

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

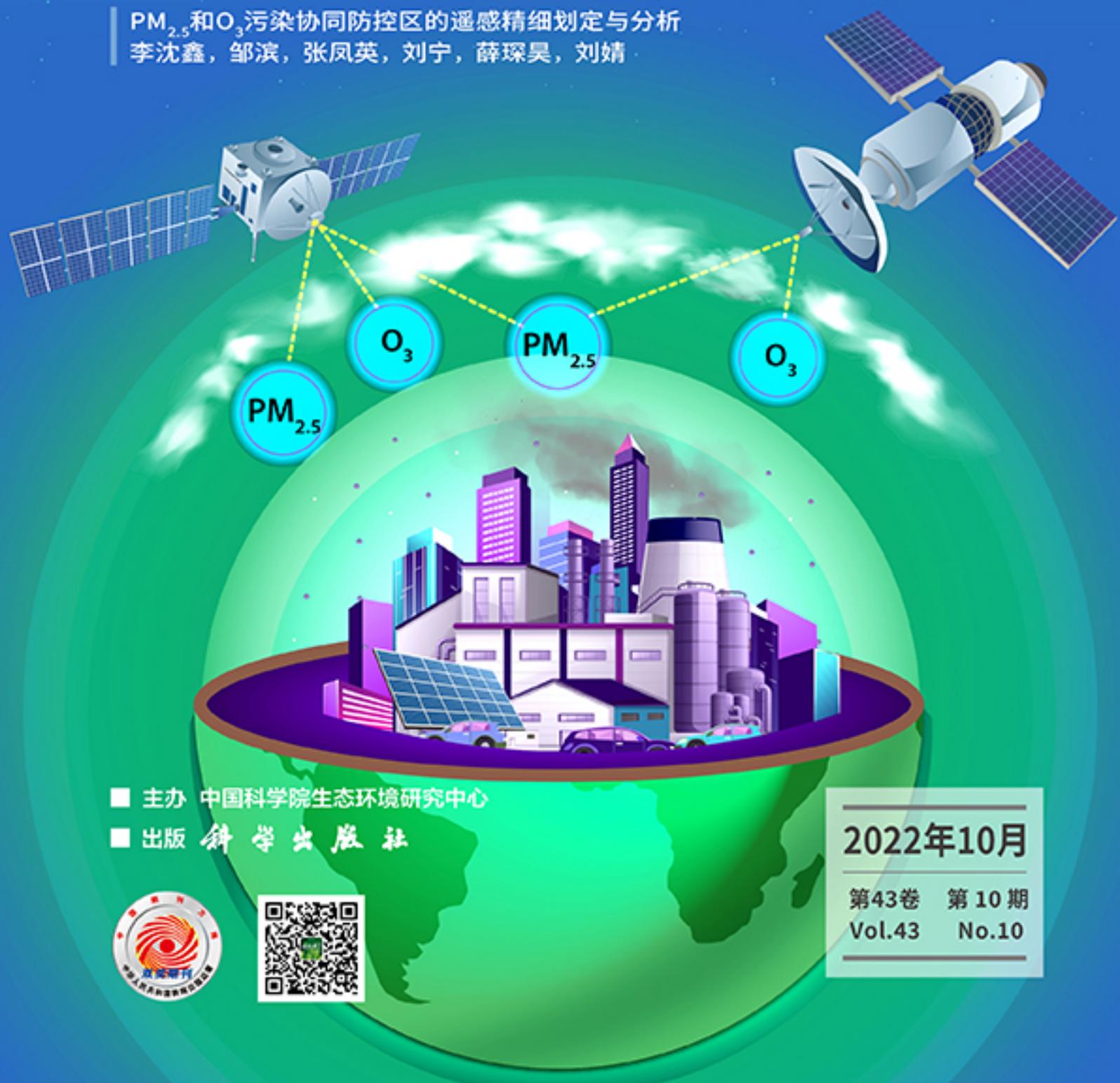
环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

HUANJING KEXUE

PM_{2.5}和O₃污染协同防控区的遥感精细划定与分析
李沈鑫, 邹滨, 张凤英, 刘宁, 薛琛昊, 刘婧



■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2022年10月

第43卷 第10期
Vol.43 No.10

目次

PM_{2.5}和O₃污染协同防控区的遥感精细划定与分析 李沈鑫, 邹滨, 张凤英, 刘宁, 薛琛昊, 刘婧(4293)

广州市冬季一次典型臭氧污染过程分析 裴成磊, 谢雨彤, 陈希, 张涛, 邱晓暖, 王瑜, 王在华, 李梅(4305)

佛山臭氧浓度预报方程的建立与应用 陈辰, 洪莹莹, 谭浩波, 司徒淑婷, 程银琳, 步巧利, 吴蒙, 潘巧英(4316)

乌海市高分辨率大气污染源排放清单构建及其在臭氧污染成因探究中的应用 张瑞欣, 楚波, 尚春林, 曹喜萍, 李光耀, 朱玉凡, 刘晓, 夏佳琦, 陈强(4327)

结合在线监测和自动识别系统分析东海沿岸船舶排放特征 邱浩, 刘丹彤, 吴杨周, 李思远, 丁朔, 胡康, 张家乐, 陈梅汀(4338)

机动车制动磨损颗粒物及挥发性有机物的组分特征 门正宇, 刘笃优, 郭全有, 张静, 彭剑飞, 吴琳, 毛洪钧(4348)

笼养鸡舍冬季挥发性有机物排放特征 曹甜甜, 郑云昊, 张羽, 王悦, 丛群欣, 王源昊, 董红敏(4357)

上海市生活垃圾房气溶胶中可培养细菌污染状况及种群特征 卢冰洁, 张翔, 王川, 邱俊, 李丹(4367)

浙江省2008~2018年人为源氨排放清单及分布特征 方利江, 杨一群, 叶观琼(4380)

“双碳”目标下钢铁行业控煤降碳路线图 薛英岚, 张静, 刘宇, 陈瑜, 孙健, 蒋洪强, 张伟, 曹东(4392)

空间关联网络结构特征的减排效应:基于城市群视角 郑航, 叶阿忠(4401)

中国对外直接投资的减污降碳效应及其实现机制 白梓函, 吕连宏, 赵明轩, 张楠, 罗宏(4408)

近年全国地表水水质变化特征 嵇晓燕, 侯欢欢, 王姗姗, 杨凯(4419)

湟水河流域地表水体微塑料分布、风险及影响因素 范梦苑, 黄懿梅, 张海鑫, 李好好, 黄倩(4430)

汾河流域地表水水化学同位素特征及其影响因素 赵春红, 申豪勇, 王志恒, 梁永平, 赵一, 谢浩, 唐春雷(4440)

城镇化进程中珠江三角洲高锰地下水赋存特征及成因 吕晓立, 刘景涛, 韩占涛, 朱亮, 李海军(4449)

喀什噶尔河下游平原区地下水咸化特征及成因分析 鲁涵, 曾妍妍, 周金龙, 孙英(4459)

重庆市老龙洞地下河流域硝酸盐来源和生物地球化学过程的识别 王雨吻, 杨平恒, 张洁茹(4470)

蓝藻水华过程中优势种群演替模式、效应及驱动因子分析 欧阳添, 赵璐, 纪璐璐, 杨宋琪, 郑保海, 杜雨欣, 李佳欣, 李玉鑫, 施军琼, 吴忠兴(4480)

珠海市磨刀门水道输水水源水库群浮游植物群落特征及其环境驱动因子 张茉莉, 王思瑞, 昌盛, 王山军, 金德才, 樊月婷, 张坤锋, 谢琼, 付青(4489)

营养物质对铜绿微囊藻生长和藻际细菌的影响 吕萍, 李慧莉, 徐勇, 郑效旭, 黄振华, 王聪, 徐圣君, 庄绪亮(4502)

老化作用对微塑料吸附四环素的影响及其机制 王林, 王姝歆, 曾祥英, 何杨, 黄雯, 郑世界, 张建强(4511)

沉积物和土壤中胶体对氯霉素吸附行为的影响 晏彩霞, 罗燕清, 聂明华, 周旋, 丁明军(4522)

历史抗生素胁迫改变磺胺甲噁唑和甲氧苄啶对活性污泥的影响:ARGs及其潜在宿主 张忠兴, 樊晓燕, 李星, 高玉玺, 赵君如(4536)

阳朔典型铅锌矿区流域土壤重金属空间分布特征及来源解析 陈盟, 潘泳兴, 黄奕翔, 王樞檀, 张睿东(4545)

白洋淀及周边土壤重金属的分布特征及生态风险评估 郑飞, 郭欣, 汤名扬, 朱冬, 董四君, 康乐, 陈兵(4556)

基于地理探测器的镇域尺度土壤重金属含量空间分异及其影响因素分析 龚仓, 王亮, 王顺祥, 张志翔, 董航, 刘玖芬, 王德伟, 严步青, 陈映(4566)

燃煤电厂重金属排放与周边土壤中重金属污染特征及健康风险 车凯, 陈崇明, 郑庆宇, 范辉, 魏明磊, 罗蓬, 郁金星(4578)

海南岛半干旱区农用地土壤重金属富集因素、健康风险及来源识别 杨剑洲, 龚晶晶, 王振亮, 高健翁, 杨建坤, 胡树起, 唐世新(4590)

九龙江口红树林表层沉积物重金属赋存形态及污染评价 张华兰, 于瑞莲, 万瑞安, 胡恭任, 黄华斌, 吴雅清(4601)

我国茶叶主产区有机肥重金属含量现状 伊晓云, 方丽, 杨向德, 马立锋, 刘美雅, 张群峰, 倪康, 石元值(4613)

甘肃省农业土壤邻苯二甲酸酯累积特征及来源分析 陈王玉, 张光全, 张杨, 李明凯, 郝佳欣, 熊有才, 李崇霄, 曹靖(4622)

三峡库区澎溪河不同高程消落带土壤磷形态及磷酸酶活性分布特征 高艺伦, 方芳, 唐子超, 张蕊, 蒋艳雪, 郭劲松(4630)

塔里木盆地北缘绿洲不同连作年限棉田土壤有机碳组分特征及其与理化因子的相关性 李昕竹, 贡璐, 唐军虎, 罗艳, 丁肇龙, 朱海强, 张涵, 李蕊希(4639)

