

中国近海环境微塑料的分布现状及来源分析

王毅^{1*}, 周自立², 黎心宇³, 徐家琦⁴

¹三川德青科技有限公司 湖北武汉

²晶科能源股份有限公司 江西上饶

³湖北永业行评估咨询有限公司 湖北武汉

⁴中煤科工集团武汉设计研究院有限公司 湖北武汉

【摘要】微塑料作为新兴的污染物已遍布全球的每个角落，海洋环境中广泛存在的微塑料更是生态环境领域及海洋领域近年来重要的研究热点。以中国四大海区为例，总结了我国近海海水及沉积物微塑料的分布现状，分析了微塑料的来源，并对近海环境微塑料的研究方向进行了展望，以期为我国近海环境微塑料的污染防治提供科学依据。

【关键词】海水；沉积物；微塑料；分布；来源

The Distribution and Source Analysis of Microplastics in China Offshore Environment

Yi Wang^{1*}, Zili Zhou², Xinyu Li³, Jiaqi Xu⁴

¹SafeCleen Technologies Co., Ltd., Wuhan, China

²JinkoSolar Holding Co., Ltd., Shangrao, China

³Hubei Yong ye hang Appraisal Consulting Co.Ltd., Wuhan, China

⁴Wuhan Design & Research Institute Co., Ltd of CCTEG, Wuhan, China

【Abstract】Microplastics, as a new pollutant, had been found in every corner of the world. And microplastics, which were widely existed in the marine environment, had become an important research hotspot in the field of ecological environment and marine science. Taking the four major sea areas of China as an example, the distribution of microplastics in the sea water and sediments in China's offshore waters was summarized, the source of microplastics was analyzed, and the research direction of microplastics in the offshore environment was prospected, in order to provide a scientific basis for the prevention and control of microplastics pollution in China's coastal waters.

【Keywords】 Seawater; Sediment; Microplastics; Distribution; Source

微塑料系指不同颜色、形状及化学组成且粒径在 5mm 以下的塑料碎片的统称，欧洲战略框架指令机构按照尺寸范围将其进一步分为纳米微塑料（Nanoplastics，粒径<1 μ m）、小型微塑料（SMPs，粒径 1 μ m~1mm）、大型微塑料（LMPs，粒径 1mm~5mm）。微塑料按照来源又可分为初级微塑料（Primary microplastics，即生产生活中直接形成的塑料微粒，如生产塑料产品的塑料微粒原料，工业清洁剂及牙膏、化妆品、身体磨砂膏等一些个人护理用品中的塑料微粒）和次级微塑料（Secondary

microplastics，即大型塑料在波浪破碎^[1]、机械摩擦、搅动、紫外线光降解、热降解、微生物降解^[2]、水降解等作用下逐步形成的尺寸<5mm 的塑料碎片）。海洋环境中常见的微塑料包括聚乙烯（PE）、聚丙烯（PP）、聚苯乙烯（PS）、聚氯乙烯（PVC）及聚酯（PET）等^[3-4]。微塑料有“海洋中的 PM_{2.5}”之称，其粒径小而比表面积大，容易吸附海水环境中的持久性有机物（POPs）、重金属等水溶污染物，加之其自身还含有增塑剂、阻燃剂等添加剂成分，因此具有严重的生态风险。同时，微塑料极易被海

*作者简介：王毅（1993-）男，湖北咸宁，硕士，助理工程师。主要研究方向为环境污染控制理论与技术。

洋生物摄入, 并造成海洋生物的肠道阻塞、机械损害^[5]、食欲降低及生长减缓^[6]等, 此外, 通过食物链的传递与富集, 微塑料自身所含添加剂及所吸附的污染物还会导致更大的生态危害^[7], 甚至威胁到人体健康。我国属于塑料排放大国, 每年排入海洋的塑料垃圾高达 8.82×10^6 t, 占全球总量的 27.7%^[8], 如此巨量的塑料垃圾入海可能会导致难以预估的生态风险, 因此必须对我国近海环境的微塑料污染情况进行重点关注。2016 年, 微塑料已纳入我国海洋环境的常规监测范围, 并定期以《中国海洋生态环境状况公报》公布监测结果。本文拟通过总结归纳中国四大海区海水及沉积物环境微塑料的分布情况, 并分析微塑料的来源, 以期为我国近海环境微塑料的防治提供科学依据。

