

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

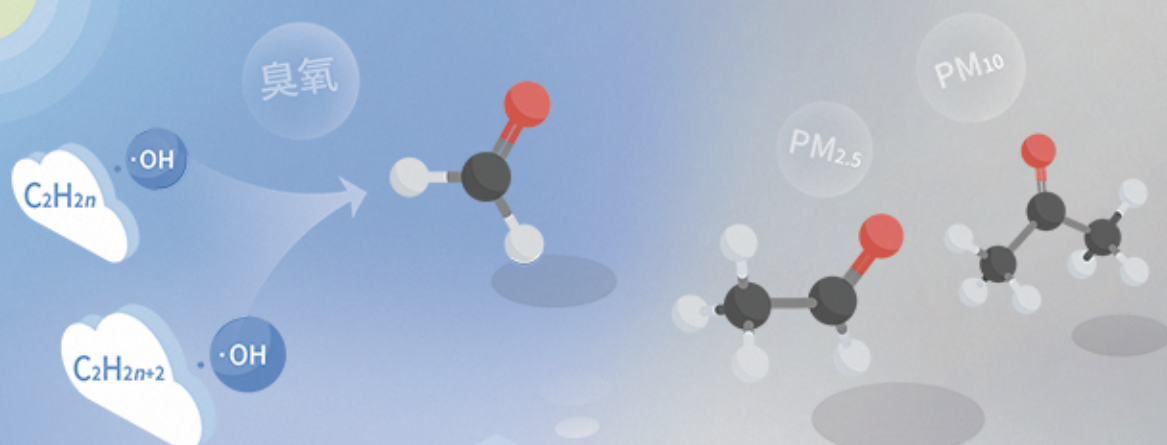
环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

HUANJING KEXUE

基于PMF和源示踪物比例法的大气羰基化合物来源解析：以南京市观测为例
胡崑，王鸣，王红丽，景盛翱，陈文泰，卢兴东



■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2021年1月

第42卷 第1期
Vol.42 No.1

目次

2019年国庆节前后北京气态氨和气溶胶铵盐浓度的同步观测	顾梦娜, 潘月鹏, 宋琳琳, 李萍, 田世丽, 武岳洋, 杨婷婷, 李浩洋, 石生伟, 吐莉尼沙, 吕雪梅, 孙倩, 方运霆 (1)
基于无人机探空和数值模拟天津一次重污染过程分析	杨旭, 蔡子颖, 韩素芹, 史静, 唐颖潇, 姜明, 邱晓滨 (9)
中原城市群典型城市秋冬季大气 PM _{2.5} 污染特征及溯源	苗青青, 姜楠, 张瑞芹, 赵孝因, 齐静文 (19)
沈阳市冬季大气 PM _{2.5} 中水溶性离子污染特征及来源解析	王国祯, 任万辉, 于兴娜, 侯思宇, 张毓秀 (30)
保定地区 PM _{2.5} 中重金属元素的污染特征及健康风险评价	雷文凯, 李杏茹, 张兰, 徐静, 赵文吉, 刘子锐 (38)
基于 PMF 和源示踪物比例法的大气羰基化合物来源解析: 以南京市观测为例	胡崑, 王鸣, 王红丽, 景盛翔, 陈文泰, 卢兴东 (45)
2019年天津市挥发性有机物污染特征及来源	高璟贇, 肖致美, 徐虹, 李立伟, 李鹏, 唐邈, 杨宁, 李源, 毕温凯, 陈魁 (55)
柳州市春季大气挥发性有机物污染特征及源解析	刘齐, 卢星林, 曾鹏, 于爽 (65)
天津市郊夏季的臭氧变化特征及其前体物 VOCs 的来源解析	罗瑞雪, 刘保双, 梁丹妮, 毕晓辉, 张裕芬, 冯银厂 (75)
2017年春夏期间南京地区臭氧污染输送影响及潜在源区	谢放尖, 陆晓波, 杨峰, 李文青, 李洁, 谢轶嵩, 王艳, 刘益和, 王庆九, 胡建林 (88)
2006~2019年珠三角地区臭氧污染趋势	赵伟, 高博, 卢清, 钟志强, 梁小明, 刘明, 马社霞, 孙家仁, 陈来国, 范绍佳 (97)
大型石化企业邻近区域大气沉降中多环芳烃赋存特征及源解析	李大雁, 齐晓宝, 吴健, 黄沈发, 王敏, 沙晨燕, 沈城 (106)
叶片大气颗粒物滞纳能力评估方法的定量对比	岳晨, 李广德, 席本野, 曹治国 (114)
东江流域敌敌畏的排放量估算及归趋模拟	张冰, 张芊芊, 应光国 (127)
松花江哈尔滨段及阿什河抗生素的分布规律与生态风险评估	杨尚乐, 王旭明, 王伟华, 胡雪莹, 高立伟, 孙兴滨 (136)
东北小兴凯湖沉积物 POPs 污染特征及生态风险评估	李慧, 李捷, 宋鹏, 程云轩, 焦立新, 杨亚铮 (147)
河南省地表水源中 PPCPs 分布及生态风险评估	周颖, 吴东海, 陆光华, 姚晶晶, 魏磊, 韩枫 (159)
无锡-常州地下水中内分泌干扰物的赋存特征和健康风险评估	王淑婷, 饶竹, 郭峰, 刘成海, 战楠, 王娅南, 彭洁, 杨海波 (166)
清江流域地表水重金属季节性分布特征及健康风险评估	刘昭, 周宏, 曹文佳, 刘伟, 兰圣涛 (175)
会仙岩溶湿地丰平枯时期地下水金属元素污染与健康风险	李军, 赵一, 邹胜章, 蓝美宁, 樊连杰, 谢浩, 秦月, 朱丹尼 (184)
三峡库区城镇化影响下河流 DOM 光谱特征季节变化	陈昭宇, 李思悦 (195)
不同植物覆盖下黄河三角洲湿地土壤中微塑料的分布	岳俊杰, 赵爽, 程昊东, 段鑫越, 石洪华, 汪磊, 端正花 (204)
基于宏基因组学探讨东平湖水库的菌群结构、耐药基因谱及其公共健康风险	张红娜, 崔娜, 申红妙 (211)
分层型水库藻类季相演替的细菌种群驱动机制	闫苗苗, 张海涵, 黄廷林, 宗容容, 刘凯文, 苗雨甜, 杨尚业, 黄鑫, 王娜 (221)
丹江口库区浮游真菌组成与功能及其影响因素	郑保海, 王晓宇, 李英军, 陈彦, 李百炼, 李玉英, 陈兆进 (234)
太湖出流河道藻颗粒变化及其水质效应	郭宇龙, 许海, 陈旭清, 郑建中, 詹旭, 朱广伟, 朱梦圆 (242)
石盘丘小流域不同土地利用方式下土壤氮磷流失形态及通量	邓华, 高明, 龙翼, 黎嘉成, 王莹燕, 王子芳 (251)
前期干旱天数对生物滞留系统除氮性能的影响	陈焱, 李欣芮, 郑爽, 刘臻, 余雪花, 程启洪 (263)
浒苔生物炭对雨水径流中氨氮的吸附特性及吸附机制	陈友媛, 李培强, 李闲驰, 孙萍, 赵新月, 李洁, 李晋, 辛至然 (274)
填料对潮汐流人工湿地中 CANON 作用强化的影响	刘冰, 郑煜铭, 秦会安, 古励 (283)
FeMnNi-LDHs 对水中 As(Ⅲ) 的吸附性能与机制	廖玉梅, 余杰, 魏世强, 蒋珍茂 (293)
硝酸钙添加和铅改性膨润土覆盖联用控制底泥中磷释放的效果及机制	张宏华, 林建伟, 詹艳慧, 俞阳, 张志斌 (305)
某市污水厂抗生素和抗生素抗性基因的分布特征	颜亚玮, 於驰晟, 李菲菲, 姚鹏城, 刘宏远 (315)
不同污泥在微波预处理-厌氧消化过程中抗性基因分布及菌群结构演替	李慧莉, 武彩云, 唐安平, 佟娟, 魏源送 (323)
天然富硒土地划定的富硒阈值	王惠艳, 曾道明, 郭志娟, 成晓梦, 彭敏, 孙跃 (333)
融合自然-人为因子改进回归克里格对土壤镉空间分布预测	高中原, 肖荣波, 王鹏, 邓一荣, 戴伟杰, 刘楚藩 (343)
南方典型水稻土镉(Cd)累积规律模拟	戴雅婷, 傅开道, 杨阳, 王美娥, 陈卫平 (353)
闽西南土壤-水稻系统重金属生物可给性及健康风险	林承奇, 蔡宇豪, 胡恭任, 于瑞莲, 郝春莉, 黄华斌 (359)
干湿交替灌溉制度下纳米修复材料对杂交水稻籽粒 Cd 累积及产量的影响	杨茹, 陈馨睿, 张颖, 崔俊义, 武立权, 马友华, 廖江, 何海兵 (368)
三元复合调理剂对土壤镉赋存形态和糙米镉累积的调控效应	蒋毅, 刘雅, 辜娇峰, 杨世童, 曾雄, 王轩宁, 周航, 廖柏寒 (378)
风化煤组配改良剂结合水分管理对水稻根际土壤与稻米甲基汞含量的影响	郑顺安, 吴泽赢, 杜兆林, 倪润祥, 姚启星 (386)
不同施肥措施对水稻土壤微生物拮抗性的影响	郑开凯, 马志远, 孙波, 梁玉婷 (394)
氮添加影响下新疆天山雪岭云杉林土壤酶活性及其与环境因子的相关性	张涵, 贡璐, 刘旭, 邵康, 李昕竹, 李蕊希 (403)
黄土丘陵区撂荒农田土壤酶活性及酶化学计量变化特征	钟泽坤, 杨改河, 任成杰, 韩新辉 (411)
生物炭对土壤酶活性和细菌群落的影响及其作用机制	冯慧琳, 徐辰生, 何欢辉, 曾强, 陈楠, 李小龙, 任天宝, 姬小明, 刘国顺 (422)
植被恢复对刺萼龙葵根际土壤细菌群落结构与功能的影响	张瑞海, 宋振, 付卫东, 郭玲玲, 高金会, 王然, 王忠辉, 张国良 (433)
黄壤稻田土壤微生物量碳氮及水稻品质对生物炭配施氮肥的响应	史登林, 王小利, 刘安凯, 侯再芬, 梁国太 (443)
等碳量添加秸秆和生物炭对土壤呼吸及微生物量碳氮的影响	何甜甜, 王静, 符云鹏, 符新妍, 刘天, 李亚坤, 李建华 (450)
秸秆与氮肥配比对农田土壤内外源碳释放的影响	孙昭安, 张轩, 胡正江, 王开永, 陈清, 孟凡乔 (459)
生物炭与化肥混合对氨挥发和磷固定的影响	杨文娜, 邓正昕, 李娇, 郑杰炳, 王子芳, 高明 (467)
氮肥减投条件下膜材料使用对稻田氨挥发排放的影响	俞映惊, 王梦凡, 杨根, 何世颖, 段婧婧, 杨林章, 薛利红 (477)
微塑料对斑马鱼胚胎孵化影响及其在幼鱼肠道中的积累	赵佳, 饶本强, 郭秀梅, 高进勇 (485)
无人机热红外支持下的城市微尺度热环境模拟	阳少奇, 冯莉, 田慧慧, 刘艳霞 (492)
基于人居尺度的中国城市热岛强度时空变化及其驱动因子解析	孙艳伟, 王润, 郭青海, 高超 (501)

