

温州沿海大型塑料垃圾排放特征研究

邓 婷^{1,2},高俊敏¹,吴文楠^{1,2},钱玉林²,安立会^{2*} (1.重庆大学三峡库区生态环境教育部重点实验室,重庆 400045; 2.中国环境科学研究院环境基准与风险评估国家重点实验室,北京 100012)

摘要:通过调查温州滨海地区近岸海上渔业、航运码头、滨海旅游及餐饮业等行业塑料垃圾的排放,分析行业区域塑料垃圾赋存特征,并初步估算各行各业塑料垃圾排放量。结果表明:海上渔业活动区中,以避风塘渔港(S4)塑料垃圾占比最高(91.68%),且以聚乙烯、聚苯乙烯和聚丙烯塑料为主,而东沙渔港(S2)和霞关海水养殖区(S6)以聚苯乙烯泡沫为主,占比分别为26.75%和23.66%。海滩餐饮活动区的塑料垃圾最少,塑料垃圾占比为33.13%。各活动区塑料垃圾的主要类型有塑料袋、塑料瓶、塑料盒、塑料管及破碎的塑料块。据估算,海上渔业活动区与滨海旅游区年排放塑料垃圾量约为 1.21×10^4 t/a。为从根本上防治海洋塑料垃圾和海洋微塑料污染,需首先对沿海各行业的塑料垃圾排放源头加强管理,如海水养殖与海洋捕捞活动。

关键词:塑料垃圾; 海洋渔业; 滨海旅游; 海洋航运; 排放

中图分类号: X55 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2018)11-4354-07

Study on the discharging characteristics of large plastic litters along Wenzhou coastal. DENG Ting^{1,2}, GAO Jun-min¹, WU Wen-nan^{1,2}, QIAN Yu-lin², AN Li-hui^{2*} (1.Key Laboratory of the Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400045, China; 2. State Key Laboratory of Environmental Criteria and Risk Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China). *China Environmental Science*, 2018,38(11): 4354~4360

Abstract: The present study aimed to investigate the distribution and components of plastic litter along Wenzhou coastal for revealing the discharging characteristics of beach trash, including marine fishing aquaculture regions, shipping ports regions, tourism regions, and catering regions; then, the amounts of trash discharged from different human activities regions were estimated. The preliminary results showed that the plastic litters were the main components in Bifengtang fishing port region (S4), accounting for 91.68%, and these plastic litter was made of polyethylene, polystyrene and polypropylene mainly; while the polystyrene foam was dominated in Dongsha fishing port (S2, 26.75%) and Xiaguan aquaculture regions (S6, 23.66%). However, the percentage of plastic litter was the lowest (33.13%) in catering region with various types. And these plastic trash included plastic bags, bottles, containers, straws, and fragments. Lastly, a total of 1.21×10^4 t/year of plastic litter was estimated to be discarded from marine fishery and tourism activities into marine environment. Thus, it is urgent to take effective actions to control the discharging sources of plastic litter, such as the marine fishing activities, to prevent the marine plastic litter and microplastics pollution further.

Key words: plastic litter; marine fishery; coastal tourism; ocean shipping; discharging

2015 年,联合国环境大会将海洋塑料垃圾和海洋微塑料列入全球亟待解决的第二大环境问题,塑料垃圾产生的生态危害与全球气候变化、臭氧耗竭及海洋酸化并列为全球性环境灾难问题,联合国、欧盟、G20、G7、APEC 及东亚峰会等国际组织和多边框架都给予了高度关注。当前,联合国环境规划署正在探讨实施海洋塑料垃圾和微塑料约束性法律机制的可能性。可以预见,在未来的一个时期,如何消减和防治海洋塑料垃圾和微塑料污染将是全球环境和区域海洋环境热点问题之一,也是国际履约谈判的主要议题之一。

据估算,全球每年有 480 万 t 到 1270 万 t 的塑料垃圾进入海洋,导致大面积海域受到塑料垃圾的污

染^[1-3],如在太平洋上的海洋漂浮垃圾就已达 300 多万 km²^[4]。大块塑料垃圾的出现不仅造成观赏美学下降,影响海洋旅游业的健康发展^[5],并对各种海洋生物健康和生态系统稳定造成潜在威胁^[6-7]。一是大块塑料垃圾被海洋生物主动或被动摄入体内,堵塞肠道最终导致生物因饥饿死亡,二是大块塑料垃圾如渔网缠绕生物,导致生物无法摄食和逃避,最终被捕食或因饥饿而死亡。研究表明,废弃渔网鱼线会缠绕大型海洋鱼类^[8-9]、海龟^[10]、海鸟^[11-12]以及海豹^[13-14]等。各类塑料垃圾不仅易被各类海洋生物摄食或缠

收稿日期: 2018-04-18

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC1402206)

* 责任作者, 研究员, anlhai@163.com

绕引起生物死亡^[15~16],还易于物理破碎而变成小块塑料甚至微塑料(粒径小于5mm的塑料颗粒)^[17~18].微塑料被海洋生物摄食后会对生物产生不利影响,继而对海洋生态和人体健康产生潜在风险^[19~22].

