

# 2020—2022年温岭市近岸海域海洋垃圾分布特征研究

刘玉飞<sup>1</sup>,朱迎军<sup>2</sup>,陈林茜<sup>2</sup>,殷燕<sup>1\*</sup>,程方平<sup>3</sup>

(1. 杭州同华生态环境科技有限公司,浙江 杭州 310000;2. 温岭市环境监测站,浙江 台州 318000;  
3. 自然资源部第二海洋研究所,浙江 杭州 310000)

**摘要:**2020—2022年在浙江省温岭市近岸海域布设监测断面,采集海洋垃圾,分析其分布和组成特征,解析其来源,并使用清洁海岸指数(CCI)及危险物品指数(HII)对海滩垃圾质量进行评估。结果表明:温岭市近岸海域海面漂浮大块及特大块垃圾年平均数量密度为37.7个/km<sup>2</sup>;海面漂浮小块及中块垃圾年平均数量密度为3568.2个/km<sup>2</sup>;海滩垃圾数量密度为5813.5个/km<sup>2</sup>。海洋垃圾主要材料类型为塑料类和聚苯乙烯泡沫塑料类,其主要来源于陆地人类生产活动。近岸海域CCI和HII指数年均值分别为0.11和0.66,表明温岭市洞下沙滩处于非常清洁且安全水平。

**关键词:**海洋垃圾;分布特征;清洁海岸指数;近岸海域;温岭市

**中图分类号:**X834;X55 **文献标志码:**B **文章编号:**1006-2009(2024)03-0035-06

## Study on Distribution Characteristics of Marine Debris in Coastal Waters of Wenling from 2020 to 2022

LIU Yufei<sup>1</sup>, ZHU Yingjun<sup>2</sup>, CHEN Linqian<sup>2</sup>, YIN Yan<sup>1\*</sup>, CHENG Fangping<sup>3</sup>

(1. Hangzhou Tonghua Ecological Environment Technology Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang 310000, China;  
2. Wenling Environmental Monitoring Station, Taizhou, Zhejiang 318000, China;3. Second Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources, Hangzhou, Zhejiang 310000, China)

**Abstract:** The monitoring sections were set up in the coastal waters of Wenling, Zhejiang from 2020 to 2022, to collect marine debris, analyze its distribution and composition characteristics and sources, and evaluate the beach environmental quality with Clean Coast Index(CCI) and Hazardous Items Index(HII). The results revealed that in the coastal area of Wenling, the average annual density of large and extra large pieces of floating garbage was 37.7 items/km<sup>2</sup>. The average annual density of small and medium-sized floating garbage was 3568.2 items/km<sup>2</sup>. The density of beach litter was 5813.5 items/km<sup>2</sup>. Plastics and polystyrene foam plastics were dominant, which mainly came from human activities. The annual average CCI and HII in the coastal waters were 0.11 and 0.66, respectively, indicating that Dongxia Beach in Wenling was at a very clean and safe level.

**Key words:** Marine debris; Distribution characteristic; Clean coast index; Coastal waters; Wenling

海洋垃圾是人类在沿海和海洋活动中产生的废弃物,被认为是最严重的环境问题之一<sup>[1]</sup>,对海洋生态系统构成巨大威胁。有研究表明,海鸟、海龟、海洋鱼类、海洋哺乳动物、底栖动物等67种物种受到海洋垃圾的影响,近几年增加到693种<sup>[2]</sup>。海滩是海洋生态系统的重要组成部分,其独特的生态系统类型孕育了丰富的物种,在人类生活、安全、旅游和餐饮方面起着至关重要的作用。海洋垃圾对沿海区域经济发展产生直接或间接影响,如旅

游、渔业、水产养殖和航运等,同时威胁人类的幸福和安全,如游客身体可能会受到海滩玻璃碎片、鱼线和医疗废物的伤害<sup>[3]</sup>,海滩垃圾对栖息在潮间

收稿日期:2023-04-26;修订日期:2024-03-02

基金项目:国家重点研发计划基金资助项目(2019YFD0901101);国家自然科学基金资助项目(42076169);中国亚太经合组织合作基金资助项目(2029901)