1 微塑料的分布

1.1 海水微塑料的分布

中国近海表层海水微塑料含量总体呈中低污染水平^[9], 根据生态环境部的调查报告^[10], 2020 年中国海洋海水微塑料平均含量为 0.27 n/m^3 , 且漂浮微塑料的含量呈: 黄海>东海>南海。对我国四大海区海水微塑料的分布情况进行统计分析(表 1), 可以发现微塑料的化学组成主要是 PE 和 PP 等; 即使在同一海区不同粒径微塑料的丰度差异也十分明显, 如黄海和南海; 同时已有研究对微塑料的采样方法和过滤孔径均有较大差异。

不同海区海水微塑料的含量、化学组成、外观及形态等存在一定的差异。Zhang 等^[11]研究表明渤海表层海水微塑料平均含量为 $0.33 \pm 0.34 \text{ n/m}^3$, 其化学组成主要为 PS、PP、PE 等, 且 PP 在粒径 $< 1 \text{ mm}$ 的微塑料中含量最高。Zhao 等^[17]研究发现黄海海水微塑料平均含量为 $0.13 \pm 0.20 \text{ n/m}^3$, 形状主要为碎片(41.7%)、薄膜(21.7%)、泡沫(19.1%)、纤维(16.6%)、其他(0.8%)、颗粒(0.1%), 微塑料的平均粒径为 $3.72 \pm 4.70 \text{ mm}$, 其最常见粒径为 $1200 \mu\text{m}$, 而化学组成则主要为 PP(32.20%)和 PE(55.93%)。刘涛等^[12]的研究显示东海表层海水微塑料的含量处于 $0.011 \sim 2.198 \text{ n/m}^3$, 平均为 0.31 n/m^3 , 微塑料主要化学成分为 PP(34.6%)和 PE(45.5%), 外观主要呈彩色(18.5%)和白色(71.9%), 形态主要为薄膜状(11.8%)、块状(21.4%)及泡沫状(54.8%), 且 88.6%微塑料长度处于 $500 \mu\text{m} \sim 5 \text{ mm}$

范围。南海海区表层海水微塑料分布情况与经济、人口等因素有关, 经济越发达、人口越多则微塑料含量相对越高^[13]。Cai 等^[14]发现南海海域小颗粒($0.02 \text{ mm} \sim 0.3 \text{ mm}$)微塑料平均含量为 $2569 \pm 1770 \text{ n/m}^3$, 占全部检测微塑料的 92%, 而大颗粒($0.3 \text{ mm} \sim 5 \text{ mm}$)微塑料平均含量仅为 $0.045 \pm 0.093 \text{ n/m}^3$, 微塑料的平均含量随粒度减小而呈现指数式增长。Wang 等^[15]研究则显示南海表层海水微塑料的含量为 $0.469 \pm 0.219 \text{ n/m}^3$, 南海表层海水共存在 8 种微塑料类型, 且以海洋涂料类[Gran_coat, 占 33.0%, 包括 PET、丙烯酸、聚酰胺(PA)、PVC、聚丙烯腈(PAN)、聚丙烯酰胺(PAM)等]和合成纤维类[Fib_thin, 占 29.6%, 包括环氧树脂、聚氨酯、PEA:PA、PS/PAE 等]微塑料为主; 同时微塑料的多样性指数随离岸距离增加而逐渐降低, 表明微塑料的多样性高低主要与其源的距离远近和输入方式有关。