黄土丘陵区柠条人工林不同深度土壤呼吸速率对土壤湿度的响应 孙亚荣, 王亚娟, 赵敏, 薛文艳, 梁思琦, 刘乐, 刘超, 陈云明(4648)

基于Meta-analysis的生物炭对土壤硝态氮淋失和磷酸盐固持影响 姜志翔, 崔爽, 张鑫, 郝敏, 孙德茂(4658)

低分子有机酸强化植物修复重金属污染土壤的作用与机制 方治国, 谢俊婷, 杨青, 卢焯桢, 黄海, 朱芸烟, 尹思敏, 吴鑫涛, 都韶婷(4669)

无机钝化剂对镉污染酸性水稻土的修复效果及其机制 张剑, 孔繁艺, 卢升高(4679)

改良铅锌矿渣对栎树幼苗铅锌富集与耐性机制 谢天志, 陈永华, 苏荣葵, 刘慧, 姚海松(4687)

CaO₂/FA复合材料富集磷效能及其回收物对土壤改良作用 岳薇, 李大鹏, 吴玲予, 王璐, 汤尧禹, 朱企, 黄勇(4697)

早稻秸秆还田和减钾对晚稻产量和土壤肥力的影响 黄巧义, 黄建凤, 黄旭, 吴永沛, 李苹, 付弘婷, 唐拴虎, 刘一峰, 徐培智(4706)

秸秆连续还田配施化肥对稻-油轮作土壤碳库及作物产量的影响 蔡影, 付思伟, 张博睿, 胡宏祥, 刘文雯, 俞金涛, 贾临东, 刘运峰(4716)

化肥减量配施秸秆对双季稻田固氮微生物群落的影响 陈凯鹏, 韦菊烟, 陈丹, 王聪, 沈健林, 李勇, 吴金水(4725)

化肥减量与有机物料添加对华北潮土微生物氮循环功能基因丰度和氮转化遗传潜力的影响 李胜君, 胡荷, 李刚, 王蕊, 赵建宁, 张贵龙, 修伟明(4735)

长期覆膜条件下农田土壤微生物群落的响应特征 胡志娥, 肖谋良, 丁济娜, 季剑虹, 陈剑平, 葛体达, 鲁顺保(4745)

长期秸秆还田对潮土真菌群落、酶活性和小麦产量的影响 马垒, 李燕, 魏建林, 李子双, 周晓琳, 郑福丽, 吴小宾, 王利, 刘兆辉, 谭德水(4755)

土壤改良剂对再生水滴灌根际土壤菌群多样性及病原菌和抗生素抗性基因丰度的影响 崔丙健, 崔二革, 刘春成, 胡超, 樊向阳, 李中阳, 高峰(4765)

氮素对苜蓿植物修复垃圾堆场镉-多环芳烃复合污染土壤及土壤细菌群落结构的影响 李怡佳, 马俊伟, 李玉倩, 肖琛, 沈心怡, 牛云, 陈家军(4779)

抗生素降解剂对猪粪堆肥腐熟和细菌群落演替的影响 李玮琳, 张昕, 马军伟, 孙万春, 成琪璐, 林辉(4789)

《环境科学》征订启事(4337) 《环境科学》征稿简则(4407) 信息(4521, 4705, 4800)

湟水河流域地表水体微塑料分布、风险及影响因素

范梦苑, 黄懿梅*, 张海鑫, 李好好, 黄倩

(西北农林科技大学资源与环境学院, 农业农村部西北植物营养与农业环境重点实验室, 杨凌 712100)

摘要: 为探究我国青藏高原淡水环境中微塑料的分布情况, 采用金相显微镜观察、傅里叶红外光谱测定、野外调查和影像数据分析等方法对青海省湟水河流域丰水期 63 个地表水样中微塑料的分布特征和影响因素进行分析, 并依据风险指数 (H) 和污染负荷 (PLI) 指数模型评估了微塑料的潜在生态风险。结果表明, 流域水体中微塑料丰度范围为 $665 \sim 8\,780 \text{ n}\cdot\text{m}^{-3}$, 湟源县水系平均丰度最高, 达 $5\,414 \text{ n}\cdot\text{m}^{-3}$, 各支流丰度从上游到下游逐渐增大。微塑料中薄膜类和颗粒类分别占 36% 和 33%, 透明和黑色分别占 67% 和 17%, 粒径在 $0.45 \sim 50 \mu\text{m}$ 的占 70%, 聚乙烯 (66%) 和聚丙烯 (12%) 为主要的聚合物类型。微塑料丰度与耕地面积、降水量和紫外线强度正相关, 与溶解氧、氧化还原电位和风速显著负相关, 微塑料的分布受人类活动和环境因子的共同影响。总体上湟水河流域地表水体中微塑料的潜在生态风险较低。

关键词: 微塑料; 湟水河; 分布特征; 影响因素; 风险评估

中图分类号: X522 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2022)10-4430-10 DOI: 10.13227/j.hjxx.202201087

Distribution, Risk, and Influencing Factors of Microplastics in Surface Water of Huangshui River Basin

FAN Meng-yuan, HUANG Yi-mei*, ZHANG Hai-xin, LI Hao-hao, HUANG Qian

(Key Laboratory of Plant Nutrition and Agri-environment in Northwest China, Ministry of Agriculture, College of Natural Resource and Environment, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract: In order to explore the distribution of microplastics in the freshwater environment of Qinghai-Tibet Plateau, 63 surface water samples were collected in Huangshui River basin of Qinghai province during the wet season, and the distribution characteristics and main influencing factors of microplastics in the surface water were analyzed by means of metallographic microscope, Fourier infrared spectroscopy, field investigation, and image data analysis. The potential ecological risks of microplastics were evaluated using risk index (H) and pollution load index (PLI) models. The abundance of microplastics in surface water ranged from $665 \sim 8\,780 \text{ n}\cdot\text{m}^{-3}$, with the highest average abundance of $5\,414 \text{ n}\cdot\text{m}^{-3}$ in Huangyuan County. The abundance of microplastics increased from upstream to downstream. The main colors of microplastics were transparent (67%) and black (17%), and the particle size was less than $50 \mu\text{m}$ (70%). Polyethylene (66%) and polypropylene (12%) were the main polymer types. The abundance of microplastics was positively correlated with cultivated land area, precipitation, and ultraviolet intensity, but the opposite results were observed in dissolved oxygen, redox potential, and wind speed. Additionally, the potential ecological risk of surface water in the Huangshui River basin was relatively low.

Key words: microplastics; Huangshui River; distribution characteristics; influencing factors; risk assessment

微塑料(粒径 $< 5 \text{ mm}$ 的塑料颗粒)作为一种难降解的新型污染物,广泛分布于地表水、沉积物、大气和土壤等环境介质中^[1,2],甚至出现在人类日常食用的食盐和饮用水里^[3]。由于特殊的表面结构,微塑料极易吸附环境中的重金属^[4]和抗生素^[5]等污染物,并被浮游动物、贝类、鱼类和哺乳动物摄食,最终威胁人类健康^[6],因此,引起环境科学家的高度关注。微塑料首先在印度洋、太平洋和渤海等众多海洋被发现^[7~9],然而与海洋相比,淡水环境与人类的接触更直接和频繁。Murphy 等^[10]发现英国苏格兰的一个污水处理厂对微塑料的去除率达 98%,但每日仍有 6 500 万 n 微塑料通过出水进入河流,这些吸附了污水中多种有机污染物的微塑料不断降解,并将有害化学物质如邻苯二甲酸酯和多溴联苯醚等浸入水体,影响水环境质量。

目前,我国关于淡水环境微塑料的研究集中在长江流域、珠江流域和部分发达城市内陆河流,微塑料丰度范围在 $500 \sim 25\,800 \text{ n}\cdot\text{m}^{-3}$,类型多为小于

2 mm 的透明纤维状聚乙烯和聚丙烯微塑料^[11]。不同淡水环境下影响微塑料分布的因素迥异, Li 等^[12]调查发现我国南方典型红树林沉积物中微塑料丰度与人口密度、城市土地面积和国内生产总值变化趋势一致;沱江流域城市河流中微塑料丰度与氧化还原电位显著负相关^[13];葡萄牙安图河沉积物中微塑料的丰度则具有明显的季节性,丰水期后微塑料含量更高^[14]; Feng 等^[15]已在青藏高原西部的阿里、日喀则和拉萨等高海拔地区的地表水中检测到微塑料的含量为 $100 \sim 1\,800 \text{ n}\cdot\text{m}^{-3}$,主要为小粒径 ($45 \sim 500 \mu\text{m}$) 透明纤维状聚丙烯,微塑料的丰度与化学需氧量和总氮正相关,与水体盐度及海拔负相关。而关于青藏高原东部人口较为密集的农业区,地

收稿日期: 2022-01-11; 修订日期: 2022-03-05

基金项目: 第二次青藏高原综合科学考察研究项目 (2019QZKK0603)

作者简介: 范梦苑(1999~),女,硕士研究生,主要研究方向为水环境微塑料污染, E-mail: fanmengyuanai@163.com

* 通信作者, E-mail: ymhuang1971@nwsuaf.edu.cn

表水体中微塑料的赋存特征和影响因素尚不清楚;此外,已有研究大多只关注了微塑料的分布特征^[16~20],很少定量评价微塑料的生态环境风险,从而限制了对其进行及时和精准的防控。

被称为“亚洲水塔”的青藏高原是长江和黄河等多个重要河流的发源地,为近 10 亿人口提供淡水资源^[21],区域水质的保护尤为重要。湟水河位于青藏高原东部面积最大的农业区——河湟谷地内,是黄河上游最大的一级支流,流经青海的海东市和西宁市等。与高海拔地区相比,湟水流域人类活动较为频繁,农田地表径流、城镇和农村居民生活污水等都可能随各支流汇入湟水河中^[22],对河水水质安全构成潜在威胁,但河水中微塑料等新型污染物的分布特征和影响因素尚不明确。因此,本文以湟水河流域作为研究区域,探究其地表水体微塑料的分布特征,结合土地利用、水质和水文指标及气象因子分析微塑料分布的主要影响因素,并采用两种风险评估模型定量评估其潜在生态风险,以期为我国青藏高原淡水环境微塑料的评估及防控提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

