

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



2019

Vol.40 No.6

第40卷 第6期

目次

北京城区大气金属元素干湿沉降特征	张国忠, 潘月鹏, 田世丽, 王永宏, 熊秋林, 李广, 顾梦娜, 吕雪梅, 倪雪, 何月欣, 黄威, 刘博文, 王跃思	(2493)
北京城郊 PM _{2.5} 中金属元素的污染特征及潜在生态风险评价	徐静, 李杏茹, 张兰, 陈曦, 杨阳, 刘永桥, 赵清	(2501)
上海城区二次气溶胶的形成: 光化学氧化与液相反应对二次气溶胶形成的影响	高杰, 乔利平, 楼晟荣, 严茹莎, 周敏, 刘瑜存, 冯加良, 黄丹丹	(2510)
天津市 2017 年重污染过程二次无机化学污染特征分析	徐虹, 肖致美, 陈魁, 李立伟, 杨宁, 高璟赞, 李源, 孔君, 毕温凯, 邓小文	(2519)
典型非金属矿物制造工艺过程源成分谱特征	赵雪艳, 于高峰, 王信梧, 张向炎, 殷宝辉, 刘盈盈, 王歆华, 杨文, 赵若杰	(2526)
垃圾焚烧厂排放颗粒物组分粒径分布特征	余卓君, 吴建会, 张裕芬, 张进生, 冯银厂, 李蒲	(2533)
天津市春季样方法道路扬尘碳组分特征及来源分析	马妍, 姬亚芹, 国纪良, 赵静琦, 李越洋, 王士宝, 张蕾	(2540)
霾天气下城市气溶胶吸湿性的观测	杨素英, 田芷洁, 张铁凝, 于兴娜, 李艳伟, 安俊琳, 赵秀勇, 李岩, 王梓航, 吴尚	(2546)
宁东能源化工基地大气 PM _{2.5} 中硝基多环芳烃污染特征及呼吸暴露风险	刘攀亮, 剧媛丽, 毛蒲萱, 黄韬, 高宏, 马建民	(2556)
2014 ~ 2016 年间郑州市控制 PM ₁₀ 和 PM _{2.5} 污染的健康效益评估	韩士杰, 王佳, 燕启社, 杨留明, 赵庆炎, 王申博, 李晨, 张轶舜, 张瑞芹	(2565)
1990 ~ 2017 年中国地区气溶胶光学厚度的时空分布及其主要影响类型	刘莹, 林爱文, 覃文敏, 何利杰, 李霄	(2572)
北京春季一次霾-沙天气污染特性与成因分析	王耀庭, 李青春, 郑祚芳, 窦有俊	(2582)
江苏省内河船舶大气污染物排放清单及特征	徐文文, 殷承启, 许雪记, 张玮	(2595)
亚热带稻区大气 NO ₂ 、HNO ₃ 及硝态氮污染特征及干湿沉降	欧阳秀琴, 王波, 沈健林, 朱潇, 王杰飞, 李勇, 吴金水	(2607)
长江源区降水氢氧稳定同位素特征及水汽来源	汪少勇, 王巧丽, 吴锦奎, 何晓波, 丁永建, 王利辉, 胡召富	(2615)
基于高山湖泊沉积记录的贵州北部大气重金属污染历史重建	梁梦瑶, 刘恩峰, 张恩楼, 纪明, 李小林	(2624)
青岛 4 个海水浴场微塑料的分布特征	罗雅丹, 林千惠, 贾芳丽, 徐功娣, 李锋民	(2631)
鄱阳湖湿地候鸟栖息地微塑料污染特征	刘淑丽, 简敏菲, 周隆胤, 李文华, 吴希恩, 饶丹	(2639)
三峡库区消落带土壤溶解性有机质溯源: 基于氮/碳比值的线性双端元源负荷分析	江韬, Joeri Kaal, 梁俭, 刘江, 张耀玲, 王定勇, 魏世强, 赵铮	(2647)
水生生物光合作用对雪玉洞岩溶水体中 CDOM 的影响	范佳鑫, 蒋勇军, 贺秋芳, 王家楠, 何瑞亮, 张彩云, 马丽娜, 汪啟容	(2657)
水化学和环境同位素对济南东源饮用水源地地下水演化过程的指示	张雅, 苏春利, 马燕华, 刘伟江	(2667)
崇左响水地区地下水水质分析及健康风险评价	周巾枚, 蒋忠诚, 徐光黎, 覃小群, 黄奇波, 张连凯	(2675)
云南荞麦地流域地下水水化学特征及物质来源分析	张勇, 郭纯青, 朱彦光, 于爽	(2686)
鄱阳湖流域多尺度 C、N 输送通量及其水质参数变化特征	陆瑶, 高扬, 贾珺杰, 宋贤威, 陈世博, 马明真, 郝卓	(2696)
合流制面源污染传输过程与污染源解析	房金秀, 谢文霞, 朱玉玺, 沈雷, 马玉坤, 李佳, 姜智绘, 李叙勇, 赵洪涛	(2705)
强化浅基质层干植草沟对道路径流的脱氮效果	段进凯, 李田, 张佳炜	(2715)
水源水库暴雨径流过程水体锰的迁移及其影响	邓立凡, 黄廷林, 李楠, 李凯, 吕晓龙, 毛雪静	(2722)
巢湖十五里河沉积物磷吸收潜力及对外源磷的响应	李如忠, 鲍琴, 张瑞钢, 陈慧	(2730)
金盆水库沉积物磷的来源及分布特征	毛雪静, 黄廷林, 李楠, 徐金兰, 苏露, 吕晓龙, 邓立凡	(2738)
水库水体热分层的水质及细菌群落分布特征	王禹冰, 王晓燕, 庞树江, 杨晓明, 刘洋	(2745)
不同水温分层水库沉积物间隙水营养盐垂向分布与细菌群落结构的关系	王慎, 张思思, 许尤, 官卓宇, 杨正健, 刘德富, 马骏	(2753)
表面流人工湿地长期运行后的底泥营养盐累积特征与释放规律	朱伊梦, 姜翠玲, 朱立琴, 杜观超, 高旭, 陈红卫, 李峰东, 张海阔, 张雪, 秦文凯, 李一平	(2764)
针铁矿改性生物炭对砷吸附性能	朱司航, 赵晶晶, 尹英杰, 商建英, 陈冲, 瞿婷	(2773)
改性稻壳生物炭对水溶液中甲基橙的吸附效果与机制	史月月, 单锐, 袁浩然	(2783)
厌氧膜生物反应器处理含盐废水运行效能及膜污染特性	闫欢沙, 许振钰, 金春姬, 邵梦雨, 郭亮, 赵阳国	(2793)
污水处理厂出水有机磷污染特征及强化去除	王小东, 王子文, 陈明飞, 王燕, 王硕, 李激	(2800)
碱度对沸石序批式反应器亚硝化的影响	王瑞鑫, 陈婧, 汪晓军, 胡浩林, Karasuta Chayangkun	(2807)
活性污泥物理结构对呼吸过程的影响	郭耀, 李志华, 杨成建, 王慧娟, 李亚明, 姜阳	(2813)
好氧颗粒污泥处理畜禽养殖沼液污染物的特性	廖杰, 叶嘉琦, 曾志超, 刘琳, 徐开钦, 刘超翔	(2821)
快速城市化区河流温室内空气排放的时空特征及驱动因素	刘婷婷, 王晓峰, 袁兴中, 龚小杰, 侯春丽	(2827)
生物炭对潜流人工湿地污染物去除及 NO ₃ -N 排放影响	邓朝仁, 梁银坤, 黄磊, 方丹丹, 陈玉成, 杜刚	(2840)
曾用抗生素磺胺二甲嘧啶对稻田 N ₂ O 排放的影响及其微生物机制	吴杰, 李志琳, 徐佳迎, 王珏, 蒋静艳	(2847)
不同施氮水平对紫花苜蓿草地土壤呼吸和土壤生化性质的影响	胡伟, 张亚红, 李鹏, 张鹏, 李满友, 尤璟涛, 田水泉	(2858)
典型城市化区域土壤重金属污染的空间特征与风险评价	何博, 赵慧, 王铁宇, 孟晶, 肖荣波, 刘胜然, 周云桥, 史斌	(2869)
西南高锡地质背景区农田土壤与农作物的重金属富集特征	刘意章, 肖唐付, 熊燕, 宁增平, 双燕, 李航, 马良, 陈海燕	(2877)
基于 GIS 和受体模型的枸杞地土壤重金属空间分布特征及来源解析	白一茹, 张兴, 赵云鹏, 王幼奇, 钟艳霞	(2885)
喀斯特地区小尺度农业土壤砷的空间分布及污染评价	汪花, 刘秀明, 刘方, 唐启琳, 王世杰	(2895)
黄土高原不同植被带人工刺槐林土壤团聚体稳定性及其化学计量特征	瞿晴, 徐红伟, 吴旋, 孟敏, 王国梁, 薛蓑	(2904)
秸秆还田配施氮肥对喀斯特农田微生物群落及有机碳矿化的影响	徐学池, 苏以荣, 王桂红, 刘坤平, 胡亚军, 陈香碧, 郑小东, 何寻阳	(2912)
生物炭施用及老化对紫色土中抗生素吸附特征的影响	阴文敏, 关卓, 刘琛, 何杨, 杨飞, 唐翔宇	(2920)
稳定性同位素 DNA-SIP 示踪中性紫色土的氨氧化过程	刘天琳, 王智慧, 闫小娟, 赵永鹏, 贾仲君, 蒋先军	(2930)
纳米银和银离子对土壤中硝化微生物及其氨氧化速率的影响	伍玲丽, 张旭, 舒慧慧, 张丽, 司友斌	(2939)
农田沟道土壤中锰氨氧化 (Mn-ANAMMOX) 过程的探究	陈湜, 李正魁, 覃云斌, 丁帮环, 陈志浩	(2948)
污泥四环素含量对蚯蚓堆肥中氨氧化菌群的影响	吴颖, 黄魁, 夏慧, 陈景阳	(2954)
《环境科学》征订启事 (2929)	《环境科学》征稿简则 (2947)	信息 (2646, 2656, 2857)

