

我国海洋塑料垃圾及微塑料的污染现状

彭丽花

广东环境保护工程职业学院环境工程学院, 广东 佛山

收稿日期: 2023年11月18日; 录用日期: 2023年12月22日; 发布日期: 2023年12月29日

摘要

海洋微塑料的污染现状和对海洋生物体的生态影响已成为国内外环境污染治理的热点问题。本文统计了我国2015~2022年初级形态的塑料、塑料制品的产生量和回用量, 分析了我国海洋塑料垃圾和微塑料的排放现状, 和微塑料污染形势, 总结分析了我国各海洋海域中微塑料的丰度、形状、成分和颜色; 并对我国部分海域中海洋生物体中的微塑料丰度、形状、成分和粒径做了统计分析, 以期为海洋塑料和微塑料污染的治理及管理提供基础数据支撑。

关键词

海洋塑料垃圾, 海洋微塑料, 污染现状

The Pollution Status of Marine Plastic Waste and Microplastics in China

Lihua Peng

School of Environmental Engineering, Guangdong Polytechnic of Environmental Protection Engineering, Foshan Guangdong

Received: Nov. 18th, 2023; accepted: Dec. 22nd, 2023; published: Dec. 29th, 2023

Abstract

The pollution status of Marine microplastics and their ecological impact on Marine organisms have become a hot issue in environmental pollution control at home and abroad. In this paper, the production and recycling amount of primary forms of plastics and plastic products in China from 2015 to 2022 are analyzed. The discharge status of Marine plastic waste and microplastics in China is analyzed, and the situation of microplastics pollution is analyzed. The abundance, shape, composition, and color of microplastics in various Marine areas in China were summarized and analyzed. The abundance, shape, composition, and particle size of microplastics in Marine organ-

isms in some sea areas of China were analyzed, to provide basic data support for the treatment and management of Marine plastics and microplastics pollution.

Keywords

Marine Plastic Waste, Marine Microplastics, Pollution Situation

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

塑料在全球广泛，塑料制品的使用已成为人们生活中不可或缺的用品。根据联合国的数据显示，从20世纪50年代到2022年，全球的塑料产量已经累计达100亿吨。并且，目前全球还在以每年4亿吨的速度生产塑料。预计到2050，将达到330亿t[1]。2021年联合国环境规划署发布《从污染到解决方案：对海洋垃圾和塑料污染的全球评估》的报告中指出，目前全球海洋中有约0.75~1.99亿吨塑料垃圾，占海洋垃圾总重量的85%。如果不采取有力的措施，预计到2030年每年进入海洋生态系统的塑料垃圾量将比2016年增加近两倍，到2040年将达到2300~3700万吨/年[2]。据统计全球每年塑料垃圾量中92%是由微塑料构成的[3]。具有强烈疏水特性和抗生物降解能力的微塑料，可以在海洋环境中长期稳定存在，在水力、风力、潮流和洋流的作用下，使其在海域中的分布范围非常广，有些甚至出现在两极附近海域[4]。目前已发现全世界233种海洋生物消化道内存在微塑料[5]。有研究表明微塑料可以通过食物链对海洋生物产生慢性毒性效应。本文对我国海洋塑料垃圾和微塑料污染现状进行了统计分析，为我国加强塑料和微塑料污染的治理提供参考。

