

琼州海峡南部海域表层水体微塑料分布特征

张守锋^{1,2}, 曲玲², 霍城², 鞠茂伟², 王词稼²,
褚晓婷², 张微微²

(1.中国海洋大学 环境科学与工程学院, 山东 青岛 266100; 2.国家海洋环境监测中心, 辽宁 大连 116023)

摘要:微塑料(粒径小于 5 mm 的塑料)普遍存在于海洋环境中,其带来的新兴环境污染问题受到全球广泛关注,被联合国环境署列为环境与生态科学研究领域的第二大科学问题。海洋微塑料主要源于人类陆地活动,人口分布密集的近岸海域成为海洋微塑料研究的重点关注区域。本文以琼州海峡南部海域为研究对象,布设 10 个站位开展表层水体微塑料污染情况调查。用 330 μm 孔径 manta 网进行表层水体微塑料采样,经傅里叶变换显微红外光谱仪进行成分鉴定,共鉴定得到微塑料 1450 个,各站位微塑料丰度变化范围为 0.08~1.70 个/ m^3 ,平均丰度为 (0.45 ± 0.65) 个/ m^3 ,最高丰度位于海口湾和琼州海峡东部海域。微塑料以颗粒状为主,所占比例为微塑料总量的 89.4%;白色和透明/半透明微塑料居多,占比分别为 49.4% 和 31.7%;微塑料的主要成分为聚丙烯(39.0%)、聚苯乙烯(31.9%)和聚乙烯(23.0%)。本研究阐述了琼州海峡南部海域海洋微塑料赋存现状及分布特征,初步分析了微塑料潜在来源,研究结果可为海洋微塑料防控提供科学支撑,为海洋塑料垃圾治理提供参考。

关键词:琼州海峡;微塑料;表层水体;丰度;分布特征

中图分类号:X502 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-6336(2025)04-0555-08

Distribution characteristics of microplastics in surface water of southern Qiongzhou Strait

ZHANG Shoufeng^{1,2}, QU Ling², HUO Cheng², JU Maowei², WANG Cijia²,
CHU Xiaoting², ZHANG Weiwei²

(1.College of Environmental Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 2.National Marine Environmental Monitoring Center, Dalian 116023, China)

Abstract: Microplastics (plastics with particle size less than 5 mm) have been caught increased attention because of their ubiquitous presence in global seas. As an emerging global environmental problem, marine microplastics pollution is listed by the United Nations Environment Program as the second major scientific problem in the field of environmental and ecological science. Marine microplastics are mainly derived from human activities on land, and coastal waters with dense population distribution have become the key area of marine microplastics research. In this study, 10 sampling stations were set up in the southern Qiongzhou Strait. A manta net with the mesh size of approximately 330 μm , was used for sampling, and Micro-Fourier transform infrared spectrometer ($\mu\text{FT-IR}$) was used to identify the components of microplastics. The index analyzed

收稿日期:2024-04-22, 修订日期:2024-10-15

基金项目:国家重点研发计划青年科学家项目(2022YFC3105900)

作者简介:张守锋(1987—),男,山东临沂人,博士研究生,主要研究方向为海洋垃圾和微塑料监测与评价, E-mail: shoufengzhang@nmemc.org.cn

通信作者:张微微(1979—),女,吉林白城人,研究员,博士,主要研究方向为海洋环境监测评价, E-mail: wwzhang@nmemc.org.cn

including shape, size, color, composition and abundance of microplastics. A total of 1450 pieces of microplastics were identified. Results showed that the abundance of microplastics in this area ranged from 0.08 to 1.70 items/m³, with an average abundance of (0.45±0.65) items/m³. The main shape of microplastics is fragment, accounting for 89.4% of the total microplastics. White and transparent/translucent microplastics accounted for 49.4% and 31.7% respectively. The main components of microplastics were polypropylene (39.0%), polystyrene (31.9%) and polyethylene (23.0%). This study described the occurrence and distribution characteristics of marine microplastics, and analyzed their potential sources, which is helpful to provide scientific support for marine microplastics prevention and control, and provide references for the management of marine plastic debris.

