

DOI:10.7524/j.issn.0254-6108.2022101501

陈欣, 谢秀琴, 王孟, 等. 南海近岸珊瑚礁海域表层水体中微塑料的分布特征[J]. 环境化学, 2023, 42(3): 843-854.

CHEN Xin, XIE Xiuqin, WANG Meng, et al. Distribution characteristics of microplastics in surface waters of inshore coral reefs area in the South China Sea[J]. Environmental Chemistry, 2023, 42 (3): 843-854.

## 南海近岸珊瑚礁海域表层水体中微塑料的分布特征\*

陈欣<sup>1</sup> 谢秀琴<sup>2</sup> 王孟<sup>1</sup> 杨嘉钰<sup>1</sup> 邓伟<sup>1</sup> 卢楚谦<sup>1</sup>  
陈畅曙<sup>1</sup> 倪志鑫<sup>1,3\*\*</sup>

(1. 国家海洋局南海环境监测中心, 广州, 510300; 2. 中山大学海洋科学学院, 珠海, 510275;  
3. 广东省应用海洋生物学重点实验室, 广州, 510301)

**摘要** 海洋环境中的微塑料作为近年来备受国内外关注的一种新型污染物, 具有颗粒小、难去除和分布广等特性, 并且易携带有毒有害物质, 易被生物吸收, 因此海洋微塑料成为影响珊瑚礁生态系统健康的重要因素. 研究近岸珊瑚礁海域水体中微塑料的污染分布特征有助于了解陆源污染对近岸珊瑚礁生态系统的影响, 为珊瑚礁海域生态环境保护提供基础数据. 为探究中国南海近岸珊瑚礁海域(文昌和徐闻海域)表层水体中微塑料的分布特征, 本研究采用拖网法(0.33 mm)在该海域设置10个站位并收集表层水体中的微塑料样品, 经过微塑料鉴定及数据统计分析后, 得出以下结论: (1) 南海近岸珊瑚礁海域表层水体微塑料的平均丰度为 $(1.186 \pm 1.370) \text{ n} \cdot \text{m}^{-3}$ , 高于外海珊瑚礁海域; 与国内外其他近岸海域相比, 其丰度处于中等水平. (2) 粒径0.1—3.0 mm范围内的微塑料数量检出最多, 占总数的82.1%; 文昌珊瑚礁海域微塑料的主要成分是聚对苯二甲酸乙二醇酯, 主要颜色为白色, 形状以纤维为主; 徐闻珊瑚礁海域主要成分为聚丙烯、聚乙烯、聚苯乙烯, 主要颜色为白色和透明, 形状分布相对均匀, 以片状和泡沫状为主. (3) 南海近岸珊瑚礁海域表层水体中微塑料的分布主要受地形、河流输入和人类活动的影响, 丰度高值站位主要位于海湾、港口、河口等易于微塑料的积累的位置. (4) 生产和生活污水排放是文昌珊瑚礁海域表层水体中微塑料的主要来源, 而废弃的日用品和农渔业用品是徐闻珊瑚礁海域表层水体中的微塑料的主要来源. 人类活动对海洋微塑料丰度和组成有很大影响, 因此, 应加强南海近岸珊瑚礁海域的污水排放和渔业活动管控, 预防和减少微塑料污染.

**关键词** 微塑料, 珊瑚礁, 中国南海, 表层水体.

## Distribution characteristics of microplastics in surface waters of inshore coral reefs area in the South China Sea

CHEN Xin<sup>1</sup> XIE Xiuqin<sup>2</sup> WANG Meng<sup>1</sup> YANG Jiayu<sup>1</sup> DENG Wei<sup>1</sup>  
LU Chuqian<sup>1</sup> CHEN Changshu<sup>1</sup> NI Zhixin<sup>1,3\*\*</sup>

(1. South China Sea Environmental Monitoring Center, State Oceanic Administration, Guangzhou, 510300, China; 2. School of Marine Sciences, Sun Yat-sen University, Zhuhai, 510275, China; 3. Guangdong Provincial Key Laboratory of Applied Marine Biology, Guangzhou, 510301, China)

**Abstract** Microplastics, which are considered as emerging contaminants, have attracted much more attention currently for their small sizes, resistant to degradation and wide distribution in aquatic

2022年10月15日收稿(Received: October 15, 2022).

\* 国家海洋局南海分局海洋科学技术局长基金(180103)和广东省应用海洋生物学重点实验室(LAMB20221007)资助.

Supported by the South China Sea Branch Marine Science and Technology Director Fund (180103) and Guangdong Provincial Key Laboratory of Applied Marine Biology (LAMB20221007).

\*\* 通信联系人 Corresponding author, Tel: 18024549688, E-mail: nzx2004@163.com

environments. Moreover, marine microplastics are easy to carry the toxic and harmful substances and be absorbed by organisms. Thus, marine microplastics are considered as an important factor affecting the health of coral reef ecosystems. Studying the pollution distribution characteristics of microplastics in inshore coral reef waters is helpful to understand the impact of terrestrial pollution on the health of inshore coral reef ecosystems and provide basic data for ecological environment protection in coral reef waters. In order to study the distribution characteristics of microplastics in the surface waters of the inshore coral reef waters in the South China Sea (Wenchang and Xuwen), the mesh surface trawls (0.33 mm pore size) were used to collect microplastics in the surface water at 10 sample sites. After microplastics identification and data statistical analysis, we draw the following conclusions: (1) The average abundance of microplastics in the surface waters of the inshore coral reefs of the South China Sea was  $(1.186 \pm 1.370) \text{ n} \cdot \text{m}^{-3}$ , which was higher than the coral reef waters in the open sea. Besides, the abundance of microplastics was at a medium level compared to other inshore waters at home and abroad. (2) The number of microplastics with the particle size ranging from 0.1 — 3.0 mm was the most detected, accounting for 82.1% of the total microplastics. Furthermore, the microplastics in the Wenchang coral reef sea area were mainly composed of polyethylene terephthalate, the main color was white, and the shape was mainly fibers. In addition, the microplastics in the Xuwen coral reef area were mainly comprised of polypropylene, polyethylene and polystyrene, the main color was white and transparent, and the shape was relatively uniform, mainly in fragment and foam. (3) The distribution of microplastics in the surface waters of inshore coral reefs in the South China Sea was mainly affected by topography, river input, and human activities. Sampling sites with high microplastics abundance were mainly located at bays, ports, and estuaries where microplastics were easy to accumulate. (4) Production and domestic sewage discharge were the main sources of microplastics in the surface waters of the Wenchang coral reefs, while the daily necessities and agricultural and fishery products discarded were the main sources of the surface waters of the Xuwen coral reefs. Human activities pose a great impact on abundance and composition of marine microplastics. Therefore, sewage discharge and fishing activities in the inshore coral reef areas of the South China Sea should be strengthened to prevent and reduce microplastic pollution.

