

杭州湾海洋垃圾污染的调查与分析

黄 备, 罗韩燕, 王婕妤, 陈风帆, 魏 娜,
王智慧, 孙 毅

(浙江省海洋生态环境监测中心, 浙江 舟山 316021)

摘 要: 海洋垃圾除了对海洋野生动物和生物多样性具有显著影响外, 还会造成严重的环境和经济问题。为了解和缓解海洋垃圾问题, 海洋垃圾调查是必要的。2023 年 4 月, 利用专业海洋环境调查船对杭州湾海域开展了海面漂浮垃圾和海底垃圾同步调查, 2022 年 7 月—10 月完成了杭州湾口 4 个断面的海滩垃圾调查。调查结果显示: 杭州湾海域大块、特大块海面漂浮垃圾的平均个数为 414 个/ km^2 , 中、小块海面漂浮垃圾为 8446 个/ km^2 , 海底垃圾为 10301 个/ km^2 ; 杭州湾中、小块海面漂浮垃圾的平均密度为 0.56 kg/km^2 , 海底垃圾为 70.22 kg/km^2 。杭州湾内各点位的海面漂浮垃圾个数和密度明显高于杭州湾外围点位; 杭州湾外围点位海底垃圾个数和密度明显高于湾内点位。塑料类垃圾是杭州湾海洋垃圾中数量最多的垃圾类型, 占总数的一半以上。杭州湾海面漂浮垃圾数量明显高于全国平均值, 密度却远低于全国平均值, 存在着“小块化、轻质化”特征。通过清洁海岸指数 (clean-coast index, CCI) 和塑料丰度指数 (plastic abundance index, PAI) 评估了调查海滩的清洁度和塑料垃圾污染程度, 结果显示, 4 个调查海滩均属于非常清洁等级, PAI 指数显示岱山县的九子沙滩和鹿栏晴沙属于塑料垃圾丰度非常低的等级, 而舟山市的朱家尖沙滩、嵊泗县的基湖沙滩属于塑料垃圾丰度低的等级。

关键词: 海面漂浮垃圾; 海底垃圾; 海滩垃圾; 杭州湾

中图分类号: X834

文献标识码: A

文章编号: 1007-6336(2024)05-0707-08

Investigation and analysis of marine litter pollution in Hangzhou Bay

HUANG Bei, LUO Hanyan, WANG Jieyu, CHEN Fengfan, WEI Na,
WANG Zhihui, SUN Yi

(Zhejiang Marine Ecology and Environment Monitoring Center, Zhoushan 316021, China)

Abstract: Besides having a significant impact on marine wildlife and biodiversity, marine litter can cause serious environmental and economic problems. To understand and alleviate marine litter problems, investigations on marine litter are essential. In April 2023, a simultaneous survey of floating litter and seabed litter was conducted in the waters of Hangzhou Bay using a professional marine environmental survey vessel, and during July to October 2022 a beach litter survey was conducted in four sections of the Hangzhou Bay. The results showed that the average abundance in the studied area was 414 items/ km^2 for large to extra large floating litter, 8446 items/ km^2 for medium-size floating litter, and 10301 items/ km^2 for seabed litter. On average, the floating litter in Hangzhou Bay recorded 0.56 kg/km^2 , and 70.22 kg/km^2 for seabed litter. The abundance and weight density of floating litter were higher in the inner part of Hangzhou Bay than those in the outer, while for seabed litter the result was reversed. Plastic debris was the most abundant type of marine litter in the area,

收稿日期: 2023-08-21, 修订日期: 2023-10-17

基金项目: 浙江省软科学研究项目 (2023C35049); 浙江省环境保护科研项目 (2019A001)

作者简介: 黄 备 (1969—), 男, 浙江舟山人, 正高级工程师, 主要研究方向为海洋环境监测与评价, E-mail: bighb@163.com

accounting for more than half of the total abundance. In comparison, the abundance of floating litter in Hangzhou Bay was significantly higher than the national average, but the weight density was lower than the national average, which suggested an overall feature of “small pieces and light weighted”. Assessment for beach cleanliness and degree of plastic debris pollution based on the CCI and PAI indices showed that the four surveyed beaches all reached level “very clean”, Jiuzi beach and Lulanqingsha beach in Daishan county were classified under the category of “very low abundance of plastic debris”, and Zhujiajian beach in Zhoushan city and Jihu beach in Shengsi county under the category of “low abundance of plastic debris” according to the PAI index respectively.