鄱阳湖湿地候鸟栖息地微塑料污染特征

刘淑丽¹, 简敏菲^{1,2*}, 周隆胤¹, 李文华¹, 吴希恩¹, 饶丹¹

(1. 江西师范大学生命科学学院, 江西省亚热带植物资源保护与利用重点实验室, 南昌 330022; 2. 江西师范大学鄱阳湖湿地与流域研究教育部重点实验室, 南昌 330022)

摘要: 微塑料(粒径 < 5 mm 的塑料)污染问题日益严重。以鄱阳湖湿地候鸟栖息地之一的白沙湖为研究区, 采集了湖岸边、湖中心和候鸟活动区域的湖水、底泥和候鸟粪便, 利用浮选分离法对其中的微塑料进行分离, 分析其微塑料污染特征。结果表明: ①研究区不同采样点水体和底泥中微塑料丰度有较大差异, 表现为湖中心 < 湖岸边 < 候鸟活动区域, 水体和底泥中微塑料平均丰度分别为 263.28 个·m⁻³ 和 215.9 个·kg⁻¹, 候鸟粪便中微塑料平均丰度为 4.93 个·g⁻¹。研究区存在颗粒、薄膜、碎片和纤维这 4 种不同形貌的微塑料。②水体中微塑料以颗粒类最多, 颜色主要为红色, 微塑料粒径丰度表现为 < 1 mm > 1 ~ 2 mm > 2 ~ 3 mm > 3 ~ 5 mm, 且基本呈随粒径增大丰度减小的趋势。③底泥中微塑料以纤维类为主, 颜色主要为紫色, 湖岸边和鸟类栖息地微塑料粒径以 < 1 mm 为主, 湖中心以 1 ~ 2 mm 为主。④候鸟粪便内微塑料以颗粒类为主, 颜色主要为红色, 粒径以 < 1 mm 为主。⑤水体、底泥和候鸟粪便中微塑料类型分布无一致性, 水体和候鸟粪便颜色和粒径分布保持一致。可见, 鄱阳湖鸟类栖息地已经受到了微塑料的污染, 鸟类也无可避免地接触到了微塑料, 警示人们微塑料将会是候鸟的新兴威胁。

关键词: 鄱阳湖; 候鸟; 栖息地; 微塑料; 污染

中图分类号: X524 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2019)06-2639-08 DOI: 10.13227/j.hjxx.201812111

Pollution Characteristics of Microplastics in Migratory Bird Habitats Located Within Poyang Lake Wetlands

LIU Shu-li¹, JIAN Min-fei^{1,2*}, ZHOU Long-yin¹, LI Wen-hua¹, WU Xi-en¹, RAO Dan¹

(1. Jiangxi Provincial Key Laboratory of Protection and Utilization of Subtropical Plant Resources, College of Life Science, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China; 2. Key Laboratory of Poyang Lake Wetland and Watershed Research, Ministry of Education, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China)

Abstract: Microplastic pollution (plastics with particle sizes < 5 mm) has become a serious problem. In this study, we sampled the surface water, sediment, and bird excrement from the shore, center of the lake, and active areas for birds in Baisha Lake, which is key habitat for migratory birds in the Poyang Lake wetlands. The microplastics were separated by flotation separation, and then, we analyzed the pollution characteristics of this area. The main results were as follows. ① There were significant differences in the abundance of microplastics in water and sediment at different sampling points in the study area. The average abundance of microplastics in water and sediment were 263.28 per·m⁻³ and 215.9 per·kg⁻¹, respectively. The average abundance of microplastics in migratory bird feces was 4.93 per·g⁻¹. ② There were four kinds of microplastics in the surface water in terms of the different morphologies of particles, namely, pellets, films, fragments, and fibers, among which pellets were the major type. The main colors of microplastics were red, yellow, green, blue, purple, black, and transparent. The rank in terms of the size of microplastics was follows: < 1 mm > 1-2 mm > 2-3 mm > 3-5 mm, and the abundance decreased with the increase of particle size. ③ There were also four kinds of microplastics with different morphologies in the sediment, namely, pellets, films, fragments, and fibers. The main colors of these microplastics were red, yellow, blue, purple, black, and transparent. Microplastic sizes on the shore of the lake and bird habitat were mainly < 1 mm, and 1-2 mm particles were mainly detected in the center of the lake. ④ There were four types of microplastics in the excrement of migratory birds, namely, pellets, films, fragments, and fibers. The colors of these microplastics were red, yellow, green, purple, and transparent, and the particle size was mainly < 1 mm. ⑤ There was no consistency in the types of microplastics in the water body, sediment, and bird droppings. However, the size distribution for water and bird excrement was consistent. The results indicate that Poyang Lake bird habitat is polluted by microplastics, and the birds are inevitably exposed to microplastics. This study warns that microplastics will be an emerging threat to migratory birds.

Key words: Poyang Lake; migratory birds; habitats; microplastics; pollution

粒径小于 5 mm 的塑料被称为微塑料, 微塑料在环境中无处不在, 是当今水生环境中不可忽视的新型污染物^[1]。环境中微塑料具有持久性、普遍性的特征, 同时, 微塑料会吸附一些疏水性材料及其它污染物, 如多氯联苯等苯系物、重金属污染物等, 成为更小、毒性更持久的污染物, 从而危害河

流、湖泊、海洋等水生生态系统的健康^[2, 3]。此外,

收稿日期: 2018-12-13; 修订日期: 2019-01-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(41461042); 江西省青年科学基金项目(20171BAB214011); 江西省教育厅科技计划项目(GJJ60311)