2. 我国塑料产生和回收现状

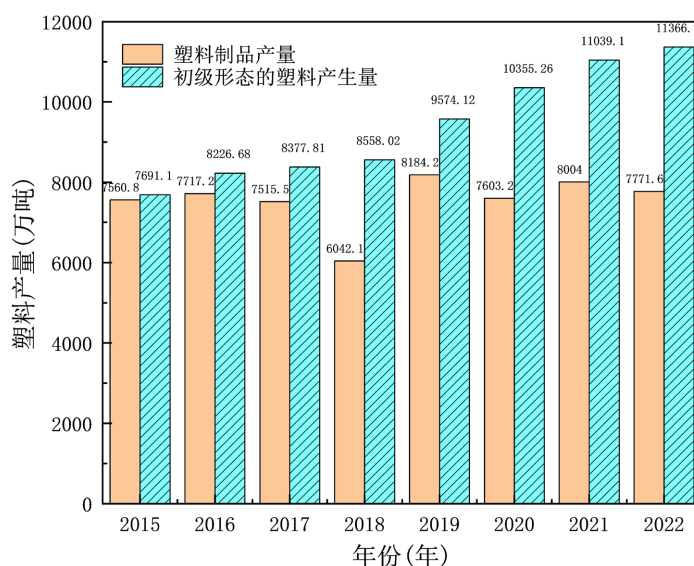


Figure 1. Production of plastic products and primary forms of plastic production in China from 2015 to 2022

图1. 我国2015~2022年塑料制品产量和初级形态的塑料产量

根据欧洲塑料协会统计数据,2022 年全球塑料制品产量为 4 亿吨左右,其中亚洲产量占比 51%,北美产量占比约在 19%。中国产量占比约 31%,全球塑料产量中占比最大。国家统计局公布的数据显示 2015~2022 年我国初级形态的塑料产量逐渐升高(图 1),2021 年为 11366.9 万吨,2015~2022 年我国的塑料制品产量平均为 75188.99 万吨。据李晔估算,我国人均塑料消费量为 97 kg/人[6]。2021 年,全国塑料制品产量为 8004 万吨,2022 年我国塑料制品产生量为 7771.6 万吨相对有所下降。2019 年中国塑料制品产量 8184.2 万吨,增速达 35.45%,一举突破 8000 万吨,为历史最高记录。

根据国家发改委发布的《中国再生资源回收行业发展报告》(2015~2022)公布的数据显示,我国塑料回收利用率为 21.04~30.29%,平均回收率仅为约 24%,最高值也仅 30.29%,塑料回收量在 1600~1900 万吨(图 2)。目前欧洲对塑料回收率大于 45%,德国高达 60% [7]; 欧盟预计 2030 年将塑料包装全部回收利用。从以上数据可以说明我国目前的塑料回收利用率与发达国家相距一大截,同时也说明我国废塑料存在很大的市场空间。