**Keywords** microplastics, coral reef, South China Sea, surface water.

塑料及其制品具有化学性质稳定、质量轻、成本低等优点,在工农业及日常生活中被广泛应用. 塑料垃圾包括塑料袋、薄膜、泡沫等,其可回收利用率低,容易以废弃垃圾的形式通过河流、船舶、人为丢弃等方式进入海洋环境中. 有研究表明,预计到 2025 年,全球海洋中塑料垃圾含量将高达 2.5 亿 t,相当于每 3 t 鱼中,就有 1 t 塑料<sup>[1]</sup>. 进入海洋中的废弃塑料,在物理、化学和生物的作用下,分解破碎成更微小的塑料碎片或颗粒,其中直径小于 5 mm 的塑料垃圾称为微塑料<sup>[2-3]</sup>. 微塑料尺寸小,并且难以去除,在环境中存在的时间可达数百年甚至几千年,其作为一种新型的环境污染物受到国内外的广泛关注<sup>[4]</sup>. 微塑料本身具有有害的化学添加剂(双酚 A、壬基酚等),并且能够吸附海洋中的污染物如重金属、有机污染物<sup>[5]</sup>,增加了其危害性. 除此之外,微塑料具有与沉积物颗粒、被海洋生物捕食的猎物等相似的尺寸,能够被各种海洋生物误食<sup>[6-7]</sup>,进入食物链,从而危害海洋生态系统的健康<sup>[8-9]</sup>.

珊瑚礁生态系统被称为“海洋中的热带雨林”,是全球自然资源最丰富的、生态功能最强大的海洋生态系统之一. 珊瑚礁在维持海洋生物多样性、海洋生态环境平衡、海洋新型药物探索和海岸线保护中发挥着非常重要的作用<sup>[10-11]</sup>. 有研究表明,浅水珊瑚礁和环礁的三维结构能够减缓波浪,因此表层海流在输送微塑料的过程中容易在珊瑚礁海域发生沉降和累积<sup>[12-13]</sup>. 近年来,在澳大利亚大堡礁、东南亚和中国南沙岛礁等地区的珊瑚礁海域都检测到微塑料污染<sup>[14-16]</sup>. 有研究通过暴露实验证明,珊瑚虫可以直接摄入微塑料<sup>[17]</sup>,也可通过摄食浮游生物间接摄入浮游生物体内残留的微塑料<sup>[18]</sup>,造成珊瑚白

化和坏死的现象<sup>[19]</sup>。另外,微塑料可以携带危害珊瑚健康的致病菌,加上微塑料对珊瑚的摩擦损伤,促进病原体进入珊瑚体内<sup>[20-22]</sup>。除珊瑚外,珊瑚礁生态系统中的鱼类<sup>[23-24]</sup>、底栖生物<sup>[25]</sup>、浮游生物<sup>[26-27]</sup>等都会因为误食微塑料而受到影响,从而危害珊瑚礁生态系统健康。

因为陆地是海洋塑料污染的主要来源<sup>[2]</sup>,近岸的珊瑚礁生态系统更容易受到微塑料的影响<sup>[6,28-29]</sup>。目前国内的研究重点在珊瑚礁资源丰富的南沙与西沙海域,南海近岸珊瑚礁海域微塑料的污染情况研究较少。因此本文的研究目的是分析南海近岸珊瑚礁海域中微塑料污染的来源、分布与组成特征,探明南海近岸珊瑚礁海域的微塑料污染现状,为评估我国南海近岸珊瑚礁海域的生态系统健康提供基础数据。

## 1 材料与方法(Materials and methods)

### 1.1 研究区域

珊瑚礁主要分布在热带和亚热带海域,我国海域的珊瑚礁主要分布在南海区域,而近岸珊瑚礁主要分布在海南、广东、广西的近岸海域。本研究选取海南省文昌珊瑚礁海域和广东省徐闻珊瑚礁海域,其中包含了两个珊瑚礁自然保护区(海南铜鼓岭自然保护区和徐闻珊瑚礁自然保护区)。每个海域设置 5 个采样点,根据潜水作业发现均有珊瑚礁分布。于 2021 年 7 月采集了徐闻珊瑚礁海域表层水体微塑料,2021 年 9 月采集了文昌珊瑚礁海域表层水体微塑料。采样站位信息如表 1 所示。

表 1 南海近岸珊瑚礁海域表层水体微塑料采样信息

Table 1 Sampling information of microplastics in surface water of inshore coral reefs area in the South China Sea

海域 Sea area	采样站位 Sample sites	经度/°E Longitude	纬度/°N Latitude	过滤水的体积/m <sup>3</sup> Volume
文昌珊瑚礁 Wenchang coral reef	W1	110.69600	20.15494	498.8
	W2	110.81482	19.48955	254.0
	W3	110.95905	19.60087	276.6
	W4	110.75771	19.41969	344.6
	W5	110.77569	19.45463	436.0
徐闻珊瑚礁 Xuwen coral reef	X1	109.92264	20.31996	481.1
	X2	109.90832	20.22125	512.3
	X3	109.90164	20.44338	359.0
	X4	109.85747	20.39873	424.5
	X5	109.94126	20.23601	494.3

### 1.2 样品采集

本研究使用拖网采集表层海水中的微塑料,网口长 1 m,宽 0.5 m,两侧使用浮球使网框浮于海面,网衣长 3 m,孔径为 0.33 mm,材质为蚕丝,底部连接不锈钢制作的网底管,使用网口流量计计算过滤水体积。选择 3 级以下海况开展拖网采集工作,采取船舶侧舷拖网,航速 1—3 节,拖网时间为 10 min 至 15 min。拖网结束后,从外部冲洗网衣将样品冲至网底管,用玻璃瓶收集后,带回实验室 4 °C 保存,等待进一步分析。

### 1.3 样品处理及分析方法

将现场收集的样品依次通过 5.0 mm 和 0.33 mm 的不锈钢分层网筛,用适量纯水冲洗筛网,将 0.33 mm 筛网上的截留物质全部转移至 500 mL 的烧杯中,将烧杯置于烘箱中于 60 °C 烘干。样品烘干后,向烧杯中加入 20 mL 浓度为 0.05 mol·L<sup>-1</sup> 的二价铁溶液,再加入 20 mL 30% 过氧化氢溶液,用表面皿或铝箔覆盖烧杯口,常温放置 10 min 左右,若反应剧烈,立即放入冷水浴,如果仍可观察到有机质,再加入 20 mL 30% 过氧化氢溶液继续消解,重复上述操作至有机质完全消解。每 20 mL 上述混合溶液加入 6 g 氯化钠,氯化钠完全溶解后将混合溶液转移至浮选装置中进行密度分离。使用烘干至恒重的玻璃纤维滤膜过滤上清液,用纯水多次冲洗漏斗,使样品全部转移至滤膜上,取下滤膜置于洁净的玻璃

培养皿中, 60 °C 烘干, 底层沉淀烘干后将疑似塑料颗粒挑出. 保存的固体沉降物及滤膜上截留的物质用体视显微镜(Nikon SMZ25)测量微塑料的尺寸, 观察记录形状和颜色, 微塑料成分采用傅里叶变换显微红外光谱仪(IN10mx)进行鉴定, 样品微塑料谱图与标准谱图的最低匹配度为 70%.

#### 1.4 质量控制

实验过程中尽量保持实验室密闭状态, 减少空气流动, 实验人员经风淋后穿着纯棉工作服进行实验操作. 以纯水作为空白样, 以自制的聚丙烯和聚氯乙烯微塑料样品添加到纯水中作为内控样, 按样品相同处理步骤操作, 空白样的结果作为背景校正, 内控样的结果用于测试方法回收率. 结果显示空白样品未检出, 内控样回收率为 100%.

#### 1.5 数据分析

微塑料丰度使用单位个每立方米( $n \cdot m^{-3}$ )来表示. 使用 Microsoft Excel 2021 进行数据统计, 使用 OriginPro 2021 和 Microsoft Excel 2021 进行绘图, 使用 ArcGIS 10.2 软件绘制采样点图.