Key words: floating litter; seabed litter; beach litter; Hangzhou Bay

海洋垃圾,特别是海洋塑料污染,已成为 21 世纪一个紧迫的环境问题^[1]。自 20 世纪六七十年代以来,塑料产业快速发展,全球塑料生产量、消费量增长迅速。由于各个国家和地区尚未普遍建立起针对塑料废弃物的政策法规和出台相应的管控措施,所以塑料废弃物可能会通过各种途径进入河流、湖泊、海洋^[2]。数据显示,2016 年进入海洋的塑料有 1100 万吨^[3]。据报道,太平洋中的塑料垃圾存量已达浮游生物量的 36 倍^[4]。海洋垃圾数量庞大且难降解,在全球海洋中广泛分布,严重危害海洋生态环境。它们危害海洋生物安全,破坏海洋生态系统完整性^[5-6];海洋垃圾堆积会破坏景观,影响海洋经济^[7];还会缠绕船舶动力系统,对船舶航行安全造成威胁^[8]。海洋垃圾污染已成为与气候变化、生物多样性保护等并列的全球环境问题。虽然我国近岸海域环境质量整体有所改善,但仍处在污染排放和环境风险的高峰期^[9],我国局部沿海地区海洋垃圾污染问题仍然突出。近岸海域海洋垃圾在滨海旅游休闲娱乐区、农渔业区、港口航运区及邻近海域的污染相对严重,影响海洋生态环境质量和公众亲海体验,亟待在“十四五”期间进一步加强海洋垃圾污染防治监管工作,落实海洋生态环境保护任务部署,打好重点海域综合治理攻坚战,推进美丽海湾保护与建设^[10]。

通过海洋垃圾监测了解海洋垃圾现状,可以采取更好的措施保护海洋环境。原国家海洋局组织编制了《海洋垃圾监测技术指南》,自 2008 年起,全面开展海洋垃圾监测工作。同时,为了引起政府和公众的高度重视,原国家海洋局每年编制《中国海洋环境状况公报》,各海区及沿海各省市也结合实际,编写各自管辖区域的海洋环境

公报,将海洋垃圾监测及评价结果对社会进行公布^[11]。为了更好地监测、分析海洋垃圾的数量、类型及分布,国内外学者使用的监测分析评估方法也各有不同。除了常用的船舶调查和海滩监测方法,2015 年, Jambeck 等研发了一套海洋垃圾追踪移动应用程序,该程序可通过公民参与或科学项目参与的方式来收集全球标准化数据^[12];2010 年起, Kako 等用放置在日本后藤岛 Ookushi 海滩上的网络摄像头,建立了一个识别系统来对海滩垃圾进行连续监测^[13];2012 年, Kataoka 等使用悬挂在充满氦气的气球上的相机调查低纬度海滩和海上的垃圾^[14];2016 年, Ge 等开始使用最新的激光雷达(LIDAR)技术来监测海漂垃圾。Ge 等还基于 LIDAR 测量数据重建了海滩上不同类型垃圾的三维模型,从而可对海滩垃圾进行详细观察^[15]。

杭州湾,处于上海、杭州、宁波三大都市几何中心,也是沿海开放带、长江经济带、长江三角洲城市群的交汇点,代表未来中国东部发展新高度。该区域社会经济高度发达,人口密集,拥有数量庞大的港口、机场、桥梁以及密集的高铁、高速公路网络。杭州湾为东西走向的喇叭状河口湾,钱塘江、曹娥江等由此入海,受长江口水流与杭州湾潮流的共同影响,是世界著名的强潮海区,水动力复杂,泥沙运移剧烈,冲淤变化频繁^[16-17]。由于强烈的人类活动,杭州湾生态环境承受着巨大压力,多年来杭州湾生态环境不容乐观。杭州湾海域水体富营养化程度高,优良水质(一、二类)面积比例多年来一直处于全国近岸海域的末端,生境破碎,生物多样性下降^[18]。为了持续推进杭州湾综合治理攻坚战,聚焦海洋塑料污染问题,基本厘清杭州湾海洋垃圾污染状

况,本研究对杭州湾海洋垃圾污染现状开展专项调查,以期全面提升杭州湾区域海洋塑料污染治理水平,打好浙江省重点海域综合治理攻坚战提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区域