作者简介: 刘淑丽(1989~), 女, 博士研究生, 实验师, 主要研究方向为污染生态学, E-mail: liushuli0203@163.com

* 通信作者, E-mail: jianminfei0914@163.com

微塑料可被生物摄入进入食物链而对生物和人类食物的安全构成威胁^[4]。因此,准确量化微塑料在水生环境中及生物体内的产生、分布及其所带来的生态风险日益重要。

鄱阳湖是中国的第一大淡水湖,是我国公布的首批国家重点湿地保护地区之一,也是世界上最大的鸟类保护区。近年来,随着鄱阳湖流域区域的快速发展,江湖关系发生了较大改变,鄱阳湖也出现了一系列的生态环境问题,严重制约了区域经济的可持续发展^[5]。最新的研究在鄱阳湖中也检测出了微塑料的存在^[6],鄱阳湖作为候鸟越冬地,候鸟直接从水中滤取食物或在浅水淤泥中觅食,湖水和底泥中的微塑料可能会被候鸟误以为食物摄入从而进入候鸟体内,鸟类又可以通过鸟粪排出部分微塑料^[7]。微塑料的主要环境风险之一就是它对生物的影响^[8]。越来越多的研究描述了微塑料在许多不同生物体内的存在,从而提高了其生态关注^[9, 10]。但是目前关于鄱阳湖候鸟体内及其生存环境中微塑料的来源、污染途径和分布的认识还不足。

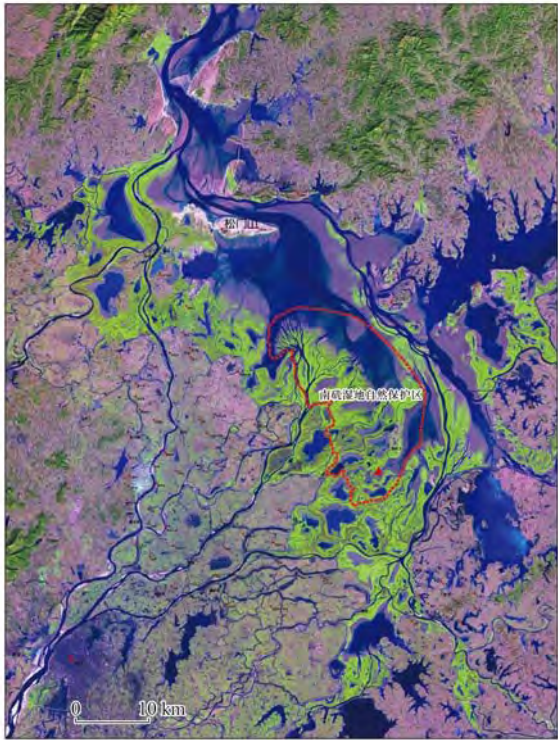
本文拟综合应用野外调查采样和室内实验分析,选择鄱阳湖南矶山湿地国家级自然保护区中的候鸟栖息地之一的白沙湖为研究区,以湖泊湿地水体、底泥以及候鸟粪便为研究对象,通过分离、鉴定,探讨候鸟体内及其栖息地微塑料的分布、丰度,初步分析微塑料的来源。本研究对鄱阳湖湿地候鸟保护具有重要意义,以期为湖泊微塑料污染的预警模式、提高湖泊环境管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 样地概况

鄱阳湖是一个过水性吞吐型湖泊,受亚热带季风气候影响,洪、枯季节的水面面积、蓄水容积悬殊极大,“高水是湖、低水似河”、“洪水一片、枯水一线”的自然地理特征使鄱阳湖湿地成为生物多样

性十分丰富的国际重要湿地^[11]。研究区拟设置在鄱阳湖南矶山湿地国家级自然保护区内的候鸟栖息地白沙湖(图1)。



图例
● 市 ○ 县 □ 镇 ● 乡 ▲ 采样点
▭ 江西鄱阳湖南矶山湿地国家级自然保护区
底图为 1999 年 12 月 26 日 TM 遥感影像图,
合成方案: B5B4B3 (RGB), 蓝色代表水体, 绿色代表植被

图 1 采样点分布示意

Fig. 1 Distribution of sample sites

经过实际调查发现白沙湖已被当地渔民承包用于养鱼,湖周被围了起来,与其他湖区隔开,湖水基本不流动,人类无法直接到达候鸟栖息地,所以候鸟栖息地人类干扰很小。选择枯水期(11月)对湖岸边人类活动区域、湖中心和候鸟活动区域进行水体、底泥及候鸟粪便的采样(表1)^[12],候鸟主要为鸿雁。

表 1 采样点信息

Table 1 Information for the sampling sites

位点编号	地理位置	经纬度	采集样品
HA	湖岸边人类活动区域	116.334 347 2°E, 28.917 408 33°N	水体、底泥
HX	湖中心	116.332 666 7°E, 28.916 583 33°N	水体、底泥
HD	候鸟活动区域	116.328 055 6°E, 28.915 688 89°N	水体、底泥、鸟粪便

1.2 样品采集

水体的采集采用拖网的方式,采集好后装在采样瓶中,采样瓶在实验室利用去离子水清洗干净防止污染。对于底泥的采集每个采样点设置3个小样方,用铲子收集表层2 cm的底泥,每个样方相隔

50 m^[13]。底泥样品收集后被保存在采样袋中,尽快运回实验室,然后风干,干燥后保存于采样袋中以待分析,在此过程中应尽量避免污染。在草滩上使用采样勺采集新鲜的鸟类粪便,收集后保存在采样袋中,运回实验室后在70℃下烘至恒重。

1.3 样品分离

对于水体样品中微塑料的分离较为简单，可直接将采集的水样通过滤膜进行过滤来收集微塑料。由于湖中水草较多，在拖网采集的水样中也混入了较多水草，干扰了微塑料的收集，因此在过滤之前对水样进行了消解，所选的消解液为 KOH^[14]，加入 KOH (100 g·L⁻¹) 后置于恒温摇床上加热并振荡，温度设置为 60℃，待消解液体变澄清后加入饱和氯化钠溶液浮选，静置后用真空抽滤装置 (GM-0.33A) 抽滤，收集抽滤后的滤膜 (孔径 5 μm)，将滤膜保留于玻璃皿中以待下一步分析。

底泥样品通过密度分离法分离微塑料。具体步骤：称取 1 kg 土壤样品 (干重) 分别经过 1 mm 和 2 mm 筛，1~2 mm 和 >2 mm 的材料保存在筛内用肉眼进行微塑料的检查。过筛的样品 (<1 mm) 被转移至分离装置中进行密度分离，先用饱和氯化钠溶液 (密度为 1.2 g·cm⁻³) 浮选，获得初步分离样品，然后再用饱和氯化钠溶液进行进一步的浮选分离，收集上清液，用真空抽滤装置抽滤，收集抽滤后的滤膜 (孔径 5 μm)，保留滤膜于玻璃皿中以待下一步分析。

在实验室中，称取 1 g (干重) 鸟类粪便于 1 L 干净的高型烧杯中，取 30 mL KOH (100 g·L⁻¹) 加入烧杯中进行消解，在水浴锅中加热至 60℃，待消解液变澄清后冷却。然后将冷却后的消解液中加入饱和盐溶液 (过 5 μm 滤膜) 500 mL，静置过夜；取上清液进行抽滤 (5 μm 滤膜)，保留滤膜于玻璃皿中。整个过程中尽量保持样品不受周围环境的污染。本实验中都设置空白对照组。

1.4 微塑料特征鉴定

将分离浮选得到的滤膜置于金相显微镜 (上海精密仪器公司) 下，观察各类微塑料外观及形态等特征。用 Nano Measuer 1.2 软件进行计数，粒径以微塑料最长一边的长度测量。并结合红外光谱法对微塑料样品进行鉴定和表征^[15]。本研究采用型号为 Nicolet 6700 的红外光谱仪测定样品。

1.5 数据处理

采用 SPASS 13.0 进行单因素方差分析 (One Way ANOVA) 并进行不同采样点微塑料丰度的差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 研究区水体、底泥和候鸟粪便中的微塑料丰度和类型

2.1.1 研究区微塑料丰度

研究区不同采样点水体中微塑料丰度有较大差异。其中湖中心微塑料丰度最小，其次是湖岸边，候鸟活动区域微塑料最高，显著高于其他区域 ($P < 0.05$)，其微塑料丰度可达 (710.26 ± 242.07) 个·m⁻³，平均丰度 263.28 个·m⁻³。研究区不同采样点底泥中微塑料丰度亦各不相同。表现为湖中心 $[(112.1 \pm 25.2) \text{ 个} \cdot \text{kg}^{-1}] < \text{湖岸边} [(201.8 \pm 35.9) \text{ 个} \cdot \text{kg}^{-1}] < \text{候鸟活动区域} [(333.9 \pm 134.8) \text{ 个} \cdot \text{kg}^{-1}]$ ，平均丰度 215.9 个·kg⁻¹。在候鸟活动区域采集的 15 份粪便样品中均发现了微塑料的存在，丰度从 1~15 个不等，平均丰度为 (4.93 ± 4.25) 个·g⁻¹ (表 2)。

