

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

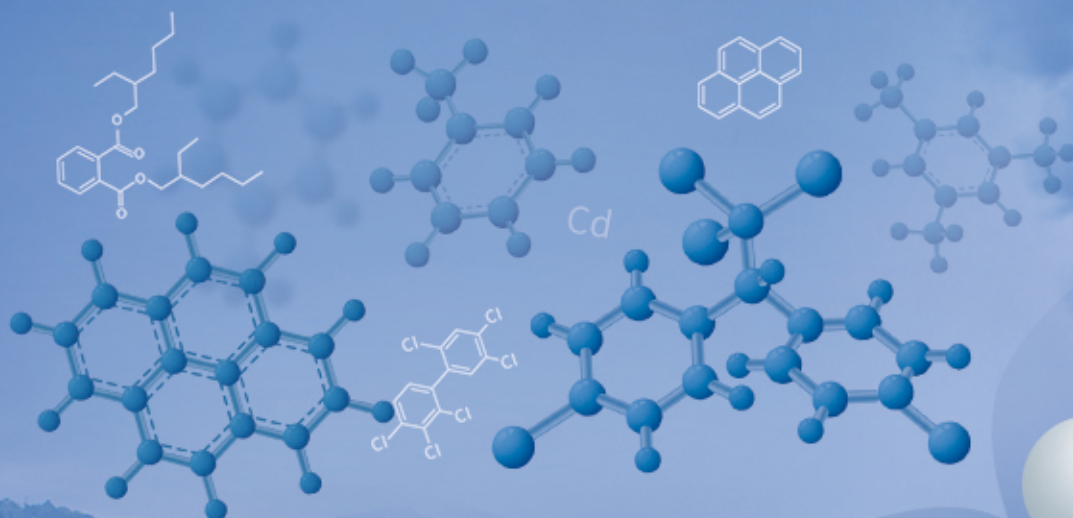
环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV
HUANJING KEXUE

升金湖水体优先污染物筛选与风险评价

龚雄虎, 丁琪琪, 金苗, 薛滨, 张路, 姚书春, 王兆德, 卢少勇, 赵中华



PAHs

VOCs

HMs

PCBs

PAEs

OCPs

ANTs

■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2021年10月

第42卷 第10期
Vol.42 No.10

目次

PM _{2.5} 化学组分连续观测在污染事件源解析中的应用	蔡凡涛, 尚玥, 戴维, 谢鸣捷 (4575)
汾渭平原 PM _{2.5} 空间分布的地形效应	黄小刚, 赵景波, 孙从建, 汤慧玲, 梁旭琦 (4582)
华中地区冬季灰霾天气下 PM _{2.5} 中重金属污染特征及健康风险评价: 以湖北黄冈为例	李星谕, 毛瑶, 陈展乐, 刘威杰, 程铖, 石明明, 许安, 苏业旺, 胡天鹏, 祁士华, 邢新丽 (4593)
华北区域大气中羰基化合物体积分数水平及化学反应活性	黄禹, 陈曦, 王迎红, 刘子锐, 唐贵谦, 李杏茹 (4602)
成都市春季 O ₃ 污染特征及关键前体物识别	韩丽, 陈军辉, 姜涛, 徐晨曦, 李英杰, 王成辉, 王波, 钱骏, 刘政 (4611)
基于边界观测的长三角某工业区 O ₃ 来源特征	黄晴, 黄银芝, 张珊, 金丹, 高松, 修光利 (4621)
廊坊开发区 8~9 月 O ₃ 污染过程 VOCs 污染特征及来源分析	张敬巧, 王宏亮, 方小云, 刘锐泽, 丁文文, 凌德印, 王淑兰 (4632)
广东省家具行业基于涂料类型的 VOCs 排放特征及其环境影响	曾春玲, 邵霞, 刘锐源, 姚懿娟, 李银松, 侯墨, 刘洋, 范丽雅, 叶代启 (4641)
厦门湾空气质量对新冠疫情管控的响应	徐超, 吴水平, 刘怡靖, 钟雪芬 (4650)
北京平原和延庆地区山谷风异同及对污染的影响	吴进, 李琛, 马志强, 孙兆彬, 韩婷婷, 邱雨露, 马小会, 李颖若, 朱晓娟 (4660)
两湖盆地冬季区域大气颗粒物污染特征及独特的风场和下垫面影响	朱燕, 赵天良, 白永清, 徐家平, 孙晓芸, 胡未央, 常嘉成, 杨婕, 朱从祯 (4669)
燃煤电厂颗粒物中硫酸根与硝酸根离子的转化规律	杨柳, 何晴, 盛重义 (4678)
长江流域主要干/支流化学特征及外源酸的影响	王琪, 于爽, 蒋萍萍, 孙平安 (4687)
土地利用对太湖入流河道营养盐的影响	连心桥, 朱广伟, 杨文斌, 康丽娟, 朱梦圆, 许海 (4698)
基于 eDNA 技术的渭河浮游动物多样性及关键种生态位特征	梁东, 夏军, 宋进喜, 常剑波, 吴琼, 程丹东, 张怡恒, 孔飞鹤, 任源鑫 (4708)
三亚市水体中 PPCPs 的污染水平、分布特征及生态风险评价	任丙南, 耿静 (4717)
升金湖水体优先污染物筛选与风险评价	龚雄虎, 丁琪琪, 金苗, 薛滨, 张路, 姚书春, 王兆德, 卢少勇, 赵中华 (4727)
天目湖沙河水库水生态安全状况长期变化及影响因素	杨文斌, 段文秀, 崔扬, 朱广伟, 吴天浩, 许海, 朱梦圆 (4739)
华中地区供水水库抗生素抗性基因的季节变化及影响因素	张凯, 辛蕊, 李观家, 王倩, 王亚南, 许智恒, 崔向超, 魏巍 (4753)
快速城镇化进程中珠江三角洲硝酸型地下水赋存特征及驱动因素	吕晓立, 刘景涛, 韩占涛, 朱亮, 张玉玺 (4761)
盐城地区地表水化学空间特征及控制因素分析	王建, 张华兵, 许君利, 彭俊 (4772)
基于沉积物中总氮和总磷垂向分布与吸附解吸特征的白洋淀清淤深度	周亚婷, 陈兴宏, 李立青, 张伟军, 张美一, 王东升, 王洪杰 (4781)
硼酸和磷酸对 PMS/Co ²⁺ 均相催化氧化有机物的影响因素与机制	万琪琪, 陈铸昊, 曹瑞华, 王静怡, 文刚 (4789)
磁性生物炭负载 α-MnO ₂ 活化过一硫酸盐降解 2,2',4,4'-四溴联苯醚	李鑫, 尹华, 罗昊昱, 欧阳晓芳, 刘航, 祝铭韩 (4798)
紫外活化过硫酸钠灭活水中噬菌体 MS2 的特性及机制	张崇森, 杨昊明, 王真 (4807)
铈改性水葫芦生物炭对磷酸盐的吸附特性	王光泽, 曾薇, 李帅帅 (4815)
低温地下水净化工艺中氨氮去除性能及机制	李冬, 刘孟浩, 张瑞苗, 曾辉平, 张杰 (4826)
我国城市污泥中重金属的赋存形态与生态风险评价	耿源濂, 张传兵, 张勇, 黄豆豆, 闫姝晓, 孙腾飞, 程柳, 王静, 毛宇翔 (4834)
不同气候类型下污水厂活性污泥中微生物群落比较	杨思航, 秦泽生, 梁漫春 (4844)
部分亚硝化-厌氧氨氧化协同反硝化处理生活污水脱氮除碳	秦彦荣, 袁忠玲, 张明, 张民安, 刘安迪, 付雪, 马娟, 陈永志 (4853)
同步短程硝化-厌氧氨氧化-短程反硝化颗粒污泥培育过程及其性能	周峰, 刘勇弟, 厉巍 (4864)
多种微塑料提取方法在中国典型土壤中的应用	赵小丽, 刘子涵, 从辰宇, 韩剑桥 (4872)
柴达木盆地表土重金属污染与来源分析	陈亮, 张西营, 唐启亮, 耿盛, 王二龙, 李姜瑶 (4880)
快速城市化区域不同用地类型土壤重金属含量分布特征及生态风险	李梦婷, 沈城, 吴健, 黄沈发, 李大雁, 王敏 (4889)
广西都安县典型水田晒地球化学特征及影响因素	刘飞, 杨柯, 徐仁廷, 唐世琪 (4897)
炭化苹果枝通过减少土壤 DTPA-Cd 降低苹果砷木镉积累和镉伤害	邓波, 荀咪, 张玮玮, 杨洪强 (4908)
海南省集约化种植园中谷物、蔬菜和水果中重金属累积程度及健康风险	杨剑洲, 王振亮, 高健翁, 严慧, 胡树起, 唐世新, 龚晶晶 (4916)
环境中抗生素抗性基因丰度与抗生素和重金属含量的相关性分析: 基于 Web of Science 数据库检索	苗荪, 陈磊, 左剑恶 (4925)
银川市农田土壤中四环素类抗生素的污染特征及生态风险评估	张小红, 陶红, 王亚娟, 马志义, 周泽英 (4933)
施用不同来源粪肥对土壤中抗生素淋溶的影响	李斌绪, 朱昌雄, 宋婷婷, 马金莲, 张治国, 李红娜 (4942)
我国典型森林土壤微生物驱动的氮代谢途径特征解析	吕雪丽, 赵永鹏, 林清火, 彭显龙, 尹云锋, 蒋先军 (4951)
青藏高原高寒湿地春夏两季根际与非根际土壤反硝化速率及 nirS 型反硝化细菌群落特征分析	李玉倩, 马俊伟, 高超, 霍守亮, 夏星辉 (4959)
松嫩平原芦苇湿地退化与修复过程中土壤细菌和甲烷代谢微生物的群落结构	王秋颖, 王娜, 刘颖, 陈功, 何辉, 高婕, 庄绪亮, 庄国强 (4968)
不同轮作休耕下潮土细菌群落结构特征	南镇武, 刘柱, 代红翠, 张磊, 王娜, 徐杰, 刘开昌, 孟维伟, 王旭清 (4977)
稻田土壤光合细菌群落对镉污染的响应	罗路云, 金德才, 王殿东, 陈昂, 张德咏, 曾军, 匡炜, 张卓, 刘勇 (4988)
铁尾矿芦苇根际微生物和根内生菌群落分布及其限制性因子解析	曹曼曼, 王飞, 周北海, 陈辉伦, 袁蓉芳 (4998)
有机无机氮配施对不同程度盐渍土硝化和反硝化作用的影响	周慧, 史海滨, 张文聪, 王维刚, 苏永德, 闫妍 (5010)
水稻产量、稻田 CH ₄ 和 N ₂ O 排放对长期大气 CO ₂ 浓度升高的响应	于海洋, 宋开付, 黄琼, 王天宇, 张广斌, 马静, 朱春梧, 徐华 (5021)
原料和热解温度对生物炭中可溶性有机质的影响	闫代红, 马亚培, 宋凯悦, 马红亮, 高人, 尹云锋 (5030)
中国 84 个主要城市大气热岛效应的时空变化特征及影响因素	李宇, 周德成, 闫章美 (5037)
室内建筑装饰装修材料气味物质及其释放研究进展	张万众, 张彭义 (5046)
《环境科学》征订启事 (4814) 《环境科学》征稿简则 (4871) 信息 (4907, 5009, 5029)	

