

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.03.010

# 江南地区缓流水体中微塑料的表现规律

吴香香<sup>1</sup>, 李大鹏<sup>1</sup>, 贾海峰<sup>2</sup>, 唐利<sup>3,4</sup>

(1. 苏州科技大学 环境科学与工程学院, 江苏 苏州 215009; 2. 清华大学 环境学院, 北京 100084; 3. 上海生态景观水环境工程技术研究中心, 上海 200031; 4. 上海市园林设计研究总院有限公司, 上海 200031)

**摘要:** 全球水环境中的微塑料污染日益引起人们的关注。针对江南水乡22条小型淡水河流,研究了微塑料(粒径<5 mm)的丰度、粒径、颜色和形状分布,调查了微塑料污染水平。研究发现,微塑料丰度为3.50~12.00个/L;就颜色而言,黑色微塑料占比最高,达到30.79%,高于蓝色(28.57%)、无色(21.59%)和红色(19.05%);就形状来说,纤维占比最高,达到85.40%,高于颗粒(5.40%)、薄膜(3.80%)和碎片(5.40%)。微塑料粒径主要集中在30~40 μm,占比为26.25%。可见,苏州古城区22条河流均不同程度地受到微塑料污染。这为进一步了解内陆淡水生态系统中的微塑料变化规律,以及制定相应的污染防控措施提供了有力支撑。

**关键词:** 微塑料; 丰度; 纤维; 江南水乡

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2022)03-0062-05

## Microplastic Pollution Characteristic in Slow-flowing Water in the South Region of the Yangtze River

WU Xiang-xiang<sup>1</sup>, LI Da-peng<sup>1</sup>, JIA Hai-feng<sup>2</sup>, TANG Li<sup>3,4</sup>

(1. School of Environmental Science and Engineering, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou 215009, China; 2. School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 3. Shanghai Engineering Research Center of Landscape Water Environment, Shanghai 200031, China; 4. Shanghai Landscape Architecture Design Institute, Shanghai 200031, China)

**Abstract:** The microplastic pollution in the global water environment has attracted increasing attention. Microplastics in the surface water samples collected from 22 slow-flowing water in Suzhou, a typical southern water town, were investigated. It was found that the abundance of microplastics reached 3.50–12.00 items/L. All of the plastics collected were categorized according to shape, color and size. Black (30.79%) was the dominant polymer; blue, transparent and red microplastics accounted for 28.57%, 21.59% and 19.05%, respectively. Fiber (85.40%) was the most abundant type; particles, films and fragments accounted for 5.40%, 3.80% and 5.40%, respectively. The particle size of microplastics was mainly concentrated in 30–40 μm, accounting for 26.25%. The results suggest that different levels of microplastic pollution occurs in slow-flowing surface water which can provide valuable references for

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX07205); 江苏省研究生实践创新计划项目(SJKY19\_2348)  
通信作者: 李大鹏 E-mail: ustldp@163.com; 贾海峰 E-mail: jhf@tsinghua.edu.cn

further understanding of microplastic pollution in inland freshwater ecosystems.

**Key words:** microplastic; abundance; fiber; southern water town

塑料的广泛使用改变了人们的生活方式。塑料经过风力、洋流、紫外线等物理化学作用后,被分解成粒径小于 5 mm 的微塑料,其引发的环境问题得到了全世界的关注<sup>[1-2]</sup>。微塑料具有比表面积大、疏水性强等特点,极易吸附水中的有机污染物<sup>[3]</sup>,吸附量高达环境浓度的 100 万倍<sup>[4]</sup>,污染物可通过食物链逐级积累,从而输送到高级生物体内,影响生物体生命行为。微塑料还可能释放某些污染物,从而对环境造成潜在风险<sup>[5]</sup>。因此,了解微塑料在环境中的归趋和行为是非常重要的。

