

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV
HUANJING KEXUE

■ 主办 中国科学院生态环境研究中心
■ 出版 科学出版社



2020

Vol.41 No.7
第41卷 第7期

目次

中国钢铁行业大气环境影响	汤铃, 薛晓达, 伯鑫, 贾敏, 郭静, 田军, 黄满堂, 崔维庚, 王彤, 李时蓓, 敬红, 甄瑞卿, 孙露, 成国庆 (2981)
华北地区大气细颗粒物 (PM _{2.5}) 年际变化及其对土地利用/覆被变化的响应	杨伟, 姜晓丽 (2995)
郑州市民运会期间大气 PM _{2.5} 改善效果评估	王申博, 姜亚敏, 徐艺斐, 袁明浩, 苏方成, 张瑞芹 (3004)
成都夏冬季 PM _{2.5} 中水溶性无机离子污染特征	冯炎鹏, 张军科, 黄小娟, 刘琴, 张巍, 张建强 (3012)
川南自贡市大气颗粒物污染特征及传输路径与潜在源分析	雷雨, 张小玲, 康平, 王浩霖, 青泉, 欧奕含, 卢宁生, 邓中慈 (3021)
四川省典型行业挥发性有机物源成分谱	徐晨曦, 陈军辉, 韩丽, 王继钦, 王波 (3031)
成都市工业挥发性有机物排源成分谱	周子航, 邓也, 周小玲, 吴柯颖, 谭钦文, 尹代娟, 宋丹林, 陈秋宇, 曾文斌 (3042)
郑州市典型工业企业 VOCs 排放特征及风险评估	齐一谨, 倪经纬, 赵东旭, 杨艺, 韩丽岩, 李博伟 (3056)
阳泉市区夏季挥发性有机物污染特征、来源解析及其环境影响	牛月圆, 刘倬诚, 李如梅, 高千卓, 邓萌杰, 闫雨龙, 胡冬梅, 吴婧, 彭林 (3066)
典型光化学污染期间杭州大气挥发性有机物污染特征及反应活性	景盛翱, 叶旭红, 高雅琴, 彭亚荣, 李英杰, 王倩, 沈建东, 王红丽 (3076)
华北地区典型重工业城市夏季近地面 O ₃ 污染特征及敏感性	欧盛菊, 魏巍, 王晓琦, 姚森, 周志博, 关攀博, 段文娇, 姚诗音 (3085)
稳定同位素模型解析大气氨来源的参数敏感性	顾梦娜, 潘月鹏, 何月欣, 田世丽, 王彦君, 吕雪梅, 倪雪, 孙杰, 吴电明, 方运霞 (3095)
苏州市大气中汞的形态分布特征及来源分析	卢仁杰, 吴也正, 张晓婕, 沈莹, 吴福全, 薛媛媛, 邹强, 麻春艳 (3102)
轻型汽油车稳态工况下的尾气排放特征	谢岩, 廖松地, 朱曼妮, 王怡然, 王日超, 张立航, 余飞, 钟庄敏, 白莉, 黄江荣, 刘俊文, 郑君瑜 (3112)
非超低与超低排放煤电机组启动过程 NO _x 排放特征对比分析	李辉, 朱法华, 孙雪丽, 王宗爽, 王圣, 裴杰, 谭玉菲, 薛峰, 郭敏, 郑桂博 (3121)
邢台市区道路可悬浮灰尘重金属污染特征及来源识别	宋怡, 卢新卫, 周潇, 葛子赫 (3130)
叶片微观结构变化对其颗粒物滞纳能力的影响	魏文俊, 王兵, 牛香 (3136)
关中平原降水氢氧稳定同位素特征及其水汽来源	赵明华, 陆彦玮, Rachana Heng, 司炳成 (3148)
岩溶流域不同水体硝酸盐的来源解析	田永著, 韩志伟, 赵然, 李耕, 曾祥颖, 黄家琰 (3157)
木沥河流域氮素污染及其污染源解析	齐冉, 徐菲菲, 杨帆, 颜昌宙 (3165)
辽河口沉积物环境要素时空动态及影响因素分析	齐玥, 孙永光, 马恭博, 吴楠, 付元宾 (3175)
鄱阳湖多尺度流域磷源输送特征及其生态效应	王朔月, 高扬, 陆瑶, 贾珺杰, 李兆喜, 马明真, 温学发 (3186)
象山港流域入湾河流水体中重金属风险评价及其来源解析	王磊, 汪文东, 刘懂, 李刚, 于红梅, 黄沙, 徐耀阳 (3194)
乐安河河流水体典型全氟化合物的浓度及其前体物的污染贡献	张慧, 王世亮, 余杨 (3204)
连云港海州湾海域表层水体和沉积物中微塑料的分布特征	李征, 高春梅, 杨金龙, 吴立珍, 张硕, 刘艳华, 靳迪迪 (3212)
茅洲河流域民用井中耐药基因的分布特征与健康风险	吴黛灵, 邹海燕, 何璐茜, 高方舟, 应光国, 何良英 (3222)
金盆水库沉积物铁锰释放规律	路林超, 黄廷林, 李楠, 齐允之, 张晗, 王晨旭, 司凡 (3231)
城市湖泊沉积物微塑料污染特征	王璇, 牛司平, 宋小龙, 饶竹, 战楠 (3240)
西藏尼洋河沉积物中微生物群落结构特征分析	刘晓丹, 黄毅, 王永花, 汪贝贝, 吴兵, 陆光华 (3249)
海水中的红毒素与营养盐对微藻的复合影响	王娜, 赵卫红, 苗辉 (3257)
梯级电站作用下牡丹江底栖动物沿程变化规律	温佳琦, 王皓冉, 陈永灿, 刘昭伟 (3266)
宁波市典型城市下垫面雨水径流污染特征解析	徐宇婕, 龚玥敏, 毕军鹏, 王洋, 程军蕊, 王侃 (3275)
分层型水库藻类垂直演替的水质与细菌种群调控	闫苗苗, 陈胜男, 黄廷林, 贾竞宇, 刘凯文, 苗雨甜, 宗容容 (3285)
长距离供水系统中消毒副产物分布特征及二次加氯的影响	毕薇薇, 叶胜, 于建全, 杨玉龙, 陈晨, 李青松, 马晓雁 (3297)
供水管网终端消毒副产物分布特征及预测模型	刘俊萍, 陈镜吉, 宋亚丽, 杨玉龙, 李青松, 马晓雁 (3307)
碱和磁复合改性小麦秸秆生物炭对水体中镉的吸附特性及机制	崔志文, 任艳芳, 王伟, 张黎明, 张陆云, 王曦玥, 何俊瑜 (3315)
弱磁场强化氧化石墨烯负载纳米零价铁 (GO-nFe ⁰ /WMF) 对水中Cr(VI) 的去除特性及机制	计盟, 鲍建国, 朱晓伟, 杜江坤, 郑汉 (3326)
一硫代肟在针铁矿上的吸附及影响因素	廖丹雪, 单慧娟, 张进贤, 彭三曦, 黄健, 陈辉, 赵超然, 曾春芽 (3337)
生物滤池快速启动 ANAMMOX 运行策略及菌群特征	王晓瞳, 杨宏, 苏杨, 刘旭妍 (3345)
低碳源条件下供氧模式对活性污泥系统脱氮性能的影响	张欣瑞, 池玉蕾, 王倩, 金鑫, 石炬, 金鹏康 (3356)
羟胺对厌氧氨氧化污泥群落的影响	邢崇阳, 范禹辰, 陈璇, 郭劲松, 申渝, 晏楠, 方芳, 陈猷鹏 (3365)
低温下丝状菌膨胀污泥的微生物多样性	高春娣, 张娜, 韩微, 任浩, 李悦, 侯春艳, 王传德, 彭永臻 (3373)
我国剩余污泥厌氧消化的主要影响因素及强化	董滨, 高君, 陈思思, 杨殿海, 戴晓虎 (3384)
城镇河流 CO ₂ 及 CH ₄ 排放与市政排水管网污水输入的关联影响	李磊, 陈浩, 朱奔, 王宇晖, 聂云汉, 赵昕, 贾其隆, 叶建峰 (3392)
控释尿素对黄河故道沙性潮土 N ₂ O 排放的影响	姜右锦, 袁俊吉, 丁维新, 刘阳, 张松林 (3402)
我国典型露地蔬菜生产中的温室气体排放	张芬, 程泰鸿, 陈新平, 王孝忠 (3410)
不同母质发育土壤 Cd 环境行为对水分管理模式的响应差异	黄敬, 李欣阳, 文沙, 蒋凯, 龙坚, 彭佩钦, 侯红波 (3418)
锰基改性生物炭对弱碱性 Cd 污染土壤团聚体结构以及 Cd 含量特征的影响	孙彤, 付宇童, 李可, 徐应明, 孙约兵 (3426)
钝化与叶面阻控对不同基因型红菜苔镉累积的影响	曹坤坤, 李成成, 胡学玉, 郭晓, 黄洋 (3434)
叶面喷施 2,3-二巯基丁二酸对水稻幼苗镉吸收转运及抗氧化系统的影响	杨晓荣, 黄永春, 刘仲齐, 黄益宗, 程六龙, 张长波 (3441)
《环境科学》征订启事 (3011)	《环境科学》征稿简则 (3084)
信息 (3174, 3185, 3391)	

城市湖泊沉积物微塑料污染特征

王璇¹, 牛司平^{1*}, 宋小龙¹, 饶竹², 战楠²

(1. 安徽工业大学能源与环境学院环境科学与工程系, 马鞍山 243002; 2. 自然资源部生态地球化学重点实验室, 北京 100037)

摘要:近年来,出现在环境中的微塑料日益受到重视. 本文选择马鞍山市雨山湖和南湖等典型城市湖泊,研究春夏两季沉积物中微塑料的物理形貌特征和时空分布特征,并探究湖泊中微塑料的来源. 结果表明,春季沉积物中微塑料平均含量为 $(0.0284 \pm 0.0597) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,平均丰度为 $(278.9 \pm 529.1) \text{ n} \cdot \text{kg}^{-1}$;夏季微塑料平均含量 $(0.0317 \pm 0.0778) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,平均丰度为 $(277.1 \pm 395.6) \text{ n} \cdot \text{kg}^{-1}$,利用配对样品 *T* 检验法发现春夏两季沉积物中微塑料的含量($N=22$, $t=-0.269$, $P=0.791$)与丰度($N=22$, $t=0.035$, $P=0.973$)无明显相关差异性. 根据形状将研究区域沉积物中的微塑料分为纤维、薄膜和颗粒这3种类型,相应占比分别为52.9%、28.9%和18.2%. 粒径统计结果表明,绝大部分微塑料的粒径小于1 mm,可占总数量的83.9%,微塑料主要为聚乙烯和聚丙烯且表面严重风化. 人流量大、车流量大和水上活动多的区域污染较为严重,揭示了湖泊沉积物微塑料的空间分布与人类活动的密切相关性. 大气沉降(纤维类)、地表径流、衣服洗涤(纤维类)、湖内大塑料降解和渔业活动(渔网、发泡类)等为湖泊沉积物中微塑料的主要来源.

关键词:城市湖泊; 沉积物; 微塑料; 物理形貌; 时空分布特征

中图分类号: X131; X524 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2020)07-3240-09 DOI: 10.13227/j.hjxx.201912076

Characterization of Microplastic Pollution of Sediments from Urban Lakes

WANG Xuan¹, NIU Si-ping^{1*}, SONG Xiao-long¹, RAO Zhu², ZHAN Nan²

(1. Department of Environmental Science and Engineering, School of Energy and Environment, Anhui University of Technology, Ma'anshan 243002, China; 2. Key Laboratory of Ecological Geochemistry, Ministry of Natural Resources, Beijing 100037, China)

Abstract: In recent years, microplastics (MPs) in the environment has become a topic of increasing concern. In this study, typical urban lakes, such as Yushan Lake and Nanhu Lake in Maanshan City, were selected to study the physical morphology and spatial distribution characteristics of MPs in sediments in spring and summer and to explore the sources of MPs in the lakes. On average, MPs in sediments occurred with a content of $(0.0284 \pm 0.0597) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ and abundance of $(278.9 \pm 529.1) \text{ n} \cdot \text{kg}^{-1}$ in spring, and $(0.0317 \pm 0.0778) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ and $(277.1 \pm 395.6) \text{ n} \cdot \text{kg}^{-1}$ in summer, respectively. Using a paired sample *T*-test, it was found that there was no significant correlation difference between the content ($N=22$, $t=-0.269$, $P=0.791$) and the abundance ($N=22$, $t=0.035$, $P=0.973$) of MPs in the spring and summer sediments. Regarding shape, the MPs in the sediments in the study area were divided into three types: fiber, film, and particle, accounting for 52.9%, 28.9%, and 18.2%, respectively. Size-fraction analysis indicated MPs < 1 mm made up the majority, accounting for 83.9% of the total number. It was found that the MPs were mainly polyethylene (PE) and polypropylene (PP) polymers with seriously weathered surfaces. The sediments, which were adjacent either to land with a large stream of people and vehicles or to areas with frequent watersports, had notably high abundance of MPs, revealing the close correlation between the spatial distribution of MPs in lake sediments and human activities. It is thought that atmospheric precipitation (fiber), stormwater, washing of clothes (fiber), degradation of large plastics in the lake, and fishing activities (fishing nets, foam) are the main sources of MPs in lake sediments.

Key words: urban lakes; sediment; microplastics (MPs); physical morphology; spatial and temporal distribution characteristics

由于塑料具有耐腐蚀、质轻、防水和绝缘性好等优良的性能特点,已经被广泛应用于工业、农业、养殖业、畜牧业等以及人们的日常生活中. 根据欧洲塑料协会的报告,在2016年的时候塑料的全球年产量已经达到3.22亿t^[1]. 塑料制品的大量使用导致塑料污染问题日益严重,其中近年来备受关注的便是普遍存在于各种环境中的微塑料^[2,3]. 2004年Thompson等^[4]首次提出了微塑料(microplastics)这一概念. 虽然对于微塑料的定义并未统一,但一般将粒径或尺寸小于5 mm的塑料颗粒定义为微塑料^[5].

环境中的微塑料主要分为原生微塑料(衣物或

织物中的纤维、个人护理产品中的微珠、工业磨料中的小塑料丸以及塑料生产加工过程中所使用的塑料小球)和由原生塑料(包括微塑料)在环境的物理(波浪、风等搅动、冲击)、化学、生物作用下裂解和破碎所产生的次生微塑料^[6,7]. 由于质轻且粒径小,微塑料易被生物吞噬,进入生物体内的微塑料可以

收稿日期: 2019-12-11; 修订日期: 2020-02-15

基金项目: 安徽省自然科学基金项目(1808085QD109); 国家自然科学基金项目(41701553); 自然资源部生态地球化学重点实验室开放基金项目; 安徽省归国留学人员创新创业扶持计划项目

作者简介: 王璇(1995~),女,硕士研究生,主要研究方向为淡水环境微塑料和水处理, E-mail: 2574987241@qq.com

* 通信作者, E-mail: sipingniu@126.com

堵塞肠道、损伤消化道,甚至导致死亡^[8,9].有研究表明,当聚苯乙烯微塑料达到一定浓度时,会导致欧洲鲈鱼幼鱼死亡、鱼卵孵化率降低,影响种群结构^[10].当水环境中存在微塑料时藻类的光合作用也可能受到抑制^[9].由于微塑料比表面积大和疏水性强,还可作为黏土、生物质、污染物(例如:重金属、持久性有机污染物)和病原菌等的载体,形成复合污染物.在水流、风等作用力下共同迁移,具有潜在的生态风险^[7,11~13].有研究发现微塑料不仅存在于海洋^[14]、湖泊^[15]和河流^[16]的水体和沉积物中,也存在于一些水产品中^[17~19].微塑料可以随食物链传递,对地球的生态平衡以及人类的健康构成严重的威胁.

环境中塑料颗粒的累积已被全世界认为是一个不容忽视的新型污染问题.目前微塑料属于一个热点问题,但研究集中于海洋环境,对淡水系统微塑料污染问题认识有限.河流和湖泊与人类的生活息息相关,淡水系统的微塑料污染亦十分重要^[20].本文以马鞍山典型湖泊雨山湖和南湖为研究区域,分析春夏表层沉积物中微塑料的时空分布特征,并探究塑料颗粒的来源,丰富淡水微塑料污染问题的基础数据.

1 材料与方法

1.1 研究区域

研究区域为安徽省马鞍山市中心城区的雨山湖和南湖(118°29'20"~118°30'10"E, 31°41'00"~31°42'00"N).雨山湖通过雨山河与长江沟通,水域面积1.32 km²(1987亩);南湖则通过永丰河与长江相连,水域面积0.45 km²(680亩).本研究共布设了22个采样点(图1),分别在2018年和2019年的春季和夏季利用ETC-200型抓泥斗采集湖泊沉积物,样品采集后储存于自封袋中.在实验室内利用FD-1A-50冷冻干燥机对沉积物样品进行干燥,处理后的样品疏松不板结,易于浮选液与沉积物充分接触.

1.2 沉积物中微塑料的分离

沉积物中含有较多的泥沙、田螺等杂质,因此需要利用密度分离法提取微塑料^[4].将沉积物样品放置于烧杯中,并加入适量氯化钠和氯化锌混合溶液(H₂O、NaCl和ZnCl₂按质量比为10:4.6:10比例混合溶解,密度约为1.59 g·cm⁻³,)作为浮选液,充分搅拌10 min,静置过夜.待泥水分层后,将上清液转移至梨形分液漏斗中,再次静置,二次泥水分离后,从下方将泥转移至浮选烧杯中,上清液过38 μm不锈钢筛收集微塑料.其中,本研究对梨形分液漏斗进行一定的改进,增大漏斗底部的出水管以保证泥沙

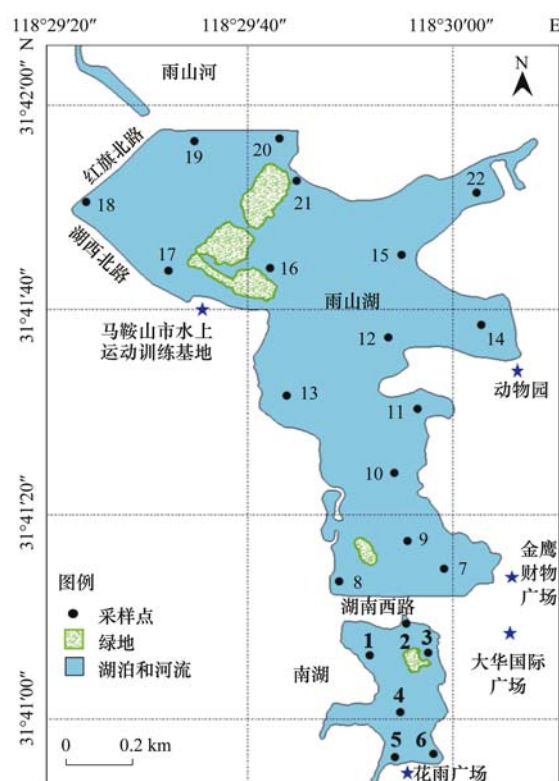


图1 雨山湖与南湖采样点布设示意
Fig. 1 Distribution of sampling sites from Yushan Lake and South Lake

顺利流出.筛上颗粒经洗涤干燥后转移到干净烧杯加入30% H₂O₂和65% HNO₃进行消解去除有机质.消解后将溶液过GF/B膜(Whatman, 1 μm),60℃烘干,进行微塑料的挑选.浮选分离步骤重复3次,以保证研究结果的准确性.

1.3 微塑料的鉴定

首先利用放大镜和体视显微镜(配备摄像测量软件S-EYE),根据微塑料的特殊的硬度、颜色、光泽和形状等从烘干的滤膜上挑选出疑似微塑料^[21].其次利用Nicolet is50衰减全反射傅里叶变换红外光谱仪(attenuated total reflection Fourier transform infrared spectrometer, FTIR-ATR;波长测试范围4 000~400 cm⁻¹,双光源,位置精度达0.2 nm,波数精度优于0.005 cm⁻¹)得到疑似微塑料的红外光谱图,通过对比标准谱库的谱图进行微塑料的鉴定.

1.4 微塑料的微观特征分析

借助显微镜观察所有微塑料的物理形貌特征,并对微塑料进行拍照,精确地记录放大倍数,利用Nano Measurer软件进行塑料颗粒的颜色、形状和粒径统计.此外,将微塑料固定于样品台表面,进行喷金处理,利用NANO SEM430场发射扫描电镜(field emission scanning electron microscopy, FESEM)获得塑料颗粒表面微观形貌图,放大倍数为50~10 000倍,并对表面微区进行能谱(EDS)分析.

1.5 数据分析

湖泊沉积物中微塑料丰度使用单位 $\text{n} \cdot \text{kg}^{-1}$ (以干重沉积物计)表示,含量使用单位 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (以干重沉积物计)表示. 采用 Origin 9.1 和 Microsoft Excel 2003 等软件进行统计制图. 采用 ArcGIS 10.2 分析绘制湖泊微塑料污染时空分布,并利用 SPSS 24 软件进行统计学配对样品 T 检验.

2 结果与讨论

2.1 微塑料的种类

通过将样品的红外光谱图与谱库相对比^[22],可知雨山湖和南湖春夏季表层沉积物中微塑料主要为聚苯乙烯 (PS)、聚酯 (PET)、聚丙烯 (PP)、聚乙烯 (PE)、聚二甲基硅氧烷 (PDMS) 和三元乙丙胶 (EPDM),见图 2. 沉积物中聚苯乙烯类微塑料主要为白色泡沫,泡沫塑料具有质轻、绝热、吸音和防震等优点,广泛应用于生活中商品的包装和捕鱼使用的泡沫浮子制作等. 聚酯类微塑料主要为聚酯薄膜

和聚酯纤维(涤纶),聚酯薄膜是一种高分子塑料薄膜,通常为无色透明有光泽的薄膜;涤纶多为透明带有丝光单根纤维或多色缠绕的纤维. 聚丙烯纤维(丙纶)由于质轻、强度好、耐磨、保暖性和耐腐蚀等,在生活中应用广泛于冬季服装的絮填料或面料、编织袋、编织绳、地毯和沙发布等制作的材料. 雨山湖和南湖表层沉积物中聚丙烯纤维主要为一些编织袋、编织绳以及部分彩色纤维,此外样品中聚乙烯塑料主要为绿色线状、塑料颗粒、乳白色片状软膜和透明的塑料薄膜,由于聚乙烯薄膜的优良性能,可被制作成渔网、玩具、农用薄膜和各种行业包装材料,为人们带来便利,但随意丢弃导致聚乙烯微塑料进入环境中. 聚二甲基硅氧烷类塑料主要为透明软胶颗粒,它属于一种高分子弹性聚合物,质软且透明. 三元乙丙胶是乙烯、丙烯和非共轭二烯烃聚合物,沉积物中也发现它的存在,主要为黑色橡胶类.

2.2 微塑料的物理形貌特征

不同来源的微塑料的物理形貌存在一定的差

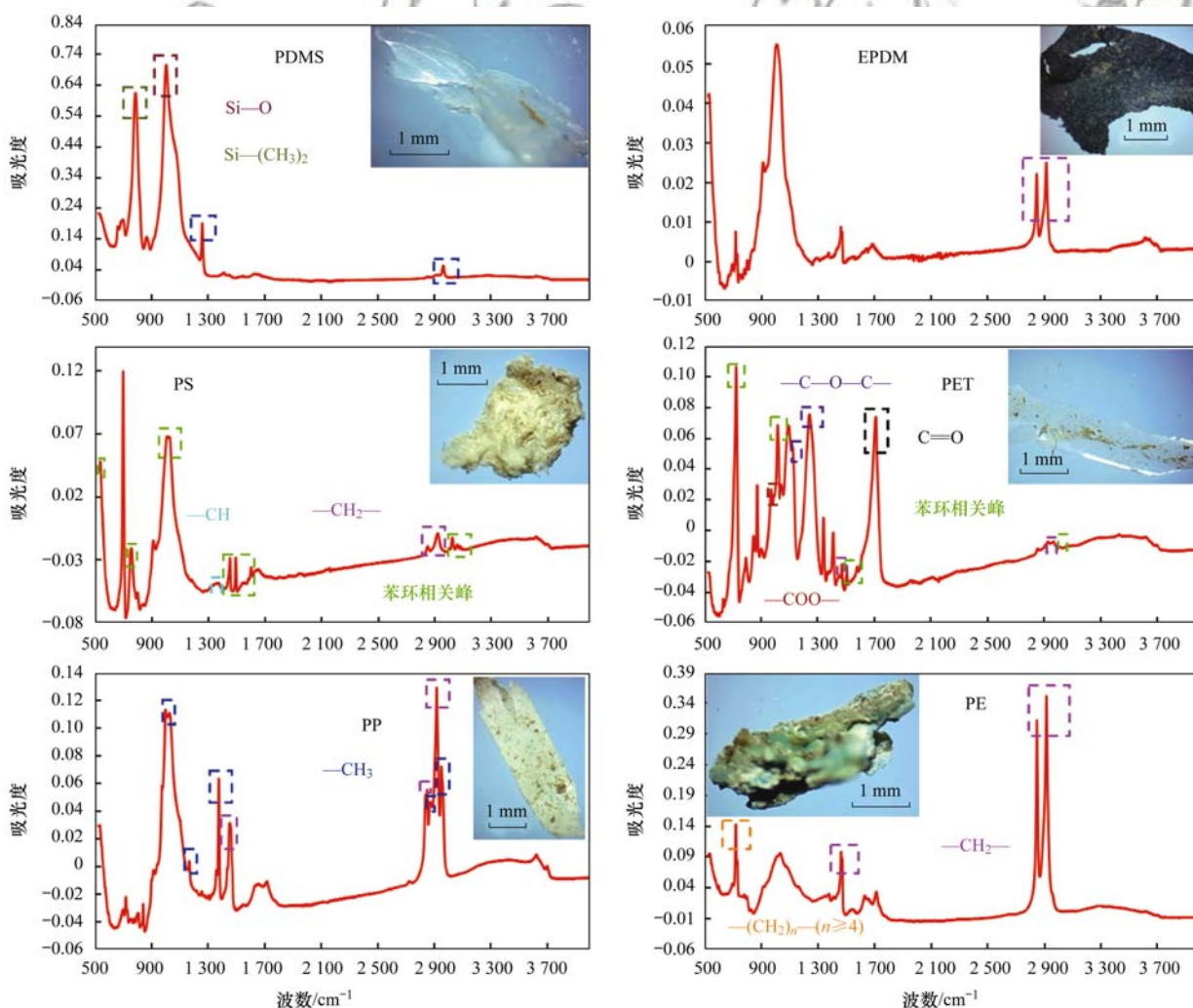
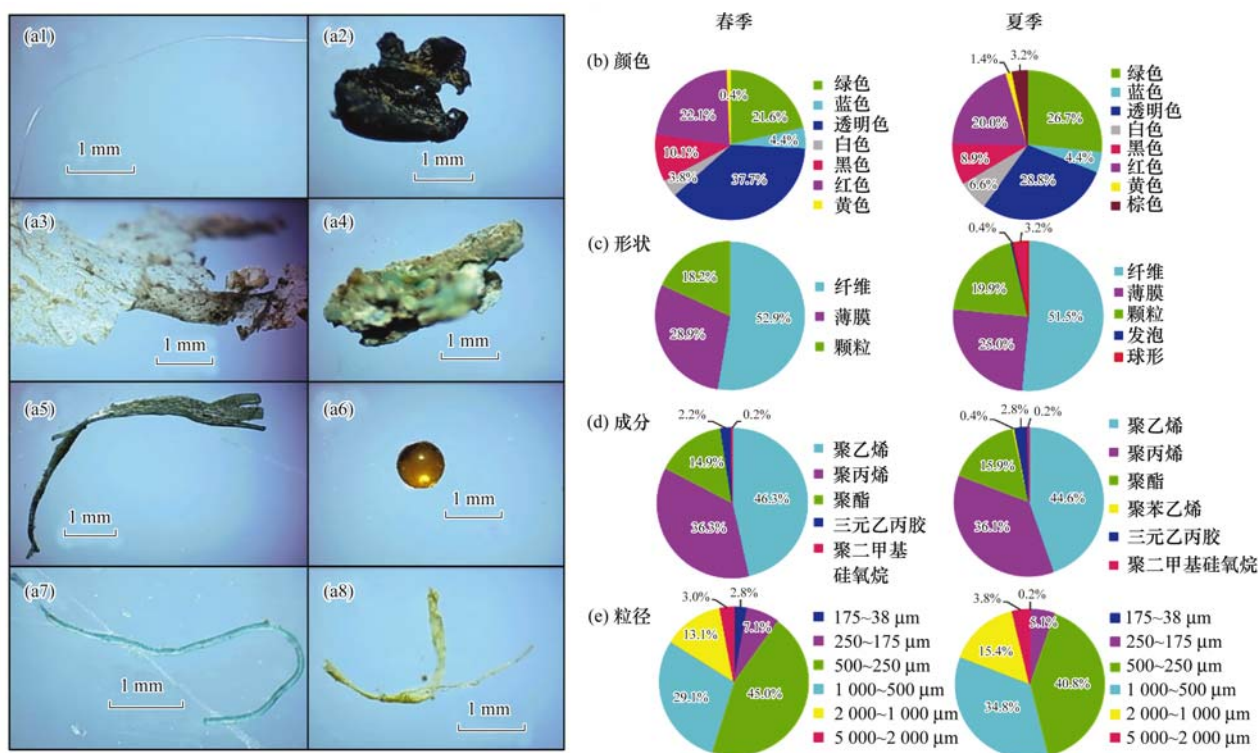


图2 沉积物中典型微塑料傅里叶红外光谱图 (ATR-FTIR)

Fig. 2 Fourier infrared spectroscopy of MPs present in sediments (ATR-FTIR)

异,本研究利用体式显微镜和场发射扫描电镜将雨山湖和南湖沉积物中微塑料按照粒径、颜色、形状和成分进行分类(图3)。通过图3对比可知,春季和夏季湖泊沉积物中微塑料的物理形貌趋于一致。从颜色来看两季节沉积物中透明色微塑料最多,分别占比37.7%(春季)和28.8%(夏季),其次为绿色和红色。至于形状则是纤维状居多,分别占比52.9%(春季)和51.5%(夏季),薄膜次之,颗粒类最少,而夏季沉积物还发现极少量的发泡类塑料和粒径较小的棕色微珠,分别仅占0.4%和3.2%,研究结果

与大多数已有报道的结果基本一致^[5,23,24];就其成分而言,沉积物中聚乙烯类塑料占主导,两季节占比分别为46.3%和44.6%,其次为聚丙烯和聚酯。聚乙烯或聚丙烯塑料具有优良的性能、可以通过石油化工产品进行大量生产且价格便宜,是生产和生活中广泛使用的一类材料。此外,还可发现塑料颗粒粒径大部分处于500~250 μm ,且粒径小于1 mm的微塑料占80%以上。环境中微塑料粒径越小、比表面积越大,可为污染物(例如:重金属和持久性有机污染物)提供的吸附位点越多,潜在生态风险越大。



(a1)~(a8)为不同类型微塑料显微照片;(b)~(e)春夏两季微塑料不同类型占比

图3 沉积物中微塑料物理形貌特征

Fig. 3 Physical morphology of microplastics in sediments

由图4可以看出微塑料表面凹凸不平,存在一定的裂缝、皱褶和空隙,表明湖泊沉积物中微塑料表面老化较为严重。此外,研究还发现一些微粒附着于微塑料表面。通过能谱图可知微塑料表面存在Fe、Al、Si、K和Ca等元素,且不同位置处的元素不尽相同。因此,环境中风化严重的塑料颗粒可作为污染物载体,产生一定的生态风险性。

2.3 湖泊沉积物中微塑料的来源

雨山湖和南湖沉积物中含有大量的纤维类微塑料,主要为多色的衣物纤维,成分为聚酯纤维和聚丙烯,此外还含有部分的聚乙烯材质的绿色渔网微塑料,这与湖泊捕鱼活动、附近居民岸边洗涤衣物以及大气中纤维的沉降等有关。Browne等^[5]通过对家用

洗衣机采样实验表明,一件衣服可以产生至少1 900个纤维,此外周倩等^[25]基于烟台大气沉降样品分析发现,大气环境中聚酯纤维类微塑料较多。沉积物中薄膜状的塑料颗粒主要为一些白色编织袋和透明薄膜,可能源于陆源输入,即生活中所使用的各种包装袋和塑料薄膜的破碎、老化和降解通过雨水径流等形式累积于湖泊中。颗粒状微塑料形状不规则,主要来自于硬质塑料(如玩具和塑料瓶等)的破碎和降解^[26],并且存在少量的三元乙丙胶材质的黑色橡胶微塑料,可能源于轮胎的摩擦产生的微塑料通过地表径流进入淡水环境中。硬质塑料硬度较大,需要更大的作用力才能破碎,且部分硬质塑料被回收利用,降低了次级微塑料的产生,因此沉积物中的颗粒状

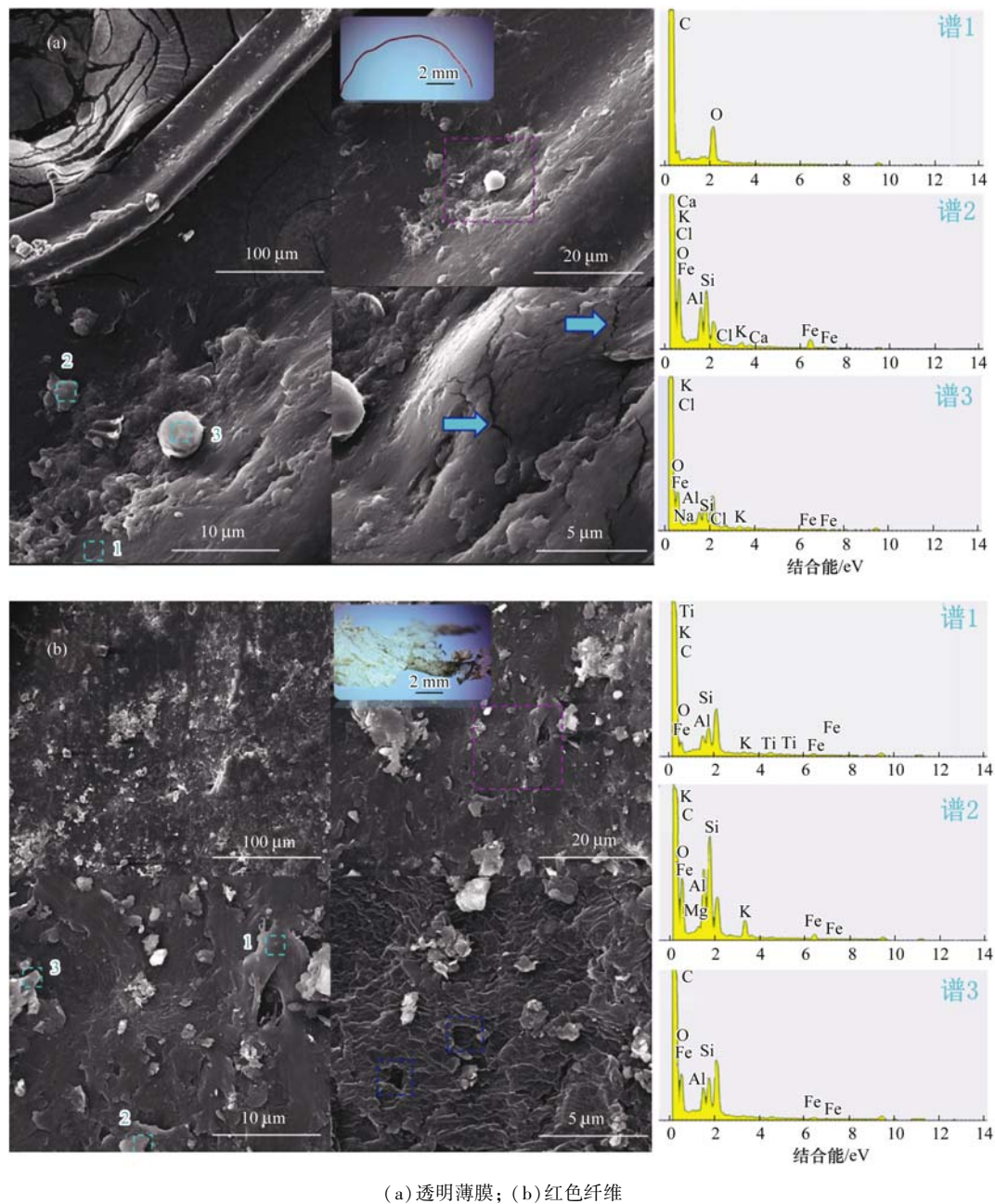


图 4 沉积物中微塑料场发射扫描电镜图 (EBS)

Fig. 4 Transmission scanning electron microscopy of MPs in sediments (EBS)

微塑料含量较少. 此外, 湖泊沉积物中发现极少量的发泡类微塑料和棕色微珠, 可能是由于捕鱼活动以及居民生活日用品的使用^[27]. 但由于政府对雨山湖和南湖的捕鱼活动进行了限制, 偶尔的捕鱼活动不能引起大量的发泡类微塑料进入湖泊.

2.4 微塑料的空间分布

春季雨山湖和南湖沉积物中微塑料平均含量为 $(0.0284 \pm 0.0597) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均丰度为 $(278.9 \pm 529.1) \text{ n} \cdot \text{kg}^{-1}$; 夏季则为 $(0.0317 \pm 0.0778) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $(277.1 \pm 395.6) \text{ n} \cdot \text{kg}^{-1}$. 湖泊微塑料空间分布存在着较大的差异性, 而春夏两季微塑料含量 ($N=22, t=-0.269, P=0.791$) 与丰度 ($N=22, t=$

$0.035, P=0.973$) 无明显差异, 主要是因为沉积物中微塑料的累积是一个较漫长的过程. 其中, 雨山湖沉积物微塑料平均丰度为 $(110.9 \pm 113.6) \text{ n} \cdot \text{kg}^{-1}$ (春季) 和 $(130.2 \pm 177.0) \text{ n} \cdot \text{kg}^{-1}$ (夏季), 平均含量为 $(0.0168 \pm 0.0494) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (春季) 和 $(0.0081 \pm 0.0225) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (夏季); 而南湖平均丰度为 $(727.0 \pm 897.7) \text{ n} \cdot \text{kg}^{-1}$ (春季) 和 $(669.0 \pm 556.8) \text{ n} \cdot \text{kg}^{-1}$ (夏季), 平均含量为 $(0.0593 \pm 0.0780) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (春季) 和 $(0.0947 \pm 0.1318) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (夏季). 南湖的微塑料污染较雨山湖严重, 可能是由于多年前, 马鞍山市为了改善雨山湖的水质, 投入巨资实施截流、清淤、换水 (引入江水换水)、巡查保洁、清理水面漂浮

物和亮化等,极大地改善了中心城区的生态环境;对南湖换水和在雨水入湖处增加生态处理设施以进行水质净化等,并未清淤,导致南湖沉积物中存在着长期以来累积的微塑料.此外,湖南西路路面上的雨水并储存的雨水大部分排入了南湖,增加了南湖微塑料的陆源输入.由图 5 和 6 可知,2 号点位为两湖泊区域内沉积物中微塑料丰度最高处,丰度为 $2\,375.2\text{ n}\cdot\text{kg}^{-1}$ (春季)和 $1\,640.8\text{ n}\cdot\text{kg}^{-1}$ (夏季).由于该处为马鞍山市繁华区域,附近有商业中心(金鹰,大华国际商城),人口密集,活动频繁,增加了塑料进入环境的可能性. Barnes 等^[28,29]的研究表明塑料污染特征与研究区域附近的人口密度密切相关.靠近红旗北路和湖西北路区域的 18 号点位微塑料污染也较为严重,此处存在一定数量的居民区和商业区,并且为马鞍山交通枢纽处,人流量和车流量较大,低效率的垃圾管理与处置也会增加进入环境的

微塑料的量.此外,该点位于马鞍山市水上运动训练基地的范围内,运动员的水上活动无疑增加了湖泊中塑料的丰度.南湖区域(6 号点位)沉积物微塑料丰度为 $1\,153.5\text{ n}\cdot\text{kg}^{-1}$ (春季)和 $948.2\text{ n}\cdot\text{kg}^{-1}$ (夏季),微塑料污染较为严重,该采样点靠近花雨广场,可能是由于广场上相对来说人流量比较大,污染物随雨水径流进入湖泊.

通过与国内外研究结果相比较发现:雨山湖和南湖沉积物中微塑料含量与部分湖泊、河流的微塑料污染处于同一水平,且丰度偏低^[24,30,31](表 1).由于南湖和雨山湖每天都有专门的人打捞漂浮物或者沉积于湖底的大型塑料垃圾,一定程度上减少了微塑料的来源.而作为中国第一大淡水湖,鄱阳湖以及其湖河流段底泥中微塑料丰度较高^[32,33].近海区域(潮滩)人流量大,渔业活动丰富,沉积物微塑料污染情况较为严重^[34,35].

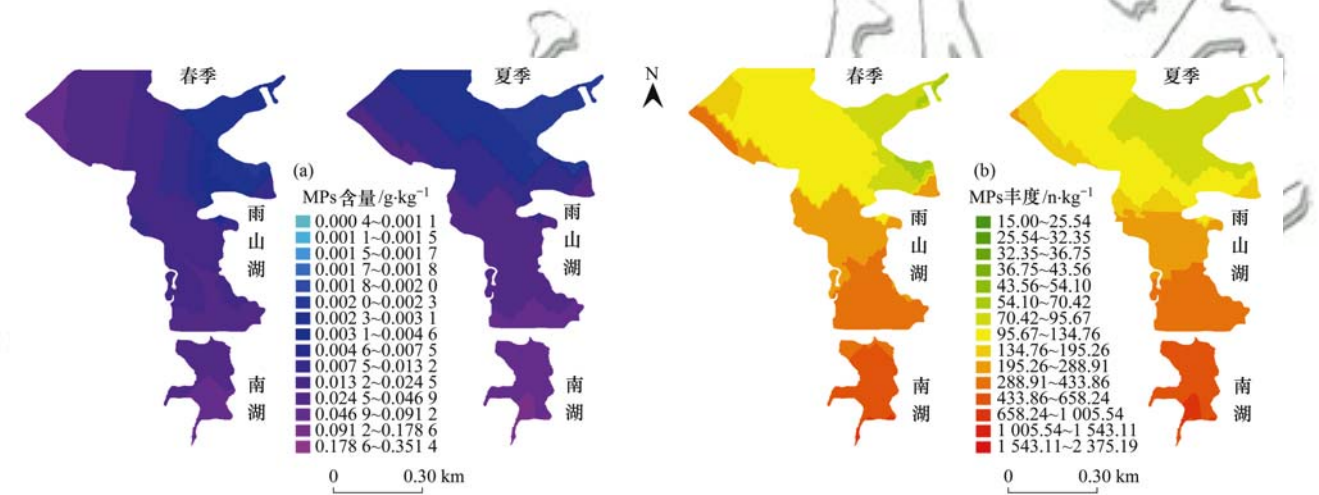


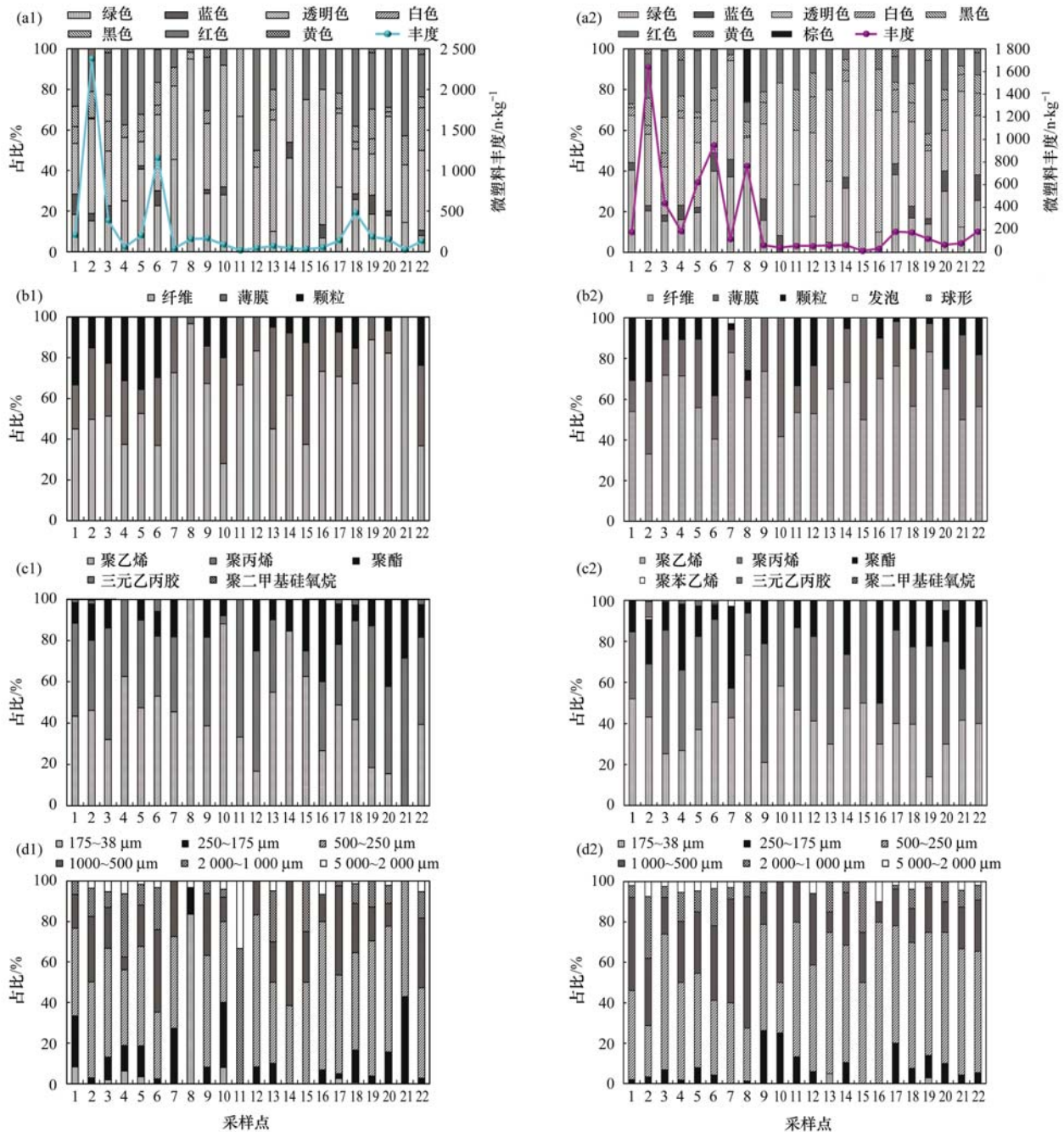
图 5 雨山湖和南湖沉积物微塑料空间分布特征

Fig. 5 Spatial distribution characteristics of microplastics in sediments of Yushan Lake and Nanhu Lake

表 1 研究区域与文献报道(沉积物)的微塑料丰度比较

Table 1 Comparison of microplastic abundance between the study area and the literature (sediments)

研究区域	丰度/ $\text{n}\cdot\text{kg}^{-1}$	浮选溶液	文献
雨山湖和南湖	279 ± 529 (春季); 277 ± 396 (夏季)	氯化锌和氯化钠溶液($\rho = 1.59\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	本研究
太湖	$11 \sim 234.6$	氯化钠溶液($\rho = 360\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$)	[30]
鄱阳湖-饶河入湖段龙口	938	饱和氯化钠($\rho = 1.2\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, 气浮法)	[32]
英国城市湖泊	$250 \sim 300$	筛分	[36]
墨水河	$0 \sim 170$	饱和氯化钠($\rho = 1.2\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$)和碘化钠溶液($\rho = 1.8\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	[24]
釜溪河	232.83 ± 72.83	饱和氯化钠($\rho = 1.2\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	[31]
乐安河-潘阳湖段	1 800	饱和氯化钠($\rho = 1.2\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, 气浮法)	[33]
莱茵河	$0.26 \sim 11.07 \times 10^3$	氯化锌溶液($\rho = 1.7\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	[37]
黄海桑沟湾(近岸海域)	$31.2 \sim 1\,246.8$	饱和氯化钠($\rho = 1.2\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$)和氯化锌溶液($\rho = 1.5\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	[35]
香港海洋流域	$49 \sim 279$	饱和氯化钠($\rho = 1.2\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	[38]
长江口潮滩	$3\,420 \pm 1\,310$	氯化钠溶液($\rho = 300\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$)	[34]



(a1) 颜色-春季, (a2) 颜色-夏季, (b1) 形状-春季, (b2) 形状-夏季, (c1) 成分-春季, (c2) 成分-夏季, (d1) 粒径-春季, (d2) 粒径-夏季

图 6 沉积物中微塑料的物理形态分布特征

Fig. 6 Distribution characteristics of physical morphology of microplastics in sediments

3 结论

(1) 雨山湖和南湖春夏两季沉积物中微塑料主要为多色纤维类和透明薄膜类, 成分以聚乙烯和聚丙烯为主, 粒径小于 1 mm 居多. 研究区域沉积物中微塑料的含量及丰度总体处于偏低水平, 但与部分河流、湖泊相差不多.

(2) 湖泊中微塑料的来源主要为大气沉降(纤维类)、地表径流、衣服洗涤(纤维类)、湖内大塑料降解和渔业活动(渔网、发泡类)等.

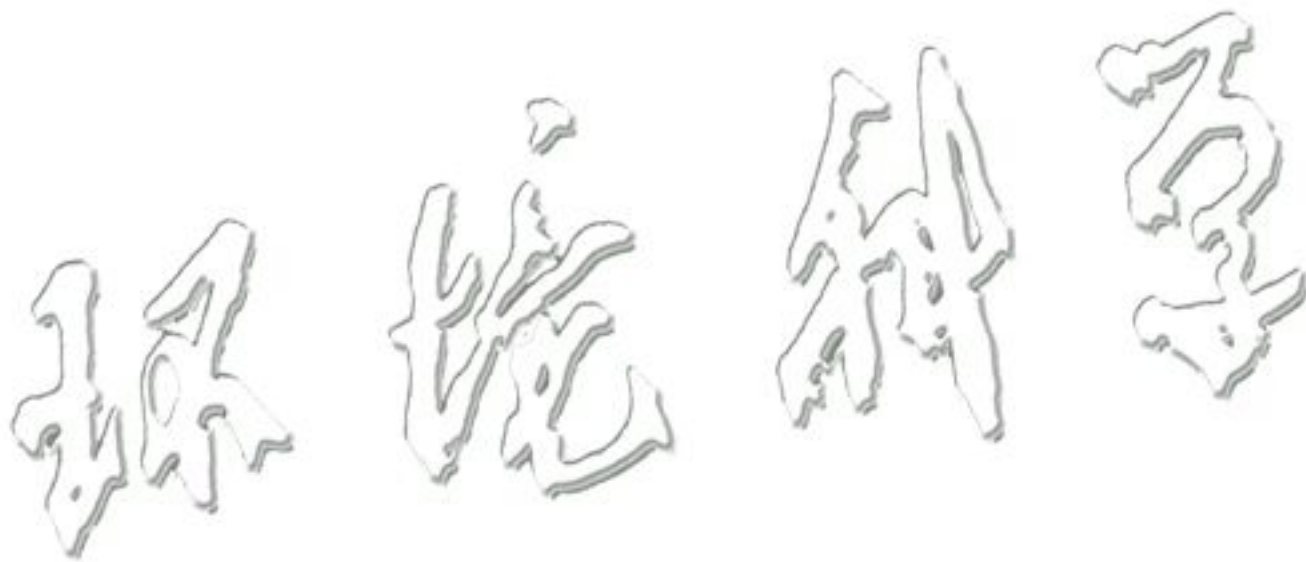
(3) 雨山湖和南湖春夏两季沉积物中微塑料的物理形态和分布情况无明显差异. 然而, 沉积物中微塑料的空间分布呈现一定的差异性, 两湖中高人口密度、交通情况复杂和水上活动频繁等区域微塑料含量较高.

参考文献:

- [1] Plastic Europe. Plastics-the facts 2016: an analysis of European plastics production, demand and waste data [R]. Brussels: Plastics Europe, 2016. 1-38.
- [2] Jambeck J R, Geyer R, Wilcox C, *et al.* Plastic waste inputs from land into the ocean[J]. Science, 2015, **347**(6223): 768-771.

- [3] 白濛雨, 赵世烨, 彭谷雨, 等. 城市污水处理过程中微塑料赋存特征[J]. 中国环境科学, 2018, **38**(5): 1734-1743.
Bai M Y, Zhao S Y, Peng G Y, *et al.* Occurrence, characteristics of microplastic during urban sewage treatment process[J]. China Environmental Science, 2018, **38**(5): 1734-1743.
- [4] Thompson R C, Olsen Y, Mitchell R P, *et al.* Lost at sea: where is all the plastic? [J]. Science, 2004, **304**(5672): 838.
- [5] Browne M A, Crump P, Niven S J, *et al.* Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks [J]. Environmental Science & Technology, 2011, **45**(21): 9175-9179.
- [6] Akhbarizadeh R, Moore F, Keshavarzi B, *et al.* Microplastics and potentially toxic elements in coastal sediments of Iran's main oil terminal (Khark Island) [J]. Environmental Pollution, 2017, **220**: 720-731.
- [7] Cole M, Lindeque P, Halsband C, *et al.* Microplastics as contaminants in the marine environment: a review [J]. Marine Pollution Bulletin, 2011, **62**(12): 2588-2597.
- [8] Farrell P, Nelson K. Trophic level transfer of microplastic: *Mytilus edulis* (L.) to *Carcinus maenas* (L.) [J]. Environmental Pollution, 2013, **177**: 1-3.
- [9] Murray F, Cowie P R. Plastic contamination in the decapod crustacean *Nephrops norvegicus* (Linnaeus, 1758) [J]. Marine Pollution Bulletin, 2011, **62**(6): 1207-1217.
- [10] Lönnstedt O M, Eklöv P. Environmentally relevant concentrations of microplastic particles influence larval fish ecology [J]. Science, 2016, **352**(6290): 1213-1216.
- [11] Bakir A, Rowland S J, Thompson R C. Transport of persistent organic pollutants by microplastics in estuarine conditions [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2014, **140**: 14-21.
- [12] Guoin T, Roche N, Lohmann R, *et al.* A thermodynamic approach for assessing the environmental exposure of chemicals absorbed to microplastic [J]. Environmental Science & Technology, 2011, **45**(4): 1466-1472.
- [13] Tanaka K, Takada H, Yamashita R, *et al.* Accumulation of plastic-derived chemicals in tissues of seabirds ingesting marine plastics [J]. Marine Pollution Bulletin, 2013, **69**(1-2): 219-222.
- [14] 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.
- [15] Eriksen M, Mason S, Wilson S, *et al.* Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes [J]. Marine Pollution Bulletin, 2013, **77**(1-2): 177-182.
- [16] McCormick A, Hoellein T J, Mason S A, *et al.* Microplastic is an abundant and distinct microbial habitat in an urban river [J]. Environmental Science & Technology, 2014, **48**(20): 11863-11871.
- [17] Yang D Q, Shi H H, Li L, *et al.* Microplastic pollution in table salts from China [J]. Environmental Science & Technology, 2015, **49**(22): 13622-13627.
- [18] 刘锋平, 董晓杰, 董兵, 等. 化妆品及个人护理用品中塑料微珠的环境行为及生态毒性研究进展 [J]. 环境与健康杂志, 2016, **33**(12): 1114-1116.
Liu F P, Dong X J, Dong B, *et al.* Environmental behavior and ecotoxicity of microbead in cosmetic and personal care products: a review of recent studies [J]. Journal of Environment and Health, 2016, **33**(12): 1114-1116.
- [19] 王超, 张德钧, 黄慧, 等. 海洋生物中微塑料的检测与危害研究进展 [J]. 食品安全质量检测学报, 2018, **9**(11): 2678-2683.
Wang C, Zhang D J, Huang H, *et al.* Review of microplastics detection from marine organisms and their harms [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2018, **9**(11): 2678-2683.
- [20] Cincinelli A, Scopetani C, Chelazzi D, *et al.* Microplastic in the surface waters of the Ross Sea (Antarctica): Occurrence, distribution and characterization by FTIR [J]. Chemosphere, 2017, **175**: 391-400.
- [21] Fries E, Dekiff J H, Willmeyer J, *et al.* Identification of polymer types and additives in marine microplastic particles using pyrolysis-GC/MS and scanning electron microscopy [J]. Environmental Science: Processes & Impacts, 2013, **15**(10): 1949-1956.
- [22] 方林, 黄红海. ATR-FTIR 光谱技术在高聚物研究中的应用 [J]. 化学工程师, 2008, **22**(3): 33-36, 50.
Fang L, Huang H H. Application of ATR-FTIR spectroscopy in polymer study [J]. Chemical Engineer, 2008, **22**(3): 33-35, 50.
- [23] Zhao S Y, Zhu L X, 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.
- [24] 亓会英, 王元元, 张大海, 等. 墨水河沉积物中微塑料的丰度、形态及其空间分布 [J]. 海洋湖沼通报, 2019, (3): 69-77.
Qi H Y, Wang Y Y, Zhang D H, *et al.* Microplastics in Moshui River sediment: abundance, morphology and spatial distribution [J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2019, (3): 69-77.
- [25] 周倩, 田崇国, 骆永明. 滨海城市大气环境中发现多种微塑料及其沉降通量差异 [J]. 科学通报, 2017, **62**(33): 3902-3909.
Zhou Q, Tian C G, Luo Y M. Various forms and deposition fluxes of microplastics identified in the coastal urban atmosphere [J]. Chinese Science Bulletin, 2017, **62**(33): 3902-3909.
- [26] Claessens M, De Meester S, Van Landuyt L, *et al.* Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast [J]. Marine Pollution Bulletin, 2011, **62**(10): 2199-2204.
- [27] Fendall L S, Sewell M A. Contributing to marine pollution by washing your face: microplastics in facial cleansers [J]. Marine Pollution Bulletin, 2009, **58**(8): 1225-1228.
- [28] Barnes D K A. Remote islands reveal rapid rise of southern hemisphere sea debris [J]. Scientific World Journal, 2005, **5**: 915-921.
- [29] Browne M A, Galloway T S, Thompson R C. Spatial patterns of plastic debris along estuarine shorelines [J]. Environmental Science & Technology, 2010, **44**(9): 3404-3409.
- [30] Su L, Xue Y G, Li L Y, *et al.* Microplastics in Taihu Lake, China [J]. Environmental Pollution, 2016, **216**: 711-719.
- [31] 张耀丹, 李锡鹏, 王旭, 等. 釜溪河沉积物微塑料颗粒调查分析的研究 [J]. 四川环境, 2019, **38**(2): 46-52.
Zhang Y D, Li X P, Wang X, *et al.* Study on analysis of the microplastics in the sediments of Fuxi River [J]. Sichuan Environment, 2019, **38**(2): 46-52.
- [32] 简敏菲, 周隆胤, 余厚平, 等. 鄱阳湖-饶河入湖段湿地底泥中微塑料的分离及其表面形貌特征 [J]. 环境科学学报, 2018, **38**(2): 579-586.
Jian M F, Zhou L Y, Yu H P, *et al.* Separation and microscopic study of microplastics from the sediments of the wetland in the

- estuary of Raohe River of Poyang Lake [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2018, **38**(2): 579-586.
- [33] 周隆胤, 简敏菲, 余厚平, 等. 乐安河—鄱阳湖段底泥微塑料的分布特征及其来源[J]. *土壤学报*, 2018, **55**(5): 1222-1232.
- Zhou L Y, Jian M F, Yu H P, *et al.* Distribution of microplastics and its source in the sediments of the Le'an River in Poyang Lake [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2018, **55**(5): 1222-1232.
- [34] 朱晓桐, 衣俊, 强丽媛, 等. 长江口潮滩表层沉积物中微塑料的分布及沉降特点[J]. *环境科学*, 2018, **39**(5): 2067-2074.
- Zhu X T, Yi J, Qiang L Y, *et al.* Distribution and settlement of microplastics in the surface sediment of Yangtze Estuary [J]. *Environmental Science*, 2018, **39**(5): 2067-2074.
- [35] 熊宽旭, 赵新月, 周倩, 等. 黄海桑沟湾水体及沉积物中微塑料污染特征研究[J]. *海洋环境科学*, 2019, **38**(2): 198-204, 220.
- Xiong K X, Zhao X Y, Zhou Q, *et al.* The pollution characteristics of microplastics in the water and sediments of Sanggou Bay in the Yellow Sea [J]. *Marine Environmental Science*, 2019, **38**(2): 198-204, 220.
- [36] Vaughan R, Turner S D, Rose N L. Microplastics in the sediments of a UK urban lake [J]. *Environmental Pollution*, 2017, **229**: 10-18.
- [37] Mani T, Primpke S, Lorenz C, *et al.* Microplastic pollution in benthic midstream sediments of the Rhine River [J]. *Environmental Science & Technology*, 2019, **53**(10): 6053-6062.
- [38] Tsang Y Y, Mak C W, Liebich C, *et al.* Microplastic pollution in the marine waters and sediments of Hong Kong [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2017, **115**(1-2): 20-28.



CONTENTS

Contribution of Emissions from the Iron and Steel Industry to Air Quality in China	TANG Ling, XUE Xiao-da, BO Xin, <i>et al.</i> (2981)
Interannual Characteristics of Fine Particulate Matter in North China and Its Relationship with Land Use and Land Cover Change	YANG Wei, JIANG Xiao-li (2995)
Evaluation of the Reduction in PM _{2.5} Concentration During the National Traditional Games of Ethnic Minorities in Zhengzhou	WANG Shen-bo, LOU Ya-min, XU Yi-fei, <i>et al.</i> (3004)
Pollution Characteristics of Water-soluble Inorganic Ions in Chengdu in Summer and Winter	FENG Yan-peng, ZHANG Jun-ke, HUANG Xiao-juan, <i>et al.</i> (3012)
Analysis of Transport Pathways and Potential Sources of Atmospheric Particulate Matter in Zigong, in South of Sichuan Province	LEI Yu, ZHANG Xiao-ling, KANG Ping, <i>et al.</i> (3021)
Source Composition Spectrum of Volatile Organic Compounds in Typical Industries in Sichuan	XU Chen-xi, CHEN Jun-hui, HAN Li, <i>et al.</i> (3031)
Source Profiles of Industrial Emission-Based VOCs in Chengdu	ZHOU Zi-hang, DENG Ye, ZHOU Xiao-ling, <i>et al.</i> (3042)
Emission Characteristics and Risk Assessment of Volatile Organic Compounds from Typical Factories in Zhengzhou	QI Yi-jin, NI Jing-wei, ZHAO Dong-xu, <i>et al.</i> (3056)
Characteristics, Source Apportionment, and Environmental Impact of Volatile Organic Compounds in Summer in Yangquan	NIU Yue-yuan, LIU Zhuo-cheng, LI Ru-mei, <i>et al.</i> (3066)
Characteristics and Reactivity of VOCs in Hangzhou During a Typical Photochemical Pollution Episode	JING Sheng-ao, YE Xu-hong, GAO Ya-qin, <i>et al.</i> (3076)
Pollution Characteristics and Sensitivity of Surface Ozone in a Typical Heavy-Industry City of the North China Plain in Summer	OU Sheng-ju, WEI Wei, WANG Xiao-qi, <i>et al.</i> (3085)
Source Apportionment of Atmospheric Ammonia; Sensitivity Test Based on Stable Isotope Analysis in R Language	GU Meng-na, PAN Yue-peng, HE Yue-xin, <i>et al.</i> (3095)
Distribution Characteristics and Source Analysis of Atmospheric Mercury Speciation in Suzhou	LU Ren-jie, WU Ye-zheng, ZHANG Xiao-jie, <i>et al.</i> (3102)
Emission Characteristics of Light-Duty Gasoline Vehicle Exhaust Based on Acceleration Simulation Mode	XIE Yan, LIAO Song-di, ZHU Man-ni, <i>et al.</i> (3112)
Comparative Analysis of NO _x Emission Characteristics of Non-Ultra-Low- and Ultra-Low-Emission Coal-Fired Power Units During the Start-Up Process	LI Hui, ZHU Fa-hua, SUN Xue-li, <i>et al.</i> (3121)
Source Identification and Pollution Characteristics of Heavy Metals in Suspended Particles of Urban Road Dust from Xingtai City	SONG Yi, LU Xin-wei, ZHOU Xiao, <i>et al.</i> (3130)
Impacts of Leaf Surface Micromorphology Variation on the Ability to Capture Particulate Matter	WEI Wen-jun, WANG Bing, NIU Xiang (3136)
Analysis of Hydrogen and Oxygen Stable Isotope Characteristics and Vapor Sources of Precipitation in the Guanzhong Plain	ZHAO Ming-hua, LU Yan-wei, Rachana Heng, <i>et al.</i> (3148)
Analysis of Nitrate Sources in Different Waters of a Karst Basin	TIAN Yong-zhu, HAN Zhi-wei, ZHAO Ran, <i>et al.</i> (3157)
Analysis of Nitrogen Pollution and Its Pollution Sources in the Muli River Basin	QI Ran, XU Fei-fei, YANG Fan, <i>et al.</i> (3165)
Temporal and Spatial Variation Patterns of the Environmental Elements in the Sediments of the Liaohu Estuary and the Related Influencing Factors	QI Yue, SUN Yong-guang, MA Gong-bo, <i>et al.</i> (3175)
Transport Characteristics of Phosphorus Sources at the Multi-scale Watershed and the Associated Ecological Effects on Poyang Lake	WANG Shuo-yue, GAO Yang, LU Yao, <i>et al.</i> (3186)
Risk Assessment and Source Analysis of Heavy Metals in the River of a Typical Bay Watershed	WANG Lei, WANG Wen-dong, LIU Dong, <i>et al.</i> (3194)
Concentrations of Typical Perfluoroalkyl Acids and Contributions of Their Precursors in the Water of the Le'an River in China	ZHANG Hui, WANG Shi-liang, YU Yang (3204)
Distribution Characteristics of Microplastics in Surface Water and Sediments of Haizhou Bay, Lianyungang	LI Zheng, GAO Chun-mei, YANG Jin-long, <i>et al.</i> (3212)
Profiles and Risk of Antibiotic Resistance Genes in Domestic Wells in the Maozhou River Basin	WU Dai-ling, ZOU Hai-yan, HE Lu-xi, <i>et al.</i> (3222)
Release Mechanisms of Iron and Manganese from Sediments in Jinpen Reservoir	LU Lin-chao, HUANG Ting-lin, LI Nan, <i>et al.</i> (3231)
Characterization of Microplastic Pollution of Sediments from Urban Lakes	WANG Xuan, NIU Si-ping, SONG Xiao-long, <i>et al.</i> (3240)
Structural Characteristics of Microbial Communities in the Sediments of the Niyang River in Tibet	LIU Xiao-dan, HUANG Yi, WANG Yong-hua, <i>et al.</i> (3249)
Combined Effects of Erythromycin and Nutrients on Microalgae in Seawater	WANG Na, ZHAO Wei-hong, MIAO Hui (3257)
Longitudinal Distribution of Benthic Macroinvertebrates Affected by a Hydropower Plant Cascade in the Mudan River	WEN Jia-qi, WANG Hao-ran, CHEN Yong-can, <i>et al.</i> (3266)
Analysis of Rainwater Runoff Pollution Characteristics of Various Typical Underlying Surfaces in Ningbo	XU Yu-jie, GONG Yue-min, BI Jun-peng, <i>et al.</i> (3275)
Water Quality and Bacterial Population Driving Mechanism of Algae Vertical Succession in Stratified Reservoir	YAN Miao-miao, CHEN Sheng-nan, HUANG Ting-lin, <i>et al.</i> (3285)
Distribution Characteristics of Disinfection By-Products and the Effects of Booster Chlorination in Long-Distance Water Supply Systems	BI Wei-wei, YE Sheng, YU Jian-quan, <i>et al.</i> (3297)
Occurrence and Prediction Model of Disinfection By-Products in Tap Water	LIU Jun-ping, CHEN Jing-ji, SONG Ya-li, <i>et al.</i> (3307)
Adsorption Characteristics and Mechanism of Cadmium in Water by Alkali and Magnetic Composite Modified Wheat Straw Biochar	CUI Zhi-wen, REN Yan-fang, WANG Wei, <i>et al.</i> (3315)
Enhanced Chromate (VI) Removal Characteristics and Mechanism Using Graphene Oxide Immobilized Nanoscale Zero-Valent Iron Coupled with a Weak Magnetic Field (GO-nFe ⁰ /WMF)	JI Meng, BAO Jian-guo, ZHU Xiao-wei, <i>et al.</i> (3326)
Characteristics and Influencing Factors of Monothioarsenate Adsorption on Goethite	LIAO Dan-xue, SHAN Hui-mei, ZHANG Jin-xian, <i>et al.</i> (3337)
Fast Start-Up ANAMMOX Operation Strategy and Flora Characteristics of a Biofilter	WANG Xiao-tong, YANG Hong, SU Yang, <i>et al.</i> (3345)
Effects of Aeration Strategy on Denitrifying Performance of Activated Sludge Processes in Treating Low-Carbon-Source Municipal Wastewater	ZHANG Xin-ni, CHI Yu-lei, WANG Qian, <i>et al.</i> (3356)
Effect of Hydroxylamine on Community of ANAMMOX Sludge	XING Chong-yang, FAN Yu-chen, CHEN Xuan, <i>et al.</i> (3365)
Microbial Diversity of Filamentous Sludge Bulking at Low Temperature	GAO Chun-di, ZHANG Na, HAN Hui, <i>et al.</i> (3373)
Main Influencing Factors and Strengthening of Anaerobic Transformation of Excess Sludge in China	DONG Bin, GAO Jun, CHEN Si-si, <i>et al.</i> (3384)
Relationship Between CO ₂ and CH ₄ Emissions in Urban Rivers and Sewage Discharging from a Municipal Drainage Network	LI Lei, CHEN Hao, ZHU Yi, <i>et al.</i> (3392)
Effects of Controlled-Release Urea Application on N ₂ O Emission in Maize-Cultivated Sandy Loam Soil	JIANG You-jin, YUAN Jun-ji, DING Wei-xin, <i>et al.</i> (3402)
Greenhouse Gas Emissions for Typical Open-Field Vegetable Production in China	ZHANG Fen, CHENG Tai-hong, CHEN Xin-ping, <i>et al.</i> (3410)
Effects of Water Management on Soil Properties and Cd Behavior of Typical Paddy Soils	HUANG Jing, LI Xin-yang, WEN Sha, <i>et al.</i> (3418)
Effect of Mn-Modified Biochar on the Characteristics of Aggregate Structure and the Content of Cd in Weakly Alkaline Cd-Contaminated Soil	SUN Tong, FU Yu-tong, LI Ke, <i>et al.</i> (3426)
Effects of the Immobilization of Cadmium in Soil Alone or Combined with Foliar Application of Selenium on Cadmium Accumulation in the Plants of Different Genotypes of Tsai-tai	CAO Kun-kun, LI Cheng-cheng, HU Xue-yu, <i>et al.</i> (3434)
Effects of Foliar Spraying of 2,3-dimercaptosuccinic Acid on Cadmium Uptake, Transport, and Antioxidant System in Rice Seedlings	YANG Xiao-rong, HUANG Yong-chun, LIU Zhong-qi, <i>et al.</i> (3441)