多种微塑料提取方法在中国典型土壤中的应用

赵小丽¹, 刘子涵¹, 从辰宇¹, 韩剑桥^{1,2*}

(1. 西北农林科技大学水土保持研究所, 杨凌 712100; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 杨凌 712100)

摘要: 为探究我国典型区域土壤中微塑料的提取及成分鉴定方法, 通过人工模拟微塑料的方法, 评估了水 + 油 (T1)、饱和 NaCl 溶液 + 油 (T2)、饱和 NaCl 溶液 (T3) 这 3 种处理方法对 4 种典型区域土壤 (黑土、黄土、红土和紫土) 中 4 种类型微塑料 [聚对苯二甲酸乙二醇酯 (polyethylene terephthalate, PET)、聚丙烯 (polypropylene, PP)、聚苯乙烯 (polystyrene, PS) 和聚乙烯 (polyethylene, PE)] 的检测效果. 结果表明: ① T3 处理下土壤中微塑料提取率随微塑料密度的增大而降低, 对 PP、PE、PS 的提取率均大于 86.67%, 而 PET 的提取率仅为 0%~13.30%; ② T1 和 T2 处理下, 黑土、黄土和紫土中 4 种微塑料的提取率均为 86.67%~100.00%, 但微塑料表层残留的油会影响傅里叶变换红外光谱 (FTIR) 对微塑料成分性质的鉴定, 配合无水乙醇清洗后, PE 和 PS 鉴定效果仍不佳; ③ T1 和 T2 处理下红土中 PET 的提取率分别为 56.60% 和 50.00%, T3 处理下红土中 PET、PE 和 PP 的提取率分别为 3.33%、10.00% 和 56.67%. 结果表明, 黄土、黑土和紫土中 4 种微塑料采用 T1 和 T2 提取效果均较好, 但需配合无水乙醇进行清洗, T3 处理会导致对密度 $> 1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 微塑料 PET 的漏测; 红土中微塑料的提取方法有待进一步探索研发.

关键词: 典型土壤; 微塑料; 提取率; 傅里叶变换红外光谱 (FTIR); 成分鉴定

中图分类号: X53 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3301(2021)10-4872-08 **DOI:** 10.13227/j.hjxx.202102013

Application of Various Methods to Extract Microplastic from Typical Soils in China

ZHAO Xiao-li¹, LIU Zi-han¹, CONG Chen-yu¹, HAN Jian-qiao^{1,2*}

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China)

Abstract: Microplastics have been found in many environmental systems, such as oceans, terrestrial soils, sediments, and bodies of freshwater. Microplastic pollution in soils has received extensive international attention; however, there is currently no unified standard extraction method. To identify appropriate extraction and component identification methods for microplastics in typical soils in China, samples were identified and their polymer component properties examined using ATR-FTIR (Thermo Nicolet IS 20). The effects of three treatments of water + oil (T1), a saturated NaCl solution + oil (T2), and a saturated NaCl solution (T3) on the detection of four types of microplastics [polyethylene terephthalate (PET), polypropylene (PP), polystyrene (PS), and polyethylene (PE)] in four typical soils (loess, black soil, red soil, and purple soil) were examined. The results showed that: ① The extraction rates of the T3 treatment decreased with microplastic density. For PP, PE, and PS, the extraction rates exceeded 86.67%, and the extraction rates of PET were 0%–13.30%. ② The extraction rates of the four kinds of microplastics were 86.67%–100.00% in loess, black soil, and purple soil using the T1 and T2 solutions; however, the residual oil on the surface of microplastics influenced the identification using FTIR. Furthermore, the cleaning effect of PE and PS was poor after wiping with anhydrous ethanol. ③ In red soil, the extraction rates of PET were 56.60% and 50.00% in T1 and T2, respectively; in the T3 treatment, the extraction rates of PET, PE, and PP were 3.33%, 10.00%, and 56.67%, respectively. These results show that the extraction rates of four types microplastics are highest for loess, black soil, and purple soil using T1 and T2, although these two methods need to be combined with anhydrous ethanol cleaning. T3 dispose making the leak of microplastics PET with the density higher than $1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$. Methods to extract microplastics from red soils require further research. Overall, this study can inform the investigation and treatment of microplastic pollution in typical regional soils in China.

Key words: typical soil; microplastics; extraction rates; FTIR; ingredient identification

微塑料是指尺寸小于 5 mm 的微粒聚合物^[1-4]. 土壤中的微塑料在迁移过程中, 一部分残留在土壤表层, 另一部分经雨水淋洗进入深层土壤, 有研究表明, 积存于土壤中的微塑料易被植物侧根系吸收, 不利于种子萌发, 还会改变土壤结构, 加剧土壤缺水, 影响土壤生态系统的健康^[5-8]. 同时发现, 存在于水稻组织中的微塑料, 经过食物链的传递, 长时间在人体内积累, 影响人类健康^[9-11]. 微塑料在环境中可作为化学物质的载体, 将环境中的重金属、多氯联苯和杀虫剂等富集其表面, 产生复合污染效应^[12,13]. 检测土壤中的微塑料, 是研究微塑料迁移过程和治理技术的基础, 对生态系统保护和土地合理利用等至关重要.

微塑料检测包括分离提取和成分鉴定两个步骤, 微塑料分离提取方法尚未统一. 目前普遍使用饱和 NaCl 溶液 ($1.20 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$) 分离法, 该方法原料便宜且易操作. 屈沙沙等^[14]的研究利用 2% 的饱和 NaCl 溶液提取化妆品中的聚乙烯 (PE) 微珠, 提取率达 93.20%; 鉴于饱和 NaCl 溶液对密度大于 $1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 的微塑料提取效果较差, Wen 等^[15]的研究采用密度更高的 ZnCl_2 溶液 ($1.70 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$) 对河流沉

收稿日期: 2021-02-02; **修订日期:** 2021-03-28

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41807067, 41907061); 中国科协青年人才托举工程项目 (2019-2021QNR0001)

作者简介: 赵小丽 (1997~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为流域泥沙与环境, E-mail: 780673504@qq.com

* 通信作者, E-mail: hjq13@163.com

积物中的微塑料进行浮选,显示微塑料丰度在 $(270.17 \pm 48.23) \sim (866.59 \pm 37.96) \text{ items} \cdot \text{kg}^{-1}$, 但 ZnCl_2 溶液成本高,污染重;董明潭等^[16]的研究采用油提取法对泥质湖泊沉积物、黏土、壤土和沙土中的聚对苯二甲酸乙二酯(PET)和聚氯乙烯(PVC)进行提取,提取率均大于 88.00%,然而微塑料表面残留的油会影响拉曼光谱(RM)和傅里叶变换红外光谱(FTIR)对微塑料成分性质的鉴定,针对这一问题,已有研究表明可通过无水乙醇处理,减少油对光谱图的影响^[17].