我国是塑料生产和消费大国,不完善的垃圾分类和回收体系导致废旧塑料向环境大量无序排放.2015年,有研究指出中国是沿海国家中向海洋排放塑料垃圾最多的国家^[23],而东亚区域海的塑料垃圾争端也是近年中日韩政府间的谈判重点^[24],这些均给我国带来极大的负面影响.尽管《中国海洋环境状况公报》^[25]报道我国近海67%的海漂塑料垃圾、91%海滩塑料垃圾来源于陆地,但对于海洋塑料垃圾具体的排放来源仍未见报道,无法有效支撑海洋塑料垃圾的排放管理.本研究基于对温州沿海渔业活动、海滩旅游、航运码头以及海滩餐饮等行业塑料垃圾排放特征的调查和塑料垃圾组成的分析,初步估算了沿海典型行业排放大型塑料垃圾的强度和特征,以期为后续从行业角度开展海洋垃圾污染防控提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 温州滨海垃圾采集

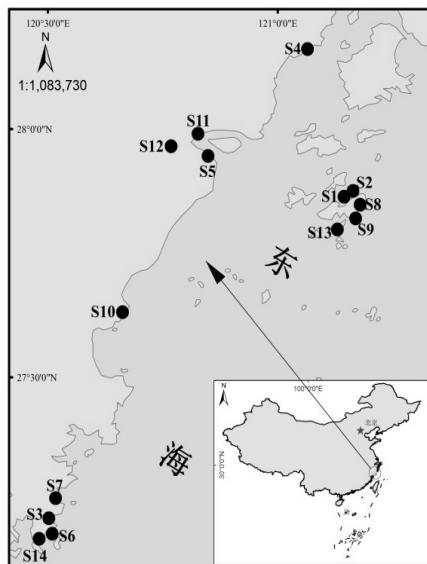


图1 温州沿海塑料垃圾调查点

Fig.1 Sampling sites along Wenzhou coastal

本研究以温州沿海海上渔业、海滩旅游、航运码头以及海滩餐饮业为调查行业,按区域布设四个重点行业的14个采样点(S1~14),其中海上渔业分为

渔港区域和海水养殖区,S1~5为渔港区域,S6为海水养殖区,S7~10为风景区海滩,S11~12为航运区码头,S13~14为餐饮业,采样点分布见图1.每个采样点随机布设3个调查样方(1.0×1.0m),并收集样方内所有垃圾,对塑料垃圾和其他垃圾称重并计算塑料垃圾重量百分比(0.1g);并对塑料垃圾进行单独分类并计数称重,计算各类塑料垃圾重量百分比(0.1g).

1.2 行业塑料垃圾入海量估算

通过现场采集和对行业部门走访调查,分析各调查点垃圾组成特性和垃圾中塑料垃圾占比,按照以下方法估算各行业塑料垃圾年入海量.

1) 渔港区

调查了温州市三盘渔港(S1)、东沙渔港(S2)、霞关渔港(S3)、避风塘渔港(S4)以及蓝田渔港(S5)五个渔业港口.根据现场调查,初步估算出渔业捕捞人员每年产生的塑料垃圾 $P_{\text{总}1}$ 估算方法如式(1):

$$P_{\text{总}1} = n_1 \times P_1 \times 1\% \times t_1 \times 50\% + N \times q \times M_1 \quad (1)$$

式中: n_1 为海洋捕捞的从业人员量; P_1 为每人每天的生活垃圾产生量.根据《第一次全国污染源普查生活源》的产排污系数手册^[26], P_1 按0.8kg/(人·d)计算,其中塑料垃圾按照占比1%计算(重量比,实测值); t_1 为捕捞人员的海上工作时间,考虑到休渔期和自然因素,设定每年出海捕捞时间为180d;经调查,当前海洋渔业部门对渔业港口和海洋捕捞渔船产生的垃圾(包括塑料垃圾)处理处置未做出特定管理规定,结合现场走访调查结果,按照50%生活塑料垃圾被丢弃入海计算; N 为近海捕捞渔船数量; q 为每艘渔船每年因非故意损坏聚苯乙烯泡沫保温箱数量,据调查,每艘渔船每年采购聚苯乙烯泡沫保温箱约3000~5000个,按照每艘渔船每年因非故意损坏泡沫保温箱30个计算; M_1 为泡沫保温箱的质量(0.5kg/个,实测值).

