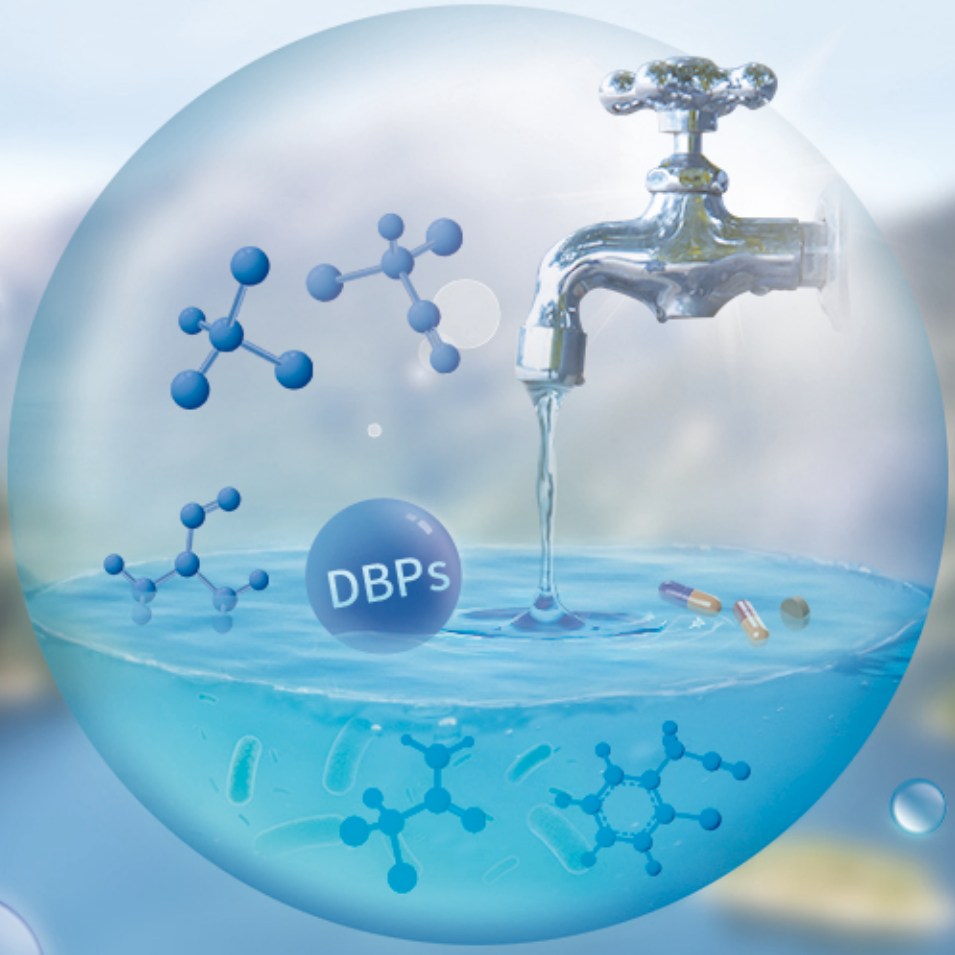
Eco-Environmental Knowledge Web

环境科学
ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV
HUANJING KEXUE

饮用水中的消毒副产物及其控制策略
楚文海，肖融，丁顺克，张瑞华



■ 主办 中国科学院生态环境研究中心
■ 出版 科学出版社

2021年11月
第42卷 第11期
Vol.42 No.11

环境科学
(HUANJING KEXUE)
ENVIRONMENTAL SCIENCE
第42卷 第11期
2021年11月15日

目 次

综述与专论

饮用水中的消毒副产物及其控制策略 …… 楚文海, 肖融, 丁顺克, 张瑞华(5059)
生物炭吸附硫化氢机制与影响因素研究进展 …… 徐期勇, 梁铭珅, 许文君, 黄丹丹(5086)

研究报告

1998~2016 中国八大经济区植被覆盖对 $PM_{2.5}$ 浓度时空分布的影响 …… 杨玉莲, 杨昆, 罗毅, 喻臻钰, 孟超, 李岑(5100)
COVID-19 疫情期间北京市两次重霾污染过程大气污染物演变特征及潜在源区分析 ……
…… 赵德龙, 田平, 周嵬, 肖伟, 盛久江, 王飞, 杜远谋,黄梦宇,何晖,丁德平(5109)
汾渭平原临汾市 2019 年春节期间大气污染特征与来源解析 ……
…… 刘威杰, 胡天鹏, 毛瑶, 许安, 苏业旺, 李星谕, 程铖, 石明明, 梁莉莉, 邢新丽, 张家泉, 祁士华(5122)
石家庄市大气污染物的季节性时空特征及潜在源区 …… 聂赛赛, 王帅, 崔建升, 刘大喜, 陈静, 田亮, 贺博文, 沈梦宇(5131)
天津市冬季空气湿度对 $PM_{2.5}$ 和能见度的影响 …… 丁净, 唐颖潇, 郝天依, 姚青, 蔡子颖, 张裕芬, 韩素芹(5143)
承德市 $PM_{2.5}$ 中碳质组分的季节分布特征及来源解析 …… 贺博文, 聂赛赛, 王帅, 冯亚平, 姚波, 崔建升(5152)
中国生活源挥发性有机物排放清单 … 梁小明, 陈来国, 沈国锋, 卢清, 刘明, 陆海涛, 任璐, 孙西勃, 林奎, 梁明易, 叶代启, 陶澍(5162)
2011~2019 年中国工业源挥发性有机物排放特征 ……
…… 刘锐源, 钟美芳, 赵晓雅, 卢诗文, 田俊泰, 李银松, 侯墨, 梁小明, 黄皓旻, 范丽雅, 叶代启(5169)
基于 LHS-MC 青岛市工业源 VOCs 排放清单及不确定性 …… 徐琬莹, 付飞, 吕建华, 李瑞芃, 邵蕊, 和慧, 李淑芬, 左华(5180)
典型橡胶制品业 VOCs 排放特征及对周边环境影响 …… 王海林, 辛国兴, 朱立敏, 薛松, 聂磊, 郝润(5193)
沈阳市不同功能区挥发性有机物分布特征及臭氧生成潜势 …… 库盈盈, 任万辉, 苏枞枞, 于兴娜(5201)
天津城区夏冬季典型污染过程中 BTEX 变化特征及其健康风险评估 ……
…… 韩婷婷, 李颖若, 蒲维维, 姚青, 刘敬乐, 吴进, 张楠楠, 李梓铭, 马志强(5210)
郑州市大气氨排放清单及驱动力分析 …… 计尧, 王琛, 卢轩, 张欢, 尹沙沙(5220)
基于 GAMs 模型分析成都市气象因子交互作用对 O_3 浓度变化的影响 …… 张莹, 倪长健,冯鑫媛, 王式功, 张小玲, 张家熙, 李运超 (5228)
长江干流表层水体悬浮物的空间变化特征及遥感反演 …… 李建鸿, 黄昌春, 查勇, 王川, 尚娜娜, 郝维月(5239)
河北省夏季降雨溶解性有机物光谱特征的空间分布、来源解析及氮素响应 ……
…… 张紫薇, 周石磊, 陈召莹, 张甜娜, 董宛佳, 甄瑀晗, 张馨童, 姚波, 崔建升(5250)
城镇与城郊污染河道中 DOM 成分分布与影响因素 …… 朱弈, 陈浩, 丁国平, 孙晓楠, 刘辉, 叶建锋(5264)
北京城市河流河水和沉积物中微塑料的组成与分布 …… 胡嘉敏, 左剑恶, 李頔, 谢珍雯, 陈磊(5275)
太湖西岸地表水中极性有机污染物非靶向筛查与生态风险评估 …… 卢昕妍, 王菲, 张丽敏, 任晓鸣, 于南洋, 韦斯(5284)
河水-地下水交互带沉积物中抗生素和代谢产物提取方法优化及其分布特征 …… 李玉琼, 童蕾, 严涵, 尤悦, 卢钰茜, 刘慧(5294)
白洋淀清淤示范区沉积物中抗生素和多环芳烃的分布特征与风险评估 …… 王同飞, 张伟军, 李立青, 张美一, 廖桂英, 王东升(5303)
雄安新区唐河污水库残留污染物对地下水水化学动态的作用机制 …… 张志雄, 王仕琴, 张依章, 冯文钊(5312)
基于时间序列模型的饮用水源地重金属健康风险分析与预测 ……
…… 姬超, 侯大伟, 谢丽, 孙华, 李发志, 周宇, 邓爱萍, 沈红军, 包广静, 王逸南(5322)
千河下游水体-沉积物重金属空间分布、风险及影响因素 …… 高煜, 王国兰, 金梓函, 张军, 耿雅妮(5333)
巢湖流域丰水期可溶态重金属空间分布及污染评价 …… 何苗, 刘桂建, 吴蕾, 齐翠翠(5346)
洪泽湖围栏养殖对表层沉积物重金属含量影响与生态风险评价 …… 訾鑫源, 张鸣, 谷孝鸿, 阚可聪, 毛志刚, 陈辉辉, 曾庆飞(5355)
成都市地表水天然水化学变化特征及影响因素 …… 许秋瑾, 赖承钺, 丁瑶, 王照丽, 程中华, 于涛(5364)
雷州半岛地下水化学特征及控制因素分析 …… 彭红霞, 侯清芹, 曾敏, 黄长生, 师环环, 皮鹏程, 潘羽杰(5375)
粤港澳大湾区陆源氮污染来源结构与空间分布 …… 董斯齐, 黄翀(5384)
红壤丘陵区小流域典型土地利用的面源氮磷输出特征 …… 房志达, 苏静君, 赵洪涛, 胡炼, 李叙勇(5394)
减氮条件下不同施肥模式对稻田氮素淋溶流失的影响 …… 姜海斌, 张克强, 邹洪涛, 马瑛骏, 渠清博, 谷艳茹, 沈仕洲(5405)
互花米草入侵对胶州湾湿地土壤磷赋存形态的影响 …… 沙梦乔, 柴娜, 赵洪涛, 刘春井, 丁文超, 谢文霞(5414)
基于 16S rRNA 高通量测序的北运河水体及沉积物微生物群落组成对比分析 …… 彭柯, 董志, 邸琰茗, 郭逍宇(5424)
硅改性花生壳生物炭对水中磷的吸附特性 …… 赵敏, 张小平, 王梁嵘(5433)
高锰酸钾改性桉木生物炭对 Pb(Ⅱ)的吸附特性 …… 莫贞林, 曾鸿鹄, 林华, Asfandyar Shahab, 石清亮, 张华(5440)
混合金属氧化物/碳复合材料的制备及其对Pb(Ⅱ)的吸附性能 …… 卢予沈, 宗莉, 于惠, 牟斌, 王爱勤(5450)
负载型钛凝胶的制备及其吸附去除三价砷的性能 …… 孙晔洋, 周畅, 甘永海, 吴兵党, 张淑娟(5460)
一体式短程硝化-厌氧氨氧化工艺启动过程的亚硝酸盐调控 …… 左富民, 郑蕊, 隋倩雯, 钟慧, 陈彦霖, 魏源送(5472)
生物炭和秸秆还田对紫色土旱坡地土壤团聚体与有机碳的影响 …… 邓华, 高明, 龙翼, 赖佳鑫, 王鋆燕, 王子芳(5481)
紫色土旱坡地不同坡位土壤有机碳组分含量对施肥管理的响应 …… 徐曼, 余泺, 王富华, 王丹, 王鋆燕, 杨文娜, 高明, 王子芳(5491)
南阳盆地东部山区土壤重金属分布特征及生态风险评价 …… 赖书雅, 董秋瑶, 宋超, 杨振京(5500)
城郊农田土壤多环芳烃污染特征及风险评价 …… 张秀秀, 卢晓丽, 魏宇宸, 朱昌达, 潘剑君(5510)
我国东部沿海地区蔬菜中重金属累积分布特征及居民膳食暴露评估 …… 孙帅, 耿柠波, 郭崔崔, 张保琴, 卢宪波, 张海军, 陈吉平(5519)
典型矿冶区周边农业用地农产品安全风险及影响因素 …… 霍彦慧, 王美娥, 谢天, 姜瑢, 陈卫平(5526)
稻田土壤 Cd 污染与安全种植分区:以重庆市某区为例 …… 曹淑珍, 母悦, 崔敬鑫, 刘安迪, 程先, 符远航, 魏世强, 张进忠(5535)
镉污染大田条件下不同品种水稻镉积累的特征及影响因素 …… 王宇豪, 杨力, 康愉晨, 陈小红, 彭杰, 李佳欣, 陈文清(5545)
纳米膜覆盖对畜禽粪便好氧堆肥进程及恶臭气体排放的影响 …… 李永双, 孙波, 陈菊红, 彭霞薇, 白志辉, 庄绪亮(5554)
《环境科学》征订启事(5108) 《环境科学》征稿简则(5151) 信息(5249, 5263, 5283)