目前微塑料成分性质鉴定方法普遍采用 RM 和 FTIR 检测,这两种检测方法只需少量样品就能实现微塑料的参数分析^[18]. RM 检测时间一般可达 38 h,样品中若含有荧光物质,会干扰检测结果^[19]; FTIR 检测操作过程简单、灵敏度高且速度远超 MR,对每个微塑料颗粒类似物能够生成光谱图像^[20,21],张宇波等^[22]的研究指出 FTIR 对环境中微塑料的检测准确率 86.00% 以上. 本试验将油提取法和密度分离法与 FTIR 相结合对微塑料进行提取检测,是目前较优的提取和鉴定分析方法.

我国幅员辽阔,土壤种类多样,针对不同区域和不同土壤类型如何有效分离微塑料尚未有统一标准^[23]. 本研究选取东北黑土、西北黄土、南方红土和西南紫土作为试验对象,设置油提取法(水+油、饱和 NaCl 溶液+油)和密度分离法(饱和 NaCl 溶液)^[24]这 2 种分离方法,3 种处理方法,评估其对不同类型和不同密度微塑料的分离效果和成分性质鉴定的影响,通过总结中国不同典型区域土壤适宜的微塑料检测方法,以期为土壤中微塑料的研究和治理提供一定技术支撑.

1 材料与方法

1.1 土壤来源及其特征

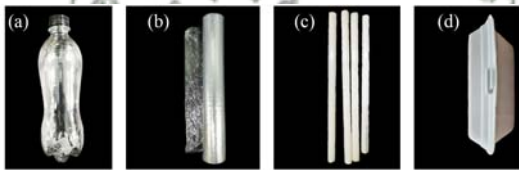
本试验选取 4 种具有代表性的土壤类型,分别为陕西安塞黄土、黑龙江九三黑土、江西南昌红土和四川盐亭紫土,具体理化性质见表 1. 我国黄土面积达 63.10 万 km^2 , 占中国陆地总面积的 6.60%^[25],黄土风化层较厚,针铁矿含量较高^[26],铵态氮、土壤容重和有机质含量都较低,土壤较为贫瘠;典型黑土面积约 17 万 km^2 ,集中区域位于黑龙江,该地寒冷、半湿润,有利于有机质积聚^[26];紫土面积达 18 万 km^2 ,是紫色岩石风化而成的初育土^[27],硝态氮和全磷含量较高,分布在物理风化作用和氧化作用较强的四川盆地丘陵地区;红土是在长期湿润温暖的气候下形成的,土壤的淋湿作用较强,导致铁铝氧化物相对富集,全氮含量、阳离子交

表 1 4 种类型土壤理化特征				
Table 1 Physical and chemical characteristic of four soil types				
指标	土壤类型			
	黄土	黑土	紫土	红土
全氮含量/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	0.83	1.35	0.81	1.50
全磷含量/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	0.80	0.70	0.84	0.15
速效磷/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	16.60	5.55	9.02	12.50
有机质含量/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	7.53	16.40	8.75	13.10
阳离子交换量/ $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$	15.87	21.50	10.59	18.84
pH	8.14	4.86	8.20	4.97
铵态氮/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	2.69	11.54	3.17	3.95
硝态氮/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	12.60	8.45	17.69	7.25
容重/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	1.20	1.31	1.34	1.37

换量、土壤容重、有机质和速效磷含量较高.

1.2 微塑料的制备

本研究选取生活中使用最为广泛的聚对苯二甲酸乙二酯(PET)、聚丙烯(PP)、聚苯乙烯(PS)、聚乙烯(PE)作为典型微塑料样品,4 种微塑料密度依次为 1.37、0.84、0.92 和 0.95 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$. 微塑料的制备分别取自于矿泉水瓶(PET)、塑料水管(PP)、快餐盒(PS)和保鲜膜(PE),人工将塑料用剪刀剪碎,使其粒径小于 5 mm(图 1).



(a) 塑料瓶, (b) 保鲜膜, (c) 塑料水管, (d) 快餐盒

图 1 试验所用微塑料的样品示例

Fig. 1 Sample of microplastics in the texts

1.3 试验设计

为探究不同处理方法对土壤微塑料提取率的影响,本试验选取黄土、黑土、红土和紫土这 4 种典型土壤,选择 PET、PP、PS 和 PE 这 4 种微塑料,设置水+油(T1)、饱和 NaCl 溶液+油(T2)、饱和 NaCl 溶液(T3)这 3 种组合溶液处理方法,重复 3 次,共计 144 组试验. 采用衰减全反射傅里叶变换红外光谱仪(ATR-FTIR Thermo Nicolet IS 20,美国;光谱范围 400~4 000 cm^{-1} ,分辨率 0.25 cm^{-1})检测微塑料成分,观测每种处理方法对提取微塑料成分鉴定的干扰作用. ATR-FTIR 能够吸收化合物中特定官能团的红外光,引起集团振动能级跃迁,产生红外吸收光谱,红外光谱特征性强,金刚石稳定且耐化学试剂,以金刚石为晶体的 ATR 附件操作简单,能够提供合适的吸收光程^[28]. 本试验具体步骤如下.

土样准备: 将土样放置在 105℃ 的烘箱中烘 24 h 后取出,冷却至室温,放到研钵中研碎,在电子秤上称取 50 g 干土倒入 250 mL 的锥形瓶中.

微塑料添加: 向装有土样的锥形瓶中添加 10

个微塑料碎片,用玻璃棒搅拌均匀。

加入试剂,静置分层:用量筒分别量取溶液(T1、T2 和 T3)加入锥形瓶后,用木塞封住瓶口,单手剧烈摇晃 30 s,随后静置 20 min,使土层、水层和油层完全分离。

抽滤:将锥形瓶中的上清液缓慢倒入装好滤膜(直径 10 cm,孔径 0.45 μm)的韦氏漏斗中,打开抽滤机开关进行抽滤,待漏斗中的水分较少时关闭开关。

对油过滤的处理,当抽滤瓶内外气压一致时,向滤纸上加入 5 mL 无水乙醇,充分反应 2 min 后,进行抽滤,抽滤结束时观察滤膜表面,若还存在明显的油光,则再向滤膜中加入 5 mL 无水乙醇,重复上述操作,直至无明显的油光出现,将滤膜放到培养皿中风干,以上提取步骤示意如图 2 所示。

微塑料数量观测:目视观测培养皿滤膜上不同种类微塑料的数量,并在土壤中寻找残留校正结果。

光谱检测:用傅里叶变换红外光谱仪检测风干后滤膜上的微塑料,得到光谱图。



图 2 油提取步骤示意

Fig. 2 Process of the oil extraction protocol

2 结果与分析

2.1 不同方法对典型土壤的微塑料分离结果

黄土中微塑料提取率如图 3 所示,T1 和 T2 处理下微塑料 PET 的提取率分别为 100.00% 和 96.67%;除 PE 在 T1 条件下的提取率为 86.67%

外,T1 和 T2 处理对微塑料 PE、PS 和 PP 提取率均为 100.00%;T3 处理下微塑料 PE、PS 和 PP 提取率均在 80.00% 以上,而对 PET 的提取率为 0%,无异常值出现。

黑土中微塑料提取结果与黄土相似(图 4),T1 (T2)处理对 PET、PE、PS 和 PP 这 4 种微塑料的提取率分别为 93.30% (90.00%)、93.30% (88.00%)、100.00% (100.00%) 和 100.00% (93.00%);T3 处理下 PET 的平均提取率仅为 13.30%,对 PE、PS 和 PP 这 3 种微塑料的提取率分别为 87.78%、100.00% 和 100.00%。

紫土中 4 种微塑料的提取率与黄土、黑土的提取效果相似(图 5),T1 处理下 PET、PE、PS 和 PP 这 4 种微塑料的提取率分别为 96.60%、93.30%、100.00% 和 100.00%,T2 处理与 T1 处理的提取结果一致;T3 处理下 PET 的提取率为 0%,PE、PS 和 PP 的提取率分别为 86.67%、100.00% 和 96.67%。