2023年4月上旬,搭载专业海洋环境调查船“中国环监浙001号”,对杭州湾及其附近海域海面漂浮垃圾和海底垃圾同步开展调查。设置海面漂浮垃圾监测点位10个(HZW1—HZW10),根据调查海域底质条件,在杭州湾内和湾外选择3个点位(HZW3、HZW4和HZW9)同步开展海底垃圾监测。在杭州湾湾口处设置4个海滩垃圾监测断面(C1—C4),于2022年7月—10月完成现场采样(图1)。

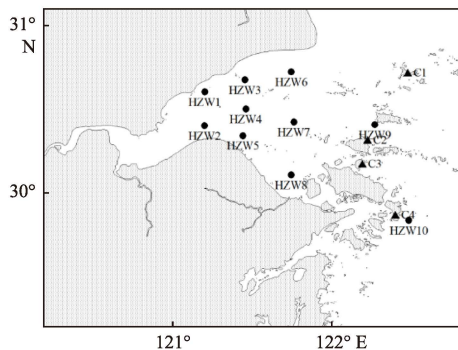


图1 杭州湾海洋垃圾调查点位

Fig. 1 Marine litter survey site map of Hangzhou Bay

1.2 采样及分析方法

根据《海洋垃圾监测与评价技术规程(试行)》^[19],开展海滩、海面漂浮和海底垃圾的采样,其中大块、特大块海面漂浮垃圾采用样带法采样,由两名以上观测者目测有效观测宽度内的海面漂浮垃圾;中、小块海面漂浮垃圾采用Manta网拖网调查采样,网口宽度为1.0 m,高度为0.5 m,网衣孔径为0.33 mm。船舶航速为3 kn,拖网时间为15 min,起网后,用纯水冲洗网衣3遍收集漂浮垃圾到玻璃瓶中。海底垃圾采用拖网式监测法采样,船舶航速为2 kn,拖网时间为15 min。海滩垃圾监测断面宽度为5 m,长度为从水面或岸滩的边缘垂直至平均高潮线处或植被覆盖区域,对采集的垃圾样品进行清洗、测

量、分类、计数并称重,具体方法参照文献[20]。根据《海洋垃圾监测与评价技术规程(试行)》^[19],将海滩垃圾按规格分为小块垃圾(尺寸<2.5 cm)、中块垃圾(尺寸≥2.5 cm且≤10 cm)、大块垃圾(尺寸>10 cm且≤1 m)和特大块垃圾(尺寸>1 m)。

1.3 海洋垃圾来源统计

海洋垃圾来源统计分析采用联合国环境署西北太平洋行动组织的统计方法^[21]。汇总全部监测数据,按人类海岸活动、航运/捕鱼活动、吸烟用品、医疗/卫生用品、其他弃置物等种类对收集到的垃圾进行来源统计分析(表1)。

表1 海洋垃圾来源分类
Tab.1 Classification of marine debris

垃圾来源	垃圾种类
人类海岸活动	塑料瓶、快餐盒、饮料罐、报纸、塑料袋等
吸烟用品	烟头、烟盒、打火机
航运/捕鱼活动	废弃渔网及碎片、鱼线、浮漂等
医疗/卫生用品	注射器、卫生巾、尿布等
其他弃置物	轮胎、荧光灯管、窗纱、电线、灯泡、玻璃片等

1.4 数据评价

利用清洁海岸指数(clean-coast index, CCI)评价调查海滩的清洁度^[22],计算公式为:

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

式中:CM为每平方米海洋垃圾的密度;K是等于20的常数^[23]。

通过塑料丰度指数(plastic abundance index, PAI)评价海滩中塑料垃圾的污染程度^[24],计算公式为:

$$PAI = \frac{\sum plastic\ litter / (\log_{10} \sum total\ litter\ items)}{Area} \times 20 \quad (2)$$

式中: $\sum plastic\ litter$ 为塑料垃圾数量; $\sum total\ litter\ items$ 是垃圾总数;Area为采样面积。

2 结果与讨论

2.1 海洋垃圾数量及分布

杭州湾海域大块、特大块海面漂浮垃圾的平均个数为414个/km²,数量范围为0~1362个/km²。杭州湾中、小块海面漂浮垃圾的平均个数为8446个/km²,数量范围为2613~14054个/km²。各点位数量分布不均匀,杭州湾湾内点位的海面