不同植物覆盖下黄河三角洲湿地土壤中微塑料的分布

岳俊杰¹, 赵爽¹, 程昊东¹, 段鑫越¹, 石洪华², 汪磊³, 端正花^{1,3*}

(1. 天津理工大学环境科学与安全工程学院, 天津 300384; 2. 自然资源部第一海洋研究所, 青岛 266061; 3. 南开大学环境科学与工程学院, 天津 300350)

摘要: 为揭示黄河三角洲湿地地区土壤中微塑料分布与植物覆盖的相关性, 选择低盐优势物种芦苇 (*Phragmites communis*) 和高盐优势物种盐地碱蓬 (*Suaeda salsa*) 为研究对象, 探讨其生长土壤共计 16 个样点中微塑料的分布特征. 结果表明, 该地区植物覆盖土壤中微塑料丰度范围为 $80 \sim 4\,640 \text{ n} \cdot \text{kg}^{-1}$, 粒径范围为 $13 \mu\text{m} \sim 5 \text{ mm}$, 大粒径微塑料成分主要有聚乙烯 (PE)、聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET) 和聚苯乙烯 (PS), 其中 PET 含量为 $0.22 \sim 1.16 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$. 芦苇相对盐地碱蓬对土壤中微塑料有更大的阻隔. 芦苇生长点位上土壤微塑料丰度和 PET 含量均值分别为 $1\,423 \text{ n} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $0.62 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 以 $50 \mu\text{m}$ 以下粒径的小颗粒为主; 盐地碱蓬生长点位上土壤微塑料丰度均值和 PET 含量分别为 $584 \text{ n} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $0.33 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 以 $100 \sim 1\,000 \mu\text{m}$ 粒径的碎片和纤维为主. 微塑料丰度与植物生长状况具有显著相关性 ($P=0.001$). 因此, 同一区域不同植物覆盖下土壤中微塑料的分布可能会存在空间差异.

关键词: 黄河三角洲湿地; 微塑料 (MPs); 植物覆盖; 芦苇; 盐地碱蓬; 相关性

中图分类号: X171.5 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2021)01-0204-07 DOI: 10.13227/j.hj.kx.202005030

Distribution of Micro-plastics in the Soil Covered by Different Vegetation in Yellow River Delta Wetland

YUE Jun-jie¹, ZHAO Shuang¹, CHENG Hao-dong¹, DUAN Xin-yue¹, SHI Hong-hua², WANG Lei³, DUAN Zheng-hua^{1,3*}

(1. School of Environmental Science and Safety Engineering, Tianjin University of Technology, Tianjin 300384, China; 2. First Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources, Qingdao 266061, China; 3. College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300350, China)

Abstract: Micro-plastics (MPs) pollution has been a hotspot in soil environment. To explore the correlation of the vegetation cover and the distribution of MPs in Yellow River Delta wetland, the characters of MPs in the soil sampled at 16 sites where reed (*Phragmites communis*, a low-salt dominant species) and *Suaeda salsa* (a high-salt dominant species) covered were investigated. The abundance of MPs here ranged to $80 \sim 4\,640 \text{ n} \cdot \text{kg}^{-1}$, and the particle size ranged to $13 \mu\text{m} \sim 5 \text{ mm}$. The main components of MPs with large size were polyethylene (PE), polyethylene terephthalate (PET) and polystyrene (PS), and the content of PET ranged to $0.22 \sim 1.16 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$. The barrier effect of reed on MPs was higher than that of *Suaeda salsa*. The average abundance of MPs and PET contents at the sites where reed covered were $1\,423 \text{ n} \cdot \text{kg}^{-1}$ and $0.62 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, and they mainly consisted of small particles with a size less than $50 \mu\text{m}$. The average abundance of MPs and PET contents at the site *Suaeda salsa* covered were $584 \text{ n} \cdot \text{kg}^{-1}$ and $0.33 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, and they mainly consisted of fragments and fibers with a size ranged to $100 \sim 1\,000 \mu\text{m}$. The abundance of MPs in the soil was significantly correlated with the growth statues of the vegetations ($P=0.001$). Therefore, the distribution of MPs in the soil in the same area covered by different vegetation might be spatial different.

Key words: Yellow River Delta Wetland; micro-plastics (MPs); vegetation cover; *Phragmites communis*; *Suaeda salsa*; correlation

微塑料 (micro-plastics, MPs) 正越来越成为受关注的持久性污染物^[1,2]. 全球有 1% 的塑料废物直接排放到海洋环境中, 其余大部分排放到土壤和淡水中^[3]. 黄河三角洲湿地 (山东东营) 靠近渤海湾, 黄河故道 (原黄河入海口) 及现黄河入海流经该地区, 有着丰富的湿地资源. 但是受人为活动及土壤盐渍化的影响, 大面积的沿海湿地正遭受严重退化, 面临潜在的环境污染问题^[4,5]. 由于近几年该地区集中发展海水养殖、旅游、交通运输、石油生产、采矿、海上垂钓、港口建设和填海工程, 并且人口增长, 导致大量塑料碎片进入沿海海滩和海洋. 渤海沉积物的平均微塑料丰度为 $172 \text{ n} \cdot \text{kg}^{-1}$, 其中纤维和碎片

是最常见的形态^[6]. Zhou 等^[7] 的研究报道山东省海滩微塑料丰度为 $1 \sim 14\,712 \text{ n} \cdot \text{kg}^{-1}$.