## 2 结果与讨论(Results and discussion)

### 2.1 近岸珊瑚礁海域微塑料的丰度和组成特征

本研究共获得 4076 个微塑料, 微塑料丰度和多样性分布见图 1. 微塑料的丰度范围为 0.239—3.890  $n \cdot m^{-3}$ , 平均丰度为  $(1.186 \pm 1.370)n \cdot m^{-3}$ . 其中, 文昌珊瑚礁海域共获得 1681 个微塑料, 丰度为 0.239—3.890  $n \cdot m^{-3}$ , 平均丰度为  $(1.177 \pm 1.389)n \cdot m^{-3}$ . 徐闻珊瑚礁海域共获得 2395 个微塑料, 微塑料的丰度为 0.383—3.881  $n \cdot m^{-3}$ , 平均丰度为  $(1.195 \pm 1.350)n \cdot m^{-3}$ .

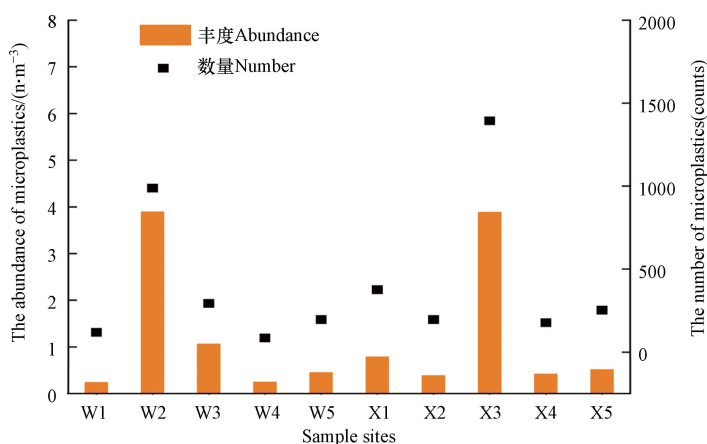


图 1 南海近岸珊瑚礁海域表层水体中微塑料的数量和丰度

Fig.1 Quantity and abundance of microplastics in surface water of inshore coral reefs area in the South China Sea

根据检测微塑料的尺寸, 将南海近岸珊瑚礁海域微塑料分为 5 类: 0.1—1、1—2、2—3、3—4、4—5 mm. 如图 2 所示, 在所有样品中, 1—2 mm 的微塑料最为丰富, 分别占全部样品的 34.8%(文昌)和 36.5%(徐闻). 相比之下, 4—5 mm 的微塑料数量相对较少, 其占比分别为 5.3%(文昌)和 5.8%(徐闻). 综上, 该研究检测到的微塑料尺寸主要分布在 0.1—3.0 mm, 占总数的 82.1%. 结果表明, 随着微塑料尺寸的增加, 其所占比例降低. 此结果与中国锦州湾<sup>[30]</sup>和北部湾<sup>[31]</sup>等地区的研究结果一致. 推测可能的原因是大块塑料在环境中不断裂解、破碎成小颗粒微塑料, 致使小尺寸微塑料数量指数增长. 而小型微塑料不仅容易被生物误食, 并且更容易携带有毒物质, 对生物生长发育造成更大的威胁<sup>[32]</sup>, 因此更应该受到人们的关注.

进一步将检测到的微塑料按形状分成 6 类, 分别是: 纤维状、线状、片状、薄膜状、颗粒状和泡沫状. 其中文昌珊瑚礁海域微塑料主要为纤维状(82.21%)和片状(12.37%), 徐闻珊瑚礁海域微塑料的形态较多, 分布相对均匀, 其中片状占比为 33.0%、泡沫状占比为 20.2%、颗粒状占比为 17.5%、纤维状占比为 15.5%、线状占比为 11.6%(图 3A).



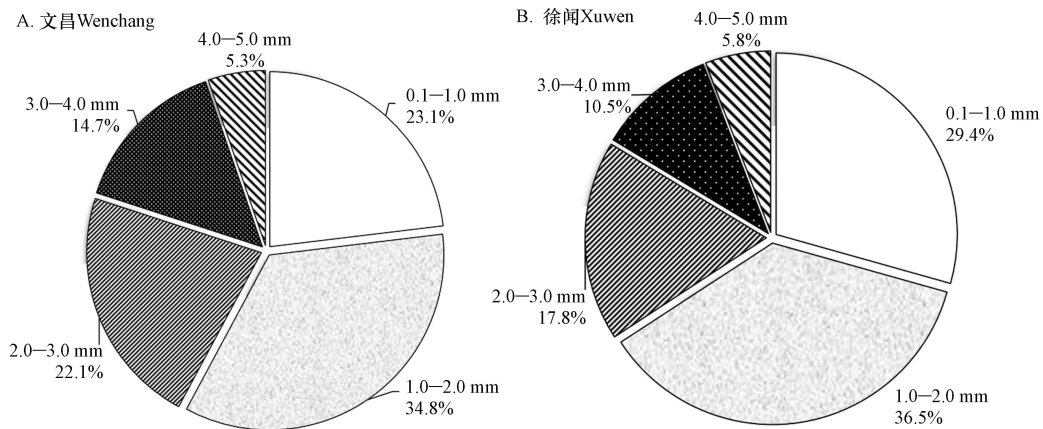


图 2 南海近岸珊瑚礁海域表层水体中微塑料的尺寸分布

Fig.2 Size distribution of microplastics in surface water of inshore coral reefs in the South China Sea

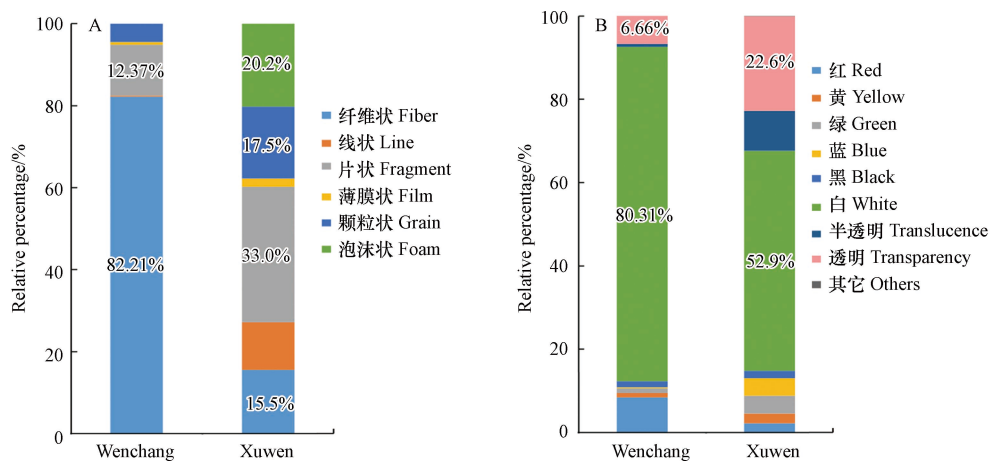


图 3 南海近岸珊瑚礁海域表层水体中微塑料的形状和颜色分布

(A. 形状, B. 颜色)

Fig.3 Shapes and colors of microplastics in surface water of inshore coral reefs in the South China Sea

(A. shape, B. color)

如图 3B 所示, 微塑料按颜色可分为 8 类: 红、黄、绿、蓝、黑、白、半透明、透明和其它颜色. 文昌珊瑚礁海域主要颜色为白色 (80.31%), 徐闻珊瑚礁海域主要颜色为白色 (52.9%) 和透明 (22.6%).