北京城市河流河水和沉积物中微塑料的组成与分布

胡嘉敏[1], 左剑恶[1,2 *], 李頔[1], 谢珍雯[1], 陈磊[1]
(1. 清华大学环境学院, 环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100084; 2. 清华大学深圳国际研究生院, 深圳 518055)

摘要: 微塑料已经被证实广泛存在于自然环境中,对生物和人类造成潜在危害,进行微塑料的赋存调研有助于了解城市河流河水和沉积物中微塑料的污染现状. 以北京市北运河和怀河作为研究区域,共布设了 8 个水样点位和 3 个沉积物点位,研究并对比了北运河河水和沉积物以及怀河河水中微塑料丰度、粒径、颜色、形状和种类的组成与分布特征. 结果表明,北运河河水中的微塑料丰度为(1 941 ± 201) ~ (8 155 ± 1 781) n·m^{-3} (n 表示微塑料个数),平均丰度为4 160 n·m^{-3}; 北运河沉积物中的微塑料丰度为(120 ± 11) ~ (268 ± 31) n·kg^{-1}. 怀河河水中的微塑料污染程度低于北运河河水,微塑料的平均丰度为2 357 n·m^{-3}. 北运河上游河水和沉积物中微塑料的丰度高于下游,具有较明显的空间分布特征; 怀河河水中的微塑料分布总体上无明显差异,但相距较远的两点位中微塑料的丰度之间具有显著差异. 粒径、颜色和形状的分类统计结果显示,所有点位中微塑料的主要粒径区间为 < 300 μm; 白色/透明微塑料(50.75% ~ 83.91%)最为常见; 碎片状(50.00% ~ 95.08%)和纤维状(3.86% ~ 30.00%)是微塑料的主要形态. 聚氨酯(polyurethane, PU)和乙烯-醋酸乙烯酯(ethylene vinyl acetate, EVA)是所有点位的主要微塑料种类. 北运河河水和沉积物中的微塑料可能主要来源于城市建设和经济发展,怀河河水中的微塑料可能主要受到周边村庄和居民日常生活的影响.

关键词: 微塑料; 城市河流; 河水; 沉积物; 组成; 分布
中图分类号: X522 **文献标识码**: A **文章编号**: 0250-3301(2021)11-5275-09 **DOI**: 10.13227/j.hjkx.202102107

Composition and Distribution of Microplastics in the Water and Sediments of Urban Rivers in Beijing

HU Jia-min[1], ZUO Jian-e[1,2 *], LI Di[1], XIE Zhen-wen[1], CHEN Lei[1]
(1. State Key Joint Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control, School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Shenzhen International Graduate School, Tsinghua University, Shenzhen 518055, China)

Abstract: It has been confirmed that microplastics widely exist in the natural environment, causing potential harm to organisms and humans. An investigation into the occurrence of microplastics is helpful to understand the level of pollution of microplastics in urban rivers and sediments. In this study, eight sampling points of water samples and three of sediments samples were placed along the North Canal and Huaihe River in Beijing, to compare the composition and distribution characteristics of the abundance, particle size, color, shape, and species of microplastics. The results showed that the abundance of microplastics in the water and sediments of the North Canal were(1 941 ± 201)-(8 155 ± 1 781) n·m^{-3} (n refers to the number of microplastics) and (120 ± 11)-(268 ± 31) n·kg^{-1}, respectively. The average abundance of microplastics in the water of the North Canal was 4 160 n·m^{-3}. Compared with the North Canal, the pollution degree of microplastics in the Huaihe River was lower with an average abundance of 2 357 n·m^{-3}. Furthermore, the abundance of microplastics in the water and sediments in the upper reaches of the North Canal was higher than that in the lower reaches. No significant difference of microplastics distribution was observed in the water of the Huaihe River on the whole; however, there was a marked difference in abundance between the two distant locations. The main particle size range of microplastics at all site points was < 300 μm, and mostly white/transparent(50.75%-83.91%); the main shape were fragments(50.00%-95.08%) and fibers(3.86%-30.00%). Polyurethane(PU) and ethylene vinyl acetate(EVA) were two main plastic species found at all sites. Microplastics in the water and sediments of the North Canal might have originated from urban construction and development, while the surrounding villages might have only affected the abundance of microplastics in the Huaihe River.

Key words: microplastics; urban rivers; river water; sediments; composition; distribution

由于塑料制品具有轻巧、造价低和耐腐蚀等特点,塑料已经成为人类日常生活中广泛使用的材料[1]. 预估到 2050 年,全球塑料的生产量将达到 120 亿 t,但目前全球很多国家关于塑料废弃物的回收和管理制度还不够完善[2]. 截止 2015 年,全球塑料废弃物的产生量约为 63 亿 t,其中只有约 9% 的塑料废弃物被有效回收并进行二次利用, 12% 的塑料废弃物被焚烧处理,剩余 79% 的塑料废弃物被随意丢弃在自然环境中,带来了不可估量的危害[2].