作者简介:刘玉飞(1992—),男,河南鹤壁人,工程师,硕士,主要从事生态环境监测与分析工作。

\*通信作者:殷燕 E-mail: yinyan19870829@163.com

带生物的影响也会间接转嫁到人类<sup>[4]</sup>。2007年以来,海洋垃圾状况是《中国海洋环境状况公报》重要内容之一,海洋垃圾监测也逐渐成为热点<sup>[5-6]</sup>。

以浙江省温岭市海域和洞下沙滩为研究区域,通过2020—2022年3年连续监测,确定海洋垃圾的密度、时空分布、来源,对比分析温岭市在全国范围内海面 and 海滩垃圾所处的现状水平,采用清洁海岸指数(CCI)和危险物品指数(HII)评价海滩垃圾现状,以期为我国海洋垃圾监测、调查、监督、管理、防治与整顿等起到一定的指导作用,为管理部门决策提供参考依据和技术支撑。

## 1 数据与方法

### 1.1 研究区域概况

温岭市地处浙江东南沿海,长三角地区的南翼,三面临海,海岸线北段和南边大多平坦为泥涂。辖区内洞下沙滩是浙江省大型海滨浴场之一,海滩直线长度约420 m,宽70 m,带动了旅游业和渔业生产活动快速发展,2021年温岭共接待游客649万人次。在经济快速发展的同时,也增加了沿海和海洋环境中垃圾潜在威胁。

### 1.2 调查方法

2020—2022年8—9月,根据原国家海洋局生态环境保护司2015年10月公布的《海洋垃圾监测与评价技术规程(试行)》(以下简称《技术规程》)要求,在温岭市近岸海域开展海面漂浮垃圾和海滩垃圾监测,监测频次为1次/a。海面漂浮垃圾又分为海面漂浮大块(尺寸>10 cm且≤1 m)及特大块(尺寸>1 m)垃圾和海面漂浮小块(尺寸<2.5 cm)及中块(尺寸≥2.5 cm且≤10 cm)垃圾。海面漂浮大块及特大块垃圾共布设3个监测断面,分别为S1—S3,采用样带法进行监测,有效观测宽度为100 m。海面漂浮中块及小块垃圾设6个监测断面,分别是T1—T6(见图1),采用长1.5 m、孔径0.33 mm的漂浮生物网进行拖网法调查,行驶速度为3节。每个观测样带根据材料类型对垃圾类型进行量化和分类(数量密度单位为个/km<sup>2</sup>,质量密度单位为g/km<sup>2</sup>)。

海滩垃圾监测采用累计速率指标,将整个海滩设为采样单元,采集海滩上所有垃圾,分为塑料类、聚苯乙烯泡沫塑料类、玻璃类、金属类、橡胶类、织物(布)类、木制品类、纸类和其他。依据西北太平洋行动计划(North-West Pacific Action Plan,

NOWPAP)的方法确定垃圾来源(见表1)。

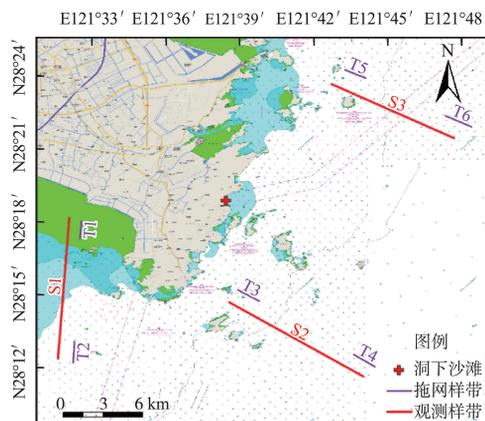


图1 海洋垃圾监测断面分布

Fig. 1 Distribution of marine debris monitoring sections

表1 海洋垃圾来源分类

Table 1 Classification of marine debris sources

垃圾种类	垃圾来源
废弃渔网及碎片、鱼线、浮漂等	航运/捕鱼活动
注射器、纱布、输液袋、卫生巾等	医疗/卫生用品
烟盒、烟头、打火机等	吸烟用品
塑料瓶、快餐盒、饮料罐、纸张、塑料袋等	人类海岸活动
木材、陶瓷、轮胎、电线、灯泡、玻璃片等	其他弃置物