微塑料在土壤环境中广泛存在^[8~10]. 目前土壤中微塑料危害的相关研究多侧重于微塑料对土壤结构和植物生长的影响^[11,12]. 不同植物覆盖度也会影响湿地土壤中微塑料的空间分布^[13,14]. 如红树林湿地植被在截留大粒径塑料颗粒方面发挥了重要作用

收稿日期: 2020-05-06; 修订日期: 2020-07-01

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41807487, 51779048, 51878448); 山东省专项海洋科技资金重大科技创新工程项目 (2018SDKJ0505)

作者简介: 岳俊杰 (1977~), 女, 博士, 副教授, 主要研究方向为水污染控制, E-mail: yue_junjie@163.com

* 通信作者, E-mail: duanzhenghua@mail.nankai.edu.cn

用^[15]. 但是同一湿地区域不同植被覆盖土壤中微塑料的分布和来源是否存在差异, 目前尚鲜见相关报道.

前期工作发现, 黄河三角洲湿地微塑料丰度较高^[16]. 低盐生境下的芦苇(*Phragmites communis*)和高盐生境下的盐地碱蓬(*Suaeda salsa*)是黄河三角洲湿地的优势物种^[17], 遍布于不同区域. 本研究以芦苇和盐地碱蓬两种植物为对象, 调查黄河三角洲地区不同植物生长点位上土壤中微塑料的丰度、形态、粒径和成分的差异, 探讨植物生长状况对微塑料的阻隔作用, 分析不同生长点位上微塑料的来源, 以期为湿地土壤微塑料防治和管理提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 土壤样品采集

土样采集于山东省境内的黄河三角洲(东营)湿地. 湿地内有黄河干流入海口和东营市水源地利津. 采样时间为 2018 年 10 月 26 ~ 31 日(处于汛期), 水位平均高度为 10.66 m, 平均流量为 381.33 m³·s⁻¹, 平均含沙量为 0.78 kg·m⁻³.

本研究中采用大样本法, 以手持 GPS 定位仪进行定位. 地理位置为 118.67°~119.13°E、37.76°~38.08°N, 海拔 4 m. 直接对该湿地生长有芦苇和盐地碱蓬 16 个样点的土壤进行剖面采样, 分别标记为 R-1、R-2、R-3、R-4、R-5、R-6、R-7、R-8、R-9 和 R-10 以及 S-1、S-2、S-3、S-4、S-5 和 S-6, 并设置无植被生长的地区为对照点(图 1). 采用“五点采样法”, 采集每个采样点 5 个小样方表层 2 cm 的土壤^[18], 等量均匀混合后为一个样品.

随后将采集的土壤装入牛皮纸档案袋运回实验

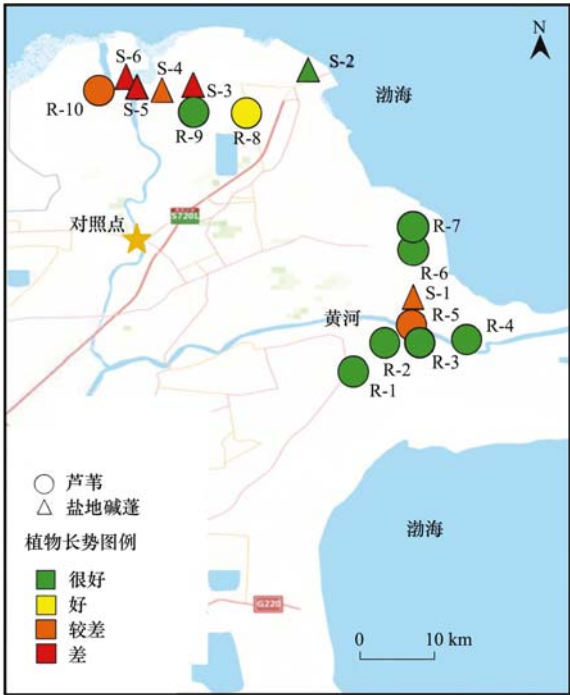


图 1 采样点植物分布及植株生长状况
Fig. 1 Distribution and growth status of the vegetation at the sampling sites

室, 置于冰柜内 -20℃ 储存. 植物生长状况和分级标准如表 1 和图 2 所示.

表 1 植物生长状况描述及分级

Table 1 Description and classification in the status of vegetation growth			
级别	分级标准	芦苇	盐地碱蓬
1	很好	植株绿色, 茂盛	叶脉红色, 景色优美
2	好	叶脉渐黄	枯黄, 上部仍为红色
3	较差	叶脉枯黄	枯黄
4	差	稀疏枯萎, 死亡较多	稀疏枯萎, 死亡较多

1.2 土壤微塑料筛选方法比较

土壤中微塑料通常采用密度分离法进行分离. 先



(a) 芦苇; (b) 盐地碱蓬

图 2 采样点植物及周边环境

Fig. 2 Vegetation in the sampling site and the surrounding environment

筛分出干燥土壤样品中大粒径微塑料,即将肉眼可见的微塑料先挑出(过 2 mm 筛,挑选出其中微塑料颗粒并测量粒径),再针对小粒径微塑料进一步进行浮选分离,并消化提取物中的有机物质。目前浮选溶液包括 NaCl ($\rho = 1.18 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$)^[19]、NaI ($\rho = 1.6 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$)^[20] 和 ZnCl_2 ($\rho = 1.6 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$)^[21]。消化溶液包括强酸($\text{HCl}\cdot\text{H}_2\text{SO}_4$ 或 HNO_3)^[22] 和 H_2O_2 ^[23]。由于植物覆盖土壤成分复杂,本研究在此基础上进行了改进,并与前人的方法进行了效果比较。

具体方法为:称取过筛(2 mm)后 1 kg(干重)土壤样品用于微塑料浮选。加入 ZnCl_2 溶液($\rho = 1.6 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$),静置 6 h 后收集上清液,利用真空抽滤装置得到上层漂浮物。将该过程重复 3 次。在收集到的漂浮物中加入 30% H_2O_2 , 70℃ 水浴加热以除去漂浮物中的有机质及植物纤维。待滤膜抽滤风干后,依照文献[6, 24]的方法,采用体式显微镜(TIPS100W, Nikon, 日本)对滤膜上的微塑料从左到右 Z 字形进行识别、拍照和计数。判断依据:微塑料无细胞结构,用烧热的针尖接触样品,微塑料会产生融化和卷曲,并产生区别于生物质的特殊气味。以样本均值计微塑料丰度,单位 $\text{n}\cdot\text{kg}^{-1}$ (以干重计)。对微塑料的粒径大小进行测量时,以其最长一边计算。

1.3 微塑料成分鉴定

采用傅立叶变换红外光谱仪(FT-IR, Thermo Nicolet iS 50, 美国)对筛选出来粒径大于 1 mm 的微塑料的进行鉴定。具体方法为:先用针尖挑选出肉眼可见的大于 1 mm 的微塑料微粒,应用透射模式,对其在 $500 \sim 4000 \text{ cm}^{-1}$ 范围内进行傅里叶变换红外光谱测定,得出红外光谱。将上述测定光谱通过 OMNIC 软件(Thermo Fisher Scientific, 美国)在图库(HR Nicolet Sample Library)中比对,进行成分定性分析。只有那些与标准数据库匹配超过 70% 的光谱是可以接受的^[25]。

1.4 PET 含量的测定

参考 Wang 等^[26]的方法测定土壤中聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)的含量。具体方法为:称取 1 g 过筛后的土样(干重),加入适量 KOH 与 1-戊醇, 130℃ 下磁力搅拌加热 30 min,将高分子的 PET 裂解成小分子的对-苯二甲酸(PTA);将解聚后溶液的 pH 值调节至 2~3,再对其进行固相萃取;利用氮吹仪将萃取得到的溶液浓缩至 1 mL,并加入甲醇,离心取上清液,采用气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)测定荷质比,根据以下公式^[25]换算 PET 的含量。

$$\text{PET}_{\text{amount}} = \frac{(\text{PTA}_{\text{depolym}} - \text{PTA}_{\text{non-depolym}}) \times \text{MW}_{(\text{PTA-H}_2\text{O})}}{f_{(\text{PTA-H}_2\text{O})} \times \text{MW}_{\text{PTA}}}$$

