



## 湖泊中微塑料分布特征综合实验设计

赵玉凤, 杨 晨, 吴桂萍, 徐 梦, 崔龙哲

(中南民族大学 资源与环境学院, 武汉 430074)

**摘要:** 微塑料作为新污染物, 具有体积小、难降解、持久性等特点, 表面性质容易受环境条件的影响而发生改变, 成为环境中其他污染物迁移的风向标, 造成潜在的生态环境风险。该文以武汉南湖为例, 通过系统布点, 采集南湖岸边沉积物样品, 利用光学显微镜和红外光谱查明沉积物中微塑料的丰度、形态、颜色和成分, 并分析微塑料主要来源。该实验设计将环境新污染物微塑料作为研究对象, 融合了基础教学和科研热点, 具有综合性、应用性和探究性, 有利于培养学生的创新实践能力和科研素养。

**关键词:** 微塑料; 湖泊; 分布特征; 综合实验设计

中图分类号: X132

文献标志码: A

DOI: 10.12179/1672-4550.20230323

## Comprehensive Experimental Design of Distribution Characteristics of Microplastics in Lake

ZHAO Yufeng, YANG Chen, WU Guiping, XU Meng, CUI Longzhe

(College of Resources and Environment, South-Central Minzu University, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** Microplastics (MPs), as an emerging pollutant, have the characteristics of small size, difficulty degradation, and persistence. Moreover, their surface properties are easily affected by environmental conditions, making them a vane for the migration of other pollutants in the environment, causing potential ecological and environmental risks. Taking Nanhu Lake in Wuhan as an example, the sediment samples on the shore of Nanhu Lake are collected through systematic point setting. The abundance, morphology, color, and composition of microplastics in sediments are identified by optical microscopy and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), and the main sources of microplastics are analyzed. Taking microplastic as the experimental object, the designed experiment integrates basic teaching and scientific research hotspots, making it be comprehensive, applicable and exploratory. The study is conducive to cultivating students' innovative and practical ability and scientific research literacy.

**Key words:** microplastics; lake; distribution characteristics; comprehensive experimental design

微塑料(microplastics)作为新污染物受到人们越来越多的关注, 通常将粒径小于 5 mm 的塑料颗粒定义为微塑料<sup>[1-2]</sup>。塑料在生活生产中的普遍使用性和不易降解性, 被视为威胁人类健康和湖泊生态环境的污染物之一<sup>[3-4]</sup>。水体中的微塑料在紫外和热辐射、物理磨损、化学氧化和生物等共同作用下, 会发生不同程度的老化, 导致表面出现裂纹, 引起比表面积增大和含氧官能团增加, 增强其与重金属、有机污染物和有害微生物的吸附能力, 从而成为污染物迁移扩散的载体<sup>[3-5]</sup>。武汉市地处江汉平原东部、长江中游, 具有丰富水资

源, 湖泊密布, 被称作百湖之城。湖泊作为内陆水体污染物的汇聚地, 近年来其微塑料污染逐渐成为研究热点<sup>[6]</sup>。

南湖是武汉市仅次于东湖和汤逊湖的第三大城中湖, 周边人口密度大, 水环境质量易受人类生产生活等方式干扰, 加之南湖自身水动力学条件差, 使得污染物不易扩散, 水质相对较差。为了调查武汉市南湖沉积物中微塑料污染现状, 本研究对南湖周边进行布点, 采集闸污水溢流口及典型生活近岸区沉积物作为实验样品, 通过光学显微镜对沉积物中微塑料的丰度、形态及颜色进

收稿日期: 2023-07-03

基金项目: 中南民族大学教师教学发展中心课程改革专题研究项目(JGZX202016); 中南民族大学教研项目(JYX24022)。

作者简介: 赵玉凤, 博士, 副教授, 主要从事污染控制工程方面的研究。E-mail: zhaoyf@scuoc.edu.cn

行分析，利用傅里叶红外光谱确定微塑料成分，并对其可能的污染来源进行分析。

### 1 实验部分

#### 1.1 调研区域

南湖是武汉三大城中湖之一，位于武汉市武昌区南部，地处东经 114°20'33"~114°23'22"，北纬 30°28'55"~30°29'45"，与东湖、沙湖、汤逊湖、黄家湖等湖水组成武汉市自然水体地下水网，其水域面积约为 763.96 公顷(2013 年统计)。南湖水温适宜，地理位置优越，是武汉多所高校、社区的水生态系，周边有 6 所大学、1 所中学及多个社区。