更严重的是,近些年有部分学者在自然环境中发现了“微小粒径的塑料污染”现象. Thompson 等[3]于 2004 年首次提出了“微塑料”的概念,通常是指直径 < 5 mm 的塑料颗粒、碎片、薄膜和纤维等. 微塑料污染已经演变成全球性污染问题,已有不少研究发现并证实微塑料存在于全世界的多个地表水系[4,5]、沉积物[6]和土壤[7]等自然环境中. Zhang 等[8]研究调查并总结了 2010 ~ 2019 年中国地表水

收稿日期: 2021-02-16; **修订日期**: 2021-04-21
作者简介: 胡嘉敏(1995 ~),女,博士研究生,主要研究方向为微塑料污染和生物毒性,E-mail:hjm18@mails.tsinghua.edu.cn
* 通信作者,E-mail:jiane.zuo@mail.tsinghua.edu.cn

系(如长江、鄱阳湖和黄海等)和沉积物中微塑料赋存的全部文献,结果表明我国河流、湖泊和海洋中微塑料的丰度分别为 3.9 ~ 7 900、340 ~ 8 900 和 0.03 ~ 540 n·m^{-3};沉积物中微塑料的丰度为 1.3 ~ 14 700 n·kg^{-1},这些微塑料的来源大多是城市活动和海事活动. 此外,广泛存在于自然环境中的微塑料可以通过生物的呼吸和摄食进入到生物体内,进一步通过食物链传播转移给人类,对人类身体健康造成潜在危害[9,10]. 因此,微塑料的污染防治问题已引起全世界的广泛关注.

城市河流与人类关系密切,特别是我国大多数北方城市河流流量小且多数补水为城市污水厂的出水,关于北方城市河流中微塑料的赋存研究少有报道. 北运河和怀河是北京市内的两条代表性河流,北运河承担着防洪和引滦输水的任务,怀河是怀柔区的主要河流,主要用于灌溉和引水. 本研究调查了北运河和怀河中共 11 个点位的河水和沉积物样品,借助体视显微镜和激光拉曼光谱仪探究了微塑料的组成及分布特征,对比北运河和怀河中微塑料的污染现状,以期为北运河和怀河提供微塑料污染的调查数据,了解城市建设和人类活动对河流中微塑料赋存的影响.

1 材料与方法

1.1 研究区概述

通州区作为北京的城市副中心,近些年的城市建设和经济发展十分迅速. 北运河是通州区的代表性河流之一,全长共 40 km,沿河道分布众多的污水和雨水排口,承接了来自肖家河、清河、高碑店和北小河等 7 座污水处理厂的排水,是超大城市污水厂的尾水汇集区[11,12]. 怀河是北京市怀柔区境内的第二大河流,所处地区的城市化进程较缓慢,属于近自然河流.

1.2 采样点位的布设及样品采集

结合前期实地考察的结果和样品采集的可操作性,本研究共布设采样点 11 个. 如图 1 所示,北运河布设 5 个水样点位(以 BW 表示),集中于北关闸至潞阳桥全长共 5 km 的河段,此河段沿河的污水和雨水排口分布较密集;同时,在北运河布设 3 个沉积物点位(以 BS 表示),考虑到北运河主河段的流速较低,沉积物点位的布设间隔较远,取至甘棠船闸处,全长约 9 km. 在怀河布设 3 个水样点位(以 HW 表示),选择生态环境较好的河段,全长约 3.5 km,作为北运河河水的对比;由于怀河新近实施了河底疏浚,无法取到足够的沉积物,因此未采集怀河沉积物样品.

2020 年 10 月初采用玻璃河水采样器进行表层河水的采集,采用不锈钢沉积物采样器进行表层沉积物的采集. 采集后的水样注入 5 L 的透明玻璃瓶中,取出的沉积物样品存放在 2 L 的棕色玻璃瓶中,按照上游至下游的顺序依次对采样瓶进行编号并用锡箔纸密封好瓶口后再拧紧瓶盖. 样品采集完毕后统一将所有样品运回实验室保存在 4℃ 冰箱中,一周内完成样品的分离预处理.

(a)北运河河水和沉积物的采样点位,(b)怀河河水的采样点位;BW 表示北运河河水点位,BS 表示北运河沉积物点位,HW 表示怀河河水点位

图 1 北运河河水和沉积物以及怀河河水的采样点位

Fig. 1 Sampling sites of water and sediments in the North Canal and water in the Huaihe River

1.3　样品处理

为除去较大的水草和杂质，采用 2 mm 的不锈钢筛过滤水样，将水样均匀分成 3 份作为平行样，每份 1 L. 采用真空抽滤装置使水样通过 2 μm 的不锈钢滤膜，然后将不锈钢滤膜放入 250 mL 的玻璃试剂瓶中，加入 100 mL 30% 的过氧化氢溶液，用锡箔纸密封瓶口后移入振荡培养箱中（60℃，85 $r\cdot min^{-1}$）振荡 48 h，消解去除样品中的有机质[13,14]. 消解完全后，向瓶中加入 120 g NaCl，配置成 1.2 $g\cdot mL^{-1}$的饱和 NaCl 溶液进行微塑料的浮选过程，用玻璃棒充分搅拌 2 min 后在室温下静置 24 h[5,14]. 抽取并收集上清液，放入另一干净的玻璃试剂瓶中，重复上述浮选步骤 3 次. 将最后一次浮选后的上清液过滤至 0.45 μm 的混合纤维素网格计数膜上待观察.

采集的沉积物样品于 75℃ 的烘箱中烘至恒重后均匀分成 3 份作为平行样，每份 100 g，随后放入 500 mL 的玻璃试剂瓶中，加入 250 mL 1.2 $g\cdot mL^{-1}$的饱和 NaCl 溶液进行微塑料的浮选过程，用玻璃棒充分搅拌 2 min 后在室温下静置 24 h. 浮选后抽取并收集上清液，将上清液过滤至 2 μm 的不锈钢滤膜上，将滤膜放入 250 mL 玻璃试剂瓶中，加入 100 mL 30% 的过氧化氢溶液进行消解[15]. 消解条件以及后续的浮选过程与水样的处理过程保持一致.

1.4　样品分析

采用体视显微镜（SDPTOP，中国）对计数膜逐个网格进行观察并初步判断疑似微塑料颗粒，其标准为颗粒没有细胞或组织结构并且颗粒表面颜色均匀清晰，然后对疑似微塑料颗粒拍照并按照分类分别进行微塑料的丰度统计[16,17]. 目前微塑料的分类没有统一标准，通常情况下可以将微塑料的颜色按照：白色/透明、黑色/灰色、蓝色、绿色、黄色和红色进行分类；粒径按照：<300、300 ~ 500、500 ~ 1 000、1 000 ~ 2 000、2 000 ~ 3 000、3 000 ~ 4 000和 4 000 ~ 5 000 μm 进行分类；形状按照：纤维状、碎片状、薄膜状和颗粒状进行分类[14,18]. 在微塑料的丰度统计完成之后，采用激光拉曼光谱仪 LabRAM HR Evolution（HORIBA，日本）对至少 80% 的微塑料进行种类鉴别，通过 Bio-Rad KnowItAll® Informatics System 2020 软件将样品中微塑料的拉曼光谱图与标准谱库进行对比，对比度在 70% 以上可认为是该种物质[14].

1.5　质量控制

为确保实验数据的准确性，防止周围环境的干扰，样品采集和处理过程中采用的玻璃和不锈钢器皿均用超纯水冲洗至少 3 次，实验过程中实验人员身着纯棉实验服，处于无尘环境中进行样品的处理和分析. 为避免不同人员在计数时所造成的识别误差，所有的样品分析过程均由同一实验人员完成[10].

1.6　数据处理

本实验使用 Excel 2016 对微塑料的颜色、形状和粒径进行统计，河水点位中微塑料的丰度单位为 $n\cdot m^{-3}$，沉积物点位中微塑料的丰度单位为 $n\cdot kg^{-1}$（n 表示微塑料个数）；使用 SPSS 19.0 对 BW、BS 和 HW 组进行单因素方差分析（One-Way ANOVA），$P<0.05$ 表示具有显著差异；使用 Origin 2020 进行图表的绘制.

2　结果与分析

2.1　微塑料的丰度及分布

本研究 11 个点位中微塑料的检出率达 100%. 如图 2 所示，北运河河水中微塑料的丰度为（1 941 ±201）~（8 155 ± 1 781）$n\cdot m^{-3}$，平均丰度为4 160 $n\cdot m^{-3}$；北运河沉积物中微塑料的丰度为（120 ± 11）~（268 ± 31）$n\cdot kg^{-1}$，平均丰度为 183 $n\cdot kg^{-1}$. 北运河河水 BW-1 点位的微塑料丰度在所有点位中最高，约为北运河河水平均微塑料丰度的 2 倍. 北运河下游沉积物 BS-3 点位的微塑料丰度高于上游 BS-1 和 BS-2 点位. 单因素方差分析结果显示，北运河 5 个河水点位中微塑料的丰度之间具有显著差异（$P=0.047<0.05$），各河水点位之间的具体差异性关系如表 1 所示. 从中可知，BW-1 点位与 BW-2、BW-4 和 BW-5 点位中的微塑料丰度间均具有显著差异. 北运河沉积物 3 个点位的微塑料丰度之间不具有显著差异（$P=0.083$），但 BS-1 和 BS-3 点位中的微塑料丰度具有显著差异（$P=0.041<0.05$）.