Key words: Qiongzhou Strait; microplastics; surface water; abundance; distribution characteristics

塑料因具有质量轻、易加工成型、结实耐用、价格低廉等一系列优点受到公众广泛青睐,其大规模生产及应用给人类生活带来了极大便利,人类社会因此步入“塑料时代”^[1]。自20世纪50年代至2015年,人类已生产了83亿吨塑料,其中63亿吨已经成为垃圾^[2]。每年进入海洋环境的塑料垃圾高达数百万吨,在风浪、紫外线等作用下逐渐破碎,最终成为小于5 mm的微塑料。微塑料本身可能含有有毒有害物质,且易吸附海洋环境中的持久性有机污染物与重金属^[3],被鸟类、贝类、鱼类、两栖类等海洋生物摄食后,可作为载体将有毒有害物质传递至生物体内,对海洋生物造成危害^[4]。海洋微塑料来源广泛、存留时间长、风险隐蔽、危害严重、治理难度大,与环境内分泌干扰物、全氟化合物等持久性有机污染物、抗生素等一同被列入国际社会持续关注的新污染物名单,已成为全球重点关注的新环境污染物之一。

研究表明,微塑料已遍布全球海洋环境,从近岸到海洋,从海洋表面到海底沉积物,从赤道到两极,甚至海洋生物体内都有检出^[5-6]。人口稠密的近岸海域和海滩、大洋环流区、海底峡谷等被认为是海洋微塑料的易聚集区域,也是微塑料研究、调查的热点区域。近年来,我国在海洋微塑料污染分布方面做了大量研究工作,不仅包括渤海、黄海、东海、南海等近海海域,甚至在极地大洋海域也开展了相关调查^[7-10]。长江口、珠江口、辽东湾、锦州湾、胶州湾、桑沟湾、海州湾、象山湾、厦门湾、北部湾等河口、海湾海水微塑料分布特征研究充实了我国近岸海域微塑料分布数据库^[11-17]。

琼州海峡是我国三大海峡之一,位于雷州半岛和海南岛之间,东西长约80 km,南北平均宽度为29.5 km,西接北部湾,东邻南海北部,是海洋交通要道和航运枢纽。繁忙的港口航运和丰富的渔业养殖对该海域生态环境产生一定影响,其中海洋微塑料污染问题亦不容忽视。广东和海南沿岸经济发达,且有多条河流注入琼州海峡,可能会增加陆源微塑料的入海风险。与此同时,琼州海峡是北部湾与南海海水交换的重要通道,可能导致海洋微塑料在此交汇。琼州海峡地理位置特殊、水动力条件复杂,可能产生海洋微塑料汇聚、沉降、富集等现象,进而威胁该海域生态环境安全。目前,尚未发现针对琼州海峡微塑料污染情况的相关报道。为掌握琼州海峡微塑料的分布特征及来源,本研究开展了该海域表层水体微塑料分布特征调查,分析了其潜在来源,以为该海域海洋微塑料污染防治提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

2018年7月31日—8月1日,在琼州海峡南部海域布设10个采样站位(表1),开展表层水体微塑料采样。

目前,国内外研究多使用330 μm孔径的网具采集表层水体微塑料样品,为了与已报道的结果具有可比性,本研究使用330 μm孔径的Manta网采集表层水体微塑料。网具网口宽度为1.0 m,高度为0.5 m,网衣长度为2.9 m。网口中央安装流量计,用于计算过滤的海水体积。网衣末端连接网底管,用于收集和转移微塑料。网

表1 琼州海峡南部海域表层水体微塑料采样站位

Tab.1 Sampling sites of sea surface microplastics in southern Qiongzhou Strait

站位	经度/°	纬度/°
HK04	110.131944	20.068333
HK14	110.253889	20.070278
HK18	110.204722	20.101111
HK22	110.297001	20.057512
HK24	110.283899	20.084903
HK26	110.250009	20.132430
HK30	110.325496	20.101212
HK36	110.391550	20.116537
HK38	110.358333	20.130556
HK46	110.432450	20.167112

具从船舷一侧(无废水排放)释放到水体表面。样品采集时,船舶行驶速度保持3 kn左右,采样时间持续10~15 min。采样结束后,将网衣内所有固体物质经网底管转移至玻璃样品瓶中,并于4℃条件下储存。记录采样网具浸水高度、流量计采样前后数值、采样起始及结束时间、经纬度等信息。