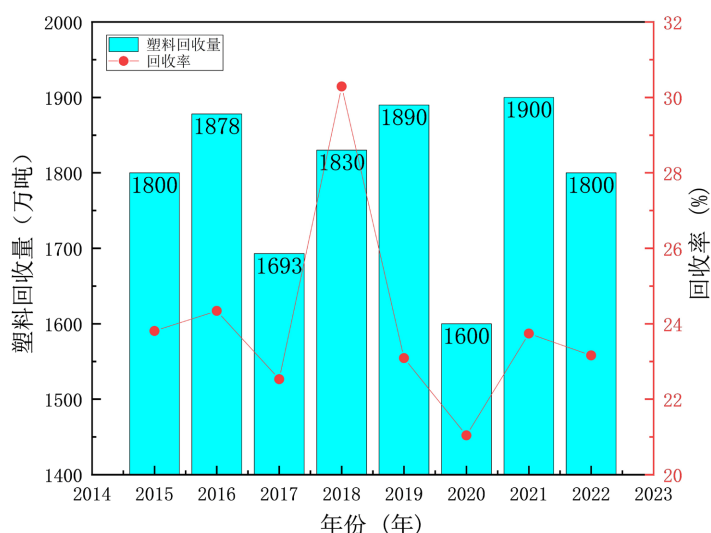


Figure 2. Plastic recycling amount and recovery rate in China
图 2. 我国塑料回收量及其回收率

3. 我国海洋塑料垃圾排放现状

在水力和风力的作用下,海洋垃圾进行远距离迁移是造成近岸海域污染的一个主要原因,已成为跨国和跨区的环境污染问题。2007 年,原国家海洋局对海洋垃圾污染进行监测和评估,并逐年则被国家监测点和监测范围,但由于海洋垃圾具有流动性的特点,其数值波动较大(见表 1)。我国近岸海域海洋垃圾的主要类型是塑料垃圾,在 2016 年~2022 年《中国海洋生态环境状态公报》[8]数据(该文涉及的全国数据均不包括港澳台地区数据)显示,海面漂浮垃圾、海滩垃圾和海底垃圾中塑料类垃圾每年比例都最高,数量分别占 84~92.9%、68~84.5%和 64~92.6%之间。沿海地区的陆地或海岸活动产生了约 80%海洋塑料垃圾,海上活动约产生 15 的海洋垃圾,其他则通过河流进入海洋[9]。由于海洋塑料垃圾监测系统不太完善,不同统计数据可能存在一定差异。但我国每年输入了大量的塑料垃圾到海洋中。

根据 2016~2022 年《中国海洋生态环境状态公报》的数据显示,从图 3 我国海底垃圾塑料占比在 2016~2019 年呈现逐年上升,在 2020 年有比较大的回落,2021~2022 有开始缓慢上升;在 2016~2020 年我国海滩垃圾中塑料垃圾的比例呈现逐年上升,在 2022 年达到最高,占比 84.50%。我国海面漂浮垃圾在 2021 年塑料垃圾占比最高为 92.90%,虽然 2022 年海面漂浮垃圾中塑料垃圾的占比较 2021 年回落了

6.7%，但随着越来越多的海滩塑料垃圾，将会造成海底塑料垃圾的积累和增加。

Table 1. Statistics on marine litter monitoring data in China since 2016~2022

表 1. 2016~2022 年我国海洋垃圾监测数据统计

年份	监测点个数	海洋漂浮垃圾			海滩垃圾			海底垃圾		
		数量(个/km ²)	密度(kg/km ²)	塑料占比%	数量(个/km ²)	密度(kg/km ²)	塑料占比%	数量(个/km ²)	密度(kg/km ²)	塑料占比%
2016	45	20 + 2235	65	84	70345	1971	68	1180	671	64
2017	49	20 + 2845	22	87	52123	1420	76	1434	43	74
2018	57	21 + 2358	24	88.7	60761	1284	77.5	1031	18	88.2
2019	49	50 + 4027	6.8	84.1	280043	1828	81.7	6633	15.9	92.6
2020	49	27 + 5363	9.6	85.7	216689	1244	84	7348	12.6	83.1
2021	51	24 + 4580	3.6	92.9	154816	1849	75.9	4770	11.1	83.3
2022	60	65 + 2859	2.8	86.2	54772	2506	84.5	2947	54.7	86.8

注：2016~2018 年海洋漂浮垃圾数量：以 2016 年为例 20 + 2235 (20 为大块和特大快漂浮垃圾平均个数，2235 中块和小块漂浮垃圾平均个数)；2019~2022 年海洋漂浮垃圾数量：以 2019 年为例 50 + 4027 (50 为海上目测漂浮平均垃圾个数，4027 为表层水体拖网漂浮垃圾平均个数)。

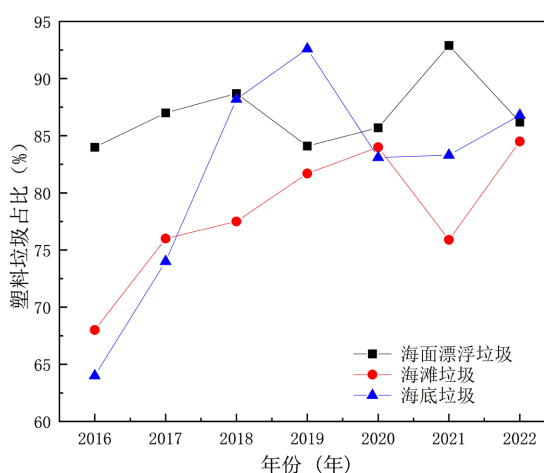


Figure 3. Proportion of plastic waste floating on the sea waters, beaches and seafloors in China from 2016 to 2022