1.5 统计分析

采用 ArcGIS10.3 (ESRI, Redlands, CA, 美国)软件绘制采样地点位分布。采用 Origin 9.0 软件绘制图表并进行数据统计分析,结果以均值形式表示。采用 Origin2019b 软件分析微塑料丰度、PET 含量和植物生长状况相互之间的相关性。Pearson 系数 r 的符号代表正负相关,绝对值越接近 1 其相关性越强, $P < 0.05$ 表示显著相关。

2 结果与分析

2.1 不同点位植物生长状况

芦苇和盐地碱蓬生长状况呈区域分布(图 1)。芦苇生长区域大部分位于黄河三角洲旅游观光区,人为活动较为频繁。该区域内芦苇生长茂密、叶脉鲜绿、景色优美;黄河以北内陆地区芦苇(R-5)生长较差,叶片枯黄,夹杂在中间的盐地碱蓬(S-1)也呈枯黄状态。盐地碱蓬大部位生长在生态保护区。该地区人为活动较少,植株生长状况较差、稀疏枯萎,甚至根部死亡较多。而该区域内渤海水域附近盐地碱蓬(S-2)和内湖水域附近芦苇(R-8、R-9)却生长较好。

2.2 微塑料筛分方法比较

与现有方法相比,本研究改进方法对于植物生长土壤中微塑料具有很好地提取效率。土壤样本中筛分出的微塑料含量高出其它方法 23% 以上(表 2),并且提取物杂质较少,方便进一步成分鉴定。氯化锌(ZnCl_2)溶液可溶解纤维素。经其搅拌浸泡后的土壤样品可析出微塑料,并漂浮在溶液表面,提升了筛分出的微塑料的含量。目前一般采用强酸(HCl 、 H_2SO_4 或 HNO_3)消化有机质,但研究发现这些酸会破坏聚合物,对鉴别微塑料不利^[27]。相较于现有技术所用的强酸, H_2O_2 消解不会对微塑料聚合物造成破坏,不会影响后续微塑料的鉴别,并且通过对样品的前处理和消化时间进行改进,可以更有效地对黄河三角洲湿地地区微塑料进行筛分。

表 2 不同微塑料筛分方法比较

项目	浮选	消解	MPs 丰度/ $\text{n}\cdot\text{kg}^{-1}$
现有方法	NaCl + NaI	2% HCl	3 440 ^[7]
	NaCl + NaI	30% H_2O_2	3 760 ^[7]
	ZnCl_2	2% HCl	3 720 ^[27]
本研究	ZnCl_2	30% H_2O_2	4 640

2.3 不同点位微塑料的分布

2.3.1 形态分析

黄河三角洲湿地无植物生长对照土壤中微塑料主要有颗粒、纤维和碎片这 3 种形态,所占比例分别

为 16.67%、33.33% 和 50% (图 3)。植物覆盖土壤样品中存在颗粒、碎片、纤维和薄膜这 4 种不同形态的微塑料。两种植物生长点位土壤中微塑料形态分布存在差异(图 4)。芦苇生长点位土壤中微塑料颗粒比例偏高,比例约为 46.05%;其次为碎片,比例约 27.52%。盐地碱蓬生长点位微塑料碎片比例较高,约为 43.84%;其次为纤维,比例约为 36.30%。

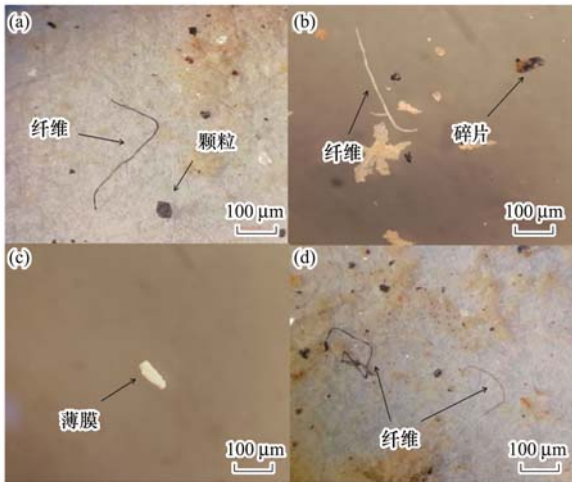


图 3 微塑料的形态分析
Fig. 3 Shapes of sampling MPs

2.3.2 粒径分析

该地区微塑料的粒径范围为 13 μm ~ 5 mm。对照点微塑料以 100 ~ 1 000 μm 粒径的微塑料碎片和纤维为主,比例约为 84.4% (图 4)。两种植物生长点位土壤中微塑料粒径分布也存在差异。芦苇生长点位土壤中微塑料以 50 μm 以下粒径的小颗粒为主,比例约占 62.50%;其次为 50 ~ 100 μm 粒径的

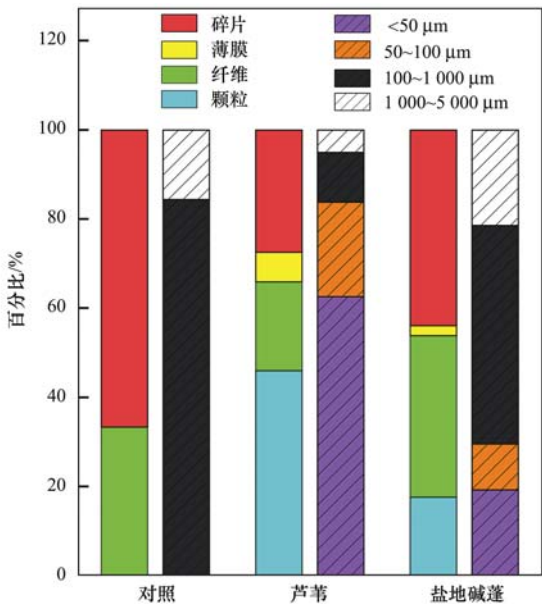


图 4 微塑料形态和粒径分布
Fig. 4 Shape and size distribution of MPs

颗粒和碎片。盐地碱蓬生长点位土壤中微塑料以 100 ~ 1 000 μm 粒径的微塑料碎片和纤维为主,比例约为 49.04%;其次为 1 000 μm 以上的纤维。

2.3.3 成分分析

对随机选取的 60 个粒径 > 1 mm 的微塑料进行傅立叶红外定性检测,经 OMNIC 图库比对,有 43 个可以判定为塑料成分,其中 23% 为聚乙烯 (PE)、35% 为聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET) 和 42% 为聚苯乙烯 (PS) (图 5)。剩余部分微塑料由于无法在谱库中进行合适的匹配,化学成分不确定。

由于实验设备所限,本研究没能对更小尺寸的微塑料进行显微傅立叶红外检测,因此上述结果仅反映粒径 > 1 mm 微塑料的材质组成比例情况。两种植物覆盖土壤中大粒径微塑料的组成成分上无显著差异。为进一步证明筛分结果的可靠性,本研究根据文献[23]的方法,进一步测定了各点位 PET 的含量。

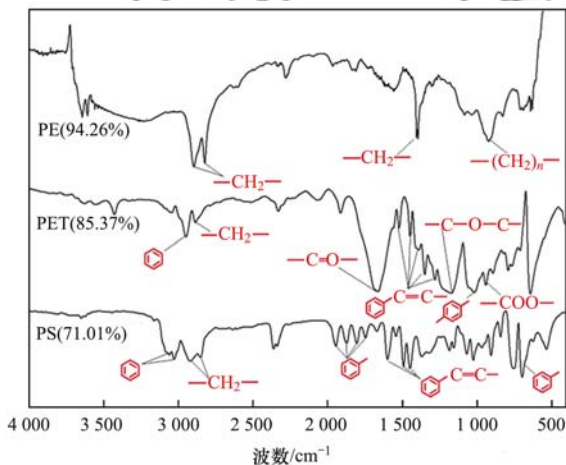


图 5 微塑料的成分分析
Fig. 5 Components of sampling MPs

2.3.4 丰度和 PET 含量的分布

该地区植物覆盖土壤中微塑料丰度范围为 80 ~ 4 640 n·kg⁻¹, PET 含量为 0.22 ~ 1.16 μg·kg⁻¹ (表 3),并且微塑料丰度和 PET 含量存在很好地相关性[图 6(b); r = 0.58, P < 0.05],证明了本研究中微塑料筛选方法的可靠性。