1.2 微塑料分离提取与分析鉴定

在超净工作台中,将玻璃样品瓶中的样品通过孔径为125 μm 不锈钢网筛以去除多余海水,用少量去离子水将筛网上的截留物转移至洁净烧杯中。重复此操作3次,以确保样品瓶中的样品全部转移至烧杯。将烧杯置于60℃条件下烘干。室温条件下,向烧杯中加入适量经硫酸酸化的浓度为0.05 mol/L的二价铁溶液和等体积的30%过氧化氢溶液,进行消解处理。若反应结束后仍可观察到有机质存在,重复加入等体积的30%过氧化氢溶液,至消解完全。向上述烧杯中加入一定质量的氯化钠(每100 mL溶液加入30 g氯化钠)并充分搅拌,静置12 h后将上清液及漂浮的固体物质全部转移至滤器中,过滤至玻璃纤维滤膜(Whatman GF/F,直径为47 mm,孔径为0.7 μm)。将滤膜置于玻璃培养皿中,于60℃下烘干。

将烘干的玻璃纤维滤膜置于160×体视显微镜(徕卡M205FA)下观察,对滤膜上疑似微塑料固体物质进行拍照、测量,记录形态、颜色、尺寸

等信息。使用傅里叶变换显微红外光谱仪(Nicolet iN 10mx, USA)和傅里叶变换衰减全反射红外光谱仪(Nicolet iS5, USA)对目标样品进行成分鉴定,通过与聚合物光谱数据库中的标准谱图对比确定其成分。

1.3 质量控制

各站位实际采集过滤的表层海水体积范围为261.26~567.12 m³,能够客观地反映调查区域海洋微塑料赋存情况。为避免环境中可能存在的微塑料对研究结果产生影响,本研究采取严格的质量控制措施。样品采集和实验室分析全过程尽量避免使用塑料制品,人员必须穿戴纯棉质衣物,所使用的试剂均经玻璃纤维滤膜过滤,玻璃器皿均用去离子水清洗,所有前处理操作均在封闭空间内的超净工作台中进行(消解反应在通风橱中进行),采取措施防止样品长时间暴露于空气中。现场采样和实验室处理、鉴定分析过程均同步开展空白实验。最终结果显示,空白实验中未发现微塑料。

为验证微塑料分离提取方法的准确度,本研究选取聚乙烯(PE)和聚丙烯(PP)两种常见轻质微塑料标准品颗粒开展回收率实验,每种标准微塑料分别选取<0.5 mm和1~1.5 mm两种尺寸,每组实验设置3个平行(表2)。回收率实验操作方法与实际样品操作分析方法相同。结果表明,PE微塑料平均回收率分别为(90.0±5.0)%(<0.5 mm)和(98.3±2.9)% (1.0~1.5 mm),PP微塑料平均回收率分别为(91.7±7.6)%(<0.5 mm)和(96.7±2.9)% (1.0~1.5 mm)。

表2 微塑料标准品回收率实验
Tab.2 Recovery rates of standard microplastics

材质	尺寸/mm	形态	数量/粒	回收数量/粒	回收率/(%)
PE	<0.5	球状	20	18 (n=3)	90.0±5.0
	1.0~1.5	球状	20	19.7 (n=3)	98.3±2.9
PP	<0.5	球状	20	18.3 (n=3)	91.7±7.6
	1.0~1.5	球状	20	19.3 (n=3)	96.7±2.9

1.4 数据处理

使用Microsoft Excel 2010 进行研究数据批量统计、分析,绘制尺寸、形态、颜色和成分等分布图。

2 结果与讨论

2.1 微塑料丰度和污染水平

在琼州海峡南部海域 10 个站位的样本中共鉴定得到塑料 1628 个, 其中, 微塑料 1450 个, 平均丰度为 (0.45 ± 0.65) 个/ m^3 , 各站位微塑料丰度变化范围为 0.08 ~ 1.70 个/ m^3 (表 3)。

目前, 在全球范围内暂未形成统一的标准化微塑料监测方法, 已经发表的研究结果使用不同采样工具、分析方法和表征单位, 增加了研究结

果之间相互比对的难度。为了明确调查海域微塑料污染情况, 笔者统计了部分使用 330 ~ 335 μm 孔径采样工具, 且采样、分析方法及表征单位与本研究相同的部分结果, 并与之进行比较(表 4)。比较结果表明, 琼州海峡南部海域表层水体微塑料污染水平与渤海^[18]、江苏省近岸海域^[19]和恰巴哈尔湾^[20]相当, 低于长江口^[11]、锦州湾^[14]、黄海^[8]和北部湾^[17]海域, 高于南极附近海域^[6]、北冰洋^[21]和萨利希海^[22]。