图 3. 2016~2022 年我国近海海面、海滩以及海底垃圾中塑料垃圾的比例

4. 我国海洋微塑料排放现状

为初步掌握我国海洋微塑料分布特征，2016 年原国家海洋局在海洋垃圾监测工作基础上，组织开展表层海水、海滩、海洋生物体中微塑料试点工作，2017 年首次在南极、北极、太平洋和印度洋等公海关键海域开展将海洋垃圾与微塑料监测工作。根据 2016~2021 年《中国海洋生态环境状况公报》监测结果显示，2018~2021 年我国渤海表层水体微塑料平均密度约为 0.7~0.82 个/m³，如表 2，2017~2021 年我国黄海表层水体平均密度为 0.33~0.54 个/m³，2019~2021 年我国东海表层水体微塑料平均密度为 0.25~0.32 个

/m³, 2018~2021 我国南海表层水体微塑料平均密度为 0.15~0.18 个/m³, 在渤海、黄海、东海和南海中微塑料类型都有纤维和颗粒状, 主要成分有 PET、PP、PE。

Table 2. Average density, main types and main components of microplastics floating on the sea surface (Density unit: pieces/m³)
表 2. 海面漂浮微塑料平均密度、主要类型与主要成分 (密度单位: 个/m³)

年份	渤海	黄海	东海	南海	主要类型	主要成分
2021	0.74	0.54	0.22	0.18	纤维、泡沫、颗粒和碎片	PET、PP、PS 和 PE
2020	-	0.44	0.32	0.15	纤维、碎片、颗粒和线	PET、PP、PE
2019	0.82	-	0.25	-	线、纤维和碎片	PET、PP、PE
2018	0.7	0.4		0.18	碎片、纤维和线	PET、PP、PE
2017	0.04	0.33	0.07	0.01	颗粒、纤维和碎片状	聚苯乙烯和聚丙烯
2016	平均密度为 0.29 个/m ³ , 最高为 2.35 个/m ³				塑料碎片和颗粒	聚乙烯和聚丙烯

自 2014 年起我国的研究学者分别对各近岸海域、入海排污口、海岛和海湾深入开展了微塑料的调查及其特性研究, 表 3 归纳了我国海域中微塑料的丰度、主要成分、形状和颜色, 可以看出黄河口海域和青岛近岸海水浴场的微塑料丰度比较高, 分别为 8~15 个/L、 $5.05 \times 10^3 \sim 1.25 \times 10^4$ 个·m⁻³, 从监测到的微塑料形状、主要成分以及颜色类型分析, 形态占比最多的是纤维状, 胶州湾纤维占比 97.05%, 几乎所有的海域微塑料的类型有 PA、PE、PET、PP 等; 各海域中的微塑料主要颜色各不一样, 有以灰色为主的、有以黑色为主的、有以白色为主的、有以透明为主的, 颜色不一致主要是和海域附近居民使用塑料的习惯有关。

Table 3. Characteristics of microplastic pollution in surface waters of various sea areas in China

表 3. 我国各海域表层水体微塑料污染特征

序号	海域	丰度	主要成分	形状	颜色
1	浙江近岸海域[10]	40~320 个/m ³ , 均值: 144 个/m ³	PP、PE、PS、PA、PET、PMMA、PES、CE、TPEE 和 PLM	纤维状 86.1%, 其次为碎片状 12.5% 和薄膜状 1.4%	灰色 25.0%、蓝色 23.6%和白色 19.4%
2	天津近岸海域[11]	210~1170 个/m ³ , 均值: 612 个/m ³	PP-PE、ABS、CE、EP、PA、PE、PET、PP、PVC	纤维状 52.1%, 其次为碎片状 46.8% 和薄膜状 1.1%	黄色和红色 10.2%、黑色 26.3%、绿色 1.6%、蓝色 48.5%
3	青岛近岸海水浴场[12]	$5.05 \times 10^3 \sim 1.25 \times 10^4$ 个·m ⁻³ , 平均为 7.61×10^3 个·m ⁻³	PE、PP、PET、PS、PA、PVC、PMA、SB	纤维状(48.73%)、颗粒型 35.77%和碎片状 15.50%	白色 35.94%、透明 18.73%、黑色及彩色
4	天津入海排污口[13]	377.67 个/m ³	PVC、PA、PET、CE、ABS、EP、PP-PE、PMMA	纤维 75.13%、碎片 22.17%、薄膜状 2.7%	黑色 32.77%、黄色 15.93%、白色 7.33%、红色 11.8%、蓝色 19.97%、绿色 12.2%
5	黄河口海域[14]	8.0~15.0 个/L		纤维状 94.7%、片状 4.4%和薄膜 < 1%	黑色 42%、红色 34.8%、蓝色 17%、(透明、绿色、紫色、棕色和灰色) < 2%
6	锦州湾表层海水[15]	(0.93 ± 0.59) 个/m ³	聚丙烯 55.0%、聚乙烯 23.5%, 聚苯乙烯 7.6%, 聚乙烯和聚丙烯混合物占 7.1%, 聚对苯二甲酸乙二醇酯 6.1%	线状 41.7%、片状 26.2%和颗粒状 13.5%、纤维 7.3%、泡沫 6.1%、薄膜 4.5%	白色 35.1%、蓝色 26.0%和半透明微塑料 21.4%, 绿色 7.2%, 黄色 6.4%、灰色 1.0%、黑色 0.9%

