

大连傅家庄海滩垃圾与微塑料污染分布特征

王词稼¹, 褚晓婷¹, 曲玲¹, 霍城¹, 杨海明²,
鞠茂伟¹, 冷喆³, 张守锋¹

(1.国家海洋环境监测中心 海洋垃圾与微塑料研究中心, 辽宁 大连 116023; 2.辽宁科技大学 化学工程学院 环境工程系, 辽宁 鞍山 114051; 3.湖北省生态环境厅 襄阳生态环境监测中心, 湖北 襄阳 441000)

摘要: 本文调查了大连傅家庄海滩垃圾与微塑料分布情况, 分析了海滩垃圾和微塑料的丰度及组成。结果表明, 大连傅家庄公园海滩垃圾 (尺寸 ≥ 2.5 cm) 平均数量密度为 485006 个/ km^2 , 平均质量密度为 754 kg/km^2 , 与国际同类调查相比处于中低水平。垃圾材料类型主要为塑料类, 占比 80.3%。傅家庄海滩的清洁海岸指数 (CCI) 为 9.60, 属于中等清洁水平。傅家庄公园海滩微塑料平均丰度为 91.06 个/ kg (干重), 在全球同类调查结果中处于中低水平。微塑料成分主要为聚丙烯 (39.16%), 形态以纤维状为主 (64.34%), 尺寸主要集中在小于 2 mm 范围 (78.86%)。傅家庄海滩为旅游娱乐景区, 推测公众娱乐活动产生的垃圾是该海滩塑料垃圾的重要来源。

关键词: 傅家庄海滩; 海滩垃圾; 微塑料; 分布特征

中图分类号: X502

文献标识码: A

文章编号: 1007-6336(2025)04-0563-10

Distribution characteristics of litter and microplastic pollution in Fujiazhuang Beach, Dalian

WANG Cijia¹, CHU Xiaoting¹, QU Ling¹, HUO Cheng¹, YANG Haiming²,
JU Maowei¹, LENG Zhe³, ZHANG Shoufeng¹

(1. Marine Litter and Microplastics Research Center, National Marine Environmental Monitoring Center, Dalian 116023, China; 2. Department of Environmental Engineering, College of Chemical Engineering, University of Science and Technology Liaoning, Anshan 114051, China; 3. Department of Ecology and Environment of Hubei Province, Xiangyang ecological environment monitoring Center, Xiangyang 441000, China)

Abstract: This study investigated the distribution of litter and microplastics at Fujiazhuang Beach in Dalian, analyzing their density and types. The results show that the average quantity density of litter (size ≥ 2.5 cm) on Fujiazhuang Beach in Dalian is 485006 items/ km^2 , with an average weight density of 754 kg/km^2 , which is at a medium-low level compared to similar international surveys. The main types of beach litter are plastic, accounting for 80.3%. The Clean Coast Index (CCI) of Fujiazhuang Beach is 9.60, indicating a moderate level of cleanliness. The average density of microplastics in Fujiazhuang Beach is 91.06 items/ kg (dry weight), which falls within the intermediate to lower range compared to similar surveys conducted worldwide. The microplastics are mainly composed of polypropylene (39.16%), with fibers being the predominant shape (64.34%). The size is mainly concentrated in the range of less than 2 mm (78.86%). As Fujiazhuang Beach is a popular tourist and recreational area, it is speculated that litter from public recreational activities is a significant

收稿日期: 2024-09-03, 修订日期: 2025-01-17

基金项目: 国家重点研发计划青年科学家项目 (2022YFC3105900)

作者简介: 王词稼 (1996—), 女, 辽宁大连人, 硕士, 主要研究方向为海洋垃圾与微塑料监测评价, E-mail: 15042452831@163.com

通信作者: 张守锋 (1987—), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向为海洋环境监测与评价, E-mail: shoufengzhang@nmemc.org.cn

source of plastic waste on this beach.

Key words: Fujiazhuang beach; beach litter; microplastics; distribution characteristics

近年,海洋垃圾问题引起了国内外的广泛关注,尤其是海洋垃圾中的塑料垃圾污染,已成为全球性的重大环境问题。随着工业化进程的加快,塑料制品因其方便价廉、质轻、可塑性强等特性,被广泛应用于各行各业。在过去的半个世纪里,全球塑料产量急剧增长,从20世纪50年代的150万吨增长到2022年的4.003亿吨^[1],从生活日用品到电子产品,从商品包装到服装,甚至到建材材料,塑料应用无处不在。据统计,2019年产生的3.53亿吨塑料垃圾中,仅9%被回收利用,约有22%进入自然环境中^[2]。垃圾汇聚到海洋环境中不仅会引发视觉污染,影响滨海景观,还会对海洋生态、渔业生产、船舶航行造成不利影响,严重影响海洋生态系统的稳定。据2022年中国海洋生态环境状况公报统计,我国海洋垃圾中,塑料垃圾占比达80%以上^[3],其中大部分海洋塑料垃圾来源于陆地环境。

海洋环境中的大尺寸塑料在光照、潮汐冲刷等作用下容易发生脆化和降解,形成粒径小于5 mm的微塑料^[4]。与大尺寸塑料相比,微塑料在环境中分布更广、数量更多、更易被海洋生物摄食,对海洋生态系统造成不利影响^[5]。最新研究表明,全球每年进入陆地环境的微塑料可达1000万吨~4000万吨,有80万吨~300万吨微塑料进入海洋环境^[6],在风和洋流等作用下,微塑料可在全球范围内进行跨界输移。