湟水河流域位于青海省东部(100°42'~103°04'E, 36°02'~37°28'N),平均海拔在2 000~3 000 m之间,气候温和,年降水量为300~500 mm,6~9月降水占全年降水量的70%左右。湟水河干流全长349 km,年径流量为 $20.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[23]。流域内耕地面积441 km²,占全省耕地面积的49%;人口占青海省近2/3,是青海省重要的农业生产基地和经

济发展中心;流域水质主要受城镇生活污水、工业废水、农田地表径流、畜禽养殖废水和农村生活污水排放的影响^[22]。

1.2 样点布设及水样采集

依据湟水流域的农业集约程度和水系分布特点,选择湟源县、互助土族自治县及民和回族土族自治县为主要研究区域,区域2020年各类气象数据(中国气象数据网)如表1所示,研究区域具有年均气温低、光照和紫外线辐射强等特点,且随海拔的增大,3个县降水逐渐增强。湟水河在各县主要一级支流包括申中河、药水河、沙塘川、哈拉直沟、红崖子沟、松树沟、隆治沟和巴州沟,二级支流有寺滩河、林川河、柏木峡、姚家沟、沙沟和纳龙沟等,监测断面均匀布设在河流的上游(水库及山泉水)、中、下游(城镇或农田进、排水及支流交汇处),研究区域各断面两岸的主要土地利用类型为耕地和草地,林地主要分布在河流的上游,耕地和城镇集中分布在中下游(图1),在200 m和500 m缓冲区内互助县与民和县耕地占比均大于50%,其中互助县500 m缓冲区内耕地面积达 $5.36 \times 10^5 \text{ m}^2$,是湟源与互助县耕地面积的2.6倍和1.3倍(国家青藏高原科学数据中心资料)。于2020年8月丰水期内,使用哈希HQ30d数字化多参数分析仪现场测定pH、电导率、溶解氧、氧化还原电位和流速,每个采样点用玻璃采水器采集水样4 L注入棕色玻璃瓶内保存,运回实验室一部分用于微塑料的提取与分析,一部分用于总氮(GB 11894-1989)和硫酸盐(HJ/T 342-2007)水质指标测定。在湟水河流域共采集地表水样63个。

表1 研究区域各类气象因子年均值

Table 1 Annual mean values of meteorological factors in study area

项目	气温/°C	风速 /m·s ⁻¹	降水量 /mm	日照强度 /W·m ⁻²	紫外线强度 /W·m ⁻²
湟源县	1.53 ± 8.6	1.83 ± 0.3	58.58 ± 54.7	160.80 ± 44.5	22.97 ± 6.7
互助县	2.84 ± 8.8	1.81 ± 0.2	50.25 ± 46.3	161.39 ± 48.8	21.59 ± 6.1
民和县	5.75 ± 9.6	1.91 ± 0.2	48.95 ± 36.1	157.59 ± 45.8	21.47 ± 6.1

1.3 样点制备与分析

首先使用0.45 μm的微孔滤膜对样品进行抽滤,再用去离子水将滤膜上的微塑料转移至500 mL玻璃烧杯中,按5:1的比例加入30% H₂O₂溶液,放置于振荡培养箱中48 h以消解各类杂质。消解完成后用布氏漏斗和0.45 μm的硝酸纤维素滤膜再次过滤样品,并将滤膜放置在45℃恒温干燥箱至恒重。

依据文献[24]的方法使用金相显微镜(MV5000,中国)对滤膜上微塑料的形态进行鉴定

和拍照,并记录样品中微塑料的数量、粒径、形状和颜色。利用傅里叶变换红外光谱仪(Vetex70, Bruker)分析微塑料的成分,所采集的傅里叶光谱经基线校正后与标准谱图库检索对照,相似度在70%以上可认为是某种聚合物类型^[13]。

1.4 质量控制

在采样和实验过程中均使用玻璃容器,各仪器使用前用超纯水冲洗至少3次并烘干,不使用时用铝箔覆盖。整个实验过程要保证实验区域的清洁,实验人员需穿着棉质实验服,戴丁腈手套。使用超纯水

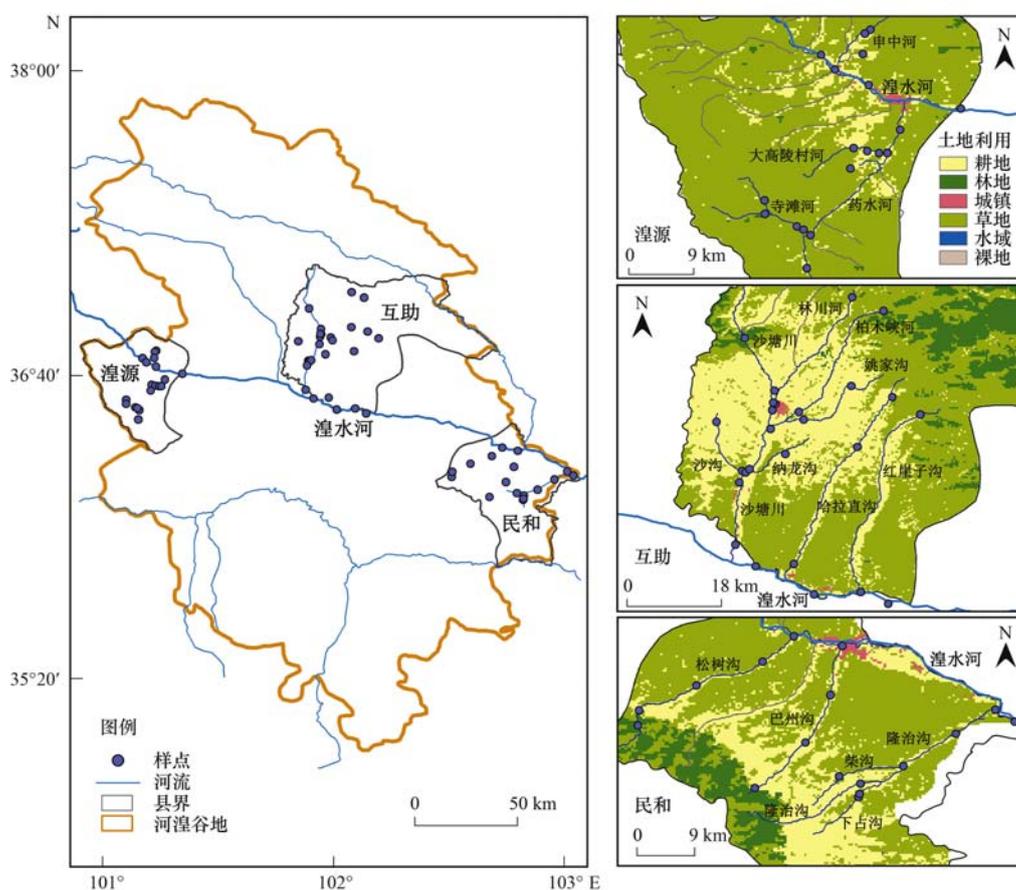


图1 湟水河流域样点及土地利用分布示意

Fig. 1 Sample points and land use in Huangshui River Basin

作为空白处理,对照样品经消解和抽滤后检测到微塑料丰度平均值为 $(396 \pm 125) \text{ n} \cdot \text{m}^{-3}$,并在数量统计中扣除相应的计数结果。

1.5 潜在生态风险评估

采用风险指数(H)和污染物负荷指数(PLI)模型对水体微塑料污染进行风险评估。

风险指数(H)模型以聚合物的毒性为参考指标,充分体现各类污染物的复合效应^[12]。其计算公式如下:

$$H = \sum P_n \times S_n$$

式中, H 为微塑料生态风险指数, P_n 为各类微塑料的质量分数; S_n 为各类微塑料聚合物的危险评分:聚丙烯、聚苯乙烯、聚乙烯、聚对苯二甲酸乙二醇

酯、聚酰胺6和聚氯乙烯对应的危险评分分别为1、4、11、30、50和5 001^[25]。

Tolminson等^[26]提出的污染物负荷指数(PLI)模型以研究区域样点微塑料的丰度为主要指标,点面结合评价总体的污染情况。评估模型定义如下:

$$CF_i = C_i / C_{oi}$$

$$PLI = \sqrt{CF_i}$$

$$PLI_{\text{zone}} = \sqrt[n]{PLI_1 \times PLI_2 \times \dots \times PLI_n}$$

式中, CF_i 为各采样点微塑料丰度(C_i)与所有样点最小丰度(C_{oi})的比值^[27];PLI为单个样点微塑料的污染负荷指数; n 为样点数量;PLI_{zone}为研究区域整体微塑料的污染负荷指数。表2为两种模型对应的风险级别划分标准。

表2 微塑料生态风险等级

Table 2 Risk classification of microplastics

项目	微塑料生态风险等级			
	I	II	III	IV
生态风险指数(H)	< 10	10 ~ 100	100 ~ 1 000	> 1 000
污染负荷指数(PLI _{zone})	< 10	10 ~ 20	20 ~ 30	> 30

1.6 数据处理与分析

样点数据统计用Excel 2019进行,利用SPSS Statistics 26.0的Pearson相关分析微塑料丰度与环

境因子之间的关系,单因素方差分析(One-way ANOVA)组间差异性($P < 0.05$),Origin 2018与ArcGIS 10.5制图。

2 结果与分析

2.1 微塑料的赋存特征

2.1.1 微塑料丰度分布特征

湟水河流域 63 个地表水样微塑料的检出率为 100% (图 2), 微塑料丰度范围为 665 ~ 8 780 n·m⁻³, 各样点丰度具有空间差异. 湟源县、互助县和民和县

水系中微塑料丰度平均值分别为 (5 414 ± 1 213)、(2 948 ± 734) 和 (2 087 ± 486) n·m⁻³, 其中湟源县申中河下游的样点 S10 丰度最高, 而民和县巴州沟的上游泉水样点 S54 丰度最低. 如图 3 所示, 在湟源县与民和县境内, 河流微塑料的丰度从上游到下游逐渐增大, 其中民和县下游微塑料丰度是上游的 2.50 倍 ($P < 0.05$), 而互助县河流微塑料则集中分布在中游.