表 2 研究区微塑料丰度¹⁾

Table 2 Abundance of microplastics in the study area

项目	湖岸边	湖中心	鸟类活动区域	平均值
水体/个·m ⁻³	63.33 ± 7.78a	16.24 ± 1.07a	710.26 ± 242.07b	263.28
底泥/个·kg ⁻¹	201.8 ± 3.59a	112.1 ± 25.2ab	333.9 ± 134.8b	215.9
鸟类粪便/个·g ⁻¹	NA	NA	4.92 ± 4.25	4.92

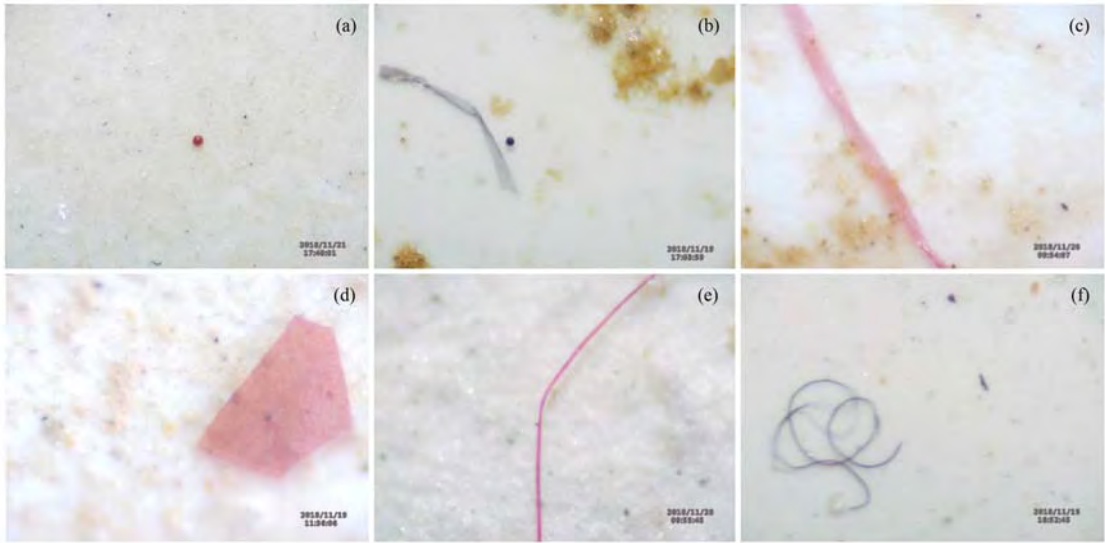
1) 同行字母相同表示不同采样点微塑料丰度差异不显著 ($P > 0.05$)

2.1.2 研究区微塑料类型

研究区微塑料存在颗粒、薄膜、碎片和纤维这 4 种不同形貌的微塑料，颗粒类微塑料为红色和紫色，形状规则，一般为球形；薄膜类微塑料较为透明 [图 2(b) 和 2(c)]，无规则的膜状，且质地轻而软；碎片类微塑料主要是硬质塑料碎片，硬质塑料碎片 [图 2(d)] 的颜色多样，形状规则，但多数有破损边缘；纤维类微塑料主要为破损的渔线或渔网，颜色大多为蓝色或红色 [图 2(e) 和 2(f)]。

2.2 水体中微塑料类型、颜色和粒径组成

研究区水体中存在颗粒、薄膜、碎片和纤维这 4 种不同形貌的微塑料，其中颗粒类微塑料最多，不同采样点微塑料类型相同 (图 3)，但丰度差异较大。研究区内水体中提取的微塑料颜色主要有红色、黄色、绿色、蓝色、紫色、黑色和透明，不同采样点水体中红色微塑料均最多 (图 4)。不同采样点水体中微塑料粒径丰度表现为 $<1 \text{ mm} > 1 \sim 2 \text{ mm} > 2 \sim 3 \text{ mm} > 3 \sim 5 \text{ mm}$ ，且基本呈随粒径增大丰度减



(a) 红色颗粒类; (b) 紫色颗粒和蓝色薄膜; (c) 红色薄膜; (d) 红色碎片; (e) 红色纤维; (f) 蓝色纤维

图 2 研究区不同类型微塑料显微图

Fig. 2 Micrographs of different types of microplastics in the study area

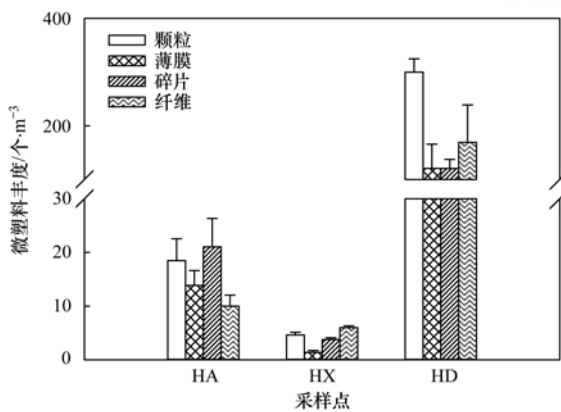


图 3 不同采样点水体中微塑料类型

Fig. 3 Types of microplastics in surface water at different sampling sites

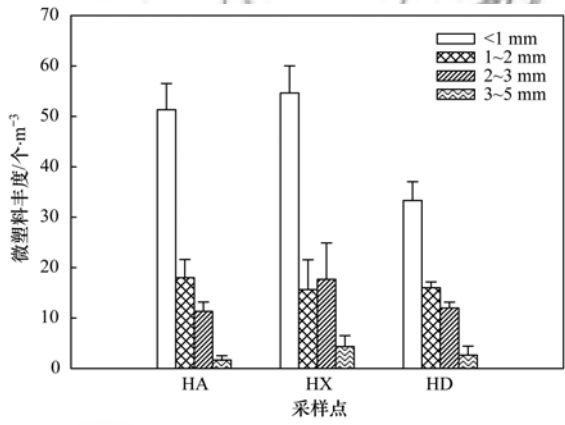


图 5 不同采样点水体中微塑料粒径

Fig. 5 Size of microplastics in surface water at different sampling sites

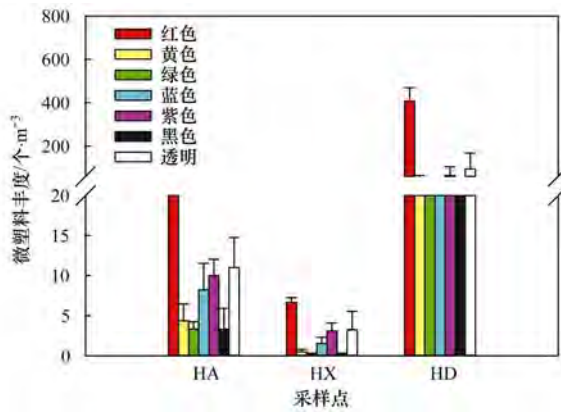


图 4 不同采样点水体中微塑料颜色

Fig. 4 Color of microplastics in surface water at different sampling sites

小的趋势(图 5).

2.3 底泥中微塑料类型和丰度

研究区不同采样点底泥中微塑料组成不同,湖

岸边存在颗粒、薄膜、碎片和纤维这 4 种不同形貌的微塑料,而湖中心和候鸟活动区域只有颗粒、薄膜和纤维这 3 种类型的微塑料(图 6),湖岸边和候鸟栖息地底泥中微塑料以颗粒和纤维类为主,而湖中心以薄膜和纤维类为主. 研究区内底泥中提取的微塑料颜色主要有红色、黄色、蓝色、紫色、黑色和透明,其中紫色微塑料丰度最大(图 7). 湖岸边和鸟类栖息地微塑料粒径以 <1 mm 为主,湖中心以 1~2 mm 为主(图 8).