海滩的清洁情况一直是人们关注的重点问题。海滩处于海陆交汇地带,不但有来自人们休闲娱乐等陆源活动产生的垃圾,海面漂浮的垃圾也会在潮汐、波浪、海流等作用下在海滩上汇集。海滩上的塑料垃圾与微塑料之间具有一定相关性,Soeun Eo等推测风化作用是海滩上大块塑料破碎产生微塑料的主要原因之一^[7]。世界各地的海滩沉积物均有微塑料的检出,海滩上的微塑料可以在外力作用下向近海以及大洋中迁移,因此开展海滩垃圾与微塑料的分布特征研究是评估海洋塑料污染的重要内容之一。

本文选取大连傅家庄海滩作为研究对象,进

行海滩垃圾与微塑料调查,初步掌握了傅家庄海滩垃圾与微塑料污染状况及分布特征,评估了海滩清洁指数情况,探究塑料垃圾与微塑料之间的相互关系,研究结果可为评估海滩塑料垃圾污染来源及海滩垃圾污染防治提供支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区域

傅家庄海滩(121°37.4215'E, 38°51.8874'N)位于辽宁省大连市傅家庄海滨风景区中部,海岸线东西走向,海滩全长450 m,平均宽度32 m,坡度8.9%,沙滩总面积2.57万平方米,以细沙和砾石为主。傅家庄海滩所在的海滨浴场是大连市内最受欢迎海水浴场之一,客流量较大,易产生垃圾。

1.2 样品采集

本研究团队于2022年4月13日对傅家庄海滩垃圾(尺寸 ≥ 2.5 cm)和微塑料(0.1 mm<尺寸 < 5 mm)进行样品采集,所有采样工作均在低潮期3小时内完成,监测点位如图1所示。

傅家庄海滩岸线全长450 m,随机选取海滩右侧区域布设1个100 m监测断面,在监测断面内设置4条垂直于浸水边际线的样带,样带长度为人工屏障处和低潮时浸水边际线之间的距离,分别为D1样带(65 m)、D2样带(63 m)、D3样带(60 m)、D4样带(42 m),宽度均为5 m。采集样带内尺寸 ≥ 2.5 cm的垃圾,置于样品袋中常温保存。

在靠近浸水边际线处、平均高潮线处、特大高潮线处或靠近天然或人工屏障处随机设置 0.25 m $\times$ 0.25 m采样样方进行海滩沉积物微塑料样品的采集,人工屏障处采样点位为W1、W2,浸水边际线采样点位为W3、W4,平均高潮线采样点位为W5(图1)。将 0.25 m $\times$ 0.25 m不锈钢样框压入表层沉积物5 cm处,用不锈钢铲采集表层5 cm的海滩沉积物,清除表层较大的石块,每个采样点采集不少于600 g沉积物,将沉积物置于金属容器中。当采集样品时,将金属容器置

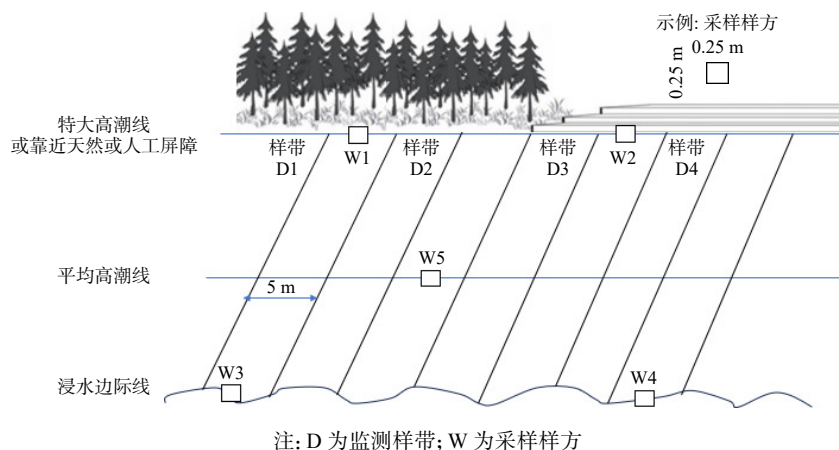


图1 海滩垃圾监测断面和微塑料采样点位分布

Fig. 1 Distribution diagram of beach litter monitoring section and microplastic sampling site

于样方旁,同步进行沉积物现场空白样品的采集,并与样品在相同的条件下进行包装、贮存和运输。

1.3 样品分离和鉴定

在实验室内去除海滩垃圾的表面污垢,室温条件下自然晾干。晾干后对海滩垃圾进行分类、尺寸测量、称重并记录。

在洁净实验室内,将海滩沉积物样品混匀,称取 300 g 沉积物样品置于 500 mL 烧杯中,加入 1.8 g/mL 碘化钠(NaI)溶液至 500 mL,充分搅动,并静置至溶液澄清,收集上清液,重复上述操作 5 次。将上清液通过孔径为 0.1 mm 的不锈钢筛网,用纯水冲洗后转移至干净的 500 mL 烧杯中,用铝箔覆盖杯口于 60 ℃ 烘至近干。向样品中依次加入 20 mL 浓度为 0.05 mol/L 的二价铁(Fe^{2+})溶液和 20 mL 30% 过氧化氢(H_2O_2)溶液,常温放置,至消解完全。用玻璃过滤器进行过滤,滤膜于 60 ℃ 烘干至恒重。

用体视显微镜(LEICA S9D, Germany)观察滤膜上微塑料样品,记录其形态、尺寸和颜色,使用傅立叶变换红外光谱仪(Nicolet iN10, Thermo Fisher, USA)鉴定其聚合物类型。