Continued

7	海南岛南部近岸珊瑚礁区底层[16]	$2.64 \pm 2.01 \sim 19.16 \pm 5.39$ n·L ⁻¹	PET、PP、PE	纤维、碎片、薄膜和颗粒状	透明 72%~91%、白色 2%~10%、黑色、红色、黄色、绿色
8	辽西海洋海面微塑料[17]	0.47~8.08 个/m ³ , 平均值为 1.96 ± 2.29 个/m ³	PE (24.91%)、PS (21.57%)、PP (20.93%)、PP + PE (14.13%)、PET (11.61%)	纤维 32.46%、泡沫 21.11%、片状 16.68%、线状 14.6%、少量薄膜和颗粒状	红色、黄色、绿色、蓝色、紫色、黑色、灰色、白色、透明和半透明, 随季节变化占比有所变化 白色 25.62%, 灰色 16.75%□
9	辽东湾海水[18]	平均丰度为 1.22 n/L	聚乙烯 20.90%、聚(1-十八烯) 16.42%、聚(丙烯: 乙烯) 11.94%	纤维 57.73%; 碎片 32.99%; 薄膜 7.22%; 颗粒 2.06%	黑色 16.26%, 黄色 11.33%, 蓝色 6.90%, 红色 5.42%, 紫色 1.48%
10	莱州湾[19]	0.10~6.71 颗粒/m ³ , 平均丰度 1.70 ± 1.52 颗粒/m ³	PET (35.42%)、CP (27.23%)、PP (12.44%)	主要为纤维状 96.08%	-
11	胶州湾[20]	20 items/m ³ ~120 items/m ³ , 平均丰度为 46 ± 27 items/m ³	2017~2019 年都检出 PET、PE 和 PP	纤维状在 2019 年占比 97.5%, 碎片状、颗粒状和球状微塑料较少	主要为黑色 42.6% 和蓝色 23.8% (2019 年的检测数据)
12	江苏近海[21]	0.1441 ± 0.0864 个/m ³	PE 33.99%、PP 21.11%	纤维状 39.21%、颗粒状 28.43%、泡沫 4.96%	透明色 29.10%、蓝色 27.19%、绿色 10.97%、白色 9.36%
13	海州湾近海岸海域[22]	(2.60 ± 1.40) 个·m ⁻³	人造纤维 37.71% 和 PET 41.71%, PE、PP 和其他材质 20.58%	纤维状 91.12%、碎片状 5.78%、薄膜状 3.1%	蓝色 50.9%、黑色 22.2%、透明 12.8%、红色 10.1%、黄色 1.1%、其他 2.9%
14	南海表层水域[23]	0.02~3.45 n/m ³ , 平均丰度为 0.61 ± 0.87 n/m ³	PE 46.58%、PP 44.82%、PE-PP、PR、AR、PS、PEUR、PVC、PET	碎片 85.94%、线 6.45% 和纤维 2.73%、泡沫 1.95% 和薄膜类 0.78%	透明 72.95%、白色 14.84%、红色 4.59% 和绿色 4.59%