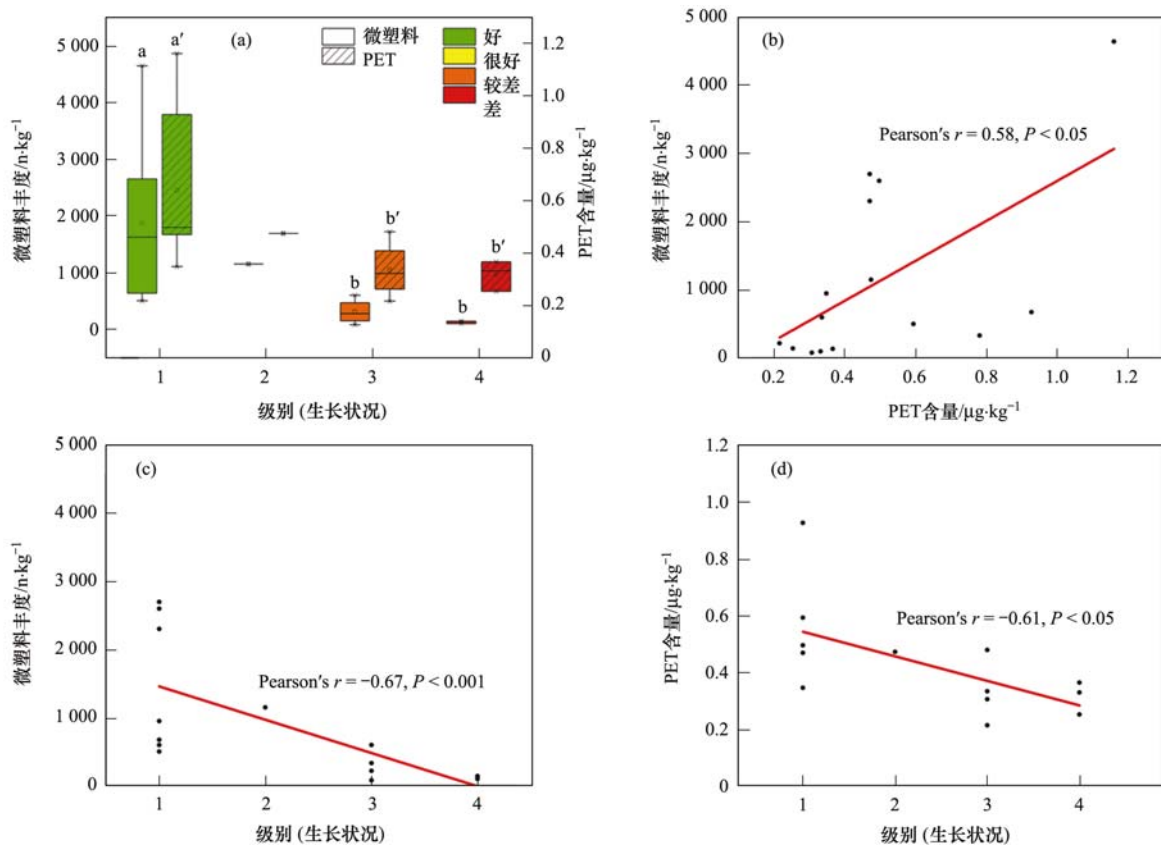
表 3 微塑料丰度及土壤理化性质				
Table 3 MPs abundance and soil physicochemical properties				
项目	指标	MPs 丰度 /n·kg ⁻¹	PET 含量 /μg·kg ⁻¹	含水率 /%
对照	均值	60	0.16	34.67
	中值	1 423	0.62	31.74
	SD	813	0.50	3.47
芦苇	均值	1 442	0.28	2.88
	中值	584	0.33	26.20
	SD	182	0.33	17.84
盐地碱蓬	均值	861	0.09	14.94
	中值			6.01
	SD			10.06

微塑料丰度和 PET 含量均表现为植物生长点位显著高于无植物生长的对照点(表 3),并且不同植物生长点位微塑料丰度和 PET 含量也存在差异.对照点微塑料丰度和 PET 的含量最低,分别为 $60 \text{ n} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $0.16 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$. 芦苇生长点位微塑料丰度 PET 的含量都较高,均值分别为 $1\,423 \text{ n} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $0.62 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$. 其中 R-9 点位微塑料丰度和 PET 含量最高,分别为 $4\,640 \text{ n} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $1.16 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$;该地区有明显人为翻耕土地痕迹,芦苇生长茂盛、状态最好. R-10 点位微塑料丰度和 PET 含量最低,分别为 $80 \text{ n} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $0.31 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$;该地区芦苇枯黄、稀疏,生长状态较差. 盐地碱蓬生长点位微塑料丰度和 PET 含量较

低,均值分别为 $584 \text{ n} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $0.33 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$. 其中 S-2 点位微塑料丰度和 PET 含量最高,分别为 $2\,302 \text{ n} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $0.47 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$. 该地区盐地碱蓬叶脉深红、景色优美、生长状态也最好; S-3、S-5 和 S-6 点位上盐地碱蓬死亡较多,微塑料丰度约为 $100 \text{ n} \cdot \text{kg}^{-1}$ 左右.

2.4 植物生长状况对微塑料阻隔作用

总体来看,微塑料的丰度与植物的生长状况显著相关[图 6(a)和 6(c); $r = -0.67, P = 0.001$]. 植物生长状态越好,该点位的微塑料丰度越高. 该地区 PET 的含量也表现出一致性[图 6(a)和 6(d); $r = -0.61, P < 0.05$],植物生长状态越好,该点位的 PET 含量也越高.



(a) 中不同小写字母表示组间差异显著

图 6 土壤中微塑料丰度和 PET 含量与植物生长状况的相关性

Fig. 6 Relationship between the abundance of MPs and PET contents in the soil and the growth status of vegetation

3 讨论

河流径流,大气沉降,植被阻隔等均影响土壤中微塑料的分布^[28,29]. 近年来由于黄河水源的非持续供应,海水不断侵蚀,加之蒸发量远远高于水分补给量,使黄河三角洲土壤盐碱化现象日益严重. 过量的盐度可以抑制湿地植物物种的繁殖和生长,及植物响应盐胁迫的生存能力^[30,31]. 因此,本文以低盐植物(芦苇)和耐盐植物(盐地碱蓬)为研究对象,比较

了同一区域不同植物覆盖地区微塑料的分布特征.

黄河三角洲地区植物覆盖土壤中微塑料丰度范围为 $80 \sim 4\,640 \text{ n} \cdot \text{kg}^{-1}$. 1 mm 以下粒径微塑料约占 80% 以上. 这与国内其它湿地地区微塑料的粒径分布相同^[29,32]. 大粒径($1 \sim 5 \text{ mm}$)微塑料平均丰度为 $98 \text{ n} \cdot \text{kg}^{-1}$. 意大利波河三角洲(Po River Delta)大粒径微塑料($1 \sim 5 \text{ mm}$)丰度为 $3 \sim 23 \text{ n} \cdot \text{kg}^{-1}$ ^[33]. 因此,与其它湿地相比,黄河三角洲地区微塑料含量较高.