2.4 鸟粪便内微塑料类型、颜色和粒径组成

候鸟粪便内微塑料主要包括颗粒、薄膜、碎片和纤维这 4 种类型. 微塑料颜色为红色、黄色、绿色、紫色和透明这 5 种颜色. 不同类型微塑料粒径也有差异,颗粒和碎片类微塑料粒径以 <1 mm 为主,而薄膜和纤维类微塑料粒径主要在 2~3 mm (表 3).

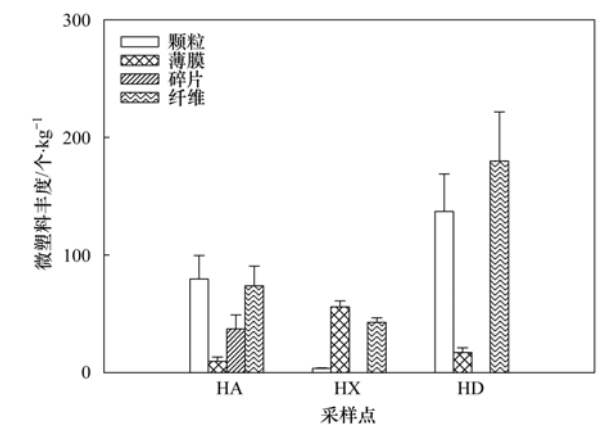


图6 不同采样点底泥中微塑料类型

Fig. 6 Types of microplastics in sediment at different sampling sites

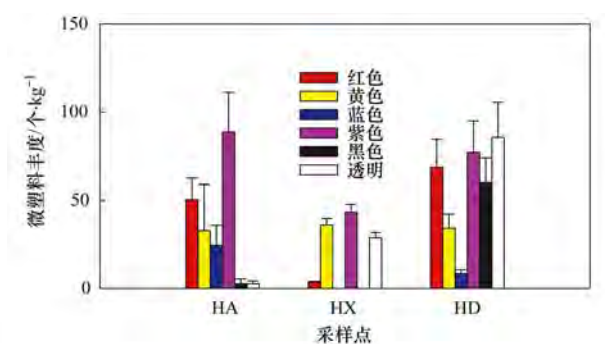


图7 不同采样点底泥中微塑料颜色

Fig. 7 Color of microplastics in sediment at different sampling sites

2.5 研究区水体、底泥和鸟粪便中微塑料类型、颜色和粒径数量分布

研究区水体中微塑料类型数量分布表现为颗粒>纤维>碎片>薄膜,底泥中微塑料类型数量分布表现为纤维>颗粒>薄膜>碎片.而鸟粪便内微塑料数量分布表现为颗粒>碎片>薄膜>纤维.水体、底泥和鸟粪便中微塑料类型无一致性(表4).研

表5 研究区水体、底泥和鸟粪便中微塑料颜色数量分布/%

Table 5 Comparison of the microplastic colors in water, sediment, and bird excrement/%

项目	红色	黄色	绿色	蓝色	紫色	黑色	透明
水	46.21	5.21	4.60	8.74	14.08	3.68	15.64
土	16.55	18.89	0	5.19	35.37	6.35	17.64
鸟粪便	39.5	27.6	8.57		10.95		11.9

表6 研究区水体、底泥和鸟粪便中微塑料粒径数量分布/%

Table 6 Comparison of the microplastics sizes in water, sediment and bird excrement/%

项目	<1 mm	1~2 mm	2~3 mm	3~5 mm
水	59.41	20.89	16.65	3.42
土	34	21.67	40	4
鸟粪便	64.9	27.4	6.55	1.2

3 讨论

3.1 候鸟栖息地微塑料污染程度

本研究中,鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区

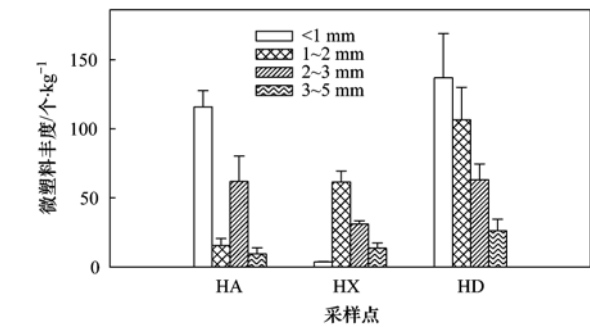


图8 不同采样点底泥中微塑料粒径

Fig. 8 Size of microplastics in sediment at different sampling sites

表3 鸟粪便内微塑料类型、颜色和粒径范围

Table 3 Types, colors, and particle sizes of microplastics in bird excrement

类型	颜色	粒径/mm
颗粒	红色、黄色、紫色	<1
薄膜	黄色、透明	1~3
碎片	红色、黄色、绿色	<1
纤维	红色	2~5

究区水体和鸟粪便中微塑料以红色为主,而底泥中微塑料以紫色为主(表5).研究区水体和鸟粪便中微塑料大部分<1 mm,鸟粪便中微塑料粒径基本与水体中微塑料粒径分布保持一致(表6).初步可以推断水体中微塑料的分布对鸟类影响较大.

表4 研究区水体、底泥和鸟粪便中微塑料类型数量分布/%

Table 4 Comparison of the microplastic types in water, sediment, and bird excrement/%

项目	颗粒	薄膜	碎片	纤维
水	35.38	16.20	24.01	24.33
土	28.22	21.58	6.12	44.08
鸟粪便	36.78	22.61	32.86	7.74

内的候鸟栖息地白沙湖水体中微塑料丰度范围介于(63.33±7.78)~(710.26±242.07)个·m⁻³之间,平均丰度263.28个·m⁻³,底泥中微塑料丰度范围介于(121±25.2)个·kg⁻¹~(333.9±134.8)个·kg⁻¹之间,平均丰度215.9个·kg⁻¹.本研究中,白沙湖水体中微塑料(<5 mm)丰度高于意大利中部波尔塞纳湖(0.82~4.42个·m⁻³)和丘西湖(2.68~3.36个·m⁻³)^[16]以及中国最大的内陆湖青海湖表层水的微塑料丰度^[17].Su等^[18]的研究表明,中国太湖表面水中微塑料丰度达3.4~25.8个·L⁻¹,

远高于本研究中白沙湖表面水中的微塑料丰度. 白沙湖底泥中的微塑料丰度与意大利中部波尔塞纳湖($112 \text{ 个} \cdot \text{kg}^{-1}$)和丘西湖($234 \text{ 个} \cdot \text{kg}^{-1}$)以及中国太湖($11.0 \sim 234.6 \text{ 个} \cdot \text{kg}^{-1}$)底泥中微塑料丰度较为一致. 可见, 鄱阳湖湿地候鸟栖息地微塑料污染处于国内外湖泊的中等水平.

3.2 候鸟栖息地微塑料来源分析

本研究表明, 白沙湖水体和底泥中的微塑料均包括颗粒、薄膜、碎片和纤维这4种类型. 水体中颗粒类微塑料丰度最大, 且在鸟类活动区域微塑料丰度显著高于湖的其他区域. 经文献查阅, 微珠来源于生活污水, 其被发现存在于牙膏、沐浴乳和洗面奶及其他各种产品中^[19], 但是经过现场调查, 此来源基本可以忽略. 此外, 渔船在湖中捕鱼打捞时也会带入一部分的树脂颗粒, 研究区存在此种来源^[4], 但是仅是一小部分来源. 本研究发现候鸟栖息地微塑料丰度可达(710.26 ± 242.07) $\text{个} \cdot \text{m}^{-3}$, 且以颗粒类微塑料为主, 且在鸟类粪便中也发现了微塑料, 而鸟类活动的浅滩中到处都是鸟类粪便, 且此区域湖水基本不流动, 因此笔者推断此区域颗粒类微塑料可能是鸟类携带过来的, 此推断在Provencher等^[7]的研究中得到了证实, 由于颗粒类微塑料粒径较小, 易被鸟类摄入, 大部分又通过粪便排出体外, 从而进入水体, 这样不断积累导致小区域水体中微塑料丰度很高. 而底泥中以纤维类微塑料为主, 纤维类微塑料主要来源于养殖网、鱼网和鱼线碎裂所造成^[20]. 薄膜类微塑料主要来源于渔民日常生活中所使用的膜类食品包装袋和鱼饲料编织袋上的防水薄膜层. 碎片类微塑料主要来源于一些生活中常用的塑料制品^[21], 比如塑料瓶, 实际调查中发现湖岸边有很多丢弃的塑料瓶.