1.2 沉积物微塑料的分布

对我国四大海区沉积物微塑料的分布情况进行统计分析(表 2), 同样可以发现微塑料的化学组成主要是 PE 和 PP 等; 已有研究对微塑料的分选有一定差异, 但基本采用 NaCl 溶液浮选后通过滤膜或筛的方法, 部分研究以 NaI 溶液代替 NaCl 溶液; 沉积物微塑料在东海的含量最低, 在渤海和南海的含量均较高, 渤海是内海, 陆源输入的微塑料容易在沿岸区域沉积, 而珠江的工业发展及北部湾的旅游、水产养殖等均可能是导致南海沉积物微塑料含量较高的原因。

受地理条件、人类活动、生物附着效应、高密度聚合物组成等众多因素影响, 不同海区沉积物微塑料的分布存在一定的差异。吴楠^[20]研究发现渤海湾近岸沉积物微塑料在河口区的含量(251.7 n/kg , 干重)显著高于非河口区(129.4 n/kg , 干重), 并认为人类活动及经济发展是影响微塑料存在与分布的主要因素, 同时通过估算发现渤海沉积物微塑料($0.06 \text{ mm} \sim 5 \text{ mm}$)总含量高达 $5.34 \times 10^{14} \text{ n}$; 微塑料的组成比例分别为纤维(54.5%)、碎片(25.7%)、泡沫(12.9%), 且小尺寸($< 1 \text{ mm}$)是微塑料的主要尺寸类型, 占比 27.4%。Zhang 等^[21]研究则表明渤海和黄海沉积物平均微塑料丰度分别为 137 n/kg 和 119 n/kg , 小粒径($< 1000 \mu\text{m}$)微塑料与总有机碳和细粒径沉积物具有相似的空间分布模式, 表明其

可能存在相似的陆源输入及运输机制; 大粒径 (>1000 μm) 微塑料在近岸海域表现为高值, 且与叶绿素 a 和聚对苯二甲酸乙二酯呈显著正相关, 表明大粒径微塑料可能受生物附着效应或高密度聚合物组成影响而在近岸沉积得更快。Zhang 等^[22]则发现黄海和东海沉积物微塑料中, 纤维 (77%) 是最常见的存在形态, 其后依次是碎片 (17%)、薄膜 (5%) 和颗粒 (1%); 外观方面主要呈现蓝色和透

明 (共占 64%); 同时 89% 的微塑料粒径 <1000 μm , 63% 的微塑料粒径 <500 μm ; 微塑料的组成比例主要为玻璃纸 (37.2%)、聚对苯二甲酸乙二酯 (21.6%)、PE (17.6%)、PET (11.8%)、丙烯酸 (9.8%)、纤维素 (2.0%)。在南海海区, 沉积物微塑料集中于珊瑚岛礁、北部湾、珠江水系及其他沿海岸带等, 其主要组成类型为 PP 和 PE, 形状以纤维为主, 颜色则透明居多^[13]。

表 1 中国四大海区海水微塑料的含量分布情况

调查海域	丰度 (n/m^3)	采样方法	主要化学组成	采样时间	参考来源
渤海	0.33 \pm 0.34	330 μm Trawling net	PS、PP、PE	2016 年 8 月	[11]
	0.33 \pm 0.36			2016 年 8 月	
渤海	0.22 \pm 0.21	Manta net		2016 年 10 月	
	0.30 \pm 0.52	(过滤孔径 330 μm)	-	2017 年 2 月	[16]
	0.53 \pm 0.45			2017 年 5 月	
黄海	0.44	-	-	2020 年	[10]
黄海	0.13 \pm 0.20	Bongo net	PE、PP	2015 年月~9 月	[17]
		(过滤孔径 500 μm)			
北黄海	545 \pm 282	Niskin Hydrophore	PE	2016 年 10 月	[18]
		(过滤孔径 30 μm)			
东海	0.32	-	-	2020 年	[10]
东海	0.167 \pm 0.138	Manta net	-	2013 年 8 月	[19]
		(过滤孔径 333 μm)			
东海	0.31	Bongo net (过滤孔径 500 μm)	PP、PE	2015 年 8 月~9 月	[12]
	0.045 \pm 0.093	Bongo net (过滤孔径 333 μm)	PET、PE、PP-PE 共聚物		
南海	2569 \pm 1770	pump (过滤孔径 44 μm)	聚酯树脂、聚己内酯 (PCL)、聚丙烯酸乙酯 (PEA)、PS 等	2017 年 3 月~5 月	[14]
南海	0.15	-	-	2020 年	[10]
南海	0.469 \pm 0.219	Neuston net	Gran_coat、Fib_thin	2017 年 8 月	[15]
		(过滤孔径 160 μm)			