## 2.2 南海近岸珊瑚礁海域微塑料的污染水平

目前国内珊瑚礁海域水体微塑料污染水平调查集中在珊瑚礁资源丰富的南沙和西沙等开阔海域, 由表 2 可知, 中国南沙渚碧礁、南薰礁和中国西沙珊瑚礁海域采用过滤法 (孔径较小) 得到的微塑料丰度比本研究高出 2—5 个数量级, 推测本研究与上述海域微塑料丰度的差异可能与微塑料采样方法有关. 水体中微塑料的采集方法主要为拖网法和过滤法, 两种方法各有侧重和优劣<sup>[33]</sup>. 拖网法的网衣孔径一般大于过滤法的滤膜 (或纱绢), 会遗漏部分尺寸较小的微塑料, 导致调查结果比实际值偏低<sup>[34]</sup>, 而过滤法无法观测到海面漂浮的微塑料<sup>[35]</sup>. 由于许多微塑料密度比海水小, 漂浮在海面上, 导致全球范围内高丰度的悬浮微塑料主要在海面被发现<sup>[36]</sup>. 因此, 使用拖网法能够更好的补充海面漂浮微塑料的信息. 另外, 过滤法过滤的水量较少, 样品受到污染容易产生巨大的误差, 并且采集到微塑料的种类和数量也相对有限<sup>[37]</sup>, 不利于在宏观上代表调查海域微塑料的分布情况. 因此拖网法更适于分析表层水体中微塑料的种类和丰度, 更有利于微塑料的溯源分析<sup>[38]</sup>.

为评估南海近岸珊瑚礁海域微塑料的污染水平, 将本研究与国内外采用相同孔径滤网采集微塑料的研究结果进行了对比, 结果如表 2 所示. 在国内外珊瑚礁海域的微塑料污染研究中, 本研究区域的微塑料污染水平高于印度尼西亚廖内群岛、马尔代夫法福珊瑚礁海域、中国南沙珊瑚礁海域 (道明礁、郑和礁等), 与中国南沙珊瑚礁海域 (美济礁、赤瓜礁、华阳礁) 处于同一数量级, 以上海域皆位于外海,

远离大陆,说明近岸珊瑚礁海域微塑料的污染水平高于外海珊瑚礁海域.与其它近岸海域相比,本研究区域的微塑料污染水平高于我国渤海、黄海南部、东海、杭州湾,低于东亚海、韩国东南部沿海、美国加州近海、象山湾,与我国北部湾、锦州湾处于同一数量级,结果表明,本研究区域的微塑料的污染水平在国内外近岸海域中处于中等水平.

表 2 国内外研究中微塑料丰度与本研究的比较

Table 2 Comparison of the microplastics concentration at home and abroad

调查海域 Sea area	丰度/(n·m <sup>-3</sup> ) Abundance	孔径/μm Pore size	参考文献 Reference
中国南沙, 渚碧礁	4933 ± 1369	50	[39]
中国南沙, 南薰礁	1733	48	[40]
中国西沙珊瑚礁海域	200—45200	0.45	[41]
中国南沙, 道明礁	0.57 ± 0.14	160	[38]
中国南沙, 郑和礁	0.33 ± 0.24		
印度尼西亚, 廖内群岛	0.45	100—5000	[42]
马尔代夫, 法福珊瑚礁海域	0.46 ± 0.15环礁内	330	[43]
	0.12 ± 0.09礁盘外		
中国南海	0.045 ± 0.093	333	[44]
中国南沙(道明礁、郑和礁等)	0.056 ± 0.035	333	[45]
中国南沙(美济礁、赤瓜礁、华阳礁)	1.1 ± 1.5	333	[46]
日本东亚海	3.7 ± 10.4	335	[47]
韩国东南部沿海	1.92—5.51	330	[48]
美国南加州近海	3.92	333	[49]
中国北部湾	0.56 ± 1.02	330	[31]
中国渤海	0.35 ± 0.13	330	[50]
中国锦州湾	0.93 ± 0.59	330	[30]
中国黄海南部	0.33 ± 0.28	333	[51]
中国东海	0.167 ± 0.138	333	[52]
中国杭州湾	0.14 ± 0.12	330	[53]
中国象山湾	8.91 ± 4.70	330	[54]
中国文昌珊瑚礁	1.177 ± 1.389	330	本研究
中国徐闻珊瑚礁	1.195 ± 1.350	330	本研究

### 2.3 微塑料的空间分布及影响因素

微塑料的污染水平会受到多种因素的影响,例如地形、海流、风、潮汐(近岸海域)、河流输入、人类活动、季节变化等.本研究区域微塑料丰度的空间分布如图4所示.文昌珊瑚礁海域采样点W2和W3分别位于高隆湾和淇水湾,两者的微塑料丰度高达3.890 n·m<sup>-3</sup>和1.059 n·m<sup>-3</sup>,比该海域丰度最低点(W1)分别高16.3倍和4.4倍,推测其主要是受到地形的影响.海湾水动力相对较差,陆源输入的微塑料和洋流携带的微塑料进入后容易滞留<sup>[30,55]</sup>.另外,高隆湾位于多个河流入海汇集处,河流上游流经文昌市区,人口密度大,经济活动频繁.有研究认为微塑料污染水平与周边人类活动程度呈正相关<sup>[56]</sup>,频繁的人类活动往往伴随着塑料制品的生产和使用,导致大量的次生微塑料产生<sup>[51-57]</sup>.

另有研究表明,河流输入是近岸海域微塑料污染的重要途径,河口区域微塑料的丰度通常较高,并随离岸距离增加而逐渐降低<sup>[31,52]</sup>.徐闻珊瑚礁海域微塑料丰度也呈现类似的分布特征,位于流沙湾的X3(3.881 n·m<sup>-3</sup>)和东场湾的X1(0.782 n·m<sup>-3</sup>)微塑料丰度较高,比该海域丰度最低点(X2)分别高10.1倍和2.0倍.X3站位于流沙港的出海口,船舶运输、水产养殖和捕捞等渔业活动频繁,受到人类活动影响大.文昌珊瑚礁海域丰度最低点W1(0.239 n·m<sup>-3</sup>)位于海南角海域,徐闻珊瑚礁海域微塑料丰度

最低点 X2 ( $0.383 \text{ n}\cdot\text{m}^{-3}$ ) 和 X4 ( $0.417 \text{ n}\cdot\text{m}^{-3}$ ) 分别位于灯楼角和水尾角海域, 上述海域皆属于海角海域, 海底地形多变, 不利于船舶航行、水产养殖和渔业捕捞等人类活动, 水动力较强不利于微塑料的滞留。位于珊瑚礁保护区的 X2 和 W3, 珊瑚分布较广, 未发现特别明显的微塑料富集现象, 这可能与采样点水深较深 (3—6 m), 珊瑚礁对表层水体的水文影响不明显有关。后续研究需增加非珊瑚礁海域采样比对, 或者调查珊瑚礁沉积物微塑料的丰度, 更进一步阐明珊瑚礁对微塑料分布的影响。综上所述, 南海近岸珊瑚礁海域表层水体中微塑料的污染水平主要受到地形和人类活动的影响。

