

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV
HUANJING KEXUE

基于碳减排目标与排放标准约束情景的火电大气污染物减排潜力

李辉, 孙雪丽, 庞博, 朱法华, 王圣, 晏培



■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2021年12月

第42卷 第12期
Vol.42 No.12

目次(卷终)

基于碳减排目标与排放标准约束情景的火电大气污染物减排潜力	李辉, 孙雪丽, 庞博, 朱法华, 王圣, 晏培 (5563)
汽修行业挥发性有机物排放与控制现状及对策	王海林, 杨涛, 聂磊, 方莉, 张中申, 郝郑平 (5574)
西宁市生物质燃烧源大气污染物排放清单	高玉宗, 姬亚芹, 林孜, 林宇, 杨益 (5585)
新冠疫情期间四川盆地空气质量及影响因素分析	陈军辉, 冯小琼, 李媛, 王书肖 (5594)
基于 iLME + Geoi-RF 模型的四川省 PM _{2.5} 浓度估算	吴宇宏, 杜宁, 王莉, 蔡宏, 周彬, 吴磊, 敖迪 (5602)
《大气污染防治行动计划》后期成都大气 PM _{2.5} 中水溶性无机离子特征	李佳琪, 张军科, 董贵明, 邓嘉琳, 刘子锐, 王跃思 (5616)
洛阳市大气细颗粒物化学组分特征及溯源分析	孙佳侯, 董喆, 李利萍, 刘洋, 陈红阳, 张瑞芹 (5624)
北京市黑碳气溶胶浓度特征及其主要影响因素	曹阳, 安欣欣, 刘保献, 景宽, 王琴, 罗霄旭 (5633)
天津市郊夏季 VOCs 化学特征及其时间精细化的来源解析	王艺璇, 刘保双, 吴建会, 张裕芬, 冯银厂 (5644)
沈阳市挥发性有机物污染特征及反应活性	杜寒冰, 王男, 任万辉, 苏枞枞, 胡建林, 于兴娜 (5656)
典型化工集中区环境空气 SVOCs 污染特征及来源解析	葛祥, 吴健, 高松, 冯加良, 陈俊伟, 张舒惟, 焦正 (5663)
南京毒性挥发性有机化合物夏冬季源解析及健康风险评估	张子金, 林煜棋, 张煜烟, 曹梦瑶, 章炎麟 (5673)
基于排放清单和实地测试的工业 VOCs 排放特征: 以郑州市高新区为例	任何, 卢轩, 刘洋, 尹沙沙, 胡鹤霄 (5687)
我国水性建筑涂料 VOCs 排放特征及其环境影响	高美平, 王海林, 刘文文, 聂磊, 李国昊, 安小栓 (5698)
VOCs 源强不确定性对臭氧生成及污染防治影响的模拟分析	王峰, 汪健伟, 杨宁, 翟菁, 侯灿 (5713)
山东省 O ₃ 时空分布及影响因素分析	张森, 丁椿, 李彦, 王桂霞, 林晶晶, 孟赫, 许杨 (5723)
2020 年成都市典型臭氧污染过程特征及敏感性	钱骏, 徐晨曦, 陈军辉, 姜涛, 韩丽, 王成辉, 李英杰, 王波, 刘政 (5736)
基于高分辨率在线测量的轻型汽油车含氧挥发性有机物排放模型构建	郝钰琦, 袁自冰, 王梦雷, 沙青娥, 杜新悦, 刘元向, 刘学辉, 段乐君, 袁斌, 郑君瑜, 邵敏, 闫宇 (5747)
三重属性的承载力约束下中国水资源利用效率动态演进特征分析	张凯, 吴凤平, 成长春 (5757)
长江流域总氮排放量预测	丁肇慰, 郑华 (5768)
1980~2015 年长江流域净人为氮输入与河流氮输出动态特征	姚梦雅, 胡敏鹏, 陈丁江 (5777)
黄河水环境特征与氮磷负荷时空分布	韩谔, 潘保柱, 陈越, 刘亚平, 侯易明 (5786)
基于氮氧同位素解析不同降雨条件下硝酸盐污染源	邢子康, 余钟波, 衣鹏, 钱睿智, 王嘉毅 (5796)
水源水库真核微生物种群结构季相演替特征	张海涵, 黄鑫, 黄廷林, 刘凯文, 马曼丽, 刘祥, 苗雨甜, 宗容容 (5804)
达里湖表层水体浮游细菌群落结构的夏-冬季节差异	李文宝, 郭鑫, 张博尧, 杜蕾, 田雅楠 (5814)
尾水排放对受纳水体底栖生物膜细菌群落和水溶性有机质的影响机制	王钰涛, 范晨阳, 朱金鑫, 李轶, 王龙飞 (5826)