红土中 3 种处理对 PET 的提取率以及 T3 处理对 PE 和 PP 的提取率(图 6)相比黄土、黑土和紫土较低。T1 和 T2 处理下 PET 的提取率分别为 50.00% 和 56.60%,T1 (T2)处理下 PE、PS 和 PP 这 3 种微塑料的提取率分别为 86.60% (86.67%)、100.00% (100.00%) 和 96.60% (100.00%)。T3 处理下微塑料 PET 的提取率仅为 3.33%;对 PE、PS 和 PP 这 3 种微塑料的提取率分别为 10.00%、96.67% 和 56.67%。

2.2 3 种分离提取方法下微塑料光谱图变化特征

T1 处理下 4 种典型土壤中 4 种微塑料不经无水乙醇清洗前,由于油的影响,在 1 150、1 750 和 3 000 cm^{-1} 处本该为波谷却显示为波峰,经无水乙醇清洗后,微塑料红外光谱与原空白样本符合度较高;黄土中的 PS 在 T1 处理下[图 7(a)],波段

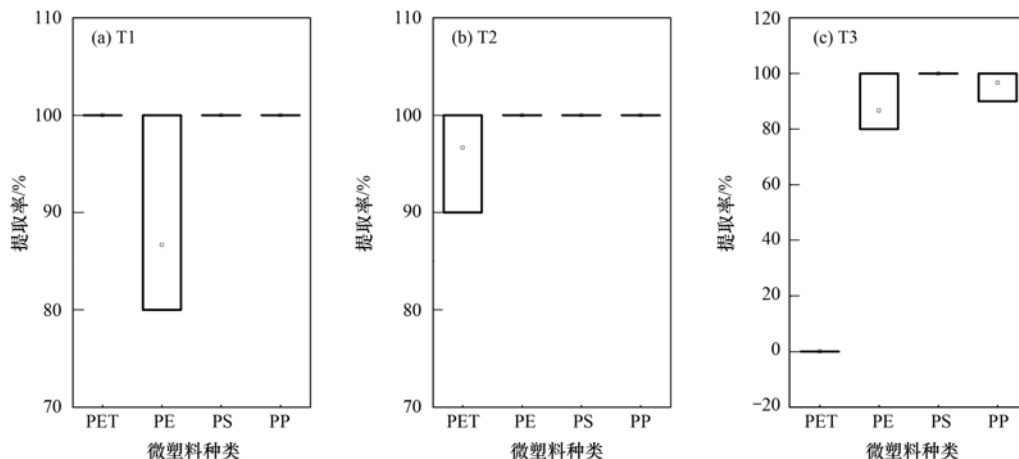


图 3 不同处理方法下黄土中微塑料的提取率

Fig. 3 Extraction rates of microplastic from loess under the different treatments

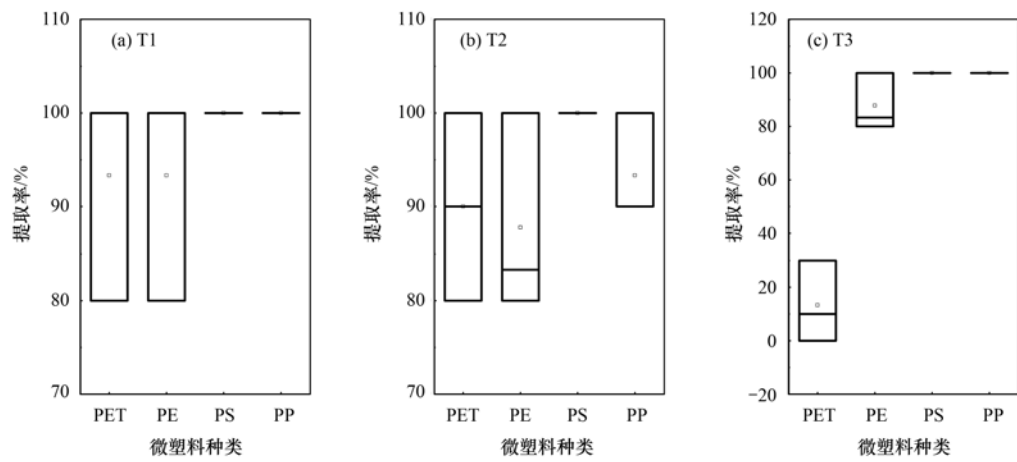


图 4 不同处理方法下黑土中微塑料的提取率

Fig. 4 Extractions rates of microplastic from black soil under the different treatments

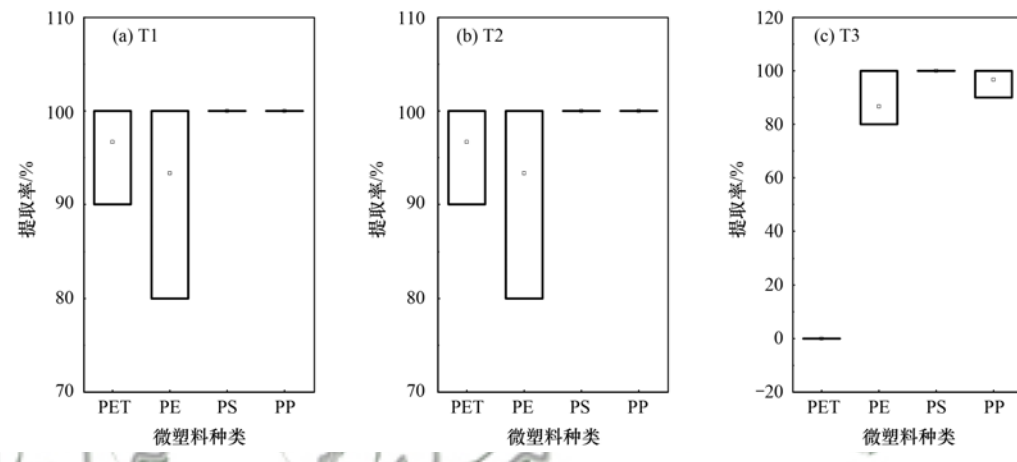


图 5 不同处理方法下紫土中微塑料的提取率

Fig. 5 Extraction rates of microplastic from purple soil under the different treatments

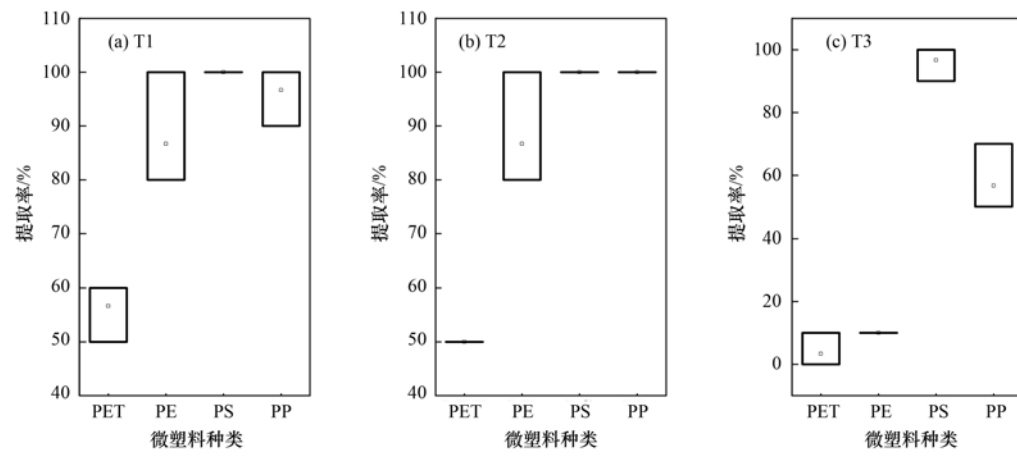


图 6 不同处理方法下红土中微塑料的提取率

Fig. 6 Extraction rates of microplastic from red soil under the different treatments