漂浮垃圾数量高于杭州湾外围点位(图2、图3)。杭州湾海底垃圾的平均个数为10301个/ km^2 ,数量范围为4597~19856个/ km^2 。杭州湾海底垃圾的分布特点与海面漂浮垃圾相反,杭州湾外围点位海底垃圾数量高于湾内点位(图4)。杭州湾中、小块海面漂浮垃圾的平均密度为0.56 kg/km^2 ,范围为0.01~3.20 kg/km^2 。杭州湾湾内点位中、小块海面漂浮垃圾的平均密度高于外围点位,北岸高于南岸(图5)。杭州湾海底垃圾的平均密度为70.22 kg/km^2 ,范围为0.29~189.23 kg/km^2 ,杭州湾外围点位海底垃圾平均密度高于湾内点位(图6)。

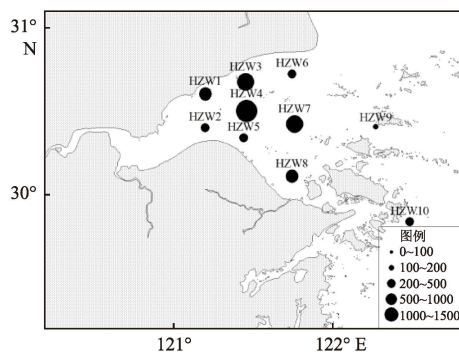


图2 杭州湾大块、特大块海面漂浮垃圾个数(个/ km^2)

Fig. 2 The abundance of large to extra large floating litter in Hangzhou Bay

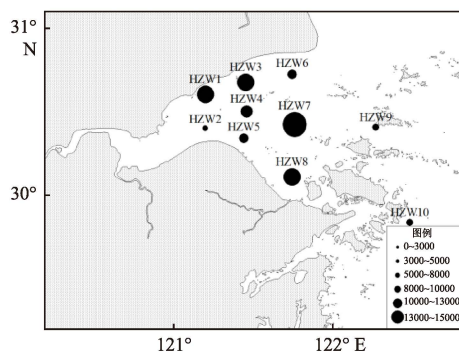


图3 杭州湾中、小块海面漂浮垃圾个数(个/ km^2)

Fig. 3 The abundance of medium-sized floating litter in Hangzhou Bay

杭州湾海洋垃圾的分布与水文动力密切相关,杭州湾是著名的强潮海湾,具有潮差大、流速强、含沙量高、水深较浅、冲淤幅度大、水流运动复杂等特点^[17]。海洋垃圾在杭州湾内随波逐流,漂浮于海面不易下沉,漂流至湾外开阔海

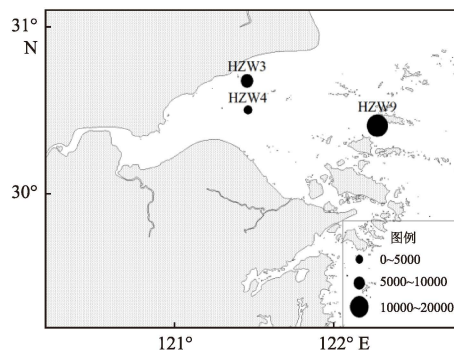


图4 杭州湾海底垃圾个数(个/ km^2)

Fig. 4 The abundance of seabed litter in Hangzhou Bay

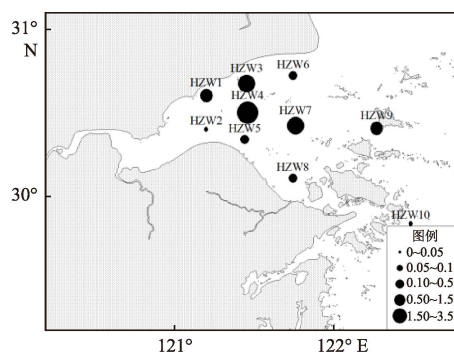


图5 杭州湾中、小块海面漂浮垃圾密度(kg/km^2)

Fig. 5 The weight density of floating litter in Hangzhou Bay

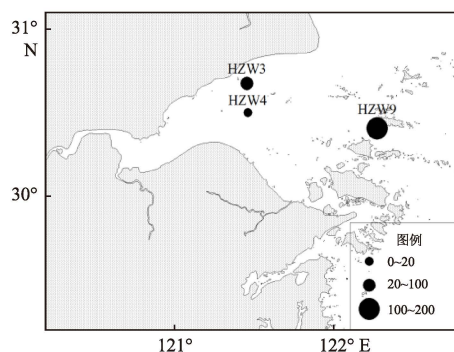


图6 杭州湾海底垃圾密度(kg/km^2)