武汉典型饮用水水源中典型 POPs 污染特征与健康风险评估	张坤峰, 付青, 涂响, 昌盛, 樊月婷, 孙兴滨, 王山军 (5836)
上海沙田湖养殖区及周边水体中氟喹诺酮类抗性基因的分布特征及其与环境因子关系	徐慕, 李世豪, 马巾, 王丽卿, 张玮 (5848)
曝气人工湿地脱除低污染水中氮的影响因素	李琳琳, 李荣涛, 孔维静, 杨苹果, 杜志超, 毕斌, 卢少勇 (5857)
水平潜流人工湿地对畜禽养殖废水中特征污染物的去除	赵伟, 范增增, 杨新萍 (5865)
木屑生物炭对填料土的氮磷吸附及雨水滞留改良影响	孟依柯, 王媛, 汪传跃, 王报 (5876)
黑臭河道中聚乙烯醇/海藻酸钠固定微米沸石粉去除氨氮	魏超, 陈涛, 江桥, 王姝, 邱伟建, 成小英 (5884)
玉米秸秆生物炭对灰钙土吸附金霉素的影响	南志江, 蒋煜峰, 毛欢欢, 梁新茹, 邓雪儒 (5896)
饮用水砂滤池中微生物对微量污染物的降解潜力与途径	周洁, 王东麟, 林慧, 柏耀辉 (5905)
污水分析方法监测城市毒品滥用长期趋势	曹禹, 董小棠, 邵雪婷, 刘琳, 王德高 (5912)
阿奇霉素和铜对活性污泥古菌群落和 ARGs 的胁迫影响及后效应	高玉玺, 李星, 赵君如, 张忠兴, 樊晓燕 (5921)
典型冶炼行业场地土壤重金属空间分布特征及来源解析	李强, 曹莹, 何连生, 王耀峰, 龚成, 何书涵 (5930)
我国焦化场地多环芳烃和重金属分布情况及生态风险评价	王耀峰, 何连生, 姜登岭, 曹莹, 李强, 官健 (5938)
浙江省香榧主产区土壤重金属空间异质性及其生态风险	王敏, 董佳琦, 白龙龙, 张勇, 蒋仲龙, 姜雯雯, 吴家森, 张璐瑶, 方嘉, 傅伟军 (5949)
北方农田镉污染土壤玉米生产阈值及产区划分初探	管伟豆, 郭堤, 王萍, 张增强, 李荣华 (5958)
典型铅锌矿区耕地土壤团聚体重金属含量与农作物含量相关性及其风险评价	强瑞, 李英菊, 罗谦, 陈美凤, 李海燕, 黄先飞, 秦樊鑫 (5967)
雄安新区企业周边农田土壤-作物系统重金属污染风险及累积效应	周亚龙, 王乔林, 王成文, 刘飞, 宋云涛, 郭志娟, 杨志斌 (5977)
铜仁土壤-水稻重金属累积效应与安全种植区划	朱亮亮, 吴勇, 周浪, 唐乐斌, 宋波 (5988)
干湿交替对铈锰改性生物炭固定红壤 As 的影响	黄晓雅, 李莲芳, 朱昌雄, 黄金丽, 吴翠霞, 叶婧 (5997)
铵态氮肥和腐殖酸协同促进孔雀草对土壤中 Cd 的去除	王冰清, 阳琴, 李虹颖, 熊启中, 徐刚, 孙瑞波, 田达, 李军利, 郇建建, 叶新新 (6006)
稻田灌溉河流 CH ₄ 和 N ₂ O 排放特征及影响因素	吴双, 杨蔚桐, 盛扬悦, 方贤滔, 张天睿, 胡靖, 刘树伟, 邹建文 (6014)
节水灌溉和控释肥施用耦合措施对单季稻田 CH ₄ 和 N ₂ O 排放的影响	王永明, 徐永记, 纪洋, 冯彦房 (6025)
有机无机配施下西北旱区麦田土壤 N ₂ O 的排放特征及微生物特性	王楷, 史雷, 马龙, 王书婷, 张然, 郑伟, 李紫燕, 翟丙年 (6038)
不同秸秆还田方式对旱地红壤细菌群落、有机碳矿化及玉米产量的影响	孔培君, 郑洁, 栾璐, 陈紫云, 薛敬荣, 孙波, 蒋瑞霖 (6047)
氮磷添加对盐渍化草地土壤微生物特征的影响	杨建强, 刁华杰, 胡姝姝, 陈晓鹏, 王常慧 (6058)
化肥和有机肥配施生物炭对紫色土壤养分及磷赋存形态的影响	向书江, 余砾, 熊子怡, 罗东海, 王莹燕, 邓正昕, 王子芳, 高明 (6067)
浒苔生物炭与木醋液复配改良碱化土壤效果及提高油菜产量	王正, 孙兆军, Sameh El-Sawy, 王珍, 何俊, 韩磊, 邹本涛 (6078)
《环境科学》第42卷(2021年)总目录	(6091)
《环境科学》征订启事(5593) 《环境科学》征稿简则(5623) 信息(5643, 5835, 5883)	