1.4 数据处理

实验数据使用 Microsoft Office 2010 进行处理和统计分析,使用 OriginLab 2019b 绘制图表。

通过清洁海岸指数(clean-coast Index, CCI)^[8]对海滩清洁度进行评估,计算公式为:

$$CCI = K \times CM \quad (1)$$

式中: K 为 20; CM 为每平方米海滩垃圾的密度。

根据 CCI 的数值划分海滩清洁度等级, 0~2 表示很干净, 2~5 表示干净, 5~10 表示中等清洁, 10~20 表示脏, >20 表示极脏。

1.5 微塑料回收率实验

向 6 个经 650 ℃ 灼烧 4 h 的干净海滩沉积物样品中,分别添加尺寸为 1 mm 的白色聚苯乙烯(PS)微珠和尺寸范围在 1~3 mm 的半透明聚丙烯(PP)碎片标准物各 10 个,标准样品分别记为 K1、K2、K3、K4、K5、K6,对 K1~K6 进行加标回收实验,结果显示, K1~K6 样品的微塑料标准物回收率为 85%~100%,平均回收率为 94.17% (表 1)。

表 1 样品加标测试结果

Tab.1 The test results of spiked samples

样品编号	微塑料标准物	微塑料标准物数量/个	微塑料标准物回收数量/个	回收率/(%)	平均回收率/(%)
K1	PS微珠、PP碎片	20	19	95	94.17
K2	PS微珠、PP碎片	20	19	95	
K3	PS微珠、PP碎片	20	20	100	
K4	PS微珠、PP碎片	20	20	100	
K5	PS微珠、PP碎片	20	18	90	
K6	PS微珠、PP碎片	20	17	85	

1.6 质控措施

为保障调查质量,现场微塑料采样时监测人员避免使用塑料器具、穿戴含合成纤维材质的衣物等,以免污染样品。不同监测样带的采样应遵循相同的操作步骤,确保样品结果具有可比性。现场空白样品采集量为采集样品总量的10%,每日最少采集1个现场空白样品。

海滩垃圾实验室处理时,应在不破坏样品的前提下尽量去除其表面的砂砾、海藻等附着物,经干燥后进行称量。微塑料室内分析人员要求身穿棉质实验服,在洁净的实验室环境下进行微塑料检测,实验所用的所有溶液都经0.7 μm的微孔滤膜过滤。实验使用的玻璃器皿均经纯水清洗,在使用前应用铝箔纸包裹,防止空气中的微塑料污染。设置3个实验室空白样品。空白样品检测结果显示,仅有一个现场环境空白样品

中检出1个黑色纤维状的聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)微塑料,在每个点位的样品中等量扣除同类微塑料。

2 结果与讨论

2.1 海滩垃圾分布特征及清洁情况

傅家庄海滩共收集垃圾样品524个,总质量为0.86 kg,平均数量密度为485006个/km²,平均质量密度为754 kg/km²(表2)。本研究中,傅家庄海滩垃圾平均数量密度与巴西巴伊亚州部分海滩^[9]基本相平,远低于索马里海岸摩加迪沙利多海滩^[10]、意大利撒丁岛北部卡拉迪庞泽西海滩^[11]、哥斯达黎加尼科亚湾海滩^[12]和加拿大格陵兰海滩^[13],略高于日本冲绳岛周围海滩^[14],在国外同类研究中处于中低水平(表3)。

表 2 傅家庄海滩垃圾统计
Tab.2 Statistical results of Fujiazhuang beach litter

样带	样带长度/m	样带面积/km ²	垃圾数量/个	垃圾密度/个·km ⁻²	垃圾质量/kg	质量密度/kg·km ⁻²
D1	65	3.25×10 ⁻⁴	120	369231	0.11	328
D2	63	3.15×10 ⁻⁴	154	488889	0.40	1259
D3	60	3×10 ⁻⁴	76	253333	0.19	626
D4	42	2.1×10 ⁻⁴	174	828571	0.17	804
平均值	—	—	—	485006	—	754

表 3 傅家庄海滩垃圾与国际调查结果对比
Tab.3 Comparison between the results of Fujiazhuang Beach litter and international survey results

调查区域	海滩垃圾丰度/个·km ⁻²	塑料垃圾占比/(%)	CCI	参考文献
索马里海岸摩加迪沙利多海滩	6.25×10 ⁶	89.5	124.97	[10]
意大利撒丁岛北部卡拉迪庞泽西海滩	2.82×10 ⁶	97.0	56	[11]
哥斯达黎加尼科亚湾海滩	1.5×10 ⁶	93.7	30	[12]
加拿大格陵兰海滩	1.4×10 ⁶	73.0	28.0	[13]
印度东南阿拉伯海沿岸托塔帕利海滩	9.6×10 ⁵	77.6	19.2	[15]
葡萄牙丰沙尔海滩(马德拉岛)	2.9×10 ⁵	61.6	1.22 ~ 17.23	[16]
巴西巴伊亚州海滩	2×10 ⁵ ~ 8×10 ⁵	52.0 ~ 94.0	4 ~ 16	[9]
日本冲绳岛周围海滩	5000 ~ 3.8×10 ⁵	81.7	0.1 ~ 7.6	[14]
摩洛哥地中海海滩	54000±36000	83.3	0.93±0.71	[17]
西班牙加的斯海滩	64000	82.0	1.28	[18]
大连傅家庄沙滩	485006	80.3	9.60	本研究