Fig. 6 The weight density of seabed litter in Hangzhou Bay

域,由于流速减缓部分漂浮垃圾容易下沉,造成了杭州湾海面漂浮垃圾湾内数量高于湾外而海底垃圾数量湾外高于湾内的分布特点。杭州湾具有不规则的岸线边界、独特的地形地貌特征和复杂的水动力泥沙环境。自湾顶澈浦至湾口镇海宽度放宽,落潮流相应扩散,流速逐渐减小,挟沙能力减弱,泥沙落淤,进而南岸形成大面

积滩涂^[25]。浙江省政府规划的浙江大湾区“四大新区”中的宁波前湾新区和绍兴滨海新区均位于杭州湾南岸。围垦工程导致杭州湾海域面积骤减,对杭州湾南岸近岸海域流速影响较为明显^[26]。因此海面漂浮垃圾在南岸更容易下沉,造成了杭州湾北岸中、小块海面漂浮垃圾的平均密度高于杭州湾南岸。

比较《2022 年中国海洋生态环境状况公报》^[27]和文献 [28] 数据,发现无论是大块、特大块海面漂浮垃圾数量还是中、小块海面漂浮垃圾数量,杭州湾海域明显高于全国沿海平均水平,也远高

于胶州湾、辽东湾、上海金山等海域(表 2)。2022 年全国各地仅闽江口、广西的北海和钦州的中、小块海面漂浮垃圾数据高于本次杭州湾的调查结果。有关海底垃圾公开报道的数据并不多,本次杭州湾海底垃圾的数量也明显高于 2022 年全国平均水平,但从海洋垃圾的密度来看,杭州湾海洋垃圾的密度却远低于 2022 年全国平均水平。根据上述调查结果,与国内其他调查海域相比,杭州湾海域海洋垃圾存在着鲜明的“小块化、轻质化”特征。

表 2 杭州湾及全国海洋垃圾密度

Tab.2 The abundance of floating litter in Hangzhou Bay and China

海域	大块、特大块个数/个·km ⁻²	中、小块个数/个·km ⁻²	中、小块密度/kg·km ⁻²	海底垃圾个数/个·km ⁻²	海底垃圾密度/kg·km ⁻²
广西北海 ^[27]	35	9120			
广西钦州 ^[27]	0	8907			
闽江口 ^[27]	201	12548			
上海金山 ^[27]		5698		12037	
胶州湾 ^[27]	48	7573			
全国平均 ^[27]	65	2859	2.8	2547	54.7
杭州湾	414	8445	0.56	10301	70.2
辽东湾 ^[28]	24	48	0.745	19	2.54

2022 年 7 月—10 月,在杭州湾湾口区域的嵊泗、岱山和舟山本岛选择 4 处海滩开展海滩垃圾调查,调查结果列于表 3。嵊泗基湖沙滩的海滩垃圾平均个数最高(56667 个/km²),岱山鹿栏晴沙最低(7909 个/km²);舟山朱家尖沙滩的海滩垃圾平均密度最高(1900.9 kg/km²),岱山鹿栏晴沙最低(7 kg/km²)。这 4 个沙滩中舟山朱家尖沙滩地处国家五 A 级景区,嵊泗基湖沙滩是华东地区最大的沙滩,有“南方北戴河”之称,游客

众多,人类海岸活动强度大;岱山的鹿栏晴沙和九子沙滩游客稀少,特别是九子沙滩还未向公众开放,人类海岸活动强度较弱。因此,本次调查中无论是海滩垃圾的数量还是密度,嵊泗基湖沙滩、舟山朱家尖沙滩均远高于岱山的鹿栏晴沙和九子沙滩。与 2022 年全国海滩垃圾调查结果相比,除嵊泗基湖沙滩的海滩垃圾数量、密度略高于全国平均水平外,其他各海滩的垃圾平均个数和平均密度均低于全国平均值。

表 3 杭州湾海滩垃圾密度和指数

Tab.3 The abundance and index of beach litter in Hangzhou Bay

序号	名称	平均个数/个·km ⁻²	CCI	PAI	平均密度/kg·km ⁻²
1	舟山朱家尖沙滩	40833	0.82	0.112	1900.9
2	岱山九子沙滩	16286	0.32	0.061	86
3	岱山鹿栏晴沙	7909	0.16	0.027	7
4	嵊泗基湖沙滩	56667	1.13	0.200	823
5	全国平均 ^[27]	54772	1.10	0.195	2506