#### 1.2 样品采集

本实验用 ArcGis10.7 进行采样布点，沿南湖周边共布设了 11 个采样点如图 1 所示，利用抓泥

斗采集湖泊沿岸带沉积物，每个采样点采集 3 个平行样品。采集的沉积物置于烘箱中，于 60 °C 以下干燥 6 h。每间隔 1 h 用非塑料制品的毛刷刷动沉积物，使其疏松不板结，便于浮选液与沉积物充分接触，分离微塑料。

#### 1.3 样品处理

将风干后的样品过 5 mm 筛，利用密度离心法对样品中的微塑料进行提取。称取 100 g 过筛样品置于 500 mL 烧杯中，并加入 250 mL 的饱和氯化钠溶液(1.2 g/cm<sup>3</sup>)，在玻璃棒搅拌下将上浮液和沉积物混合均匀，收集上清液，过滤后立即冲洗，置于真空干燥箱进行干燥。然后使用饱和 NaI 溶液(1.8 g/cm<sup>3</sup>)将样品转移至离心管内，以 6000 r/min 离心 15 min，将上悬液过滤至滤膜，用非塑料制品的毛刷将滤膜上的样品刷入 30 mL 的玻璃瓶中，通过蒸发获取微塑料浓缩样品。



图 1 研究区采样点分布图

#### 1.4 样品分析

使用光学显微镜观察提取的微塑料，根据微塑料的颜色、形貌及粒径对微塑料进行分类、统量。样品中微塑料丰度单位为 n/kg(个/千克)，实验结果以均值±标准误差的形式表示。用 Origin 2018 绘制微塑料的平均丰度，并对不同采样点微塑料的形态特征及丰度进行分析。利用扫描电子显微

镜(SEM, ZEISS, Sigma HD, 德国蔡司公司)对微塑料形貌进行表征；利用傅里叶变换衰减全反射红外光谱(ATR-FTIR, Nicolet iS50, Thermo Scientific, 美国)检测聚合物的主要成分，匹配度超过 70% 可鉴定为塑料成分。测试方法为首先扣除空气背景，光谱范围为 4000~450/cm，扫描次数设置 32 次，然后扣除扫描中的 CO<sub>2</sub> 峰及水峰，

选择单点反射模式为常规检测方法, 光谱范围保持 4000~500/cm, 扫描次数为 32 次。

## 2 结果与讨论

### 2.1 微塑料的丰度分布

根据采样点位周边人口密度将采样区域划分为溢流排放拦截区域 QY1(CY2、CY4、CY11), 非生活区域 QY2(CY1、CY3、CY9、CY10) 和高校及生活周边区域 QY3(CY5、CY6、CY7、CY8)。3 个区域微塑料丰度箱形图如图 2 所示。南湖岸边沉积物微塑料丰度范围为 76~5853 n/kg, 其中区域 QY1 的微塑料丰度范围为 290~3657 n/kg, 平均丰度 2551 n/kg; 区域 QY2 微塑料丰度范围为 76~3554 n/kg, 平均丰度 2340 n/kg; 区域 QY3 微塑料丰度范围为 850~5853 n/kg, 平均丰度 4083 n/kg。区域 QY3 的微塑料丰度高于 QY1 和 QY2, 这可能是由于 QY1 及 QY2 周边生活区较少, 而人为因素是增加城市湖泊微塑料丰富的重要原因之一。

### 2.2 微塑料的形态特征

样品中的微塑料主要为块状、薄膜状和纤维

状, 如图 3 所示。其中, 块状微塑料质地较厚, 表面有裂纹; 薄膜类微塑料质地轻薄, 有明显的褶皱, 表面风化程度较高; 纤维类微塑料边缘无固定形状, 整体呈现丝带状, 边缘粗糙。采集的微塑料样品具有表面粗糙、裂隙、多孔等特点, 这可能与微塑料在湖水中经受阳光照射、风力及水浪冲击等因素有关。不同形状的微塑料按比例依次为块状 74.1%、薄膜类 15.2%、纤维类 9.4%、其他类型 1.3%。区域 QY1、QY2 和 QY3 均以块状微塑料居多, QY1 还有部分纤维状微塑料, QY3 存在薄膜状微塑料。