污水分析方法监测城市毒品滥用长期趋势

曹禹, 董小棠, 邵雪婷, 刘琳, 王德高*

(大连海事大学环境科学与工程学院, 大连 116026)

摘要: 毒品滥用问题是全球广泛关注的社会问题, 对城市毒品滥用情况进行长期监测具有重要意义. 采用污水流行病学的方法, 对大连市毒品的滥用情况进行连续长期调查. 2020~2021年采集大连市22个污水处理厂的进口污水, 通过气相色谱衍生化方法分析测定甲基苯丙胺、海洛因、氯胺酮、摇头丸和可卡因的生物标志物的浓度, 即其尿液代谢产物甲基苯丙胺、吗啡、氯胺酮、摇头丸和苯甲酰芽子碱. 结果表明, 2020年 ρ (甲基苯丙胺)、 ρ (吗啡)和 ρ (氯胺酮)均值分别为23.69、23.21和2.40 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$; 2021年均值分别为20.64、20.92和0.47 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$, 在所有的污水样品中均未检测出摇头丸和苯甲酰芽子碱, 根据相关信息估算5种毒品的人均滥用量, 并结合往年监测数据分析大连市这5种毒品的滥用趋势. 甲基苯丙胺和海洛因滥用量均在2019年有上升趋势, 2020大幅度下降, 2021年基本保持不变; 氯胺酮的滥用则一直处于较低水平. 本研究为大连市实时监控毒品滥用情况提供科学依据, 对防治毒品犯罪具有重要意义.

关键词: 污水; 大连市; 毒品; 衍生化; 趋势

中图分类号: X832 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2021)12-5912-09 DOI: 10.13227/j.hjxx.202104189

Long-term Trends in Illicit Drugs Abuse in the City Assessed by Wastewater Analysis

CAO Yu, DONG Xiao-tang, SHAO Xue-ting, LIU Lin, WANG De-gao*

(College of Environmental Sciences and Engineering, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

Abstract: Illicit drug abuse is a social issue of global concern, and it is of great significance to monitor the situation of illicit drug abuse in cities. Wastewater-based epidemiology (WBE) was employed to investigate the abuse of illicit drugs in Dalian. Wastewater samples were collected from 22 wastewater treatment plants in Dalian from 2020 to 2021. The concentrations of biomarkers of methamphetamine (METH), heroin (HER), ketamine (KET), 3,4-methylenedioxymethamphetamine (MDMA), and cocaine (COC) and the urine metabolites methamphetamine, morphine, ketamine, 3,4-methylenedioxymethamphetamine, and benzoylecgonine (BE) were analyzed and determined using the gas chromatography derivatization method. The results showed that the mean ρ (methamphetamine), ρ (morphine), and ρ (ketamine) in 2020 were 23.69, 23.21, and 2.40 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$, respectively, and their respective mean concentrations in 2021 were 20.64, 20.92, and 0.47 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$. 3,4-methylenedioxymethamphetamine and benzoylecgonine were not detected in any samples. According to the relevant information, the consumption of five illicit drugs was estimated, and their abuse trends in Dalian were analyzed based on the monitoring data from previous years. The consumption of methamphetamine and heroin increased in 2019 and significantly decreased in 2020, remaining basically unchanged until 2021. The level of ketamine abuse remained at a low level. This study provides the basis for the real-time monitoring of drug abuse in Dalian, which is of great significance to the prevention and control of illicit drug crimes.