2.2 海洋垃圾组成与来源

本次调查中塑料类垃圾是数量最多的垃圾类型, 占总数的一半以上(表 4), 这与金敬林等对舟山两个海洋特别保护区海洋垃圾的调查结果一致^[29]。其他主要的垃圾类型还有木制品类、纸制品类、其他人造物品类等。塑料类制品因轻便耐用、成本低廉等特性被广泛应用于工农业生产及日常生活中。杭州湾两岸如萧山、余杭、富阳、桐庐、余姚、慈溪、嘉兴和绍兴等市县人口稠密、经济发达, 历来是塑料制品的生产和使用的重点地区, 余姚市和慈溪市是国内三大废旧塑料集散地之一^[30], 2010 年宁波慈溪建成国内最大规模再生塑料产业基地^[31]。杭州湾地区河网水系密布, 拥有钱塘江、曹娥江、甬江等众多入海河流, 区域内工农业生产和居民生活所产生的塑料垃圾均可由河流带入杭州湾。杭州湾海洋垃圾中塑料类占比最高, 特别是中、小块

海面漂浮垃圾完全是由塑料类垃圾组成, 提示在塑料的生产、使用或回收等环节, 有大量塑料进入海洋环境。塑料密度轻、易破碎, 这也是造成杭州湾海域海洋垃圾“小块化、轻质化”特征的原因之一。浙江省高度重视塑料垃圾的污染治理工作, 针对海洋垃圾污染, 全省沿海开展了“净滩净海”行动, 组建专业化海上保洁队伍; 推行“蓝色循环”海洋塑料垃圾治理项目, 采用数字化技术对海洋塑料垃圾进行源头治理、低碳回收、高值利用。2020 年 9 月, 浙江省发展和改革委员会会同浙江省生态环境厅等九部门联合印发《关于进一步加强塑料污染治理的实施方案》(浙发改环资[2020]307 号), 针对塑料制品污染, 进行分步骤、分领域禁止、限制使用相关塑料制品, 并开展塑料污染治理督促检查联合专项行动^[32]。但从本次调查结果来看, 塑料垃圾污染问题依然严重, 需要采取有力措施持续治理。

表 4 杭州湾海洋垃圾的组成(%)
Tab.4 Composition marine litter in Hangzhou Bay(%)

垃圾组成	大块、特大块海面漂浮垃圾	中、小块海面漂浮垃圾	海底垃圾	2022年基湖	2022年鹿栏晴沙	2022年千沙	2022年九子
塑料类	61.2	100	73.8	88.2	66.1	63.3	79.5
木制品类	23.6		22.9	11.8	1.1	20.4	1.2
纸制品类	10.7				2.3	6.1	0
玻璃类	0.6		0.8				1.8
金属类			1.7				1.2
橡胶类			0.8				2.3
织物类			0				4.7
其他					29.9		9.4

根据西北太平洋组织的统计方法分析各类垃圾的来源, 结果显示, 本次调查绝大多数情况下来自人类海岸活动和其他弃置物类型的海洋垃圾量最多(表 5), 占垃圾总数的 85% 以上。辽东湾和山东近岸海域^[33] 的调查研究也发现同样的结果, 说明人类活动(包括抛弃物)是海洋垃圾的主要来源。需要指出的是, 在本次调查鹿栏晴沙海滩垃圾的来源组成中, 吸烟用品占总量的 29.3%, 远高于其他海滩, 应引起当地管理部门的足够重视。

2.3 海滩评价

参考文献 [34] 和 Nadiezhda S 的方法^[24], 通

过计算清洁海岸指数(CCI)和塑料丰度指数(PAI)来评估海滩的清洁度和塑料垃圾污染程度, 4 个调查海滩的 CCI 和 PAI 指数见表 3。4 个海滩和 2022 年全国海滩垃圾调查平均水平的 CCI 指数值均小于 2, 属于非常清洁(very clean)等级。不过, 从 CCI 数值上看, 岱山九子沙滩和鹿栏晴沙海滩 CCI 指数相对更低一些。岱山九子沙滩和鹿栏晴沙海滩的 PAI 指数小于 0.1, 属于塑料垃圾丰度非常低(very low abundance)的等级, 而朱家尖沙滩、嵊泗基湖沙滩和 2022 年全国海滩垃圾调查平均水平的 PAI 指数均介于 0.1 与 1 之间, 属于塑料垃圾丰度低(low abundance)的等级。