黄河三角洲湿地同一区域不同植物覆盖下微塑料丰度、形态和粒径分布均存在差异。芦苇属于观赏植物,生长状态优美,生长点位大部分处于观光旅游区,游客造成的人为污染较多,在采样的过程中可以看到有丢弃的垃圾袋和塑料泡沫;另一方面,芦苇生长茂盛,对微塑料的阻隔作用也更显著。因此,芦苇生长状况与其生长点位上土壤微塑料丰度的相关性相对盐地碱蓬更为显著($P=0.004$)。芦苇生长点位土壤中的微塑料主要是 $50\ \mu\text{m}$ 以下粒径的小颗粒,占 60% 以上。颗粒的高比例可能来自陆地原始塑料的降解^[34]。芦苇生长点位含水率较高,微塑料也更容易呈小颗粒状分布^[35]。另一方面,颗粒态微塑料相对纤维和碎片态更易于沉降^[36]。此外,湿地中挺水和沉水植物的茎和叶通过降低水流流速和紊流状态,能够增强颗粒的沉降和截留^[14],从而使得颗粒态微塑料于涨潮时在挺水植物芦苇地带聚集。

黄河三角洲湿地盐地碱蓬生长点位大部分处于生态保护区,人为活动较少。该地区盐度较高,盐地碱蓬大部分生长状况较差,对微塑料的阻隔作用也较弱,微塑料丰度较低。植物覆盖土壤中微塑料以 $100\sim1\,000\ \mu\text{m}$ 粒径的微塑料碎片和纤维为主,约占 50% 左右。该地区无植物生长的对照点土壤中微塑料也是以 $100\sim1\,000\ \mu\text{m}$ 粒径的微塑料碎片和纤维为主,对应于渤海沉积物中微塑料的常见现状为碎片和纤维^[6]。这与珠江口^[29]和新加坡^[37]红树林湿地的微塑料调查结果一致。因此,盐地碱蓬生长点位土壤中微塑料可能主要来自于海域的迁移。

该地区内不同植物,即芦苇和盐地碱蓬覆盖的土壤中微塑料分布存在较大差别。这首先可能归因于土地不同用途带来微塑料不同程度的人为污染^[8]。芦苇和盐地碱蓬分别主要生长在观光旅游区和生态保护区,芦苇生长区域受人类活动影响严重,土壤中微塑料丰度显著高于盐地碱蓬覆盖的区域。另一方面,不同植物对大气中颗粒物可能会产生不同的阻隔作用^[38],进而影响微塑料的大气沉降。湿地植物叶面气孔宽度和表面粗糙程度对植物附着颗粒物的能力起主导作用,它们与大气颗粒物的附着量分别呈显著的正相关关系^[39,40]。芦苇叶片宽阔,对大气中微塑料颗粒物的滞留能力可能超过叶片细长如针形的盐地碱蓬,这也在一定程度上解释了微塑料形态和粒径分布存在的差异,即芦苇生长点位上微塑料以 $50\ \mu\text{m}$ 以下粒径的小颗粒为主,盐地碱蓬生长点位上以 $100\sim1\,000\ \mu\text{m}$ 粒径的微塑料碎片和纤维为主。

4 结论

(1) 黄河三角洲地区植物覆盖土壤中微塑料丰

度范围为 $80\sim4\,640\ \text{n}\cdot\text{kg}^{-1}$,粒径范围为 $13\ \mu\text{m}\sim5\ \text{mm}$,大粒径微塑料成分主要有 PE、PET 和 PS,其中 PET 含量为 $0.22\sim1.16\ \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

(2) 不同植物覆盖土壤中微塑料的分布特征不同。芦苇生长点位上微塑料含量较高,并以 $50\ \mu\text{m}$ 以下粒径的小颗粒为主;盐地碱蓬生长点位上微塑料含量较低,并以 $100\sim1\,000\ \mu\text{m}$ 粒径的微塑料碎片和纤维为主。

参考文献:

- [1] Duan Z H, Duan X Y, Zhao S, *et al.* Barrier function of zebrafish embryonic chorions against microplastics and nanoplastics and its impact on embryo development[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2020, **395**, doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.122621.
- [2] Wang L, Wu Y H, Sun H W, *et al.* Distribution and dissipation pathways of nonylphenol polyethoxylates in the Yellow River: site investigation and lab-scale studies [J]. *Environment International*, 2006, **32**(7): 907-914.
- [3] Tan X L, Yu X B, Cai L Q, *et al.* Microplastics and associated PAHs in surface water from the Feilaixia Reservoir in the Beijiang River, China[J]. *Chemosphere*, 2019, **221**: 834-840.
- [4] 宋佳伟,徐刚,张杨,等.环渤海芦苇湿地磷的吸附容量及释放风险评估[J].*环境科学*, 2020, **41**(2): 728-733.
Song J W, Xu G, Zhang Y, *et al.* Phosphorus storage capacity and loss risk in coastal reed wetland surrounding Bohai Sea[J]. *Environmental Science*, 2020, **41**(2): 728-733.
- [5] 刘兆冰,梁文健,秦礼群,等.渤海和北黄海有色溶解有机物(CDOM)的分布特征和季节变化[J].*环境科学*, 2019, **40**(3): 1198-1208.
Liu Z B, Liang W J, Qin L P, *et al.* Distribution and seasonal variations of chromophoric dissolved organic matter (CDOM) in the Bohai Sea and the North Yellow Sea [J]. *Environmental Science*, 2019, **40**(3): 1198-1208.
- [6] Zhao J M, Ran W, Teng J, *et al.* Microplastic pollution in sediments from the Bohai Sea and the Yellow Sea, China[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, **640-641**: 637-645.
- [7] Zhou Q, Zhang H B, Fu C C, *et al.* The distribution and morphology of microplastics in coastal soils adjacent to the Bohai Sea and the Yellow Sea [J]. *Geoderma*, 2018, **322**: 201-208.
- [8] Zhang G S, Liu Y F. The distribution of microplastics in soil aggregate fractions in southwestern China [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, **642**: 12-20.
- [9] De Souza Machado A A, Lau C W, Kloas W, *et al.* Microplastics can change soil properties and affect plant performance[J]. *Environmental Science & Technology*, 2019, **53**(10): 6044-6052.
- [10] De Souza Machado A A, Lau C W, Till J, *et al.* Impacts of microplastics on the soil biophysical environment [J]. *Environmental Science & Technology*, 2018, **52**(17): 9656-9665.
- [11] Wang W F, Ge J, Yu X Y, *et al.* Environmental fate and impacts of microplastics in soil ecosystems: Progress and perspective[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, **708**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.134841.
- [12] Wan Y, Wu C X, Xue Q, *et al.* Effects of plastic contamination on water evaporation and desiccation cracking in soil[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, **654**: 576-582.