### 1.3 数据分析

使用CCI表征海滩清洁度水平,该指数强调了1 m<sup>2</sup>内长度>3 cm的垃圾总量<sup>[7]</sup>。研究表明,CCI指数可以定量表征海岸的清洁状态<sup>[8]</sup>,迄今为止,CCI指数已在很多研究中得到成功应用<sup>[9]</sup>。文中用相似研究进行比较,确定温岭市洞下沙滩所处清洁状态水平。CCI指数评价标准为:0~2为非常清洁,2~5为清洁,5~10为中度清洁,10~20为脏,>20为非常脏。应用HII判定海滩上危险物品造成伤害的可能性,包括玻璃、铁片、硬塑料、金属丝和竹签等,评估计算方法参考相关文献<sup>[10]</sup>,以此确定温岭市洞下沙滩清洁程度、危险程度,以及在全国临海省/市海滩中的清洁水平。

参照《技术规程》计算海面垃圾和海滩垃圾密度,使用Excel 2021、OriginPro和ArcGIS 10.2软件包完成数据分析和制图。

## 2 结果与讨论

### 2.1 温岭市海洋垃圾时空分布特征

2020—2022年共采集垃圾971个,其中海滩

垃圾 586 个,海面漂浮大块及特大块垃圾 306 个、小块及中块垃圾 79 个。从垃圾材质方面看,塑料类、聚苯乙烯泡沫塑料类、玻璃类、金属类、橡胶类、织物(布)类、木制品类、纸类、无法辨识类的数量密度占比分别为 75.8%、4.0%、0.5%、1.3%、0.7%、0.7%、6.1%、7.1%、3.8%,质量密度占比分别为 59.7%、2.6%、0.8%、1.2%、1.4%、1.9%、27.6%、2.1%、2.7%,无论是质量密度还是数量密度,塑料类垃圾占比均最大。2020—2022 年海洋垃圾总数逐年减少,2020 数量最多,为 421 个,2021 年为 299 个,2022 年为 251 个。

2020 年、2021 年和 2022 年温岭市洞下沙滩采集海滩垃圾分别为 207 个、212 个和 167 个。表 2 为 2020—2022 年海洋垃圾数量密度统计。由表 2 可知,2020 年、2021 年和 2022 年海滩垃圾数量密度分别为 6 160.7 个/km<sup>2</sup>、6 309.6 个/km<sup>2</sup> 和 4 970.2 个/km<sup>2</sup>。2020 年和 2021 年海滩垃圾数量密度接近,2022 年海滩垃圾数量密度较小,3 年平均值为 5 813.5 个/km<sup>2</sup>。海滩垃圾种类组成均以塑料垃圾为主,平均占比为 76.9%,橡胶类占比最小,为 0.2%。

2020 年、2021 年和 2022 年温岭市采集海面漂浮大块及特大块垃圾分别为 155 个、81 个和 70 个,垃圾数量密度分别为 57.3 个/km<sup>2</sup>、30.0 个/km<sup>2</sup> 和 25.9 个/km<sup>2</sup>,3 年平均值为 37.7 个/km<sup>2</sup>,2020—

2022 年温岭市海面漂浮大块及特大块垃圾呈下降趋势。海面大块及特大块垃圾种类组成以塑料类为主,占比为 36.5%;聚苯乙烯泡沫塑料和纸类数量密度占比接近,分别为 28.1% 和 27.4%;金属类、织物(布)类的占比较小,均 < 1%。