傅家庄海滩垃圾包括塑料类、橡胶类、玻璃类、金属类、织物(布)类、木制品类、纸制品类和其他人造物品及无法辨识的材料。其中塑料

类垃圾最多,占比可达80.3%。每条样带的塑料垃圾占比均超过75%,D4样带塑料垃圾占比最高,为86.8%(图2)。这与国际上多数学者研

究结论基本一致,如索马里海岸摩加迪沙利多海滩塑料类垃圾数量约占 89.47%^[10],哥斯达黎加尼科亚湾周围海滩塑料类垃圾数量约占 93.7%^[12]。

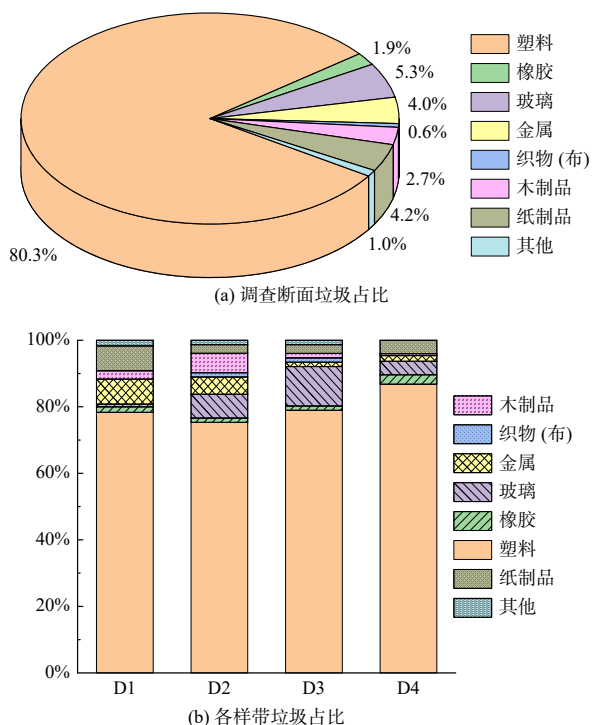


图2 傅家庄海滩垃圾类型分布情况

Fig. 2 The distribution of litter types on Fujiazhuang Beach: (a) The proportion of litter in the survey section; (b) The proportion of litter in different transects

傅家庄海滩的塑料垃圾以香烟过滤嘴为主,占比高达 55.82%。其次为包装袋碎片和渔线渔网等塑料渔具,占比分别为 14.73% 和 12.11% (图 3)。香烟过滤嘴污染严重的情况在多个研究中均有提及,如在摩洛哥地中海海滩^[17]、西班牙加的斯海滩^[18]上均发现了大量的香烟过滤嘴。海滩管理者应积极采取干预措施减少海滩香烟过滤嘴等垃圾,如加强公众教育和宣传活动的力度,以提高海滩游客的环保意识;合理增加香烟过滤嘴收纳设施,改善游客随意丢弃香烟过滤嘴等垃圾的不文明行为。

为评估海滩清洁情况,参考清洁海岸指数 (Clean-coast Index, CCI)^[8] 评价方法,进行傅家庄海滩清洁度评估。结果显示,傅家庄海滩的

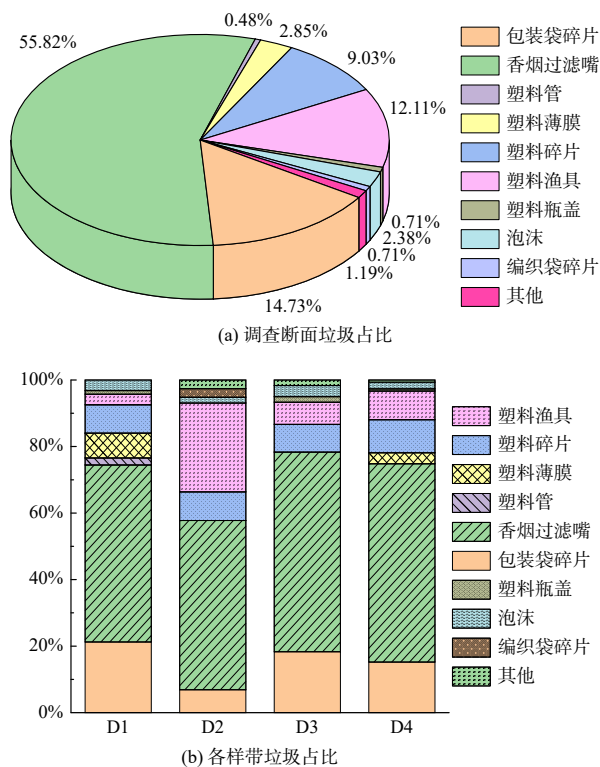


图3 傅家庄海滩塑料垃圾类型分布情况

Fig. 3 The distribution of plastic litter types on Fujiazhuang Beach: (a) The proportion of litter in the survey section; (b) The proportion of litter in different transects

CCI 指数为 9.60, 属中等清洁水平。该指数与葡萄牙丰沙尔海滩(马德拉岛)^[16] 和巴西巴伊亚州部分海滩^[9] 持平, 远低于索马里海岸摩加迪沙利多海滩^[10]、意大利撒丁岛北部卡拉迪庞泽西海滩^[11]、哥斯达黎加尼科亚湾海滩^[12]、加拿大格陵兰海滩^[13], 略高于日本冲绳岛周围部分海滩^[14], 清洁状况在国外同类研究中处于中等水平(表 3)。

2.2 海滩微塑料的丰度及分布特性

2.2.1 海滩微塑料丰度

傅家庄海滩共计检测到微塑料 143 个, 平均丰度为 91.06 个/kg(干重), 其中人工屏障处点位 W1、W2 的微塑料平均丰度为 175.18 个/kg(干重), 浸水边际线处点位 W3、W4 的微塑料平均数量丰度为 43.49 个/kg(干重), 平均高潮线处 W5 的微塑料数量丰度为 17.97 个/kg(干重) (表 4)。平均高潮线处采集到的样品中砾石较多, 砾石间缝隙较大, 经海水冲刷后, 微塑料难以存留, 可能会向上下两侧岸滩迁移、聚集。

表 4 傅家庄海滩微塑料统计

Tab.4 Statistical results of Fujiazhuang beach microplastics			
点位	微塑料数量/个	丰度/个·kg ⁻¹	平均丰度/个·kg ⁻¹
W1	51	174.23	175.18
W2	52	176.13	
W3	18	63.09	43.49
W4	7	23.90	
W5	15	17.97	—