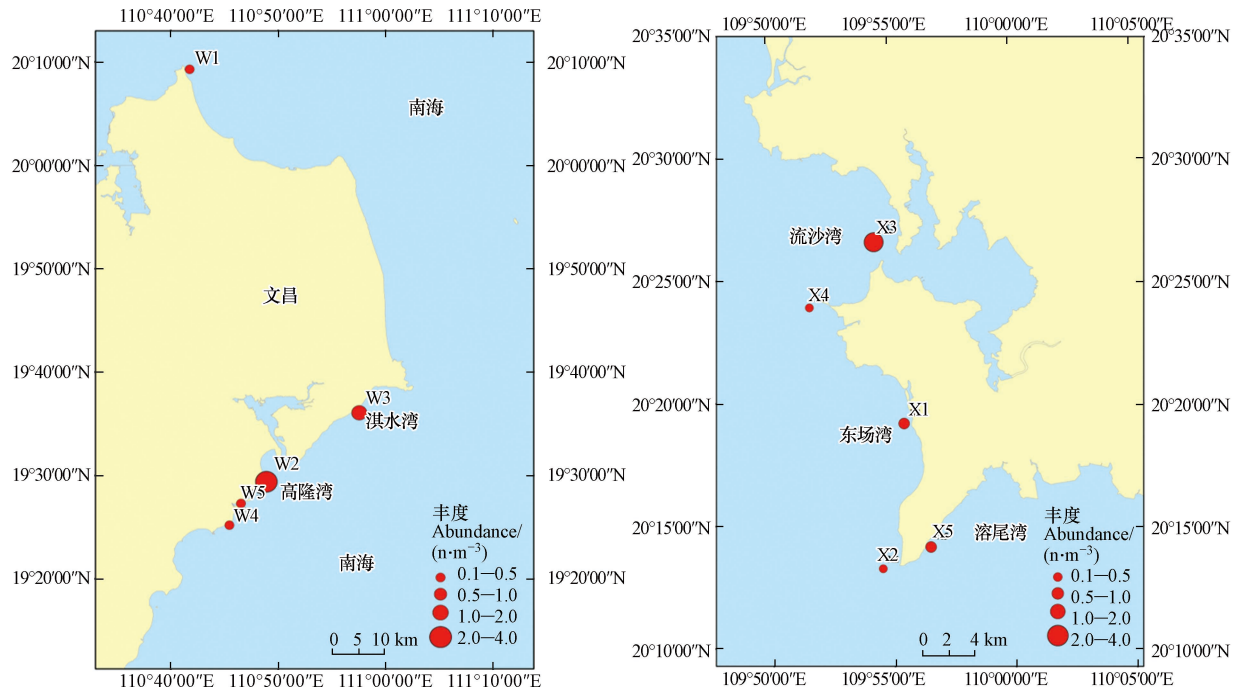


图 4 微塑料污染的空间分布图

(以圆点大小表示微塑料丰度差异)

注: 该图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号为 GS(2016)2556 号的标准地图制作, 底图无修改。

Fig.4 Spatial distribution of microplastic pollution

#### 2.4 微塑料来源分析

海洋中塑料垃圾来源复杂, 既有陆源输入, 如河流、生产和生活污水排放等, 也有海源输入, 包括渔业捕捞、水产养殖、船舶旅游及航运丢弃的塑料垃圾等。目前应用最为广泛的塑料为: 聚乙烯 (polyethylene, PE)、聚丙烯 (polypropylene, PP)、聚氯乙烯 (polyvinyl chloride, PVC)、聚苯乙烯 (polystyrene, PS) 和聚对苯二甲酸乙二醇酯 (polyethylene terephthalate, PET) 等, 约占世界塑料产品种类的 90%<sup>[58]</sup>。本研究根据微塑料的组分和形状, 分析南海近岸珊瑚礁海域微塑料的主要来源。

本次南海近岸珊瑚礁海域表层水体中检测到微塑料的化学组分主要有: 聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、聚乙烯聚丙烯混合物 (polyethylene: polypropylene, PE: PP)、聚对苯二甲酸乙二醇酯。由图 5 可知, 文昌珊瑚礁海域微塑料的成分主要为 PET, 占总数的 80.9% (1360 个)。徐闻珊瑚礁海域微塑料的主要成分为 PP、PE 和 PS, 分别占 39.4%、29.7%、20.2%。

由图 6 可知, 文昌珊瑚礁海域微塑料的主要形状为纤维状 (47.1%—93.2%)。2017 年欧盟统计报告中提出纺织品 (包括衣着用、装饰用、工业用等纺织品) 的纤维是海洋水体中微塑料的重要来源, 仅德国一年就有将近 400 t 的纤维微塑料排放量, 根据统计结果海洋中源自纺织品的纤维微塑料占海洋初级微塑料总量的 35%<sup>[59]</sup>。衣物等废弃的纺织品以及纺织品的日常清洗都将产生大量的纤维状微塑料, 有研究使用家用洗衣机分别清洗三种纺织品 (毯子、羊毛衫、衬衫), 每种纺织品一次清洗可产生至少 1900 根纤维状微塑料, 每升废水中包含至少 100 根纤维<sup>[6]</sup>, 另有研究发现家用洗衣机每清洗 6 kg 的腈纶纺织品可释放超 70 万根纤维<sup>[60]</sup>, 所以生活污水是纤维状微塑料的主要来源<sup>[6, 61]</sup>。同时, 水产养殖业、船舶运输以及渔业捕捞过程中大量使用的绳索、渔网等工具, 这些工具在使用和废弃后也会产生大量

的微塑料纤维. 本研究中纤维的主要成分是 PET, 主要应用于纺织、渔网、绳索等的制作. 文昌珊瑚礁海域纤维状 PET 占该海域检出微塑料总数的 80.7%, 其中 W2 站位检出的纤维状 PET 占 PET 总数的 66.6%, 该站位位于高隆湾, 是文昌市多条河流入海汇聚处, 该地区人口密集, 生产生活污水携带的大量纤维状微塑料进入到沿海水域中, 因此, 生产生活污水是文昌海域微塑料的重要来源之一.

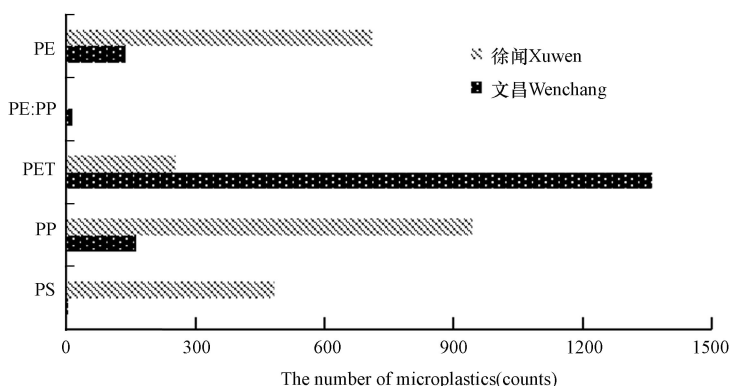


图 5 南海近岸珊瑚礁海域表层水体中的微塑料组成

Fig.5 Composition of microplastics in surface water of inshore coral reefs in the South China Sea