表 3 琼州海峡表层水体微塑料各站位采样信息
Tab.3 Sampling information of each site in southern Qiongzhou Strait

站位	过滤体积/ m^3	微塑料数量/个	微塑料丰度/个· m^{-3}	主要类型	备注
HK04	332.43	40	0.12	PET、PP、PE	—
HK 14	317.57	541	1.70	PP、PS、PE	—
HK 18	403.75	92	0.23	PP、PE	—
HK 22	387.99	58	0.15	PP、PET	南渡江入海口
HK 24	389.04	30	0.08	PE、PP	南渡江入海口
HK 26	448.20	76	0.17	PE、PP	—
HK 30	261.26	37	0.14	PP、PE	南渡江入海口
HK 36	278.98	31	0.11	PP、PE	南渡江入海口
HK 38	567.12	85	0.15	PE、PP	南渡江入海口
HK 46	276.58	460	1.66	PS、PP	—

表 4 不同区域表层海水微塑料丰度
Tab.4 Reported microplastic abundances in surface water across the world

研究区域	网具孔径/ μm	丰度/个· m^{-3}	主要类型	参考文献
北冰洋	330	0.13 ± 0.11	PET	[21]
萨利希海	335	0.26	—	[22]
渤海	330	0.35 ± 0.13	PE、PP	[18]
黄海	330	0.63 ± 0.57	PP、PE、PET	[8]
南极海域	330	0.10 ± 0.14	Polyester	[6]
恰巴哈尔湾	333	0.49 ± 0.43	PE、PP	[20]
锦州湾	330	0.93 ± 0.59	PP、PE	[14]
北部湾	330	0.56 ± 1.02	PS、PP、PE	[17]
江苏省近岸海域	330	0.33	EVA、PU	[19]
长江口	330	1.01 ± 0.65	PS、PP、PE	[11]
琼州海峡南部海域	330	0.41 ± 0.58	PP、PS、PE	本研究
南渡江入海口断面	330	0.08 ~ 0.15	PP、PE	本研究

2.2 微塑料空间分布特征

海口湾西南部 HK14 站位和琼州海峡东部

HK46 站位的微塑料丰度分别为 1.70 个/ m^3 和 1.66 个/ m^3 , 高于调查海域微塑料平均丰度。其

中, HK14 站位位于港口航运区和休闲娱乐区交界处, 港口航运和休闲娱乐等生产、生活活动产生的海洋塑料垃圾和微塑料可能是其微塑料丰度较高的原因之一。此外, 在潮汐余流为主要机制的影响下, 琼州海峡水通量一年四季自东向西, 海口湾西南部沿岸存在的西南向余流^[23-24]易导致微塑料在此聚集。HK46 站位位于农渔业区, 渔业养殖及捕捞过程产生的微塑料可能是该站位微塑料丰度较高的主要原因之一。另有研究发现, 珠江口及粤西沿岸水域的氮、磷营养元素可通过动力途径从琼州海峡东部向西运输^[25], 这表明 HK46 站位的部分微塑料可能来自珠江口及粤西沿岸水域。

南渡江入海口附近的 HK24 站位微塑料丰度最低, 为 0.08 个/ m^3 。通常, 微塑料在海洋环境中的空间分布受到人类活动、陆源输入、沿岸地形、洋流和风浪等因素影响, 其中河流被认为是陆地塑料废弃物向海洋输移的主要途径。南渡江是海南省最大河流, 源出海南岛中部山区, 在海口以东入琼州海峡, 理论上可能成为琼州海峡微塑料的主要来源。为了明确南渡江对琼州海峡微塑料污染的影响情况, 本研究对南渡江入海口附近的环南渡江入海口断面调查数据进行分析。分析结果显示, 该断面各站位 (HK22、HK24、HK30、HK36、HK38) 微塑料丰度为 0.08 ~ 0.15 个/ m^3 , 平均丰度为 0.126 个/ m^3 , 约为琼州海峡南部海域微塑料平均丰度的 1/4, 比附