表 2 中国四大海区沉积物微塑料的含量分布情况

调查海域	丰度 (n/kg, 干重)	分选方法	主要化学组成	采样时间	参考来源
渤海	31.1~256.3	NaCl 溶液浮选, 过 5 μ m 滤膜	PE、PVC	2016 年 9 月	[23]
渤海	(102.9 \pm 39.9) ~(163.3 \pm 37.7)	饱和 NaCl 溶液浮选, 过 1 μ m 滤膜	聚乙烯乙酸乙烯酯 (PEVA)、 低密度聚乙烯 (LDPE)、PS	2015 年 7 月	[24]
渤海湾	192.3 \pm 138.9	60%NaI 溶液浮选, 过 48 μ m 标准筛	PE、PP、PS	2019 年 (发表)	[20]
渤海	137	NaCl 溶液浮选, 过 48 μ m 不锈钢筛	人造纤维 (RY)、PET、玻璃纸、 PA、PE、PP、聚碳酸酯 (PC)	2019 年 4 月~5 月	[21]
渤海	171.8				
北黄海	123.6	饱和 NaCl 溶液浮选, 过 2 μ m 滤膜	RY、PE、PET、PP、PA	2016 年 6 月~7 月	[25]
南黄海	72.0				
北黄海	37.1 \pm 42.7	饱和 NaCl 溶液浮选, 过 30 μ m 钢筛	PP	2016 年 10 月	[18]
黄海	119	NaCl 溶液浮选, 过 48 μ m 不锈钢筛	人造纤维 (RY)、PET、玻璃纸、 PA、PE、PP、聚碳酸酯 (PC)	2019 年 4 月~5 月	[21]
黄海	15.5 \pm 6.1	NaI 溶液浮选, 过 8 μ m 滤膜	玻璃纸、聚对苯二甲酸乙二酯、 PE、PET、丙烯酸、纤维素	2017 年 3 月	[22]
东海	14.2 \pm 3.8				
南海珊瑚礁岛屿	(40 \pm 4)~ (610 \pm 11)	酸消化, 密度分离, 过 1.2 μ m 滤膜	PP、PE、PET	2016 年 1 月~7 月	[26]
茅尾海	(520 \pm 8)~ (940 \pm 17)	酸消化, 密度分离, 过 1.2 μ m 滤膜	PP、PE、PS	2018 年 10 月 (发 表)	[27]
香港海域	189 \pm 50	先后通过 5mm 和 0.3mm 筛, ZnCl ₂ 溶液密度分离, 消化	PE、聚对苯二甲酸乙二酯	2017 年 3 月~4 月	[28]

2 微塑料的来源分析

微塑料的来源主要可分为陆源输入、海源输入及海岸带垃圾堆放三类^[29], 其中陆源输入主要包括污水大量排放及河流-河口的输入等, Schmidt 等^[30]的研究显示全球海洋中的塑料垃圾有多达 88%~95%是由 10 条河流进入的, 其中长江、黄河、海河、珠江、阿穆尔河 (黑龙江)、湄公河 (澜沧