2) 近岸海水养殖区

调查了温州市霞关镇海水养殖区(S6).根据养殖公开数据和现场调查的海水养殖区养殖模式和塑料渔具使用方式,估算海水养殖过程中的因养殖和人为活动产生的塑料垃圾排放量(包括泡沫浮箱、网片以及养殖人员产生的生活垃圾) $P_{\text{总}2}$,估算方法见式(2):

$$P_{\text{总}2} = S \times Y \times 25\% \times M_2 + S \times M_3 \times U \times 20\% \times 50\% + n_2 \times P_1 \times 1\% \times t_2 \times 100\% \quad (2)$$

式中: S 为温州沿海地区海水养殖面积; Y 为浮箱用量,根据现场调查浮箱使用量约 $0.75\text{个}/\text{m}^2$ 水域,每年因破损而丢弃入海量大约占总用量的 25% ; M_2 为泡沫浮箱的质量($2.0\text{kg}/\text{个}$); M_3 为网片的质量($0.8\text{kg}/\text{m}^2$,实测值); U 为网片用量($5\text{m}^2/\text{网片}/\text{m}^2$ 水域,实际调查估算值),每年按照 20% 替换量计算,同时 50% 替换下来的网片被丢弃入海; n_2 为海上渔业的从业人员量; t_2 为养殖人员的海上工作时间,考虑生产季节、天气和节假日因素,全年工作时间按照 300d 计算.结合现场调查和渔业捕捞船垃圾回收管理现状,按照生活垃圾 100% 被丢弃入海计算.

3) 海滩旅游区

调查了温州渔寮景区(S7)、大沙岙景区(S8)、半屏山景区(S9)以及平阳西湾风景区(S10)四个海滩旅游区.根据现场调查和公开数据,初步估算每年滨海海滩旅游排放入海的塑料垃圾量 $P_{\text{总3}}$.估算方法见式(3):

$$P_{\text{总3}} = n_3 \times P_2 \times 96\% \times 26\% \times t_3 \times 10\% \quad (3)$$

式中: n_3 为旅游区游客量; P_2 为风景区游客每人每天产生垃圾量[$0.29\text{kg}/(\text{人}\cdot\text{d})$],其中 96% 是不可降解类垃圾,塑料类垃圾占不可降解垃圾总重的 $26\%^{[27]}$; t_3 为风景区的营业时间,考虑 $5\sim 10$ 月份为滨海旅游的旺季,全年营业时间按照 180d 计算.另外,假设 10% 的塑料垃圾最终会进入海洋^[28].

2 结果与讨论

2.1 温州市滨海塑料垃圾污染特征

温州沿海海上渔业区、海滩旅游区、航运码头区以及海滩餐饮区塑料类垃圾的平均密度分别为 3.76 、 2.77 、 2.37 以及 $0.82\text{g}/\text{m}^2$,其中聚苯乙烯泡沫垃圾的平均密度分别为 0.18 、 0.18 、 0.02 以及 $0.14\text{g}/\text{m}^2$ (图2).

在调查的所有站点中,塑料垃圾重量占比平均为 43.72% ,高于荷兰库拉索($13.7\%^{[29]}$),接近澳大利亚北部湾($45\%^{[30]}$)和日本海东海滩($53.8\%^{[31]}$),但低于欧洲西部和北部沿海地区海滩($79.25\%^{[32]}$).具体来讲,在海上渔业区,塑料垃圾重量占比平均为 $49.71\%\pm 27.13\%$.其中,避风塘渔港(S4)塑料垃圾重量占比甚至高达 91.68% ,然而霞关渔港(S3)的塑料垃圾占比(11.24%)明显低于避风塘渔港(S4),这与各渔港停靠渔船数量、渔港周边商业活动强

度等直接相关.滨海旅游区海滩塑料垃圾重量占比平均为 $34.14\%\pm 16.76\%$,其中最高的是平阳西湾海滩(S10),为 68.31% .在航运码头区,国企万吨码头(S11)的塑料垃圾主要由塑料袋(44.42%)和塑料瓶(55.58%)组成,而民营龙湾交通码头(S12)的塑料垃圾类型较多,并以塑料块为主(73.95%).并且小规模的民营码头塑料占比(如龙湾交通码头(S12)为 86.82%)明显高于大规模的国企万吨码头(如万吨码头(S11)塑料垃圾占比为 24.29%).经现场走访,发现国企码头对大型航运船只垃圾处理的管理较为规范,具有严格的垃圾收集和转运机制,而民营码头对船只垃圾收集的管理则较为松散,垃圾随意丢弃问题比较严重.

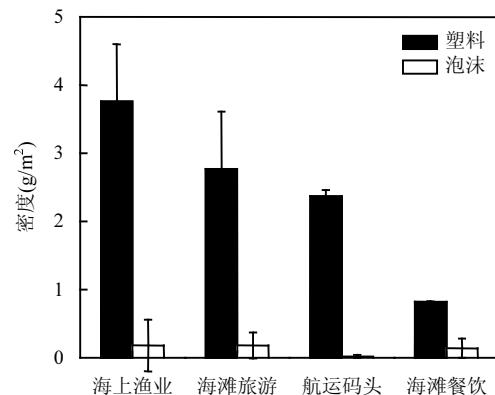


图2 各行业区域塑料垃圾以及泡沫垃圾的密度分布

Fig.2 Distribution of plastic litter and foam in various regions along Wenzhou coastal