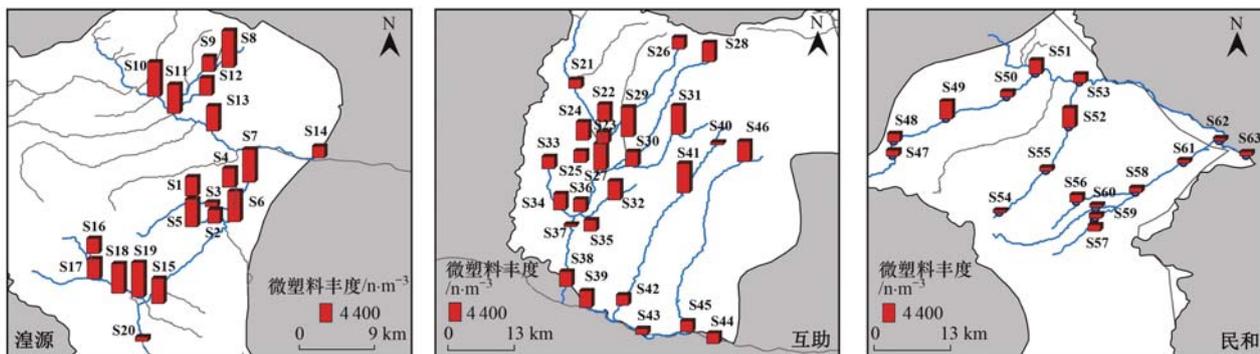
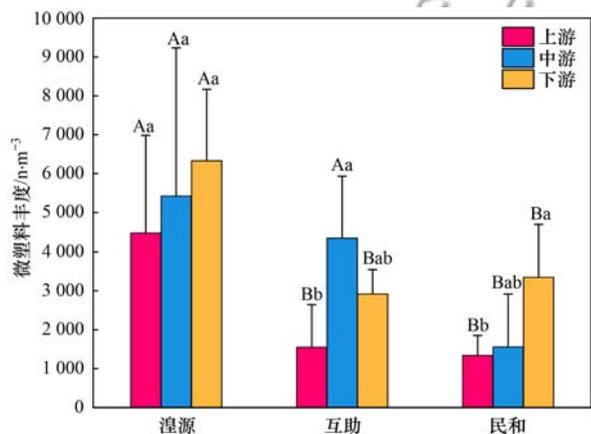


图 2 湟水河流域地表水体微塑料分布情况

Fig. 2 Abundance of microplastics in surface waters in Huangshui River basin



不同小写字母表示 3 个县同区段微塑料丰度显著性差异 ($P < 0.05$), 不同大写字母表示各县内不同区段微塑料丰度显著性差异 ($P < 0.05$)

图 3 研究区域河流各区段微塑料丰度

Fig. 3 Abundance of microplastics in each section of rivers

2.1.2 微塑料的类型、粒径及颜色分布特征

湟水河流域地表水中微塑料类型包括薄膜类、碎片类、纤维类和颗粒类这 4 种 (图 4), 主

要形状为薄膜类 (36%), 其次是颗粒 (33%) 和碎片类 (21%), 纤维类仅占 10%. 流域水体微塑料的粒径主要分布在 0.45 ~ 50 μm 内, 20 ~ 50 μm 占比达 43%, 大于 0.5 mm 的微塑料含量则低于 8%, 且随着粒径的增大, 微塑料丰度逐渐减小. 水体微塑料颜色多样, 透明色 (67%) 微塑料比例最高, 其次为黑色 (17%), 其它颜色占比均低于 10% (图 5).

2.1.3 微塑料的聚合物组成及分布特征

在随机挑选的 315 个样品中共检测到聚乙烯、聚丙烯、聚对苯二甲酸乙二醇酯、聚苯乙烯、聚酰胺 6 和聚氯乙烯这 6 种类型的合成聚合物 (图 6), 湟水流域水体中聚乙烯 (66%) 占比最高, 其次为聚丙烯 (12%). 流域内 3 个县水体微塑料的聚合物组成不尽相同, 但总体仍以聚乙烯和聚丙烯为主, 值得注意的是, 各类聚合物中危险评分高达 5 001 的聚氯乙烯只在互助县水体中被检测到.

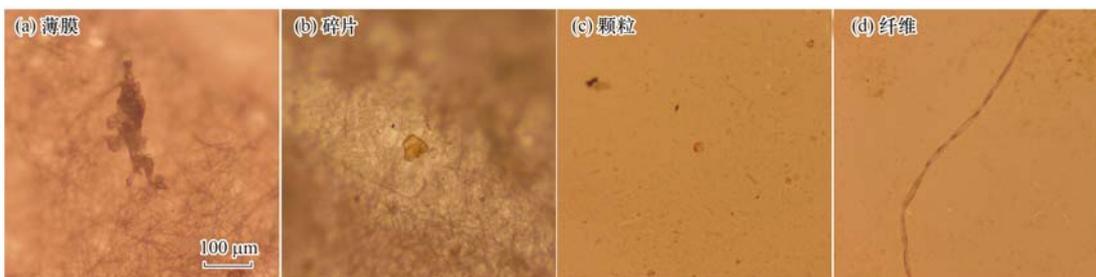
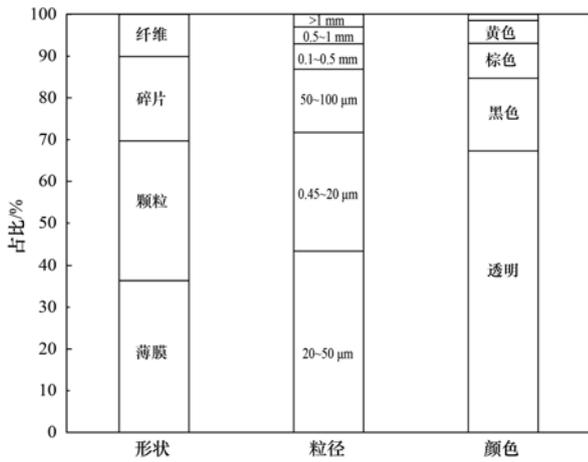


图 4 湟水河流域地表水体微塑料类型

Fig. 4 Types of microplastic in surface water of Huangshui River basin



颜色图柱顶部为其它颜色种类占比

图 5 湟水河流域水体微塑料的形状、粒径和颜色分布
Fig. 5 Type, size, and color distribution of microplastics in Huangshui River basin

2.2 微塑料的分布与人类活动及环境因子的关系

2.2.1 微塑料丰度与土地利用的相关性

微塑料丰度与不同类型土地面积的相关性如图 7 所示,湟源县和互助县水体微塑料丰度与 200 m 和 500 m 缓冲区内草地面积负相关, 3 个县的微塑料丰度与耕地面积表现为正相关,其中互助县水体微塑料丰度与 500 m 缓冲区内耕地面积显著正相关 ($P < 0.05$).

2.2.2 微塑料丰度与水质、水文指标的相关性

由图 8 可知,从上游到下游,湟水河流域水体电导率、总氮和硫酸盐逐渐增大,下游河段 ρ (总氮) 平均值达 $2.53 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 超过 III 类标准,而溶解氧和氧化还原电位则减小了 4% 左右. 如图 9 所示,湟水河流域水体微塑料丰度与河流流量正相关,与溶解氧及氧化还原电位呈显著负相关 ($P < 0.05$). 这表

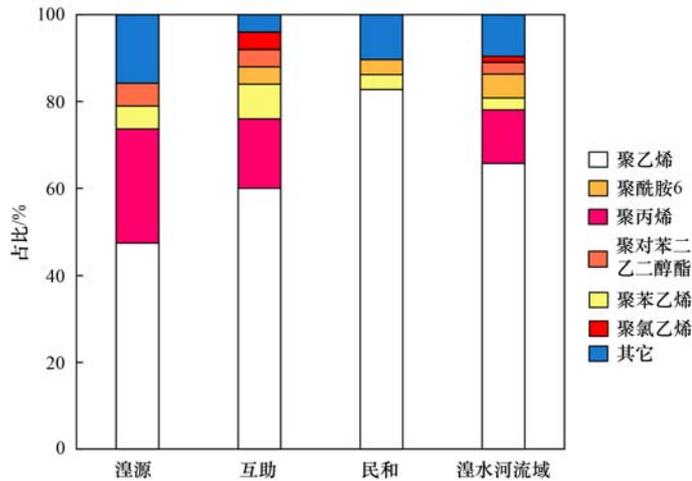
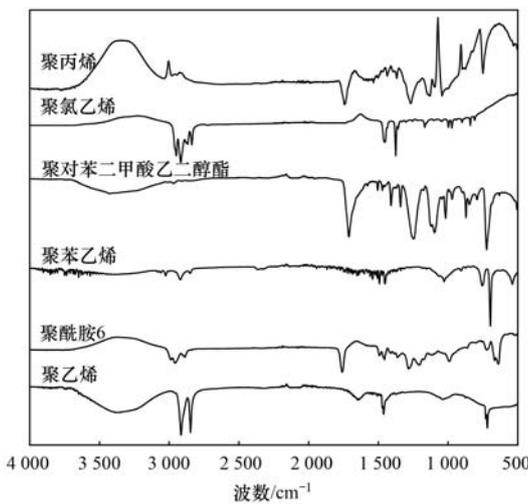


图 6 湟水河流域地表水体典型微塑料的红外光谱图和聚合物组成分布

Fig. 6 FTIR diagram and polymer composition of typical microplastics in surface water of Huangshui River basin

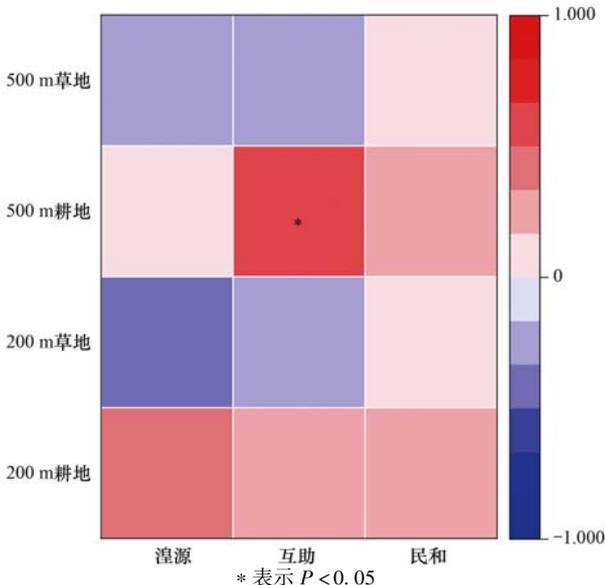


图 7 湟水河流域水体微塑料丰度与土地利用相关性热图
Fig. 7 Linkage between microplastic abundance and land use in surface water of study area

明,从上游到下游,随着河流流量的增大,污染物不断汇集,微塑料含量也逐渐增加.