2020 年、2021 年和 2022 年温岭市采集海面漂浮小块及中块垃圾分别为 59 个、6 个和 14 个,垃圾数量密度分别为 7 994.6 个/km<sup>2</sup>、813.0 个/km<sup>2</sup> 和 1 897.0 个/km<sup>2</sup>,3 年均值为 3 568.2 个/km<sup>2</sup>。在海面漂浮小块及中块垃圾中,2020 年聚苯乙烯泡沫塑料类数量密度占比最大,为 71.2%,其次为塑料类,占 25.4%,2021 年和 2022 年均均为塑料类数量密度占比最大,分别为 83.3% 和 64.3%。玻璃类、金属类、橡胶类、织物(布)类、木制品类和无法辨识类均未发现。

## 2.2 温岭市海洋垃圾来源解析

依据 NOWPAP 方法确定垃圾来源,统计 2020—2022 年温岭市海面漂浮垃圾和海滩垃圾来源组成占比,见表 3。由表 3 可知,海面垃圾主要来源为人类海岸活动和航运/捕鱼活动,占比分别为 39.5% 和 34.4%,而海滩垃圾的主要来源则为其其他弃置物和人类海岸活动,占比分别为 33.3% 和 26.7%。总体来看,海面漂浮和海滩垃圾的主要来源为陆源垃圾,故控制陆源垃圾应是海洋垃圾污染防治的重点<sup>[11-12]</sup>。

表 2 2020—2022 年海洋垃圾数量密度统计

Table 2 Statistics on marine debris density from 2020 to 2022

材料类别	海滩垃圾			海面漂浮大块及特大块垃圾			海面漂浮小块及中块垃圾		
	2020 年	2021 年	2022 年	2020 年	2021 年	2022 年	2020 年	2021 年	2022 年
塑料类	4 851.2	4 672.6	3 869.0	17.0	10.7	13.7	2 032.5	677.5	1 219.5
聚苯乙烯泡沫塑料类	89.3	0	625.0	7.0	15.2	9.6	5 691.1	135.5	677.5
玻璃类	119.0	0	0	2.2	0	0	0	0	0
金属类	29.8	29.8	59.5	0.7	0	0.4	0	0	0
橡胶类	0	0	29.8	0.4	0.4	0.4	0	0	0
织物(布)类	208.3	416.7	59.5	0	0	0.7	0	0	0
木制品类	59.5	89.3	89.3	1.5	0	0.7	0	0	0
纸类	416.7	416.7	238.1	27.8	3.3	0	271.0	0	0
无法辨识类	386.9	684.5	0	0.7	0.4	0.4	0	0	0
合计	6 160.7	6 309.6	4 970.2	57.3	30.0	25.9	7 994.6	813.0	1 897.0

表 3 海洋垃圾来源组成占比

Table 3 Proportion of marine debris source composition

垃圾类别	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
海面漂浮垃圾	34.4	0.4	0.8	39.5	24.9
海滩垃圾	6.7	13.3	20.0	26.7	33.3

### 2.3 温岭市海洋垃圾分布水平

2021年联合国环境规划署(UNEP)发布的《从污染到解决方案:海洋垃圾和塑料污染全球评估》报告显示,海洋垃圾中85%是塑料。研究期间温岭市共采集海面漂浮垃圾385个,其中塑料类和聚苯乙烯泡沫塑料类占比分别为37%和35%,两者共占72%,与2020年上海仁渡海洋公益发展中心发布的《中国若干典型海岸垃圾监测研究报告(2020)》结果相似,东海海洋垃圾以塑料类为主。温岭市海洋垃圾聚苯乙烯泡沫塑料类占比较高,与该地区海域渔业活动频繁、航道密集、海上人类活动和船舶运输活动较多有关。聚苯乙烯泡沫塑料类主要为渔业活动使用的浮标,相关监管部门须重视此类问题。2020—2022年温岭市海面漂浮大块及特大块垃圾数量密度变化范围为25.9个/km<sup>2</sup>~57.3个/km<sup>2</sup>,平均值为37.7个/km<sup>2</sup>,高于2020年和2021年生态环境部公布的大块及特大块垃圾年平均监测结果(31.8个/km<sup>2</sup>);小块及中块垃圾变化范围为813.0个/km<sup>2</sup>~7994.6个/km<sup>2</sup>,平均值为3568.2个/km<sup>2</sup>,低于2020年和2021年生态环境部公布的小块及中块垃圾年平均监测结果(5504.4个/km<sup>2</sup>)。根据生态环境部公布的2020—2021年《中国海洋环境公报》,从全国范围看,温岭市海面漂浮大块及特大块垃圾2020年和2021年均处于较差水平;小块及中块垃圾2020年处于较差水平,2021年处于较好水平(见表4)。