表 5 傅家庄海滩微塑料与国内外调查结果对比

Tab.5 Comparison of microplastic in Fujiazhuang Beach with survey results form home and abroad				
调查区域	微塑料丰度/个·kg ⁻¹	微塑料主要成分	微塑料主要形态	参考文献
德国海滩	3800 ~ 49600	PE	颗粒、纤维	[19]
象山港沿岸	1739	PE泡沫、PE渔网	泡沫	[20]
欧洲海滩	72 ~ 1512	PET、PE、PP	纤维	[21]
加勒比海沿岸	261	/	纤维	[22]
渤海沿岸	102.9 ~ 163.3	PEVA、LDPE、PS	碎片、薄片	[25]
比利时	49 ~ 156	尼龙、PVAC、PP	纤维	[26]
西沙偏远海岛	100.82	PS、PE、PP	泡沫、碎片、纤维	[24]
墨西哥巴亚尔塔港海滩	20 ~ 49.2	PE、PS	纤维、碎片	[23]
大连傅家庄沙滩	91.06	PP、PET、PE	纤维	本研究

2.2.2 海滩微塑料尺寸分布

将微塑料样品尺寸按 0 ~ 1 mm、1 ~ 2 mm、2 ~ 3 mm、3 ~ 4 mm 和 4 ~ 5 mm 分级统计,其占比分别为 44.06%、34.26%、15.38%、3.50% 和 2.80%(图 4a)。微塑料尺寸越小数量越多,数量与尺寸总体呈负相关关系。傅家庄海滩作为旅游景点,会定期对海滩垃圾进行清理,但垃圾尺寸越小,清理难度越大,更易遗留在海滩,这可能是小粒径微塑料较多的原因之一。此外,海滩中遗留的塑料垃圾也会在紫外光照、潮汐冲刷等外力作用下发生脆化,进一步降解成尺寸更小的微塑料。分析发现,人工屏障处(W1、W2)小粒径微塑料(0 ~ 1 mm)占比高于浸水边际线处(W3、W4)和平均高潮线处(W5)同尺寸范围微塑料占比(图 4b)。这与人工屏障处塑料暴露在日光照时间更长、更易破碎的特性相符合。

2.2.3 海滩微塑料形态分布

傅家庄海滩微塑料的形态可分为纤维、颗粒、片、薄膜和泡沫。其中纤维占比最高,为 64.34%,其次为片、颗粒和泡沫,占比分别为 26.57%、6.29% 和 2.10%,薄膜占比最少,仅为 0.70%(图 5a)。纤维状微塑料可能来源于服装纤

通过与其他地区的海滩微塑料密度比较发现,本研究区域的微塑料污染水平远低于德国海滩^[19]、象山港沿岸^[20]、欧洲海滩^[21]和加勒比海沿岸^[22],高于墨西哥巴亚尔塔港海滩^[23],基本与西沙偏远海岛^[24]、渤海部分沿岸^[25]及比利时^[26]持平,与国际同类调查相比处于中低水平(表 5)。

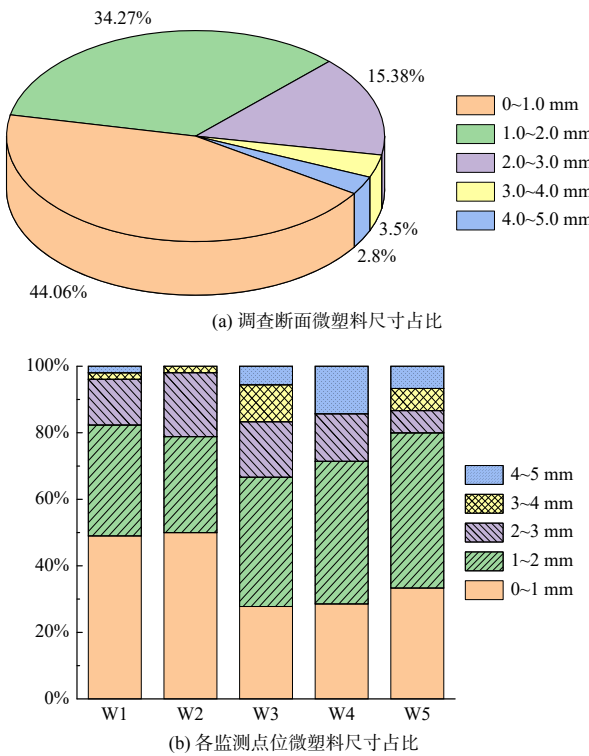


图 4 傅家庄海滩微塑料尺寸分布

Fig. 4 The size distribution of microplastics in Fujiazhuang Beach: (a) The proportion of microplastics in the survey section; (b) The proportion of microplastics in different sites

纤维的脱落, 以及塑料渔网和塑料绳的破碎分解等。片状和颗粒状微塑料可能直接来源于塑料废弃物的破碎分解。进一步分析发现, 人工屏障处、平均高潮线处和浸水边际线处均以纤维状微塑料为主, 其中浸水边际线处纤维状微塑料占比最高(图5b), 猜测该部分纤维状微塑料可能主要来自海上。Jiang 等对南黄海 16 个站位的表层水体进行微塑料检测发现, 其中的纤维约占 90%^[27], 证明表层海水中存在大量纤维状微塑料, 其在潮汐、风力等作用下搁浅、聚集于海滩, 这可能是导致傅家庄海滩浸水边际线处纤维状微塑料占比较高的原因。人工屏障处除大量纤维微塑料外, 还存在相当比例的片状微塑料, 其可能来源于傅家庄海滩大块塑料包装袋碎片(占比 14.73%)和塑料碎片(占比 9.03%)的破损。