江) 等 6 条河流在我国或流经我国, 因此陆源输入是我国近海环境微塑料最不可忽视的来源; 海源输入主要来源于船只及海上平台的污染, 包括船舶生活污水排放、海上油井平台作业、塑料垃圾海上倾倒入后风化分解等均会导致微塑料输入; 海岸带垃圾堆放主要是指港口码头和沿岸海滩等人类活动聚集区域堆放的塑料垃圾、使用的橡胶轮胎和泡沫浮筒、

水产养殖过程使用的 PE 漂浮装置及渔网和饲料垃圾袋^[31]等在风化后形成的微塑料会向海洋环境中输送; 此外, 大气沉降也是海洋微塑料的来源之一。

我国不同海域微塑料来源有所差异, 不同来源的微塑料进入海洋环境后, 还会因季节性风海流、岛屿阻隔、河流及洋流运动、水交换等因素而进一步影响其输运过程。王晶等^[32]通过数值模拟发现, 季节性风海流对渤海海峡及沿岸微塑料的输运方向和速度影响显著, 陆源(沿岸主要入海口)输入渤海的微塑料往中部输送扩散的能力相对较弱, 多数呈沿岸输送, 且容易聚积于莱州湾、渤海湾及辽东湾等近岸区域; 由于渤海海峡南部庙岛群岛的阻隔, 仅少数渤海微塑料可输送至北黄海, 同时黄海的微塑料同样鲜能输送至渤海内部, 其多数沿辽东半岛北上输送或聚积于海峡北部。Mai 等^[33]对渤海及黄海水域、附近沙滩的研究表明海洋微塑料的最可能来源主要为 PS 泡沫容器、PE 绳网及钓线, 而内海(即渤海)微塑料浓度 \gg 公海(即黄海)则说明海洋微塑料主要源自于沿海或陆地活动产生的人为塑料废弃物。Zhang 等^[21]通过主成分分析-多元线性回归模型(PCA-MLRA)表明, 渤海微塑料主要来源于陆源输入(包装材料、纺织材料和日用品), 而海洋活动(渔业和海水养殖)是黄海微塑料的主要来源; 渤海微塑料主要输入途径为河流排放, 而黄海则为大气沉降。刘涛等^[12]通过化学组成、颜色及形态分析发现, 东海微塑料主要是陆源通过河流或海岸输入, 而微塑料的迁移及分布不均主要是受到河流及洋流运动影响。黄铀佳^[13]对南海海区微塑料来源进行了总结, 发现南海不同海域微塑料来源有所差异, 珠江主要受到工业化程度较高的影响, 工业废水及城市生活垃圾排放是其主要的污染来源; 香港西海岸的微塑料则大部分来源于珠江口的输入; 在广西北部湾海域, 微塑料则可能与旅游业、水产养殖业的发展及城市垃圾倾倒等有关, 如旅客随意丢弃的塑料产品(如塑料袋、塑料瓶及防晒霜等护理品)、水产养殖所用的泡沫纸和泡沫箱等均可能是微塑料的来源; 受到海水交换作用的影响, 南海西沙群岛微塑料可能来源于北部湾水系、珠江水系及滨海城市; 此外, 菲律宾、越南等东南亚国家人口众多且经济发展迅速, 其高污染而低附加值的工业生产可能也是南海微塑料污染的重要原因。