近的 HK14 站位低一个数量级, 说明调查期间南渡江对琼州海峡微塑料的贡献有限。由此可见, 河流塑料垃圾入海量计算是一个复杂的系统性问题, 与人口数量、塑料垃圾管理不当比例、入海河流的数量及流量等影响因素未必呈简单的正相关关系。

2.3 微塑料物理化学特征及潜在来源

调查区域塑料尺寸范围为 0.14 ~ 53.5 mm, 其中, 大块塑料 (25.0 ~ 53.5 mm) 4 个, 中块塑料 (5.0 ~ 25.0 mm) 174 个, 微塑料 (0.1 ~ 5.0 mm) 1450 个, 分别占塑料总量的 0.2%、10.7% 和 89.1%, 微塑料数量最多。进一步分析发现, 随着尺寸增大, 微塑料的数量先增后减, 尺寸 0.7 ~ 0.8 mm 的微塑料数量最多 (图 1), 总体上呈现正态分布的变化趋势, 与南北极、渤海、东亚海等海域微塑料尺寸分布特征一致^[6, 18, 21]。通常, 大块塑料在外力作用下逐渐破碎并不断积累, 微塑料尺寸越小, 数量越多, 而本研究中尺寸 < 0.7 mm 的微塑料并不满足该假设, 这可能与 330 μm 孔径采样网衣并不能有效拦截尺寸更小的微塑料有关。值得注意的是, 微塑料尺寸越小, 越容易被海洋生物摄食, 更易对海洋生物产生潜在威胁, 在今后研究中需加强对更小尺寸微塑料的关注。

鉴定分析结果显示, 微塑料主要成分为聚丙烯、聚苯乙烯 (PS) 和聚乙烯, 分别占 39.0%、31.9% 和 23.0%; 聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET)

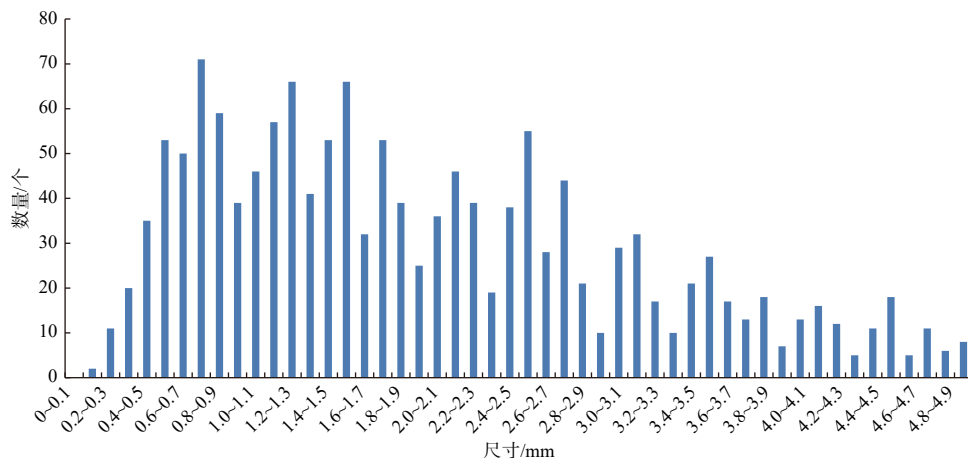


图1 琼州海峡南部海域表层水体微塑料尺寸分布

Fig. 1 Size distribution of microplastics in southern Qiongzhou Strait

比例较少,为微塑料总量的 4.6%;其他材质微塑料(聚乙烯-聚丙烯、醇酯树脂等)所占比例均低于 1%(图 2a)。

聚乙烯是我国产量最大、应用最广泛的通用合成树脂,广泛应用于工业、农业、包装和日常生活,如管材、薄膜、包装材料、日用品等。聚丙烯是第二大通用塑料,在农林渔业、汽车、电子电器、纺织、包装、食品工业等众多领域得到广泛应用,如编织袋、包装材料、薄膜、管材/板材、纺织纤维、汽车零部件等。聚苯乙烯泡沫塑料

具有密度小、抗水性优良、缓冲性能优异、温度适应性强等特点,被大量用于包装材料、食品容器、外墙保温材料和渔业养殖等领域。3 种材料的广泛应用是 PP、PS 和 PE 微塑料大量存在于环境中的主要原因。其中,PP 微塑料数量最多(图 2a),很可能是由其自身性质决定的。聚丙烯抗紫外线及氧化能力差,在风浪及阳光直射作用下更容易破裂分解成更小的塑料颗粒^[7]。在渤海开展的另一项调查也发现,随着微塑料尺寸减小,聚丙烯微塑料数量逐渐增加^[18]。