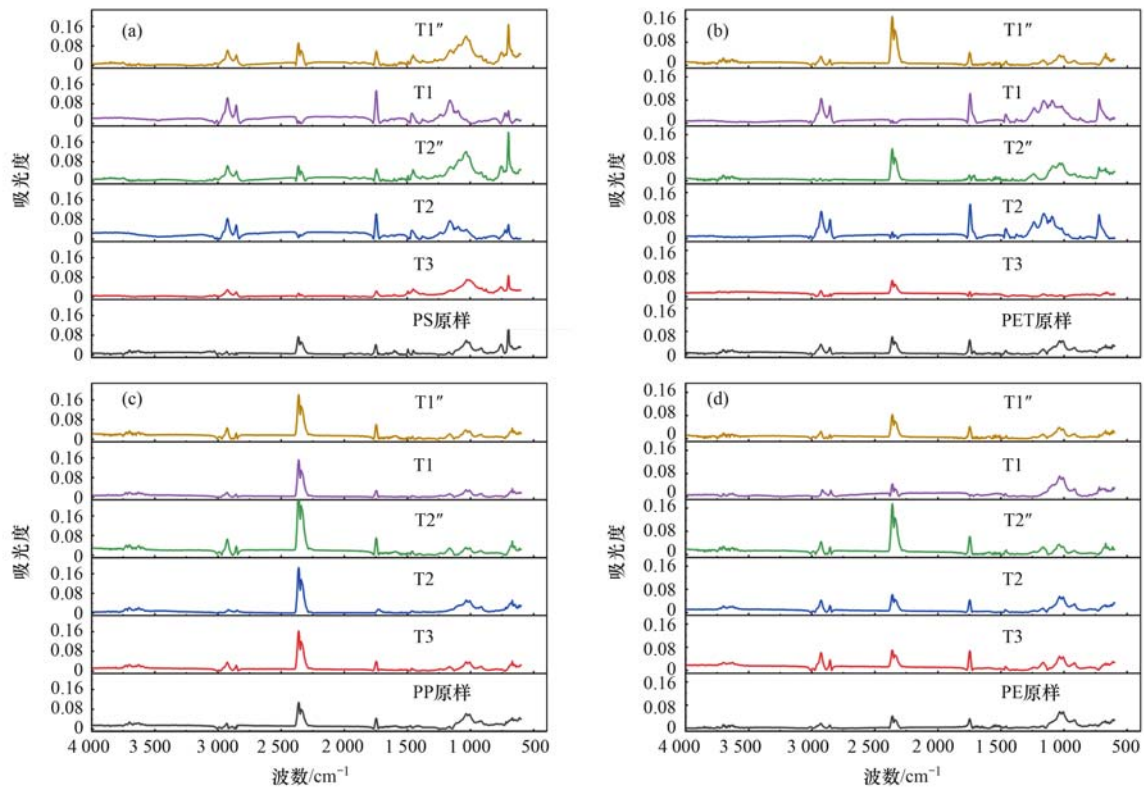
2 750 ~ 3 000 cm^{-1} 范围内显示为波峰,经无水乙醇清洗后峰值有所降低,但峰形较清洗前并未发生变化,且在指纹区出现新的峰值,与原空白样品的光谱图不一致,PET 和 PP 经无水乙醇清洗后与原样品的光谱图符合度较高.红土中 PE 和 PS 用无水乙醇清洗后在1 150、1 750和3 000 cm^{-1} 处波峰有所降低,

但其它波段又有新波峰出现,PP 在 T1 处理下[图 7 (c)],在1 750 cm^{-1} 处,峰值较低,经无水乙醇清洗后,峰值提高,光谱图官能团区的波形与原样品更相似.紫土中经无水乙醇清洗的 4 种微塑料的红外光谱图与原样品光谱图符合度较高.
T2 的处理结果与 T1 处理相似.黄土中经无水

乙醇清洗的 PS 微塑料[图 7(a)],在本该显示为波谷的波段处仍显示为波峰,峰值较未经无水乙醇清洗有所降低,其他 3 类微塑料与原样品的光谱图符合度较高.黑土中 PET 在 T2 处理下[图 7(b)],波段 $2\,250 \sim 2\,500\text{ cm}^{-1}$ 范围内显示为波谷,经无水乙醇清洗后的样品光谱图与原样品的红外光谱图符合度较高.红土中 PP 的波峰波谷在波段范围为 $2\,750 \sim 3\,000\text{ cm}^{-1}$ 以及 $1\,750\text{ cm}^{-1}$ 处界限不明显[图 7(c)],经无水乙醇清洗后,波峰波谷显示清晰,且与原样品光谱图符合度较高.紫土中微塑料 PE 在 T2 处理下[图 7(d)],波段 $1\,000 \sim 1\,250\text{ cm}^{-1}$ 范围内,峰形与原样品相似,但经过无水乙醇处理后,在此波

段范围内出现较大的波谷;PET 和 PP 经无水乙醇清洗的红外光谱图在 $1\,150$ 、 $1\,750$ 和 $3\,000\text{ cm}^{-1}$ 处仍显示为波峰,处理效果不显著.

T3 处理下黄土中 4 种微塑料的红外光谱图与原样品相比,在 $1\,150$ 、 $1\,750$ 和 $3\,000\text{ cm}^{-1}$ 处出现异常,PS[图 7(a)]官能团区峰值较原样品低;黑土中 PET[图 7(b)]在指纹区(波段 $750 \sim 1\,500\text{ cm}^{-1}$)峰值较原样品低,红土中 PP[图 7(c)]在波段为 $1\,750$ 和 $2\,750 \sim 3\,000\text{ cm}^{-1}$ 的峰值较原样品高,但整体峰形和峰位都与原样品相似,紫土中经 T3 处理的 4 种微塑料,其红外光谱与原空白样本的红外光谱一致.



(a)黄土中 PS 型微塑料,(b)黑土中 PET 型微塑料,(c)红土中 PP 型微塑料,(d)紫土中 PE 型微塑料;

T1 代表水 + 油处理,T1"为水 + 油经过无水乙醇处理,以此类推

图 7 不同处理方法下不同土壤中典型微塑料的光谱图

Fig. 7 FTIR spectra of the diverse soil involved typical microplastic by different processing method

3 讨论

3.1 不同处理方法对土壤中微塑料提取率的影响

微塑料处理方法影响微塑料的提取率^[29],本研究中,除 T1 和 T2 处理下红土中 PET 提取率为 56.60% 和 50.00% 外,在 4 种土壤中 4 种微塑料的提取率均超过 86.60%. Crichton 等^[17]采用水 + 油提取法对河流沉积物细粒的提取率达 $(96.80 \pm 1.16)\%$,比本试验提取率略高,可能是提取对象间的异质性导致微塑料的提取率存在差异.T3 处理对 PP、PS 和 PE 提取率较高,除红土中 PE 和 PP 的提

取率为 10.00% 和 56.67% 外,其他土壤中的提取率均达 86.00% 以上.李丹文等^[30]的研究中指出,饱和 NaCl 溶液能够提取 80.00% ~ 100.00% 的微塑料颗粒,与本试验的研究结果相一致.但 PET 提取率较低,平均提取率仅有 4.16%,这是由于 T3 处理中加入的饱和 NaCl 溶液密度为 $1.20\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,与 PET 的密度接近,不会使其悬浮于表面,而是缓慢地沉降于底部^[18].

T1 处理下,红土中 PET、PP 和 PE 这 3 种微塑料的提取率较低,T2 和 T3 两种处理下 PET 的提取率相比于其它土壤较低.这可能是因为红土中含有

大量的铁氧化物和铝氧化物,这些氧化物对土壤中微塑料具有一定的吸附性,而土壤中的 Fe^{3+} 和 Al^{3+} 浓度、pH 值以及溶解性有机质的含量会影响到土壤中微塑料的迁移^[31]. 且红土中的有机质含量较高,是黄土的 2 倍,有机质含量的增多会减少微塑料在土壤中的吸附点位,从而增加微塑料的迁移能力,造成微塑料在表层土壤的流失^[31]. 也可能红土中的微塑料在耕地摩擦、紫外线照射和雨水交错过程中更易老化,使其具有更大的降解状态,增大微塑料比表面积和表面粗糙度^[32],增强有机质与微塑料的结合,Turner 等^[33]和赵楚云等^[34]的研究也表明,在风化过程中微塑料与有机质结合,从而导致其提取率较其他土壤低.

3.2 不同处理方法对微塑料成分性质鉴定的影响

不同处理方法因所含试剂不同,对 FTIR 的背景图产生不同程度的影响,干扰对微塑料成分的鉴定^[13]. 本研究中 T1 和 T2 处理土壤中的微塑料,未经无水乙醇清洗前,红外光谱图在 1 150、1 750 和 3 000 cm^{-1} 处发生异常,经无水乙醇清洗后与原样品的光谱图符合度较高. 董明潭等^[16]的研究也指出,油的加入会干扰光谱图,而采用无水乙醇进行浸泡清洗具有良好的兼容性. 黑土和黄土中的 PS 经 T1 和 T2 两种方法处理后,用无水乙醇清洗样品,检测得到的红外光谱图与原样品相比,出现新的峰值,这可能是 PS 中的苯环与有机污染物形成 $\pi-\pi$ 键,吸附作用增强,使油分残留在样品孔隙中,干扰对样品的判断^[35]. 红土中的 PP 用无水乙醇清洗后,红外光谱图由波峰波谷界限不明显转变为界限清晰,且与原样品符合度较高,可能红土中某种物质与 PP 和无水乙醇反应,破坏了 PP 结构,使样品孔隙间的油分减少,对光谱背景图的干扰降低所致.