- [13] Lozano Y M, Rillig M C. Effects of microplastic fibers and drought on plant communities[J]. *Environmental Science & Technology*, 2020, **54**(10): 6166-6173.
- [14] Helcoski R, Yonkos L T, Sanchez A. Wetland soil microplastics are negatively related to vegetation cover and stem density[J]. *Environmental Pollution*, 2020, **256**, doi 10.1016/j.envpol.2019.113391.
- [15] Martin C, Almahasheer H, Duarte C M. Mangrove forests as traps for marine litter[J]. *Environmental Pollution*, 2019, **247**: 499-508.
- [16] Duan Z H, Zhao S, Zhao L J, *et al.* Microplastics in Yellow River Delta wetland: occurrence, characteristics, human influences, and marker[J]. *Environmental Pollution*, 2020, **258**, doi: 10.1016/j.envpol.2019.113232.
- [17] 卢晓宁, 黄玥, 洪佳, 等. 基于 Landsat 的黄河三角洲湿地景观时空格局演变[J]. *中国环境科学*, 2018, **38**(11): 4314-4324.
Lu X N, Huang Y, Hong J, *et al.* Spatial and temporal variations in wetland landscape patterns in the Yellow River Delta based on Landsat images[J]. *China Environmental Science*, 2018, **38**(11): 4314-4324.
- [18] 刘淑丽, 简敏菲, 周隆胤, 等. 鄱阳湖湿地候鸟栖息地微塑料污染特征[J]. *环境科学*, 2019, **40**(6): 2639-2646.
Liu S L, Jian M F, Zhou L Y, *et al.* Pollution characteristics of microplastics in migratory bird habitats located within Poyang Lake wetlands[J]. *Environmental Science*, 2019, **40**(6): 2639-2646.
- [19] 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.
- [20] Han X X, Lu X Q, Vogt R D. An optimized density-based approach for extracting microplastics from soil and sediment samples[J]. *Environmental Pollution*, 2019, **254**, doi: 10.1016/j.envpol.2019.113009.
- [21] Jiang C B, Yin L S, Li Z W, *et al.* Microplastic pollution in the rivers of the Tibet Plateau[J]. *Environmental Pollution*, 2019, **249**: 91-98.
- [22] Scheurer M, Bigalke M. Microplastics in Swiss floodplain soils[J]. *Environmental Science & Technology*, 2018, **52**(6): 3591-3598.
- [23] Li X W, Chen L B, Mei Q Q, *et al.* Microplastics in sewage sludge from the wastewater treatment plants in China[J]. *Water Research*, 2018, **142**: 75-85.
- [24] Peng G Y, Zhu B S, Yang D Q, *et al.* Microplastics in sediments of the Changjiang Estuary, China[J]. *Environmental Pollution*, 2017, **225**: 283-290.
- [25] Liu C G, Li J, Zhang Y L, *et al.* Widespread distribution of PET and PC microplastics in dust in urban China and their estimated human exposure[J]. *Environment International*, 2019, **128**: 116-124.
- [26] Wang L, Zhang J J, Hou S G, *et al.* A simple method for quantifying polycarbonate and polyethylene terephthalate microplastics in environmental samples by liquid chromatography-tandem mass spectrometry[J]. *Environmental Science & Technology Letters*, 2017, **4**(12): 530-534.
- [27] 赵楚云, 李小伟, 张鸿元, 等. 化学预处理对微塑料 Pb 吸附潜力的影响及机理研究[J]. *环境科学学报*, 2019, **39**(10): 3387-3394.
- [28] Zhao C Y, Li X W, Zhang H Y, *et al.* Effect of chemical pretreatment on adsorption of Pb to microplastics[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2019, **39**(10): 3387-3394.
- [29] Tang G W, Liu M Y, Zhou Q, *et al.* Microplastics and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Xiamen coastal areas: implications for anthropogenic impacts[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, **634**: 811-820.
- [30] Zuo L Z, Sun Y X, Li H X, *et al.* Microplastics in mangrove sediments of the Pearl River Estuary, South China: Correlation with halogenated flame retardants' levels[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, **725**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138344.
- [31] Cheng X, Zhu H, Bañuelos G, *et al.* Saline-alkaline tolerance of hygrophilous plant species during their asexual propagation and continued growth stages[J]. *South African Journal of Botany*, 2018, **118**: 129-137.
- [32] 管博, 于君宝, 陆兆华, 等. 黄河三角洲滨海湿地水盐胁迫对盐地碱蓬幼苗生长和抗氧化酶活性的影响[J]. *环境科学*, 2011, **32**(8): 2422-2429.
Gan B, Yu J B, Lu Z H, *et al.* Effects of water-salt stresses on seedling growth and activities of antioxidative enzyme of *Suaeda salsa* in coastal wetlands of the Yellow River Delta[J]. *Chinese Journal of Environmental Science*, 2011, **32**(8): 2422-2429.
- [33] Liu S L, Jian M F, Zhou L Y, *et al.* Distribution and characteristics of microplastics in the sediments of Poyang Lake, China[J]. *Water Science and Technology*, 2019, **79**(10): 1868-1877.
- [34] Piehl S, Mitterwallner V, Atwood E C, *et al.* Abundance and distribution of large microplastics (1-5 mm) within beach sediments at the Po River Delta, northeast Italy[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2019, **149**, doi: 10.1016/j.marpolbul.2019.110515.
- [35] Santana M F M, Ascer L G, Custódio M R, *et al.* Microplastic contamination in natural mussel beds from a Brazilian urbanized coastal region: rapid evaluation through bioassessment[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2016, **106**(1-2): 183-189.
- [36] Gillibert R, Balakrishnan G, Deshoules Q, *et al.* Raman Tweezers for small microplastics and nanoplastics identification in seawater[J]. *Environmental Science & Technology*, 2019, **53**(15): 9003-9013.
- [37] Allen S, Allen D, Phoenix V R, *et al.* Atmospheric transport and deposition of microplastics in a remote mountain catchment[J]. *Nature Geoscience*, 2019, **12**(5): 339-344.
- [38] Nor N H M, Obbard J P. Microplastics in Singapore's coastal mangrove ecosystems[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2014, **79**(1-2): 278-283.
- [39] 张维康, 王兵, 牛香. 北京不同污染地区园林植物对空气颗粒物的滞纳能力[J]. *环境科学*, 2015, **36**(7): 2381-2388.
Zhang W K, Wang B, Niu X. Adsorption capacity of the air particulate matter in urban landscape plants in different polluted regions of Beijing[J]. *Environmental Science*, 2015, **36**(7): 2381-2388.
- [40] Yan G X, Cong L, Zhai J X, *et al.* Particle removal in polluted cities: insights from the wash-off process dynamics for different wetland plants[J]. *Journal of Environmental Management*, 2019, **245**: 114-121.
- [41] Xu X W, Yu X X, Bao L, *et al.* Size distribution of particulate matter in runoff from different leaf surfaces during controlled rainfall processes[J]. *Environmental Pollution*, 2019, **255**, doi: 10.1016/j.envpol.2019.113234.

CONTENTS

Concurrent Collection of Ammonia Gas and Aerosol Ammonium in Urban Beijing During National Celebration Days Utilizing an Acid-Coated Honeycomb Denuder in Combination with a Filter System	GU Meng-na, PAN Yue-peng, SONG Lin-lin, <i>et al.</i>	(1)
Heavy Pollution Episode in Tianjin Based on UAV Meteorological Sounding and Numerical Model	YANG Xu, CAI Zi-ying, HAN Su-qin, <i>et al.</i>	(9)
Characteristics and Sources of PM _{2.5} Pollution in Typical Cities of the Central Plains Urban Agglomeration in Autumn and Winter	MIAO Qing-qing, JIANG Nan, ZHANG Rui-qin, <i>et al.</i>	(19)
Characteristics and Sources of Water-soluble Ion Pollution in PM _{2.5} in Winter in Shenyang	WANG Guo-zhen, REN Wan-hui, YU Xing-na, <i>et al.</i>	(30)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Heavy Metals in PM _{2.5} Collected in Baoding	LEI Wen-kai, LI Xing-ru, ZHANG Lan, <i>et al.</i>	(38)
Source Apportionment of Ambient Carbonyl Compounds Based on a PMF and Source Tracer Ratio Method: A Case Based on Observations in Nanjing	HU Kun, WANG Ming, WANG Hong-li, <i>et al.</i>	(45)
Characterization and Source Apportionment of Atmospheric VOCs in Tianjin in 2019	GAO Jing-yun, XIAO Zhi-mei, XU Hong, <i>et al.</i>	(55)
Characteristics and Source Apportionment of Ambient VOCs in Spring in Liuzhou	LIU Qi, LU Xing-lin, ZENG Peng, <i>et al.</i>	(65)
Characteristics of Ozone and Source Apportionment of the Precursor VOCs in Tianjin Suburbs in Summer	LUO Rui-xue, LIU Bao-shuang, LIANG Dan-ni, <i>et al.</i>	(75)
Transport Influence and Potential Sources of Ozone Pollution for Nanjing During Spring and Summer in 2017	XIE Fang-jian, LU Xiao-bo, YANG Feng, <i>et al.</i>	(88)
Ozone Pollution Trend in the Pearl River Delta Region During 2006-2019	ZHAO Wei, GAO Bo, LU Qing, <i>et al.</i>	(97)
Distribution Characteristics and Source Apportionment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Atmospheric Deposition in Areas Adjacent to a Large Petrochemical Enterprise	LI Da-yan, QI Xiao-bao, WU Jian, <i>et al.</i>	(106)
Quantitative Comparison of Methods to Assess the Airborne Particulate Matter Retention Capacity of Leaves	YUE Chen, LI Guang-de, XI Ben-ye, <i>et al.</i>	(114)
Emission Estimation and Fate Simulation of Dichlorvos in the Dongjiang River Watershed	ZHANG Bing, ZHANG Qian-qian, YING Guang-guo	(127)
Distribution and Ecological Risk Assessment of Antibiotics in the Songhua River Basin of the Harbin Section and Ashe River	YANG Shang-le, WANG Xu-ming, WANG Wei-hua, <i>et al.</i>	(136)
Characteristics and Ecological Risk Assessment of POPs Pollution in Sediments of Xiaoxingkai Lake in the Northeast China	LI Hui, LI Jie, SONG Peng, <i>et al.</i>	(147)
Distribution and Ecological Risk Assessment of PPCPs in Drinking Water Sources of Henan Province	ZHOU Ying, WU Dong-hai, LU Guang-hua, <i>et al.</i>	(159)
Occurrence Characteristics and Health Risk Assessment of Endocrine Disrupting Chemicals in Groundwater in Wuxi-Changzhou	WANG Shu-ting, RAO Zhu, GUO Feng, <i>et al.</i>	(166)
Seasonal Distribution Characteristics and Health Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Water of Qingjiang River	LIU Zhao, ZHOU Hong, CAO Wen-jia, <i>et al.</i>	(175)
Metal Pollutions and Human Health Risks in Groundwater from Wet, Normal, and Dry Periods in the Huixian Karst Wetland, China	LI Jun, ZHAO Yi, ZOU Sheng-zhang, <i>et al.</i>	(184)
Seasonal Variation of DOM Spectral Characteristics of Rivers with Different Urbanization Levels in the Three Gorges Reservoir Area	CHEN Zhao-yu, LI Si-yue	(195)
Distribution of Micro-plastics in the Soil Covered by Different Vegetation in Yellow River Delta Wetland	YUE Jun-jie, ZHAO Shuang, CHENG Hao-dong, <i>et al.</i>	(204)
Metagenomic Analysis Provides Insights into Bacterial Communities, Antibiotic Resistomes, and Public Health Risks in the Dongping Lake Reservoir	ZHANG Hong-na, CUI Na, SHEN Hong-miao	(211)
Mechanism of Algal Community Dynamics Driven by the Seasonal Water Bacterial Community in a Stratified Drinking Water Reservoir	YAN Miao-miao, ZHANG Hai-han, HUANG Ting-lin, <i>et al.</i>	(221)
Community Structure, Function, and Influencing Factors of Planktonic Fungi in the Danjiangkou Reservoir	ZHENG Bao-hai, WANG Xiao-yu, LI Ying-jun, <i>et al.</i>	(234)
Changes in Algal Particles and Their Water Quality Effects in the Outflow River of Taihu Lake	GUO Yu-long, XU Hai, CHEN Xu-qing, <i>et al.</i>	(242)
Characteristics of Soil Nitrogen and Phosphorus Losses Under Different Land-use Schemes in the Shipanqiu Watershed	DENG Hua, GAO Ming, LONG Yi, <i>et al.</i>	(251)
Influence of Antecedent Dry Days on Nitrogen Removal in Bioretention Systems	CHEN Yao, LI Xin-rui, ZHENG Shuang, <i>et al.</i>	(263)
Effect of <i>Enteromorpha prolifera</i> Biochar on the Adsorption Characteristics and Adsorption Mechanisms of Ammonia Nitrogen in Rainfall Runoff	CHEN You-yuan, LI Pei-qiang, LI Xian-chi, <i>et al.</i>	(274)
Effect of Filter Medium on the Enhancement of Complete Autotrophic Nitrogen Removal over Nitrite Process in a Tidal Flow Constructed Wetland	LIU Bing, ZHENG Yu-ming, QIN Hui-an, <i>et al.</i>	(283)
Adsorption Effect and Mechanism of Aqueous Arsenic on FeMnNi-LDHs	LIAO Yu-mei, YU Jie, WEI Shi-qiang, <i>et al.</i>	(293)
Combined Use of Zirconium-Modified Bentonite Capping and Calcium Nitrate Addition to Control the Release of Phosphorus from Sediments	ZHANG Hong-hua, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, <i>et al.</i>	(305)
Distribution Characteristics of Antibiotics and Antibiotic Resistance Genes in Wastewater Treatment Plants	XIE Ya-wei, YU Chi-sheng, LI Fei-fei, <i>et al.</i>	(315)
Occurrence of Antibiotic Resistance Genes and Bacterial Community Structure of Different Sludge Samples During Microwave Pretreatment-Anaerobic Digestion	LI Hui-li, WU Cai-yun, TANG An-ping, <i>et al.</i>	(323)
Selenium Threshold for the Delimitation of Natural Selenium-Enriched Land	WANG Hui-yan, ZENG Dao-ming, GUO Zhi-juan, <i>et al.</i>	(333)
Improved Regression Kriging Prediction of the Spatial Distribution of the Soil Cadmium by Integrating Natural and Human Factors	GAO Zhong-yuan, XIAO Rong-bo, WANG Peng, <i>et al.</i>	(343)
Simulation Cadmium (Cd) Accumulation in Typical Paddy Soils in South China	DAI Ya-ting, FU Kai-dao, YANG Yang, <i>et al.</i>	(353)
Bioaccessibility and Health Risks of the Heavy Metals in Soil-Rice System of Southwest Fujian Province	LIN Cheng-qi, CAI Yu-hao, HU Gong-ren, <i>et al.</i>	(359)
Effects of Nano Material on Cadmium Accumulation Capacity and Grain Yield of Indica Hybrid Rice Under Wetting-drying Alternation Irrigation	YANG Ru, CHEN Xin-rui, ZHANG Ying, <i>et al.</i>	(368)
Regulation Control of a Tribasic Amendment on the Chemical Fractions of Cd and As in Paddy Soil and Their Accumulation in Rice	JIANG Yi, LIU Ya, GU Jiao-feng, <i>et al.</i>	(378)
Combined Effect of Weathered Coal Based Amendments and Soil Water Management on Methylmercury Accumulation in Paddy Soil and Rice Grains	ZHENG Shun-an, WU Ze-ying, DU Zhao-ling, <i>et al.</i>	(386)
Effects of Fertilization Strategies on the Cadmium Resistance of Paddy Soil Microorganisms	ZHENG Kai-kai, MA Zhi-yuan, SUN Bo, <i>et al.</i>	(394)
Soil Enzyme Activity in <i>Picea schrenkiana</i> and Its Relationship with Environmental Factors in the Tianshan Mountains, Xinjiang	ZHANG Han, GONG Lu, LIU Xu, <i>et al.</i>	(403)
Effects of Farmland Abandonment on Soil Enzymatic Activity and Enzymatic Stoichiometry in the Loess Hilly Region, China	ZHONG Ze-kun, YANG Gai-he, REN Cheng-jie, <i>et al.</i>	(411)
Effect of Biochar on Soil Enzyme Activity & the Bacterial Community and Its Mechanism	FENG Hui-lin, XU Chen-sheng, HE Huan-hui, <i>et al.</i>	(422)
Effects of Vegetation Restoration on the Structure and Function of the Rhizosphere Soil Bacterial Community of <i>Solanum rostratum</i>	ZHANG Rui-hai, SONG Zhen, FU We-dong, <i>et al.</i>	(433)
Response of Microbial Biomass Carbon and Nitrogen and Rice Quality in a Yellow Soil Paddy Field to Biochar Combined with Nitrogen Fertilizer	SHI Deng-lin, WANG Xiao-li, LIU An-kai, <i>et al.</i>	(443)
Effects of Adding Straw and Biochar with Equal Carbon Content on Soil Respiration and Microbial Biomass Carbon and Nitrogen	HE Tian-tian, WANG Jing, FU Yun-peng, <i>et al.</i>	(450)
How Different Ratios of Straw Incorporation to Nitrogen Fertilization Influence Endogenous and Exogenous Carbon Release from Agricultural Soils	SUN Zhao-an, ZHANG Xuan, HU Zheng-jiang, <i>et al.</i>	(459)
Effect of Biochar and Chemical Fertilizer Mixture on Ammonia Volatilization and Phosphorus Fixation	YANG Wen-na, DENG Zhen-xin, LI Jiao, <i>et al.</i>	(467)
Effects of Film Materials on Ammonia Volatilization Emissions from a Paddy System After Reducing Nitrogen Fertilizer Application	YU Ying-liang, WANG Meng-fan, YANG Bei, <i>et al.</i>	(477)
Effects of Microplastics on Embryo Hatching and Intestinal Accumulation in Larval Zebrafish <i>Danio rerio</i>	ZHAO Jia, RAO Ben-qiang, GUO Xiu-mei, <i>et al.</i>	(485)
Urban Micro-Scale Thermal Environment Simulation Supported by UAV Thermal Infrared Data	YANG Shao-qi, FENG Li, TIAN Hui-hui, <i>et al.</i>	(492)
Estimation of the Urban Heat Island Intensity Change and Its Relationships with Driving Factors Across China Based on the Human Settlement Scale	SUN Yan-wei, WANG Run, GUO Qing-hai, <i>et al.</i>	(501)