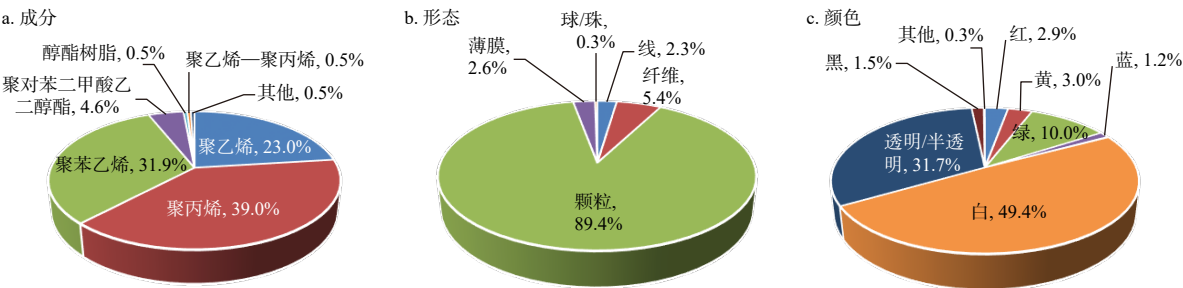
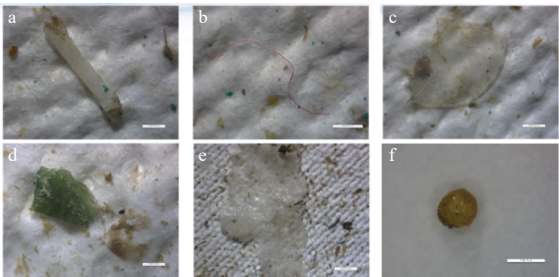


图 2 琼州海峡南部海域表层水体微塑料成分、形态和颜色分布

Fig. 2 Composition, shape, and color of microplastics in southern Qiongzhou Strait

根据海洋污染科学问题联合专家组推荐的形态分类,本文将获得的微塑料分为线状、颗粒状、薄膜状、纤维状和球/珠状(图 3)。其中,颗粒状最多,占比为 89.4%;其次为纤维状、薄膜状和线状,分别占 5.4%、2.6% 和 2.3%;球/珠状微塑料最少,仅占 0.3%(图 2b)。

占比最高,为 99.6%,成分主要为 PS(69.7%)、PP (22.9%)和 PE(7.4%)。这与该站位于渔业养殖区有关,渔业养殖和捕捞过程中大量使用聚苯乙烯泡沫浮筒以及聚乙烯、聚丙烯塑料材质渔网、绳缆等渔具,这类塑料渔具在长期光照辐射和海浪等作用下,易破碎形成微塑料颗粒。



(a: 线; b: 纤维; c: 颗粒; d: 颗粒; e: 薄膜; f: 球/珠)

图 3 琼州海峡南部海域表层水体典型微塑料

Fig. 3 Examples of typical microplastics collected from surface water of southern Qiongzhou Strait

颗粒微塑料广泛分布于各调查站位(表 5),其主要成分为 PP(42.4%)、PS(35.2%) 和 PE(21.5%)。HK46 站位的样品中颗粒微塑料所

表 5 琼州海峡南部海域各采样站位微塑料形态分布

Tab.5 Types distribution of microplastics at different sites in southern Qiongzhou Strait

站位	线状/(%)	纤维/(%)	颗粒/(%)	薄膜/(%)	球/珠/(%)
HK04	0.0	35.0	60.0	5.0	0.0
HK 14	3.1	1.5	92.0	2.8	0.0
HK 18	3.3	13.0	79.3	4.3	0.0
HK 22	1.7	22.4	70.7	5.2	0.0
HK 24	6.7	6.7	83.4	3.3	0.0
HK 26	5.3	10.5	84.2	0.0	0.0
HK 30	5.4	8.1	83.8	0.0	2.7
HK 36	6.5	19.4	71.0	3.2	0.0
HK 38	2.4	14.1	70.5	12.9	0.0
HK 46	0.2	0.0	99.6	0.2	0.0

除颗粒状样品中存在大量 PP 和 PE 微塑料外,薄膜状样品中同样存在较高比例的 PP(21.1%)和 PE(73.7%)材质微塑料。目前,无法根据形态和成分判断其准确来源,需进一步深入研究。

研究海域纤维微塑料含量仅占 5.4%,这可能是因为 330 μm 孔径 Manta 网衣无法有效采集纤维微塑料,因此纤维微塑料分析结果低于环境实际丰度。成分鉴定分析结果显示,纤维的主要成分为 PET,占纤维微塑料总量的 84.6%。HK04 站位 PET 纤维检出率最高,占该站位微塑料总量的 35.0%,远高于该海域 PET 平均含量(4.6%)。PET 纤维常用于服装制作,一件合成衣物洗涤一次能够释放多达 1900 根纤维^[26]。这些污水即使经过污水处理厂三级处理,也不能完全去除其中的纤维。HK04 站位附近有长流污水处理厂排放口和南港污水处理站排放口,可能是该站位 PET 纤维含量较高的原因。

线状微塑料丰度较低,占比为 2.3%,以 PE 材质为主。PE 因具有较强延伸性、抗冲击性、耐磨和酸碱侵蚀等特点,是休闲垂钓鱼线的主要成分,亦广泛应用于商业捕鱼和海洋养殖渔网、渔具。

球/珠状微塑料数量最少(0.3%),仅发现 4 粒,材质均为 PS。塑料微球在生产和运输过程中存在丢失和泄漏问题,个人护理产品中也常常会添加塑料微珠,这可能是该海域 PS 材质塑料微球/珠的潜在来源。一项对微塑料有机污染物的研究表明,岸滩常常会滞留较多的塑料微球^[27]。

微塑料颜色以白色和透明/半透明为主,占比分别为 49.4% 和 31.7%;其次为绿色,占比为 10.0%;黄色、红色、黑色、蓝色和其他颜色微塑料占比分别为 3.0%、2.9%、1.5%、1.2% 和 0.3% (图 2c)。本研究调查海域浅色系(白色和透明/半透明)微塑料所占比例达 81.1%,与渤海、西北太平洋等海域调查结果相似,均以浅色微塑料为主。有研究发现,不同海洋生物倾向选择摄食不同颜色的微塑料,例如,有鱼类将白色、棕色和黄色微塑料误认为食物进行摄食,有海龟偏好摄食浅色和半透明塑料^[28-29]。该海域白色和半透明微塑料数量居多,且其他深颜色微塑料经长期

暴露于环境后颜色会逐渐变淡,这将增加海洋生物因食物偏好性摄入浅色微塑料的机会,进而影响其生命健康。

3 结论

(1)微塑料在琼州海峡南部海域表层水体中广泛存在,平均丰度为 (0.45 ± 0.65) 个/ m^3 ,最高丰度出现在海口湾西南部和琼州海峡东部海域。主要成分为聚丙烯(39.0%)、聚苯乙烯(31.9%)和聚乙烯(23.0%)。

(2)南渡江入海口附近的微塑料丰度较低,说明调查期间经该河流进入琼州海峡的微塑料较少,其可能并非该海域微塑料的主要来源。

(3)渔业养殖区 PS 微塑料较多,在后续研究中需要关注渔业养殖渔具可能产生的微塑料。

(4)在后续研究中,需要拓展调查区域,加强不同水层、不同介质中微塑料分布特征调查,进一步明确海洋微塑料的具体来源、输移及归趋,为环保机构制定塑料污染防治政策提供参考,为海洋微塑料污染对海洋生态系统的影响评估奠定基础。

参考文献:

- [1] 鞠茂伟,党超,张微微,等.海洋微塑料无处不在[J].世界环境,2020(2): 24-27.
- [2] GEYER R, JAMBECK J R, LAW K L. Production, use, and fate of all plastics ever made[J]. Science Advances, 2017, 3(7): e1700782.
- [3] OGATA Y, TAKADA H, MIZUKAWA K, et al. International Pellet Watch: global monitoring of persistent organic pollutants (POPs) in coastal waters. 1. Initial phase data on PCBs, DDTs, and HCHs[J]. Marine Pollution Bulletin, 2009, 58(10): 1437-1446.
- [4] MATOS D M, RAMOS J A, BRANDÃO A L C, et al. Microplastics ingestion and endocrine disrupting chemicals (EDCs) by breeding seabirds in the east tropical Atlantic: associations with trophic and foraging proxies ($\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$)[J]. Science of the Total Environment, 2024, 912: 168664.
- [5] HUANG L, LI Q P, LI H, et al. Microplastic pollution and regulating factors in the surface sediment of the Xuande Atolls in the South China Sea[J]. Marine Pollution Bulletin, 2023, 196: 115562.
- [6] ZHANG S F, ZHANG W W, JU M W, et al. Distribution characteristics of microplastics in surface and subsurface Antarctic