5. 海洋微塑料对海洋生物体的影响

粒径微小、数量多且不易被生物降解的海洋微塑料在海水表层和沉积物中大量分布, 容易被海洋中的无脊椎动物所摄入并在体内累积[24], 它们会对海洋中生物会产生毒性作用, 并可沿食物链传递, 进而威胁到人类的健康。通过表 4 可以看出不同海域中的海产品对微塑料都有一定量的摄入。不同海域海洋生物摄入的微塑料浓度不一致, 可能与当地海域的微塑料浓度有关。各海域中摄入的微塑料主要形状都是纤维状; 各生物体内微塑料主要成分有 PE、PET 和 PP, 但也有在环渤海潮间长牡蛎体内主要成分还有人造纤维, 东极青浜岛海洋里面的生物体内主要成分有人造丝。不同海域海洋生物对微塑料粒径的摄入也不尽相同, 但是粒径在 20~1000 μm 之间的微塑料摄入量最多。南极半岛磷虾及其兼捕生物体内微塑料总平均丰度为 0.44 ± 0.65 n/n, 整体上处于低污染水平; 渤海微塑料的检出率为 53.4%, 与国内外的研究相比, 渤海沉积物的塑料污染丰度处于中等偏下的水平, 但中小型上层滤食性鱼类通过滤食大量海水获取浮游生物饵料, 加之它们栖息的表层水域微塑料的丰度较高, 在滤食过程中能够直接从自然环境中摄入较多微塑料, 导致鱼类体内较高的微塑料污染水平; 南极半岛磷虾体内的微塑料整体上处于低污染水平; 陆化杰等研究发现南海鸢乌贼胃组织微塑料的沉积随着个体的生长而逐渐积聚。刘涛等研究发现黄东海浮游动物体内微塑料的丰度明显高于水体中的丰度, 处于较高营养级的浮游动物体内微塑料相对

更多, 这表明浮游动物对微塑料有富集的现象。以上所述虽然大部分海域海洋生物体内微塑料浓度是中等偏下水平, 但其体内的微塑料可能会通过食物链累积, 需要对其风险进行评估。

Table 4. The characteristics of microplastics in Marine products in relevant waters of China
表 4. 我国相关海域海产品中微塑料的特征