各行业区塑料垃圾组成如图3所示.在渔港区,塑料瓶是主要的塑料垃圾类型,如三盘渔港(S1)和蓝田渔港(S5),塑料瓶占塑料垃圾总重的 60.02% 和 57.18% .在东沙渔港(S2),同时还有大量泡沫垃圾(26.75%),并且塑料垃圾类型也最多,包括塑料块(15.32%)、塑料胶管(24.56%)、塑料盒(4.00%)以及塑料袋(29.37%),说明东沙渔港具有较高的作业强度但环境管理水平松散.在霞关渔港(S3),仅发现塑料袋与塑料块两种类型的塑料垃圾,并且塑料块(93.86%)多为一些塑料打火机以及塑料盆碎块等,说明渔港区垃圾主要是生活垃圾排放.而避风塘渔港(S4)的塑料类垃圾比较单一,仅为日常使用的塑料袋,说明该渔港环境管理水平相对较好.在霞关镇海水养殖区(S6)有5种类型的塑料类垃圾存在,并且

泡沫垃圾占比 23.66%,可能是与网箱养殖使用了大量的泡沫浮标以及保温箱等因素有关,但不同于东沙渔港(S2),塑料饮料瓶是霞关镇海水养殖区(S6)的主要塑料垃圾类型(55.59%),主要来源于养殖从业人员的日常生活随意丢弃.

在旅游区海滩散落有大量泡沫和塑料袋等塑料垃圾,如渔寮景区海滩(S7)和半屏山景区海滩(S9)的塑料垃圾主要是塑料块,占比分别为 32.26% 和 36.78%,其次为塑料袋,占比约 25.00%.其中渔寮景区海滩(S7)有 30.85% 的塑料瓶类垃圾,而半屏山景区海滩(S9)泡沫垃圾达到 26.79%,是本次调查区中最高的区域.大沙岙景区海滩(S8)和平阳西湾景区海滩(S10)塑料垃圾主要是塑料袋,占比分别高达 92.55% 和 60.40%,同时也有少量的泡沫垃圾(<2%).另外,尽管海滩旅游区都设有垃圾回收装置,但海滩仍随处可见各类垃圾,包括泡沫碎片、塑料包装袋、塑料餐盒、鱼线、瓶盖、木板以及烟头等,更多是由海浪将海漂垃圾卷挟至海滩上所致.对于滨海景区海滩塑料垃圾组成,调查结果与国外海滩垃圾的组成有一定的差异.如美国墨西哥湾蒙特雷湾海滩除了塑料垃圾,还发现了橡胶、玻璃、金属、织物以及肥料颗粒等垃圾,其中聚乙烯泡沫塑料最多,占垃圾总量的 41%^[33]. Bravo 等^[34]对智利海滩的调查发现,除了塑料、香烟头以及玻璃碎片在海滩垃圾中占有较高比例,也发现布料以及聚苯乙烯泡沫快餐盒等垃圾,说明陆源生活垃圾是海洋塑料垃圾的主要来源,这与《中国海洋环境状况公报》^[25]报道一致.在滨海餐饮区,洞头开元宾馆(S13)以及霞关渔港饭店(S14)垃圾堆放点均发现了塑料瓶、塑料袋以及塑料盒,并且塑料袋与塑料瓶均是塑料垃圾的主要组成.

根据调查塑料垃圾的材质类型,可知不同行业区域塑料垃圾主要包括聚乙烯(PE)、高密度聚乙烯(HDPE)、聚酯(PET)、聚苯乙烯(PS)以及聚丙烯(PP)五类材质的塑料垃圾(图 4).其中 PE 材质的塑料垃圾尤其塑料购物袋最为普遍,占所有塑料垃圾重量比的 6.14%~100%,并且在 9 个调查区中 HDPE 塑料垃圾的重量比最高达到了 93.36%.与 PE 材质的塑料垃圾相比,PET 和 PS 塑料垃圾占比则相对较低,如 PS 塑料垃圾仅东沙渔港(S2,26.75%)及霞关镇海水养殖区(S6,23.66%)较高.在沿海旅游区,PP 材质的塑料垃圾普遍存在,重量比范围在 3.27%~27.82%.

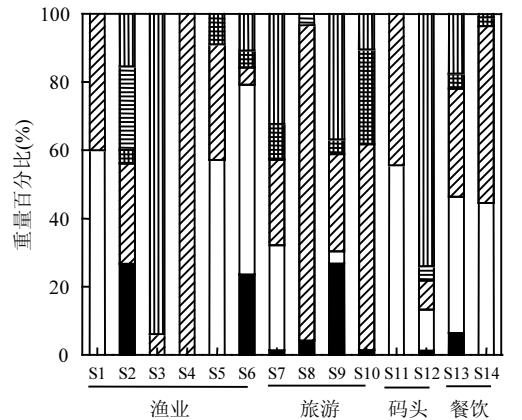


图 3 各行业区域不同类型塑料垃圾分布
Fig.3 Types of plastic litter in various region along Wenzhou coastal