3 结论与展望

中国近海环境微塑料的含量总体仍处于中低污染水平, 我国对海洋微塑料的研究也尚处于起步阶段。无论是海水样品的采样方法, 还是沉积物样品的分选方法, 不同学者、不同海域的研究均存在较大的差别, 因此研究结果的可比性较差。目前我国对海洋微塑料的研究多停留在微塑料的分布、含量、外观、组成及影响等方面, 而在微塑料的迁移转化规律及其对海洋生物、生态系统的作用机制有所欠缺, 对微塑料的生态风险评估研究相对较少, 对微塑料环境毒性及生态毒理的研究也主要在实验室开展, 无法与复杂的海洋环境条件相匹配。因此, 未来应加强对海洋微塑料采样、分选及检测等技术的研究, 并建立相应的标准规范体系, 提升研究数据的质量、准确性及可比性; 同时, 应重视微塑料在海洋环境的迁移转化规律及其对海洋生物、生态系统的作用机制研究, 加强对微塑料的生态风险评估及治理技术研究, 并模拟复杂海洋环境条件对微塑料的环境毒性及生态毒理开展研究。在加强对已有微塑料污染研究的同时, 还应重视预防微塑料的污染, 我国早在 2007 年已颁布“限塑令”, 在缓解塑料污染问题方面取得了一定的成效, 但仍无法彻底根治塑料污染。因此, 应进一步建立健全塑料及微塑料的法律法规管理体系, 一方面从源头减少微塑料污染物的产生, 如立法禁止进口和生产使用塑料微粒的个人洗护用品或对塑料微粒数量加以限制等; 另一方面, 应加强对塑料垃圾的回收无害化处理或回收再利用。此外, 还应加强宣传教育, 提升公众对海洋微塑料污染危害的认识, 并结合立法限制公众对塑料产品的滥用与随意丢弃。

参考文献

- [1] Wang J D, Tan Z, Peng J, et al. The behaviors of microplastics in the marine environment[J]. *Marine Environmental Research*, 2016, 113: 7-17.
- [2] Engler R E. The complex interaction between marine debris and toxic chemicals in the ocean [J]. *Environmental Science and Technology*, 2012, 46: 12302-12315.
- [3] Andrady A L. Microplastics in the marine environment[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2011, 62: 1596-1605.
- [4] Rochman C M, Hoh E, Hentschel B T, et al. Long-term