2.2.3 微塑料丰度与气象因子的相关性分析

地表水体微塑料丰度与主要气象因子的相关性如图 10 所示,微塑料丰度与年均降水量、光照和紫外线强度极显著正相关 ($P < 0.01$),与地表温度和风速则为极显著负相关 ($P < 0.01$),可见,气象因子也是影响地表水体微塑料分布的重要因素之一.

2.3 微塑料的风险评估

湟水河流域地表水体微塑料风险指数 (H) 为 78.98, 级别为 II 类, 总体生态风险较低 [图 11(a)]. 各县水体微塑料风险指数差异较大,湟源县与民和县微塑料风险等级分别为 I 类和 II 类; 而互助县则为 III 类, 风险较高. 流域各样点污染负荷指数聚集在 2~8 之间, 整体污染负荷较低 [$\text{PLI}_{\text{zone}} < 10$, 图 11(b)]. 与风险指数 (H) 模型结果不同,互助县与民和县平均污染负荷指数均低于 5, 污染等级为 I 类,

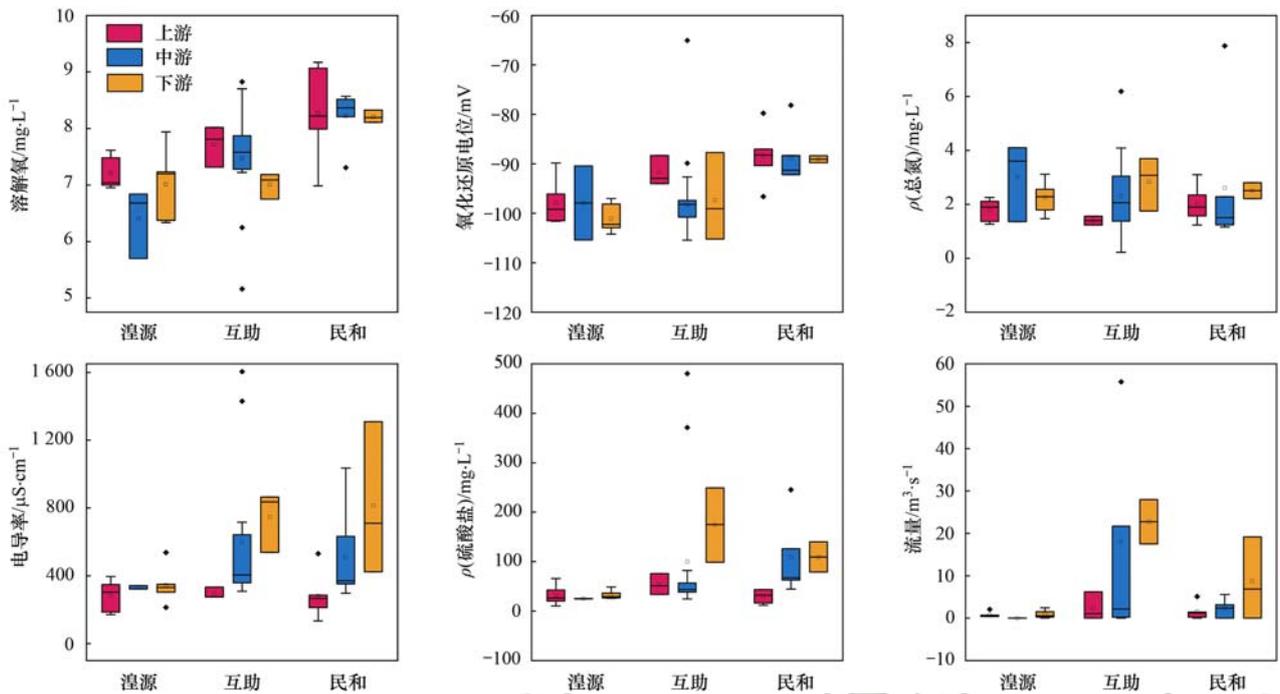
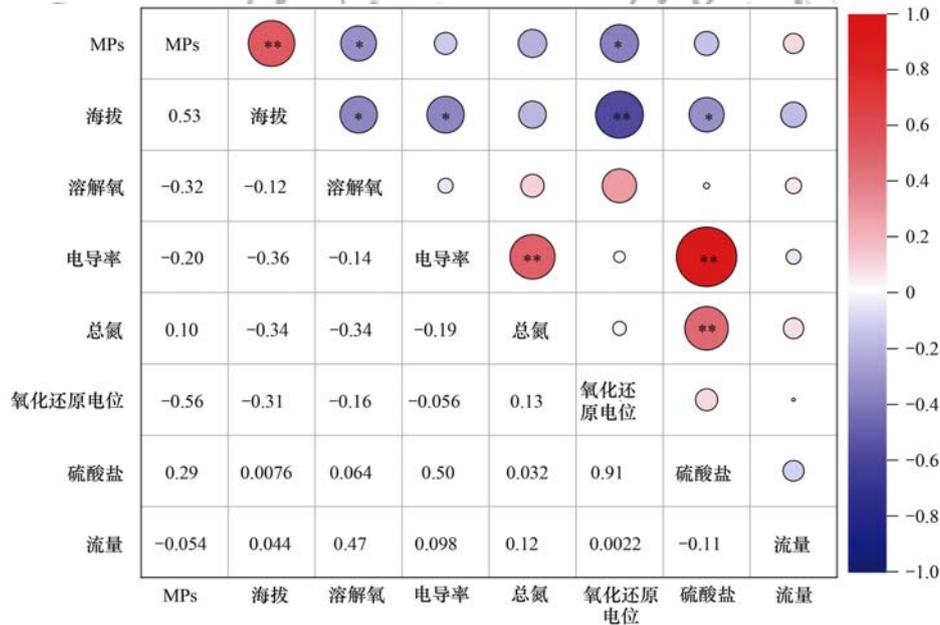


图 8 湟水河流域地表水水质和水文指标分布特征

Fig. 8 Water quality and hydrological indexes in Huangshui River basin



* 表示 $P < 0.05$, ** 表示 $P < 0.01$; 不同大小的圆形表示微塑料丰度与水质指标的相关性大小

图 9 湟水河流域地表水体微塑料丰度与各类水质指标的相关性

Fig. 9 Relationship between microplastic abundance and water quality indexes in Huangshui River basin

风险较低；而湟源县 40% 的样点污染负荷值高于 10, 达到 II 类水平。

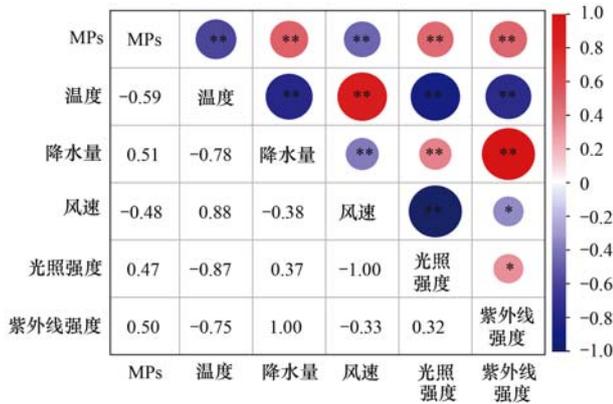
两种模型参考指标的差异是造成风险评估结果迥异的关键, 其中风险指数 (H) 模型以各类聚合物的化学毒性为主要指标, 没有考虑微塑料丰度的影响, 因此对于含有高危险指数聚合物——聚氯乙烯 ($S_n = 5\ 001$) 的互助县, 其潜在风险远高于湟源县与民和县; 与风险指数 (H) 模型相异, 污染负荷指数模型以微塑料丰度为评价依据, 故各区域污染负荷

与微塑料丰度高低结果相似。

3 讨论

3.1 湟水河流域地表水体微塑料的赋存及风险

与其它典型淡水环境相比, 湟水河流域地表水体微塑料丰度处于中等水平 (表 3), 与珠江^[16] 和北运河^[17] 相近, 低于典型发达城市或工农业聚集区内河流^[18~20,28], 但高于长江源区^[29] 和青藏高原西藏地区河流^[1,15] 中微塑料丰度. 原因可能是: ①目前关



* 表示 $P < 0.05$, ** 表示 $P < 0.01$; 不同大小的圆形表示微塑料丰度与主要气象因子的相关性大小

图 10 研究区域地表水体微塑料丰度与主要气象因子的相关性

Fig. 10 Correlation of microplastics abundance and main meteorological factors in study area

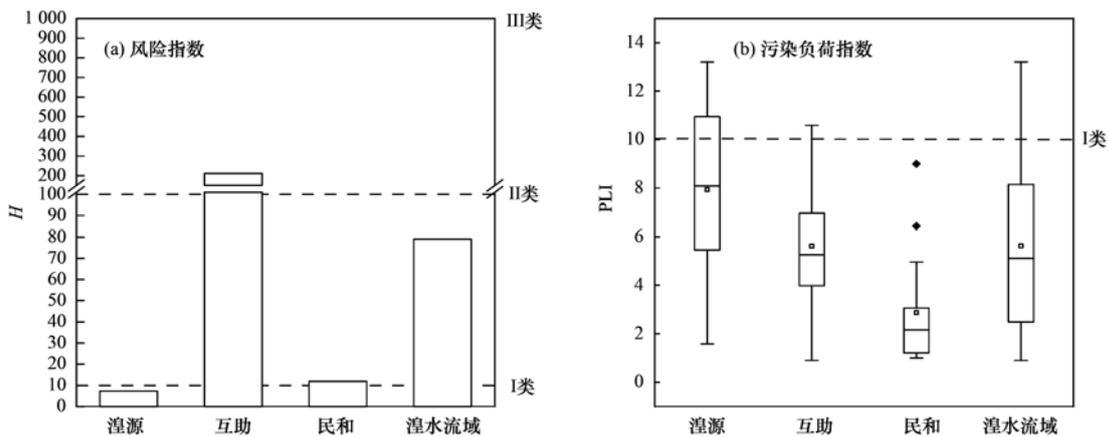


图 11 湟水河流域水体微塑料的风险指数和污染负荷指数

Fig. 11 Risk and pollution load index of surface water microplastics in Huangshui River basin

