎片,可能是由硬质塑料容器、塑料瓶破碎而形成。在<1 mm 的微塑料样品中,除了可识别的聚苯乙烯发泡、黄色海绵、纤维渔绳、聚丙烯薄膜绳碎片之外,还存在有平均直径在 10~20  $\mu\text{m}$  的细纤维;这些纤维颜色多为白色、蓝色、黑色和红色,其成分为聚丙烯、聚酯和丙烯酸。这种微塑料可能为人类衣物脱落下的纤维<sup>[18]</sup>。已有研究报道,大气环境中微塑料的主要成分为聚酯纤维,这些聚酯纤维可以通过大气沉降而进入到陆海环境<sup>[19-20]</sup>,是潮滩中聚酯纤维的重要来源之一。

### 3 结论

(1)在桑沟湾潮滩中,>2.5 cm 塑料样品中养殖类塑料垃圾(纤维渔绳、薄膜绳、聚苯乙烯泡沫)占比较大,<5 mm 的微塑料中聚苯乙烯泡沫占主要比例,说明桑沟湾养殖活动是潮滩中塑料垃圾与微塑料污染的重要来源。

(2)不同尺寸塑料碎片之间具有一定相关性,利用不同尺寸塑料碎片之间形态特征关系有助于识别出桑沟湾潮滩环境中部分次生源微塑料的来源。

(3)桑沟湾养殖类塑料垃圾与微塑料污染严重,尤其是聚苯乙烯泡沫类,控制养殖类废弃物的随意丢弃,对控制潮滩塑料垃圾与微塑料污染有着十分重要的作用;此外,加强对潮滩塑料垃圾的清洁也有利于遏制大塑料破碎造成的微塑料污染现象。

### 参考文献:

- [1] 赵肖, 蔡世斌, 廖岩, 等. 我国海滩垃圾污染现状及控制对策[J]. 环境科学研究, 2016, 29(10): 1560-1566.
- [2] 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.
- [3] KERSHAW P J. Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: A global assessment [R]. IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection Reports and Studies: GESAMP, 2015: 96..
- [4] EO S, HONG S H, SONG Y K, et al. Abundance, composition, and distribution of microplastics larger than 20  $\mu\text{m}$  in sand beaches of South Korea[J]. *Environmental Pollution*, 2018, 238: 894-902.
- [5] BARNES D K A, GALGANI F, THOMPSON R C, et al. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments[J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2009, 364(1526): 1985-1998.
- [6] 王丽. 不同海水养殖模式对桑沟湾生态系统服务的影响[D]. 青岛: 国家海洋局第一海洋研究所, 2010.
- [7] 傅明珠, 蒲新明, 王宗灵, 等. 桑沟湾养殖生态系统健康综合评价[J]. 生态学报, 2013, 33(1): 238-248.
- [8] LEE J, LEE J S, JANG Y C, et al. Distribution and size relationships of plastic marine debris on beaches in South Korea[J]. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 2015, 69(3): 288-298.
- [9] 章海波, 周倩, 骆永明, 等. 一种微颗粒塑料的连续流动分离浮选装置及方法: 中国, CN201510227085.1[P]. 2016-12-07.
- [10] 周倩, 章海波, 周阳, 等. 滨海潮滩土壤中微塑料的分离及其表面微观特征[J]. 科学通报, 2016, 61(14): 1604-1611.
- [11] 周倩. 典型滨海潮滩及近海环境中微塑料污染特征与生态风险[D]. 烟台: 中国科学院烟台海岸带研究所, 2016.
- [12] MOORE C J. Synthetic polymers in the marine environment: a rapidly increasing, long-term threat[J]. *Environmental Research*, 2008, 108(2): 131-139.
- [13] 姚培培, 李琛, 肖生苓. 紫外老化对聚苯乙烯泡沫性能的影响[J]. 化工学报, 2014, 65(11): 4620-4626.
- [14] 理莎莎, 齐暑华, 刘乃亮, 等. 聚氨酯泡沫塑料老化问题研究进展[J]. 中国塑料, 2009, 23(10): 1-5.
- [15] 刘海林, 伍玉娇, 杨春萍. 聚丙烯材料老化性能研究进展[J]. 塑料科技, 2014, 42(9): 117-120.
- [16] CHEN M L, JIN M, TAO P R, et al. Assessment of microplastics derived from mariculture in Xiangshan Bay, China[J]. *Environmental Pollution*, 2018, 242: 1146-1156.
- [17] ZHOU Q, ZHANG H B, FU C C, et al. The distribution and morphology of microplastics in coastal soils adjacent to the Bohai Sea and the Yellow Sea[J]. *Geoderma*, 2018, 322: 201-208.
- [18] 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.
- [19] 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(1/2): 290-293.
- [20] 周倩, 田崇国, 骆永明. 滨海城市大气环境中发现多种微塑料及其沉降通量差异[J]. 科学通报, 2017, 62(33): 3902-3909.