■ 塑料块 ■ 塑料胶管 ■ 塑料盒 ■ 塑料袋
■ 塑料瓶 ■ 泡沫

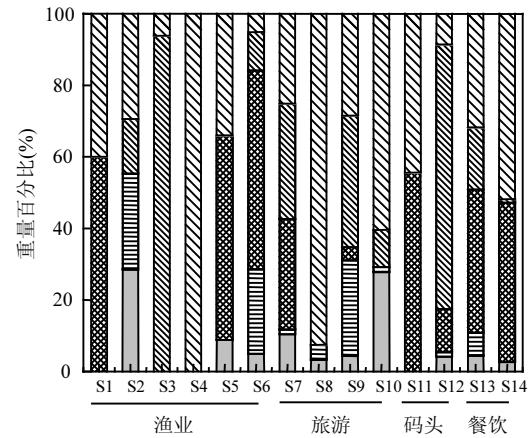


图 4 温州沿海海洋塑料垃圾类型
Fig.4 Types of marine litters along Wenzhou coastal

■ PE ■ HDPE ■ PET ■ PS ■ PP

2.2 温州市海滨塑料垃圾行业源贡献探讨

为从源头了解各行业对海洋塑料垃圾的贡献,本研究对海上渔业(包括渔业港口和海水养殖两部分)以及海滩旅游等行业的塑料垃圾年排放量进行了初步估算.结果表明(表 1),海水养殖塑料垃圾入海量贡献为 $1.09 \times 10^4 \text{ t/a}$,而渔业港口贡献相对较低,为 49.74 t/a .尽管海滩旅游的活动人数远大于海上渔业的从业人员人数,海上渔业的塑料垃圾年入海量仍远高于海滩旅游业($1.17 \times 10^3 \text{ t/a}$),这主要是由于在海上渔业生产活动中大量使用了泡沫浮箱和网片,长时间使用后因自然磨损和生物破坏导致大量废弃渔网和泡沫浮箱被丢弃入海而造成,这与该区域塑料垃圾主要是聚苯乙烯泡沫(用于浮箱和保

温箱)实际结果(图 3)一致。聚苯乙烯泡沫的广泛使用造成区域海洋微塑料污染^[35-37],是海洋微塑料的主要来源之一,这已在山东沿海^[35-38]和蒙古霍夫斯戈尔湖^[39]得到了证实。尽管本研究并未对因破损丢弃入海的捕捞渔网进行估计,但根据全球每年商业渔具丢弃量 0.13~13.5 万 t^[40-41],渔业捕捞废弃渔网对海洋塑料垃圾贡献量不容忽视。因此海上渔业(养殖和捕捞)对海洋塑料垃圾尤其泡沫塑料污染的贡献应引起高度重视。

在本研究中,温州滨海旅游业塑料垃圾年入海量为 1.17×10^3 t,明显低于加利福尼亚州洛杉矶县(3600t/a)^[42]以及俄勒冈州(9600t/a)海滩垃圾产生量^[43]。旅游区海滩垃圾的产生量与游客人数成正比^[44],洛杉矶县和俄勒冈州海滩游客人数远大于温州滨海旅游区海滩游客人数,所以其产生的塑料垃圾较温州旅游海滩更高。因此,旅游区海滩产生的塑

料垃圾仍不容忽视。另外,尽管本研究未能对海滩餐饮塑料垃圾入海量进行估算,但根据现场调查,渔业港口餐饮从业人员时有将餐厨垃圾和生活垃圾直接倾倒入海现象。对于航运码头,规模较大的国企码头(万吨级及以上)具备完整的垃圾回收机制,但小规模的民企码头(千吨级及以下)缺乏统一管理,存在各类垃圾(包括塑料垃圾)随意丢弃入海的普遍现象。

表 1 温州市重点行业塑料垃圾年排放量

Table 1 The discharging amount of plastic litter from various industries along Wenzhou coastal

项目	重点行业		
	海上渔业	海水养殖	合计
相关人口 n(万人)	1.7	1.5	3.2
塑料入海量(t/a)	49.74	1.09×10^4	1.09×10^4
			1.17×10^3

表 2 世界各地海滩塑料垃圾分布特征

Table 2 Distribution of beach plastic litter density in the world

海滩地点	成分和分布	平均密度(g/m ²)	文献
美国,安奇卡岛	塑料类垃圾主要是拖网、漂浮网、绳索、浮标	0.255	[48]
日本(日本海东)	塑料占垃圾总重 53.8%,塑料类垃圾主要是塑料碎块以及树脂颗粒	11.53	[31]
俄罗斯(日本海北)	塑料占垃圾总重 23.4%,塑料类垃圾主要是塑料碎块	1.34	[31]
约旦(红海)	塑料占垃圾总重 23.4%,主要是塑料碎块,塑料瓶以及塑料容器	850	[47]
印度孟买(阿拉伯海东)	塑料垃圾有塑料瓶,塑料碎块,塑料颗粒以及渔线等	3.24	[46]
中国,温州(东海西)	塑料占垃圾总重 43.75%,塑料垃圾主要是塑料袋、瓶等	2.72	本研究