区及经济发展中心. 因此,与青藏高原已有研究相比,湟水河流域内较强的人类活动使其更易成为新型污染物——微塑料的“汇”。

微塑料的赋存特征是分析其来源的重要依据,与青藏高原已有调查截然不同,湟水河流域中薄膜类占比最高,而西藏水源地和高海拔地区水体微塑料形状均以纤维类为主(表 3),湟水流域作为青海省东部重要农业区,农业活动中残留的大量塑料制品如地膜、塑料大棚等,可能在环境中风化破碎形成薄膜类微塑料^[15];与 Jiang 等^[1]对西藏水源地河流研究结果相似,湟水流域微塑料聚合物种类多以聚乙烯和聚丙烯为主,这可能因为聚乙烯材质轻便、价格低廉,被广泛应用于农用薄膜、塑料袋和包装材料等生产生活用品中,而聚丙烯则具有良好的可塑性和稳定性,经常用作食品容器^[19]. 这也再次说明湟水河流域的微塑料主要来自农业生产和日常消费活动。

两种风险模型评估结果表明,湟水河流域部分

于水体微塑料的检测缺乏统一的方法和标准. 在微塑料的提取过程中,一般使用孔径范围为 20 ~ 48 μm 的不锈钢筛网(表 3),据 Enfrin 等^[30]的估算,每 L 生活污水可释放高达 10^{11} 个纳米级微塑料,小粒径($< 20 \mu\text{m}$)微塑料的存在不容忽视. 本研究使用 0.45 μm 滤膜对水样微塑料进行直接分离,发现水体 0.45 ~ 20 μm 微塑料的丰度平均值为 $(1114 \pm 571) \text{n} \cdot \text{m}^{-3}$,占 30%,故流域水体微塑料总含量较高;②微塑料丰度的差异与地区的经济发展及人类活动密切相关^[31],在 $> 20 \mu\text{m}$ 的相同粒径范围内,湟水河流域水体微塑料丰度 $[(2469 \pm 733) \text{n} \cdot \text{m}^{-3}]$ 分别为长江源区^[29] $[(1823 \pm 949) \text{n} \cdot \text{m}^{-3}]$ 和青藏高海拔地区^[15] $[(625 \pm 411) \text{n} \cdot \text{m}^{-3}]$ 的 1.35 倍和 3.96 倍,湟水河流域集中了青海省 65.8% 的人口和 67.9% 的耕地^[32],是青海省重要的人口、耕地聚集

地区微塑料生态风险等级已达到 II 类甚至是 III 类水平,对湟水流域和下游黄河流域的水环境安全与人类健康产生威胁,今后应加强对该流域微塑料污染的监控;不同评估模型下各县风险等级划分差异显著,水体微塑料平均污染负荷低于 I 类标准的互助县,其生态风险指数却达到 III 类水平. 近年来互助县城镇和工业发展迅速,仅在该流域水体中检测到的聚氯乙烯具有防火耐热作用,常用于建筑管道、涂料、电线和电缆等,因此流域内大量建材、冶炼和农副产品加工业等工厂废水排放带来的少量高毒性聚合物可能是造成该区域强环境风险的重要原因^[33]. 此外,目前没有一个标准模型来评估微塑料的风险,本研究综合考虑了聚合物毒性与微塑料丰度两大指标,但仍缺乏环境阈值来界定微塑料的污染程度,未来应开展微塑料在更加符合实际的水体及人体环境中的吸附和暴露实验,建立更为准确的实验分析体系及数学评估模型,界定出微塑料对生态环境的安全浓度。

表 3 典型淡水环境中微塑料的赋存特征¹⁾

Table 3 Occurrence of microplastics in other freshwater environments

研究区域	孔径/ μm	丰度 $/\text{n}\cdot\text{m}^{-3}$	主要粒径 $/\mu\text{m}$	主要形状	主要种类	文献
印度尼西亚 Ciwalengke 河	50	5 850 \pm 3 280	50 ~ 100	纤维和碎片	聚酰胺	[18]
珠江	20	2 724	20 ~ 1 000	纤维和薄膜	—	[16]
三峡水库	48	4 703 \pm 2 816	48 ~ 500	纤维和碎片	聚丙烯、聚苯乙烯和聚乙烯	[19]
内蒙古河套灌溉区	48	14 310 \pm 571	48 ~ 500	纤维和碎片	聚乙烯和聚苯乙烯	[20]
北运河	2	4 160	2 ~ 300	碎片和纤维	聚酯类	[17]
香溪河	10	6 640 \pm 1 320	10 ~ 500	薄膜和纤维	聚乙烯和聚丙烯	[28]
西藏地区河流	45	695 \pm 182	45 ~ 500	纤维和碎片	聚乙烯和聚丙烯	[1]
长江源区	20	1 823 \pm 949	20 ~ 50	碎片和纤维	聚酰胺和聚乙烯	[29]
青藏高原高海拔地区	20	624 \pm 411	20 ~ 500	纤维和碎片	聚乙烯和聚丙烯	[15]
湟水河流域	0.45	3 583 \pm 873	0.45 ~ 50	薄膜和颗粒	聚乙烯和聚丙烯	本研究

1) “—”表示文献中没有相关数据

3.2 湟水河流域地表水体微塑料分布的影响因素

河流作为微塑料迁移过程的重要载体,其分布不仅受上游污染物的输入和污水排放等人类活动的影响,还与水动力、风力和温度等环境因子相关^[1,18,34]. 湟水河流域微塑料的污染呈现较强的空间特征:湟源县水体微塑料丰度高于互助县与民和县;在各县内,微塑料集中分布于河流的中下段,原因可能有:一方面是河流中下游沿岸农田退水中微塑料的输入. 本研究发现在河流中下游地区随着耕地面积的增大,微塑料含量不断增加; Zhang 等^[35]调查发现河湟谷地农田土壤中微塑料丰度是草地的 2 倍,研究区域内水体微塑料主要类型为透明类 PE 薄膜,是地膜、塑料大棚和化肥袋等的主要成分^[11],因此农田中的微塑料可能通过地表径流进入水体. 据统计,河湟谷地地膜覆盖种植面积达 $98.5 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ^[36], 2019 ~ 2020 年湟源县农田地膜投入量达 280 t,残膜回收率却不足 87% (青海省统计局),侧面验证了农业活动对河流微塑料分布的重要性.

另一方面,研究区域水体溶解氧、氧化还原电位与微塑料丰度间的显著负相关性 ($P < 0.05$),表明了微塑料与其它人为污染物之间的联系. 水体有机质和悬浮物含量的升高是溶解氧降低的主要原因^[37],而淡水环境中的有机物与生活污水排放紧密相关^[38]. 从上游到下游水体中纤维类微塑料占比增加了 5% (图 5),湟水流域为非渔业区,因此居民生活污水中衣物纤维的输入是微塑料的来源之一^[39]. 此外,微塑料的形状、颜色以及各类化学组成反映了其污染源的多样性,被丢弃的食品包装、打包盒、饮料瓶甚至是供排水管等常见的塑料垃圾,都可能随大气或地表径流进入河流^[40~42]. 因此,中下游河段居民生活污水及塑料垃圾的排放也是微塑料的重要来源.

此外,在海拔较高的青藏高原地区,其独特的气候因子也是影响水体微塑料分布的重要因素之一. 在高紫外线辐射强度的湟源县,环境中微塑料的破碎和降解速率高于低日照区域^[43]. 气候因子的差异直接影响降水量的变化^[44],降水后短期内形成的地表径流有助于将陆地上积累的微塑料,如农田残留地膜和河岸丢弃的生活垃圾等,输送到水环境中^[45,46];风作为一种关键的大气运输介质,通常被认为是偏远地区微塑料的重要传输媒介^[4]. 本研究中,风速越高水体微塑料含量越低,这表明较强的风力作用可能会带走沿岸或河流表层一些密度较小的(微)塑料如泡沫板和塑料袋等. 综上所述,湟水河流域地表水体微塑料分布不仅受农业耕作、生活污水及塑料垃圾排放等人类活动的影响,还与降水、光照和风速等气候因子变化密不可分.

4 结论

(1) 湟水河流域地表水体微塑料丰度范围为 $665 \sim 8\,780 \text{ n}\cdot\text{m}^{-3}$;湟源县水系平均丰度最高,各县内微塑料主要聚集在河流中下游;微塑料主要形状为薄膜类,颜色以透明和黑色为主,粒径分布集中在 $0.45 \sim 50 \mu\text{m}$ 内,随粒径的增大,微塑料的丰度逐渐减小.

(2) 湟水河流域地表水体微塑料的分布受人类活动与气候等因素的共同影响,水体微塑料丰度与近距离缓冲区耕地面积正相关,与溶解氧、氧化还原电位显著负相关 ($P < 0.05$);高降水量及紫外线强度增大了水体微塑料的输入,而风速则在一定程度减轻了地表水体微塑料的污染.