相对 T1 和 T2 处理,T3 处理对于后续红外光谱检测影响较小,黄土中 4 种微塑料的红外光谱图与原样品相比,在 1 150、1 750 和 3 000 cm^{-1} 处出现异常,可能是因为 FTIR 在检测过程中,微塑料样品孔隙间存在粒径较小的黄土颗粒物质,影响光谱图,有研究表明微塑料表面会附着一些土壤颗粒,微塑料的表面结构和物质变得更加复杂^[36];红土中 PP 整体峰形和峰位都与原样品相似,但峰强在 1 750 cm^{-1} 和 2 750 ~ 3 000 cm^{-1} 波段处较高,这可能是饱和 NaCl 溶液会吸附在微塑料表面,PP 分子中存在羰基和聚酯类物质^[36],红土的铁铝氧化物会附着在微塑料表面所导致.

3.3 不同土壤的微塑料检测适宜方法探讨

不同地区土壤的理化性质具有很大的差异性,土壤中不同物质组成和化学含量所占比例都会对微

塑料的提取率造成影响^[37]. 本试验中,黄土中微塑料提取选用的优先处理顺序为: T2 > T1 > T3,对于高密度微塑料,用 T1 和 T2 两种处理方法来进行提取,并需优化清洗步骤,以减少 FTIR 对微塑料成分鉴定的影响. T3 处理中采用的饱和 NaCl 溶液 (1.20 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) 密度较 PET (1.37 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) 低,而 ZnCl_2 溶液 (1.70 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) 和 NaI 溶液 (1.80 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) 的密度较高^[38],因此 ZnCl_2 和 NaI 溶液提取微塑料的效果相比饱和 NaCl 溶液较好,但考虑到推广使用,本试验所采用的这 3 种处理方法可行性更高.

黑土中有机质含量丰富,微塑料提取处理选用的优先处理顺序为: T1 > T2 > T3,对高密度微塑料的提取可行性与黄土相一致,在本试验中,黑土中 T2 处理的提取效果比 T1 处理的提取率略低,T1 处理对 4 种微塑料的提取率都达到 93.33% 以上,塑料具有疏水性和亲油性,在水 + 油的综合作用下,导致提取率较高.

紫土中的微塑料提取处理选用的处理顺序为: T1 = T2 > T3,紫土中微塑料的提取率在 T1 和 T2 处理下相一致,均大于 93.33%,提取率较高,但是 T3 处理下 PP 的提取率略低于 T1 和 T2 处理,综合选择 T1 和 T2 两种处理方法更可行.

红土所含物理化学成分特殊,适用于其它 3 种土壤的 T1 和 T2 处理方法应用到红土中,PET 的提取率仅为 50.00%,提取率较低,而 T3 处理下 PET 和 PP 的提取率都不理想,这可能与红土中含有较高的有机质及铁铝氧化物有关,因此本试验的这 3 种处理方法对红土都不适用. 在后续的研究过程中,应该探讨适宜红土中各种微塑料的提取方法.

4 结论

(1) 饱和 NaCl 溶液处理对 PP、PE 和 PS 的提取率为 80.00% ~ 100.00%,且对微塑料光谱图的影响较小,但对 PET 的提取率低于 13.30%,微塑料提取率随微塑料密度的增大而降低.

(2) 水 + 油、饱和 NaCl 溶液 + 油处理下黑土、黄土和紫土中 4 种微塑料的提取率均大于 86.67%,使用无水乙醇清洗可减少油对 FTIR 鉴定微塑料成分的影响,但 PP 和 PE 清洗后鉴定效果仍不佳.

(3) 本研究所采用的这 3 种处理方法对红土中微塑料的提取率相对于其他土壤较低,这 3 种处理方法均不适宜红土中微塑料的提取.

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] Thompson R C, Moore C J, Vom Saal F S, *et al.* Plastics, the

- environment and human health: current consensus and future trends[J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2009, **364**(1526): 2153-2166.
- [3] Cole M, Lindeque P, Halsband C, *et al.* Microplastics as contaminants in the marine environment: a review[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2011, **62**(12): 2588-2597.
- [4] 袁海英, 侯磊, 梁启斌, 等. 滇池近岸水体微塑料污染与富营养化的相关性[J]. *环境科学*, 2021, **42**(7): 3166-3175.
- Yuan H Y, Hou L, Liang Q B, *et al.* Correlation between microplastics pollution and eutrophication in the near shore waters of Dianchi Lake[J]. *Environmental Science*, 2021, **42**(7): 3166-3175.
- [5] Li Q L, Zeng A R, Jiang X, *et al.* Are microplastics correlated to phthalates in facility agriculture soil? [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2021, **421**, doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.125164.
- [6] Scheurer M, Bigalke M. Microplastics in swiss floodplain soils [J]. *Environmental Science & Technology*, 2018, **52**(6): 3591-3598.
- [7] Rocha-santos T, Duarte A C. A critical overview of the analytical approaches to the occurrence, the fate and the behavior of microplastics in the environment[J]. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 2015, **65**: 47-53, doi: 10.1016/j.trac.2014.10.011.
- [8] 侯军华, 檀文炳, 余红, 等. 土壤环境中微塑料的污染现状及其影响研究进展[J]. *环境工程*, 2020, **38**(2): 16-27, 15.
- Hou J H, Tan W B, Yu H, *et al.* Microplastics in soil ecosystem: a review on sources, fate and ecological impact[J]. *Environmental Engineering*, 2020, **38**(2): 16-27, 15.
- [9] 朱莹, 曹森, 罗景阳, 等. 微塑料的环境影响行为及其在我国的分布状况[J]. *环境科学研究*, 2019, **32**(9): 1437-1447.
- Zhu Y, Cao M, Luo J Y, *et al.* Distribution and potential risks of microplastics in China: a review [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2019, **32**(9): 1437-1447.
- [10] Huerta Lwanga E, Mendoza Vega J, Ku Quej V, *et al.* Field evidence for transfer of plastic debris along a terrestrial food chain [J]. *Scientific Reports*, 2017, **7**, doi: 10.1038/s41598-017-14588-2.
- [11] Ma L, Wang L, Jia Y Y, *et al.* Accumulation, translocation and conversion of six arsenic species in rice plants grown near a mine impacted city[J]. *Chemosphere*, 2017, **183**: 44-52, doi: 10.1016/j.chemosphere.2017.05.089.
- [12] 韩丽花, 徐笠, 李巧玲, 等. 辽河流域土壤中微(中)塑料的丰度、特征及潜在来源[J]. *环境科学*, 2021, **42**(4): 1781-1790.
- Han L H, Xu L, Li Q L, *et al.* Levels, characteristics, and potential source of micro(meso)plastic pollution of soil in Liaohe River Basin[J]. *Environmental Science*, 2021, **42**(4): 1781-1790.
- [13] 赵传靓, 闫仪, 苏俊堂, 等. 水体环境中纳米塑料的危害与检测研究进展[J]. *环境工程*, 2019, **37**(12): 64-70.
- Zhao C L, Yan Y, Su J T, *et al.* Research progress on the harm and detection technologies of nanoplastics in aquatic environment [J]. *Environmental Engineering*, 2019, **37**(12): 64-70.
- [14] 屈沙沙, 朱会卷, 刘锋平, 等. 双密度分离法提取化妆品中的聚乙烯微珠[J]. *卫生研究*, 2017, **46**(6): 986-990.
- Qu S S, Zhu H J, Liu F P, *et al.* Isolation of polyethylene microbeads in cosmetics by double-density separation [J]. *Journal of Hygiene Research*, 2017, **46**(6): 986-990.
- [15] Wen X F, Du C Y, Xu P, *et al.* Microplastic pollution in surface sediments of urban water areas in Changsha, China: abundance, composition, surface textures [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2018, **136**: 414-423, doi: 10.1016/j.marpolbul.2018.09.043.
- [16] 董明潭, 罗泽娇, 邢新丽, 等. 基于油提取的土壤与沉积物中微塑料的分离方法[J]. *环境科学研究*, 2020, **33**(6): 1522-1529.
- Dong M T, Luo Z J, Xing X L, *et al.* Separation of microplastics in soils and sediments with oil extraction protocol[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2020, **33**(6): 1522-1529.
- [17] Crichton E M, Noël M, Gies E A, *et al.* A novel, density-independent and FTIR-compatible approach for the rapid extraction of microplastics from aquatic sediments[J]. *Analytical Methods*, 2017, **9**(9): 1419-1428.
- [18] 顾伟康, 杨国峰, 刘艺, 等. 环境介质中微塑料的处理与检测方法研究进展[J]. *土木与环境工程学报(中英文)*, 2020, **42**(1): 135-143.
- Gu W K, Yang G F, Liu Y, *et al.* Treatment and detection methods of microplastics from environmental media: a review [J]. *Journal of Civil and Environmental Engineering*, 2020, **42**(1): 135-143.
- [19] van Cauwenberghe L, Vanreusel A, Mees J, *et al.* Microplastic pollution in deep-sea sediments [J]. *Environmental Pollution*, 2013, **182**: 495-499, doi: 10.1016/j.envpol.2013.08.013.
- [20] 刘翠英, 张津瑞, 曾涛, 等. 傅里叶变换红外光谱的土壤团聚体有机碳和全氮含量估测[J]. *光谱学与光谱分析*, 2020, **40**(12): 3818-3824.
- Liu C Y, Zhang J R, Zeng T, *et al.* Determination of soil organic carbon and total nitrogen contents in aggregate fractions from fourier transform infrared spectroscopy [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2020, **40**(12): 3818-3824.
- [21] 夏镇卿, 司雷勇, 金岩, 等. 根区增温对玉米幼苗主要代谢物傅里叶红外光谱特性及叶绿素含量的影响[J]. *光谱学与光谱分析*, 2020, **40**(4): 1283-1288.
- Xia Z Q, Si L Y, Jin Y, *et al.* Effects of root zone temperature increase on fourier transform infrared spectroscopy content of main metabolites and chlorophyll in maize seedlings[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2020, **40**(4): 1283-1288.
- [22] 张宇波, 成丽君. 基于红外光谱成像技术的环境微塑料检测研究[J]. *塑料科技*, 2020, **48**(8): 53-55.
- Zhang Y B, Cheng L J. Study on microplastic detection with infrared spectral imaging system [J]. *Plastics Science and Technology*, 2020, **48**(8): 53-55.
- [23] 徐湘博, 孙明星, 张林秀, 等. 土壤微塑料污染研究进展与展望[J]. *农业资源与环境学报*, 2021, **38**(1): 1-9.
- Xu X B, Sun M X, Zhang L X, *et al.* Research progress and prospect of soil microplastic pollution[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2021, **38**(1): 1-9.
- [24] 王昆, 林坤德, 袁东星. 环境样品中微塑料的分析方法研究进展[J]. *环境化学*, 2017, **36**(1): 27-36.
- Wang K, Lin K D, Yuan D X. Research progress on the analysis of microplastics in the environment [J]. *Environmental Chemistry*, 2017, **36**(1): 27-36.
- [25] 舒良树. 普通地质学[M]. (第三版). 北京: 地质出版社, 2010. 238-239.
- [26] Liu F, Rossiter D G, Zhang G L, *et al.* A soil colour map of China[J]. *Geoderma*, 2020, **379**, doi: 10.1016/j.geoderma.2020.114556.
- [27] 晏昭敏, 袁大刚, 余星兴, 等. “紫色砂、页岩岩性特征”颜色修订建议——基于四川紫色土母岩颜色特征[J]. *土壤学*