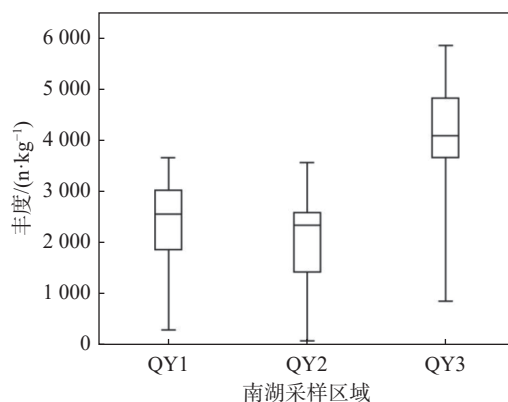


图2 采样点位塑料丰度分布图

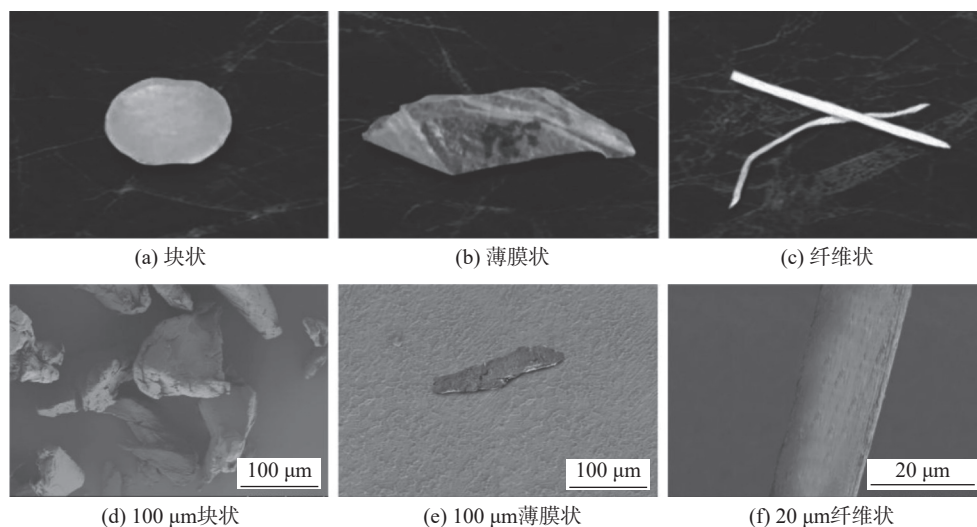


图3 样品中微塑料形状图

采样点位中微塑料的颜色占比分布如图 4 所示。透明微塑料占比最高, 为 48.7%, 其次为半透明, 二者占比达到总量的七成以上。其余颜色微塑料按比例依次为白色 13.5%、绿色 6.4%、红色 3.4% 和黄色 2.8%。

### 2.3 微塑料的成分分析

通过红外光谱 (FTIR) 对微塑料样品进行

成分检测, 如图 5 所示。通过与谱库匹配分析, 南湖岸边沉积物中微塑料主要以聚乙烯 (PE)、聚丙烯 (PP)、聚苯乙烯 (PS)、聚氯乙烯 (PVC) 和聚碳酸酯 (PC) 为主。其中 PE 的匹配分数为 84%, PP 的匹配分数为 89%, PS 的匹配分数为 92%, PVC 的匹配分数为 86%, PC 的匹配分数为 83%。