海洋作为微塑料最主要的汇,目前已有大量关于海水中微塑料的研究<sup>[6]</sup>,甚至在海盐等非生物海产品中发现了微塑料<sup>[7]</sup>。近年来,人们对淡水环境中微塑料的研究逐步增多,但主要集中在湖泊等大型流域,如太湖<sup>[8]</sup>、洞庭湖<sup>[9]</sup>等,对城市内河的研究极少,特别是江南水乡这种长度短、水深浅、流速缓的小型河道,因此迫切需要了解小型河道的微塑料污染状况。

苏州是长江三角洲和太湖流域重要的城市之一,也是经济最为发达的城市之一。本研究立足于苏州古城区,调查了古城区 22 条河流的微塑料污染水平,旨在为制定城市内河微塑料污染防治策略提供数据支持和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 采样点及样品采集

采样点位于苏州古城区(姑苏区),地处长江三角洲和太湖流域,面积为 85.1 km<sup>2</sup>,常驻人口 95.8 万人。选取古城区 22 条河流并布置采样点,苏州古城共设置了 4 个水门:平门、娄门、蛇门和阊门,为了引水入城和排水,横向连通阊门和娄门,纵向连通平门和蛇门。阊门正处于 22 条河道的中心位置,因此以阊门为中心,将四周分为 A(序号 1~6)、B(序号 7~12)、C(序号 14)、D(序号 15~22)四个区域。河道基本参数如表 1 所示,均无黑臭现象。

从水体以下 0~5 cm 处收集表面水于 5 L 的样品罐中,在每个位置采集 3 个样本,并于 4 ℃ 下保存<sup>[10]</sup>,以进一步分析地表水中的微塑料。所使用工具和容器都用纯水(过 0.45 μm 玻璃纤维滤膜)洗

涤,避免污染水样。

表 1 苏州古城区河道参数

Tab.1 River parameters of Suzhou ancient city

序号	取样断面	河流	透明度/cm	全长/km	宽度/m	颜色
1	联城桥	十字洋河	43			灰
2	自由村桥	青龙河	92			深绿
3	青龙桥	山塘河	55	17.78	40	灰绿
4	虎阜桥	山塘河	52	17.78	40	浅绿
5	五泾浜闸	五泾浜	40			灰绿
6	冶坊桥	冶坊浜	46			灰绿
7	花莲路桥	新莲河	40			灰绿
8	校场桥	平门河	46	1.1	4	灰
9	中市桥	无名河	50	1.5	3~10	灰
10	华阳桥	东北街河	146	0.17	8~10	深绿
11	娄门桥	东北街河	51	0.17	8~10	灰
12	阊门	外城河	46			灰绿
13	齐门桥	环城河	48	16.5	100	灰
14	胜塘桥	桐泾河	46			灰
15	盘蠡桥	人大港	45			绿
16	裕棠桥	西塘河	50	17.87	6	灰绿
17	沧浪亭桥	沧浪亭河	45	0.34	5~20	浅绿
18	银杏桥	南园河	45	1.1	20~50	灰绿
19	觅渡桥	老运河	50			深绿
20	兴市桥	干将河	45			灰
21	姑胥桥	外城河	53			灰绿
22	泰让桥	胥江	54	28		灰绿

1.2 微塑料分离

采用两步过滤法从所收集的水样中提取微塑料。首先量取 2 L 水样,并用真空抽滤系统将水中的颗粒过滤到玻璃纤维滤膜上(0.45 μm)。然后使用 100 mL 体积分数为 30% 过氧化氢<sup>[11]</sup>将滤膜上的颗粒冲洗到锥形瓶中,密封,放于 65 ℃ 的振荡培养箱中,设置转速为 100 r/min,反应 72 h<sup>[12]</sup>以消化有机物(反复 3 次)。待反应完全后,再次进行抽滤,将滤膜保存于直径为 60 mm 培养皿中,以待进一步检测。

1.3 微塑料观察

采用尼康正置显微镜对可疑的微塑料进行观察,放大倍率为 40 倍<sup>[11-12]</sup>。微塑料根据颜色、粒径和形状进行分类。其中,颜色分为红色、黑色、蓝色、无色;形状分为纤维、颗粒、薄膜和碎片;粒径分