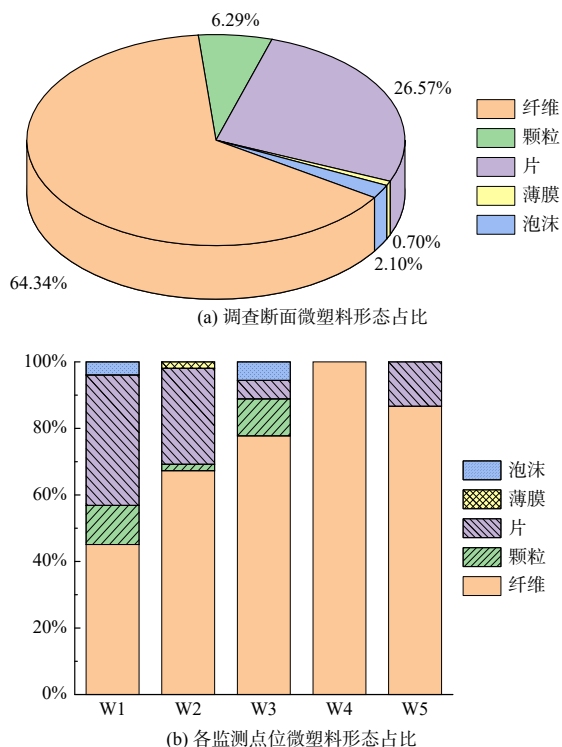


图5 傅家庄海滩微塑料形态分布情况

Fig. 5 The shape distribution of microplastics in Fujiazhuang Beach: (a) The proportion of microplastics in the survey section; (b) The proportion of microplastics in different sites

2.2.4 海滩微塑料颜色分布

傅家庄海滩微塑料的颜色可分为红、黄、

绿、蓝、紫、白、黑、灰、透明和半透明 10 类, 其中半透明占比最高, 为 22.38%, 其次分别为白色、透明、黑色、红色、蓝色、黄色、绿色、紫色和灰色, 占比分别为 21.68%、14.69%、13.29%、12.59%、9.09%、2.80%、2.10%、0.69% 和 0.69% (图6)。总体上, 傅家庄海滩微塑料以半透明、白色和透明的浅色系为主, 占比 58.75%, 浅色系塑料的光降解率和光氧化度更高, 更易在紫外线的作用下破碎成微塑料^[28]。有研究证实, 海龟等海洋生物偏好摄食白色、半透明等浅色系塑料^[29], 傅家庄海滩大量浅色微塑料可能会对当地生态系统产生不利影响。

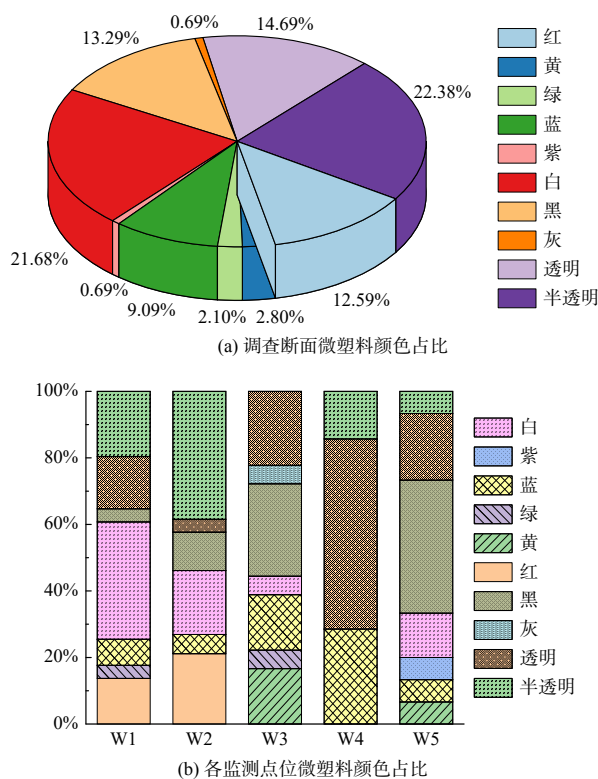


图6 傅家庄海滩微塑料颜色分布

Fig. 6 The color distribution of microplastics in Fujiazhuang Beach: (a) The proportion of microplastics in the survey section; (b) The proportion of microplastics in different sites

2.2.5 海滩微塑料成分分布特征

傅家庄海滩微塑料以 PP 为主, 占比为 39.16%, 其次为 PET 和 PE, 占比分别为 30.77% 和 22.38%, 其他不常见的聚合物成分仅占 7.69% (图7)。人工屏障处 (W1、W2) 微塑料以

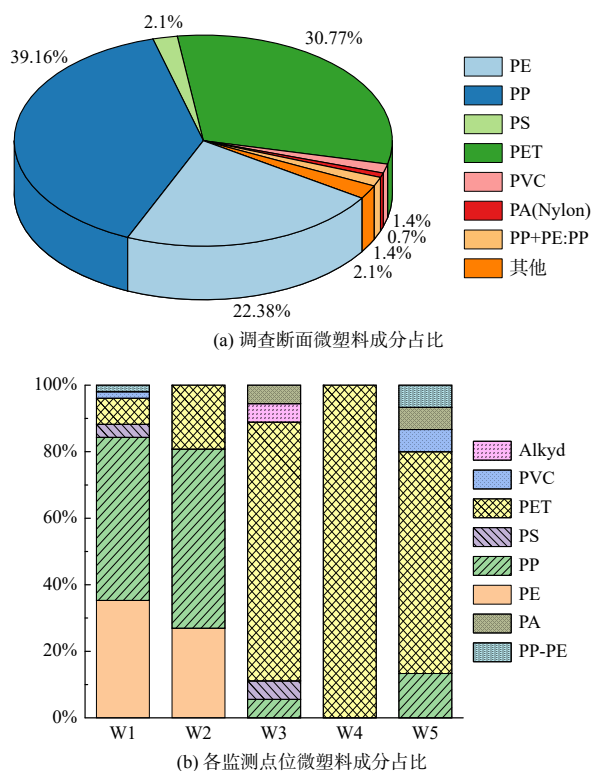


图7 傅家庄海滩微塑料成分分布情况

Fig. 7 The composition distribution of microplastics in Fujiiazhuang Beach: (a) The proportion of microplastics in the survey section; (b) The proportion of microplastics in different sites