2020—2022年温岭市海滩垃圾主要为塑料类,占比为76.9%,这与全国大多数学者研究结论相似<sup>[13-18]</sup>,接近2021年生态环境部公布的海滩垃圾数据,与国外学者的研究结论也一致<sup>[19-21]</sup>。从数量密度上看,2020—2022年温岭市海滩垃圾的数量密度变化范围为4970.2个/km<sup>2</sup>~6309.6个/km<sup>2</sup>,远低于2020年和2021年全国海滩垃圾平均密度(18.6×10<sup>4</sup>个/km<sup>2</sup>)和浙江省平均数量密度(96969.5个/km<sup>2</sup>),以及其他临海省/市平均数量密度。造成此类差异的原因有多种,例如清洁工的清洁频次、保洁的时间、天气及人员素质等人为因素,监测时数据收集方法及调查区域地理位置等客观因素<sup>[22-23]</sup>。此外,政府关注度、监管能力、旅游业、渔业从业人员环保意识、垃圾收集装置规划管理均会对沙滩垃圾量产生影响<sup>[24]</sup>。沙滩的位置和功能区也可能是重要的影响因素。潘永珩等<sup>[1]</sup>2014—2017年对典型旅游沙滩监测发现,沙滩被

取消4A旅游景区资质后,调查区域的沙滩垃圾量有所下降。Pervez等<sup>[10]</sup>对青岛市沙滩垃圾进行比较,发现距离市中心越近、人口密度越高,沙滩垃圾量越大。温岭市虽然每年接待游客众多,但是洞下沙滩位置离市中心有一定的距离,且每天都会对沙滩垃圾进行清理,这也可能是洞下沙滩垃圾较少的原因之一。

### 2.4 CCI指数评价

2020—2022年温岭市洞下沙滩CCI指数平均值为0.11,HII指数平均值为0.66,洞下沙滩处于非常清洁且安全水平。依据2020年、2021年中国国家海洋生态环境公报中海滩垃圾数据,计算获得全国临海各省/市CCI指数(见表4)。结果显示,2020年和2021年全国监测海滩CCI平均值分别为2.54和2.66,浙江省2020年和2021年CCI指数分别为0.67和3.21。对比全国临海各省/市和浙江省CCI指数,温岭市洞下沙滩均处于非常清洁水平。

### 2.5 海洋垃圾管理对策

根据国际海洋环保组织的估算,地球海洋塑料垃圾已经超过14285万t,在太平洋上聚“带”成“岛”,形成面积为160×10<sup>4</sup>km<sup>2</sup>的垃圾岛,并且该岛大部分由塑料垃圾构成。因此,针对海洋垃圾问题,有效的管理对策十分重要。中国政府在处理海洋垃圾问题方面提出了一系列管理措施,从源头减少塑料垃圾的产生,从2007年的“限塑令”到2017年的“禁止洋垃圾入境”,各省市也出台了相应政策,例如海南省2019年出台了《海南省全面禁止生产、销售和使用一次性不可降解塑料制品实施方案》,虽然使塑料垃圾的产生得到了初步控制,但形势不容乐观。此次研究发现,虽然2020—2022年温岭市海面漂浮垃圾在全国范围内处于较差水平,但是也暴露出监测点位及频次不足、评价体系不完善等问题。为了更好地加强温岭市海洋垃圾监测防范、预警和治理能力,提出以下建议。