为 0~10、10~20、20~30、30~40、40~50  $\mu\text{m}$ 。

### 1.4 微塑料验证

从每个滤膜的中心区域随机选择 1~2 个粒子,在 FT-IR 衰减全反射模式<sup>[13]</sup>、分辨率为 4  $\text{cm}^{-1}$ 、扫描时间为 32 s 等条件下测量聚合物的组成。将光谱图用 OMNIC 软件进行处理,并与谱图库(Hummel Polymer Sample Library 等)进行比较,以验证聚合物类型,判断其是否属于微塑料。将匹配率达到 80% 的聚合物认定为微塑料,重新计算微塑料数量。

## 2 结果与讨论

### 2.1 微塑料的丰度

微塑料测定结果如图 1 所示。苏州古城区微塑料丰度值为 3.50~12.00 个/L,均值为(7.15±2.52) 个/L。在 22 个水样中,丰度较高的河流集中在 A 区和 D 区,如青龙桥[(11.67±0.24) 个/L]、银杏桥[(12.00±0.82) 个/L]、兴市桥[(11.00±0.82) 个/L],而丰度较低的区域集中在 B 区和 D 区,如阊门[(3.50±0.71) 个/L]、沧浪亭桥[(3.50±0.71) 个/L]和泰让桥[(3.50±0.41) 个/L]。C 区只有一条河流,丰度[(5.00±0.82) 个/L]不具可比性,其他三个分区的丰度均值排序为 A>D>B,依次为(8.58±1.67)、(7.02±2.80)、(6.36±2.10) 个/L。

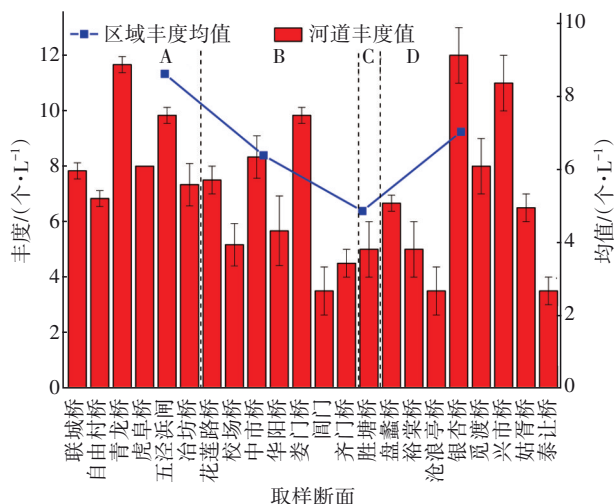


图 1 河道微塑料丰度

Fig.1 Abundance of microplastics

古城区处于市中心地带,且景点较多(如平江路、山塘街、园林等),人口流动活跃,因此人为活动是本地区微塑料污染的重要因素。江南水乡雨量充沛,年平均降雨量可达 1 100 mm,加之古城区河道管网错综复杂,加大了地表径流将陆地微塑料带

入河道中的概率。国内部分内陆水体的微塑料分析结果如表 2 所示。可见,苏州古城区的微塑料丰度与丹江口和扬子江接近,远高于岷江、椒江、瓯江和扬子江(沿海水域),最高可达到 10 倍。洞庭湖和洪湖的平均丰度比瓯江和椒江高 1~3.4 倍,表明大型湖泊的平均微塑料含量要比沿海水域高,而小型河道(江南水乡)又比大型湖泊(洪湖)的丰度高 3~6 倍,表明城市小型河流是微塑料的潜在来源。

表 2 中国内陆水体微塑料相关研究结果

Tab.2 Microplastic pollution in China's inland water system

地点	平均丰度/ (个·L <sup>-1</sup> )	主要形状	主要颜色	主要粒径/ $\mu\text{m}$
洞庭湖 <sup>[9]</sup>	1.12	纤维	彩色	<330
洪湖 <sup>[9]</sup>	2.28	纤维	彩色	<330
丹江口 <sup>[10]</sup>	6.09	纤维	蓝色	<2 000
三峡 <sup>[14]</sup>	4.70	纤维	透明	<1 000
岷江 <sup>[15]</sup>	1.25	纤维	彩色	<2 000
椒江 <sup>[15]</sup>	0.96	纤维	彩色	<2 000
瓯江 <sup>[15]</sup>	0.68	纤维	彩色	<2 000
扬子江 <sup>[16]</sup>	4.13	纤维	—	>500