- 报, 2020, **57**(1): 60-70.
- Yan Z M, Yuan D G, Yu X X, *et al.* Proposal on revising color definition for “L. C. of purplish sandstones and shales”—based on color characteristics of parent rock of purplish soil in Sichuan [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2020, **57**(1): 60-70.
- [28] 江秀明, 王鹤达, 杨登辉, 等. ATR-FTIR 快速测定食醋总酸的研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2020, **41**(5): 69-72.
- Jiang X M, Wang H D, Yang D H, *et al.* Rapid determination of total acid in vinegar by ATR-FTIR spectroscopy [J]. *Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)*, 2020, **41**(5): 69-72.
- [29] 汤庆峰, 李琴梅, 魏晓晓, 等. 环境样品中微塑料分析技术研究进展[J]. 分析测试学报, 2019, **38**(8): 1009-1019.
- Tang Q F, Li Q M, Wei X X, *et al.* Progress on research of analysis techniques for microplastics in environmental samples [J]. *Journal of Instrumental Analysis*, 2019, **38**(8): 1009-1019.
- [30] 李丹文, 林莉, 潘雄, 等. 淡水环境中微塑料采样及预处理方法研究进展[J]. 长江科学院院报, 2020, **38**(7): 14-23.
- Li D W, Lin L, Pan X, *et al.* Research progress on sampling and pretreatment methods of microplastics in fresh water environment [J]. *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*, 2020, **38**(7): 14-23.
- [31] 董姝楠, 夏继红, 王为木, 等. 土壤-地下水中微塑料迁移的影响因素及机制研究进展[J]. 农业工程学报, 2020, **36**(14): 1-8.
- Dong S N, Xia J H, Wang W M, *et al.* Review on impact factors and mechanisms of microplastic transport in soil and groundwater [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2020, **36**(14): 1-8.
- [32] 徐笠, 李海霞, 韩丽花, 等. 微塑料对典型污染物吸附解吸的研究进展[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2021, doi: 10.13930/j.cnki.cjea.200925.
- Xu L, Li H X, Han L H, *et al.* Research progress on the adsorption and desorption between microplastics and typical pollutants [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2021, doi: 10.13930/j.cnki.cjea.200925.
- [33] Turner A, Holmes L A. Adsorption of trace metals by microplastic pellets in fresh water [J]. *Environmental Chemistry*, 2015, **12**(5): 600-610.
- [34] 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.
- Zhao C Y, Li X W, Zhang H Y, *et al.* Effect of chemical pretreatment on adsorption of microplastics to Pb [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2019, **39**(10): 3387-3394.
- [35] 王一飞, 李森, 于海瀛, 等. 微塑料对环境中有机污染物吸附解吸的研究进展[J]. 生态毒理学报, 2019, **14**(4): 23-30.
- Wang Y F, Li M, Yu H Y, *et al.* Research progress on the adsorption and desorption between microplastics and environmental organic pollutants [J]. *Asian Journal of Ecotoxicology*, 2019, **14**(4): 23-30.
- [36] 徐舟影, 陈奥飞, 赵胤祺, 等. 武汉城市污水中微塑料的分离、鉴定及其微观特征分析[J]. 环境科学研究, 2021, **34**(3): 637-645, doi: 10.13198/j.issn.1001-6929.2020.07.17.
- Xu Z Y, Chen A F, Zhao Y Q, *et al.* Separation, identification and microscopic characteristics analysis of microplastics in wuhan municipal sewage [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2021, **34**(3): 637-645, doi: 10.13198/j.issn.1001-6929.2020.07.17.
- [37] 柴炳文, 尹华, 魏强, 等. 电子废物拆解区微塑料与周围土壤环境之间的关系[J]. 环境科学, 2021, **42**(3): 1073-1080.
- Cai B W, Yin H, Wei Q, *et al.* Relationships between microplastic and surrounding soil in an E-Waste zone of China [J]. *Environmental Science*, 2021, **42**(3): 1073-1080.
- [38] 赵军波. 基于高光谱成像技术的环境微塑料检测的研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2019.
- Zhao J B. Detection of environmental microplastics based on hyperspectral imaging technology [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2019.