(1)完善海洋垃圾监测机制。根据每年国家海洋生态环境状况公报显示,浙江省海洋垃圾监测仅1处,监测频次仅1次,监测数据代表性不强,手段单一。应加大海洋垃圾监测频次,增加监测点位,丰富监测手段,建立海洋垃圾监测机制和平台,构建海洋垃圾预警体系。技术上加入智能监测设备,使用无人机和卫星遥感等技术,实现水-陆-天-空海洋垃圾监测一体化。

表4 2020—2021年临海各省/市海洋垃圾数量密度及CCI指数

Table 4 Marine debris density and CCI in coastal provinces/cities in China from 2020 to 2021

行政区域	海洋垃圾数量密度/(个·km <sup>-2</sup> )						CCI指数	
	海滩垃圾		海面漂浮大块及特大块垃圾		海面漂浮小块及中块垃圾		2020年	2021年
	2020年	2021年	2020年	2021年	2020年	2021年		
辽宁省	6 327.2	16 161	22.5	4.5	1 761.0	140.0	0.13	0.32
河北省	351 621	68 766		20	2 098.0	600.0	7.03	1.38
天津市	42 000	46 000	31.0	25.7	1 172.7	333.0	0.84	0.92
山东省	46 207	104 284	33.0	16.5	11 656.0	7 357.5	0.92	2.09
江苏省	178 889	54 698.7	20.0	8.5	831.3	1 348.5	3.58	1.09
上海市	99 400	95 000			0	4 792.0	1.99	1.90
浙江省	33 333	160 606		55	36 034.0	3 152.0	0.67	3.21
福建省	56 621	51 415.8		24		0	1.13	1.03
广东省	278 978.8	318 306.1	89.0	13.5	9 360.0	1 389.5	5.58	6.37
深圳市	127 991	179 202					2.56	3.58
广西壮族自治区	60 719.7	397 750	42.5	48.3	8 871.0	20 565.3	1.21	7.96
海南省	127 991	100 716			2 000.0	256.0	4.80	2.01
平均值	117 506.6	132 742.1	39.7	24.0	7 378.4	3 630.3	2.54	2.66

(2) 海洋垃圾清理常态化。在全省沿海地区全面建立海上环卫队伍,实行海洋垃圾清理的常态化、网格化、动态化工作,对沙滩和近岸海域进行高频次、全方位的打捞和清理,当建立的海洋垃圾预警机制触发时进行重点清理工作。革新海上垃圾清理方式,使用智能化、专业化、无人化打捞的高效技术代替传统人工清理的低效率方式,提升海上垃圾打捞效率,例如全自动水上垃圾清理船的应用。拓宽参与垃圾清理对象,实行海上垃圾清理奖励机制,对出海渔船的垃圾收集行为进行奖励,提升海洋垃圾或海滩垃圾清理的公众参与度。

### 3 结论

(1) 2020—2022年温岭市海面漂浮垃圾和海滩垃圾主要类型均为塑料类和聚苯乙烯泡沫塑料类,垃圾总数逐年下降。

(2) 2020—2022年海滩垃圾数量密度均值为5 813.5个/km<sup>2</sup>;海面漂浮大块及特大块垃圾数量密度变化范围为25.9个/km<sup>2</sup>~57.3个/km<sup>2</sup>,虽然呈逐年减少趋势,但高于全国平均水平;小块及中块垃圾数量密度变化范围为813.0个/km<sup>2</sup>~7 994.6个/km<sup>2</sup>,低于全国平均水平。2020年为聚苯乙烯泡沫塑料类最多,2021年及2022年均均为塑料类数量占比最大。温岭市海面漂浮及海滩垃圾主要来源于陆地人类生产活动。