### 2.2 微塑料的形状、颜色和粒径

微塑料颜色分布如图 2 所示,A 和 D 区域黑色占比较高,分别达到 9.74% 和 12.01%,B 区域丰度较高的是无色,占比为 8.25%,C 区域黑色占比较高为 1.30%。整个区域黑色占比相比于其他颜色高,达到 30.79%,红色、无色和蓝色占比分别为 19.05%、21.59%、28.57%。如表 2 所示,其他内陆水体主要以彩色为主。塑料在维持人们现代生活的舒适性方面起着重要作用,而着色是提高塑料产品市场吸引力的常用手段,因此彩色的微塑料占绝大多数。江南水乡水运交通发达,画舫游船是江南水乡的特点,黑色的微塑料可能来自游船的绳索材料,也可能是上游的微塑料顺着水流传到下游。

微塑料形状按碎片、薄膜、颗粒、纤维分类,以纤维为主,比例达到 85.40%,其次是颗粒状(5.40%)、碎片(5.40%)和薄膜(3.80%)。如图 3 所示,A、B、C、D 四个区域纤维状微塑料占比最高,分别达到 27.62%、24.44%、2.86% 和 30.47%。生活污水排放是纤维的主要来源<sup>[17]</sup>,且 80% 以上的纤维是合成纤维。地表径流和空气携带的纤维型微塑料,在短期内能显著提高小型水体中纤维的浓度,这些纤维一旦进入水体并发生扩散,就会影响