(3) 湟水河流域地表水体微塑料总体生态风险较低,两种评估模型下各区域风险等级划分存在差异,部分地区生态风险指数达到 III 类水平,风险较高. 在今后对湟水河流域的生态风险评价中,应充分

考虑微塑料的影响。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] Yang L, Zhang Y L, Kang S C, *et al.* Microplastics in freshwater sediment; a review on methods, occurrence, and sources[J]. *Science of the Total Environment*, 2021, **754**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141948.
- [3] Panno S V, Kelly W R, Scott J, *et al.* Microplastic contamination in Karst groundwater systems[J]. *Groundwater*, 2019, **57**(2): 189-196.
- [4] Holmes L A, Turner A, Thompson R C. Adsorption of trace metals to plastic resin pellets in the marine environment[J]. *Environmental Pollution*, 2012, **160**: 42-48.
- [5] Li J, Zhang K N, Zhang H. Adsorption of antibiotics on microplastics[J]. *Environmental Pollution*, 2018, **237**: 460-467.
- [6] Eerkes-Medrano D, Thompson R C, Aldridge D C. Microplastics in freshwater systems: a review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs[J]. *Water Research*, 2015, **75**: 63-82.
- [7] Li C J, Wang X H, Liu K, *et al.* Pelagic microplastics in surface water of the Eastern Indian Ocean during monsoon transition period: Abundance, distribution, and characteristics [J]. *Science of the Total Environment*, 2021, **755**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.142629.
- [8] Wang S, Chen H, Zhou X, *et al.* Microplastic abundance, distribution and composition in the mid-west Pacific Ocean[J]. *Environmental Pollution*, 2020, **264**, doi: 10.1016/j.envpol.2020.114125.
- [9] Zhu L, Bai H Y, Chen B J, *et al.* Microplastic pollution in north Yellow Sea, China: observations on occurrence, distribution and identification[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, **636**: 20-29.
- [10] Murphy F, Ewins C, Carbonnier F, *et al.* Wastewater treatment works (WwTW) as a source of microplastics in the aquatic environment[J]. *Environmental Science & Technology*, 2016, **50**(11): 5800-5808.
- [11] Fu Z L, Wang J. Current practices and future perspectives of microplastic pollution in freshwater ecosystems in China[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, **691**: 697-712.
- [12] Li R L, Yu L Y, Chai M W, *et al.* The distribution, characteristics and ecological risks of microplastics in the mangroves of Southern China [J]. *Science of the Total Environment*, 2020, **708**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.135025.
- [13] Zhou G Y, Wang Q G, Zhang J, *et al.* Distribution and characteristics of microplastics in urban waters of seven cities in the Tuojiang River Basin, China[J]. *Environmental Research*, 2020, **189**, doi: 10.1016/j.envres.2020.109893.
- [14] Rodrigues M O, Abrantes N, Gonçalves F J M, *et al.* Spatial and temporal distribution of microplastics in water and sediments of a freshwater system (Antuã River, Portugal)[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, **633**: 1549-1559.
- [15] Feng S S, Lu H W, Yao T C, *et al.* Spatial characteristics of microplastics in the high-altitude area on the Tibetan Plateau[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2021, **417**, doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.126034.
- [16] Lin L, Zuo L Z, Peng J P, *et al.* Occurrence and distribution of microplastics in an urban river; a case study in the Pearl River along Guangzhou City, China [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, **644**: 375-381.
- [17] 胡嘉敏, 左剑恶, 李頔, 等. 北京城市河流河水和沉积物中微塑料的组成与分布[J]. *环境科学*, 2021, **42**(11): 5275-5283.
- Hu J M, Zuo J E, Li D, *et al.* Composition and distribution of microplastics in the water and sediments of urban rivers in Beijing [J]. *Environmental Science*, 2021, **42**(11): 5275-5283.
- [18] Alam F C, Sembiring E, Muntalif B S, *et al.* Microplastic distribution in surface water and sediment river around slum and industrial area (case study: Ciwalengke River, Majalaya District, Indonesia)[J]. *Chemosphere*, 2019, **224**: 637-645.
- [19] Di M X, Wang J. Microplastics in surface waters and sediments of the Three Gorges Reservoir, China[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, **616-617**: 1620-1627.
- [20] 王志超, 杨帆, 杨文焕, 等. 内蒙古河套灌区排水干沟微塑料赋存特征及质量估算[J]. *环境科学*, 2020, **41**(10): 4590-4598.
- Wang Z C, Yang F, Yang W H, *et al.* Occurrence characteristics and quality estimation of microplastics in drainage ditches in Hetao irrigation district of Inner Mongolia [J]. *Environmental Science*, 2020, **41**(10): 4590-4598.
- [21] Wang Z B, Li R H, Yang S Y, *et al.* Comparison of detrital mineral compositions between stream sediments of the Yangtze River (Changjiang) and the Yellow River (Huanghe) and their provenance implication[J]. *China Geology*, 2019, **2**(2): 169-178.
- [22] 邱瑀, 卢诚, 徐泽, 等. 湟水河流域水质时空变化特征及其污染源解析[J]. *环境科学学报*, 2017, **37**(8): 2829-2837.
- Qiu Y, Lu C, Xu Z, *et al.* Spatio-temporal variation characteristics and water pollution sources in the Huangshui River Basin[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2017, **37**(8): 2829-2837.
- [23] 相震, 王连军, 吴向培. 青海湟水流域水资源承载状况及水质评价[J]. *环境科学与技术*, 2005, **28**(S2): 96-97, 108.
- [24] de Jesus Piñon-Colin T, Rodriguez-Jimenez R, Pastrana-Corral M A, *et al.* Microplastics on sandy beaches of the Baja California Peninsula, Mexico[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2018, **131**: 63-71.
- [25] Lithner D, Larsson Å, Dave G. Environmental and health hazard ranking and assessment of plastic polymers based on chemical composition[J]. *Science of the Total Environment*, 2011, **409**(18): 3309-3324.
- [26] Tomlinson D L, Wilson J G, Harris C R, *et al.* Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index [J]. *Helgoländer Meeresuntersuchungen*, 1980, **33**(1): 566-575.
- [27] Isobe A, Kubo K, Tamura Y, *et al.* Selective transport of microplastics and mesoplastics by drifting in coastal waters[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2014, **89**(1-2): 324-330.
- [28] 陈圣盛, 李卫明, 张坤, 等. 香溪河流域微塑料的分布特征及其迁移规律分析[J]. *环境科学*, 2022, **43**(6): 3077-3087.
- Chen S S, Li W M, Zhang K, *et al.* Distribution characteristics of microplastics and their migration patterns in Xiangxi River Basin[J]. *Environmental Science*, 2022, **43**(6): 3077-3087.
- [29] 张胜, 潘雄, 林莉, 等. 长江源区水体微塑料组成及分布特征初探[J]. *长江科学院院报*, 2021, **38**(4): 12-18.
- Zhang S, Pan X, Lin L, *et al.* Preliminary study on composition and distribution characteristics of microplastics in water from the

- source region of Yangtze River [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2021, **38**(4): 12-18.
- [30] Enfrin M, Lee J, Gibert Y, *et al.* Release of hazardous nanoplastic contaminants due to microplastics fragmentation under shear stress forces [J]. Journal of Hazardous Materials, 2020, **384**, doi: 10.1016/j.jhazmat.2019.121393.
- [31] 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.
- [32] 卓玛措, 冯起, 李锦秀. 青海河湟地区水资源综合开发与区域经济发展研究[J]. 干旱区资源与环境, 2007, **21**(2): 95-99.
Zhuo M C, Feng Q, Li J X. The study on water resources exploitation and regional economy of Hehuang Areas in Qinghai [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2007, **21**(2): 95-99.
- [33] 高丽. 互助土族自治县依靠地缘优势发展经济研究[D]. 西宁: 青海师范大学, 2012.
Gao L. Mutual aid minority autonomous counties rely on geosuperiority development economic research [D]. Xining: Qinghai Normal University, 2012.
- [34] 王薪杰, 王一宁, 赵俭, 等. 河流水沙运动对微塑料运移过程影响研究进展[J]. 中国环境科学, 2021, **42**(2): 863-877.
Wang X J, Wang Y N, Zhao J, *et al.* Recent progress of the effect of suspended sediment movement on the transport of microplastics in rivers[J]. China Environmental Science, 2021, **42**(2): 863-877.
- [35] Zhang H X, Huang Y M, An S S, *et al.* Land-use patterns determine the distribution of soil microplastics in typical agricultural areas on the eastern Qinghai-Tibetan Plateau [J]. Journal of Hazardous Materials, 2022, **426**, doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.127806.
- [36] 师延冰. 青海省残膜回收机械作业性能试验研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.
Shi Y B. Experimental study on operation performance of residual film recycling machinery in Qinghai Province [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2019.
- [37] 夏涵, 赵亚峰, 温龙龙, 等. 东平湖溶解氧及影响因素分析[J]. 科技视界, 2021, **12**(21): 142-145.
- [38] Zhao Y, Song K S, Wen Z D, *et al.* Evaluation of CDOM sources and their links with water quality in the lakes of Northeast China using fluorescence spectroscopy[J]. Journal of Hydrology, 2017, **550**: 80-91.
- [39] Hernandez E, Nowack B, Mitrano D M. Polyester textiles as a source of microplastics from households: a mechanistic study to understand microfiber release during washing[J]. Environmental Science & Technology, 2017, **51**(12): 7036-7046.
- [40] Wang W F, Ndungu A W, Li Z, *et al.* Microplastics pollution in inland freshwaters of China: a case study in urban surface waters of Wuhan, China[J]. Science of the Total Environment, 2016, **575**: 1369-1374.
- [41] Kor K, Mehdinia A. Neustonic microplastic pollution in the Persian Gulf [J]. Marine Pollution Bulletin, 2019, **150**, doi: 10.1016/j.marpolbul.2019.110665.
- [42] Lin L, Ma L S, Li H X, *et al.* Low level of microplastic contamination in wild fish from an urban estuary [J]. Marine Pollution Bulletin, 2020, **160**, doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111650.
- [43] Zhang K, Su J, Xiong X, *et al.* Microplastic pollution of lakeshore sediments from remote lakes in Tibet Plateau, China [J]. Environmental Pollution, 2016, **219**: 450-455.
- [44] Sang W J, Chen Z Y, Mei L J, *et al.* The abundance and characteristics of microplastics in rainwater pipelines in Wuhan, China[J]. Science of the Total Environment, 2021, **755**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.142606.
- [45] Wong J K H, Lee K K, Tang K H D, *et al.* Microplastics in the freshwater and terrestrial environments: prevalence, fates, impacts and sustainable solutions [J]. Science of the Total Environment, 2020, **719**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137512.
- [46] Xia W L, Rao Q Y, Deng X W, *et al.* Rainfall is a significant environmental factor of microplastic pollution in inland waters [J]. Science of the Total Environment, 2020, **732**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139065.