(3) 2020—2022年温岭市洞下沙滩的CCI指数平均值为0.11, HII指数平均值为0.66,处于非

常清洁且安全水平。

#### [参考文献]

- [1] 潘永珩,高郭平,张春玲,等. 中国典型海滩垃圾组成和时空变化特征[J]. 海洋湖沼通报, 2021, 43(1): 142-148.
- [2] GALL S C, THOMPSON R C. The impact of debris on marine life[J]. Marine Pollution Bulletin, 2015, 92(1/2): 170-179.
- [3] NEELAVANNAN K, ACHYUTHAN H, SEN I S, et al. Distribution and characterization of plastic debris pollution along the Poompohar Beach, Tamil Nadu, Southern India[J]. Marine Pollution Bulletin, 2022, 175: 113337.
- [4] ZALEWSKA T, MACIAK J, GRAJEWSKA A. Spatial and seasonal variability of beach litter along the southern coast of the Baltic Sea in 2015—2019; Recommendations for the environmental status assessment and measures[J]. Science of the Total Environment, 2021, 774: 145716.
- [5] RAKIB M R J, ERTAŞ A, WALKER T R, et al. Macro marine litter survey of sandy beaches along the Cox's Bazar Coast of Bay of Bengal, Bangladesh; Land-based sources of solid litter pollution[J]. Marine Pollution Bulletin, 2022, 174: 113246.
- [6] HIDAKA M, MATSUOKA D, SUGIYAMA D, et al. Pixel-level image classification for detecting beach litter using a deep learning approach [J]. Marine Pollution Bulletin, 2022, 175: 113371.
- [7] 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.
- [8] KALNASA M L, LANTACA S, BOTER L C, et al. Occurrence of surface sand microplastic and litter in Macajalar Bay, Philippines[J]. Marine Pollution Bulletin, 2019, 149: 110521.
- [9] SAJORNE R E, BACOSA H P, CAYABO G, et al. Plastic litter pollution along sandy beaches in Puerto Princesa, Palawan

- Island, Philippines [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2021, 169 (1): 112520.
- [10] PERVEZ R, LAI Z. Spatio-temporal variations of litter on Qingdao tourist beaches in China [J]. *Environmental Pollution*, 2022, 303: 119060.
- [11] 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.
- [12] 国峰, 周鹏, 李志恩, 等. 2011年东中国海沿岸海域海洋垃圾分布、组成与来源分析 [J]. *海洋湖沼通报*, 2014, 36(3): 193–200.
- [13] 赵玲, 潘涛, 王妍, 等. 基于文献计量方法的海洋垃圾研究现状与热点分析 [J]. *海洋湖沼通报*, 2022, 44(6): 149–156.
- [14] 宁德志, 袁泽林, 潘钟, 等. 厦门湾海洋塑料垃圾的运动特性及输移机理 [J]. *海洋与湖沼*, 2022, 53(4): 838–851.
- [15] 张长伟. 山东半岛典型岸滩海洋垃圾和微塑料污染现状与应对研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2022.
- [16] 姚源婷. 舟山市渔民参与海洋渔业垃圾治理意愿及影响因素研究 [D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2022.
- [17] 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.
- [18] 韩龙, 韩彤, 夏妍梦, 等. 2019年天津近岸海域海洋垃圾分布特征研究 [J]. *天津科技*, 2022, 49(11): 12–14.
- [19] JANG Y C, RANATUNGA R R M K, MOK J Y, et al. Composition and abundance of marine debris stranded on the beaches of Sri Lanka; Results from the first island-wide survey [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2018, 128: 126–131.
- [20] COMPA M, MARCH D, DEUDERO S. Spatio-temporal monitoring of coastal floating marine debris in the Balearic Islands from sea-cleaning boats [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2019, 141: 205–214.
- [21] AKARSU C, SÖNMEZ V Z, ALTAY M C, et al. The spatial and temporal changes of beach litter on Istanbul (Turkey) beaches as measured by the clean-coast index [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2022, 176: 113407.
- [22] 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(1): 278–289.
- [23] PORTMAN M E, BRENNAN R E. Marine litter from beach-based sources; Case study of an Eastern Mediterranean coastal town [J]. *Waste Management*, 2017, 69: 535–544.
- [24] PERVEZ R, WANG Y H, JATTAK Z. Monitoring of micro-plastics: A case study of shilaoren beach, Qingdao, China [J]. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 2020, 10(1): 4869–4875.