整个河网的微塑料污染特征。

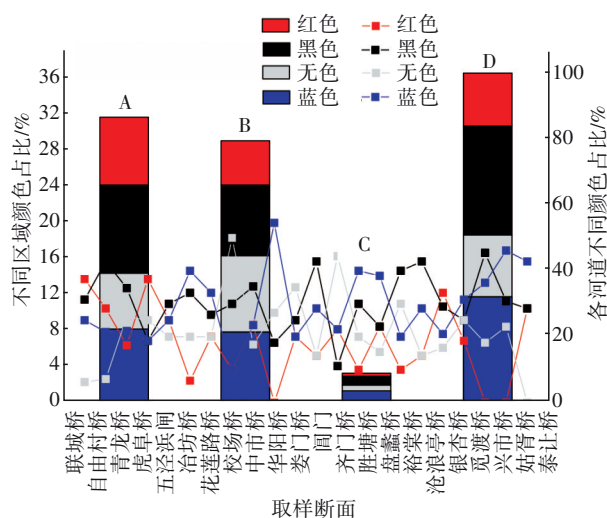


图2 微塑料颜色分布

Fig.2 Distribution of microplastic color

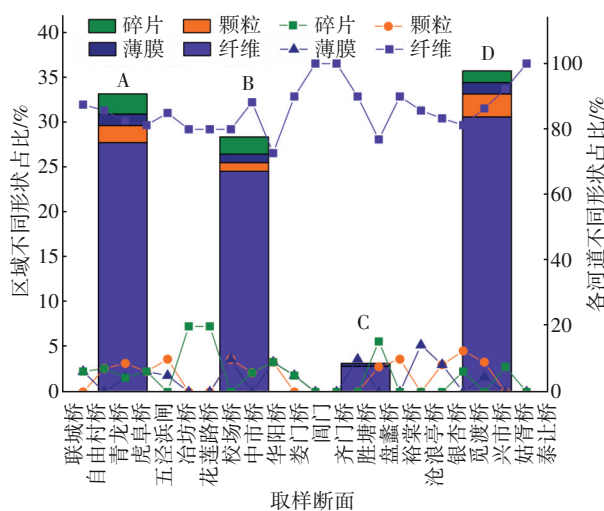


图3 微塑料形状分布

Fig.3 Distribution of microplastic shapes

整个区域中微塑料粒径均小于 $50\mu\text{m}$ (见图4),且 $30\sim 40\mu\text{m}$ 的微塑料数量最多。微塑料的粒径分布如图5所示, $0\sim 10$ 、 $10\sim 20$ 、 $20\sim 30$ 、 $30\sim 40$ 和 $40\sim 50\mu\text{m}$ 占比分别为22.50%、24.38%、26.25%、15.00%和13.75%。该结果比先前研究的微塑料粒径小很多,如扬子江只测了 $500\mu\text{m}$ 以上的微塑料,忽略了小于 $500\mu\text{m}$ 的微塑料。小尺寸微塑料颗粒的比例高可能是因为大塑料可以分解成更小的碎片。纤维是主要类型,可以推断大多数检测到的微塑料是由较大的塑料制品产生的。塑料颗粒越小,越容易在食物链中传递,可能对水生生物构成潜在威胁。

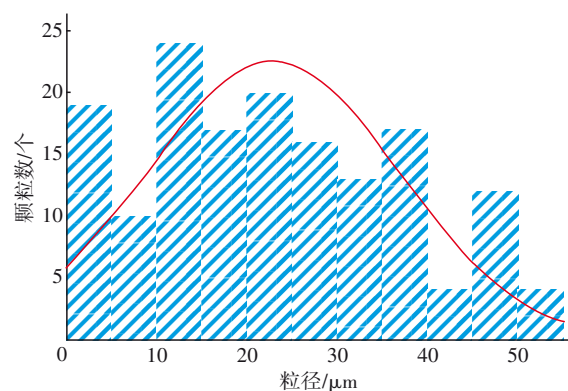


图4 整个区域粒径分布

Fig.4 Distribution of microplastic size

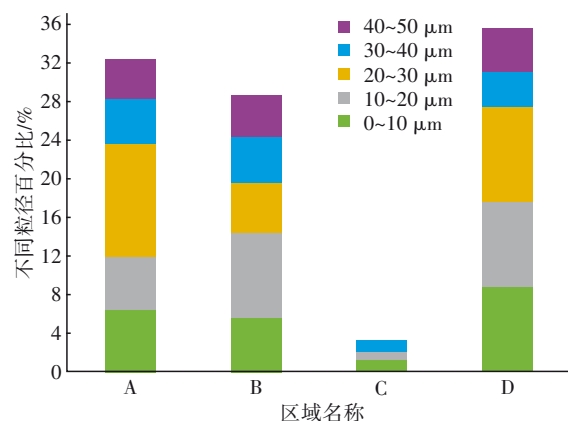


图5 不同区域微塑料粒径分布

Fig.5 Distribution of size of different regions

### 3 结论

① 江南水乡22条小型河道地表水样中的微塑料丰度为 $3.50\sim 12.00$ 个/L,平均值为 $(7.15\pm 2.52)$ 个/L,比沿海水域和内陆大型湖泊的丰度高。微塑料主要类型为颜色各异的纤维、颗粒、薄膜和碎片。纤维状(85.40%)和黑色(30.79%)的微塑料占比最高。100%的微塑料粒度均在 $50\mu\text{m}$ 以下, $20\sim 30\mu\text{m}$ 占比最高为26.25%, $40\sim 50\mu\text{m}$ 占比最低为13.75%。

② 水文条件和人文因素是影响微塑料空间分布的主要因素。老城区微塑料丰度较高,表明人口密集、河流错综复杂、降雨充沛、高度城市化地区的微塑料污染水平较其他地区要高得多。

### 参考文献:

- [1] 吴君怡,张燕,李宁远,等. 中国水环境微塑料污染及水处理工艺对其去除效果[J]. 中国给水排水,2020,36(16):17-23.