- seawater[J]. *Science of the Total Environment*, 2022, 838: 156051.
- [7] ZHANG W W, ZHANG S F, WANG J Y, et al. Microplastic pollution in the surface waters of the Bohai Sea, China[J]. *Environmental Pollution*, 2017, 231: 541-548.
- [8] ZHANG W W, ZHANG S F, QU L, et al. Seasonal distribution of microplastics in the surface waters of the Yellow Sea, China[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2023, 193: 115051.
- [9] 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.
- [10] 黄磊, 李芊, 徐向荣, 等. 西沙群岛海域表层海水中微塑料的组成与分布特征[J]. *科学通报*, 2020, 65(24): 2627-2635.
- [11] WU P F, FAN Y C, ZHANG X X, et al. Seasonal dynamics, tidal influences, and anthropogenic impacts on microplastic distribution in the Yangtze River estuary: a comprehensive characterization and comparative analysis[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2024, 476: 135167.
- [12] MAI L, YOU S N, HE H, et al. Riverine microplastic pollution in the pearl River Delta, China: are modeled estimates accurate?[J]. *Environmental Science & Technology*, 2019, 53(20): 11810-11817.
- [13] YE Y H, ZHANG A G, TENG J, et al. Pollution characteristics and ecological risk of microplastic in sediments of Liaodong Bay from the northern Bohai Sea in China[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2023, 187: 114505.
- [14] 曲玲, 张微微, 王旭, 等. 锦州湾表层海水微塑料分布特征[J]. *海洋学报*, 2021, 43(2): 98-104.
- [15] 李征, 高春梅, 杨金龙, 等. 连云港海州湾海域表层水体和沉积物中微塑料的分布特征[J]. *环境科学*, 2020, 41(7): 3212-3221.
- [16] 龙邹霞. 厦门湾海洋塑料垃圾和微塑料时空分布及对人类活动响应研究[D]. 武汉: 中国地质大学, 2019.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 张晓昱, 张梦亦, 魏爱泓, 等. 江苏省近岸海域表层海水微塑料的组成与赋存特征[J]. *环境监控与预警*, 2021, 13(2): 9-13.
- [20] ALIABAD M K, NASSIRI M, KOR K. Microplastics in the surface seawaters of Chabahar Bay, Gulf of Oman (Makran Coasts)[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2019, 143: 125-133.
- [21] MU J L, ZHANG S F, QU L, et al. Microplastics abundance and characteristics in surface waters from the Northwest Pacific, the Bering Sea, and the Chukchi Sea[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2019, 143: 58-65.
- [22] DAVIS III W, MURPHY A G. Plastic in surface waters of the Inside Passage and beaches of the Salish Sea in Washington State[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2015, 97(1/2): 169-177.
- [23] 侍茂崇. 北部湾环流研究述评[J]. *广西科学*, 2014, 21(4): 313-324.
- [24] SHI M C, CHEN C S, XU Q C, et al. The role of Qiongzhou strait in the seasonal variation of the South China Sea circulation[J]. *Journal of Physical Oceanography*, 2002, 32(1): 103-121.
- [25] 陈波, 侍茂崇. 北部湾海洋环流研究进展[J]. *广西科学*, 2019, 26(6): 595-603.
- [26] 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.
- [27] ZHANG W W, MA X D, ZHANG Z F, et al. Persistent organic pollutants carried on plastic resin pellets from two beaches in China[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2015, 99(1/2): 28-34.
- [28] BOERGER C M, LATTIN G L, MOORE S L, et al. Plastic ingestion by planktivorous fishes in the North Pacific Central Gyre[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2010, 60(12): 2275-2278.
- [29] BUGONI L, KRAUSE L, PETRY M V. Marine debris and human impacts on sea turtles in Southern Brazil[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2001, 42(12): 1330-1334.

(本文编辑: 胡莹莹)