怀河河水中微塑料的丰度为（1 551 ± 405）~（3 383 ±466）$n\cdot m^{-3}$，平均丰度为2 357 $n\cdot m^{-3}$，远低于北运河河水中微塑料的赋存量. 怀河 3 个河水点位中微塑料的丰度之间不具有显著差异（$P=0.084$），但 HW-1 和 HW-3 点位中的微塑料丰度间具有显著差异（$P=0.035<0.05$）.

表 1　北运河河水点位间的差异性关系

Table 1　Relationships of differences among the water points of the North Canal

	BW-1	BW-2	BW-3	BW-4	BW-5
BW-1	—	0.047	0.068	0.007	0.010
BW-2	0.047	—	0.829	0.296	0.400
BW-3	0.068	0.829	—	0.215	0.297
BW-4	0.007	0.296	0.215	—	0.828
BW-5	0.010	0.400	0.297	0.828	—

2.2　微塑料的分类特征

2.2.1　微塑料的粒径特征

北运河河水和沉积物以及怀河河水中的微塑料

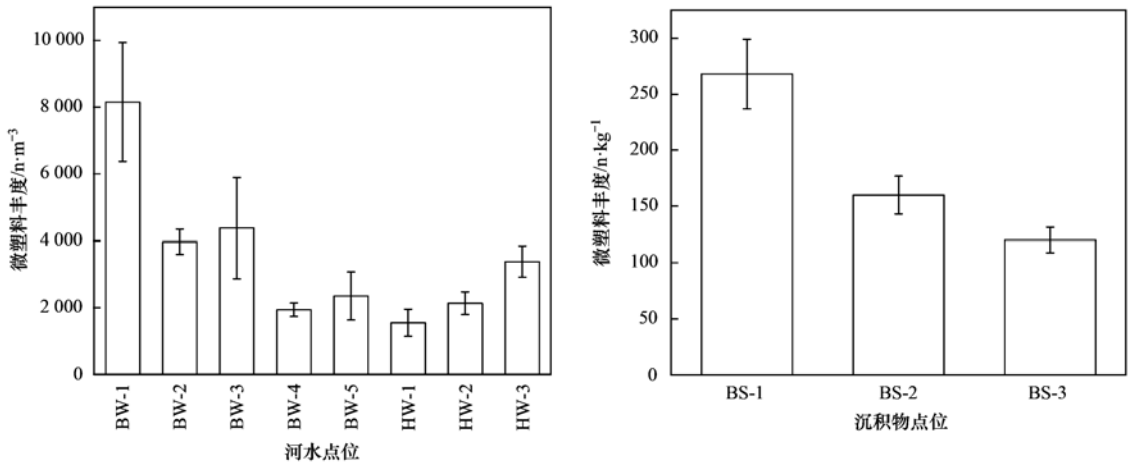


图 2 北运河河水和沉积物以及怀河河水中的微塑料丰度

Fig. 2 Abundance of microplastics in water and sediments of the North Canal and water of the Huaihe River

粒径分布特征如图 3 所示. 从中可知,北运河河水(BW-1 ~ BW-5 点位)、怀河河水(HW-1 ~ HW-3 点位)和北运河沉积物 BS-1 点位中粒径位于 < 300 μm 区间的微塑料占到总体的 90% 以上; 北运河沉积物 BS-2 和 BS-3 点位中粒径位于 < 300 μm 区间的微塑料占到总体的 80% 以上; 粒径位于4 000 ~ 5 000 μm 区间的微塑料在北运河河水、北运河沉积物和怀河河水的各个点位中均未检出. 结果表明北运河河水和沉积物以及怀河河水的微塑料污染主要集中于粒径 < 300 μm 区间的微小塑料污染,这可能与微塑料在自然环境中不断被风化破碎成小粒径有关[19]. 此外,北运河沉积物 BS-2 和 BS-3 点位中粒径位于 300 ~ 2 000 μm 区间的微塑料占比明显高于北运河的其余河水点位以及 BS-1 点位.

2.2.2 微塑料的颜色特征

从微塑料的颜色分布结果可知(图 4),所有点位中白色/透明的微塑料最多,占比为 50.75% ~ 83.92%, 其次分别是黑色/灰色(11.19% ~ 27.37%)、黄色(2.03% ~ 20.90%)、红色(0.00% ~ 11.04%)、蓝色(0.00% ~ 4.48%)和绿色(0.00% ~ 2.13%). Egessa 等[5]对维多利亚湖进行微塑料特征调研时同样发现白色/透明是最主要的微塑料颜色,丰度占到总体的 59.1%. 北运河河水中微塑料的颜色多样性高于北运河沉积物; 北运河上游沉积物点位(BS-1)中微塑料的颜色种类数多于下游沉积物点位(BS-2 和 BS-3),但是北运河河水中没有呈现出这一趋势. 此外,怀河河水中微塑料的颜色种类数少于北运河河水.

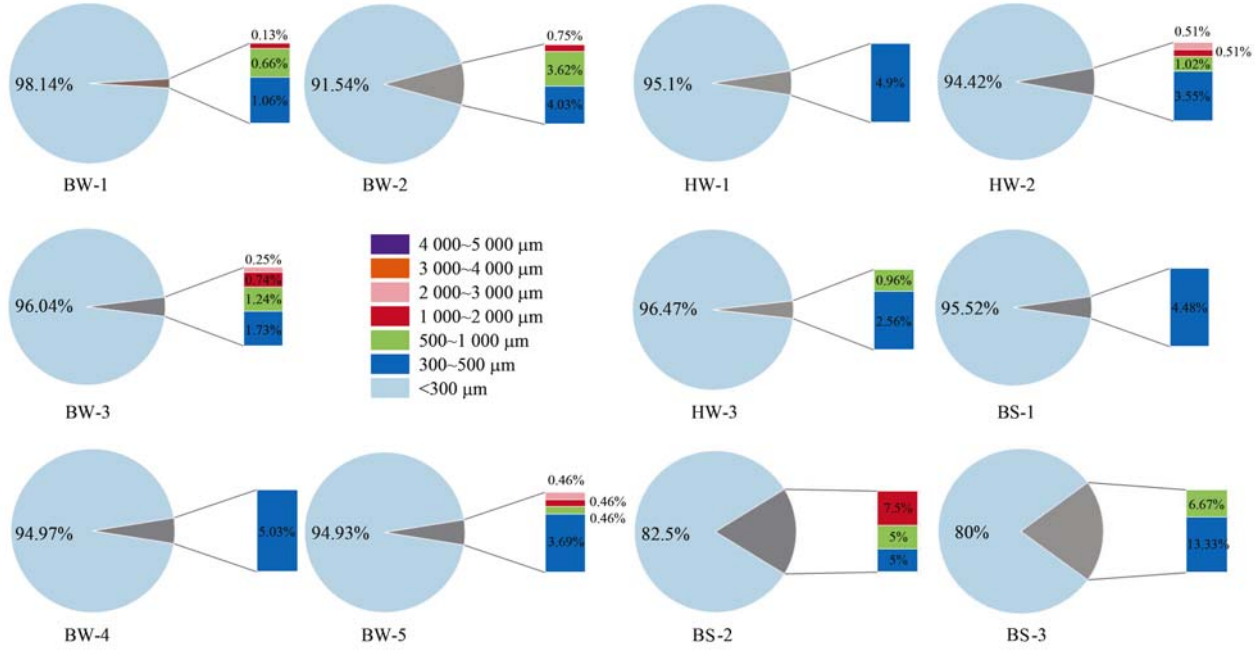


图 3 北运河河水和沉积物以及怀河河水中微塑料的粒径占比

Fig. 3 Percentage of the particle size of microplastics in water and sediments of the North Canal and water of the Huaihe River