- WU Junyi, ZHANG Yan, LI Ningyuan, *et al.* Microplastic pollution in China water environment and the effect to water treatment process on microplastics removal [J]. *China Water & Wastewater*, 2020, 36 (16):17-23(in Chinese).
- [2] SATHISH N, JEYASANTA K I, PATTERSON J. Abundance, characteristics and surface degradation features of microplastics in beach sediments of five coastal areas in Tamil Nadu, India[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2019, 142(2):112-118.
- [3] 康佩颖, 稽斌, 卫婷, 等. 污水厂中微塑料的来源与分析方法[J]. *中国给水排水*, 2020, 36(22):29-36.
- KANG Peiying, JI Bin, WEI Ting, *et al.* Overview of sources and analysis methods of microplastics in wastewater treatment plants [J]. *China Water & Wastewater*, 2020, 36(22):29-36(in Chinese).
- [4] MATO Y, ISOBE T, TAKADA H, *et al.* Plastic resin pellets as a transport medium for toxic chemicals in the marine environment [J]. *Environmental Science and Technology*, 2001, 35(2):318-324.
- [5] 郝晓地, 翟学棚, 吴远远, 等. 微塑料在污水处理过程中的演变与归趋[J]. *中国给水排水*, 2019, 35(8):20-26.
- HAO Xiaodi, ZHAI Xuepeng, WU Yuanyuan, *et al.* Evolution and fate of microplastics in sewage treatment [J]. *China Water & Wastewater*, 2019, 35(8):20-26 (in Chinese).
- [6] ZHANG K, SHI H, PENG J, *et al.* Microplastic pollution in China's inland water systems: a review of findings, methods, characteristics, effects, and management [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 630:1641-1653.
- [7] YANG D, SHI H, LI L, *et al.* Microplastic pollution in table salts from China [J]. *Environmental Science and Technology*, 2015, 49(22):13622-13627.
- [8] SU L, XUE Y, LI L, *et al.* Microplastics in Taihu Lake, China [J]. *Environmental Pollution*, 2016, 216:711-719.
- [9] WANG W, YUAN W, CHEN Y, *et al.* Microplastics in surface waters of Dongting Lake and Hong Lake, China [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 633:539-545.
- [10] DI M, LIU X, WANG W, *et al.* Manuscript prepared for submission to environmental toxicology and pharmacology pollution in drinking water source areas: microplastics in the Danjiangkou Reservoir, China [J]. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 2019, 65 (8):82-89.
- [11] 王昆, 林坤德, 袁东星. 环境样品中微塑料的分析方法研究进展[J]. *环境化学*, 2017, 36(1):27-36.
- WANG Kun, LIN Kunde, YUAN Dongxing. Research progress on the analysis of microplastics in the environment [J]. *Environmental Chemistry*, 2017, 36 (1):27-36(in Chinese).
- [12] KÄPPLER A, FISCHER M, SCHOLZ-BÖTTCHER B M, *et al.* Comparison of  $\mu$ -ATR-FTIR spectroscopy and py-GCMS as identification tools for microplastic particles and fibers isolated from river sediments [J]. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2018, 410 (21):5313-5327.
- [13] LI C, BUSQUETS R, CAMPOS L C. Assessment of microplastics in freshwater systems: a review [J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 707:135578.
- [14] DI M, WANG J. Microplastics in surface waters and sediments of the Three Gorges Reservoir, China [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 616/617:1620-1627.
- [15] ZHAO S, ZHU L, LI D. Microplastic in three urban estuaries, China [J]. *Environmental Pollution*, 2015, 206(8):597-604.
- [16] ZHAO S, ZHU L, WANG T, *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.
- [17] 马思睿, 李舒行, 郭学涛. 微塑料的老化特性、机制及其对污染物吸附影响的研究进展[J]. *中国环境科学*, 2020, 40(9):3992-4003.
- MA Sirui, LI Shuxing, GUO Xuetao. A review on aging characteristics, mechanism of microplastics and their effects on the adsorption behaviors of pollutants [J]. *China Environmental Science*, 2020, 40(9):3992-4003 (in Chinese).

作者简介: 吴香香(1996-), 女, 江苏南通人, 硕士研究生, 从事水污染控制理论与技术研究。

E-mail: m1825112665@163.com

收稿日期: 2020-11-20

修回日期: 2021-01-05

(编辑: 李德强)