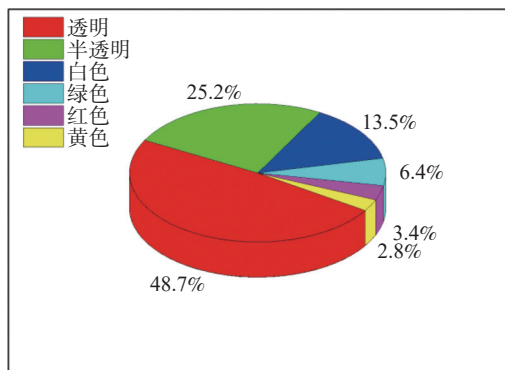


图 4 采样点微塑料颜色占比分布图

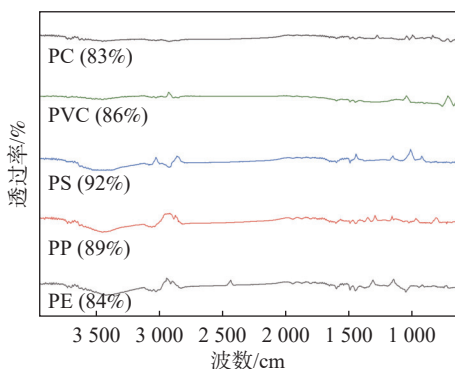


图 5 微塑料 FTIR 谱图

### 2.4 微塑料的来源分析

如表 1 所示，通过对比分析城市湖泊中微塑料的来源发现，对于城市湖泊，人们的生产生活

及雨水冲刷是微塑料的主要来源。其次，进入水体的塑料垃圾在水力及风力作用下容易粉化成粒径小、比表面积大的微塑料。湖泊中微塑料主要以 PE、PS 和 PP 为主。南湖周边区域环境如图 6 所示，通过调查发现日常生活中使用的编织袋、便携式包装等物品被丢弃后，经雨水冲刷、大气沉降等方式可能进入城市湖泊，陆源输入是湖泊微塑料输入源之一。近年来在综合治理下，南湖捕鱼等渔业活动几乎被杜绝，排污口也得到有效整治，生活污水输入造成的污染得到有效控制。武汉属亚热带季风气候，具有雨量大、频率高的特点，降水造成的地面冲刷也是微塑料的来源之一<sup>[7]</sup>。同时研究发现随着对湖泊水体环境的治理，修复过程中使用的塑料围栏等也会增加湖泊中微塑料含量。总之，城市湖泊中微塑料的主要来源为陆源输入、河水径流、近岸粉化裂解、生活污水、环境整治产生塑料垃圾等。

微塑料难以被常规的污水处理工艺所去除，解决污染问题的关键在于源头控制。一是减少陆源输入途径，铺设雨水截留管道，避免雨水冲刷路面携带的微塑料进入水体，雇佣工人对水体中漂浮的塑料制品进行打捞；二是加强微塑料相关环保知识宣传，杜绝将塑料制品随意丢弃的情况。

表 1 我国城市湖泊微塑料来源分析<sup>[8-15]</sup>

湖泊	主要类型	主要形状	丰度	来源
雨山湖	PS、聚酯(PET)、PP	发泡状、纤维状	110.9±113.6 n/kg	生活污水、雨水径流
南湖	PE、聚二甲基硅氧烷(PDMS)、三元乙丙胶(EPDM)	块状、薄膜状	727.0±897.7 n/kg	截流清淤、换水
滇池	PP、PS、PE、PET	纤维状、条状	317.9~723.2 n/kg	生活污水、工业废水
白马湖	PS、PVC、PE	发泡状、条状	63.0~18 160 n/m <sup>3</sup>	生活污水、工业废水
白洋淀	PE、PP、PET、PS	碎片状、薄膜状	558.4±233.3 n/kg	生活污水、工业废水
北湖	PP、PS、PE、尼龙(Nylon)	纤维状、发泡状	8 925.0±1 591 n/m <sup>3</sup>	民用垃圾降解
皖子湖	PP、PS、PE、Nylon	纤维状、发泡状	8 550.0±989.9 n/m <sup>3</sup>	民用垃圾降解
塔子湖	PP、PS、PE、Nylon	纤维状、发泡状	6 175.0±1 308 n/m <sup>3</sup>	大气沉降、径流
沙湖	PP、PS、PE、Nylon	纤维状、发泡状	6 390.0±862.7 n/m <sup>3</sup>	城市污水管网
南太子湖	PP、PS、PE、Nylon	纤维状、发泡状	6 162.5±537.5 n/m <sup>3</sup>	大气沉降、径流
东湖	PP、PS、PE、Nylon	纤维状、发泡状	5 914.0±1 580.7 n/m <sup>3</sup>	渔业、生活垃圾
南四湖	PVC、PS、PE	碎片类、薄膜类	3.42±2.89 n/L	农业、渔业
鄱阳湖	—	发泡类、薄膜类	811.11 n/kg	渔业、生活污水



(a) 闸口及溢流拦截区(QY1)

图 6 南湖周边区域环境图

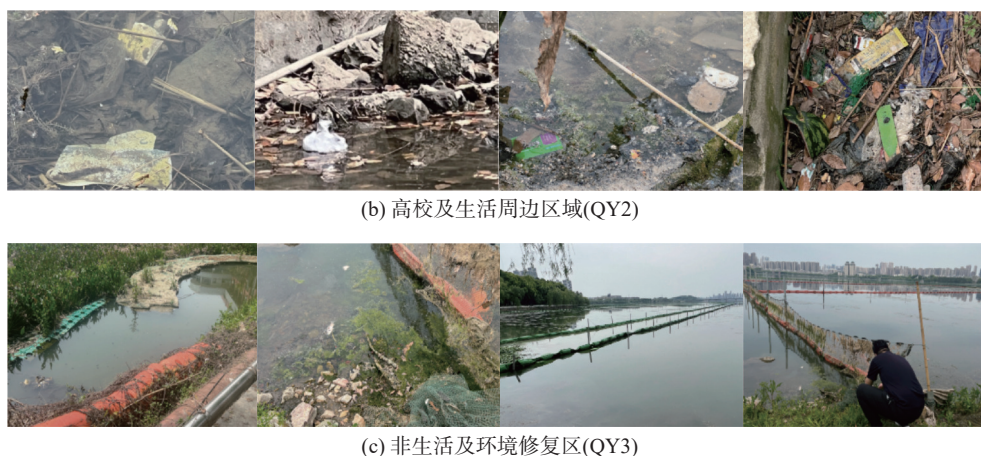


图6 (续)