CONTENTS

Continuous PM _{2.5} Composition Measurements for Source Apportionment During Air Pollution Events	CAI Fan-tao, SHANG Yue, DAI Wei, <i>et al.</i>	(4575)
Orographic Influences on the Spatial Distribution of PM _{2.5} on the Fen-Wei Plain	HUANG Xiao-gang, ZHAO Jing-bo, SUN Cong-jian, <i>et al.</i>	(4582)
Characteristics and Health Risk Assessment of Heavy Metals in PM _{2.5} Under Winter Haze Conditions in Central China: A Case Study of Huanggang, Hubei Province	LI Xing-yu, MAO Yao, CHEN Zhan-le, <i>et al.</i>	(4593)
Concentration and Reactivity of Carbonyl Compounds in the Atmosphere of North China	HUANG Yu, CHEN Xi, WANG Ying-hong, <i>et al.</i>	(4602)
Characteristics of O ₃ Pollution and Key Precursors in Chengdu During Spring	HAN Li, CHEN Jun-hui, JIANG Tao, <i>et al.</i>	(4611)
O ₃ Source Characteristics of an Industrial Area in the Yangtze River Delta Based on Boundary Observations	HUANG Qing, HUANG Yin-zhi, ZHANG Shan, <i>et al.</i>	(4621)
Characteristics and Source of VOCs During O ₃ Pollution Between August to September, Langfang Development Zones	ZHANG Jing-qiao, WANG Hong-liang, FANG Xiao-yun, <i>et al.</i>	(4632)
Coating-derived VOCs Emission Characteristics and Environmental Impacts from the Furniture Industry in Guangdong Province	ZENG Chun-ling, SHAO Xia, LIU Rui-yuan, <i>et al.</i>	(4641)
Response of Air Quality to COVID-19 Lockdown in Xiamen Bay	XU Chao, WU Shui-ping, LIU Yi-jing, <i>et al.</i>	(4650)
Similarities and Differences of Valley Winds in the Beijing Plain and Yanqing Areas and Its Impact on Pollution	WU Jin, LI Chen, MA Zhi-qiang, <i>et al.</i>	(4660)
Characteristics of Atmospheric Particulate Matter Pollution and the Unique Wind and Underlying Surface Impact in the Twain-Hu Basin in Winter	ZHU Yan, ZHAO Tian-liang, BAI Yong-qing, <i>et al.</i>	(4669)
Conversion Characterizations of Sulfate Ion and Nitrate Ion in Particulate Matter from Coal-fired Power Plants	YANG Liu, HE Qing, SHENG Zhong-yi	(4678)
Water Chemical Characteristics and Influence of Exogenous Acids in the Yangtze River Basin	WANG Qi, YU Shi, JIANG Ping-ping, <i>et al.</i>	(4687)
Effects of Land Use on Nutrient Concentrations in the Inflow River of Lake Taihu, China	LIAN Xin-qiao, ZHU Guang-wei, YANG Wen-bin, <i>et al.</i>	(4698)
Diversity of Zooplankton and Niche Characteristics of Keystone Species in the Weihe River Based on eDNA	LIANG Dong, XIA Jun, SONG Jin-xi, <i>et al.</i>	(4708)
Occurrence, Distribution, and Ecological Risk Assessment of Pharmaceutical and Personal Care Products in the Aquatic Environment of Sanya City, China	REN Bing-nan, GENG Jing	(4717)
Screening of Priority Pollutants and Risk Assessment for Surface Water from Shengjin Lake	GONG Xiong-hu, DING Qi-qi, JIN Miao, <i>et al.</i>	(4727)
Long-term Changes and Drivers of Ecological Security in Shahe Reservoir, China	YANG Wen-bin, DUAN Wen-xiu, CUI Yang, <i>et al.</i>	(4739)
Seasonal Variation and Influencing Factor Analysis of Antibiotic Resistance Genes in Water Supply Reservoirs of Central China	ZHANG Kai, XIN Rui, LI Kuang-jia, <i>et al.</i>	(4753)
Geochemical Characteristics and Driving Factors of NO ₃ -Type Groundwater in the Rapidly Urbanizing Pearl River Delta	LÜ Xiao-li, LIU Jing-tao, HAN Zhan-tao, <i>et al.</i>	(4761)
Spatial Hydrochemical Characteristics and Controlling Factors of Surface Water in the Yancheng Area	WANG Jian, ZHANG Hua-bing, XU Jun-li, <i>et al.</i>	(4772)
Identification of Dredging Depths Based on Sediment Vertical Distribution Profiles of Total Nitrogen and Total Phosphorus and Their Adsorption-desorption Equilibria	ZHOU Ya-ting, CHEN Xing-hong, LI Li-qing, <i>et al.</i>	(4781)
Role of Borate and Phosphate Buffers in the Degradation of Organic Compounds in a PMS/Co ²⁺ System: Influencing Factors and Mechanisms	WAN Qi-qi, CHEN Zhu-hao, CAO Rui-hua, <i>et al.</i>	(4789)
Degradation 2,2',4,4'-Tetrabromodiphenyl Ether by Activated Peroxymonosulfate Using Magnetic Biochar Supported α -MnO ₂	LI Xin, YIN Hua, LUO Hao-yu, <i>et al.</i>	(4798)
Characteristics and Mechanisms of Bacteriophage MS2 Inactivation in Water by UV Activated Sodium Persulfate	ZHANG Chong-miao, YANG Hao-ming, WANG Zhen	(4807)
Adsorption Characteristics of Phosphate on Cerium Modified Water Hyacinth Biochar	WANG Guang-ze, ZENG Wei, LI Shuai-shuai	(4815)
Removal Efficiency and Mechanism of Ammonia Nitrogen in a Low Temperature Groundwater Purification Process	LI Dong, LIU Meng-hao, ZHANG Rui-miao, <i>et al.</i>	(4826)
Speciation and Ecological Risk Assessment of Heavy Metal(loid)s in the Municipal Sewage Sludge of China	GENG Yuan-meng, ZHANG Chuan-bing, ZHANG Yong, <i>et al.</i>	(4834)
Meta-analysis of Microbial Communities in the Activated Sludge of Wastewater Treatment Plants Under Different Climate Types	YANG Si-hang, QIN Ze-sheng, LIANG Man-chun	(4844)
Partial Nitrification and Anaerobic Ammonia Oxidation Synergistic Denitrification to Remove Nitrogen and Carbon from Domestic Sewage	QIN Yan-rong, YUAN Zhong-ling, ZHANG Ming, <i>et al.</i>	(4853)
Cultivation and Performance Analysis of Simultaneous Partial Nitrification, ANAMMOX, and Denitrification Granular Sludge	ZHOU Feng, LIU Yong-di, LI Wei	(4864)
Application of Various Methods to Extract Microplastic from Typical Soils in China	ZHAO Xiao-li, LIU Zi-han, CONG Chen-yu, <i>et al.</i>	(4872)
Evaluation and Sources of Heavy Metal Pollution in the Surface Soil of the Qaidam Basin	CHEN Liang, ZHANG Xi-ying, TANG Qi-liang, <i>et al.</i>	(4880)
Content and Ecological Risks of Heavy Metals in Soil with Different Land Uses in a Rapidly Urbanizing Area	LI Meng-ting, SHEN Cheng, WU Jian, <i>et al.</i>	(4889)
Selenium Geochemical Characteristics and Influencing Factors of Paddy Fields in Du'an County, Guangxi	LIU Fei, YANG Ke, XU Ren-ting, <i>et al.</i>	(4897)
Carbonized Apple Branches Decrease the Accumulation and Damage of Cadmium on Apple Rootstock by Reducing DTPA-Cd in Soil	DENG Bo, XUN Mi, ZHANG Wei-wei, <i>et al.</i>	(4908)
Accumulation and Health Risk of Heavy Metals in Cereals, Vegetables, and Fruits of Intensive Plantations in Hainan Province	YANG Jian-zhou, WANG Zhen-liang, GAO Jian-weng, <i>et al.</i>	(4916)
Correlation Analysis among Environmental Antibiotic Resistance Genes Abundance, Antibiotics Concentrations, and Heavy Metals Concentrations Based on Web of Science Searches	MIAO Sun, CHEN Lei, ZUO Jian-e	(4925)
Pollution Characteristics and Risk Assessment of Tetracycline Antibiotics in Farmland Soil in Yinchuan	ZHANG Xiao-hong, TAO Hong, WANG Ya-juan, <i>et al.</i>	(4933)
Effect of Manure from Different Sources on the Leaching of Antibiotics in Soil	LI Bin-xu, ZHU Chang-xiong, SONG Ting-ting, <i>et al.</i>	(4942)
Analysis of the Traits of Nitrogen Metabolism Pathways for Several Forest Soils in Eastern China	LÜ Xue-li, ZHAO Yong-peng, LIN Qing-huo, <i>et al.</i>	(4951)
Denitrification Rates and <i>nirS</i> -type Denitrifying Bacteria Community Structure Characteristics of Bulk and Rhizosphere Soil in Spring and Summer in the Alpine Wetlands of the Qinghai-Tibet Plateau	LI Yu-qian, MA Jun-wei, GAO Chao, <i>et al.</i>	(4959)
Microbial Community Structure of Soil Methanogens and Methanotrophs During Degradation and Restoration of Reed Wetlands in the Songnen Plain	WANG Qiu-ying, WANG Na, LIU Ying, <i>et al.</i>	(4968)
Characteristics of Bacterial Community Structure in Fluvio-aquic Soil Under Different Rotation Fallow	NAN Zhen-wu, LIU Zhu, DAI Hong-cui, <i>et al.</i>	(4977)
Response of Photosynthetic Bacterial Community to Cadmium Contamination in Paddy Soil	LUO Lu-yun, JIN De-cai, WANG Dian-dong, <i>et al.</i>	(4988)
Community Distribution of the Rhizospheric and Endophytic Bacteria of <i>Phragmites australis</i> and Their Limiting Factors in Iron Tailings	CAO Man-man, WANG Fei, ZHOU Bei-hai, <i>et al.</i>	(4998)
Effects of Combination of Organic and Inorganic Nitrogen on Nitrification and Denitrification in Two Salinized Soils	ZHOU Hui, SHI Hai-bin, ZHANG Wen-cong, <i>et al.</i>	(5010)
Response of Yield, CH ₄ , and N ₂ O Emissions from Paddy Fields to Long-term Elevated CO ₂ Concentrations	YU Hai-yang, SONG Kai-fu, HUANG Qiong, <i>et al.</i>	(5021)
Effects of Feedstock Material and Pyrolysis Temperature on Dissolved Organic Matter in Biochars	YAN Dai-hong, MA Ya-pei, SONG Kai-yue, <i>et al.</i>	(5030)
Spatiotemporal Variations in Atmospheric Urban Heat Island Effects and Their Driving Factors in 84 Major Chinese Cities	LI Yu, ZHOU De-cheng, YAN Zhang-mei	(5037)
Research Progress in the Odorants and Their Emissions from Indoor Building Decoration Materials	ZHANG Wan-zhong, ZHANG Peng-yi	(5046)