以往研究表明, 微塑料往往与人类活动有关^[22, 23]. 本研究也得到了相同的结论, 在3个采样点中, 人类活动区域湖岸边的微塑料丰度显著高于人类活动较小的湖中心, 这进一步证实了人为因素在微塑料分布中的重要作用.

3.3 微塑料对生物的影响

3.3.1 生物对微塑料的摄入

据统计, 每年有大量的塑料进入环境中并且随着时间的推移这些塑料破碎为微塑料, 由于微塑料体积小, 其可以被低营养级的动物摄入, 对生物体的健康造成不确定的后果^[24, 25]. 大量研究表明微塑料可以被水生生物摄入. 有报道称漂浮在海洋上高浓度的塑料和微塑料碎片已经导致了葡萄牙沿海水域海洋浮游生物体内微塑料的存在^[26]. 对微塑料在德国贻贝和牡蛎体内的调查显示, 微塑料存在

于这两种贝类的软组织中^[27]. 有研究报道了地中海巴利阿里群岛微塑料在鱼的胃肠道内的存在^[28]. Alomar等^[10]的研究表明, 微塑料已经在巴利阿里群岛周围的鲨鱼体内被发现. Li等^[29]的研究发现微塑料出现在9种中国市场上双壳类动物商品中. 本研究在候鸟粪便中发现了微塑料的存在, 表明鸟类也无可避免地接触到了微塑料, 警示人们微塑料将会是候鸟的新威胁.

3.3.2 微塑料对生物体的影响

微塑料的数量在全球环境中增加, 对生物造成了一系列的负面影响^[30]. 生物的塑料和微塑料摄入所带来的物理和毒理学作用可能会对物种造成严重威胁^[31]. 近年来, 越来越多的研究尝试探讨微塑料对生物造成的影响. Heindler等^[25]的研究结果表明, 微塑料可能会导致生物的生殖障碍, 并且可以遗传给后代. 在沙质底泥中传统的和生物可分解的微塑料都会影响海蚯蚓的健康和行为, 并直接或间接地减少这些初级生产力的栖息地^[32]. 在实验条件下, 微聚苯乙烯对海洋贻贝的组织、细胞和分子水平均有直接的毒性作用^[33]. 褐家鼠暴露在高水平的微塑料中可能会减少养分的有效性^[34]. 然而亦有实验研究表明, 微塑料没有堵塞等足类动物的消化器官且没有对它们的生活产生不利影响^[35], 微塑料的摄入亦对鱼类的营养水平没有影响^[36]. 关于微塑料对鸟类的影响需要进一步地研究.

4 结论

鄱阳湖湿地候鸟栖息地水体中微塑料丰度范围介于(63.33 ± 7.78) $\sim$ (710.26 ± 242.07) $\text{个} \cdot \text{m}^{-3}$ 之间, 底泥中微塑料丰度范围介于(112.1 ± 25.2) $\sim$ (333.9 ± 134.8) $\text{个} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间. 不同采样点水体中微塑料丰度有较大差异. 鸟类粪便中微塑料丰度从1 $\sim$ 15 $\text{个} \cdot \text{g}^{-1}$ 不等, 平均丰度为(4.93 ± 4.25) $\text{个} \cdot \text{g}^{-1}$. 研究区微塑料包括颗粒类、薄膜类、碎片类和纤维类这4种类型, 其中颗粒和纤维占比较大, 以红色为主, 且粒径以 $<1 \text{ mm}$ 的微塑料占比最大. 鸟粪便中微塑料颜色和粒径基本与水体中微塑料粒径分布保持一致, 初步可以推断水体中微塑料的分布对鸟类影响较大. 鄱阳湖湿地候鸟栖息地微塑料污染处于国内外湖泊的中等水平. 本区域高丰度的颗粒类微塑料来源于鸟类携带, 纤维类主要来源于养殖网、鱼网和鱼线碎裂所造成. 此研究表明在无处不在的微塑料污染下鸟类也无可避免地接触到了微塑料, 警示人们微塑料将会是候鸟的新威胁.

参考文献:

- [1] Wessel C C, Lockridge G R, Battiste D, *et al.* Abundance and characteristics of microplastics in beach sediments: Insights into microplastic accumulation in northern Gulf of Mexico estuaries [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2016, **109**(1): 178-183.
- [2] Ng K L, Obbard J P. Prevalence of microplastics in Singapore's coastal marine environment [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2006, **52**(7): 761-767.
- [3] Frias J P G L, Sobral P, Ferreira A M. Organic pollutants in microplastics from two beaches of the Portuguese coast [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2010, **60**(11): 1988-1992.
- [4] 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.
- [5] 赵其国, 黄国勤, 钱海燕. 鄱阳湖生态环境与可持续发展 [J]. *土壤学报*, 2007, **44**(2): 318-326.
- Zhao Q G, Huang G Q, Qian H Y. Ecological environment and sustainable development of Poyang Lake [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2007, **44**(2): 318-326.
- [6] 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.
- [7] Provencher J F, Vermaire J C, Avery-Gomm S, *et al.* Garbage in guano? Microplastic debris found in faecal precursors of seabirds known to ingest plastics [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, **644**: 1477-1484.
- [8] Li J N, Qu X Y, Su L, *et al.* Microplastics in mussels along the coastal waters of China [J]. *Environmental Pollution*, 2016, **214**: 177-184.
- [9] Castro R O, Silva M L, Marques M R C, *et al.* Evaluation of microplastics in Jurujuba Cove, Niterói, RJ, Brazil, an area of mussels farming [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2016, **110**(1): 555-558.
- [10] Alomar C, Deudero S. Evidence of microplastic ingestion in the shark *Galeus melastomus* Rafinesque, 1810 in the continental shelf off the western Mediterranean Sea [J]. *Environmental Pollution*, 2017, **223**: 223-229.
- [11] 胡振鹏, 葛刚, 刘成林, 等. 鄱阳湖湿地植物生态系统结构及湖水对其影响研究 [J]. *长江流域资源与环境*, 2010, **19**(6): 597-605.
- Hu Z P, Ge G, Liu C L, *et al.* Structure of Poyang Lake wetland plants ecosystem and influence of lake water level for the structure [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2010, **19**(6): 597-605.
- [12] 简敏菲, 李玲玉, 余厚平, 等. 鄱阳湖湿地水体与底泥重金属污染及其对沉水植物群落的影响 [J]. *生态环境学报*, 2015, **24**(1): 96-105.
- Jian M F, Li L Y, Yu H P, *et al.* Heavy Metals pollution on the water and sediments and its influence on the submerged macrophyte community in the wetland of Poyang Lake [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2015, **24**(1): 96-105.
- [13] Cooper D A, Corcoran P L. Effects of mechanical and chemical processes on the degradation of plastic beach debris on the island of Kauai, Hawaii [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2010, **60**(5): 650-654.
- [14] 邹亚丹, 徐擎擎, 张贺, 等. 6 种消解方法对荧光测定生物体内聚苯乙烯微塑料的影响 [J]. *环境科学*, 2019, **40**(1): 496-503.
- Zou Y D, Xu Q Q, Zhang G, *et al.* Influence of six digestion methods on the determination of polystyrene microplastics in organisms using the fluorescence intensity [J]. *Environmental Science*, 2019, **40**(1): 496-503.
- [15] Harrison J P, Ojeda J J, Romero-González M E. The applicability of reflectance micro-fourier-transform infrared spectroscopy for the detection of synthetic microplastics in marine sediments [J]. *Science of the Total Environment*, 2012, **416**: 455-463.
- [16] Fischer E K, Paglialonga L, Czech E, *et al.* Microplastic pollution in lakes and lake shoreline sediments - A case study on Lake Bolsena and Lake Chiusi (central Italy) [J]. *Environmental Pollution*, 2016, **213**: 648-657.
- [17] 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.
- [18] Su L, Xue Y G, Li L Y, *et al.* Microplastics in Taihu Lake, China [J]. *Environmental Pollution*, 2016, **216**: 711-719.
- [19] 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.
- [20] 刘启明, 梁海涛, 锡桂莉, 等. 厦门湾海滩微塑料污染特征 [J]. *环境科学*, 2019, **40**(3): 1217-1221.
- Liu Q M, Liang H T, Xi G L, *et al.* Microplastic pollution of the beaches in Xiamen Bay, China [J]. *Environmental Science*, 2019, **40**(3): 1217-1221.
- [21] Wu W M, Yang J, Criddle C S. Microplastics pollution and reduction strategies [J]. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 2017, **11**(1): 6.
- [22] Castillo A B, Al-Maslami I, Obbard J P. Prevalence of microplastics in the marine waters of Qatar [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2016, **111**(1-2): 260-267.
- [23] Nel H A, Hean J W, Noundou X S, *et al.* Do microplastic loads reflect the population demographics along the southern African coastline? [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2017, **115**(1-2): 115-119.
- [24] 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.
- [25] Heindler F M, Alajmi F, Huerlimann R, *et al.* Toxic effects of polyethylene terephthalate microparticles and Di (2-ethylhexyl) phthalate on the calanoid copepod, *Parvocalanus crassirostris* [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2017, **141**: 298-305.
- [26] Frias J P G L, Otero V, Sobral P. Evidence of microplastics in samples of zooplankton from Portuguese coastal waters [J]. *Marine Environmental Research*, 2014, **95**: 89-95.
- [27] Van Cauwenberghe L, Janssen C R. Microplastics in bivalves cultured for human consumption [J]. *Environmental Pollution*, 2014, **193**: 65-70.
- [28] Nadal M A, Alomar C, Deudero S. High levels of microplastic ingestion by the semipelagic fish bogue *Boops boops* (L.) around the Balearic Islands [J]. *Environmental Pollution*, 2016, **214**: 517-523.
- [29] Li J N, Yang D Q, Li L, *et al.* Microplastics in commercial bivalves from China [J]. *Environmental Pollution*, 2015, **207**: 190-195.
- [30] Laglbauer B J L, Franco-Santos R M, Andreu-Cazenave M, *et al.* Macrodebris and microplastics from beaches in Slovenia [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2014, **89**(1-2): 356-366.