### 3 结束语

该实验项目以南湖沉积物中微塑料为研究对象, 通过环境调查与实验研究相结合的方法对微塑料污染分布特征进行识别。利用 ArcGis10.7 对南湖进行布点采样, 利用光学显微镜、SEM 及 FTIR 等表征分析了微塑料的形貌、颜色、丰度和成分。研究表明, 南湖沉积物中微塑料丰度在 76~5853 n/kg, 形状以块状类、薄膜类和纤维类为主, 颜色主要为透明及半透明, 主要为 PE、PP 和 PS 及少量的 PVC 和 PC。该综合实验研究对象为城市湖泊, 具有实际意义; 实验设计及操作简单, 易于执行, 实验内容包含样品前处理、样品表征及溯源分析等知识, 适合作为综合探究性实验; 研究对象为环境新污染物微塑料, 将基础实验教学内容与研究前沿有机结合, 可为拓展学生科学视野、提高学生综合实践和解决问题能力提供支撑。

### 参考文献

- [1] HIDALGO-RUZ V, GUTOW L, THOMPSON R C, et al. Microplastics in the marine environment: A review of the methods used for identification and quantification[J]. *Environmental Science & Technology*, 2012, 46(6): 3060–3075.
- [2] THOMPSON R C, OLSEN Y, MITCHELL R P, et al. Lost at sea: Where is all the plastic?[J]. *Science*, 2004, 304(5672): 838–838.
- [3] BACCAR R, SARRÀ M, BOUZID J, et al. Removal of pharmaceutical compounds by activated carbon prepared from agricultural by-product[J]. *Chemical Engineering Journal*, 2012(211–212): 310–317.
- [4] BAJPAI S, BHOWMIK M. Adsorption of diclofenac sodium from aqueous solution using polyaniline as a potential sorbent. I. Kinetic studies[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2010, 117(6): 3615–3622.
- [5] LIU J, ZHANG T, TIAN L, et al. Aging significantly affects mobility and contaminant-mobilizing ability of nanoplastics in saturated loamy sand[J]. *Environmental Science & Technology*, 2019, 53(10): 5805–5815.
- [6] 熊雄, 吴辰熙. 湖泊: 内陆水体微塑料污染的热点区域[J]. *自然杂志*, 2021, 43(4): 243–250.
- [7] 张梦珂, 刘艳芳, 安子豪, 等. 武汉城市化进程对湖泊景观格局的空间非平稳性影响分析[J]. *地理信息世界*, 2016, 23(3): 53–59.
- [8] 王璇, 牛司平, 宋小龙, 等. 城市湖泊沉积物微塑料污染特征[J]. *环境科学*, 2020, 41(7): 3240–3248.
- [9] 王璇. 城市湖泊沉积物微塑料污染特征研究[D]. 马鞍山: 安徽工业大学, 2020.
- [10] 张权. 滇池岸滩、水体及沉积物塑料污染赋存规律[D]. 昆明: 云南师范大学, 2021.
- [11] 郭锋锋. 湖泊环境大塑料及微塑料的表征与来源分析[D]. 昆明: 云南师范大学, 2020.
- [12] 陈博, 赵立宁, 董四君. 白洋淀生态环境的演变[J]. *中国科学(生命科学)*, 2021, 51(9): 1274–1286.
- [13] 王文锋. 华中地区湖泊微塑料污染特征及其与菲、芘的吸附行为研究[D]. 武汉: 中国科学院大学(中国科学院武汉植物园), 2018.
- [14] 王晨朝. 南四湖水体微塑料污染特征研究(D). 曲阜: 曲阜师范大学, 2021.
- [15] 李文华, 简敏菲, 余厚平, 等. 鄱阳湖“五河”入湖口沉积物中微塑料污染物的特征及其时空分布[J]. *湖泊科学*, 2019, 31(2): 95–104.

编辑 钟晓