表 5 杭州湾及其他区域海洋垃圾的来源
Tab.5 The sources of marine debris of different area

调查区域	航运/捕鱼活动/(%)	医疗/卫生用品/(%)	吸烟用品/(%)	人类海岸活动/(%)	其他弃置物/(%)
杭州湾大块、特大块垃圾				47.7	52.3
杭州湾中、小块垃圾	16.1		1.1	58.1	24.7
2018 年辽东湾 ^[28]	15.1	3.7	1.9	54.7	24.5
2019 年山东近岸大块垃圾 ^[33]	7.2			12.5	80.3
2019 年山东近岸中、小块垃圾 ^[33]	3.8		1.3	2.5	92.4
2022 年九子	0.6	1.2	7.6	74.9	15.8
2022 年千沙	4.1	6.1	2.0	51.0	36.7
2022 年基湖	0.0	0.0	0.0	58.8	41.2
2022 年鹿栏晴沙	0.0	0.6	29.3	40.8	29.3

3 结 论

(1) 杭州湾海洋垃圾数量较高, 其中大块、特大块海面漂浮垃圾的平均个数为 414 个/km², 中、小块海面漂浮垃圾为 8446 个/km², 海底垃圾为 10301 个/km²; 中、小块海面漂浮垃圾的平均密度为 0.56 kg/km², 海底垃圾为 70.22 kg/km²。塑料类垃圾是杭州湾海洋垃圾中最主要的垃圾类型, 占总数的一半以上。与 2022 年全国海洋垃圾监测结果相比, 海面漂浮垃圾数量明显高于全国平均水平, 密度却远低于全国平均水平, 杭州湾海域海洋垃圾呈现“小块化、轻质化”的特征。

(2) 杭州湾各点位垃圾数量分布不均匀, 湾内点位的海面漂浮垃圾个数和密度均高于湾外点位, 杭州湾北岸海面漂浮垃圾高于南岸; 海底垃圾的分布与海面漂浮垃圾相反。

(3) 与 2022 年全国海滩垃圾监测平均水平相比, 本研究 4 个沙滩海滩垃圾的平均密度均小于全国平均水平; 除嵎泗基湖沙滩的海滩垃圾平均个数略高于全国平均水平外, 其他各海滩的垃圾平均个数均低于全国平均水平。海滩的清洁度和塑料垃圾污染程度评价结果显示, 4 个海滩均属于非常清洁等级, 岱山九子沙滩和鹿栏晴沙海滩属于塑料垃圾丰度非常低的等级, 而朱家尖沙滩、嵎泗基湖沙滩属于塑料垃圾丰度低的等级。

参考文献:

[1] VLACHOGIANNI T, SCOULLOS M. Assessing marine macrolitter on the coastline of the Asterousia Biosphere Reserve: Insights from a community-based study[J]. Marine Pollution Bulletin, 2023, 195: 115474.

[2] 国家发展和改革委员会宏观经济研究院经济体制与管理研究所. 中国塑料污染治理理念与实践[R]. 北京: 国家发展和改革委员会, 2022: 6-8.

[3] The Pew Charitable Trusts. Breaking the plastic wave: a comprehensive assessment of pathways towards stopping ocean plastic pollution[R]. London: The Pew Charitable Trusts and SYSTEMIQ, 2020: 15-17.

[4] GALGANI F, CLARO F, DEPLEDGE M, et al. Monitoring the impact of litter in large vertebrates in the Mediterranean Sea within the European Marine Strategy Framework Directive (MSFD): constraints, specificities and recommendations[J]. Marine Environmental Research, 2014, 100: 3-9.

[5] DENUNCIO P, BASTIDA R, DASSIS M, et al. Plastic ingestion in Franciscana dolphins, *Pontoporia blainvillei* (Gervais and d'Orbigny, 1844), from Argentina[J]. Marine Pollution Bulletin, 2011, 62(8): 1836-1841.

[6] BARNES D K A, MILNER P. Drifting plastic and its consequences for sessile organism dispersal in the Atlantic Ocean[J]. Marine Biology, 2005, 146(4): 815-825.

[7] MCILGORM A, RAUBENHEIMER K, MCILGORM D E, et al. The cost of marine litter damage to the global marine economy: Insights from the Asia-Pacific into prevention and the cost of inaction[J]. Marine Pollution Bulletin, 2022, 174: 113167.

[8] CHEN C L, LIU T K. Fill the gap: developing management strategies to control garbage pollution from fishing vessels[J]. Marine Policy, 2013, 40: 34-40.

[9] 吴大千, 林新珍. 面向2035年的我国海洋生态环境保护工作重点探析[J]. 环境保护, 2021, 49(14): 54-58.

[10] 鞠茂伟, 吴梦林, 褚晓婷. 加强海洋垃圾污染防治监管助力重点海域综合治理攻坚战[J]. 环境保护, 2022, 50(12): 19-22.

