

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

HUANJING KEXUE

南京北郊大气降水中水溶性无机氮和有机氮沉降特征

张佳颖, 于兴娜, 张毓秀, 丁铨, 侯思宇



■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2022年7月

第43卷 第7期

Vol.43 No.7

目次

两种模式下中国未来发电行业发展情景及其环境效益分析 刘春景, 吕建斌, 赵汶畅, 徐卿, 金玉佳(3375)

基于 LEAP 模型的兰州市道路交通温室气体与污染物协同减排情景模拟 庞可, 张芊, 马彩云, 祝禄祺, 陈恒葵, 孔祥如, 潘峰, 杨宏(3386)

基于半级别的城市空气质量预报评估方法探讨 王晓彦, 朱莉莉, 许荣, 高愈霄, 朱媛媛, 汪巍, 刘冰(3396)

厦门港大气 PM_{2.5} 中重金属污染特征及健康风险评价 肖思晗, 蔡美君, 李香, 黄屋, 王坚, 朱清墩, 吴水平(3404)

南京北郊大气降水中水溶性无机氮和有机氮沉降特征 张佳颖, 于兴娜, 张毓秀, 丁敏, 侯思宇(3416)

晋中盆地主要城市冬季 PM_{2.5} 传输特征分析 王小兰, 王雁, 闫世明, 岳江, 郭伟, 郝振荣(3423)

鄂尔多斯市夏秋季黑碳气溶胶时间演变特征及其来源解析 孔祥晨, 张连霞, 张彩云, 王红磊, 许晶, 郑佳锋(3439)

济源冬季 VOCs 污染特征、来源和 SOAP 王芳, 李利霞, 王红果, 赵宗生, 张建平, 张栋(3451)

长株潭城区 8 月 VOCs 污染特征及来源分析 罗达通, 张青梅, 刘湛, 尤翔宇, 黄杰, 宋云飞, 张敬巧(3463)

2019 年 7 月石家庄市 O₃ 生成敏感性 & 控制策略解析 朱家贤, 王晓琦, 欧盛菊, 张新宇(3473)

华北平原 AOD 时空演化与影响因素 郭霖, 孟飞, 马明亮(3483)

基于地基太阳光度计观测的长安区气溶胶光学特性变化及其与颗粒物浓度的关系 郑玉蓉, 王旭红, 崔思颖, 冯子豪, 张秀, 刘康(3494)

基于长时序“地-星”数据的京津冀大气污染时空分布及演变特征 王耀庭, 殷振平, 郑祚芳, 李炬, 李青春, 孟春雷, 李威(3508)

近十年洪泽湖富营养化状态变化趋势及原因分析 陈天宇, 刘常清, 史小丽, 李云, 范子武, 贾本有, 廖轶鹏(3523)

高原湖泊周边浅层地下水: 磷素时空分布及驱动因素 杨恒, 李桂芳, 叶远行, 陈清飞, 崔荣阳, 张丹, 陈安强(3532)

三峡水库不同支流库湾蓄水区溶解氧分层特性及差异性 纪道斌, 方娇, 龙良红, 杨正健, 赵星星, 杨霞, 郭亚丽(3543)

典型喀斯特城市湖库溶解性有机质成分特征及来源解析 倪茂飞, 周慧, 马永梅, 苏印, 王晓丹, 王志康(3552)

骆马湖表层水和沉积物中全氟化合物赋存特征、来源及健康风险评估 黄家浩, 吴玮, 黄天寅, 陈书琴, 项颂, 庞燕(3562)

千岛湖浮游植物群落结构的垂向分布特征及其影响因素 王吉毅, 霍翟, 国超旋, 朱广伟, 龚志军, 范亚文, 王建军(3575)

泗河水系沉积物磷的存在形态及其空间分布特征 张子涵, 张鑫茹, 贾传兴, 甘延东, 王世亮(3587)

降雨径流过程中土地利用优化配置对磷流失的影响 周豪, 陈方鑫, 罗义峰, 龙翼, 周继, 王小燕, 李丹丹, 陈晓燕(3597)

典型生物滞留设施重金属累积分布特征与风险评价 储杨阳, 杨龙, 周媛, 王喜龙, 王嗣禹, 张敏(3608)

筑坝蓄水对不同水深浮游微生物群落结构和种间互作模式的影响 王洵, 张佳佳, 袁秋生, 胡斌, 刘胜(3623)

天津独流减河流域不同等级河流沉积物细菌区系及功能辨识 刘嘉元, 丰玥, 杨雪纯, 张彦, 李德生, 刘福德(3635)

地表水悬浮态多环芳烃时空变化特征及主要输入源响应机制 彭珂醒, 李瑞飞, 周亦辰, 卓泽铭, 张晋, 李梅, 李雪(3645)

北京市通州区河流中微塑料组成的空间分布及潜在来源解析 门聪, 李頔, 左剑恶, 邢薇, 刘梦瑶, 魏凡钦, 胡嘉敏, 谢珍雯, 邢鑫, 沈杨贵(3656)

微塑料对鲫鱼生长、肝脏损伤和肠道微生物组成的影响 胡嘉敏, 左剑恶, 李金波, 张艳艳, 艾翔, 龚大惠, 张继文, 孙丁明(3664)

不同类型脱水药剂对底泥固化效果和理化性质的影响 任俊, 殷鹏, 王威振, 唐婉莹, 尹洪斌, 朱丽娟(3672)

微纳米粒径生物炭的结构特征及其对 Cd²⁺ 吸附机制 马文艳, 裴刚刚, 高歌, 孙约兵(3682)

不同生物炭对磷的吸附特征及其影响因素 连神海, 张树楠, 刘锋, 邢宏霖, 吴金水(3692)

Mg-La-Fe/沸石复合材料的制备及其处理低浓度含磷废水的性能 印学杰, 宋小宝, 丁陈蔓, 冯彦房, 杨祺, 何世颖, 薛利红(3699)

一体式部分亚硝化-厌氧氨氧化工艺污泥膨胀发生和恢复过程中微生物群落演替及 PICRUS2 功能预测分析 李亚男, 闫冰, 郑蕊, 姚丽, 隋倩雯, 魏源送(3708)

丝状菌膨胀污泥好氧颗粒化稳定性及微生物多样性 高春娣, 杨箫阳, 欧家丽, 韩颖璐, 程丽阳, 彭永臻(3718)

2000~2020 年长江流域植被 NDVI 动态变化及影响因素探测 徐勇, 郑志威, 郭振东, 窦世卿, 黄雯婷(3730)

近 40 年来福建省水稻土有效磷富集效应及潜在生态风险评估 陈中星, 邱龙霞, 陈瀚闾, 范协裕, 毋亭, 沈金泉, 邢世和, 张黎明(3741)

土地利用变化对西南喀斯特土壤团聚体组成、稳定性以及 C、N、P 化学计量特征的影响 何宇, 盛茂银, 王轲, 王霖娇(3752)

长江经济带矿山土壤重金属污染及健康风险评价 张浙, 卢然, 伍思扬, 贾智彬, 王宁(3763)

煤矸石堆积区周边土壤重金属污染特征与植物毒性 尚誉, 桑楠(3773)

燃煤工业区不同土地利用类型土壤汞含量污染评价 李强, 姚万程, 赵龙, 张朝, 张恩月, 苏迎庆, 刘庚(3781)

广州市南沙区第四区剖面镉富集特征及生物有效性 王芳婷, 包科, 黄长生, 赵信文, 顾涛, 曾敏(3789)

黔西北山区耕地重金属健康风险评价及环境基准 徐梦琪, 杨文毅, 杨利玉, 陈勇林, 景灏楠, 吴攀(3799)

土壤重金属生物可利用性影响因素及模型预测 张加文, 田彪, 罗晶晶, 吴凡, 张聪, 刘征涛, 王晓南(3811)

添加有机物料对豫中烟田土壤呼吸的影响 鲁琪飞, 叶协锋, 韩金, 潘昊东, 张明杰, 王晶, 杨佳豪, 姚鹏伟, 李雪利(3825)

不同稻作系统土壤的 CH₄ 产生潜力与产生途径 沈皖豫, 黄琼, 马静, 张广斌, 徐华(3835)

东部平原矿区复垦土壤微生物群落特征及其组装过程 马静, 董文雪, 朱燕峰, 肖栋, 陈浮(3844)

同质环境下不同锦鸡儿属植物根际土壤细菌群落结构差异及其影响因素 李媛媛, 徐婷婷, 艾喆, 魏庐璐, 马飞(3854)

岩溶与非岩溶区水稻土团聚体细菌群落结构和功能类群比较 肖筱怡, 靳振江, 冷蒙, 李雪松, 熊丽媛(3865)

紫色土中微生物群落结构及功能特征对土壤 pH 的差异化响应 王智慧, 蒋先军(3876)

有机物料还田对稻田土壤 DOM 碳源代谢能力的影响 肖怡, 李峥, 黄容, 汤奥涵, 李冰, 王昌全(3884)

《环境科学》征订启事(3403) 《环境科学》征稿简则(3462) 信息(3493, 3655, 3834)

北京市通州区河流中微塑料组成的空间分布及潜在来源解析

门聪¹, 李頔¹, 左剑恶^{1,2*}, 邢薇³, 刘梦瑶³, 魏凡钦², 胡嘉敏¹, 谢珍雯¹, 邢鑫¹, 沈杨贵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; 3. 北京交通大学土木建筑工程学院, 水中典型污染物控制与水质保障北京市重点实验室, 北京 100044)

摘要: 微塑料既是一种新兴污染物, 还能作为载体吸附污染物, 对河流等生态系统构成了威胁。但目前针对我国北方河流中微塑料污染问题的研究鲜见。基于对北京市通州区内 6 条河流共 19 个点位的水样采集和分析, 研究了微塑料的组成及空间分布特征, 并揭示了微塑料的潜在来源。结果表明, 微塑料在所有点位上的检出率为 100%, 其中小中河中微塑料的平均丰度是所有河流中最高的 ($3.50 \times 10^4 \text{ n} \cdot \text{m}^{-3}$), 是运潮减河中平均丰度的 4.04 倍。粒径上, 90.49% 微塑料的粒径小于 2000 μm , 且仅在 2 个点位上监测到了粒径大于 4000 μm 的微塑料。微塑料呈现出纤维状、薄膜状、碎片状和颗粒状等 4 种形态, 其中纤维状的微塑料占比最高 (90.23%)。微塑料以透明色和蓝色为主, 共占比 84.29%。人造丝的占比最高, 且在各点位上的占比都在 66.67% 以上, 而其他成分微塑料的分布在不同点位上存在较大的差异。无论是微塑料丰度还是成分种类, 河流上游均高于下游。根据微塑料的形状、成分、颜色和丰度的空间特征, 解析了不同类型微塑料的来源。对于河流中占比最高的纤维状微塑料, 其主要来源可能为服装洗涤、渔具和防尘网的使用。

关键词: 微塑料; 北方河流; 北京市; 空间分布; 来源解析

中图分类号: X522 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2022)07-3656-08 DOI: 10.13227/j.hjxx.202110130

Spatial Variation and Potential Sources of Microplastics in Rivers in Tongzhou District, Beijing

MEN Cong¹, LI Di¹, ZUO Jian-e^{1,2*}, XING Wei³, LIU Meng-yao³, WEI Fan-qin², HU Jia-min¹, XIE Zhen-wen¹, XING Xin¹, SHEN Yang-gui¹

(1. State Key Joint Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control, School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Tsinghua Shenzhen International Graduate School, Shenzhen 518055, China; 3. Beijing Key Laboratory of Aqueous Typical Pollutants Control and Water Quality Safeguard, School of Civil Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: Microplastics are emerging contaminants, which can also absorb other contaminants, threatening the health of river ecosystems. However, research on the pollution of microplastics in rivers in northern China is still lacking. In this study, based on the sampling and analysis of water samples in 19 sites in six rivers in Tongzhou district, Beijing, the composition, spatial variation, and potential sources of microplastics were explored. The results showed that all sites were contaminated by microplastics, and the abundance of microplastics in the Xiaozhong River was the highest among all sites ($3.50 \times 10^4 \text{ n} \cdot \text{m}^{-3}$), which was 4.04 times that in the Yunchaojian River. The proportion of microplastics with particle sizes smaller than 2000 μm was 90.49%, and microplastics with particle sizes larger than 4000 μm were only found in two out of 19 sampling sites. The microplastics were fiber, film, fragment, and granule shaped. The proportion of fiber microplastics was the highest (90.23%) among all shapes. Most (84.29%) of the microplastics were transparent and blue. Rayon was the most common microplastic in each site, and its proportion in each site was over 66.67%. The proportions of other types of microplastics differed largely among different sites. Spatially, the abundance and types of microplastics in the upper reaches were higher than those in the lower reaches. According to spatial variations in shapes, types, colors, and abundance of microplastics, the potential sources of microplastics were identified. The potential sources of fiber microplastics were washing clothing and using fishing gear and dust-proof nets.

Key words: microplastics; northern rivers; Beijing; spatial variation; source identification

由于塑料具有优良的性能和低廉的价格, 在日常生活、机械制造、建筑业和农业等诸多领域得到了广泛的应用^[1,2]。随着塑料的大量使用, 微塑料导致的环境污染问题也逐渐凸显。微塑料(粒径 < 5 mm)是一种新兴污染物, 具有体积小和比表面积大等特点, 能够损害动植物的生长、存活和繁殖, 且能吸附有机物、重金属和抗生素等多种污染物, 加重对生态系统的威胁^[3,4]。微生物在其表面也可形成生物膜, 导致污染物的富集, 加剧对生态系统健康的威胁^[5]。

城市河流汇集了城区的雨水径流和污水处理厂

出水, 是城市中微塑料重要的接纳水体, 也是微塑料最终进入海洋的重要途径^[6]。前期关于微塑料的研究主要关注海洋中的微塑料, 近几年学者们逐渐开展了河流和湖泊等淡水环境中微塑料的相关研究^[7-9]。在我国广州、武汉和上海等南方城市的河流中均监测到了微塑料的赋存, 且多个点位上的微塑料丰度均高于 20000 $\text{n} \cdot \text{m}^{-3}$ ^[10,11]。但由于我国北方与南方在气候条件和人为活动等方面存在差异,

收稿日期: 2021-10-18; 修订日期: 2021-11-16

作者简介: 门聪(1992~), 女, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为流域水污染防治, E-mail: mencongmc@163.com

* 通信作者, E-mail: jiane.zuo@tsinghua.edu.cn

北方河流内的微塑料特征仍值得进一步研究。

为了削弱城市河流中的微塑料污染,需要明确微塑料的分布特征和主要来源。微塑料丰度、形状、粒径、颜色和成分等特征与其来源息息相关,可根据微塑料性质解析微塑料的潜在来源^[12]。基于微塑料的空间分布特征,可对微塑料分布特征的影响因素进行识别^[13]。明确微塑料的分布特征和主要来源,对于微塑料有针对性地管控具有重要意义。

通州区是北京市水系最丰富、河网最密集的区域,享有“九河末梢”之称,是北京市主要的泄洪区和污水排放区^[14]。近年来,通州区作为北京城市副中心,得到了快速的发展,但快速城市化加重了通州区水环境的压力^[15]。因此,本文基于北京市通州区内 6 条河流的采样数据,研究微塑料的组成和污染的空间分布特征,并在此基础上揭示微塑料污染的主要来源,以为城市河流微塑料污染控制提供重要理论支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

通州区地处永定河和潮白河冲洪积扇中下部,境内有潮白河和北运河两大水系,包括运潮减河、温榆河、小中河、通惠河、北运河和凉水河等多条河流,如图 1 所示。

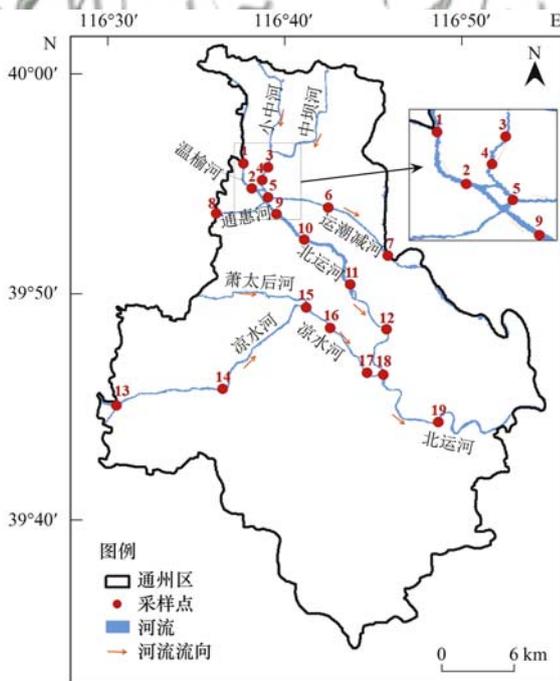


图 1 北京市通州区内河流及采样点位示意

Fig. 1 Rivers and sampling sites in Tongzhou district, Beijing

1.2 采样点位布设及样品采集

本研究在 2019 年 5 月对通州区内温榆河、小中河、通惠河、运潮减河、北运河和凉水河等 6 条

河流进行了水样的采集。通过实地考察,考虑河流长度、采样间距和采样难度等因素,共设置了 19 个采样点,各采样点位置如图 1 所示。在各采样点分别用玻璃河水采样器采集表层河水 5 L。按照从上游到下游、从西到东对样品进行编号,用锡箔纸密封瓶口后拧紧瓶盖。为了确保样品的稳定性,每次采样完成后将样品立即运回实验室并保存在 4℃ 冰箱中,尽快完成样品的测定和分析。

1.3 样品处理

采用 5 mm 的不锈钢筛过滤水样以去除水中的水草等杂质,然后用真空抽滤装置将水样抽滤至 2 μm 的不锈钢滤膜上。为了防止样品中有机物对测定结果的影响,采用 30% 的过氧化氢溶液对样品进行消解。将含有 30% 过氧化氢溶液的样品放置于转速为 100 r·min⁻¹、温度为 60℃ 的恒温振荡箱中 24 h^[16]。随后用饱和 NaCl 溶液对微塑料进行浮选,在室温下静置 24 h 后收集上清液,重复浮选步骤 3 次^[17]。用真空抽滤装置将浮选后获得的所有上清液过滤至 0.45 μm 的滤纸上,用于后续计数和分析^[18]。

1.4 样品分析和鉴定

采用体式显微镜(SDPTOP)对滤纸上的微塑料进行观察,对微塑料的颜色、形状和尺寸进行鉴定并拍照记录。将微塑料的颜色分为白色、黑色、蓝色、红色、绿色和透明等类别;将形状分为纤维状、碎片状、薄膜状和颗粒状等类别^[19];根据体式显微镜下微塑料的照片和比例尺,记录各微塑料的尺寸;分别统计各颜色、各形状和各尺寸的微塑料的丰度。采用激光拉曼光谱仪 LabRAM HR Evolution (HORIBA)对微塑料的成分进行鉴定,对比标准谱库,以 70% 以上的对比度为识别标准,识别微塑料成分^[20]。

1.5 质量控制

为了保证实验结果的准确可靠性,整个采样、处理和分析过程中实验人员都穿着棉质衣服,实验室分析为无尘环境,所有的实验用品都仔细清洗并采用超纯水清洗至少 3 次。在实验过程中,开展了空白实验,覆盖样品过滤、消解、浮选和抽滤等实验全过程,没有在空白样滤纸上监测到微塑料。

1.6 数据处理

采用 Excel 2016 软件对不同颜色、形状、尺寸和成分的微塑料丰度进行了统计;采用 Origin Pro 2021b 软件对不同点位上微塑料的粒径分布进行了 Pearson 相关性分析,并进行了热图和柱形图的绘制;采用 ArcGIS 10.4.1 软件进行了微塑料丰度、粒径、颜色和成分等特征的空间分布图的绘制和分析。

2 结果与分析

2.1 微塑料的丰度及其分布特征

由于样品处理过程中采用了 0.45 μm 的滤纸进行过滤,微塑料的研究结果与分析中均不涉及小于该粒径的微塑料.在北京市通州区河流内的 19 个点位中,微塑料的检出率高达 100% (如图 2).微塑料在所有点位的平均丰度为 $2.48 \times 10^4 \text{ n}\cdot\text{m}^{-3}$.微塑料的丰度在不同点位间差异较大,所有点位间的标准差为 $1.90 \times 10^4 \text{ n}\cdot\text{m}^{-3}$.点位 14 中的微塑料丰度最高 ($7.10 \times 10^4 \text{ n}\cdot\text{m}^{-3}$),是点位 17 中微塑料丰度 ($3.00 \times 10^3 \text{ n}\cdot\text{m}^{-3}$) 的 23.67 倍.从整体上看,研究区内微塑料丰度呈现出西部到东部递减、从上游至下游递减的趋势.小中河中微塑料的平均丰度是所有河流中最高的,为 $3.50 \times 10^4 \text{ n}\cdot\text{m}^{-3}$,其次为通惠河 ($3.30 \times 10^4 \text{ n}\cdot\text{m}^{-3}$,如表 1).运潮减河中微塑料的平均丰度是所有河流中最小的,为 $8.67 \times 10^3 \text{ n}\cdot\text{m}^{-3}$,仅为其他河流中平均丰度的 0.25 ~ 0.51 倍.对于凉水河,位于上游的点位 13 和 14 的微塑料平均丰度在 $7.00 \times 10^4 \text{ n}\cdot\text{m}^{-3}$ 左右,而位于下游的点位 17 的微塑料丰度仅为 $3.00 \times 10^3 \text{ n}\cdot\text{m}^{-3}$.北运河上游(点位 9~12)的微塑料平均丰度也高于北运河下游(点位 18 和 19)的微塑料平均丰度.这可能是由于研究区内上游更靠近北京市中心、人为活动更为频繁,人为活动的影响更大.

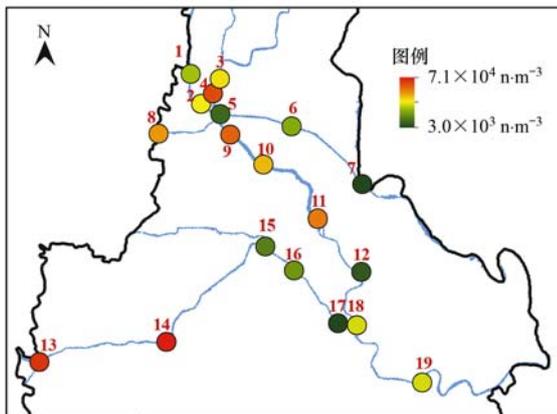


图 2 微塑料丰度的空间分布

Fig. 2 Spatial variations in abundance of microplastics

表 1 各河流内微塑料的平均丰度

Table 1 Mean abundance of microplastics in each river

河流	点位	丰度平均值/ $\text{n}\cdot\text{m}^{-3}$
温榆河	1 和 2	1.95×10^4
中小河	3 和 4	3.50×10^4
运潮减河	5、6 和 7	8.67×10^3
通惠河	8	3.30×10^4
北运河上游	9、10、11 和 12	2.63×10^4
凉水河	13、14、15、16 和 17	3.28×10^4
北运河下游	18 和 19	1.70×10^4

2.2 微塑料的粒径组成及其分布特征

本研究中采集的微塑料粒径在 80 ~ 4 970 μm 范围内,将微塑料的粒径分为 0.45 ~ 500、500 ~ 1 000、1 000 ~ 2 000、2 000 ~ 3 000、3 000 ~ 4 000 和 4 000 ~ 5 000 μm 等 6 个粒径区间进行粒径分布分析(如图 3).当把研究区内所有点位上采集的所有微塑料作为一个整体进行分析,发现位于 500 ~ 1 000 μm 粒径区间内的微塑料的占比是所有粒径区间中最高的,为 38.48%.位于 0 ~ 500 μm 粒径区间内的微塑料的占比(27.48%)略高于位于 1 000 ~ 2 000 μm 粒径区间内的占比(24.52%).粒径小于 2 000 μm 的微塑料占比高达 90.49%,而粒径大于 4 000 μm 的微塑料十分少见,仅在位于小中河的点位 4 和位于凉水河的点位 14 中各监测到占比 2% 左右的大于 4 000 μm 的微塑料.在各点位上,粒径小于 2 000 μm 的微塑料占比在 60.00% 和 100% 之间,多数占比在 90% 以上,说明研究区内河水中微塑料以小于 2 000 μm 的细颗粒为主.

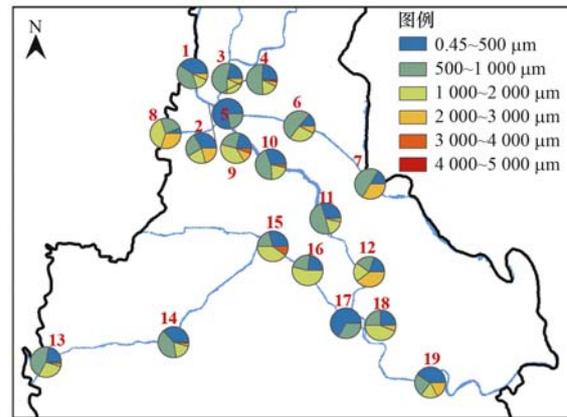


图 3 微塑料粒径特征的空间分布

Fig. 3 Spatial variations in the particle size of microplastics

不同点位间微塑料粒径分布的相关性如图 4 所示.点位 1 与位于其附近的点位 2~5 的相关系数在 0.84 ~ 0.86 之间,且 P 值均小于 0.05.这说明,距离是影响不同位置粒径分布相似性的原因之一,距离相近的点位更可能具有相似的粒径分布.点位 4 到点位 2 的距离与其到点位 3 的距离相近,但点位 2 与点位 4 的粒径分布相关系数仅为 0.65,而点位 3 与点位 4 的粒径分布相关系数高达 1.00,且 P 值仅为 3.41×10^{-5} .这很可能是因为点位 3 和点位 4 同属于中小河,二者粒径分布的高度相似性是点位 3 上微塑料随着河流向点位 4 迁移导致的.在微塑料沿河流迁移的这种机制下,点位 10 与点位 11 之间粒径分布的相关系数也高达 0.99,且 P 值小于 0.01.然而,同样位于凉水河上的相邻点位 16 和 17 间粒径分布的相关系数仅为 0.21,这可能是采样点

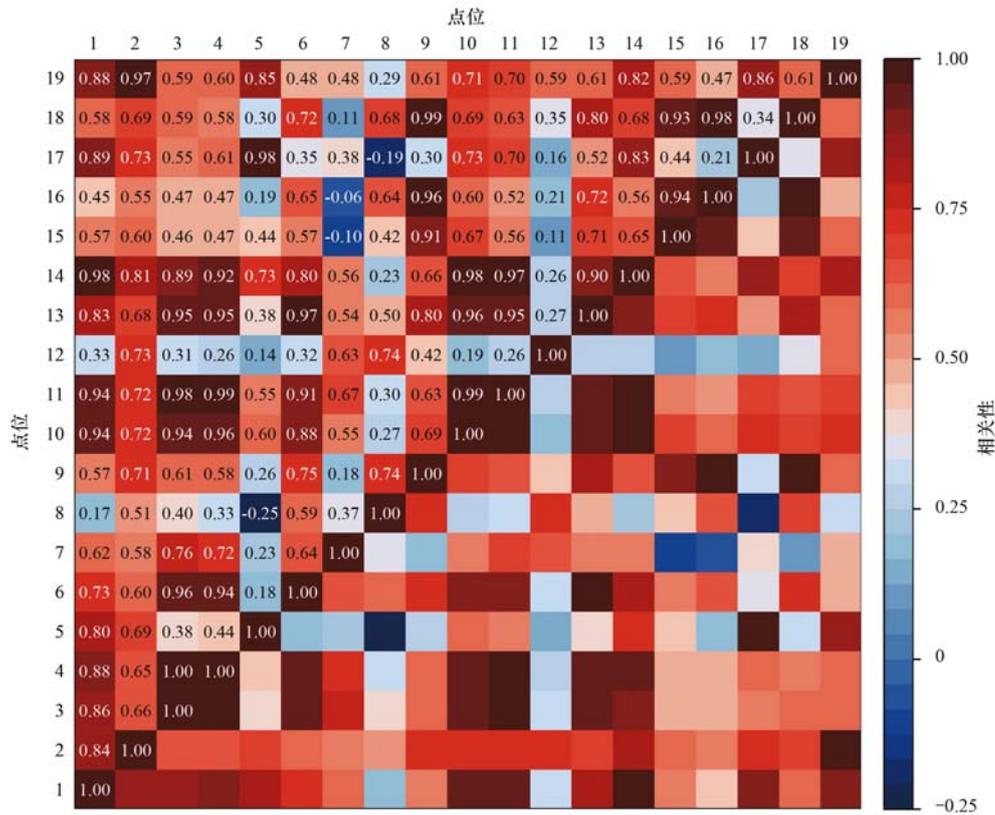


图 4 不同点位间微塑料粒径分布的相关性

Fig. 4 Correlations of particle sizes of microplastics among different sites

位附近的人为活动以及不同粒径微塑料的迁移能力差异所导致的. 综上所述,不同点位间微塑料的粒径分布的关系可能受到多种因素的影响,包括点位间距离大小、人为活动相似性和不同粒径微塑料的迁移能力差异等.

2.3 微塑料的形状组成及其分布特征

通州区主要河流中微塑料呈现出纤维状、薄膜状、碎片状和颗粒状等 4 种形态(如图 5). 当把研究区内所有点位上采集的所有微塑料作为一个整体进行分析,发现纤维状的微塑料占比是最高的,占比 90.23%(如图 6). 薄膜状和碎片状的微塑料占比 4% 左右,而颗粒状微塑料仅占有所有微塑料的 2.12%. 在各点位上,纤维状的微塑料均是占比最高的,在 66.67% 以上. 其他形状的微塑料的分布在不

同点位上存在较大的差异,仅在点位 1 上观察到了全部 4 种微塑料形状. 在点位 6、12 和 16 上,仅观察到纤维状和碎片状两种形状;在点位 11 和 17 上,仅观察到纤维状和颗粒状两种形状;在点位 7、8、15 和 19 上,所有微塑料均为纤维状.

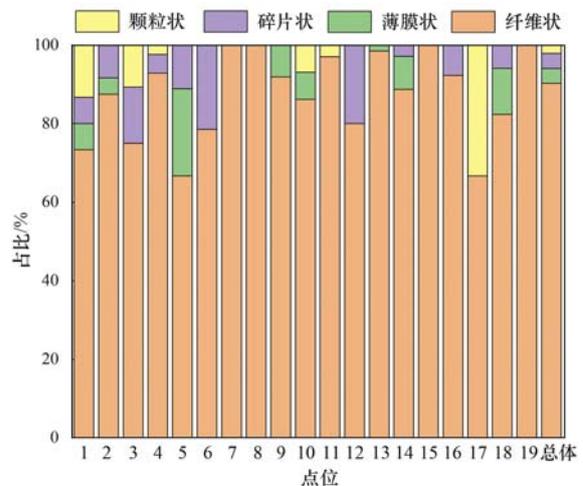


图 6 各点位上微塑料的各形状占比

Fig. 6 Proportions of different shapes of microplastics in each site

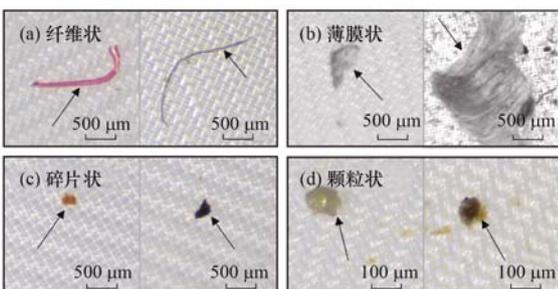


图 5 显微镜下微塑料的不同形态

Fig. 5 Shapes of microplastics under the microscope

2.4 微塑料的颜色组成及其分布特征

在采集的所有微塑料中,观察到了白色、黑色、红色、黄色、蓝色、绿色和透明这 7 种颜色类型(如图 7). 当把研究区内所有点位上采集的所有微塑料作为一个整体进行分析,发现透明的微塑料是最多

的,占比为 47.98%,其次为蓝色,占比为 36.31%。位于广州市内的珠江中的微塑料也是以透明色和蓝色为主,二者占比 75% 左右^[11]。本研究中白色、红色和黄色的微塑料占比分别为 8.49%、4.25% 和 2.12%。黑色和绿色的微塑料最为少见,分别仅占所有微塑料的 0.21% 和 0.64%。蓝色在各点位上的检出率为 100%,透明色也仅在 1 个点位上没有检出。红色和白色的检出率分别为 63.16% 和 52.63%。其他颜色的检出率在 5.25% 和 21.05% 之间。空间上,微塑料颜色组成在不同点位之间存在一定差异。在温榆河、小中河和运潮减河中(点位 1~7),蓝色的微塑料在所有微塑料中占比最高,为 40.00%~69.05%。然而,在凉水河和北运河的多数点位中(点位 9~11、13、14 和 16~19),透明色是所有颜色中占比最高的,为 46.15%~88.24%。

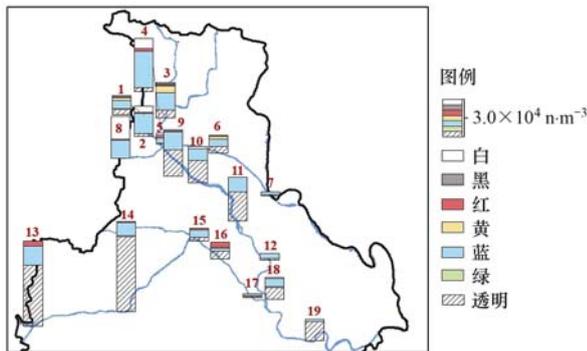


图 7 微塑料颜色的空间分布

Fig. 7 Spatial variations in colors of microplastics

2.5 微塑料的成分组成及其分布特征

所有采样点中共监测到人造丝 (rayon, RY)、聚酰胺 (polyamide, PA)、聚乙烯 (polyethylene, PE)、聚对苯二甲酸乙二醇酯 (polyethylene glycol terephthalate, PET)、聚甲醛 (polyoxymethylene, POM)、聚丙烯 (polypropylene, PP)、聚氨酯 (polyurethane, PUR) 和丙烯腈-苯乙烯共聚物 (acrylonitrile-styrene copolymer, AS) 这 8 类微塑料 (如图 8)。当把研究区内所有点位上采集的所有微塑料作为一个整体进行分析,发现 RY 的比重是最高的,高达 85.77%,而其他微塑料成分的占比均在 5% 以下。在空间上,在点位 1 处监测到了 RY、PA、PE、PET、PP 和 PUR 这 6 类微塑料,在点位 9 监测到了 RY、PA、PE、PET、ROM 和 PP 这 6 类微塑料,在点位 4、6 和 14 处均监测到了 4 类微塑料。然而,点位 11、12 和 15~19 等点位均仅有 2 类微塑料,除 RY 外主要为 PA、PE 和 PET。通过对比以上点位的空间位置后发现,在研究区水系的上游微塑料类型相对较为丰富,而水系的下游微塑料类型相对较少。

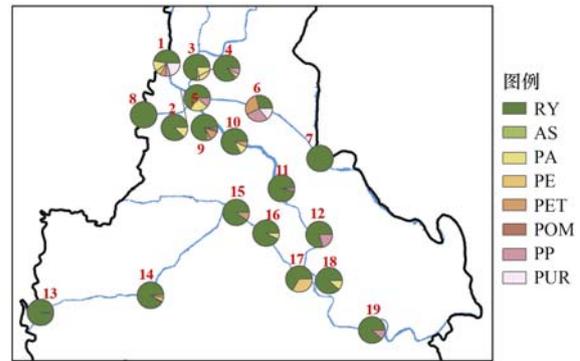


图 8 研究区内微塑料成分的空间分布

Fig. 8 Spatial variations in polymer types of microplastics

3 讨论

3.1 微塑料的潜在来源解析

与金属、氮和磷等污染物不同,微塑料全部是直接人工合成的或由人工合成的塑料分解转化而来的。因此,微塑料的污染均是人为活动导致的。本研究中在所有点位上都有纤维状微塑料检出,且在所有微塑料中的占比高达 90.23%。纤维状微塑料的来源可能有很多,包括衣物、绳子、地毯和渔网等^[21,22]。在纤维状的微塑料中,主要成分为 RY、PET、PP、PA 和 PUR。RY、PET、PP、PA 和 PUR 等被广泛应用服装(衬衫、内衣、夹克衫等)和室内装饰(悬挂织物、地毯)等^[23,24]。通过模拟家用洗衣机洗衣服的过程,研究人员在洗衣机的排水口收集了大量的微塑料纤维,每次洗涤过程中收集的微塑料纤维个数普遍在 500~2 000 之间,甚至高达 3 000 以上^[25]。此外,渔网和钓线也大多以 RY、PE 和 PA 为主要材质,而透明的渔网和钓线是所有颜色中最为常见的,这很可能也是本研究中透明的微塑料在所有微塑料中占比最高的原因之一^[26]。为了控制大气颗粒物含量,北京在裸露土地上覆盖了大量的防尘网,而 PP 广泛应用于防尘网的生产 and 制造,防尘网的使用可能是 PP 微塑料的重要来源之一^[27]。因此,纤维状微塑料的主要来源应为服装洗涤、渔具和防尘网的使用。

常见的微塑料薄膜往往来源于塑料薄膜的部分分解,农业地膜往往是微塑料薄膜的重要来源之一^[28]。然而由于本研究区为北京市通州区,农业活动相对较少,较少使用农业地膜,这可能也是微塑料薄膜在所有微塑料中所占比重较小的原因之一。通过对薄膜状微塑料的空间分布进行分析后发现,薄膜状微塑料主要分布在点位 1、2、5、9 和 10。以上点位在空间上依次相邻,位于温榆河、北运河上游以及两条河流交汇处附近。该位置居住区和商业区的建设和发展相对成熟,且有 3 座学院及大学、1 座

三甲级医院和 1 处漕运观光码头,人口密度大,人为活动影响较为显著.该位置薄膜状微塑料的主要成分为 PP、PE、PA 和 RY,以上成分被广泛应用于食品、药品等的薄膜包装袋以及鱼饲料编织袋上的防水薄膜层^[29,30],这可能是薄膜状微塑料的主要来源.

碎片状和颗粒状微塑料的来源较广,各类工业和生活塑料废弃物裂解破碎后均可形成碎片状和颗粒状微塑料^[3,31].在全部 19 个点位中,在 13 个点位上检测到了碎片状和颗粒状微塑料,各点位在空间上分布较为分散,没有呈现出明显的趋势.碎片状和颗粒状微塑料的颜色种类较为丰富,57.15% 的微塑料为透明色,21.43% 的微塑料为白色,其他为黑色、蓝色、黄色和绿色等.在碎片状和颗粒状微塑料中均检测到了 PA、PE、PP 和 AS 共 4 种成分.这 4 种塑料均可用于制造食品和药品的包装,进入自然环境后裂解破碎后形成碎片,形成碎片状微塑料^[32].由于 PA、PE 和 PP 具有优良的机械性能,也被用于机械、化工、仪表和汽车等工业中轴承、齿轮、泵叶和其他零件的制造,以上零件进入环境后可破碎形成碎片状和颗粒状微塑料^[33,34].因此,碎片状和颗粒状微塑料的潜在来源可能是包装容器和零件.

3.2 微塑料分布特征的影响因素

微塑料的性质(形状、密度和尺寸等)会直接影响其沉降速度和迁移能力,继而影响其分布特征.微塑料的形状是影响其分布特征的一个重要因素.相较于碎片状和颗粒状微塑料,纤维状微塑料更不易沉积,更容易随水流向下游甚至海洋进行迁移^[35].微塑料的密度也会影响其在空间上的分布特征.本研究中监测到的 PE、PP 和 PUR 等微塑料的密度低于河水及海水,更易漂浮于水面,进而随水流进行远距离迁移;而 PA、PET、POM 和 AS 等微塑料的密度高于水,导致这些微塑料更容易沉积,对下游的影响较小^[36,37].有些微生物也可能在微塑料表面形成生物膜并吸附重金属等污染物,导致整体密度的增加,使微塑料更容易在河流中沉积^[38].这可能是本研究区内下游微塑料种类小于上游的原因之一.微塑料的粒径也是影响微塑料迁移和分布的因素之一.Besseling 等^[39]对河水中微塑料的归趋开展了研究,发现对于粒径为 0.1 ~ 2 μm 的微塑料,其在河水中的沉降速度随着粒径的增大而减小;而对于大于该粒径的微塑料,其在河水中的沉降速度随着粒径的增大而增加.

河流周边的人类活动是河流中微塑料的主要来源,河流周边的人类活动类型和强度是影响河流中

微塑料分布特征的重要因素之一^[40,41].各种人为活动产生的微塑料可以通过雨水和污水管网随水流迁移进入河流,也可以在风力的作用下迁移进入河流^[42],继而导致河流内微塑料丰度的增加.微塑料丰度和形状等特征均会受到人类活动类型和强度的影响.由于雨水的冲刷作用是微塑料进入水体的重要途径之一,雨季的水体中微塑料的含量往往高于旱季,在不同季节开展采样和分析有助于全面了解研究区内微塑料的分布特征^[43,44].本研究的河流均为城市河流,受农业影响较少,导致监测到的微塑料多为服装洗涤、渔具使用、产品包装袋及包装容器等产生的与日常生活相关的来源,且多为纤维状微塑料.有学者研究表明,当长江流经武汉市时水中微塑料丰度显著升高,揭示了大型城市人为活动对微塑料丰度的影响^[45].同一河流当其周边人类活动类型发生变化时,微塑料的丰度会随之变化,且城市周边河流内的微塑料丰度高于农村、郊区和工业用地周边河流内的丰度^[46].

4 结论

(1)在所有点位上都监测到了微塑料,小中河中微塑料的平均丰度是所有河流中最高的($3.50 \times 10^4 \text{ n}\cdot\text{m}^{-3}$),其次为通惠河($3.30 \times 10^4 \text{ n}\cdot\text{m}^{-3}$).绝大多数(90.49%)微塑料的粒径均小于 2 000 μm ,其中位于 0 ~ 500 μm 粒径区间内的微塑料占比 27.48%.微塑料呈现出纤维状、薄膜状、碎片状和颗粒状等 4 种形态,其中纤维状的微塑料占比是最高的(90.23%).透明的微塑料是最多的,占比为 47.98%,其次为蓝色,占比为 36.31%.所有采样点中一共监测到 RY、PA、PE、PET、PP、POM、AS 和 PUR 这 8 类微塑料.人造丝的占比是最高的,高达 85.77%.受人为活动影响,研究区内微塑料丰度呈现出西部到东部递减、从上游至下游递减的趋势,微塑料成分也呈现出在上游种类丰富而在下游种类较少的趋势.

(2)根据微塑料的形状、成分、颜色和丰度的空间特征,对微塑料的潜在来源进行了识别.纤维状微塑料的主要成分为 RY、PET、PP、PA 和 PUR,其主要来源应为服装洗涤、渔具和防尘网使用.薄膜状微塑料的主要成分为 PP、PE、PA 和 RY,结合其赋存位置,推测其很可能来源于薄膜包装袋以及编织袋上的防水薄膜层.在碎片状和颗粒状微塑料中均检测到了 PA、PE、PP 和 AS 这 4 种成分,其潜在来源可能是包装容器和零件.河流周边的人类活动类型和强度是影响河流中微塑料分布特征的重要因素之一.微塑料自身的性质(形状、密度和尺寸等)

会直接影响其沉降速度和迁移能力,继而影响其分布特征。

参考文献:

- [1] De Falco F, Di Pace E, Cocca M, *et al.* The contribution of washing processes of synthetic clothes to microplastic pollution [J]. *Scientific Reports*, 2019, **9**, doi: 10.1038/s41598-019-43023-x.
- [2] Skvorčinskiene R, Striūgas N, Navakas R, *et al.* Thermal analysis of waste fishing nets for polymer recovery[J]. *Waste and Biomass Valorization*, 2019, **10**(12): 3735-3744.
- [3] Fournier E, Etienne-Mesmin L, Grootaert C, *et al.* Microplastics in the human digestive environment; a focus on the potential and challenges facing *in vitro* gut model development[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2021, **415**, doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.125632.
- [4] Luo H W, Liu C Y, He D Q, Xu, *et al.* Environmental behaviors of microplastics in aquatic systems: a systematic review on degradation, adsorption, toxicity and biofilm under aging conditions[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2022, **423**, doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.126915.
- [5] Yang Y Y, Liu W Z, Zhang Z L, *et al.* Microplastics provide new microbial niches in aquatic environments [J]. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2020, **104**(15): 6501-6511.
- [6] Tsering T, Sillanpää M, Sillanpää M, *et al.* Microplastics pollution in the Brahmaputra River and the Indus River of the Indian Himalaya[J]. *Science of the Total Environment*, 2021, **789**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.147968.
- [7] Wong G, Löwemark L, Kunz A. Microplastic pollution of the Tamsui River and its tributaries in northern Taiwan; spatial heterogeneity and correlation with precipitation [J]. *Environmental Pollution*, 2020, **260**, doi: 10.1016/j.envpol.2020.113935.
- [8] Zhao J M, Ran W, Teng J, *et al.* Microplastic pollution in sediments from the Bohai Sea and the Yellow Sea, China[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, **640-641**: 637-645.
- [9] Berov D, Klayn S. Microplastics and floating litter pollution in Bulgarian Black Sea coastal waters [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2020, **156**, doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111225.
- [10] Wang W F, Ndungu A W, Li Z, *et al.* Microplastics pollution in inland freshwaters of China: a case study in urban surface waters of Wuhan, China[J]. *Science of the Total Environment*, 2017, **575**: 1369-1374.
- [11] Yan M T, Nie H Y, Xu K H, *et al.* Microplastic abundance, distribution and composition in the Pearl River along Guangzhou city and Pearl River estuary, China[J]. *Chemosphere*, 2019, **217**: 879-886.
- [12] Fan Y, Zheng K, Zhu Z W, *et al.* Distribution, sedimentary record, and persistence of microplastics in the Pearl River catchment, China [J]. *Environmental Pollution*, 2019, **251**: 862-870.
- [13] Ding L, Mao R F, Guo X T, *et al.* Microplastics in surface waters and sediments of the Wei River, in the northwest of China [J]. *Science of the Total Environment*, 2019, **667**: 427-434.
- [14] 伍娟丽,王永刚,王旭,等. 通州区河流沉积物重金属污染评价[J]. *水生态学杂志*, 2020, **41**(1): 71-78.
Wu J L, Wang Y G, Wang X, *et al.* Assessment of heavy metal pollution in surface sediment of rivers in Tongzhou District[J]. *Journal of Hydroecology*, 2020, **41**(1): 71-78.
- [15] 白晓龙,顾卫兵,杨春和,等. 通启运河通州段表层底泥重金属污染评价[J]. *工业安全与环保*, 2017, **43**(3): 103-106.
- Bai X L, Gu W B, Yang C H, *et al.* Pollution evaluation of heavy metals in surface sediments of Tongzhou section from Tongqi canal [J]. *Industrial Safety and Environmental Protection*, 2017, **43**(3): 103-106.
- [16] Xiong X, Zhang K, Chen X C, *et al.* Sources and distribution of microplastics in China's largest inland lake-Qinghai Lake [J]. *Environmental Pollution*, 2018, **235**: 899-906.
- [17] Purwiyanto A I S, Suteja Y, Trisno, *et al.* Concentration and adsorption of Pb and Cu in microplastics: case study in aquatic environment [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2020, **158**, doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111380.
- [18] Mao R F, Hu Y Y, Zhang S Y, *et al.* Microplastics in the surface water of Wuliangshai Lake, northern China[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, **723**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137820.
- [19] 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.
- [20] Li L, Geng S X, Wu C X, *et al.* Microplastics contamination in different trophic state lakes along the middle and lower reaches of Yangtze River Basin[J]. *Environmental Pollution*, 2019, **254**, doi: 10.1016/j.envpol.2019.07.119.
- [21] Boughattas I, Hattab S, Zitouni N, *et al.* Assessing the presence of microplastic particles in Tunisian agriculture soils and their potential toxicity effects using *Eisenia andrei* as bioindicator [J]. *Science of the Total Environment*, 2021, **796**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.148959.
- [22] Galvão A, Aleixo M, De Pablo H D, *et al.* Microplastics in wastewater: Microfiber emissions from common household laundry [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, **27**(21): 26643-26649.
- [23] Tian Y J, Chen Z, Zhang J Y, *et al.* An innovative evaluation method based on polymer mass detection to evaluate the contribution of microfibers from laundry process to municipal wastewater [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2021, **407**, doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.124861.
- [24] Pietrelli L, Di Gennaro A, Menegoni P, *et al.* Pervasive plastisphere; first record of plastics in egagropiles (*Posidonia* spheroids) [J]. *Environmental Pollution*, 2017, **229**: 1032-1036.
- [25] Hernandez E, Nowack B, Mitrano D M. Polyester textiles as a source of microplastics from households: a mechanistic study to understand microfiber release during washing [J]. *Environmental Science & Technology*, 2017, **51**(12): 7036-7046.
- [26] Montarolo A, Mossotti R, Patrucco A, *et al.* Study on the microplastics release from fishing nets [J]. *The European Physical Journal Plus*, 2018, **133**(11), doi: 10.1140/epjp/i2018-12415-1.
- [27] Chen Y X, Wu Y H, Ma J, *et al.* Microplastics pollution in the soil mulched by dust-proof nets: a case study in Beijing, China [J]. *Environmental Pollution*, 2021, **275**, doi: 10.1016/j.envpol.2021.116600.
- [28] 郝爱红,赵保卫,张建,等. 土壤中微塑料污染现状及其生态风险研究进展[J]. *环境化学*, 2021, **40**(4): 1100-1111.
Hao A H, Zhao B W, Zhang J, *et al.* Research progress on pollution status and ecological risk of microplastics in soil [J]. *Environmental Chemistry*, 2021, **40**(4): 1100-1111.

- [29] 韩丽花, 李巧玲, 徐笠, 等. 大辽河沉积物中微塑料的污染特征[J]. 中国环境科学, 2020, **40**(4): 1649-1658.
Han L H, Li Q L, Xu L, *et al.* The pollution characteristics of microplastics in Daliao River sediments [J]. China Environmental Science, 2020, **40**(4): 1649-1658.
- [30] 方芹, 牛司平, 陈予东, 等. 城市路面积尘微塑料污染特征[J]. 环境科学, 2022, **43**(1): 189-198.
Fang Q, Niu S P, Chen Y D, *et al.* Characteristics of microplastic present in urban road dust [J]. Environmental Science, 2022, **43**(1): 189-198.
- [31] Katare Y, Singh P, Sankhla M S, *et al.* Microplastics in aquatic environments: sources, ecotoxicity, detection & remediation[J]. Biointerface Research in Applied Chemistry, 2021, **12**(3): 3407-3428.
- [32] 朱文亮. 食品塑料包装材料中有机污染物的高通量检测与迁移研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2013. 1-2.
Zhu W L. The migration research and detection of organic contaminants in food packing plastic material[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2013. 1-2.
- [33] 刘朝艳. 2018~2019年世界塑料工业进展(II)[J]. 塑料工业, 2020, **48**(4): 1-14.
Liu C Y. Progress of the world's plastics industry from 2018 to 2019 (II)[J]. China Plastics Industry, 2020, **48**(4): 1-14.
- [34] 吴保萍. 水利工程塑料管材检测与应用分析[J]. 广西水利水电, 2019, (5): 85-88.
Wu Y P. Inspection and application of plastic pipe in water conservancy project[J]. Guangxi Water Resources & Hydropower Engineering, 2019, (5): 85-88.
- [35] Koutnik V S, Leonard J, Alkidim S, *et al.* Distribution of microplastics in soil and freshwater environments: global analysis and framework for transport modeling [J]. Environmental Pollution, 2021, **274**, doi: 10.1016/j.envpol.2021.116552.
- [36] Yan M Q, Wang L, Dai Y Y, *et al.* Behavior of microplastics in inland waters: aggregation, settlement, and transport [J]. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 2021, **107**(4): 700-709.
- [37] Lestari P, Trihadiningrum Y, Wijaya B A, *et al.* Distribution of microplastics in Surabaya River, Indonesia [J]. Science of the Total Environment, 2020, **726**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138560.
- [38] Amaral-Zettler L A, Zettler E R, Mincer T J, *et al.* Biofouling impacts on polyethylene density and sinking in coastal waters: a macro/micro tipping point? [J]. Water Research, 2021, **201**, doi: 10.1016/j.watres.2021.117289.
- [39] Besseling E, Quik J T K, Sun, M Z, *et al.* Fate of Nano- and microplastic in freshwater systems: a modeling study [J]. Environmental Pollution, 2017, **220**: 540-548.
- [40] Emmerik T, Schwarz A. Plastic debris in rivers [J]. WIREs Water, 2020, **7**(1), doi: 10.1002/wat2.1398.
- [41] 胡嘉敏, 左剑恶, 李頔, 等. 北京城市河流河水和沉积物中微塑料的组成与分布[J]. 环境科学, 2021, **42**(11): 5275-5283.
Hu J M, Zuo J E, Li D, *et al.* Composition and distribution of microplastics in the water and sediments of urban rivers in Beijing [J]. Environmental Science, 2021, **42**(11): 5275-5283.
- [42] Bullard J E, Ockelford A, O'Brien P, *et al.* Preferential transport of microplastics by wind [J]. Atmospheric Environment, 2021, **245**, doi: 10.1016/j.atmosenv.2020.118038.
- [43] Dou P C, Mai L, Bao J L, *et al.* Microplastics on beaches and mangrove sediments along the coast of South China [J]. Marine Pollution Bulletin, 2021, **172**, doi: 10.1016/j.marpollbul.2021.112806.
- [44] Zheng S, Zhao Y F, Liangwei W H, *et al.* Characteristics of microplastics ingested by zooplankton from the Bohai Sea, China [J]. Science of the Total Environment, 2020, **713**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.136357.
- [45] Xiong X, Wu C X, Elser J J, *et al.* Occurrence and fate of microplastic debris in middle and lower reaches of the Yangtze River - From inland to the sea [J]. Science of the Total Environment, 2019, **659**: 66-73.
- [46] Liu Y, Zhang J D, Tang Y, *et al.* Effects of anthropogenic discharge and hydraulic deposition on the distribution and accumulation of microplastics in surface sediments of a typical seagoing river: the Haihe River [J]. Journal of Hazardous Materials, 2021, **404**, doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.124180.

CONTENTS

Development Scenarios and Environmental Benefits Analysis of Future Power Generation Industry Under Two Modes in China	LIU Chun-jing, LÜ Jian-yi, ZHAO Wen-chang, <i>et al.</i>	(3375)
Forecasting of Emission Co-reduction of Greenhouse Gases and Pollutants for the Road Transport Sector in Lanzhou Based on the LEAP Model .....	..... PANG Ke, ZHANG Qian, MA Cai-yun, <i>et al.</i>	(3386)
Discussion of Air Quality Forecasting Evaluation for Cities Based on Half-level Method	WANG Xiao-yan, ZHU Li-li, XU Rong, <i>et al.</i>	(3396)
Characterization and Health Risk Assessment of Heavy Metals in PM _{2.5} in Xiamen Port	XIAO Si-han, CAI Mei-jun, LI Xiang, <i>et al.</i>	(3404)
Deposition Characteristics of Water-soluble Inorganic Nitrogen and Organic Nitrogen in Atmospheric Precipitation in the Northern Suburbs of Nanjing .....	..... ZHANG Jia-ying, YU Xing-na, ZHANG Yu-xiu, <i>et al.</i>	(3416)
Analysis of PM _{2.5} Transmission Characteristics in Main Cities of Jinzhong Basin in Winter	WANG Xiao-lan, WANG Yan, YAN Shi-ming, <i>et al.</i>	(3423)
Temporal Evolution and Source Apportionment of Black Carbon Aerosol in Ordos During Summer and Autumn 2019	KONG Xiang-chen, ZHANG Lian-xia, ZHANG Cai-yun, <i>et al.</i>	(3439)
Characteristics, Sources, and SOAP of VOCs During Winter in Jiyuan	WANG Fang, LI Li-xia, WANG Hong-guo, <i>et al.</i>	(3451)
Characteristics and Source Apportionment of Volatile Organic Compounds in August in the Chang-Zhu-Tan Urban Area	LUO Da-tong, ZHANG Qing-mei, LIU Zhan, <i>et al.</i>	(3463)
Ozone Sensitivity Analysis and Control Strategy in Shijiazhuang City in July 2019	ZHU Jia-xian, WANG Xiao-qi, OU Sheng-ju, <i>et al.</i>	(3473)
Spatiotemporal Variation and Influencing Factors of AOD in the North China Plain	GUO Lin, MENG Fei, MA Ming-liang	(3483)
Aerosol Optical Characteristics with Ground-based Measurements via Sun Photometer and Its Relationship with PM Particle Concentration in Chang'an .....	..... ZHENG Yu-rong, WANG Xu-hong, CUI Si-ying, <i>et al.</i>	(3494)
Spatio-temporal Distribution and Evolution Characteristics of Air Pollution in Beijing-Tianjin-Hebei Region Based on Long-term "Ground-Satellite" Data .....	..... WANG Yao-ting, YIN Zhen-ping, ZHENG Zuo-fang, <i>et al.</i>	(3508)
Ten-year Trend Analysis of Eutrophication Status and the Related Causes in Lake Hongze	CHEN Tian-yu, LIU Chang-qing, SHI Xiao-li, <i>et al.</i>	(3523)
Shallow Groundwater Around Plateau Lakes: Spatiotemporal Distribution of Phosphorus and Its Driving Factors	YANG Heng, LI Gui-fang, YE Yuan-hang, <i>et al.</i>	(3532)
Characteristics and Differences of Dissolved Oxygen Stratification in Different Tributaries of Three Gorges Reservoir During Impoundment Period .....	..... JI Dao-bin, FANG Jiao, LONG Liang-hong, <i>et al.</i>	(3543)
Dissolved Organic Matter Component and Source Characteristics of the Metropolitan Lakes and Reservoirs in a Typical Karst Region	NI Mao-fei, ZHOU Hui, MA Yong-mei, <i>et al.</i>	(3552)
Characteristics, Sources, and Risk Assessment of Perfluoroalkyl Substances in Surface Water and Sediment of Luoma Lake	HUANG Jia-hao, WU Wei, HUANG Tian-yin, <i>et al.</i>	(3562)
Vertical Distribution Characteristics and Influencing Factors of Phytoplankton Community Structure in Qiandao Lake	WANG Ji-yi, HUO Di, GUO Chao-xuan, <i>et al.</i>	(3575)
Chemical Forms and Spatial Distribution of Phosphorus in the Sediment of Sihe River	ZHANG Zi-han, ZHANG Xin-ru, JIA Chuan-xing, <i>et al.</i>	(3587)
Influence of Optimal Land Use Allocation on Phosphorus Loss in the Process of Rainfall and Runoff	ZHOU Hao, CHEN Fang-xin, LUO Yi-feng, <i>et al.</i>	(3597)
Distribution Characteristics and Risk Assessment of Accumulated Heavy Metals in Bioretention Systems	CHU Yang-yang, YANG Long, ZHOU Yuan, <i>et al.</i>	(3608)
Effects of Damming and Impoundment on Planktonic Microbial Community Structure and Interspecific Interaction Patterns in Different Water Depths .....	..... WANG Xun, ZHANG Jia-jia, YUAN Qiu-sheng, <i>et al.</i>	(3623)
Identification of Bacterial Flora and Metabolic Function of Sediments in Different Channels of Duliujian River Basin, Tianjin	LIU Jia-yuan, FENG Yue, YANG Xue-chun, <i>et al.</i>	(3635)
Spatiotemporal Distribution and Source Apportionment of Suspended Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Water	PENG Ke-xing, LI Rui-fei, ZHOU Yi-chen, <i>et al.</i>	(3645)
Spatial Variation and Potential Sources of Microplastics in Rivers in Tongzhou District, Beijing	MEN Cong, LI Di, ZUO Jian-e, <i>et al.</i>	(3656)
Effects of Microplastic Exposure on Crucian Growth, Liver Damage, and Gut Microbiome Composition	HU Jia-min, ZUO Jian-e, LI Jin-bo, <i>et al.</i>	(3664)
Influence of Different Types of Dewatering Agents on the Solidification Effect and Physical and Chemical Properties of Sediment	REN Jun, YIN Peng, WANG Wei-zhen, <i>et al.</i>	(3672)
Structural Characteristics of Micro-nano Particle Size Biochar and Its Adsorption Mechanism for Cd ²⁺	MA Wen-yan, PEI Peng-gang, GAO Ge, <i>et al.</i>	(3682)
Phosphorus Adsorption Characteristics of Different Biochar Types and Its Influencing Factors	LIAN Shen-hai, ZHANG Shu-nan, LIU Feng, <i>et al.</i>	(3692)
Development of Zeolite Loaded Mg-La-Fe Ternary (hydr)oxides for Treatment of Low Concentration Phosphate Wastewater	YIN Xue-jie, SONG Xiao-bao, DING Chen-man, <i>et al.</i>	(3699)
Succession and PICRUSt2-based Predicted Functional Analysis of Microbial Communities During the Sludge Bulking Occurrence and Restoration in One-stage Combined Partial Nitrification and ANAMMOX Process	LI Ya-nan, YAN Bing, ZHENG Rui, <i>et al.</i>	(3708)
Aerobic Granulation Stability and Microbial Diversity of Filamentous Bulking Sludge	GAO Chun-di, YANG Xiao-yang, OU Jia-li, <i>et al.</i>	(3718)
Dynamic Variation in Vegetation Cover and Its Influencing Factor Detection in the Yangtze River Basin from 2000 to 2020	XU Yong, ZHENG Zhi-wei, GUO Zhen-dong, <i>et al.</i>	(3730)
Enrichment and Ecological Risk Assessment of Available Phosphorus in Paddy Soil of Fujian Province Over Past 40 years	CHEN Zhong-xing, QIU Long-xia, CHEN Han-yue, <i>et al.</i>	(3741)
Effects of Land Use Change on Constitution, Stability, and C, N, P Stoichiometric Characteristics of Soil Aggregates in Southwest China Karst .....	..... HE Yu, SHENG Mao-yin, WANG Ke, <i>et al.</i>	(3752)
Heavy Metal Pollution and Health Risk Assessment of Mine Soil in Yangtze River Economic Belt	ZHANG Zhe, LU Ran, WU Si-yang, <i>et al.</i>	(3763)
Pollution Characteristics and Phytotoxicity of Heavy Metals in the Soil Around Coal Gangue Accumulation Area	SHANG Yu, SANG Nan	(3773)
Evaluation of Mercury Pollution in Soil of Different Land Use Types in Coal-fired Industrial Area	LI Qiang, YAO Wan-cheng, ZHAO Long, <i>et al.</i>	(3781)
Cadmium Enrichment and Bioavailability of Quaternary Profiles in Nansha District, Guangzhou, China	WANG Fang-ting, BAO Ke, HUANG Chang-sheng, <i>et al.</i>	(3789)
Health Risk Assessment and Environmental Benchmark of Heavy Metals in Cultivated Land in Mountainous Area of Northwest Guizhou Province .....	..... XU Meng-qi, YANG Wen-tao, YANG Li-yu, <i>et al.</i>	(3799)
Effect Factors and Model Prediction of Soil Heavy Metal Bioaccessibility	ZHANG Jia-wen, TIAN Biao, LUO Jing-jing, <i>et al.</i>	(3811)
Effect of Organic Material Amendments on Soil Respiration in Tobacco Fields of Central Henan	LU Qi-fei, YE Xie-feng, HAN Jin, <i>et al.</i>	(3825)
Methane Production Potential and Methanogenic Pathways in Paddy Soils Under Different Rice-based Cropping Systems	SHEN Wan-yu, HUANG Qiong, MA Jing, <i>et al.</i>	(3835)
Characteristics and Assembly Process of Reclaimed Soil Microbial Communities in Eastern Plain Mining Areas	MA Jing, DONG Wen-xue, ZHU Yan-feng, <i>et al.</i>	(3844)
Differences in Bacterial Community Structure in Rhizosphere Soil of Three <i>Caragana</i> Species and Its Driving Factors in a Common Garden Experiment .....	..... LI Yuan-yuan, XU Ting-ting, AI Zhe, <i>et al.</i>	(3854)
Comparison of Bacterial Community Structure and Functional Groups of Paddy Soil Aggregates Between Karst and Non-karst Areas	XIAO Xiao-yi, JIN Zhen-jiang, LENG Meng, <i>et al.</i>	(3865)
Contrasting Responses of the Microbial Community Structure and Functional Traits to Soil pH in Purple Soils	WANG Zhi-hui, JIANG Xian-jun	(3876)
Effects of Agricultural Organic Waste Incorporation on the Metabolic Capacity of Microbial Carbon Sources of Dissolved Organic Matter in Paddy Soil .....	..... XIAO Yi, LI Zheng, HUANG Rong, <i>et al.</i>	(3884)