(上接第34页)

- [8] 伍丹, 朱康文, 张晟, 等. 基于 PLUS 模型和 InVEST 模型的成渝经济区碳储量演化分析 [J]. *三峡生态环境监测*, 2022, 7(2): 85–96.
- [9] 张燕, 师学义, 唐倩. 不同土地利用情景下汾河上游地区碳储量评估 [J]. *生态学报*, 2021, 41(1): 360–373.
- [10] 郑拴丽, 许文强, 杨辽, 等. 新疆阿尔泰山森林生态系统碳密度与碳储量估算 [J]. *自然资源学报*, 2016, 31(9): 1553–1563.
- [11] 史常明, 柳洋, 张富荣, 等. 焉耆盆地绿洲农田不同类型土壤有机碳空间分布特征及储量估算 [J]. *干旱区研究*, 2021, 38(3): 672–681.
- [12] 柳梅英, 包安明, 陈曦, 等. 近30年玛纳斯河流域土地利用/覆被变化对植被碳储量的影响 [J]. *自然资源学报*, 2010, 25(6): 926–938.
- [13] 王渊刚, 罗格平, 王玉辉, 等. 亚洲中部干旱区植被与土壤碳密度分析 [J]. *干旱区地理*, 2014, 37(2): 239–249.
- [14] 张杰, 李敏, 敖子强, 等. 中国西部干旱区土壤有机碳储量估算 [J]. *干旱区资源与环境*, 2018, 32(9): 132–137.
- [15] 乔有明, 王振群, 段中华. 青海湖北岸土地利用方式对土壤碳氮含量的影响 [J]. *草业学报*, 2009, 18(6): 105–112.
- [16] 李克让, 王绍强, 曹明奎. 中国植被与土壤碳储量 [J]. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2003, 33(1): 72–80.
- [17] 韩玉, 丁素婷, 杨太保. 山西南部中条山生态系统碳储量时空分布及驱动因素 [J]. *中国环境科学*, 2023, 43(3): 1298–1306.
- [18] YANG J Y, SONG G. Human disturbance changes based on spatiotemporal heterogeneity of regional ecological vulnerability: A case study of Qiqihaer City, northwestern Songnen Plain, China [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 291(3): 125262.
- [19] 任玺锦, 裴婷婷, 陈英, 等. 基于碳密度修正的甘肃省土地利用变化对碳储量的影响 [J]. *生态科学*, 2021, 40(4): 66–74.
- [20] ALAM S A, STARR M, CLARK B J F. Tree biomass and soil organic carbon densities across the Sudanese woodland savannah: A regional carbon sequestration study [J]. *Journal of Arid Environments*, 2013, 89: 67–76.
- [21] 陈光水, 杨玉盛, 刘乐中, 等. 森林地下碳分配 (TBCA) 研究进展 [J]. *亚热带资源与环境学报*, 2007, 2(1): 34–42.
- [22] 黄从红, 杨军, 张文娟. 生态系统服务功能评估模型研究进展 [J]. *生态学杂志*, 2013, 32(12): 3360–3367.
- [23] 胡丰, 张艳, 郭宇, 等. 基于 PLUS 和 InVEST 模型的渭河流域土地利用与生境质量时空变化及预测 [J]. *干旱区地理*, 2022, 45(4): 1125–1136.
- [24] 孔维博, 周军红, 李迎阳, 等. 高盐胁迫下芒硝盐岩弃渣场植被生态修复研究 [J]. *环境监测管理与技术*, 2022, 34(6): 21–25.