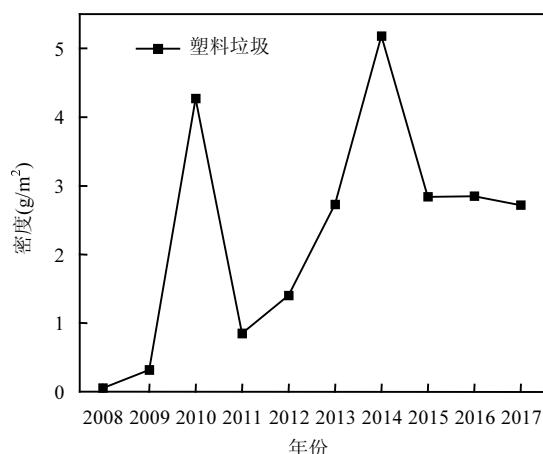


图 5 近 10 年温州市海滩塑料垃圾密度变化趋势

Fig.5 Trend of plastic density in recent ten year in the beach of Wenzhou

在当前温州沿海塑料垃圾排放强度下,温州海滩塑料垃圾密度低于全国海滩塑料垃圾的平均密度(3.62 g/m^2)^[45]。并且与国外相关调查相比,温州市海

滩的塑料垃圾密度也处于中等偏下的水平(表 2),接近于俄罗斯海滩塑料垃圾的平均密度 3.14 g/m^2 和印度海滩塑料垃圾的平均密度 3.24 g/m^2 ^[46],低于日本海滩塑料垃圾的平均密度 11.53 g/m^2 ^[31]以及约旦海岸塑料垃圾的平均密度 850 g/m^2 ^[47],但明显高于美国安奇卡岛海滩的塑料垃圾密度 0.255 g/m^2 ^[48]。结合《温州市海洋质量公报》^[49](2008~2016 年)(图 5),2015 年之后海滩塑料垃圾数量保持相对平稳(平均密度分别为 2.84 g/m^2 (2015)、 2.85 g/m^2 (2016) 和 2.72 g/m^2 (2017,本研究)),这可能与近年温州市实施严格的《海洋环境保护规划 2011~2020》^[50]有关。

2.3 海洋塑料垃圾管理政策建议

从本次温州沿海所调查行业排放大型塑料垃圾的结果可知,近海渔业活动(近岸水产养殖与渔业捕捞)对海洋垃圾的贡献量最大,而海洋航运的贡献量最小。为从源头控制海洋垃圾的输入,建议如下:

(1)完善国家海洋垃圾管理的相关法律制度。尽管2017年实施新修订的《中华人民共和国海洋环境保护法》对海洋倾倒废弃物做出明确规定,但尚未对沿海与海上生产生活垃圾排放做出明确规定,相关管理缺失。因此急需完善相关法律内容,为后续海洋垃圾管理提供法律依据;

(2)加强海洋渔业生产和生活活动中的塑料垃圾回收管理,加快养殖产业升级。对于养殖和捕捞活动中使用的渔网、浮筏、保温箱等渔具废弃物以及生活垃圾,实行分类和定点回收,建立严格的回收和监督体系^[51-52],并考虑与渔业税收和补贴等财政政策相关联,从源头切实削减入海塑料垃圾量。同时,应加快渔具替代品的研发和推广,如以强度较大聚苯烯浮桶替代当前的普遍使用聚苯乙烯泡沫浮箱。

(3)加强沿海码头和旅游区的环境综合治理。在渔业港口和滨海旅游区,划定餐饮区和商业活动范围,并与海岸线保持一定距离;限制生活塑料垃圾进入海水娱乐区。同时,考虑海边风力较大情况设定有效的垃圾回收装置。

(4)加强海洋垃圾防治的公众宣传和教育。从目前各国海洋垃圾管理来看^[53],公众意识不足和教育缺失是海洋塑料垃圾问题持续恶化的主要因素之一,因此急需加强沿海地区生产生活以及旅游等相关行业的海洋环境保护意识宣传,这是解决海洋垃圾污染的根本措施。

3 结论

温州滨海垃圾组成以塑料垃圾为主(平均密度为2.72g/m²),重量占比平均为43.72%。在各区收集的塑料垃圾中,塑料袋是垃圾主要组成。在沿海典型行业排放源中,海上渔业对海洋塑料垃圾贡献量最大,年入海量约为 1.09×10^4 t/a,而滨海旅游业贡献量相对较小,为 1.17×10^3 t/a。

参考文献:

- [1] Ainley D G, Spear L B, Ribic C A, et al. The incidence of plastic in the diets of pelagic seabirds in the eastern equatorial Pacific region [J]. Noaa Technical Memorandum, 1990:653–664.
- [2] Barnes D K A, Galgani F, Thompson R C, et al. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments [J]. Philosophical transactions – Royal Society. Biological sciences, 2009, 364(1526):1985–1998.
- [3] Provencher J F, Gaston A J, Mallory M L, et al. Ingested plastic in a diving seabird, the thick-billed murre (*Uria lomvia*), in the eastern Canadian Arctic [J]. Marine Pollution Bulletin, 2010,60(9):1406–1411.
- [4] Stevenson C. Plastic Debris in the California Marine Ecosystem [R]. California Ocean Science Trust, 2011.
- [5] Jang Y C, Hong S, Lee J, et al. Estimation of lost tourism revenue in Geoje Island from the 2011 marine debris pollution event in South Korea [J]. Marine Pollution Bulletin, 2014:49–54.
- [6] Sheavly S B, Register K M. Marine debris and plastics: environmental concerns, sources, impacts and solutions [J]. Journal of Polymers & the Environment, 2007,15(4):301–305.
- [7] Laist D W. Overview of the biological effects of lost and discarded plastic debris in the marine environment [J]. Marine Pollution Bulletin, 1987,18(6):319–326.
- [8] Denuncio P, Bastida R, Dassis M, et al. Plastic ingestion in Franciscana dolphins, *Pontoporia blainvilliei* (Gervais and d'Orbigny, 1844), from Argentina [J]. Marine Pollution Bulletin, 2011,62:1836–1841.
- [9] Clapham P J, Young S B, Brownell R L. Baleen whales: conservation issues and the status of the most endangered populations [J]. Mammal Review, 1999,29:35–60.
- [10] Mascarenhas R, Santos R, Zepellini D. Plastic debris ingestion by sea turtle in Paraíba, Brazil [J]. Marine Pollution Bulletin, 2004, 49(4): 354–355.
- [11] Moser M L, Lee D S. A fourteen-year survey of plastic ingestion by Western North Atlantic seabirds [J]. Colonial Waterbirds, 1992,15(1): 83–94.
- [12] Robards M D, Gould P J, Piatt J F. The Highest Global Concentrations and Increased Abundance of Oceanic Plastic Debris in the North Pacific: Evidence from Seabirds [M]. Springer New York, 1997: 71–80.
- [13] Bullimore B A, Newman P B, Kaiser M J, et al. A study of catches in a fleet of 'ghost-fishing' pots [J]. Fishery Bulletin–National Oceanic and Atmospheric Administration, 2001,99(2):247–253.
- [14] Eriksson C, Burton H. Origins and biological accumulation of small plastic particles in fur seal scats from Macquarie Island [J]. Ambio, 2003,32:380–384.
- [15] Besseling E, Fockema E M, Franeker V J A, et al. Microplastic in a macro filter feeder: humpback whale *Megaptera novaeangliae* [J]. Marine Pollution Bulletin, 2015,95(1):248–252.
- [16] Hardesty B D, Good T P, Wilcox C. Novel methods, new results and science-based solutions to tackle marine debris impacts on wildlife [J]. Ocean and Coastal Management, 2015,115:4–9.
- [17] Andrade A L. Microplastics in the marine environment [J]. Marine Pollution Bulletin, 2011,62(8):1596–1605.
- [18] Browne M A, Galloway T, Thompson R. Microplastic—An emerging contaminant of potential concern [J]. Integrated Environmental Assessment and Management, 2007,3(4):559–566.
- [19] Browne M A, Dissanayake A, Galloway T S, et al. Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel, *Mytilus edulis* (L.) [J]. Environmental Science and Technology, 2008, 42(13):5026–5031.
- [20] Cole M, Lindeque P, Fileman E, et al. Microplastic ingestion by

- zooplankton [J]. Environment Science and Technology, 2013,47(12): 6646–6655.
- [21] Wright S L, Thompson R C, Galloway T S. The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review [J]. Environmental Pollution, 2013,178(1):483–492.
- [22] Rochman C M, Tahir A, Williams S L, et al. Anthropogenic debris in seafood: plastic debris and fibers from textiles in fish and bivalves sold for human consumption [J]. Scientific Reports, 2015,14340.
- [23] Jambeck J R, Geyer R, Wilcox C, et al. Plastic waste inputs from land into the ocean [J]. Science, 2015,347(6223):768–71
- [24] 李 政,王丙辉.中日韩关于海洋垃圾处理的国际纠纷问题研究 [J]. 社会科学, 2012,6:95–102.
- [25] 国家海洋局.2016 年中国海洋环境状况公报 [Z]. 2016.
- [26] 国务院第一次全国污染源普查领导小组办公室.第一次全国污染源普查城镇生活源产排污系数手册 [M]. 北京:科学出版社, 2008: 4–6.
- [27] Kuniyal J C, Jain A P, Shannigrahi A S. Solid Waste Management in Indian Himalayan Tourists' Treks: A Case Study in and around the Valley of Flowers and Hemkund Sahib [J]. Waste Management, 2003, 23(9):807–816.
- [28] Thompson R C. Plastic debris in the marine environment: Consequences and solutions [J]. Marine Nature Conservation in Europe, 2006,193:107–115.
- [29] Debrot A O, Tiel A B, Bradshaw J E. Beach debris in curacao [J]. Marine Pollution Bulletin, 1999,38(9):795–801.
- [30] Whiting S D. Types and sources of marine debris in Fog Bay, Northern Australia [J]. Marine Pollution Bulletin, 1998,36(11):904–910.
- [31] Takashi K, Michio N. International survey on the distribution of stranded and buried litter on beaches along the Sea of Japan [J]. Marine Pollution Bulletin, 2003,47:175–179.
- [32] OSPAR Commission. Prevention is better than the cure when tackling marine litter in the North East Atlantic. OSPAR commission Press release, Victoria House 37e63Southampton Row London WC1B 4DA United Kingdom. October [R]. http://www.ospar.org/site/assets/files/1510/pr_15_marine_litter_21oct.pdf. 2014.
- [33] Roosevelt C, Huertos M L, Garza C, et al. Marine debris in central California: Quantifying type and abundance of beach litter in Monterey Bay, CA [J]. Marine Pollution Bulletin, 2013,71:299–306.
- [34] Bravo M, Gallardo M Á, Jorquera G L, et al. Anthropogenic debris on beaches in the SE Pacific (Chile): Results from a national survey supported by volunteers [J]. Marine Pollution Bulletin, 2009,58(11): 1718–1726.
- [35] Heo N W, Hong S H, Han G M, et al. Distribution of small plastic debris in cross-section and high strandline on Heungnam beach, South Korea [J]. Ocean Science Journal, 2013,48(2):225–233.
- [36] Lee J, Hong S, Song Y K, et al. Relationships among the abundances of plastic debris in different size classes on beaches in South Korea [J]. Marine Pollution Bulletin, 2013,77(1):349–354.
- [37] Lee J, Lee J S, Jang Y C, et al. Distribution and size relationships of plastic marine debris on beaches in South Korea [J]. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 2015,69(3):288–298.
- [38] Yamashita R, Tanimura A. Floating plastic in the Kuroshio current area, western North Pacific Ocean [J]. Marine Pollution Bulletin, 2007, 54(4):485–488.
- [39] Free C M, Jensen O P, Mason S A, et al. High-levels of microplastic pollution in a large, remote, mountain lake [J]. Marine Pollution Bulletin, 2014,85(1):156–163.
- [40] National Academy of Science. A report of the study panel on assessing potential ocean pollutants to the Ocean Affairs Board, Commission on Natural Resources, National Research Council, Washington, D.C [R]. Marine litter. In assessing potential ocean pollutants (Chapter 8). 1975:405–438.
- [41] Merrell T R J. Accumulation of plastic litter on beaches of Amchitka Island, Alaska [J]. Marine Environmental Research, 1980,3(3):171–184.
- [42] Cahn B. Muck and sand. Los angeles magazine, August [R]. 1984.
- [43] Neilsen J. The Oregon experience. Proceedings of a workshop on the fate and impact of marine debris 27–29 November 1984, Honolulu, Hawaii (R. S. Shumura and H. O. Yoshida, eds) [Z]. 1985:154–159.
- [44] 陈海滨,张黎,胡洋,等.风景区生活垃圾特性及产生量预测研究 [J]. 环境卫生工程, 2011,19(4):21–23.
- [45] 赵肖,綦世斌,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, 2016,29:1560–1566.
- [46] Jayasiri H B, Purushothaman C S, Vennila A. Plastic litter accumulation on high-water strandline of urban beaches in Mumbai, India [J]. Environmental Monitoring & Assessment, 2013,185(9): 7709–7719.
- [47] Alnajjar T, Alshiyab A. Marine litter at (Al-Ghandoor area) the most northern part of the Jordanian coast of the Gulf of Aqaba, Red Sea [J]. Natural Science, 2011,3(11):921–926.
- [48] Merrell T R J. A decade of change in nets and plastic litter from fisheries off Alaska [J]. Marine Pollution Bulletin, 1984,15(10):378–384.
- [49] 温州市海洋与渔业局.2008~2016 年温州市海洋质量公报 [Z]. 2008–2016.
- [50] 温州市海洋与渔业局.温州市海洋环境保护规划(2011~2020) [Z]. 2011.
- [51] 应玉飞,郑锐鑫.沿海地区城市垃圾处置及系统管理 [J]. 中国环境科学, 1993,3(1):44–48.
- [52] 杨凯,徐启新,王震.市场机制在白色污染物回收处置中的应用探讨 [J]. 中国环境科学, 2002,23(3):332–336.
- [53] United Nations Environment Programme. Discussion paper on barriers to combating marine litter and microplastics, including challenges related to resources in developing countries [R]. UNEP/AHEG, 2018.

作者简介: 邓婷(1994-),女,四川南充人,重庆大学硕士研究生,主要从事环境化学及污染控制研究,发表论文 1 篇。