- field measurement of sorption of organic contaminants to five types of plastic pellets: implications for plastic marine debris[J]. *Environmental Science and Technology*, 2013, 47: 1646-1654.
- [5] Lei L L, Wu S Y, Lu S B, et al. Microplastic particles cause intestinal damage and other adverse effects in zebrafish *Danio rerio* and nematode *Caenorhabditis elegans*[J]. *Science of The Total Environment*, 2018, 619-620:1-8.
- [6] Lo H, Chan K. Negative effects of microplastic exposure on growth and development of *Crepidula onyx*[J]. *Environmental Pollution*, 2018, 233:588-595.
- [7] Bergmann M, Gutow L, Klages M. *Marine Anthropogenic Litter*[M]. Berlin:Springer International Publishing, 2015.
- [8] Jambeck J R, Geyer R, Wilcox C, et al. Plastic waste inputs from land into the ocean[J]. *Science*, 2015, 347(6223):768-771.
- [9] 张蕾. 我国近海表层水体微塑料含量处于中低水平[N]. 光明日报,2020-09-26(004).
- [10] 中华人民共和国生态环境部.2020年中国海洋生态环境状况公报[R].2021.
- [11] Zhang W W, Zhang S F, Wang J Y, et al. Microplastic pollution in the surface waters of the Bohai Sea, China[J]. *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)*, 2017, 231:541-548.
- [12] 刘涛,孙晓霞,朱明亮,等.东海表层海水中微塑料分布与组成[J].*海洋与湖沼*,2018,49(01):62-69.
- [13] 黄铀佳.我国南海区微塑料的污染现状和未来展望[J].*海洋开发与管理*,2020,37(06):40-47.
- [14] Cai M, He H, Liu M, et al. Lost but can't be neglected: Huge quantities of small microplastics hide in the South China Sea[J]. *Science of The Total Environment*, 2018, 633:1206-1216.
- [15] Wang T, Zou X Q, Li B J, et al. Preliminary study of the source apportionment and diversity of microplastics: Taking floating microplastics in the South China Sea as an example[J]. *Environmental pollution*, 2019, 245:965-974.
- [16] 王晶. 渤海微塑料分布特征及输运过程的数值模拟研究[D].上海:上海海洋大学,2019.
- [17] Sun X X, Liang J H, Zhu M L, et al. Microplastics in seawater and zooplankton from the Yellow Sea[J]. *Environmental Pollution*, 2018, 242:585-595.
- [18] Zhu L, Bai H Y, Chen B J, et al. Microplastic pollution in North Yellow Sea, China: Observations on occurrence, distribution and identification[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 636:20-29.
- [19] Zhao S Y, Zhu L X, Teng W, et al. Suspended microplastics in the surface water of the Yangtze Estuary System, China: First observations on occurrence, distribution[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2014, 86 (1-2): 562-568.
- [20] 吴楠. 渤海湾近岸微塑料的污染分布特征及其与微生物相互作用研究[D].天津:天津大学,2019.
- [21] Zhang M Y, Lin Y, Booth A M, et al. Fate, source and mass budget of sedimentary microplastics in the Bohai Sea and the Yellow Sea[J]. *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)*,2021,294:118640.
- [22] Zhang C F, Zhou H H, Cui Y Z, et al. Microplastics in offshore sediment in the Yellow Sea and East China Sea, China[J]. *Environmental Pollution*, 2019, 244:827-833.
- [23] 代振飞. 渤海微塑料分布及其影响因素研究[D].烟台:中国科学院大学(中国科学院烟台海岸带研究所),2018.
- [24] 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.
- [25] 冉文. 黄渤海沉积物和牡蛎体内微塑料污染现状研究[D]. 烟台:中国科学院大学(中国科学院烟台海岸带研究所), 2018.
- [26] Zhang L L, Zhang S P, Wang Y H, et al. The spatial distribution of microplastic in the sands of a coral reef island in the South China Sea: Comparisons of the fringing reef and atoll[J]. *The Science of the Total Environment*, 2019, 688:780-786.
- [27] Li R L, Zhang L L, Xue B M, et al. Abundance and characteristics of microplastics in the mangrove sediment of the semi-enclosed Maowei Sea of the south China sea: New implications for location, rhizosphere, and sediment compositions[J]. *Environmental Pollution*, 2019, 244:685-692.
- [28] Cheang C C, Ma Y, Fok L. Occurrence and Composition of Microplastics in the Seabed Sediments of the Coral

- Communities in Proximity of a Metropolitan Area[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2018, 15(10):2270.
- [29] 许旺,梁鸿,马嵩,等.我国海岸带系统微塑料污染危害及治理对策[J].环境与可持续发展,2018,43(02):21-26.
- [30] Schmidt C,Krauth T,Wagner S. Export of Plastic Debris by Rivers into the Sea[J]. Environmental science & technology, 2017,51(21): 12246–12253.
- [31] 丁欢,吴思颖,公媛,等. 我国近海环境中微塑料研究进展[C]//面向全球变化的水系统创新研究——第十五届中国水论坛论文集,2017:281-285.
- [32] 王晶,赵骞,邢传玺.渤海微塑料输运过程的数值模拟研究[J].海洋湖沼通报,2021,43(02):58-66.
- [33] Mai L, Bao L J, Shi L, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons affiliated with microplastics in surface

waters of Bohai and Huanghai Seas, China[J]. Environmental Pollution, 2018, 241:834-840.

收稿日期: 2021 年 12 月 15 日

出刊日期: 2022 年 1 月 20 日

引用本文: 王毅, 周自立, 黎心宇, 徐家琦, 中国近海环境微塑料的分布现状及来源分析[J]. 地球科学研究, 2022, 1(1):14-20

DOI: 10.12208/j.jesr. 20220002

检索信息: 中国知网 (CNKI Scholar)、万方数据 (WANFANG DATA)、Google Scholar 等数据库收录期刊

版权声明: ©2022 作者与开放获取期刊研究中心 (OAJRC) 所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS