

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.11
第41卷 第11期

目次

中国工业源挥发性有机物排放清单 梁小明, 孙西勃, 徐建铁, 叶代启, 陈来国(4767)

中国水泥排放清单及分布特征 汤铃, 薛晓达, 伯鑫, 郭静, 王鹏, 翟文慧, 崔维庚, 汪寿阳, 李时蓓, 董广霞(4776)

环境空气 PM_{2.5} 化学组分监测数据审核指标的建立: 以长三角地区为例 张哲, 乔利平, 周敏, 朱书慧, 郭会琴, 王红丽, 楼晟荣, 陶士康, 陈长虹(4786)

南京江北新区大气颗粒物化学组分的粒径分布特征 张毓秀, 于兴娜, 刘偲嘉, 安俊琳, 张程(4803)

郑州市 PM_{2.5} 化学组分的季节变化特征及来源解析 张剑飞, 姜楠, 段时光, 孙有昌, 郝祺, 张瑞芹(4813)

山西大学城 PM_{2.5} 中元素特征、来源及健康风险评估 李雪梅, 牟玲, 田妹, 郑利荣, 李杨勇(4825)

2000~2019年中国 PM_{2.5} 时空演化特征 夏晓圣, 汪军红, 宋伟东, 程先富(4832)

北京地区偏南风 and 偏东风条件下污染特征差异 尹晓梅, 乔林, 朱晓婉, 郭恒, 刘湘雪, 熊亚军(4844)

基于天气背景天津大气污染输送特征分析 蔡子颖, 杨旭, 韩素芹, 姚青, 刘敬乐(4855)

基于天气分型的上甸子大气本底站臭氧污染气象条件 吴进, 李琛, 马志强, 孙兆彬, 朱晓婉, 董璠(4864)

基于环境空气中 VOCs 在线监测数据精准识别化工园区 VOCs 排放源 孙佳宁, 谢绍东(4874)

芜湖市大气挥发性有机物污染特征、大气反应活性及源解析 高亢, 章慧, 刘梦迪, 赵晓宇, 吴婷, 贾其娜(4885)

密云水库上游白河地表水质对不同空间尺度景观格局特征的响应 张微微, 李晓娜, 王超, 赵春桥, 史瑞双(4895)

北京密云水库流域水体夏季 DOC 和 DIC 质量浓度及同位素组成初探 陈吉吉, 郭婧, 徐苏士, 陶蕾, 荆红卫(4905)

2009~2018年太湖湖泛强度变化及其影响因素 辛华荣, 朱广伟, 王雷松, 李骏, 陆隽(4914)

雷州半岛岭北地区地下水水文地球化学特征 张宏鑫, 吴亚, 罗炜宇, 陈雯, 刘怀庆(4924)

基于多环境介质氮素和同位素的滦平盆地地下水硝酸盐来源示踪 孙厚云, 卫晓锋, 贾凤超, 李多杰, 李健, 李霞, 殷志强(4936)

会仙岩溶湿地水体金属元素分布与健康风险评价 李军, 邹胜章, 梁永平, 林永生, 周长松, 赵一(4948)

太白山自然保护区水体 CDOM 吸收与三维荧光特征 张文浩, 赵铎霖, 王晓毓, 郝强州, 李喜梅, 高鹏程(4958)

强降雨对平原河网区入湖河道氮、磷影响 连心桥, 朱广伟, 杨文斌, 朱梦圆, 许海(4970)

长江流域淡水生态系统内分泌干扰物、药物和个人护理品的风险排序 苏超, 崔严(4981)

嘉兴市城市河网区多环芳烃污染源解析及生态风险评价 杨延梅, 赵航晨, 孟睿, 何连生, 赵昊, 杜士林, 丁婷婷(4989)

污水处理厂对漓江桂林市河段淡水生物中微塑料累积的影响 谢元沅, 张清科, 张漓杉, 钟山, 刘俊勇, 侯晓映, 王华, 冯静培, 梁祖鸿, 陈舞阳(4999)

村镇生活污水处理设施抗生素浓度分布规律 卢亚楠, 郭雅妮, 王坤, 陆伟东, 王拓, 柴玉峰, 柳蒙蒙, 钟慧, 陈梅雪, 魏源送(5008)

冬季小流域水体微生物多样性及影响因素 朱金山, 秦海兰, 孙启耀, 王宝珍, 高润霞, 郭锐利, 李武斌(5016)

水库热分层期沉积物中有机物特性及对好氧反硝化细菌脱氮的影响 王彤, 文刚, 黄廷林, 司凡, 王晨旭, 路林超, 林薇(5027)

长三角地区 MBBR 泥膜复合污水厂低温季节微生物多样性分析 韩文杰, 吴迪, 周家中, 何强, 阚渝姣(5037)

类群划分方法对南亚热带水库夏季浮游植物群落与环境响应关系的影响 郭芳, 顾继光, 赵剑, 余华章, 肖利娟(5050)

基于决策树的城市黑臭水体遥感分级 李玲玲, 李云梅, 吕恒, 徐杰, 杨子谦, 毕顺, 许佳峰(5060)

纳米零价铁强化微生物电催化-厌氧膜生物组合反应器抗膜污染能力及其调控机制 潘阳, 牛承鑫, 支忠祥, 王建辉, 陆雪琴, 戴金山, 甄广印, 孙彤彤, 康娜英(5073)

温度和基质浓度对厌氧氨氧化工艺中 N₂O 释放的影响 王丝可, 于恒, 左剑恶(5082)

以污泥发酵液与尾水混合液为补给碳源的 A²/O 污染物去除特性 荣懿, 邵劲博, 于优城, 石恒, 金鹏康(5089)

不同曝气比对连续流亚硝化颗粒污泥运行的影响 张杰, 劳会妹, 李冬, 魏子清(5097)

中温厌氧消化与高温厌氧消化对污泥重金属风险及稳定性的影响 田中科, 王芬, 闫钊(5106)

基于 PMF 模型及地统计的土壤重金属健康风险定量评价 韩琳, 徐夕博(5114)

再开发利用工业场地土壤重金属含量分布及生态风险 沈城, 刘霞雯, 吴健, 黄沈发, 王敏, 黄波涛(5125)

有机改性蒙脱土对苯的吸附机制和影响因素 侯静雯, 施维林, 高娟(5133)

硫酸亚铁和硝酸铁施用对根际土壤-水稻系统中镉运移的影响 李义纯, 陈勇, 唐明灯, 李林峰, 林晓扬, 王艳红, 许迪豪, 艾绍英(5143)

叶用油菜和孔雀草间作对植物生长和镉累积的影响 闫秀秀, 徐应明, 王林, 陶雪莹, 孙约兵, 梁学峰(5151)

重金属固定细菌调控土壤铁氧化物阻控小麦 Cd 吸收效应 王晓宇, 韩辉(5160)

油-稻轮作模式下修复材料对土壤铜修复的持续性影响 赵颖颖, 李虹川, 胡宏祥, 薛中俊, 刘娜, 吴孟君(5168)

氮肥使用对北方夏玉米季氨挥发的影响 张薇, 倪邦, 许秀春, 杨轩, 孟凡乔(5176)

生物炭影响下土壤呼吸温度敏感性及细菌群落结构的变化 曹坤坤, 张沙沙, 胡学玉, 黄洋(5185)

铜尾矿白羊草重金属含量对叶际和根际真菌群落的影响 贾彤, 郭婷艳, 王瑞宏, 柴宝峰(5193)

典型水环境微生物源异味物研究进展 张海涵, 苗雨甜, 黄廷林, 刘凯文, 刘祥, 黄鑫, 杨尚业, 司凡, 李程遥(5201)

广告: 国家微生物科学数据中心 (前插)

《环境科学》征订启事(4785) 《环境科学》征稿简则(4947) 信息(5015, 5124, 5132)

污水处理厂对漓江桂林市河段淡水生物中微塑料累积的影响

谢沅汕^{1,2}, 张清科^{1,2}, 张漓杉^{2,3*}, 钟山^{2,3}, 刘俊勇^{1,2}, 侯晓映^{1,2}, 王华^{1,2}, 冯静培^{1,2}, 梁祖鸿^{1,2}, 陈舞阳^{1,2}

(1. 广西师范大学环境与资源学院, 桂林 541006; 2. 珍稀濒危动植物生态与环境保护教育部重点实验室, 桂林 541006; 3. 桂林电子科技大学生命与环境科学学院, 桂林 541004)

摘要: 微塑料(粒径 < 5 mm)作为一种新型污染物近年来引起广泛关注. 本文通过收集污水处理厂尾水、污水处理厂在漓江支流桃花江的排口(S1)、桃花江和漓江干流的汇合处(S2)和支流汇合处的下游(S3)的表层水体、沉积物以及4种典型淡水生物样品,研究了污水处理厂尾水排放对淡水生物体内微塑料污染特征和空间分布的影响. 结果表明,淡水生物中微塑料的检出率为94.2%. 污水处理厂在漓江支流桃花江的排口S1($2.7 \text{ n} \cdot \text{ind}^{-1}$)淡水生物中的微塑料平均丰度显著高于排放口下游的漓江干流桂林市河段S3($1.9 \text{ n} \cdot \text{ind}^{-1}$, $P < 0.05$). S1和S3生物体中的微塑料粒径均以<0.10 mm为主,占比分别为46.0%和30.5%. 生物体中的微塑料仅有纤维一种类型,S1中主要的聚合物类型为聚对苯二甲酸乙二醇酯,S3生物中主要的聚合物类型为聚丙烯. 污水处理厂尾水排放一定程度上影响了淡水生物中微塑料累积.

关键词: 微塑料(MPs); 污水处理厂; 漓江; 表层水; 沉积物; 淡水生物

中图分类号: X171.5 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2020)11-4999-09 DOI: 10.13227/j.hjkk.202003075

Impact of a Sewage Treatment Plant on the Accumulation of Microplastics in Freshwater Organisms in the Lijiang River of the Guilin Urban Section

XIE Yuan-shan^{1,2}, ZHANG Qing-ke^{1,2}, ZHANG Li-shan^{2,3*}, ZHONG Shan^{2,3}, LIU Jun-yong^{1,2}, HOU Xiao-ying^{1,2}, WANG Hua^{1,2}, FENG Jing-pei^{1,2}, LIANG Zu-hong^{1,2}, CHEN Wu-yang^{1,2}

(1. College of Environment and Resources, Guangxi Normal University, Guilin 541006, China; 2. Key Laboratory of Ecology of Rare and Endangered Species and Environmental Protection, Ministry of Education, Guilin 541006, China; 3. School of Life and Environmental Sciences, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: Microplastics (MPs, particle size < 5 mm), as a new pollutant, have attracted wide attention in recent years. The distributions of MPs in effluent of a sewage treatment plant (STP) were examined. Surface water, sediment, and freshwater organism samples were taken from the STP discharge outlet in the Lijiang River tributary (S1), the confluence of tributaries and main streams in the Lijiang River (S2), and downstream locations in the Lijiang River (S3). The impact of STP discharge effluent on the characteristics and spatial distribution of MPs pollution in freshwater organisms was studied. The results showed that the freshwater organisms had a probability of uptake of MPs by 94.2%. The mean abundance of MPs in S1 ($2.7 \text{ n} \cdot \text{ind}^{-1}$) was significantly higher than that of S3 ($1.9 \text{ n} \cdot \text{ind}^{-1}$, $P < 0.05$). The MPs found in S1 and S3 were mainly < 0.10 mm, accounting for 46.0% and 30.5%, respectively. The fiber type of MPs was observed in the body of freshwater organisms. Polyethylene terephthalate was the major polymer form in S1 organisms, while polypropylene was the major polymer form in S3. The effluent discharged from the STP led to the accumulation of MPs in freshwater organisms.

Key words: microplastics (MPs); sewage treatment plant; Lijiang River; surface water; sediment; freshwater organisms

环境中的微塑料作为一种新型的污染物近年来已逐渐受到国内外的关注. 微塑料即通常被定义为 < 5 mm 的塑料颗粒^[1], 微塑料主要包括两种, 初级微塑料和次级微塑料. 初级微塑料指直接用于个人护理产品或工业原料中粒径小于 5 mm 的塑料制品^[2]; 次级微塑料由暴露在环境因素(例如水和阳光)中的塑料制品破碎后形成^[3]. 2016 年全球塑料产量达到 3.22 亿 t, 并且呈逐年增长的趋势^[4]. 据中国塑料工业编辑部数据显示, 中国作为全球最大的塑料生产国, 占全球塑料总产量的 26%, 同时也是最大的塑料消费国和进出口国. 由于监管不到位, 由此

产生了严重的塑料垃圾问题. 文献[5]显示, 塑料是海洋垃圾的主要类型, 渤海、黄海和南海的监测区域表层水体微塑料平均密度为 $0.4 \text{ n} \cdot \text{m}^{-3}$. 除了海洋之外, 淡水环境中也存在不同程度的微塑料污染^[6,7].

污水的大量排放是淡水和海洋环境微塑料的主

收稿日期: 2020-03-07; 修订日期: 2020-05-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(51769004); 国家级大学生创新创业训练计划项目(201810602069)

作者简介: 谢沅汕(1994~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为水污染控制工程, E-mail: 1059164941@qq.com

* 通信作者, E-mail: 2319744660@qq.com

要来源之一. Blair 等^[8]对英国苏格兰的一座三级污水处理厂进行了调查研究, 结果发现污水处理厂每天向受纳水体释放微塑料 2.2×10^7 个. Edo 等^[9]对西班牙马德里的一座污水处理厂进行了调查, 发现该污水厂每天向受纳水体释放微塑料颗粒达到 3.0×10^8 个. 因此, 污水处理厂成为微塑料进入淡水与海洋环境的一个重要途径.

水体中的微塑料容易被浮游动物、软体动物和鱼类等误食^[10], 微塑料在进入生物体内后难以消化^[11], 严重时导致死亡^[12]. 此外, 微塑料能从周围水环境中吸附持久性有机污染物以及重金属等, 进一步增加了微塑料的生态风险^[13]. 目前, 已有不少针对水体及沉积物中微塑料污染的研究, 但缺少对实际淡水环境中不同水生生物体内微塑料富集状况的调查.

为了研究污水处理厂尾水排放对淡水生物体内微塑料污染特征和空间分布的影响, 本文以漓江及其主要支流桃花江为研究对象, 调查污水处理厂尾水、污水处理厂在漓江支流桃花江的排口、桃花江和漓江干流的汇合处和支流汇合处的下游的表层水体、沉积物以及 4 种典型淡水生物(田螺、河虾、鲫鱼、罗非鱼)中的微塑料污染特征.

1 材料与方法

1.1 采样点信息

采样点示意如图 1 所示. 北冲污水处理厂服务区面积约 9.3 km^2 , 服务人口约 12 万. 污水处理厂主要处理桂林市北区的生活污水, 日污水处理能力为 $3 \times 10^4 \text{ m}^3$, 采用 A/A/O 处理工艺, 处理后的尾水排入桃花江. 桃花江是漓江的 1 级支流. 本研究选取污水处理厂在漓江支流桃花江的排口 S1 (N $25^\circ 18' 27''$, E $110^\circ 16' 21''$), 桃花江和漓江干流的汇合处 S2 (N $25^\circ 15' 7''$, E $110^\circ 17' 15''$) 以及支流汇合处的下游 S3 (N $25^\circ 13' 10''$, E $110^\circ 20' 22''$).

1.2 样品采集

污水的采样方法. 采样前各工具使用蒸馏水清洗 3 遍以上. 将 12V 直流水泵放入水下 20 ~ 50 cm 处进行取样, 在采样过程中尽量保证流量稳定, 并通过流量计记录取样体积. 在污水厂的进水和出水处分别采集水样 20 L 和 30 L, 于 2018 年 4 月和 5 月期间共采集 3 个平行样. 水样依次通过 4 个可移动的不锈钢筛网, 筛网孔径大小分别为 0.50、0.20、0.10 和 0.025 mm. 用蒸馏水将筛网上的残留物冲洗至玻璃瓶中, 带回实验室等待进一步分析.

表层水样、沉积物和生物样本的采集方法. 于 2018 年 9 月在污水处理厂在漓江支流桃花江的排

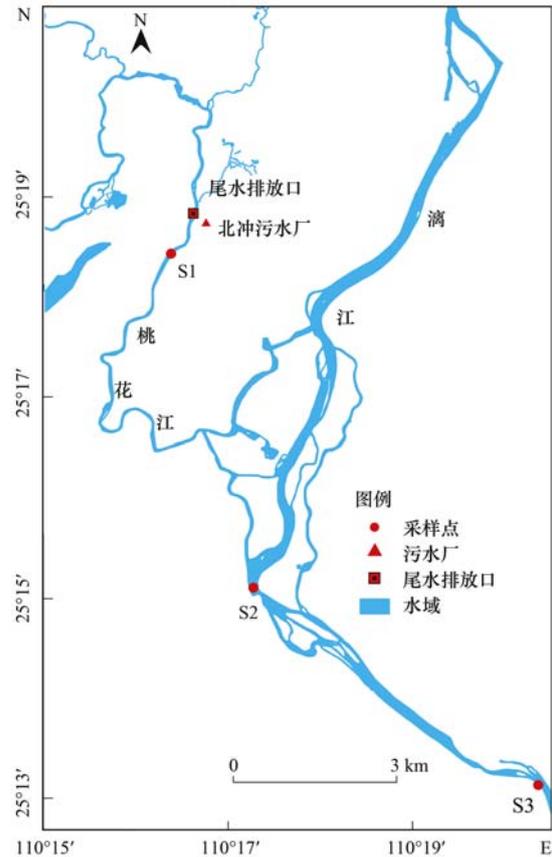


图 1 采样点示意

Fig. 1 Locations of sampling sites

口(S1)、桃花江和漓江干流的汇合处(S2)和支流汇合处的下游(S3)采集表层水体、沉积物以及 4 种典型淡水生物样品. 其中, 使用带有刻度标记的 5 L 不锈钢桶采集表层水样(0 ~ 10 cm), 使用孔径为 0.025 mm 的标准筛过滤后, 用纯水将残留物冲洗至玻璃瓶中. 每个采样点每次采集 30 L 水样, 共采集了 3 次. 沉积物样品使用抓斗式采泥器采集, 用不锈钢铲取表层 0 ~ 5 cm 沉积物样品装入广口玻璃瓶中, 每个采样点采集了 3 份沉积物样品. 收集的水样及沉积物样品放至装有冰袋的保温箱中保存, 带回实验室进行后续处理. 鲫鱼、罗非鱼、河虾以及田螺是河流生态系统中常见的物种, 也是常见的可食用水产品. 所有生物样品都来自渔民当天从漓江中使用拖网打捞获取, 其中, S1 获得了田螺、河虾以及罗非鱼, S3 获得了田螺、河虾以及鲫鱼. 生物样品基本信息如表 1 所示.

1.3 样品处理

1.3.1 污水样品的处理

所有样品放置于 90°C 烘箱中干燥至 100 mL, 用芬顿试剂消解污水样品中的有机物^[14]. 等待消解完全, 将样品放置于 60°C 的烘箱至水分完全蒸发, 加入饱和 NaCl 溶液($\rho = 1.2 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$)进行密度浮选, 取上浮部分用隔膜真空抽滤装置 $0.45 \mu\text{m}$ 的玻璃

表 1 采样点生物样品基本信息

Table 1 Basic information of the biological samples at the sampling sites

采样点	生物类型	样品总数	栖息水层	体长/cm	个体质量/g
S1	田螺	50	底层	— ¹⁾	2.0 ± 0.6
	河虾	20	底层	4.4 ± 1.2	1.2 ± 0.7
	罗非鱼	19	底层	10.4 ± 3.3	35.4 ± 13.0
S3	田螺	50	底层	—	2.9 ± 1.2
	河虾	20	底层	2.7 ± 0.6	0.3 ± 0.2
	鲫鱼	32	底层	7.4 ± 1.4	6.5 ± 4.0

1) “—”表示没有相关数据

纤维滤膜(GF/F, Whatman, 50 mm)过滤. 最后, 将滤膜保存在有盖的培养皿中等待进一步分析.

1.3.2 表层水样和沉积物的处理

将采集的水样转移到烧杯中, 按照水样体积加入适量 30% H_2O_2 试剂后, 用铝箔封口后放入 60℃ 烘箱中处理 24 h, 去除水样中的生物质. 随后, 使用 0.45 μm 的玻璃纤维滤膜(GF/F, Whatman, 50 mm)将烧杯中的液体抽滤, 将滤膜保存在带盖培养皿中以进行下一步观察^[15]. 沉积物中的微塑料提取采用密度浮选法^[1]. 将沉积物样品在 60℃ 烘箱中烘干至恒重后, 每个采样点称取 100 g 样品($n = 3$)置于 1 L 烧杯中, 每个烧杯中加入 500 mL 饱和氯化钠溶液, 充分搅拌后静置 24 h. 将上清液转移到另外的烧杯, 按照上述水样的处理方法处理, 每份沉积物样品重复提取 3 次.

1.3.3 淡水生物的处理

对淡水生物(田螺、河虾和鱼类)中微塑料的提取参照 Li 等^[16]的消解方法, 将生物样本带回实验室立即处理, 用超纯水冲洗生物表面, 测量其体长和质量. 随后解剖并分离其软体组织, 称重后移至锥形瓶中. 以 40:1 的比例向每个锥形瓶中加入 30% H_2O_2 试剂, 即每 5 g 有机组织加入 200 mL 的 H_2O_2 试剂. 将锥形瓶放入水浴恒温振荡器中以转速 80 $r \cdot \min^{-1}$ 和温度 65℃ 消解 24 h. 消解完成后, 将溶液在室温下冷却 24 h, 用 0.45 μm 孔径的玻璃纤维滤膜(GF/F, Whatman, 50 mm)抽滤, 将滤膜放入带盖培养皿中等待下一步观察. 其中, 由于河虾的个体较小, 因此采用的是整只消解.

1.4 微塑料的识别与鉴定

将滤膜置于体视显微镜(SAIKEDIGITAL SK2500H, China)下进行统计和筛选. 对所有疑似微塑料进行拍照和测量, 记录微塑料的颜色、粒径和形状. 微塑料粒径大小分为 4 个尺寸: 0.025 ~ 0.10、0.10 ~ 0.20、0.20 ~ 0.50 和 0.50 ~ 5 mm. 此外根据形状将微塑料分为纤维、碎片和薄膜. 挑出后放置在洁净的滤膜上, 用傅里叶显微红外光谱仪(Nicolet

iN10, Thermo Fisher, USA)在透射模式下对挑选出的疑似微塑料颗粒进行成分鉴定. 微塑料聚合物类型分为: 聚苯乙烯(polystyrene, PS)、聚丙烯(polypropylene, PP)、聚乙烯(polyethylene, PE)、聚丙烯-聚乙烯共聚物(polypropylene-polyethylene copolymer, PP/PE)、聚对苯二甲酸乙二醇酯(polyethylene terephthalate, PET)、玻璃纸(cellophane)和聚丙烯腈(polyacrylonitrile, PAN).

1.5 数据分析

污水处理厂污水中微塑料丰度使用单位 $n \cdot m^{-3}$ 表示, 漓江表层水体中微塑料丰度使用单位 $n \cdot m^{-3}$ 表示, 沉积物中微塑料丰度使用单位 $n \cdot kg^{-1}$, 以干重沉积物计, 淡水生物中微塑料丰度使用单位 $n \cdot ind^{-1}$ 表示. 采用 Microsoft Office 2010 和 OriginLab 2017 进行统计制图. 采用 ArcGIS 10.4 绘制采样点图, 并利用 SPSS 16.0 软件进行单因素方差分析(one-way ANOVA)检验不同采样点表层水、沉积物 and 不同生物种类中微塑料丰度的差异显著性, $P < 0.05$ 有统计学意义.

2 结果与分析

2.1 北冲污水处理厂污水中的微塑料分布特征

由图 2 可知, 北冲污水处理厂进水和出水微塑料丰度分别为 $(700.0 \pm 220.0) n \cdot m^{-3}$ 和 $(70.0 \pm 0) n \cdot m^{-3}$. 进水微塑料的粒径在 0.50 ~ 5 mm 的占 35.7%, 在 0.20 ~ 0.50 mm 的占 40.0%, 在 0.10 ~ 0.20 mm 的占 17.1%. 出水的微塑料粒径在 0.50 ~ 5 mm 的占 50.0%, 在 0.20 ~ 0.50 mm 的占 50.0%. 北冲污水处理厂的微塑料形状有碎片、纤维和薄膜这 3 种, 其中进水的碎片, 纤维和薄膜分别占微塑料总量的 78.6%、18.6% 和 2.9%. 出水只有纤维. 进水中微塑料的颜色主要为红色(36.0%)、绿色(24.0%)和透明(20.0%), 出水中微塑料的颜色主要为红色(37.5%)和黑色(37.5%).

不同化学成分的微塑料在用途上存在差异, 根据微塑料的化合物类型可以对其来源进行初步推算. 如图 3 所示, 对污水中微塑料样品红外成分鉴定

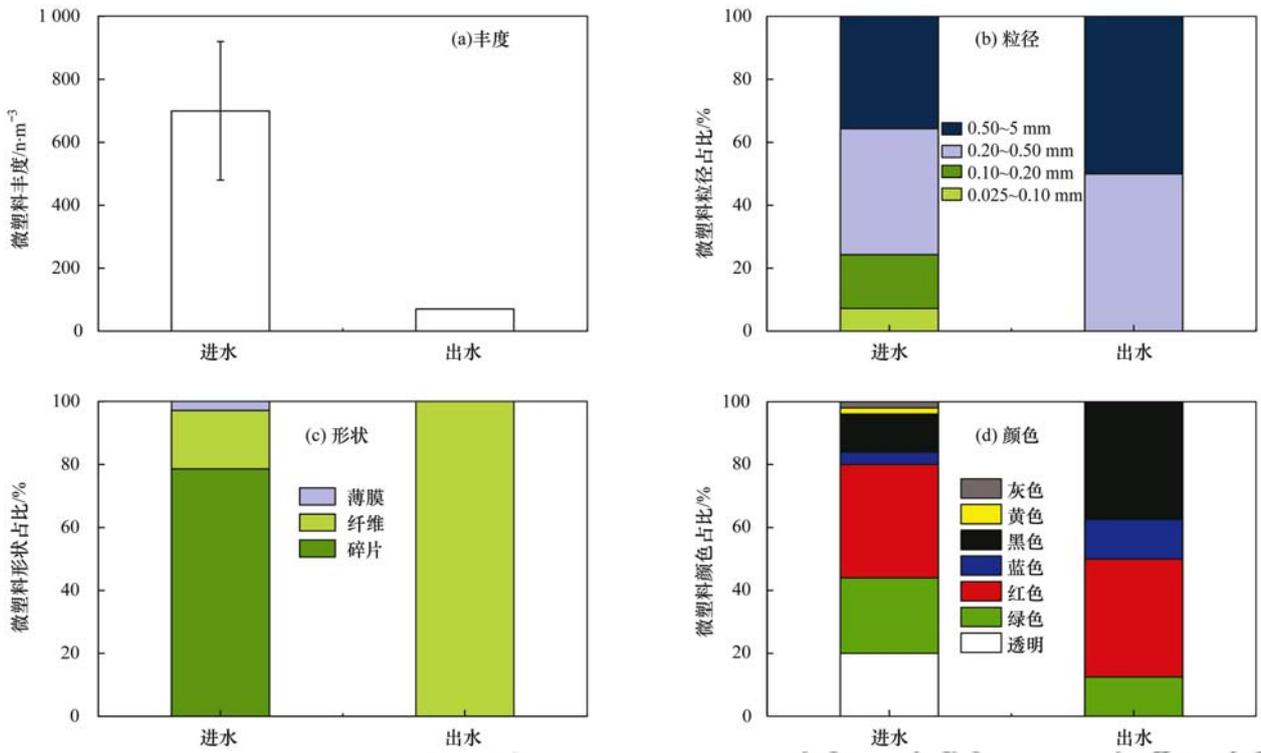


图 2 各采样点污水中微塑料分类
 Fig. 2 Classification of MPs in sewage at each sampling point

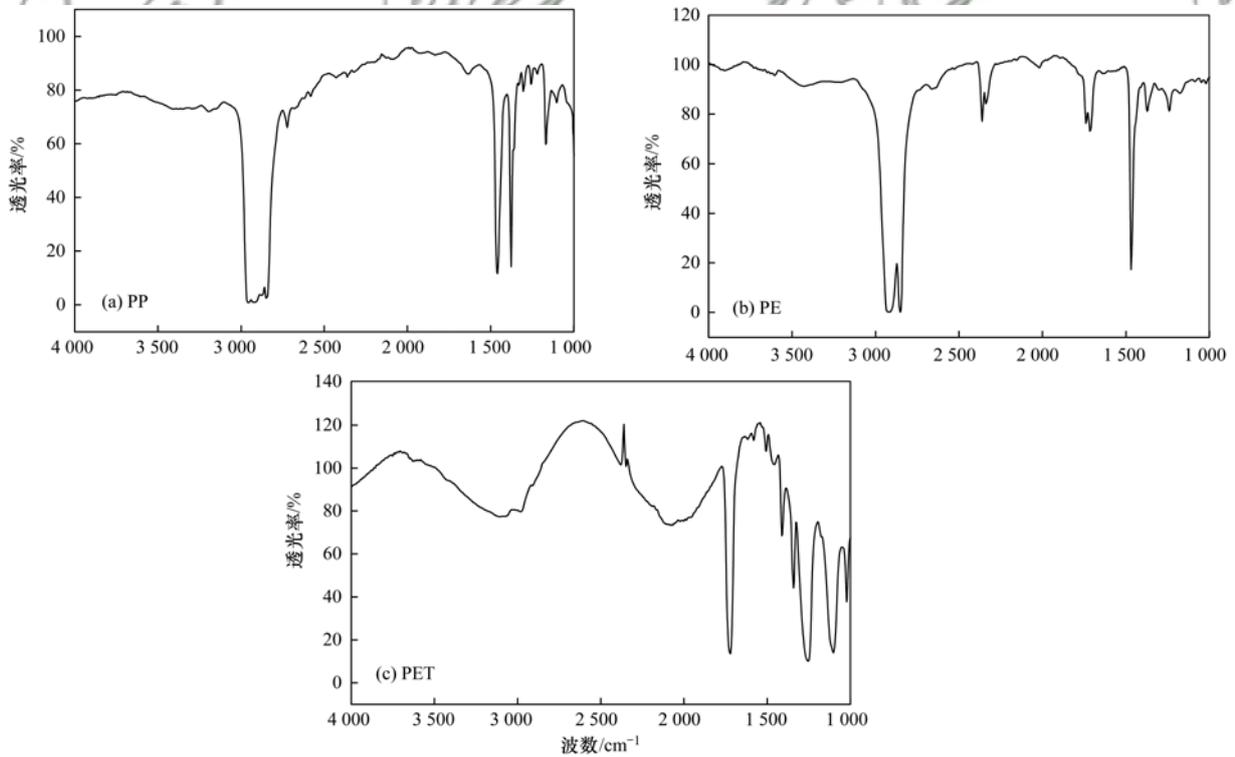


图 3 微塑料红外谱图
 Fig. 3 Infrared spectrogram of MPs

的结果统计表明,污水中微塑料聚合物类型有 PP、PE 和 PET 这 3 种. 由图 4 可知,碎片状微塑料包括 PP(50.0%)、PE(37.5%) 和 PET(12.5%),纤维状微塑料包括 PP(16.7%)、PE(16.7%) 和 PET(66.6%).

2.2 污水厂排口漓江支流及下游干流水环境中微塑料的分布特征

2.2.1 表层水体中微塑料的分布特征

对污水处理厂在漓江支流桃花江的排口(S1)、桃花江和漓江干流的汇合处(S2)以及支流汇合处

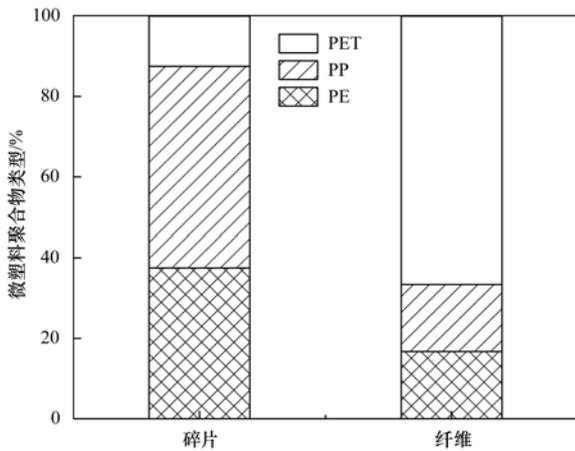


图4 污水中微塑料聚合物类型占比

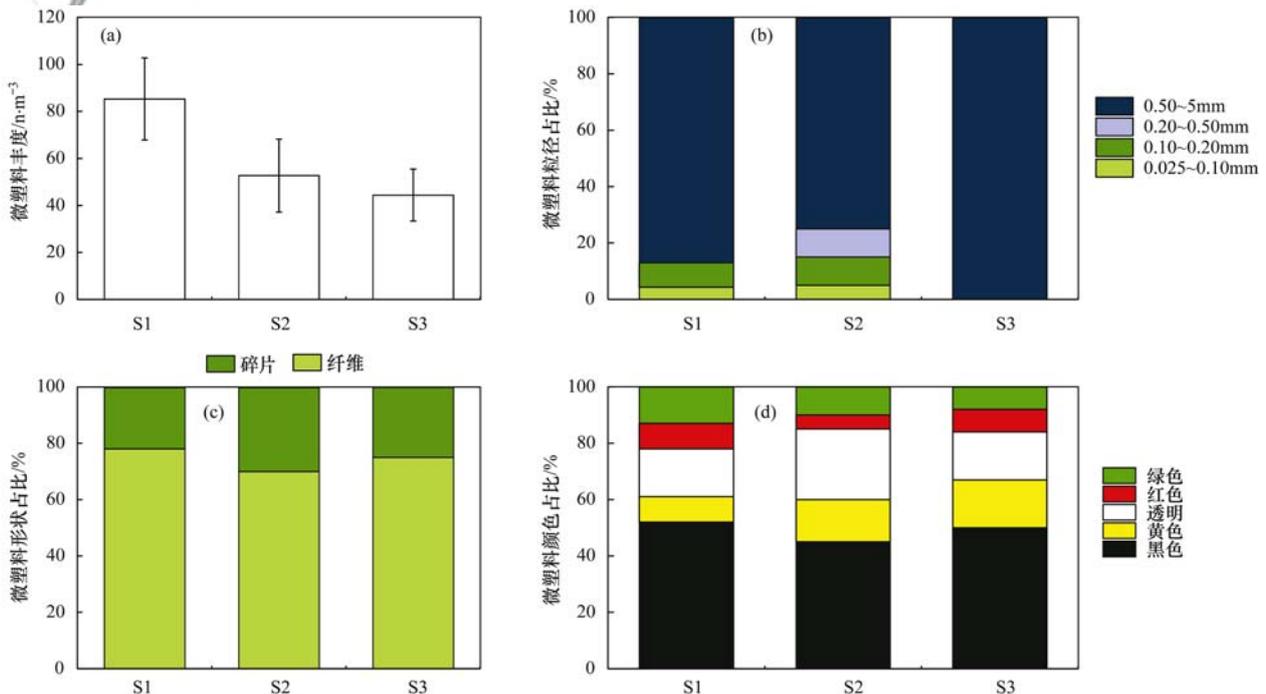
Fig. 4 Ratio of MPs polymer type in sewage

的下游(S3)这3个采样点表层水进行取样,可以估算污水厂尾水排放口对微塑料分布的影响. 数据显示(图5),S1表层水中微塑料的平均丰度为 $(85.3 \pm 17.5) n \cdot m^{-3}$,S2表层水中微塑料的平均丰度为 $(52.7 \pm 15.5) n \cdot m^{-3}$,S3表层水中微塑料的平均丰度为 $(44.4 \pm 11.1) n \cdot m^{-3}$. S1表层水中的微塑料平均丰度显著高于S2和S3($P < 0.05$). 3个采样点表层水体中的微塑料粒径均以0.50~5mm为主,比例达75.0%以上. 3个采样点表层水体中的微塑料形状相似,均以纤维为主,比例达70.0%以上.S1中主要颜色占比为:黑色(52.0%)和透明(17.0%). S2中主要颜色占比为:黑色(45.0%)和透明(25.0%). S3中主要颜色占比为:黑色(50.0%)、

黄色(17.0%)和透明(17.0%). 表层水体中微塑料聚合物类型有6种(图6). 碎片状微塑料聚合物主要为PP(47.6%)和PS(23.8%),纤维状微塑料主要为PET(52.6%)和PP(26.3%).

2.2.2 沉积物中微塑料的分布特征

数据显示(图7),S1沉积物中微塑料的平均丰度为 $(340.0 \pm 40.0) n \cdot kg^{-1}$,S2沉积物中微塑料的平均丰度为 $(256.7 \pm 20.8) n \cdot kg^{-1}$,S3沉积物中微塑料的平均丰度为 $(210.0 \pm 30.0) n \cdot kg^{-1}$. S1沉积物中微塑料的平均丰度显著高于S2和S3($P < 0.05$). 沉积物中微塑料丰度的分布与表层水体中的一致,最大值出现在S1. S1沉积物中小粒径微塑料含量更高,0.10~0.20mm和0.025~0.10mm范围内的微塑料分别占微塑料总量的38.7%和35.8%,而S2和S3沉积物中的微塑料以0.20~0.50mm粒径范围内的为主,分别占总量的40.0%和37.9%. 3个采样点沉积物中的微塑料形状可分为2种且类型相似,均以纤维为主,其次为碎片.S1中主要颜色占比为:透明(34.0%)和黑色(18.9%). S2中主要颜色占比为:透明(30.0%)和黑色(25.0%). S3中主要颜色占比为:绿色(27.0%)和透明(19.0%). 沉积物中微塑料聚合物类型有6种(图8). 碎片状微塑料聚合物主要为PP(43.5%)和PP/PE(26.1%),纤维状微塑料主要为PET(53.1%)和PP(15.6%).



(a) 丰度, (b) 粒径, (c) 形状, (d) 颜色

图5 表层水中微塑料分类

Fig. 5 Classification of MPs in surface water

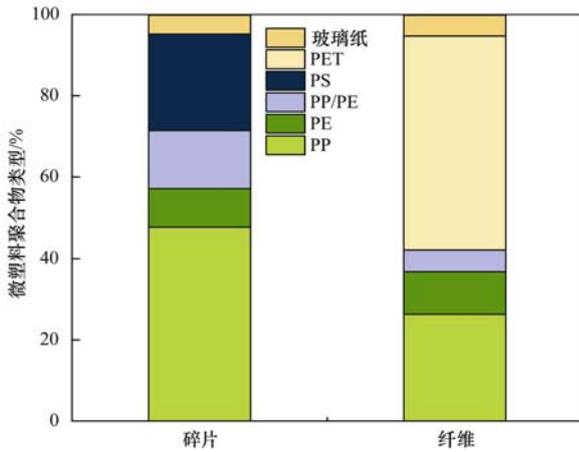


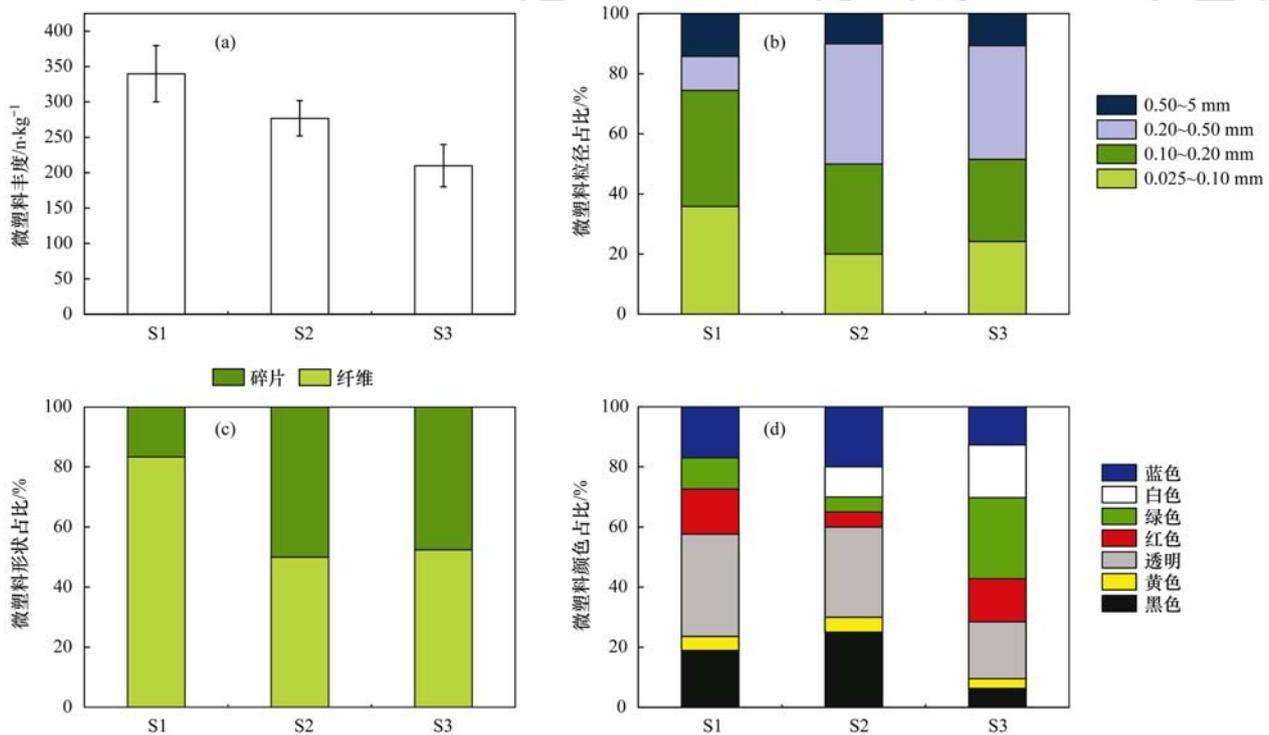
图 6 表层水中微塑料聚合物类型占比

Fig. 6 Ratio of MPs polymer type in surface water

2.3 漓江淡水生物体内微塑料分布特征

水环境中分布的微塑料能够直接被水生生物摄食,对水生生态系统的健康具有潜在威胁.因此,对

S1 和 S3 采样点收集的生物样品开展调查研究,可以了解微塑料在水生生物体内的累积现状.经统计分析,本研究共 191 个生物样品,其中在 180 个生物样品中检测出含有微塑料,检出率为 94.2%,S1 和 S3 的生物样品特征以及体内微塑料的富集状况如表 2 所示. S1 淡水生物中的微塑料总体丰度为 $(2.7 \pm 6.0) \text{ n} \cdot \text{ind}^{-1}$, S3 淡水生物中的微塑料总体丰度为 $(1.9 \pm 2.6) \text{ n} \cdot \text{ind}^{-1}$. 空间尺度上, S1 水生生物中的微塑料总体丰度显著高于 S3 ($P < 0.05$). S1 不同物种微塑料累积丰度依次是罗非鱼 $(7.7 \pm 11.4) \text{ n} \cdot \text{ind}^{-1}$ > 河虾 $(2.2 \pm 2.8) \text{ n} \cdot \text{ind}^{-1}$ > 田螺 $(1.0 \pm 0.3) \text{ n} \cdot \text{ind}^{-1}$, S3 不同物种微塑料累积丰度依次是鲫鱼 $(3.7 \pm 3.9) \text{ n} \cdot \text{ind}^{-1}$ > 河虾 $(1.5 \pm 1.5) \text{ n} \cdot \text{ind}^{-1}$ > 田螺 $(1.0 \pm 0.2) \text{ n} \cdot \text{ind}^{-1}$. 2 个采样点田螺、河虾和鱼体内微塑料丰度无显著性差异 ($P > 0.05$).



(a) 丰度, (b) 粒径, (c) 形状, (d) 颜色

图 7 沉积物中微塑料分类

Fig. 7 Classification of MPs in sediment

表 2 生物体内微塑料丰度¹⁾ / $\text{n} \cdot \text{ind}^{-1}$

Table 2 Abundance of MPs in organisms/ $\text{n} \cdot \text{ind}^{-1}$

采样点	总体丰度	田螺	河虾	鱼
S1	$2.7 \pm 6.0\text{a}$	$1.0 \pm 0.3\text{a}$	$2.2 \pm 2.8\text{a}$	$7.7 \pm 11.4\text{a}$
S3	$1.9 \pm 2.6\text{b}$	$1.0 \pm 0.2\text{a}$	$1.5 \pm 1.5\text{a}$	$3.7 \pm 3.9\text{a}$

1) 同一列字母相同的表示差异不显著 ($P > 0.05$)

由图 9 可知, S1 和 S3 生物体内的微塑料粒径均以 $< 0.10 \text{ mm}$ 为主, 占比分别为 46.0% 和

30.5%. 生物体内分离的微塑料仅有纤维一种类型. S1 中主要颜色占比为: 黑色 (39.7%) 和透明 (35.9%). S3 中主要颜色占比为: 透明 (36.4%) 和黑色 (29.9%). 黑色与透明的微塑料占主要部分, 生物体内微塑料的颜色与水体及沉积物中微塑料的颜色基本一致. 由图 10 可知, S1 生物中聚合物类型主要占比为 PET (田螺: 37.5%、河虾: 54.5%、罗非鱼: 70.8%) 和 PP (田螺: 20.8%、河虾: 27.3%、罗非

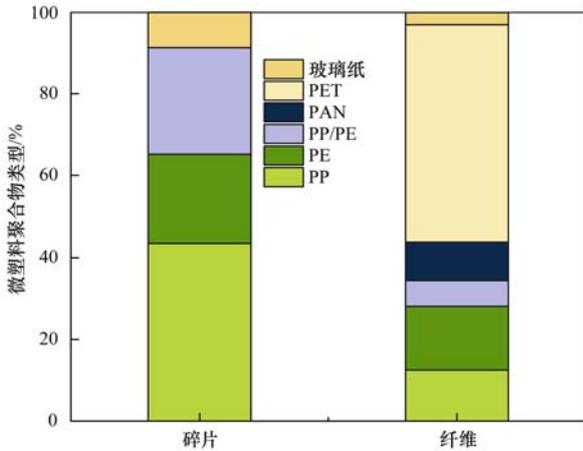


图 8 沉积物中微塑料聚合物类型占比

Fig. 8 Ratio of MPs polymer type in sediment

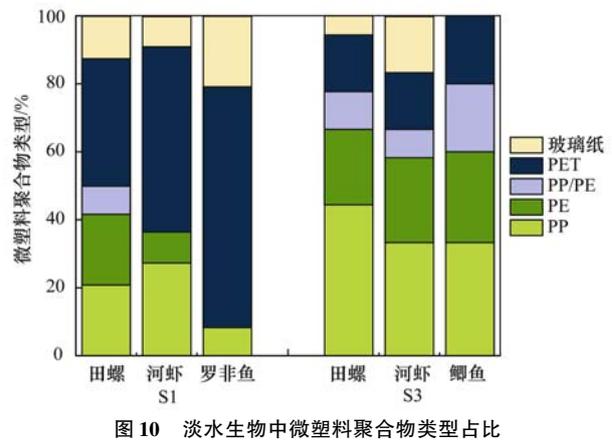


图 10 淡水生物中微塑料聚合物类型占比

Fig. 10 Ratio of MPs polymer type in freshwater organisms

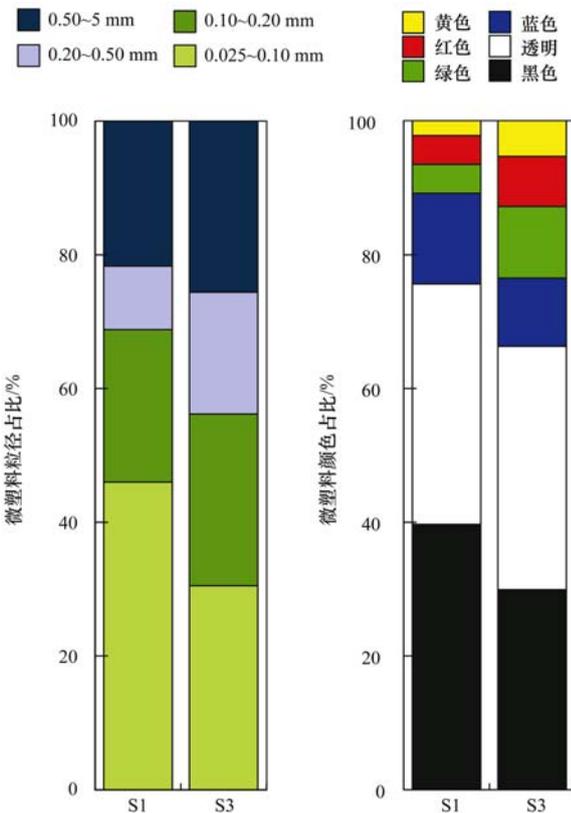


图 9 淡水生物中微塑料分类

Fig. 9 Classification of MPs in freshwater organisms

鱼:8.3%)。S3 生物中聚合物类型主要占比为 PP (田螺:44.4%、河虾:33.3%、鲫鱼:33.3%) 和 PE (田螺:22.2%、河虾:25.0%、鲫鱼:26.7%)。

3 讨论

3.1 污水处理厂排口对漓江支流及其下游干流水体和沉积物中微塑料累积的影响

北冲污水处理厂进水微塑料丰度为 $(700.0 \pm 220.0) n \cdot m^{-3}$ 。与其他地区的污水处理厂相比,本研究所测得的进水微塑料丰度处于较低水平。例如,贾

其隆等^[17]调查上海市 2 个大型污水厂发现,进水中微塑料的平均丰度为 $(199\ 080.0 \pm 22\ 970.0) n \cdot m^{-3}$ 。Yang 等^[18]研究我国北京污水处理厂发现,进水中微塑料的平均丰度为 $(12\ 030.0 \pm 1\ 290.0) n \cdot m^{-3}$ 。汪文玲等^[19]调查厦门地区城市污水处理厂发现,进水中微塑料的平均丰度为 $1\ 700.0 n \cdot m^{-3}$ 。除了采样方式的影响外,这可能还与研究地区居民的生活习惯及污水厂处理工艺的区别有关^[17]。北冲污水处理厂的总去除率达到 89.2%,这表明城市污水处理厂对减少城市微塑料污染物进入漓江淡水环境发挥了重要作用。但与其他同类研究相比 ($>90.0\%$)^[9,20],其去除率相对较低,这表明该地区的城市污水处理厂的运营和管理还有提升的空间。碎片和薄膜主要来自大型塑料的破碎,比如日常生活中广泛使用的包装袋、塑料瓶以及其他大型塑料制品等。污水中的纤维来源包括合成纤维的洗涤和纺织品老化过程中的脱落,据 Browne 等^[21]的报道,在每次洗涤过程中,服饰的合成材料中会产生约 1900 根纺织纤维,大量的纤维可通过污水管道进入城市污水处理系统中。重力沉降在污水厂微塑料的去除中起着重要作用,而生物结垢会加速这一过程^[22,23]。碎片和薄膜拥有更大的表面积,使更多的微生物在其表面附着生长,因此碎片和薄膜状微塑料更容易沉降至污泥中。在污水厂的最终出水中纤维占主要成分,原因可能是纤维状塑料自身具有一定的柔韧性,能够在外力的作用下发生变形扭曲,从而减小了机械外力的破坏,从而避免破碎而形成更小粒径的纤维状塑料^[24],因此尾水排放中大粒径范围的纤维状塑料的占比高于小粒径范围。显微红外光谱仪鉴定微塑料样品的聚合物类型,主要为 PET,其次为 PE 和 PP。PET 纤维被广泛应用于服装生产,因其由洗衣机的废水携带而经常在污水中被检测出。PP 和 PE 是全球范围内被广泛生产和使用的塑料类型,它们通常被用于制作薄膜、包装袋以及容

器等,这些塑料制品在日常生活的使用过程中容易发生破碎而进入污水管网中^[25]. 经过污水厂的处理,出水中微塑料量显著减少,微塑料丰度由进水的 $(700.0 \pm 220.0) \text{ n} \cdot \text{m}^{-3}$ 降至 $70.0 \text{ n} \cdot \text{m}^{-3}$,考虑到污水厂日处理量为 $3.0 \times 10^4 \text{ m}^3$,总去除率为89.2%. 尽管污水处理厂对微塑料的去除率较高,但污水处理厂尾水中每年仍然约有 7.7×10^8 个微塑料被释放到水体中. 污水处理厂是河流微塑料污染的一个重要排放源. 污水经处理之后直接排放至地表水体之中,随之排放的微塑料可能会带来生态风险,例如淡水生物摄取微塑料本身的潜在不利影响,以及微塑料与其它污染物相互作用下产生的新的环境风险.

S1 表层水中的微塑料平均丰度显著高于 S2 和 S3, Estahbanati 等^[26]调查美国 Raritan River 发现,在城市污水处理厂排放口邻近下游水域中微塑料丰度为 $(71.7 \pm 60.2) \text{ n} \cdot \text{m}^{-3}$. 另一项研究, McCormick 等^[27]调查美国 Chicago River 也有同样的发现,在城市污水处理厂排放口邻近下游水域中微塑料丰度为 $(17.9 \pm 11.0) \text{ n} \cdot \text{m}^{-3}$. 可见,城市污水处理厂尾水排放口可作为河流微塑料点源污染的污染源. 与干流不同的是,支流河流的水容量要小得多^[28],对微塑料污染物的稀释能力严重不足,因而支流河流中微塑料污染物的数量浓度相对较高. 沉积物中微塑料粒径以 $<0.50 \text{ mm}$ 为主,该结果与先前的研究结果相似. 根据 Chubarenko 等^[22]和 Fazey 等^[23]的研究指出,小粒径的微塑料具有更大的比表面积,且生物膜的附着会使微塑料的密度增加而加速沉降,会加速这一过程,因此导致了沉积物中小粒径微塑料的占比相对较大. 同时,小粒径的微塑料可能更容易被水生生物摄食,对生物具有广泛的影响.

3.2 污水处理厂排口对漓江支流及其下游干流生物体中微塑料累积的影响

S1 和 S3 这 2 个采样点的淡水生物的微塑料检出率为 94.2%,表明微塑料生物体摄食现象广泛存在于漓江淡水环境的重要水生生物中. S1 淡水生物中的微塑料平均丰度显著高于 S3,说明环境中塑料污染的程度不同对于生物来说,其周围环境中的塑料可利用性也就存在差异^[29],从而直接影响了环境中淡水生物对塑料的摄食情况. Pazos 等^[29]的研究发现,与从巴西里约热内卢河口淡水带的其它地点收集的鱼类相比,靠近污水厂收集的鱼类消化组织中微塑料丰度明显更高. S1 位于漓江支流且在污水厂排口邻近下游,较小的河流流量增加了微塑料污染风险和生物富集的可能性. 由于自身能量需求,体型较大的生物将消耗更多的食物(可能包含微塑

料),因此摄入微塑料的几率更大^[30]. 生物体内发现的微塑料仅有纤维一种类型,而纤维状的微塑料的聚合物类型以 PET 和 PP 为主, PET 塑料其来源可能主要为污水处理厂尾水排放中的纤维^[21]. PP 塑料则有可能是由于该地区鱼线等渔具在使用中的磨损脱落或是这些渔具裂解后而形成纤维状微塑料. 由于微塑料的形状和丝状结构,纤维更容易被淡水生物摄食,且在被摄食后,容易在其体内打结或结块,造成消化道阻塞^[31],从而导致纤维状微塑料在淡水生物中累积. 生物体中的微塑料粒径均以 $<0.10 \text{ mm}$ 为主,该结果与沉积物中微塑料粒径相似,微塑料在水体中能够沉降于河流底部并富集于河底沉积物中,对于栖息于水体底部的生物来说,在摄食过程中吞食大量沉积物则会造成微塑料在其体内富集.

4 结论

污水处理厂的尾水排放是河流微塑料污染的重要来源. 本研究发现漓江支流桃花江排口表层水体和沉积物中的微塑料丰度显著高于桃花江和漓江干流的汇合处以及支流汇合处下游的微塑料丰度,污水处理厂的尾水排放口对邻近下游的河流水生环境的微塑料污染影响较大,尤其是排口位于流量相对干流较小的支流. 受水生环境微塑料污染影响,淡水生物体中普遍检出微塑料的存在(94.2%),生物体中的微塑料形状和城市污水厂排放尾水中微塑料形状一致,邻近尾水排放口附近的支流河道中的生物体内微塑料丰度显著高于下游干流河道,这说明污水处理厂尾水排放对水环境以及淡水生物中微塑料的丰度和空间分布产生显著影响.

参考文献:

- [1] Thompson R C, Olsen Y, Mitchell R P, *et al.* Lost at sea: where is all the plastic? [J]. *Science*, 2004, **304** (5672): 838.
- [2] Li Q P, Sun C J, Wang Y J, *et al.* Fusion of microplastics into the mussel byssus [J]. *Environmental Pollution*, 2019, **252**: 420-426.
- [3] Xu S, Ma J, Ji R, *et al.* Microplastics in aquatic environments: occurrence, accumulation, and biological effects [J]. *Science of the Total Environment*, 2020, **703**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.134699.
- [4] Plastics Europe. *Plastics-the facts 2016: an analysis of European plastics production, demand and waste data* [R]. Brussels: Belgium, 2016. 1-38.
- [5] 中华人民共和国生态环境部. 2018 年中国海洋生态环境状况公报 [R]. 北京: 中华人民共和国生态环境部, 2019. 1-46.
- [6] Yuan W K, Liu X N, Wang W F, *et al.* Microplastic abundance, distribution and composition in water, sediments, and wild fish from Poyang Lake, China [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2019, **170**: 180-187.
- [7] Zhang L S, Liu J Y, Xie Y S, *et al.* Distribution of microplastics

- in surface water and sediments of Qin river in Beibu Gulf, China [J]. *Science of the Total Environment*, 2020, **708**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.135176.
- [8] 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.
- [9] Edo C, González-Pleiter M, Leganés F, *et al.* Fate of microplastics in wastewater treatment plants and their environmental dispersion with effluent and sludge [J]. *Environmental Pollution*, 2020, **259**, doi: 10.1016/j.envpol.2019.113837.
- [10] Wang J, Wang M X, Ru S G, *et al.* High levels of microplastic pollution in the sediments and benthic organisms of the South Yellow Sea, China[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, **651**: 1661-1669.
- [11] Mao R F, Hu Y Y, Zhang S Y, *et al.* Microplastics in the surface water of Wuliangshuai Lake, northern China[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, **723**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137820.
- [12] Prokić M D, Radovanović T B, Gavrić J P, *et al.* Ecotoxicological effects of microplastics; examination of biomarkers, current state and future perspectives [J]. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 2019, **111**: 37-46.
- [13] Bergmann M, Wirzberger V, Krumpfen T, *et al.* High quantities of microplastic in Arctic deep-sea sediments from the HAUSGARTEN observatory [J]. *Environmental Science & Technology*, 2017, **51**(19): 11000-11010.
- [14] Tagg A S, Harrison J P, Ju-Nam Y, *et al.* Fenton's reagent for the rapid and efficient isolation of microplastics from wastewater [J]. *Chemical Communications*, 2017, **53**(2): 372-375.
- [15] Di M X, Wang J. Microplastics in surface waters and sediments of the Three Gorges Reservoir, China[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, **616-617**: 1620-1627.
- [16] Li J N, Yang D Q, Li L, *et al.* Microplastics in commercial bivalves from China[J]. *Environmental Pollution*, 2015, **207**: 190-195.
- [17] 贾其隆, 陈浩, 赵昕, 等. 大型城市污水处理厂处理工艺对微塑料的去除[J]. *环境科学*, 2019, **40**(9): 4105-4112.
Jia Q L, Chen H, Zhao X, *et al.* Removal of microplastics by different treatment processes in Shanghai large municipal wastewater treatment plants[J]. *Environmental Science*, 2019, **40**(9): 4105-4112.
- [18] Yang L B, Li K X, Cui S, *et al.* Removal of microplastics in municipal sewage from China's largest water reclamation plant [J]. *Water Research*, 2019, **155**: 175-181.
- [19] 汪文玲, 龙邹霞, 余兴光, 等. 厦门市筼筴污水处理厂中微塑料的特征研究[J]. *海洋环境科学*, 2019, **38**(2): 205-210.
Wang W L, Long Z X, Yu X G, *et al.* Microplastics characteristic in Yundang wastewater treatment plant of Xiamen [J]. *Marine Environmental Science*, 2019, **38**(2): 205-210.
- [20] Magni S, Binelli A, Pittura L, *et al.* The fate of microplastics in an Italian wastewater treatment plant [J]. *Science of the total Environment*, 2019, **652**: 602-610.
- [21] 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.
- [22] Chubarenko I, Bagaev A, Zobkov M, *et al.* On some physical and dynamical properties of microplastic particles in marine environment [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2016, **108**(1-2): 105-112.
- [23] Fazey F M C, Ryan P G. Biofouling on buoyant marine plastics: an experimental study into the effect of size on surface longevity [J]. *Environmental Pollution*, 2016, **210**: 354-360.
- [24] Zhang K, Xiong X, Hu H J, *et al.* Occurrence and characteristics of microplastic pollution in Xiangxi Bay of Three Gorges Reservoir, China [J]. *Environmental Science & Technology*, 2017, **51**(7): 3794-3801.
- [25] Sun J, Dai X H, Wang Q L, *et al.* Microplastics in wastewater treatment plants: detection, occurrence and removal [J]. *Water Research*, 2019, **152**: 21-37.
- [26] Estahbanati S, Fahrenfeld N L. Influence of wastewater treatment plant discharges on microplastic concentrations in surface water [J]. *Chemosphere*, 2016, **162**: 277-284.
- [27] 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.
- [28] 喻泽斌. 漓江流域水资源可持续利用研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2004.
- [29] Pazos R S, Maiztegui T, Colautti D C, *et al.* Microplastics in gut contents of coastal freshwater fish from Río de la Plata estuary [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2017, **122**(1-2): 85-90.
- [30] Horton A A, Jürgens M D, Lahive E, *et al.* The influence of exposure and physiology on microplastic ingestion by the freshwater fish *Rutilus rutilus* (roach) in the River Thames, UK [J]. *Environmental Pollution*, 2018, **236**: 188-194.
- [31] Wright S L, Thompson R C, Galloway T S. The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review [J]. *Environmental Pollution*, 2013, **178**: 483-492.

CONTENTS

Industrial Volatile Organic Compounds (VOCs) Emission Inventory in China	LIANG Xiao-ming, SUN Xi-bo, XU Jian-tie, <i>et al.</i> (4767)
Contribution of Emissions from Cement to Air Quality in China	TANG Ling, XUE Xiao-da, BO Xin, <i>et al.</i> (4776)
Audit Indicators and Suggested Ranges for Data Validation of Chemical Components in Ambient PM _{2.5} : A Case Study of the Yangtze River Delta ZHANG Zhe, QIAO Li-ping, ZHOU Min, <i>et al.</i> (4786)
Size Distribution of Particulate Chemical Components in Nanjing Jiangbei New Area	ZHANG Yu-xiu, YU Xing-na, LIU Si-jia, <i>et al.</i> (4803)
Seasonal Chemical Composition Characteristics and Source Apportionment of PM _{2.5} in Zhengzhou	ZHANG Jian-fei, JIANG Nan, DUAN Shi-guang, <i>et al.</i> (4813)
Characteristics, Sources, and Health Risks of Elements in PM _{2.5} in Shanxi University Town	LI Xue-mei, MU Ling, TIAN Mei, <i>et al.</i> (4825)
Spatio-temporal Evolution of PM _{2.5} Concentration During 2000-2019 in China	XIA Xiao-sheng, WANG Jun-hong, SONG Wei-dong, <i>et al.</i> (4832)
Differences in Pollution Characteristics Under the Southerly and Easterly Wind in Beijing	YIN Xiao-mei, QIAO Lin, ZHU Xiao-wan, <i>et al.</i> (4844)
Transport Characteristics of Air Pollution in Tianjin Based on Weather Background	CAI Zi-ying, YAN Xu, HAN Su-qin, <i>et al.</i> (4855)
Influence of Meteorological Conditions on Ozone Pollution at Shangdianzi Station Based on Weather Classification	WU Jin, LI Chen, MA Zhi-qiang, <i>et al.</i> (4864)
Accurate Identification of Ambient VOCs Emission Sources in an Industrial Park Using On-Line Monitoring Data	SUN Jia-ning, XIE Shao-dong (4874)
Characteristics, Atmospheric Reactivity, and Source Apportionment of Ambient Volatile Organic Compounds in Wuhu	GAO Kang, ZHANG Hui, LIU Meng-di, <i>et al.</i> (4885)
Water Quality Response to Landscape Pattern at Different Spatial Scales in Baihe River in the Upper Reaches of the Miyun Reservoir	ZHANG Wei-wei, LI Xiao-na, WANG Chao, <i>et al.</i> (4895)
Concentration and Carbon Isotope Composition of DOC and DIC in the Miyun Reservoir Watershed in Summer	CHEN Ji-ji, GUO Jing, XU Su-shi, <i>et al.</i> (4905)
Variation and Driving Factors of Black Water Event Intensity in Lake Taihu During 2009 to 2018	XIN Hua-rong, ZHU Guang-wei, WANG Xue-song, <i>et al.</i> (4914)
Hydrogeochemical Investigations of Groundwater in the Lingbei Area, Leizhou Peninsula	ZHANG Hong-xin, WU Ya, LUO Wei-yu, <i>et al.</i> (4924)
Source of Groundwater Nitrate in Luanping Basin Based on Multi-environment Media Nitrogen Cycle and Isotopes	SUN Hou-yun, WEI Xiao-feng, JIA Feng-chao, <i>et al.</i> (4936)
Metal Distributions and Human Health Risk Assessments on Waters in the Huixian Karst Wetland, China	LI Jun, ZOU Sheng-zhang, LIANG Yong-ping, <i>et al.</i> (4948)
Absorption and Three Dimensional Fluorescence Spectra of CDOM in the Water of the Taibaishan Nature Reserve	ZHANG Wen-hao, ZHAO Duo-lin, WANG Xiao-yu, <i>et al.</i> (4958)
Effect of Heavy Rainfall on Nitrogen and Phosphorus Concentrations in Rivers at River-net Plain	LIAN Xin-qiao, ZHU Guang-wei, YANG Wen-bin, <i>et al.</i> (4970)
Risk Ranking of Endocrine Disrupting Compounds, Pharmaceuticals, and Personal Care Products in the Aquatic Environment of the Yangtze River Basin	SU Chao, CUI Yan (4981)
Sources and Ecological Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Jiaxing River Network	YANG Yan-mei, ZHAO Hang-chen, MENG Rui, <i>et al.</i> (4989)
Impact of a Sewage Treatment Plant on the Accumulation of Microplastics in Freshwater Organisms in the Lijiang River of the Guilin Urban Section XIE Yuan-shan, ZHANG Qing-ke, ZHANG Li-shan, <i>et al.</i> (4999)
Distribution of Antibiotic Concentration in Domestic Wastewater Treatment Facilities in Villages and Towns	LU Ya-nan, GUO Ya-ni, WANG Kun, <i>et al.</i> (5008)
Microbial Diversity and Influencing Factors in a Small Watershed in Winter	ZHU Jin-shan, QIN Hai-lan, SUN Qi-yao, <i>et al.</i> (5016)
Characteristics of Organic Matter in Sediments During the Thermal Stratification of a Reservoir and Effects on an Aerobic Denitrifier	WANG Tong, WEN Gang, HUANG Ting-lin, <i>et al.</i> (5027)
Microbial Diversity Analysis of WWTPs Based on Hybrid-MBBR Process in a Low Temperature Season in the Yangtze River Delta	HAN Wen-jie, WU Di, ZHOU Jia-zhong, <i>et al.</i> (5037)
Effects of Phytoplankton Classifications on the Relationship Between Phytoplankton Community and Environment in Summer Subtropical Reservoirs, Southern China GUO Fang, GU Ji-Guang, ZHAO Jian, <i>et al.</i> (5050)
Remote Sensing Classification of Urban Black-odor Water Based on Decision Tree	LI Ling-ling, LI Yun-mei, LÜ Heng, <i>et al.</i> (5060)
Enhanced Membrane Anti-fouling Ability of Anaerobic Membrane Bioreactor Equipped with Bio-electrochemical System Using Nano-zero-valent Iron and Its Regulation Mechanism PAN Yang, NIU Cheng-xin, ZHI Zhong-xiang, <i>et al.</i> (5073)
Effects of Temperature and Substrate Concentration on N ₂ O Release of ANAMMOX Process	WANG Si-ke, YU Heng, ZUO Jian-e (5082)
Characteristics of Nutrient Removal in a Pilot-scale A ² /O with Mixture of Sludge Fermentation Liquor and Tail Water as External Carbon Source RONG Yi, SHAO Jin-bo, YU You-cheng, <i>et al.</i> (5089)
Effect of Different Ratios of Anaerobic Time and Aeration Time on the Operation of a Continuous-Flow Reactor with Partial Nitrification Granules ZHANG Jie, LAO Hui-mei, LI Dong, <i>et al.</i> (5097)
Effects of Mesophilic Anaerobic Digestion and Thermophilic Anaerobic Digestion on the Risk and Stability of Heavy Metals in Sludge	TIAN Zhong-ke, WANG Fen, YAN Zhao (5106)
Quantitative Evaluation of Human Health Risk of Heavy Metals in Soils Based on Positive Matrix Factorization Model and Geo-statistics	HAN Lin, XU Xi-bo (5114)
Distribution and Ecological Risk of Heavy Metals in the Soil of Redevelopment Industrial Sites	SHEN Cheng, LIU Fu-wen, WU Jian, <i>et al.</i> (5125)
Investigating Adsorption of Naphthalene to Organo-Modified Montmorillonites and Influencing Factors	HOU Jing-wen, SHI Wei-lin, GAO Juan (5133)
Effects of Ferrous Sulfate and Ferric Nitrate on Cadmium Transportation in the Rhizosphere Soil-Rice System	LI Yi-chun, CHEN Yong, TANG Ming-deng, <i>et al.</i> (5143)
Effects of Intercropping of <i>Brassica chinensis</i> L. and <i>Tagetes patula</i> L. on the Growth and Cadmium Accumulation of Plants	YAN Xiu-xiu, XU Ying-ming, WANG Lin, <i>et al.</i> (5151)
Effects of Heavy Metal-immobilizing Bacteria on Reducing Wheat Uptake Cd by Regulation Soil Iron Oxides	WANG Xiao-yu, HAN Hui (5160)
Sustained Effects of Remediation Materials on Soil Copper Remediation Under Oil-Rice Rotation	ZHAO Ying-ying, LI Hong-chuan, HU Hong-xiang, <i>et al.</i> (5168)
Impacts of Nitrogen Application on Ammonia Volatilization During Maize Season in Northern China	ZHANG Wei, NI Bang, XU Xiu-chun, <i>et al.</i> (5176)
Effect of Biochar on Changes of the Temperature Sensitivity of Soil Respiration and Bacterial Community Structure	CAO Kun-kun, ZHANG Sha-sha, HU Xue-yu, <i>et al.</i> (5185)
Effects of Heavy Metal Contents on Phyllosphere and Rhizosphere Fungal Communities for <i>Bathriochloa ischaemum</i> in Copper Tailings Area JIA Tong, GUO Ting-yan, WANG Rui-hong, <i>et al.</i> (5193)
Advances in Microbe-Derived Taste and Odor Compounds in Typical Aquatic Ecosystems	ZHANG Hai-han, MIAO Yu-tian, HUANG Ting-lin, <i>et al.</i> (5201)