- [11] 高磊, 张蒙蒙, 鞠莲, 等. 中国海洋垃圾监测与评价工作的思考[J]. 环境科学与管理, 2016, 41(06): 112-114.
- [12] JAMBECK J R, JOHNSEN K. Citizen-based litter and marine debris data collection and mapping[J]. Computing in Science and Engineering, 2015, 17(4): 20-26.
- [13] KAKO S, ISOBE A, MAGOME S, et al. Sequential monitoring of beach litter using webcams[J]. Marine Pollution Bulletin, 2010, 60(5): 775-779.
- [14] KATAOKA T, HINATA H, KAKO S, et al. A new technique for detecting colored macro plastic debris on beaches using webcam images and CIELUV[J]. Marine Pollution Bulletin, 2012, 64(9): 1829-1836.
- [15] GE Z, SHI H, MEI X, et al. Semi-automatic recognition of marine debris on beaches[J]. Scientific Reports, 2016, 6(1): 25759.
- [16] 章馨瑶. 杭州湾北岸临港新片区南部潮滩近岸沉积地貌演变过程[D]. 上海: 华东师范大学, 2022.
- [17] 吴雪枫, 何青, 郭磊城, 等. 杭州湾北岸多年水沙特性变化及原因探讨[J]. 长江流域资源与环境, 2021, 30(4): 839-848.
- [18] 于春艳, 鲍晨光, 兰冬东, 等. 长江口—杭州湾生态环境问题与综合治理途径[J]. 环境保护, 2022, 50(12): 31-34.
- [19] 国家海洋局生态环境保护司. 海洋垃圾监测与评价技术规范(试行)[R]. 北京: 国家海洋局生态环境保护司, 2015.
- [20] 孙伟, 李焕军, 徐艳东, 等. 2009—2017年山东省海滩垃圾时空分布特征与来源分析研究[J]. 海洋环境科学, 2020, 39(01): 133-137.
- [21] 罗龙娟, 李桂娇, 刘树函. 大湾区典型海域海洋垃圾来源研究及防治建议[J]. 环境影响评价, 2022, 44(5): 91-96.
- [22] VEERASINGAM S, AL-KHAYAT J A, ABOOBACKER V M, et al. Sources, spatial distribution and characteristics of marine litter along the west coast of Qatar[J]. Marine Pollution Bulletin, 2020, 159: 111478.
- [23] 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.
- [24] SANTODOMINGO N, PERRY C, WAHEED Z, et al. Marine litter pollution on coral reefs of Darvel Bay (East Sabah, Malaysia)[J]. Marine Pollution Bulletin, 2021, 173: 112998.
- [25] 李文丹, 李孟国, 解鸣晓, 等. 岱山—洋山跨海通道水沙环境影响数值模拟研究[J/OL]. 海洋工程, 1-10[2023-07-09]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1423.P.20230602.1719.002.html>.
- [26] 方强, 黄赛花, 许雪峰, 等. 围垦工程群对杭州湾南岸累积水动力影响分析[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(13): 5338-5344.
- [27] 国家海洋环境监测中心. 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.
- [28] 陈熙, 高翊尧, 凌玮, 等. 辽东湾河口区海洋垃圾赋存特征及管理对策[J]. 环境科学研究, 2019, 32(12): 1959-1965.
- [29] 金敬林, 边佳胤, 蔡丽萍, 等. 舟山海洋特别保护区沙滩海洋垃圾与大型底栖生物群落分布特征研究[J]. 海洋湖沼通报, 2023, 45(3): 131-137.
- [30] 吴世伟. 浙江再生塑料产业基地建设形势喜人[J]. 资源再生, 2010(7): 26-28.
- [31] 宁波慈溪建国内最大规模再生塑料产业基地[J]. 塑料科技, 2010, 38(2): 57.
- [32] 胡晓杨. 浙江四类塑料制品禁限使用持续推进废塑料加工利用行业整治[J]. 中国工程咨询, 2020(11): 103.
- [33] 何健龙, 靳洋, 张超, 等. 山东近岸海洋垃圾赋存及黄河口表层微塑料分布[J]. 环境科学与技术, 2022, 45(2): 84-89.
- [34] DOS SANTOS LIMA A K, SILVA A C, PEREIRA L F, et al. Anthropogenic litter on the macrotidal sandy beaches of the Amazon region[J]. Marine Pollution Bulletin, 2022, 184: 114124.

(本文编辑: 胡莹莹)