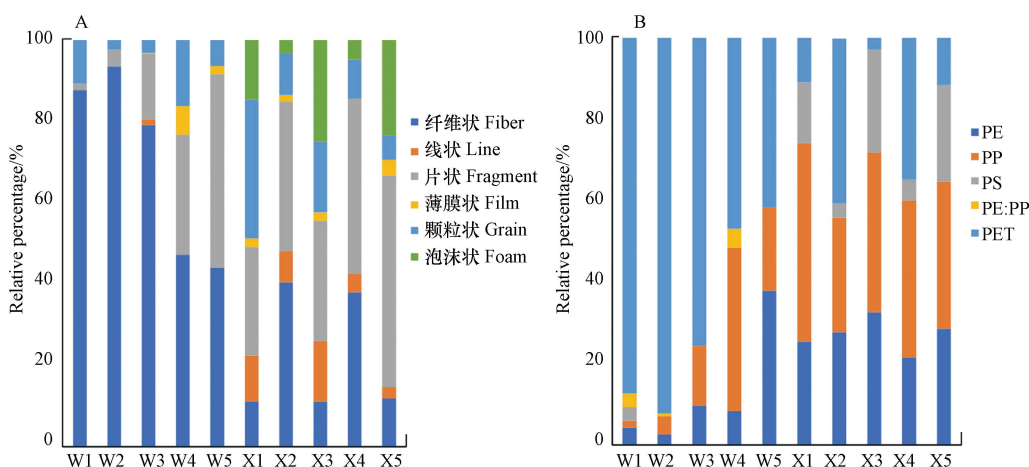


图 6 南海近岸珊瑚礁海域表层水体中微塑料形状与组分

(A. 形状, B. 组分)

Fig.6 Shapes and composition of microplastics in surface water of inshore coral reefs in the South China Sea

(A. shape, B. composition)

徐闻珊瑚礁海域表层水体中微塑料主要的化学组分为 PP、PE、PS(图 5). 有研究表明, PE 和 PP 是表层水体中微塑料的主要成分, 其来源主要是塑料包装、吸管、容器、电器、绳、瓶盖、皮带和塑料管道等生产生活用品的制作<sup>[62-63]</sup>, 以及农渔业养殖所用的塑料大棚、地膜、浮排等<sup>[64]</sup>. 现今渔船越来越多地采用塑料渔网开展捕捞作业, 渔具的更新产生了大量废弃的塑料渔具, 根据美国方面统计, 每年倾倒入海洋的塑料渔具达到 29800 多万磅<sup>[65]</sup>. 日用品和农业用品由于其低回收价值, 容易被废弃进入海洋, 成为海洋中微塑料的主要来源<sup>[66]</sup>. 因此推测徐闻珊瑚礁中片状、颗粒状和薄膜状 PE(18.6%)和 PP(34.0%)主要是上述用品的破碎产生, 而线状的 PE(11.1%)主要为白色、透明和绿色, 推测其主要来源渔网、绳索等工具, 在渔业养殖和捕捞活动中丢弃和磨损产生. 徐闻珊瑚礁海域检测到的 PS 都是白色泡沫状的(图 7D), 属于次生微塑料, 占该海域检出微塑料的 20.2%. PS 主要用于缓冲包装、保温泡沫箱, 水产养殖中也大量消耗泡沫塑料用于浮标、海鲜运输、海上养殖平台搭建等<sup>[31]</sup>. 徐闻珊瑚礁海域养殖业发达, 泡沫塑料被广泛应用, 然而泡沫塑料使用过程中回收率极低, 一旦破损即被废弃进入海洋环境中<sup>[67]</sup>, 是该海域 PS 微塑料的主要来源. 文昌珊瑚礁海域仅在 W1 检出 PS, 且检出较少(3.4%), 这可能与该海域水产养殖活动较少有关.



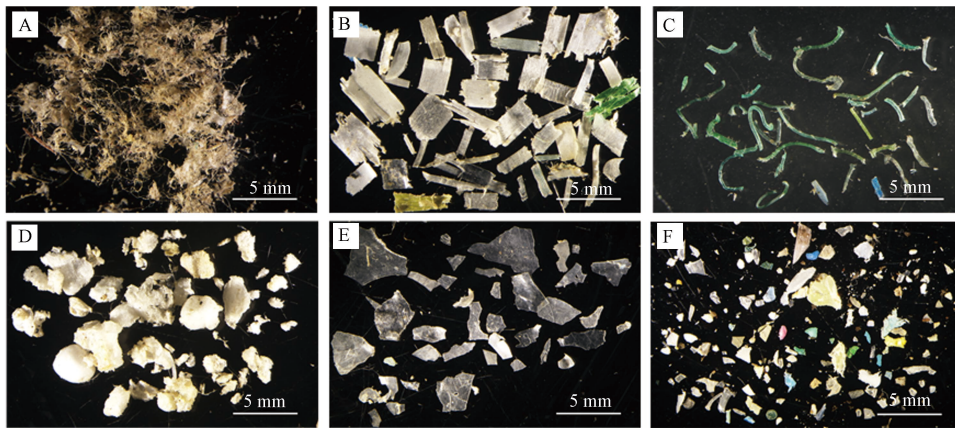


图7 南海近岸珊瑚礁海域表层水体中微塑料的形状  
(A. 纤维状, B. 片状, C. 线状, D. 泡沫状, E. 薄膜状, F. 颗粒状)

Fig.7 Shapes of microplastics in surface water of inshore coral reefs in the South China Sea

(A. fiber, B. fragment, C. line, D. foam, E. film, F. grain)

站位 X3 位于流沙湾, 属于流沙港出海口. 流沙港是粤西地区第二大深水良港, 船舶运输频繁, 且曾是我国第三大人工养殖鱼类基地, 海水养殖密度大, 同时受陆源垃圾和海源垃圾输入的影响, 因此该站位微塑料的来源相对较广, 其检出的微塑料数量也大幅度增加, 占此次徐闻海域检出微塑料总数的 58.2%(图 4).

综上, 南海近岸珊瑚礁海域微塑料的主要来源是陆源塑料垃圾输入和海源垃圾输入. 人口密度、地理位置和人类活动等因素造成不同海域微塑料的组成和来源存在差异. 文昌珊瑚礁海域表层水体中微塑料的主要来源是生产生活污水, 徐闻珊瑚礁海域表层水体中的微塑料的主要来源是废弃的日用品和农渔业用品.

### 3 结论(Conclusion)

(1) 南海近岸珊瑚礁海域表层水体微塑料的平均丰度为  $(1.186 \pm 1.370) \text{ n} \cdot \text{m}^{-3}$ , 整体上高于外海珊瑚礁海域; 与国内外其他近岸海域相比, 其丰度处于中等水平.

(2) 南海近岸珊瑚礁海域表层水体 0.1—3.0 mm 粒径范围内的微塑料数量最多, 占总数的 82.1%; 文昌珊瑚礁海域主要成分是聚对苯二甲酸乙二醇酯, 主要颜色为白色, 形状以纤维为主; 徐闻珊瑚礁海域主要成分为聚丙烯、聚乙烯、聚苯乙烯, 主要颜色为白色和透明, 形状分布相对均匀, 以片状和泡沫状为主.

(3) 南海近岸珊瑚礁海域表层水体中微塑料的分布主要受地形、河流输入和人类活动的影响, 丰度高值站位主要位于海湾、港口、河口等易于微塑料的积累的位置, 海角等水体交换频繁的海域微塑料含量较低.

(4) 南海近岸珊瑚礁海域表层水体微塑料的来源具有区域性差异, 生产生活污水是文昌珊瑚礁海域表层水体中微塑料的主要来源, 废弃的日用品和农渔业用品是徐闻珊瑚礁海域表层水体中的微塑料的主要来源. 不同地理位置的近岸珊瑚礁海域微塑料污染特征存在差异, 防控措施也应因地制宜.

#### 参考文献 (References)

- [ 1 ] JAMBECK J R, GEYER R, WILCOX C, et al. Plastic waste inputs from land into the ocean [J]. *Science*, 2015, 347(6223): 768-771.
- [ 2 ] BOWMER T, KERSHAW P. Gesamp reports and studies, 82-Proceedings of the GESAMP International Workshop on micro-plastic particles as a vector in transporting persistent, bio-accumulating and toxic substances in the oceans [M]. Paris: UNESCO-IOC, 2010.
- [ 3 ] THOMPSON R C, OLSEN Y, MITCHELL R P, et al. Lost at sea: Where is all the plastic? [J]. *Science*, 2004, 304(5672): 838.
- [ 4 ] 王丽媛, 罗专溪, 颜昌宙, 等. 海洋环境中微塑料的生态毒性效应研究进展 [J]. *环境科学与技术*, 2019, 42(S2): 76-82.  
WANG L Y, LUO Z X, YAN C Z, et al. Overview of ecotoxic effects of microplastics in marine environment [J]. *Environmental*

- Science & Technology, 2019, 42(Sup 2): 76-82(in Chinese).
- [ 5 ] MATO Y, ISOBE T, TAKADA H, et al. Plastic resin pellets as a transport medium for toxic chemicals in the marine environment [J]. *Environmental Science & Technology*, 2001, 35(2): 318-324.
- [ 6 ] 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.
- [ 7 ] WELDEN N A C, COWIE P R. Environment and gut morphology influence microplastic retention in langoustine, *Nephrops norvegicus* [J]. *Environmental Pollution*, 2016, 214: 859-865.
- [ 8 ] MURRAY F, COWIE P R. Plastic contamination in the decapod crustacean *Nephrops norvegicus* (Linnaeus, 1758) [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2011, 62(6): 1207-1217.
- [ 9 ] van RAAMSDONK L W D, van der ZANDE M, KOELMANS A A, et al. Current insights into monitoring, bioaccumulation, and potential health effects of microplastics present in the food chain [J]. *Foods*, 2020, 9(1): 72.
- [10] 潘云凤, 李恒翔, 林朗, 等. 珊瑚礁生态系统中微塑料污染及其生态效应研究进展 [J]. *环境生态学*, 2019, 1(3): 15-25.  
PAN Y F, LI H X, LIN L, et al. Progress on microplastics pollution in coral reef ecosystems and its ecological effects [J]. *Environmental Ecology*, 2019, 1(3): 15-25(in Chinese).
- [11] 车文学, 李卫东, 边伟杰, 等. 微塑料对珊瑚礁生态系统影响的研究进展 [J]. *海南热带海洋学院学报*, 2022, 29(2): 36-48.  
CHE W X, LI W D, BIAN W J, et al. Development in research on the impact of microplastics on coral reef ecosystems [J]. *Journal of Hainan Tropical Ocean University*, 2022, 29(2): 36-48(in Chinese).
- [12] PÉQUIGNET A C, BECKER J M, MERRIFIELD M A, et al. The dissipation of wind wave energy across a fringing reef at Ipan, Guam [J]. *Coral Reefs*, 2011, 30(1): 71-82.
- [13] HARDY T A, YOUNG I R. Field study of wave attenuation on an offshore coral reef [J]. *Journal of Geophysical Research:Oceans*, 1996, 101(C6): 14311-14326.
- [14] ZHAO S Y, ZHU L X, LI D J. Characterization of small plastic debris on tourism beaches around the South China Sea [J]. *Regional Studies in Marine Science*, 2015, 1: 55-62.
- [15] HUANG Y M, YAN M T, NIE H Y, et al. Persistent halogenated organic pollutants in follicular fluid of women undergoing *in vitro* fertilization from China: Occurrence, congener profiles, and possible sources [J]. *Environmental Pollution*, 2019, 244: 1-8.
- [16] REISSER J, SHAW J, WILCOX C, et al. Marine plastic pollution in waters around Australia: Characteristics, concentrations, and pathways [J]. *PLoS One*, 2013, 8(11): e80466.
- [17] HANKINS C, DUFFY A, DRISCO K. Scleractinian coral microplastic ingestion: Potential calcification effects, size limits, and retention [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2018, 135: 587-593.
- [18] FERRIER-PAGÈS C, WITTING J, TAMBUTTÉ E, et al. Effect of natural zooplankton feeding on the tissue and skeletal growth of the scleractinian coral *Stylophora pistillata* [J]. *Coral Reefs*, 2003, 22(3): 229-240.
- [19] HOEGH-GULDBERG O. Climate change, coral bleaching and the future of the world's coral reefs [J]. *Marine and Freshwater Research*, 1999, 50(8): 839-866.
- [20] SOFFER N, ZANEVELD J, VEGA THURBER R. Phage-bacteria network analysis and its implication for the understanding of coral disease [J]. *Environmental Microbiology*, 2015, 17(4): 1203-1218.
- [21] BOURNE D G, AINSWORTH T D, POLLOCK F J, et al. Towards a better understanding of white syndromes and their causes on Indo-Pacific coral reefs [J]. *Coral Reefs*, 2015, 34(1): 233-242.
- [22] LAMB J B, WENGER A S, DEVLIN M J, et al. Reserves as tools for alleviating impacts of marine disease [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 2016, 371(1689): 20150210.
- [23] CRITCHELL K, HOOGENBOOM M O. Effects of microplastic exposure on the body condition and behaviour of planktivorous reef fish (*Acanthochromis polyacanthus*) [J]. *PLoS One*, 2018, 13(3): e0193308.
- [24] JACOB H, GILSON A, LANCTÔT C, et al. No effect of polystyrene microplastics on foraging activity and survival in a post-larvae coral-reef fish, *Acanthurus triostegus* [J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2019, 102(4): 457-461.
- [25] de CARVALHO-SOUZA G F, LLOPE M, TINÓCO M S, et al. Marine litter disrupts ecological processes in reef systems [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2018, 133: 464-471.
- [26] KATIJA K, CHOY C A, SHERLOCK R E, et al. From the surface to the seafloor: How giant larvaceans transport microplastics into the deep sea [J]. *Science Advances*, 2017, 3(8): e1700715.
- [27] SUN X X, LIU T, ZHU M L, et al. Retention and characteristics of microplastics in natural zooplankton taxa from the East China Sea [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 640/641: 232-242.
- [28] NG K L, OBBARD J P. Prevalence of microplastics in Singapore's coastal marine environment [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2006, 52(7): 761-767.
- [29] LAMB J B, WILLIS B L, FIORENZA E A, et al. Plastic waste associated with disease on coral reefs [J]. *Science*, 2018, 359(6374): 460-462.