- [31] Baini M, Martellini T, Cincinelli A, *et al.* First detection of seven phthalate esters (PAEs) as plastic tracers in superficial neustonic/planktonic samples and cetacean blubber [J]. *Analytical Methods*, 2017, **9**(9): 1512-1520.
- [32] Green D S, Boots B, Sigwart J, *et al.* Effects of conventional and biodegradable microplastics on a marine ecosystem engineer (*Arenicola marina*) and sediment nutrient cycling [J]. *Environmental Pollution*, 2016, **208**: 426-434.
- [33] Paul-Pont I, Lacroix C, Fernández C G, *et al.* Exposure of marine mussels *Mytilus* spp. to polystyrene microplastics: Toxicity and influence on fluoranthene bioaccumulation [J]. *Environmental Pollution*, 2016, **216**: 724-737.
- [34] Welden N A C, Cowie P R. Long-term microplastic retention causes reduced body condition in the langoustine, *Nephrops norvegicus* [J]. *Environmental Pollution*, 2016, **218**: 895-900.
- [35] Hämer J, Gutow L, Köhler A, *et al.* Fate of microplastics in the marine isopod *Idotea emarginata* [J]. *Environmental Science & Technology*, 2014, **48**(22): 13451-13458.
- [36] Güven O, Gökdağ K, Jovanović B, *et al.* Microplastic litter composition of the Turkish territorial waters of the Mediterranean Sea, and its occurrence in the gastrointestinal tract of fish [J]. *Environmental Pollution*, 2017, **223**: 286-294.

《环境科学》多项引证指标名列前茅

2018年11月1日,中国科学技术信息研究所在中国科技论文统计结果发布会上公布了2017年度中国科技论文统计结果。统计结果显示《环境科学》2017年度总被引频次11 228,影响因子1.958,多项引证指标位居环境科学技术及资源科学技术类科技期刊前列。



CONTENTS

Concurrent Measurement of Wet and Bulk Deposition of Trace Metals in Urban Beijing	ZHANG Guo-zhong, PAN Yue-peng, TIAN Shi-li, <i>et al.</i> (2493)
Concentration and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in PM _{2.5} Collected in Urban and Suburban Areas of Beijing	XU Jing, LI Xing-ru, ZHANG Lan, <i>et al.</i> (2501)
Secondary Aerosol Formation in Urban Shanghai: Insights into the Roles of Photochemical Oxidation and Aqueous-Phase Reaction	GAO Jie, QIAO Li-ping, LOU Sheng-rong, <i>et al.</i> (2510)
Secondary Inorganic Pollution Characteristics During Heavy Pollution Episodes of 2017 in Tianjin	XU Hong, XIAO Zhi-mei, CHEN Kui, <i>et al.</i> (2519)
Characterization of PM ₁₀ and PM _{2.5} Source Profiles for Emissions from Nonmetal Mineral Products Manufacturing Processes	ZHAO Xue-yan, YU Gao-feng, WANG Xin-wu, <i>et al.</i> (2526)
Characteristics of Component Particle Size Distributions of Particulate Matter Emitted from a Waste Incineration Plant	YU Zhuo-jun, WU Jian-hui, ZHANG Yu-fen, <i>et al.</i> (2533)
Characteristics and Source Apportionment of Carbon Components in Road Dust PM _{2.5} and PM ₁₀ During Spring in Tianjin Derived by Using the Quadrat Sampling Method	MA Yan, JI Ya-qin, GUO Ji-liang, <i>et al.</i> (2540)
Urban Aerosol Hygroscopicity During Haze Weather	YANG Su-ying, TIAN Zhi-jie, ZHANG Tie-ning, <i>et al.</i> (2546)
Atmospheric Pollution Characteristics and Inhalation Exposure Risk of Nitrated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in PM _{2.5} at the Ningdong Energy and Chemical Industry Base, Northwest China	LIU Pan-liang, JU Yuan-li, MAO Xiao-xuan, <i>et al.</i> (2556)
Health Benefit Evaluation for PM ₁₀ and PM _{2.5} Pollution Control in Zhengzhou, China, 2014-2016	HAN Shi-jie, WANG Jia, YAN Qi-she, <i>et al.</i> (2565)
Spatial-temporal Distribution of Aerosol Optical Depth and Its Main Influence Types in China During 1990-2017	LIU Ying, LIN Ai-wen, QIN Wen-min, <i>et al.</i> (2572)
Research on the Pollution Characteristics and Causality of Haze-sand Air Pollution in Beijing in Spring	WANG Yao-ting, LI Qing-chun, ZHENG Zuo-fang, <i>et al.</i> (2582)
Vessel Emission Inventories and Emission Characteristics for Inland Rivers in Jiangsu Province	XU Wen-wen, YIN Cheng-qi, XU Xue-ji, <i>et al.</i> (2595)
Atmospheric Nitrogen Dioxide, Nitric Acid, Nitrate Nitrogen Concentrations, and Wet and Dry Deposition Rates in a Double Rice Region in Subtropical China	OUYANG Xiu-qin, WANG Bo, SHEN Jian-lin, <i>et al.</i> (2607)
Characteristics of Stable Isotopes in Precipitation and Moisture Sources in the Headwaters of the Yangtze River	WANG Shao-yong, WANG Qiao-li, WU Jin-kui, <i>et al.</i> (2615)
Historical Trends of Atmospheric Trace Metal Pollution in Northern Guizhou Province as Reconstructed from Alpine Lake Sediments	LIANG Meng-yao, LIU En-feng, ZHANG En-lou, <i>et al.</i> (2624)
Distribution Characteristics of Microplastics in Qingdao Coastal Beaches	LUO Ya-dan, LIN Qian-hui, JIA Fang-li, <i>et al.</i> (2631)
Pollution Characteristics of Microplastics in Migratory Bird Habitats Located Within Poyang Lake Wetlands	LIU Shu-li, JIAN Min-fei, ZHOU Long-yin, <i>et al.</i> (2639)
Use of the Nitrogen/Carbon Ratio (N/C) and Two End-Member Sources Mixing Model to Identify the Origins of Dissolved Organic Matter from Soils in the Water-Level Fluctuation Zones of the Three Gorges Reservoir	JIANG Tao, JOERI Kaal, LIANG Jian, <i>et al.</i> (2647)
Effects of Photosynthesis of Submerged Aquatic Plants on CDOM in a Karst Water System: A Case Study from Xueyu Cave, Chongqing, China	FAN Jia-xin, JIANG Yong-jun, HE Qiu-fang, <i>et al.</i> (2657)
Indicators of Groundwater Evolution Processes Based on Hydrochemistry and Environmental Isotopes: A Case Study of the Dongyuan Drinking Water Source Area in Ji'nan City	ZHANG Ya, SU Chun-li, MA Yan-hua, <i>et al.</i> (2667)
Water Quality Analysis and Health Risk Assessment for Groundwater at Xiangshui, Chongzuo	ZHOU Jin-mei, JIANG Zhong-cheng, XU Guang-li, <i>et al.</i> (2675)
Chemical Characteristics of Groundwater and Material Sources Analysis in Buckwheat Field, Yunnan Province	ZHANG Yong, GUO Chun-qing, ZHU Yan-guang, <i>et al.</i> (2686)
C and N Transport Flux and Associated Changes of Water Quality Parameters from a Multiscale Subtropical Watershed in the Poyang Lake Area	LU Yao, GAO Yang, JIA Jun-jie, <i>et al.</i> (2696)
Pollutant Transport Analysis and Source Apportionment of the Entire Non-point Source Pollution Process in Combined Sewer Systems	FANG Jin-xiu, XIE Wen-xia, ZHU Yu-xi, <i>et al.</i> (2705)
Nitrogen Removal Efficiencies from Road Runoff by Dry Grass Swales with a Shallow Substrate Layer	DUAN Jin-kai, LI Tian, ZHANG Jia-wei (2715)
Migration Characteristics of Manganese During Rainfall Events and Its Impacts on Water Quality in a Drinking Water Source Reservoir	DENG Li-fan, HUANG Ting-lin, LI Nan, <i>et al.</i> (2722)
Potential for Phosphorus Uptake by Bed Sediments and Its Response to Carbon Additions in the Shiwuli River, Chaohu Lake Basin	LI Ru-zhong, BAO Qin, ZHANG Rui-gang, <i>et al.</i> (2730)
Sources and Distribution of Phosphorus in Sediments of the Jinpen Reservoir	MAO Xue-jing, HUANG Ting-lin, LI Nan, <i>et al.</i> (2738)
Water Quality Characteristics and Distribution of Bacterial Communities During Thermal Stratification in the Miyun Reservoir	WANG Yu-bing, WANG Xiao-yan, PANG Shu-jiang, <i>et al.</i> (2745)
Relationship Between the Vertical Distribution of Nutrients and Bacterial Community Structures in Sediment Interstitial Waters of Stratified Reservoirs with Different Water Temperatures	WANG Shen, ZHANG Si-si, XU You, <i>et al.</i> (2753)
Accumulation Characteristics and Release Regularity of Nutrients in Sediments of a Surface-flow Constructed Wetland After Long-term Operation	ZHU Yi-meng, JIANG Cui-ling, ZHU Li-qin, <i>et al.</i> (2764)
Application of Goethite Modified Biochar for Arsenic Removal from Aqueous Solution	ZHU Si-hang, ZHAO Jing-jing, YIN Ying-jie, <i>et al.</i> (2773)
Effects and Mechanisms of Methyl Orange Removal from Aqueous Solutions by Modified Rice Shell Biochar	SHI Yue-yue, SHAN Riu, YUAN Hao-ran (2783)
Performance and Membrane Fouling Properties in an Anaerobic Membrane Bioreactor for Salty Wastewater	YAN Huan-xi, XU Zhen-yu, JIN Chun-ji, <i>et al.</i> (2793)
Pollution Characteristics and Enhanced Removal of Organic Phosphorus in Effluent from a Wastewater Treatment Plant	WANG Xiao-dong, WANG Zi-wen, CHEN Ming-fei, <i>et al.</i> (2800)
Effects of Alkalinity on Partial Nitrification in a Zeolite Sequencing Batch Reactor	WANG Rui-xin, CHEN Jing, WANG Xiao-jun, <i>et al.</i> (2807)
Effects of the Physical Structure of Activated Sludge on Respiration Processes	GUO Yao, LI Zhi-hua, YANG Cheng-jian, <i>et al.</i> (2813)
Performance of an Aerobic Granular Reactor Treating Biogas Slurry from Pig Farm	LIAO Jie, YE Jia-qi, ZENG Zhi-chao, <i>et al.</i> (2821)
Spatial-temporal Characteristics and Driving Factors of Greenhouse Gas Emissions from Rivers in a Rapidly Urbanizing Area	LIU Ting-ting, WANG Xiao-feng, YUAN Xing-zhong, <i>et al.</i> (2827)
Influences of Biochar on Pollutant Removal Efficiencies and Nitrous Oxide Emissions in a Subsurface Flow Constructed Wetland	DENG Chao-ren, LIANG Yin-kun, HUANG Lei, <i>et al.</i> (2840)
Effects of the Veterinary Antibiotic Sulfamethazine on N ₂ O Emissions and the Associated Microbiological Mechanism in a Rice Field	WU Jie, LI Zhi-lin, XU Jia-ying, <i>et al.</i> (2847)
Effects of Different Levels of Nitrogen Fertilization on Soil Respiration Rates and Soil Biochemical Properties in an Alfalfa Grassland	HU Wei, ZHANG Ya-hong, LI Peng, <i>et al.</i> (2858)
Spatial Distribution and Risk Assessment of Heavy Metals in Soils from a Typical Urbanized Area	HE Bo, ZHAO Hui, WANG Tie-yu, <i>et al.</i> (2869)
Accumulation of Heavy Metals in Agricultural Soils and Crops from an Area with a High Geochemical Background of Cadmium, Southwestern China	LIU Yi-zhang, XIAO Tang-fu, XIONG Yan, <i>et al.</i> (2877)
Spatial Distribution Characteristics and Source Apportionment of Soil Heavy Metals in Chinese Wolfberry Land Based on GIS and the Receptor Model	BAI Yi-ru, ZHANG Xing, ZHAO Yun-peng, <i>et al.</i> (2885)
Spatial Distribution and Pollution Assessment of As at a Small Scale in Agricultural Soils of the Karst Region	WANG Hua, LIU Xiu-ming, LIU Fang, <i>et al.</i> (2895)
Soil Aggregate Stability and Its Stoichiometric Characteristics in <i>Robinia pseudoacacia</i> Forest within Different Vegetation Zones on the Loess Plateau, China	QU Qing, XU Hong-wei, WU Xuan, <i>et al.</i> (2904)
Straw Returning Plus Nitrogen Fertilizer Affects the Soil Microbial Community and Organic Carbon Mineralization in Karst Farmland	XU Xue-chi, SU Yi-rong, WANG Gui-hong, <i>et al.</i> (2912)
Effects of Biochar Application and Ageing on the Adsorption of Antibiotics in Purple Soil	YIN Wen-min, GUAN Zhuo, LIU Chen, <i>et al.</i> (2920)
Ammonia Oxidation in a Neutral Purple Soil Measured by the ¹³ C-DNA-SIP Method	LIU Tian-lin, WANG Zhi-hui, YAN Xiao-juan, <i>et al.</i> (2930)
Effects of Silver Nanoparticles and Silver Ions on Soil Nitrification Microorganisms and Ammonoxidation	WU Ling-li, ZHANG Xu, SHU Kun-hui, <i>et al.</i> (2939)
Insight into the Process of Mn-ANAMMOX in Soils of Agricultural Drainage Ditches	CHEN Shi, LI Zheng-kui, QIN Yun-bin, <i>et al.</i> (2948)
Effects of Different Concentrations of Tetracycline in Sludge on Ammonia Oxidizers During Vermicomposting	WU Ying, HUANG Kui, XIA Hui, <i>et al.</i> (2954)