PP、PE 为主, 浸水边际线处(W3、W4)和平均高潮线处(W5)主要为 PET(图7)。PE、PP 可作为

食品级塑料, 被广泛应用于食品包装, 例如塑料盒、食品外包装袋及保鲜膜等, 丝状的 PE、PP 还被制作成编织袋以及渔网渔线等渔具。海滩垃圾主要分布于人工屏障处, 且以包装类、渔具和塑料碎片为主, PE、PP 塑料长时间暴露在日光照射下, 更易破碎成微塑料, 这可能是人工屏障处 PP、PE 微塑料的主要潜在来源。片状 PET 主要用于制成一次性塑料瓶, 丝状 PET 主要应用于纺织品制作领域, 可被制成各类衣物及渔网绳索等, 由此推断浸水边际线处和平均高潮线处大量纤维状 PET 微塑料可能来源于游客戏水游玩过程中衣物纤维的脱落以及渔网绳索的分解。由以上结果可知, 日常生活、旅游业和渔业等人为活动可能是影响傅家庄海滩沉积物中微塑料赋存特征的主要因素。

2.3 海滩塑料垃圾和微塑料的相关性分析

本研究通过对微塑料和大块塑料垃圾物理化学特征进行分析, 发现两者之间具有一定的相关性。对收集到的不同尺寸塑料垃圾及微塑料样品形态进行对比发现, 微塑料样品中, 大部分纤维呈半透明状, 与>2.5 cm 的塑料渔线垃圾样品特征相似(图8); 片状微塑料颜色以半透明和透明为主, 与大部分塑料包装形态一致(图8)。根据聚合物成分分析结果可以判定海滩微塑料以 PP、PET 和 PE 为主, 与塑料垃圾成分分布特

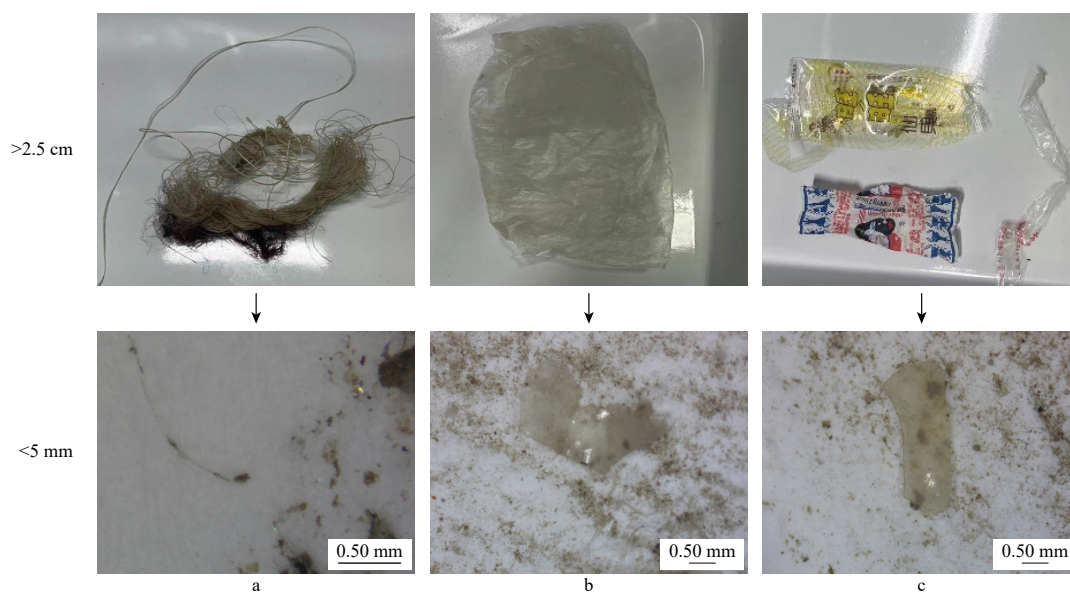


图8 典型塑料垃圾与微塑料 (a: 渔线; b: 塑料薄膜; c: 食品包装袋碎片)

Fig. 8 Typical plastic litter and microplastics: (a) fishing line; (b) plastic film; (c) pieces of packaging bags

征一致,可以推测部分微塑料为同一类型的塑料垃圾经环境风化在海滩破裂而成。采样时发现人工屏障处的食品包装类垃圾更为聚集,且检测结果显示此处微塑料丰度更高,成分以PP、PE为主,进一步证明了人工屏障处的微塑料可能来源于大块塑料垃圾的分解破碎。

3 结论

(1)大连傅家庄公园海滩垃圾(≥ 2.5 cm)的平均数量密度(485006个/ km^2)在全球处于中低水平,海滩清洁状况是中等清洁水平。垃圾主要类型为塑料类,其中香烟过滤嘴、塑料包装袋及渔具渔线数量最多,主要潜在来源为人们的生活、海上养殖及游客产生的弃置物,建议规范海上渔业养殖,实施更加强有力的垃圾管理控制措施,加强海滩日常巡护和监管,改善香烟过滤嘴收集处置,引导游客积极参与海滩环境治理,提升海洋保护意识,努力营造更为清洁的海滩环境。

(2)傅家庄公园海滩的微塑料数量丰度[91.06个/kg(干重)]与其他同类海滩微塑料数据相比处于中低水平。其中,人工屏障处的微塑料丰度最高[175.18个/kg(干重)],以纤维状和片状微塑料为主,主要成分为PP、PET和PE,与大块塑料垃圾分布特征相同,推测其来源可能为大块塑料垃圾在风力及紫外线等外界条件作用下分解破碎。减轻海滩微塑料污染应更注重大尺寸塑料垃圾的治理,建议从源头强化海滩塑料垃圾防控。

参考文献:

- [1] PLASTICS EUROPE. Plastics-the fast Facts[R/OL]. Plastics Europe, (2023)[2025.1.16]. <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-fast-facts-2023/>.
- [2] OECD. Global plastics outlook: Economic drivers, environmental impacts and policy options[M]. Paris: OECD Publishing, 2022.
- [3] 中华人民共和国生态环境部. 2022年中国海洋生态环境状况公报[R]. 北京: 中华人民共和国生态环境部, 2023: 14-15.
- [4] ARTHUR C, BAKER J E, BAMFORD H A. Proceedings of the international research workshop on the occurrence, effects, and fate of microplastic marine debris [R]. Tacoma: University of Washington Tacoma, 2008: 1-41.
- [5] ZHANG S P, SUNY C, LIU B B, et al. Full size microplastics in crab and fish collected from the mangrove wetland of Beibu Gulf: evidences from Raman Tweezers (1-20 μm) and spectroscopy (20-5000 μm)[J]. *Science of The Total Environment*, 2021, 759: 143504.
- [6] Earth Action. Leakage of microplastics into oceans and land[R/OL]. Earth Action, (2023)[2025.1.16]. <https://www.e-a-earth/primary-microplastics-into-the-oceans-and-the-land/>.
- [7] EO S, HONG S H, SONG Y K, et al. Abundance, composition, and distribution of microplastics larger than 20 μm in sand beaches of South Korea[J]. *Environmental Pollution*, 2018, 238: 894-902.
- [8] ALKALAY R, PASTERNAK G, ZASK A. Clean-coast index—a new approach for beach cleanliness assessment[J]. *Ocean & Coastal Management*, 2007, 50(5/6): 352-362.
- [9] IVAR DO SUL J A, SANTOS I R, FRIEDRICH A C, et al. Plastic pollution at a sea turtle conservation area in NE Brazil: contrasting developed and undeveloped beaches[J]. *Estuaries and Coasts*, 2011, 34(4): 814-823.
- [10] HASSAN H O, AYETA E G, IBRAHIM A A, et al. The first assessment of marine litter on somalian coast: The case of Lido Beach, mogadishu[J]. *Heliyon*, 2024, 10(4): e26593.
- [11] CORBAU C, LAZAROU A, GAZALE V, et al. What can beach litter tell about local management: A comparison of five pocket beaches of the North Sardinia island (Italy)[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2022, 174: 113170.
- [12] SIBAJA-CORDERO J A, GÓMEZ-RAMÍREZ E H. Marine litter on sandy beaches with different human uses and waste management along the Gulf of Nicoya, Costa Rica[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2022, 175: 113392.
- [13] MALLORY M L, BAAK J, GJERDRUM C, et al. Anthropogenic litter in marine waters and coastlines of Arctic Canada and West Greenland[J]. *Science of the Total Environment*, 2021, 783: 146971.
- [14] ILECHUKWU I, DAS R R, JAMODIONG E A, et al. Abundance and distribution of marine litter on the beaches of Okinawa Island, Japan[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2024, 200: 116036.
- [15] MUGILARASAN M, KARTHIK R, ROBIN R S, et al. Anthropogenic marine litter: An approach to environmental quality for India's southeastern Arabian Sea coast[J]. *Science of The Total Environment*, 2023, 866: 161363.
- [16] BETTENCOURT S, LUCAS C, COSTA S, et al. Monitoring marine litter on Funchal beaches (Madeira Island): insights for litter management[J]. *Regional Studies in Marine Science*, 2023, 63: 102991.
- [17] NACHITE D, MAZIANE F, ANFUSO G, et al. Spatial and temporal variations of litter at the Mediterranean beaches of Morocco mainly due to beach users[J]. *Ocean & Coastal Man-*

- agement, 2019, 179: 104846.
- [18] FERNÁNDEZ GARCÍA G, ASENSIO-MONTESINOS F, ANFUSO G, et al. Beach Litter Variability According to the Number of Visitors in Cádiz Beaches, SW Spain[J]. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2024, 12(2): 201.
- [19] LIEBEZEIT G, DUBAISH F. Microplastics in beaches of the East Frisian islands Spiekeroog and Kachelotplate[J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2012, 89(1): 213-217.
- [20] 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.
- [21] LOTS F A E, BEHRENS P, VIJVER M G, et al. A large-scale investigation of microplastic contamination: Abundance and characteristics of microplastics in European beach sediment[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2017, 123(1/2): 219-226.
- [22] BOSKER T, GUAITA L, BEHRENS P. Microplastic pollution on Caribbean beaches in the Lesser Antilles[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2018, 133: 442-447.
- [23] MEJÍA-ESTRELLA IA, PEÑA-MONTES C, PERALTA-PELÁEZ LA, et al. Microplastics in Sandy Beaches of Puerto Vallarta in the Pacific Coast of Mexico[J]. *Sustainability*, 2023, 15(21): 15259.
- [24] 方周, 谭飞, 杨红强, 等. 西沙海域甘泉岛和全富岛海滩上的塑料垃圾与微塑料分布特征[J]. *热带海洋学报*, 2021, 40(5): 123-133.
- [25] YU X B, PENG J P, WANG J D, et al. Occurrence of microplastics in the beach sand of the Chinese inner sea: the Bohai Sea[J]. *Environmental Pollution*, 2016, 214: 722-730.
- [26] CLAESSENS M, DE MEESTER S, VAN LANDUYT L, et al. Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2011, 62(10): 2199-2204.
- [27] JIANG Y, ZHAO Y N, WANG X, et al. Characterization of microplastics in the surface seawater of the South Yellow Sea as affected by season[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 724: 138375.
- [28] LI X, HUANG D F, DONG H R, et al. Differential photoaging behaviors of different colored commercial polyethylene microplastics in water: The important role of color characteristics[J]. *Science of The Total Environment*, 2024, 956: 177361.
- [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: 曲丽梅)