- [30] QU L, ZHANG W, WANG X, et al. Distribution characteristics of microplastics in the surface seawater of the Jinzhou Bay [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2021, 43(2): 98-104.
- [31] 吴磊石, 洪鸣, 彭梦微, 等. 北部湾海域表层水体中微塑料分布特征 [J]. *环境科学研究*, 2021, 34(11): 2556-2562.  
WU L S, HONG M, PENG M W, et al. Distribution characteristics of microplastics in surface water of Beibu Gulf [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2021, 34(11): 2556-2562 (in Chinese).
- [32] 山泽萱, 张妍, 张成前, 等. 渭河微塑料污染现状与风险评价 [J]. *环境科学*, 2023, 44(1): 231-242.  
SHAN Z X, ZHANG Y, ZHANG C Q, et al. Microplastic pollution status and ecological risk evaluation in Weihe River [J]. *Environmental Science*, 2023, 44(1): 231-242 (in Chinese).
- [33] 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.
- [34] 何海霞. 南中国海表层海水微塑料存赋特征及其影响因素初探 [D]. 厦门: 厦门大学, 2018.  
HE H X. Microplastics in the surface water of the South China Sea and its influencing factors [D]. Xiamen: Xiamen University, 2018 (in Chinese).
- [35] RYAN P, SHIM W J, ZHANG W W, et al. GESAMP 2019 Guidelines for the monitoring & assessment of plastic litter in the ocean Reports & Studies 99 (editors KERSHAW, P J, TURRA A AND GALGANI F) [R]. GESAMP Reports and Studies, 2019.
- [36] REISSER J, SLAT B, NOBLE K, et al. The vertical distribution of buoyant plastics at sea: An observational study in the North Atlantic Gyre [J]. *Biogeosciences*, 2015, 12(4): 1249-1256.
- [37] TAMMINGA M, STOEWER S C, FISCHER E K. On the representativeness of pump water samples versus *Manta* sampling in microplastic analysis [J]. *Environmental Pollution*, 2019, 254: 112970.
- [38] WANG T, ZOU X Q, LI B J, et al. Preliminary study of the source apportionment and diversity of microplastics: Taking floating microplastics in the South China Sea as an example [J]. *Environmental Pollution*, 2019, 245: 965-974.
- [39] HUANG Y J, YAN M T, XU K H, et al. Distribution characteristics of microplastics in Zhubi Reef from South China Sea [J]. *Environmental Pollution*, 2019, 255: 113133.
- [40] NIE H Y, WANG J, XU K H, et al. Microplastic pollution in water and fish samples around Nanxun Reef in Nansha Islands, South China Sea [J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 696: 134022.
- [41] DING J F, JIANG F H, LI J X, et al. Microplastics in the coral reef systems from Xisha Islands of South China Sea [J]. *Environmental Science & Technology*, 2019, 53(14): 8036-8046.
- [42] SYAKTI A D, HIDAYATI N V, JAYA Y V, et al. Simultaneous grading of microplastic size sampling in the Small Islands of Bintan water, Indonesia [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2018, 137: 593-600.
- [43] SALIU F, MONTANO S, GARAVAGLIA M G, et al. Microplastic and charred microplastic in the Faafu Atoll, Maldives [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2018, 136: 464-471.
- [44] CAI M G, HE H X, LIU M Y, et al. Lost but can't be neglected: Huge quantities of small microplastics hide in the South China Sea [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 633: 1206-1216.
- [45] TAN F, YANG H Q, XU X R, et al. Microplastic pollution around remote uninhabited coral reefs of Nansha Islands, South China Sea [J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 725: 138383.
- [46] CHEN H Z, WANG S M, GUO H G, et al. The abundance, characteristics and diversity of microplastics in the South China Sea: Observation around three remote Islands [J]. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 2021, 16(1): 1-12.
- [47] ISOBE A, UCHIDA K, TOKAI T, et al. East Asian seas: A hot spot of pelagic microplastics [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2015, 101(2): 618-623.
- [48] KANG J H, KWON O Y, SHIM W J. Potential threat of microplastics to zooplanktivores in the surface waters of the southern sea of Korea [J]. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 2015, 69(3): 340-351.
- [49] LATTIN G L, MOORE C J, ZELLERS A F, et al. A comparison of neustonic plastic and zooplankton at different depths near the southern California shore [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2004, 49(4): 291-294.
- [50] ZHANG W W, ZHANG S F, ZHAO Q, et al. Spatio-temporal distribution of plastic and microplastic debris in the surface water of the Bohai Sea, China [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2020, 158: 111343.
- [51] WANG T, ZOU X Q, LI B J, et al. Microplastics in a wind farm area: A case study at the Rudong Offshore Wind Farm, Yellow Sea, China [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2018, 128: 466-474.
- [52] ZHAO S Y, ZHU L X, 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(1/2): 562-568.
- [53] WANG T, HU M H, SONG L L, et al. Coastal zone use influences the spatial distribution of microplastics in Hangzhou Bay, China [J]. *Environmental Pollution*, 2020, 266: 115137.
- [54] 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(Pt B): 1146-1156.

- [55] 王帅, 史云峰, 王慧, 等. 陵水新村湾水产养殖区表层海水微塑料赋存特征 [J]. 海南热带海洋学院学报, 2021, 28(5): 24-31.  
WANG S, SHI Y F, WANG H, et al. Distribution characteristics of micro-plastics in surface seawater in mariculture areas in Xincun Bay, Lingshui County [J]. Journal of Hainan Tropical Ocean University, 2021, 28(5): 24-31 (in Chinese).
- [56] BOLLMANN U E, SIMON M, VOLLERTSEN J, et al. Assessment of input of organic micropollutants and microplastics into the Baltic Sea by urban waters [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2019, 148: 149-155.
- [57] IWASAKI S, ISOBE A, KAKO S, et al. Fate of microplastics and mesoplastics carried by surface currents and wind waves: A numerical model approach in the Sea of Japan [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2017, 121(1/2): 85-96.
- [58] ANDRADY A L, NEAL M A. Applications and societal benefits of plastics [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 2009, 364(1526): 1977-1984.
- [59] BROWNE M A, GALLOWAY T, THOMPSON R. Microplastic—an emerging contaminant of potential concern? [J]. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 2007, 3(4): 559-561.
- [60] NAPPER I E, THOMPSON R C. Release of synthetic microplastic plastic fibres from domestic washing machines: Effects of fabric type and washing conditions [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2016, 112(1/2): 39-45.
- [61] WANG J D, PENG J P, TAN Z, et al. Microplastics in the surface sediments from the Beijiang River littoral zone: Composition, abundance, surface textures and interaction with heavy metals [J]. *Chemosphere*, 2017, 171: 248-258.
- [62] COYLE R, HARDIMAN G, DRISCOLL K O. Microplastics in the marine environment: A review of their sources, distribution processes, uptake and exchange in ecosystems [J]. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 2020, 2: 100010.
- [63] KOEHLER A, ANDERSON A, ANDRADY A, et al. Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: A global assessment [R]. International Maritime Organization, 2015.
- [64] TANG G W, LIU M Y, ZHOU Q, et al. Microplastics and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Xiamen coastal areas: Implications for anthropogenic impacts [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 634: 811-820.
- [65] 王慧卉, 梁国正. 塑料垃圾对海洋污染的影响及控制措施分析 [J]. 南通职业大学学报, 2014, 28(1): 68-72.  
WANG H H, LIANG G Z. Study on effects of plastic pollution on marine environment and mitigations [J]. *Journal of Nantong Vocational College*, 2014, 28(1): 68-72 (in Chinese).
- [66] CHEN H Z, WANG S M, GUO H G, et al. Study of marine debris around a tourist city in East China: Implication for waste management [J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 676: 278-289.
- [67] HINOJOSA I A, THIEL M. Floating marine debris in fjords, gulfs and channels of southern Chile [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2009, 58(3): 341-350.