CONTENTS

Regionalization and Analysis of PM _{2.5} and O ₃ Synergetic Prevention and Control Areas Based on Remote Sensing Data	LI Shen-xin, ZOU Bin, ZHANG Feng-ying, <i>et al.</i> (4293)
Analysis of a Typical Ozone Pollution Process in Guangzhou in Winter	PEI Cheng-lei, XIE Yu-tong, CHEN Xi, <i>et al.</i> (4305)
Establishment and Application of Foshan Ozone Concentration Forecast Equation	CHEN Chen, HONG Ying-ying, TAN Hao-bo, <i>et al.</i> (4316)
Establishment of High-Resolution Emissions Inventory in Wuhan and Its Application in Exploring the Causes of Ozone Pollution	ZHANG Rui-xin, CHU Bo, SHANG Chun-lin, <i>et al.</i> (4327)
Investigating the Pollutants of Marine Shipping Emissions Along the East China Sea by Combining in-situ Measurements and Automatic Identification System QIU Hao, LIU Dan-tong, WU Yang-zhou, <i>et al.</i> (4338)
Chemical Component of Particulate Matters and VOCs Characteristics During Vehicle Brake Processes	MEN Zheng-yu, LIU Du-you, GUO Quan-you, <i>et al.</i> (4348)
Characterization of VOCs Emissions from Caged Broiler House in Winter	CAO Tian-tian, ZHENG Yun-hao, ZHANG Yu, <i>et al.</i> (4357)
Concentrations and Community Structures of Culturable Bacteria in Aerosols of Household Garbage Stations in Shanghai	LU Bing-jie, ZHANG Xiang, WANG Chuan, <i>et al.</i> (4367)
Inventory and Distribution Characteristics of Anthropogenic Ammonia Emissions in Zhejiang Province from 2008 to 2018	FANG Li-jiang, YANG Yi-qun, YE Guan-qiong (4380)
Roadmap of Coal Control and Carbon Reduction in the Steel Industry Under the Carbon Peak and Neutralization Target	XUE Ying-lan, ZHANG Jing, LIU Yu, <i>et al.</i> (4392)
Carbon Emission Reduction Effect of Spatial Correlation Network Structure Characteristics: From the Perspective of Urban Agglomeration	ZHENG Hang, YE A-zhong (4401)
Pollution and Carbon Reduction Effect of OFDI in China and Its Mechanism	BAI Zi-han, LÜ Lian-hong, ZHAO Ming-xuan, <i>et al.</i> (4408)
Variation Characteristics of Surface Water Quality in China in Recent Years	JI Xiao-yan, HOU Huan-huan, WANG Shan-shan, <i>et al.</i> (4419)
Distribution, Risk, and Influencing Factors of Microplastics in Surface Water of Huangshui River Basin	FAN Meng-yuan, HUANG Yi-mei, ZHANG Hai-xin, <i>et al.</i> (4430)
Hydrochemical and Isotopic Characteristics in the Surface Water of the Fenhe River Basin and Influence Factors	ZHAO Chun-hong, SHEN Hao-yong, WANG Zhi-heng, <i>et al.</i> (4440)
Characteristics and Causes of High-manganese Groundwater in Pearl River Delta During Urbanization	LÜ Xiao-li, LIU Jing-tao, HAN Zhan-tao, <i>et al.</i> (4449)
Characteristics and Causes of Groundwater Salinization in the Plain Area of the Lower Kashgar River	LU Han, ZENG Yan-yan, ZHOU Jin-long, <i>et al.</i> (4459)
Sources and Biogeochemical Processes of Nitrate in the Laolongdong Karst Underground River Basin, Chongqing	WANG Yu-yang, YANG Ping-heng, ZHANG Jie-ru (4470)
Succession Pattern and Consequences of the Dominant Species During Cyanobacterial Bloom and Its Influencing Factors	OUYANG Tian, ZHAO Lu, JI Lu-lu, <i>et al.</i> (4480)
Structural Characteristics of Phytoplankton Communities and Its Relationship with Environmental Factors in a Group of Drinking Water Reservoirs by Water Transmission from Modaomen Waterway in Zhuhai	ZHANG Mo-li, WANG En-rui, CHANG Sheng, <i>et al.</i> (4489)
Effects of Nutrients on the Growth of <i>Microcystis aeruginosa</i> and Bacteria in the Phycosphere	LÜ Ping, LI Hui-li, XU Yong, <i>et al.</i> (4502)
Effect of Aging on Adsorption of Tetracycline by Microplastics and the Mechanisms	WANG Lin, WANG Shu-xin, ZENG Xiang-ying, <i>et al.</i> (4511)
Effect of Colloids in Sediment and Soil on Their Sorption Behavior of Chloramphenicol	YAN Cai-xia, LUO Yan-qing, NIE Ming-hua, <i>et al.</i> (4522)
Historical Antibiotic Stress Changed the Effects of Sulfamethoxazole and Trimethoprim on Activated Sludge; ARGs and Potential Hosts ZHANG Zhong-xing, FAN Xiao-yan, LI Xing, <i>et al.</i> (4536)
Spatial Distribution and Sources of Heavy Metals in Soil of a Typical Lead-Zinc Mining Area, Yangshuo	CHEN Meng, PAN Yong-xing, HUANG Yi-xiang, <i>et al.</i> (4545)
Distribution Characteristics and Ecological Risk Assessment of Soil Heavy Metals in Baiyangdian Lake	ZHENG Fei, GUO Xin, TANG Ming-yang, <i>et al.</i> (4556)
Spatial Differentiation and Influencing Factor Analysis of Soil Heavy Metal Content at Town Level Based on Geographic Detector	GONG Cang, WANG Liang, WANG Shun-xiang, <i>et al.</i> (4566)
Heavy Metal Emissions from Coal-fired Power Plants and Heavy Metal Pollution Characteristics and Health Risks in Surrounding Soils CHE Kai, CHEN Chong-ming, ZHENG Qing-yu, <i>et al.</i> (4578)
Enrichment Factors, Health Risk, and Source Identification of Heavy Metals in Agricultural Soils in Semi-arid Region of Hainan Island YANG Jian-zhou, GONG Jing-jing, WANG Zhen-liang, <i>et al.</i> (4590)
Speciation and Pollution Assessment of Heavy Metals in Mangrove Surface Sediments in Jiulong River Estuary	ZHANG Hua-lan, YU Rui-lian, WAN Rui-an, <i>et al.</i> (4601)
Status of Heavy Metal in Organic Fertilizers in Main Tea Growing Regions of China	YI Xiao-yun, FANG Li, YANG Xiang-de, <i>et al.</i> (4613)
Accumulation Characteristics and Sources of PAEs in Agricultural Soils in Gansu Province	CHEN Yu-yu, ZHANG Guang-quan, ZHANG Yang, <i>et al.</i> (4622)
Distribution Characteristics of Soil Phosphorus Forms and Phosphatase Activity at Different Altitudes in the Soil of Water-Level-Fluctuation Zone in Pengxi River, Three Gorges Reservoir GAO Yi-lun, FANG Fang, TANG Zi-chao, <i>et al.</i> (4630)
Characteristics of Soil Organic Carbon Components and Their Correlation with Other Soil Physical and Chemical Factors in Cotton Fields with Different Continuous Cropping Years in the Oasis on the Northern Edge of Tarim Basin	LI Xin-zhu, GONG Lu, TANG Jun-hu, <i>et al.</i> (4639)
Response of Soil Respiration Rates to Soil Temperature and Moisture at Different Soil Depths of <i>Caragana korshinskii</i> Plantation in the Loess-Hilly Region SUN Ya-rong, WANG Ya-juan, ZHAO Min, <i>et al.</i> (4648)
Influence of Biochar Application on Soil Nitrate Leaching and Phosphate Retention: A Synthetic Meta-analysis	JIANG Zhi-xiang, CUI Shuang, ZHANG Xin, <i>et al.</i> (4658)
Role and Mechanism of Low Molecular-Weight-Organic Acids in Enhanced Phytoremediation of Heavy Metal Contaminated Soil	FANG Zhi-guo, XIE Jun-ting, YANG Qing, <i>et al.</i> (4669)
Remediation Effect and Mechanism of Inorganic Passivators on Cadmium Contaminated Acidic Paddy Soil	ZHANG Jian, KONG Fan-yi, LU Sheng-gao (4679)
Mechanism of Lead-zinc Enrichment and Resistance of Spent Mushroom Compost to Lead-Zinc Slag in <i>Koeleruteria paniculata</i>	XIE Tian-zhi, CHEN Yong-hua, SU Rong-kui, <i>et al.</i> (4687)
Phosphorus Enrichment Efficiency of CaO ₂ @FA Composites and the Effect of Its Recovered Material on Soil Improvement	YUE Wei, LI Da-peng, WU Ling-yu, <i>et al.</i> (4697)
Effects of Early Rice Straw Returning with Reducing Potassium Fertilizer on Late Rice Yield and Soil Fertility	HUANG Qiao-yi, HUANG Jian-feng, HUANG Xu, <i>et al.</i> (4706)
Effects of Continuous Straw Returning with Chemical Fertilizer on the Carbon Pool and Crop Yield of Rice-Rape Rotation Soils	CAI Ying, FU Si-wei, ZHANG Bo-rui, <i>et al.</i> (4716)
Effects of Chemical Fertilizer Reduction Combined with Straw Application on Diazotrophic Communities in a Double Rice Cropping System CHEN Kai-peng, WEI Ju-xian, CHEN Dan, <i>et al.</i> (4725)
Impacts of Co-application of Chemical Fertilizer Reduction and Organic Material Amendment on Fluvo-aquic Soil Microbial N-cycling Functional Gene Abundances and N-converting Genetic Potentials in Northern China	LI Sheng-jun, HU He, LI Gang, <i>et al.</i> (4735)
Response Characteristics of Soil Microbial Community Under Long-term Film Mulching	HU Zhi-e, XIAO Mou-liang, DING Ji-na, <i>et al.</i> (4745)
Effects of Long-term Straw Returning on Fungal Community, Enzyme Activity and Wheat Yield in Fluvo-aquic Soil	MA Lei, LI Yan, WEI Jian-lin, <i>et al.</i> (4755)
Effects of Soil Amendments on the Bacterial Diversity and Abundances of Pathogens and Antibiotic Resistance Genes in Rhizosphere Soil Under Drip Irrigation with Reclaimed Water CUI Bing-jian, CUI Er-ping, LIU Chun-cheng, <i>et al.</i> (4765)
Effect of Nitrogen on the Phytoremediation of Cd-PAHs Co-contaminated Dumpsite Soil by Alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) and on the Soil Bacterial Community Structure LI Yi-jia, MA Jun-wei, LI Yu-qian, <i>et al.</i> (4779)
Effect of Antibiotic-Degrading Bacteria on Maturity and Bacterial Community Succession During Pig Manure Composting	LI Wei-lin, ZHANG Xin, MA Jun-wei, <i>et al.</i> (4789)