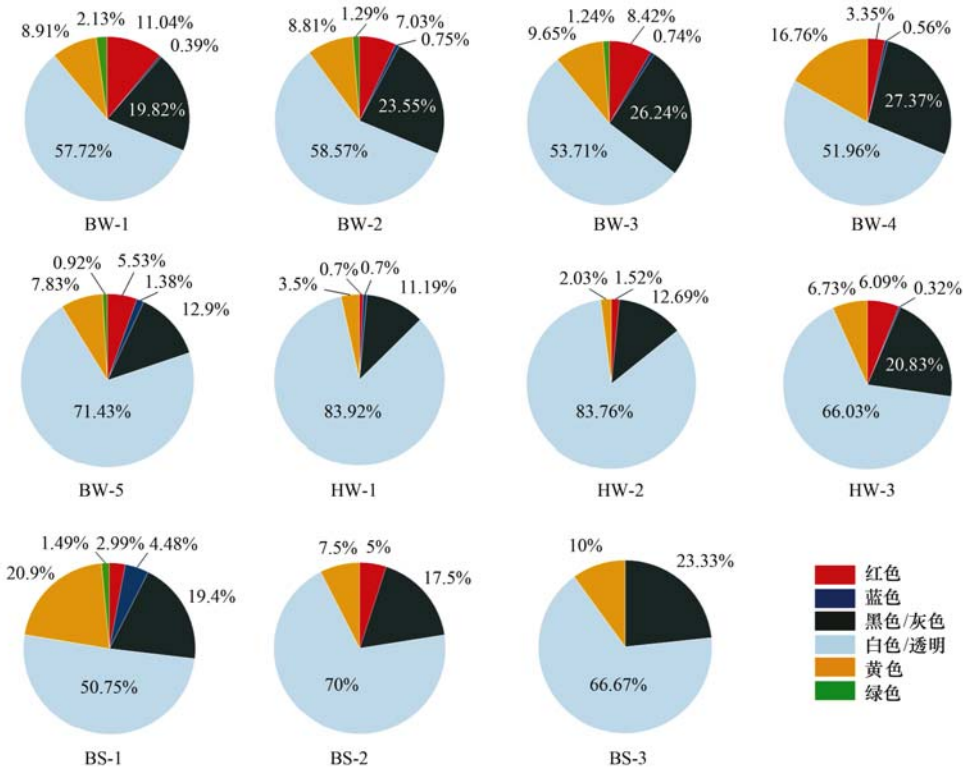


图 4　北运河河水和沉积物以及怀河河水中微塑料的颜色占比

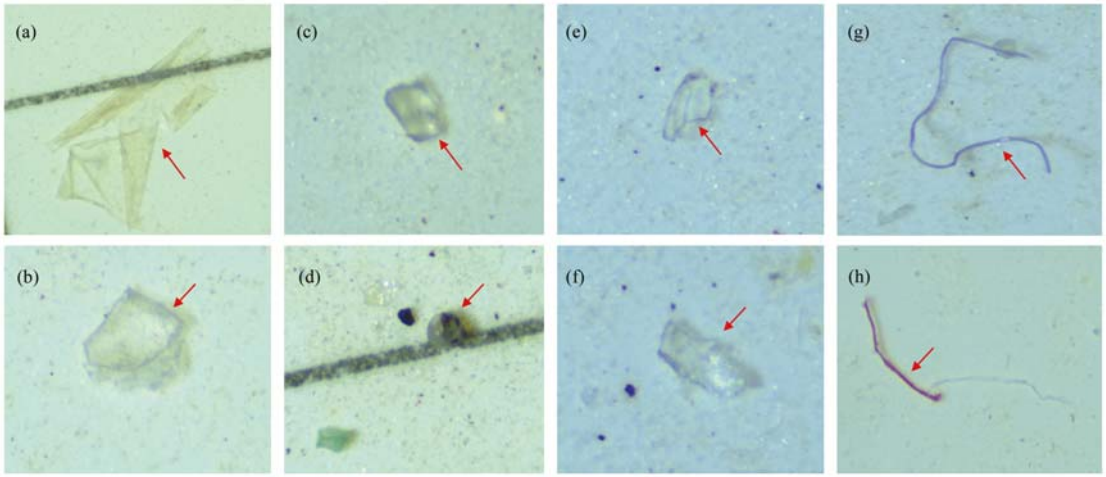
Fig. 4　Color proportion of microplastics in water and sediments of the North Canal and water of the Huaihe River

2.2.3　微塑料的形状特征

采用体视显微镜将观察到的典型微塑料拍照，并按照薄膜状、颗粒状、碎片状和纤维状进行分类. 如图 5 所示，薄膜状微塑料为轻薄的片状；颗粒状微塑料呈现出球形或者较为规则的块状，边缘较光滑平整；碎片状微塑料的表面比较尖锐，形状不规则；纤维状微塑料的粒径差异较大，形状平直或卷曲. 由图 6 可知，碎片状是所有点位的主要微塑料形态，占比为 50.00%～95.08%，其次分别是纤维状（3.86%～30.00%）、薄膜状（0.00%～15.00%）和颗粒状（0.50%～11.94%）.

2.3　微塑料的种类组成及丰度

采用激光拉曼光谱仪对 11 个点位中的微塑料进行种类鉴别，共检测出 13 种塑料材质，分别是聚乙烯（polyethylene，PE）、聚丙烯（polypropylene，PP）、聚苯乙烯（polystyrene，PS）、聚丁烯（polybutylene，PB）、聚酰胺（polyamide，PA）、聚氨酯（polyurethane，PU）、聚乙烯醇（polyvinyl alcohol，PVA）、聚乙烯醇缩丁醛酯（polyvinyl butyral，PVB）、聚氯乙烯（polyvinyl chlorid，PVC）、聚对苯



（a）和（b）薄膜状；（c）和（d）颗粒状；（e）和（f）碎片状；（g）和（h）纤维状

图 5　北运河河水和沉积物以及怀河河水中检测出的微塑料形态

Fig. 5　Shape of microplastics in the water and sediments of the North Canal and water of the Huaihe River

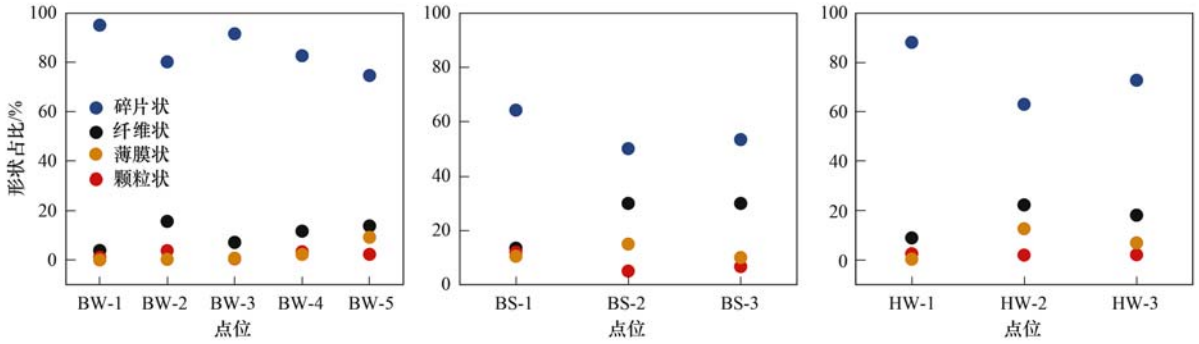


图 6 北运河河水和沉积物以及怀河河水中微塑料的形状占比

Fig. 6 Shape proportion of microplastics in the water and sediments of the North Canal and water of the Huaihe River

二甲酸乙二醇酯(polyethylene glycol terephthalate, PET)、乙烯-醋酸乙烯酯(ethylene vinyl acetate, EVA)、聚双环戊二烯(polydicyclopentadiene, PDCPD)和酚醛塑料. 如图 7 所示,北运河河水的 5 个点位中共检测出 12 种塑料材质(PA 未检出),丰度最高的前 5 种微塑料种类分别是: PU(33.34%~72.41%) > EVA(6.90%~41.03%) > PDCPD(0.00%~20.00%) > PP(0.00%~13.79%) > PB(0.00%~7.69%); 怀河河水的 3 个点位中共检测出 10 种塑料种类(PVA、PVC 和 PET 未检出),丰度最高的前 5 种微塑料种类分别是: EVA(18.77%~47.62%) > PU(14.29%~45.83%) > PP(3.57%~19.05%) > PS(2.08%~17.86%) > 酚醛塑料(3.57%~8.33%). 北运河沉积物的 3 个点位中只检测出 EVA、PU 和 PVA 这 3 种塑料种类,少部分微塑料的拉曼光谱比对度低于 70%,导致无法准确确定所属种类,这可能是因为微塑料表面在北运河沉积物中受到一定程度的磨损. 以上结果表明不同点位的微塑料种类组成和丰度有较明显的区别,PU 和 EVA 是所有点位中最主要的两种塑料材质,且河水中检测出的塑料种类数多于沉积物.

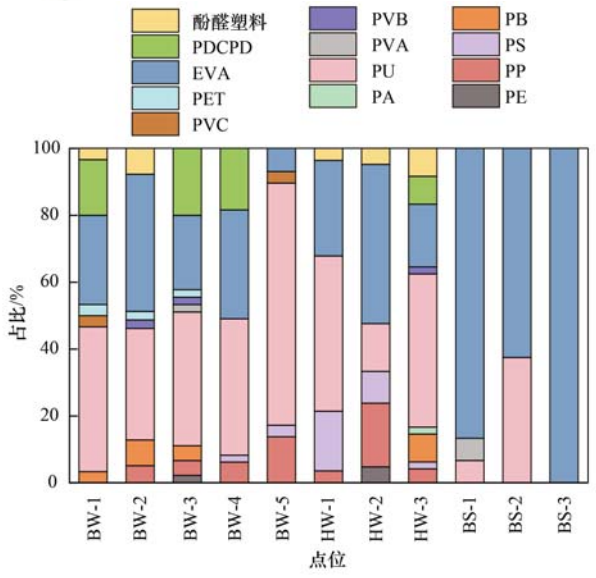


图 7 北运河河水和沉积物以及怀河河水中微塑料的种类占比

Fig. 7 Species proportion in the water and sediments of the North Canal and water of the Huaihe River

3 讨论

3.1 北运河河水和沉积物以及怀河河水中微塑料的污染分布特征

近几年国内外部分河水和沉积物中微塑料的赋存情况如表 2 所示,不同区域的河水和沉积物中的微塑料丰度具有一定的差异. 我国丹江口水库及其入库支流中微塑料的污染较为严重,其丰度为7 248 $n \cdot m^{-3}$[4]; 上海市城区和郊区的河流中微塑料的丰度约为(7 500 ± 2 800) $n \cdot m^{-3}$[20]; 美国西部河流中微塑料的赋存丰度为 0~5 405 $n \cdot m^{-3}$[21]. 如表 2 所示,与其他研究相比,本研究中北运河河水的微塑料丰度为(1 941 ± 201)~(8 155 ± 1 781) $n \cdot m^{-3}$,平均丰度为4 160 $n \cdot m^{-3}$,微塑料污染较为严重. 有研究表明河水中的微塑料主要来源于污水厂排放,污水厂出水中微塑料的平均丰度最高可达91 000 $n \cdot m^{-3}$[22]. 北运河的大部分补水都是污水厂的出水,这可能是北运河河水中微塑料污染比较严重的主要原因. BW-1 点位的微塑料丰度显著高于北运河的其余水样点位,且与其余河水点位的微塑料丰度之间存在显著差异. 结合图 1 可知, BW-1 点位位于北运河与通惠河的交界处,该点位的河水流动状态与其它位于主河段的水样点位不同,微塑料随河水的迁移行为与其它点位也有所区别,并且根据前期实地调研结果, BW-1 点位附近分布着 2 个污水排口,且上游 1 km 内还分布着另外 2 个污水排口,推测 BW-1 点位可能承接了更多的污水厂出水,因此该点位的微塑料丰度相对较高. 此外,微塑料丰度在北运河河水的采样河段中总体上呈现出上游河水高于下游河水的趋势,具有一定的空间分布特征. 这可能是因为采样河段的沿河排口分布、排水量以及排水间隔不同,下游河水中检测出的微塑料丰度有所下

降；不仅如此，北运河主河段的流速较低，一部分密度较大的微塑料在河水流动的过程中可能会发生垂直向下的迁移，本研究采集的均是表层河水，因此北运河下游河水中的微塑料丰度有一定的降低.

北运河沉积物中微塑料的丰度为(120 ± 11) ~ (268 ± 31) n·kg^{-1}，平均丰度为 183 n·kg^{-1}. 与北运河河水类似，北运河上游沉积物点位(BS-1)中的微塑料丰度高于下游点位(BS-2 和 BS-3)，这一结果与上述微塑料在河水中发生垂直迁移的推论相互佐证. 与表 2 相比，北运河表层河水中的微塑料污染较严重，但北运河沉积物中的微塑料污染较轻，说明微塑料还是更多地存在于北运河河水中，在河水中的迁移能力强于沉积物，这可能与大部分微塑料的密度较小有关.

怀河河水中微塑料的丰度为(1 551 ± 405) ~ (3 383 ± 466) n·m^{-3}，平均丰度为2 357 n·m^{-3}，微塑料污染相对较轻. 怀河河水中 3 个不同点位的微塑料丰度沿河分布差异并不明显，怀河上游河水(HW-1)中的微塑料丰度低于下游河水(HW-2 和 HW-3)，HW-1 点位和 HW-3 点位中的微塑料丰度之间具有显著差异. 以上结果说明怀河河水在整体上没有较明显的空间分布特征，但相隔较远的两点位中微塑料丰度之间(HW-1 和 HW-3)具有较显著的差异，说明怀河中的微塑料丰度与点位布设的间距具有一定的相关性. 因此，在未来的研究中，应当考虑加大怀河河水的点位布设间距及点位数量，以更加详细地研究怀河河水中微塑料的空间分布特征.

表 2　部分地区河水和沉积物中微塑料的赋存情况

Table 2　Abundance of microplastics in the water and sediments of various regions

国家	地区	样品类型	河水或沉积物中微塑料丰度	主要微塑料种类	文献
中国	丹江口水库	河水/n·m^{-3}	7 248	PA、PE 和 PP	[4]
中国	上海市城区和郊区	河水/n·m^{-3}	7 500 ± 2 800	聚酯类	[20]
美国	西部河流	河水/n·m^{-3}	0 ~ 5 405	—	[21]
中国	北运河	河水/n·m^{-3}	(1 941 ± 201) ~ (8 155 ± 1 781)	PU、EVA、PDCPD、PP 和 PB	本研究
中国	怀河	河水/n·m^{-3}	(1 551 ± 405) ~ (3 383 ± 466)	EVA、PU、PP、PS 和酚醛塑料	本研究
中国	鄱阳湖湖口	沉积物/n·kg^{-1}	356 ~ 1 452	PE 和 PP	[6]
西班牙	埃布罗三角洲	沉积物/n·kg^{-1}	2 052 ± 746	—	[14]
中国	长江河口	沉积物/n·kg^{-1}	20 ~ 340	PA 和 PE	[15]
中国	北运河	沉积物/n·kg^{-1}	(120 ± 11) ~ (268 ± 31)	EVA、PU 和 PVA	本研究

3.2　北运河河水和沉积物以及怀河河水中微塑料的潜在来源分析

由表 2 可知，不同河水和沉积物中微塑料的种类有较大的差异，与当地的城市建设、经济发展多样性和人口密度等因素有关[4]. 从微塑料的形状特征分析，薄膜状微塑料主要来源于农业污染，如地膜和大棚覆盖膜等；纤维状微塑料主要来源于海事活动和衣物盥洗等；颗粒状和碎片状微塑料的来源较为复杂，与生活污水管道排放、道路径流和塑料制品的老化破碎有关[4,23]. 北运河河水中碎片状和纤维状微塑料占据主要位置，薄膜状微塑料较少，说明北运河河水中的微塑料来源于农业污染的可能性较小. 由微塑料种类的鉴别结果可知，北运河河水的主要微塑料种类分别是 PU、EVA、PDCPD、PP 和 PB，这 5 种塑料材质常用于建筑胶体、道路标记涂料、车辆零部件和电线电缆等，结合通州区近几年大力推进城市化进程的实际情况，推测北运河河水中微塑料的来源可能与城市建设和经济发展密切相关. 北运河沉积物 BS-1 点位中检测出 EVA、PU 和 PVA 这 3 种微塑料种类，BS-2 点位中检测出 EVA 和 PU，而 BS-3 点位中只检测出 EVA，说明北运河沉积物中检测出的塑料种类数量远远小于北运河河水，并且越靠近北运河下游的沉积物点位中检测出的微塑料种类越单一. 这可能是因为北运河沉积物的点位布设比较分散，越靠近下游，人类对北运河的影响越小，微塑料的赋存丰度和种类都有所减少. 此外，某一区域的特殊污染来源可能会显著影响该河段中微塑料的种类组成与分布. 如：本研究中 PVA 仅在北运河河水 BW-3 和沉积物 BS-1 点位中检出，由图 1 可知 BW-3 和 BS-1 点位所处位置大致相同，推测该两点位附近可能存在特殊污染源. PVA 塑料主要用于制造织物处理剂、乳化剂、纸张涂层和粘合剂等. 经调研 BW-3 和 BS-1 点位沿岸附近建设有北京日用化学二厂，该厂主要生产表面活性剂、塑料包装箱和容器以及纸制品等. 这与 PVA 仅在此两点位中检出而未在其余点位中检出的结果相互印证.

怀河河水中的主要微塑料种类是 EVA、PU、PP、PS 和酚醛塑料. 虽然 EVA 和 PU 塑料依然占到较大比例，但是怀河附近的城市发展和人口密集程度远不如北运河，结合 EVA 和 PU 塑料的多种用途进行分析，与北运河不同，怀河河水中的微塑料可能主要来源于家具家电和电线电缆等日常生活领域.

另外,PP、PS 和酚醛塑料在怀河河水中的占比均有明显提升,这 3 种塑料常用于光纤、食品包装袋和打包盒等,这与上述结论相互佐证,推测怀河河水中的微塑料污染主要受到周边村庄和居民日常生活的影响.

4 结论

(1)北运河河水中的微塑料丰度为(1 941 ± 201) ~ (8 155 ± 1 781) n·m^{-3},沉积物中的微塑料丰度为(120 ± 11) ~ (268 ± 31) n·kg^{-1},下游河水和沉积物中的微塑料丰度低于上游,呈现出较明显的空间分布特征;怀河河水中的微塑料丰度明显低于北运河,为(1 551 ± 405) ~ (3 383 ± 465) n·m^{-3}.

(2)北运河河水和沉积物以及怀河河水中 80% 以上的微塑料粒径位于 < 300 μm 的区间;白色/透明和碎片状是所有点位微塑料的主要颜色和形状.

(3)北运河河水中的主要微塑料种类是 PU、EVA、PDCPD、PP 和 PB;怀河河水中的主要微塑料种类是 EVA、PU、PP、PS 和酚醛塑料;北运河沉积物中只检测到 EVA、PU 和 PVA.

(4)结合微塑料的种类鉴别结果以及实际的城市发展情况,推测北运河河水和沉积物中的微塑料可能主要来源于城市建设和经济发展,怀河河水中的微塑料污染可能主要受到周边村庄和居民日常生活的影响.

参考文献:

[1] Qu H, Ma R X, Wang B, *et al*. Enantiospecific toxicity, distribution and bioaccumulation of chiral antidepressant venlafaxine and its metabolite in loach (*Misgurnus anguillicaudatus*) co-exposed to microplastic and the drugs[J]. Journal of Hazardous Materials, 2019, **370**: 203-211.

[2] Geyer R, Jambeck J R, Law K L. Production, use, and fate of all plastics ever made[J]. Science Advances, 2017, **3**(7), doi: 10.1126/sciadv.1700782.

[3] Thompson R C, Olsen Y, Mitchell R P, *et al*. Lost at sea: where is all the plastic? [J]. Science, 2004, **304**(5672): 838.

[4] 潘雄, 林莉, 张胜, 等. 丹江口水库及其入库支流水体中微塑料组成与分布特征[J]. 环境科学, 2021, **42**(3): 1372-1379.
Pan X, Lin L, Zhang S, *et al*. Composition and distribution characteristics of microplastics in Danjiangkou Reservoir and its tributaries[J]. Environmental Science, 2021, **42**(3): 1372-1379.

[5] Egessa R, Nankabirwa A, Ocaya H, *et al*. Microplastic pollution in surface water of Lake Victoria [J]. Science of the Total Environment, 2020, **741**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140201.

[6] 李文华, 简敏菲, 刘淑丽, 等. 鄱阳湖湖口-长江段沉积物中微塑料与重金属污染物的赋存关系[J]. 环境科学, 2020, **41**(1): 242-252.
Li W H, Jian M F, Liu S L, *et al*. Occurrence relationship between microplastics and heavy metals pollutants in the estuarine sediments of Poyang Lake and the Yangtze River [J]. Environmental Science, 2020, **41**(1): 242-252.

[7] Forster N A, Tighe M K, Wilson S C. Microplastics in soils of wilderness areas: what is the significance of outdoor clothing and footwear? [J]. Geoderma, 2020, **378**, doi: 10.1016/j.geoderma.2020.114612.

[8] Zhang Z Y, Mamat Z, Chen Y G. Current research and perspective of microplastics (MPs) in soils (dusts), rivers (lakes), and marine environments in China[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2020, **202**, doi: 10.1016/j.ecoenv.2020.110976.

[9] Zhu L, Wang H, Chen B J, *et al*. Microplastic ingestion in deep-sea fish from the South China Sea[J]. Science of the Total Environment, 2019, **677**: 493-501.

[10] Wang S D, Zhang C N, Pan Z K, *et al*. Microplastics in wild freshwater fish of different feeding habits from Beijiang and Pearl River Delta regions, south China [J]. Chemosphere, 2020, **258**, doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.127345.

[11] 任海腾. 北运河流域通州段水生态健康评价及水质提升研究[D]. 北京: 清华大学, 2019. 37-38.
Ren H T. A study on ecological health assessment and water quality improvement in Tongzhou section of the North Canal basin [D]. Beijing: Tsinghua University, 2019. 37-38.

[12] 邸琰茗. 北京市北运河主河道水质及排水量特征分析[J]. 水资源开发与管理, 2020,(12): 46-50, 56.
Di Y M. Analysis of water quality and discharge characteristics of the main channel of the North Canal in Beijing[J]. Water Resources Development and Management, 2020,(12): 46-50, 56.

[13] Wang C, Xing R L, Sun M D, *et al*. Microplastics profile in a typical urban river in Beijing [J]. Science of the Total Environment, 2020, **743**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140708.

[14] Simon-Sánchez L, Grelaud M, Garcia-Orellana J, *et al*. River Deltas as hotspots of microplastic accumulation: the case study of the Ebro River (NW Mediterranean) [J]. Science of the Total Environment, 2019, **687**: 1186-1196.

[15] Peng G Y, Zhu B S, Yang D Q, *et al*. Microplastics in sediments of the Changjiang Estuary, China[J]. Environmental Pollution, 2017, **225**: 283-290.

[16] 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.

[17] 顾伟康, 杨国峰, 刘艺, 等. 环境介质中微塑料的处理与检测方法研究进展[J]. 土木与环境工程学报, 2020, **42**(1): 135-143.
Gu W K, Yang G F, Liu Y, *et al*. Treatment and detection methods of microplastics from environmental media: a review [J]. Journal of Civil and Environmental Engineering, 2020, **42**(1): 135-143.

[18] Ma J L, Niu X J, Zhang D Q, *et al*. High levels of microplastic pollution in aquaculture water of fish ponds in the Pearl River Estuary of Guangzhou, China [J]. Science of the Total Environment, 2020, **744**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140679.

[19] Hayes D G, Wadsworth L C, Sintim H Y, *et al*. Effect of diverse weathering conditions on the physicochemical properties of biodegradable plastic mulches[J]. Polymer Testing, 2017, **62**: 454-467.

[20] 赵昕，陈浩，贾其隆，等. 城市河道表层水及沉积物中微塑料的污染现状与污染行为[J]. 环境科学，2020，**41**(8)：3612-3620.
Zhao X，Chen H，Jia Q L，*et al*. Pollution status and pollution behavior of microplastic in surface water and sediment of urban rivers[J]. Environmental Science，2020，**41**(8)：3612-3620.

[21] Kapp K J，Yeatman E. Microplastic hotspots in the Snake and Lower Columbia rivers：a journey from the Greater Yellowstone Ecosystem to the Pacific Ocean[J]. Environmental Pollution，2018，**241**：1082-1090.

[22] Blair R M，Waldron S，Gauchotte-Lindsay C. Average daily flow of microplastics through a tertiary wastewater treatment plant over a ten-month period[J]. Water Research，2019，**163**，doi：10.1016/j.watres.2019.114909.

[23] 袁海英，侯磊，梁启斌，等. 滇池近岸水体微塑料污染与富营养化的相关性[J]. 环境科学，2021，**42**(7)：3166-3175.
Yuan H Y，Hou L，Liang Q B，*et al*. Correlation between microplastics pollution and eutrophication in the near shore waters of Dianchi Lake[J]. Environmental Science，2021，**42**(7)：3166-3175.

《环境科学》连续 9 次荣获“中国最具国际影响力学术期刊”称号

2020 年 12 月 17 日，中国学术期刊(光盘版)电子杂志社(CNKI)等机构发布“2020 中国最具国际影响力学术期刊”评选结果.《环境科学》荣获“2020 中国最具国际影响力学术期刊”称号，是唯一入选的环境科学与资源科学类中文期刊，也是自首次评选以来连续 9 次获此殊荣. 评选以期刊国际影响力指数进行排序，遴选出排名前 5%(Top5%)的期刊获评“中国最具国际影响力学术期刊”.

HUANJING KEXUE

Environmental Science (monthly)

Vol. 42 No. 11

Nov. 15, 2021

CONTENTS

Disinfection By-products in Drinking Water and Their Control Strategies: A Review ····· CHU Wen-hai, XIAO Rong, DING Shun-ke, *et al.* (5059)

Advances in Mechanism and Influencing Factors Affecting Hydrogen Sulfide Adsorption by Biochar ····· XU Qi-yong, LIANG Ming-shen, XU Wen-jun, *et al.* (5086)

Effect of Vegetation Coverage on the Temporal and Spatial Distribution of $PM_{2.5}$ Concentration in China's Eight Major Economic Regions from 1998 to 2016 ····· YANG Yu-lian, YANG Kun, LUO Yi, *et al.* (5100)

Evolution and Potential Source Apportionment of Atmospheric Pollutants of Two Heavy Haze Episodes During the COVID-19 Lockdown in Beijing, China ····· ZHAO De-long, TIAN Ping, ZHOW Wei, *et al.* (5109)

Characteristics and Origin Analysis of Air Pollution During the Spring Festival in Linfen, Fenwei Plain ····· LIU Wei-jie, HU Tian-peng, MAO Yao, *et al.* (5122)

Spatio-Temporal Characteristics and Potential Source Areas of Seasonal Atmospheric Pollution in Shijiazhuang ····· NIE Sai-sai, WANG Shuai, CUI Jian-sheng, *et al.* (5131)

Impact of Air Humidity on $PM_{2.5}$ Mass Concentration and Visibility During Winter in Tianjin ····· DING Jing, TANG Ying-xiao, HAO Tian-yi, *et al.* (5143)

Seasonal Variation and Source Apportionment of Carbonaceous Species in $PM_{2.5}$ in Chengde ····· HE Bo-wen, NIE Sai-sai, WANG Shuai, *et al.* (5152)

Volatile Organic Compounds(VOCs) Emission Inventory from Domestic Sources in China ····· LIANG Xiao-ming, CHEN Lai-guo, SHEN Guo-feng, *et al.* (5162)

Characteristics of Industrial Volatile Organic Compounds(VOCs) Emission in China from 2011 to 2019 ····· LIU Rui-yuan, ZHONG Mei-fang, ZHAO Xiao-ya, *et al.* (5169)

VOCs Emission Inventory and Uncertainty Analysis of Industry in Qingdao Based on Latin Hypercube Sampling and Monte Carlo Method ····· XU Wan-ying, FU Fei, LÜ Jian-hua, *et al.* (5180)

Emission Characteristics and Environment Impacts of VOCs from Typical Rubber Manufacture ····· WANG Hai-lin, XIN Guo-xing, ZHU Li-min, *et al.* (5193)

Pollution Characteristics and Ozone Formation Potential of Ambient VOCs in Different Functional Zones of Shenyang, China ····· KU Ying-ying, REN Wan-hui, SU Cong-cong, *et al.* (5201)

Characteristics of BTEX and Health Risk Assessment During Typical Pollution Episodes in Summer and Winter in Tianjin Urban Area ····· HAN Ting-ting, LI Ying-ruo, PU Wei-wei, *et al.* (5210)

Atmospheric NH_3 Emission Inventory and Analysis of the Driving Force in Zhengzhou City ····· JI Yao, WANG Chen, LU Xuan, *et al.* (5220)

Interactive Effects of the Influencing Factors on the Changes of O_3 Concentrations Based on GAMs Model in Chengdu ····· ZHANG Ying, NI Chang-jian, FENG Xin-yuan, *et al.* (5228)

Spatial Variation Characteristics and Remote Sensing Retrieval of Total Suspended Matter in Surface Water of the Yangtze River ····· LI Jian-hong, HUANG Chang-chun, ZHA Yong, *et al.* (5239)

Spatial Distribution Characteristics of the Spectrum, Source Analysis, and Nitrogen Response of Dissolved Organic Matter in Summer Rainfall in the Hebei Province ····· ZHANG Zi-wei, ZHOU Shi-lei, CHEN Zhao-ying, *et al.* (5250)

Distribution and Influencing Factors of DOM Components in Urban and Suburban Polluted Rivers ····· ZHU Yi, CHEN Hao, DING Guo-ping, *et al.* (5264)

Composition and Distribution of Microplastics in the Water and Sediments of Urban Rivers in Beijing ····· HU Jia-min, ZUO Jian-e, LI Di, *et al.* (5275)

Nontarget Screening and Ecological Risk Assessment of Polar Organic Pollutants in Surface Water on the West Bank of Taihu Lake ····· LU Xin-yan, WANG Fei, ZHANG Li-min, *et al.* (5284)

Optimization of Extraction Methods and Distribution Characteristics of Antibiotics and Metabolites in Sediments of a River Water-Groundwater Interaction Zone ····· LI Yu-qiong, TONG Lei, YAN Han, *et al.* (5294)

Distribution Characteristics and Risk Assessment of Antibiotics and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Sediments of Desilting Demonstration Area in Baiyangdian Lake ····· WANG Tong-fei, ZHANG Wei-jun, LI Li-qing, *et al.* (5303)

Dynamic Mechanisms of Groundwater Quality by Residual Contaminants of the Tanghe Wastewater Reservoir in Xiong'an New Area ····· ZHANG Zhi-xiong, WANG Shi-qin, ZHANG Yi-zhang, *et al.* (5312)

Analysis and Prediction of Health Risk from Heavy Metals in Drinking Water Sources Based on Time Series Model ····· JI Chao, HOU Da-wei, XIE Li, *et al.* (5322)

Spatial Distribution, Risk, and Influencing Factors of River Water-Sediment Heavy Metals in the Lower Reaches of the Qianhe River ····· GAO Yu, WANG Guo-lan, JIN Zi-han, *et al.* (5333)

Spatial Distribution and Pollution Assessment of Dissolved Heavy Metals in Chaohu Lake Basin During the Wet Season ····· HE Miao, LIU Gui-jian, WU Lei, *et al.* (5346)

Impact of Enclosure Culture on Heavy Metal Content in Surface Sediments of Hongze Lake and Ecological Risk Assessment ····· ZI Xin-yuan, ZHANG Ming, GU Xiao-hong, *et al.* (5355)

Natural Water Chemistry Change in the Surface Water of Chengdu and Impact Factors ····· XU Qiu-jin, LAI Cheng-yue, DING Yao, *et al.* (5364)

Hydrochemical Characteristics and Controlling Factors of Groundwater in the Leizhou Peninsula ····· PENG Hong-xia, HOU Qing-qin, ZENG Min, *et al.* (5375)

Land-based Nitrogen Pollution Source Structure and Spatial Distribution in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area ····· DONG Si-qi, HUANG Chong (5384)

Output Characteristics of Nitrogen and Phosphorus from Non-Point Source Pollution of Typical Land Use in A Micro-Watershed in Hilly Red Soil Region ····· FANG Zhi-da, SU Jing-jun, ZHAO Hong-tao, *et al.* (5394)

Effects of Different Fertilization Patterns on Nitrogen Leaching Loss from Paddy Fields Under Reduced Nitrogen ····· JIANG Hai-bin, ZHANG Ke-qiang, ZOU Hong-tao, *et al.* (5405)

Effects of *Spartina alterniflora* Invasion on Soil Phosphorus Forms in the Jiaozhou Bay Wetland ····· SHA Meng-qiao, CHAI Na, ZHAO Hong-tao, *et al.* (5414)

Contrasting Analysis of Microbial Community Composition in the Water and Sediments of the North Canal Based on 16S rRNA High-Throughput Sequencing ····· PENG Ke, DONG Zhi, DI Yan-ming, *et al.* (5424)

Characteristics of Phosphorus Adsorption in Aqueous Solution by Si-modified Peanut Shell Biochar ····· ZHAO Min, ZHANG Xiao-ping, WANG Liang-rong (5433)

Adsorption Characteristics of Pb(Ⅱ) on Eucalyptus Biochar Modified by Potassium Permanganate ····· MO Zhen-lin, ZENG Hong-hu, LIN Hua, *et al.* (5440)

Preparation of Mixed Metal Oxide/Carbon Composites and Its Adsorption Performance for Pb(Ⅱ) ····· LU Yu-shen, ZONG Li, YU Hui, *et al.* (5450)

Fabrication of Supported Titanium Xerogel Adsorbent and Performance Evaluation for Arsenite Removal ····· SUN Ye-yang, ZHOU Chang, GAN Yong-hai, *et al.* (5460)

Nitrite Regulation During Start-up of Combined Partial Nitritation and ANAMMOX Process ····· ZUO Fu-min, ZHENG Rui, SUI Qian-wen, *et al.* (5472)

Effects of Biochar and Straw Return on Soil Aggregate and Organic Carbon on Purple Soil Dry Slope Land ····· DENG Hua, GAO Ming, LONG Yi, *et al.* (5481)

Response of Soil Organic Carbon Content in Different Slope Positions to Fertilization Management in Purple Soil Sloping Fields ····· XU Man, YU Luo, WANG Fu-hua, *et al.* (5491)

Distribution Characteristics and Ecological Risk Assessment of Soil Heavy Metals in the Eastern Mountainous Area of the Nanyang Basin ····· LAI Shu-ya, DONG Qiu-yao, SONG Chao, *et al.* (5500)

Pollution Characteristics and Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in a Suburban Farmland Soil ····· ZHANG Xiu-xiu, LU Xiao-li, WEI Yu-chen, *et al.* (5510)

Accumulation Characteristics and Dietary Exposure Estimation of Heavy Metals in Vegetables from the Eastern Coastal Region of China ··· SUN Shuai, GENG Ning-bo, GUO Cui-cui, *et al.* (5519)

Security Risk and Influencing Factors of Agro-Products in Farmland Soil Around a Typical Mining Smelter ····· HUO Yan-hui, WANG Mei-e, XIE Tian, *et al.* (5526)

Cd Pollution and Safe Planting Zoning in Paddy Soils: A Case Study in a District of Chongqing ····· CAO Shu-zhen, MU Yue, CUI Jing-xin, *et al.* (5535)

Characteristics and Influencing Factors of Cadmium Accumulation in Different Rice Varieties Under Cadmium Contaminated Field Conditions ····· WANG Yu-hao, YANG Li, KANG Yu-chen, *et al.* (5545)

Effects of Nano-membrane on Aerobic Composting Process and Odor Emission of Livestock Manure ····· LI Yong-shuang, SUN Bo, CHEN Ju-hong, *et al.* (5554)