序号	海域	海洋生物	体内微塑料丰度及主要形状	体内微塑料成分	微塑料粒径
1	舟山海域 枸杞岛 [25]	紫贻贝	平均丰度为(1.39 ± 0.41)个/g, 纤维、碎片、薄膜	聚乙烯, 聚对苯二甲酸乙二酯以及聚丙烯	20~100 μm 占 67.8%、 100~1000 μm 占 16.9%、<20 μm 占 11.1%、>1000 μm 占 4.1%
2	环渤海潮间 [26]	长牡蛎	平均丰度为 2.03 个, 纤维 67%、碎片、薄膜和颗粒;	人造纤维、PET、PE、PP、PA、PS;	小于 500 μm 占 43.80%、 500~1000 μm 占 23.21%。
	渤海[27]	常见鱼类(大泷六线、白姑鱼和赤鼻棱鯉等)	丰度为 1.0 ± 1.2 items ind. ⁻¹ , 以纤维状为主	人造丝 RY (42.3%)和纤维素 CE (35.1%);	0.03~4.99 mm, 平均粒径为 1.08 mm, 以<0.5 mm 的颗粒占优势
3	东极青浜岛[28]	贻贝、大黄鱼、虎头鱼、横带髯鲷、螃蟹、黄螺	主要为泡沫、纤维类	PU 占 76.2%、PE 占 11.3%、PET 占 9.8%、PP 占 1.5%、PVC 占 0.7%和 PS 占 0.5%	20~50 μm 占比 75.83%、 50~100 μm 占比 18.04% 和 100 μm~1 mm 占比 6.13%
4	南极半岛 [29]	磷虾及其兼捕生物体	磷虾体内微塑料平均丰度为 0.38 ± 0.58 n/n, 主要为纤维状	主要成分为 PET, 次要成分为 PP;	平均粒径为 345 ± 198 μm, 粒径范围是 102~780 μm, 主要集中在 100~500 μm
5	中国莱州湾[30]	经济鱼类(鳎、褐牙鲆、短吻红舌鲷、许氏平鲈、矛尾虾虎鱼)	平均丰度为 1.8 ± 1.1 个/个体, 纤维 83.2%、颗粒 12.8%、碎片 4.0%	CP 占比最高(56.8%)。PET 25.7%、PP 14.9% 和 PVAc 2.7%	粒径范围介于之间, 平均粒径为 847.0 ± 799.5 μm。其中粒径在 101~500 μm 内的微塑料占比最高, 达 36.9%,
6	南海西沙群岛海域 [31]	鸢乌贼	0~6 个/尾, 平均 2.44 个/尾; 纤维状、球状和薄膜状	棉 50.0%、PET 21.6%、人造丝 10.2%、聚酯纤维 9.1%、聚苯乙烯泡沫塑料 4.5%、PE2.3%和丙烯酸塑料 2.3%;	长度范围为 0.121~2.748 mm, 平均长度为 0.878 mm, 75.0% 的微塑料长度小于 1 mm;
7	东海(温州近岸海域)[32]	磷虾和莹虾	磷虾体内微塑料丰度平均为 1.27 pieces/m ³ , 莹虾体内微塑料丰度平均为 1.06 pieces/m ³ ; 纤维状居多, 其次是颗粒状;	聚合有机氧化物占 35.90%, 聚酯纤维(涤纶)占 25.64%, 剩余 38.46% 是其他各种聚合物	—

6. 结语

海洋微塑料污染日趋严峻、无处不在, 对生态系统的危害及引起的健康风险受到广泛关注。目前我国针对进入河流水域的微塑料没有相关控制指标, 也还没有研发出针对微塑料的治理措施, 因此控制微塑料污的根本手段是控制塑料垃圾进入环境并进一步分解裂变成微塑料。海洋微塑料可通过食物链富集到哺乳动物及人体内, 相关研究较少, 有必要进一步研究微塑料对哺乳动物尤其是人类的潜在危害效应。

参考文献

- [1] Sharma, M.D., Elanjickal, A.I., Mankar, J.S. and Krupadam, R.J. (2020) Assessment of Cancer Risk of Microplastics Enriched with Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. *Journal of Hazardous Materials*, **398**, Article ID: 122994.
- [2] 杨松颖, 丁小慧. 应对塑料污染历史性协议——联合国环境大会同意制定防治塑料污染国际协议[J]. *世界环境*, 2022(2): 32-35.
- [3] Peng, B.Y., Chen, Z., Chen, J., et al. (2020) Biodegradation of Polyvinyl Chloride (PVC) in *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) Larvae. *Environment International*, **145**, Article ID: 106106. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106106>
- [4] Lechner, A., Keckeis, H., Lumesberger-Loisl, F., et al. (2014) The Danube So Colourful: A Potpourri of Plastic Litter Outnumbers Fish Larvae in Europe's Second Largest River. *Environmental Pollution*, **188**, 177-181. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.02.006>
- [5] Wilcox, C., van Sebille, E. and Hardesty, B.D. (2015) Threat of Plastic Pollution to Seabirds Is Global, Pervasive, and Increasing. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **112**, 11899-11904. <https://doi.org/10.1073/pnas.1502108112>
- [6] 李晔, 许文. 中国塑料制品市场分析与发展趋势[J]. *化学工业*, 2021, 39(4): 37-43.
- [7] 杨双春, 邓丹, 王晓珍, 等. 环境友好型塑料的研究进展[J]. *当代化工*, 2013, 42(3): 300-303.
- [8] 2021年中国海洋生态环境状况公报[J]. *环境保护*, 2022, 50(11): 59-67.
- [9] Eunomia (2016) *Plastics in the Marine Environment*. Eunomia Research & Consulting Ltd., Bristol.
- [10] 周筱田, 赵雯璐, 李铁军, 吴伟, 郭远明, 杨承虎. 浙江省近岸海域表层水体中微塑料分布与组成特征[J]. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2021, 47(3): 371-379.
- [11] 白璐, 刘宪华, 陈燕珍, 屠建波, 陈宏伟. 天津近岸海域微塑料污染现状分析[J]. *环境化学*, 2020, 39(5): 1161-1168.
- [12] 罗雅丹, 林千惠, 贾芳丽, 徐功娣, 李锋民. 青岛4个海水浴场微塑料的分布特征[J]. *环境科学*, 2019, 40(6): 2631-2638.
- [13] 陈宏伟, 陈燕珍, 刘宪华, 屠建波, 白璐. 天津入海排污口微塑料分布特征[J]. *海洋通报*, 2020, 39(4): 514-520.
- [14] 何健龙, 靳洋, 张超, 解镇蔓, 王晓霞, 于广磊. 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.
- [15] 曲玲. 锦州湾表层海水微塑料分布特征[J]. *海洋学报*, 2021, 43(2): 98-104.
- [16] 边伟杰. 海南岛南部近岸珊瑚礁生态系统微塑料/邻苯二甲酸酯类赋存特征及生态风险评估[D]: [硕士学位论文]. 三亚: 海南热带海洋学院, 2023.
- [17] 张婉晴. 辽西海洋垃圾和微塑料时空分布特征与来源分析[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连海事大学, 2022.
- [18] 凌玮. 辽东湾表层水体微塑料赋存特征及来源初步研究[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 东北大学, 2020.
- [19] 滕佳. 莱州湾微塑料污染特征及其对典型双壳贝类生态毒性效应研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国科学院大学(中国科学院烟台海岸带研究所), 2021.
- [20] 郑依璠. 胶州湾内微塑料的分布特征与沉积规律研究[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 自然资源部第一海洋研究所, 2020.
- [21] 王腾. 江苏近海微塑料污染特征、源解析及源排放研究[D]: [博士学位论文]. 南京: 南京大学, 2019.
- [22] 李征. 海州湾近岸海域海水及表层沉积物中微塑料种类及分布特征研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海海洋大学, 2020.
- [23] 李常军. 中国南海和东印度洋水体微塑料赋存、源汇和生态风险的研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 华东师范大学, 2022.
- [24] 龙邹霞, 余兴光, 金翔龙, 等. 海洋微塑料污染研究进展和问题[J]. *应用海洋学学报*, 2017, 36(4): 586-596.
- [25] 张文广, 李乃成, 唐志杰, 倪澍芊, 佟蒙蒙. 微塑料在舟山海域海产品中的污染状况分析[J]. *环境科学与技术*, 2019, 42(11): 61-65.
- [26] 冉文, 滕佳, 等. 环渤海潮间带长牡蛎微塑料富集特征研究[J]. *海洋通报*, 2018, 37(5): 583-590.
- [27] 许莉莉. 渤海环境介质和常见鱼类体内塑料污染特征研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国科学院大学(中国科学院海洋研究所), 2021.
- [28] 王迎春. 东极青浜岛海水、海滩和典型海产品中微塑料污染特征[D]: [硕士学位论文]. 舟山: 浙江海洋大学,

2022.

- [29] 曹樟. 南极半岛磷虾及其兼捕生物体内微塑料分布特征与生态风险评估[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海海洋大学, 2021.
- [30] 李晋军. 全球鱼粉及中国莱州湾经济鱼类微塑料污染特征调查[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津农学院, 2020.
- [31] 陆化杰, 刘凯, 陈子越, 宁欣, 王洪浩, 何静茹, 陈炫好. 南海西沙群岛海域鸢乌贼 *Sthenoteuthis oualaniensis* 胃组织微塑料沉积特性研究[J]. 海洋与湖沼, 2022, 53(1): 187-194.
- [32] 刘涛. 微塑料在黄东海的分布及其在浮游动物体内累积的研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国科学院大学(中国科学院海洋研究所), 2017.