Key words: wastewater; Dalian; illicit drugs; derivatization; trends

有报告指出,截至2018年全球约有2.69亿人滥用毒品,有3500多万人吸毒成瘾.为降低毒品的危害,对毒品的有效监控和管控已成为当今世界各国共同面临的难题^[1].污水流行病学是基于人们消费并代谢某物质后,代谢产物以粪便或者尿液的形式排入污水管道,对污水厂进水口污水收集并分析,通过公式反推计算污水厂服务区域内该物质的使用情况^[2].由Daughton等^[3]于2001年首次提出可将该方法用于调查社区药物消费量的构想.2005年,Zuccato等^[4]的研究将污水流行病学的理念应用于毒品.应用污水流行病学方法进行毒情监测,省时省力且客观性强,能为缉毒部门提供合理有效建议,目前已被很多国家应用于毒情监测.

对毒品滥用情况的长期监控,不仅有利于有效更新地区的毒情状况,而且能够更好地了解当地毒品滥用变化趋势,对于国家未来更精准监控和打击

毒品犯罪也是有力且有效的工具.意大利^[5,6]、澳大利亚^[7,8]、美国^[9,10]和比利时^[11]等多个国家对其多种毒品的滥用情况进行了长期的监测和研究.目前我国的研究大多集中在空间分布^[12]和特殊节假日^[13]毒品滥用特征,对毒品长期滥用趋势探究较少.

据2016~2019年我国毒情报告显示,甲基苯丙胺、海洛因、氯胺酮、摇头丸和可卡因为我国典型滥用毒品^[14~17],也是我国禁毒部门最为关注的5种毒品.本研究于2020年和2021年连续两年采集大连市污水处理厂的进口污水,分析测定甲基苯丙胺、海洛因、氯胺酮、摇头丸和可卡因的生物标识物的浓度.根据污水厂进水流量、毒品代谢数据和人口数量

收稿日期: 2021-04-19; 修订日期: 2021-06-01

作者简介: 曹禹(1996~),女,硕士研究生,主要研究方向污水流行病学, E-mail: 15838952199@163.com

* 通信作者, E-mail: degaowang@dlmu.edu.cn

等信息估算大连市该 5 种毒品人均滥用量,并根据相关文献调查对应毒品的滥用剂量和频率估算流行率. 结合 2015 ~ 2019 年监测数据分析大连市毒品的滥用趋势,及时反馈毒品滥用波动情况并为缉毒部门提供合理有效建议.

1 材料与方法

1.1 材料

甲基苯丙胺 (METH) 标准样品购买自美国 Cerilliant 公司; 3, 4-亚甲二氧基甲基苯丙胺 (MDMA)、吗啡 (MOR)、氯胺酮 (KET) 和苯甲酰芽子碱 (BE) 标准样品购买自美国 A ChemTek 公司; 添加 1% 三甲基氯硅烷 (trimethylchlorosilane, TMCS) 的双(三甲基硅烷基)三氟乙酰胺 [N, O-bis (trimethylsilyl) trifluoroacetamide, BSTFA] 和三氟乙酸酐 (trifluoroacetic anhydride, TFA) 从上海阿拉丁生化科技股份有限公司购买; 氘代内标萘-D8 (Naphthalene-d8, Nap-d8) 购买自美国 Supelco 公司; 甲醇、乙腈和乙酸乙酯 (HPLC $\geq 99.8\%$) 购买自美国 TEDIA 公司; 碳酸氢钠 (分析纯 $\geq 96.0\%$) 购

买自天津科密欧化学试剂有限公司.

主要仪器及耗材: 气相色谱质谱联用仪 (美国 Agilent 7890B-5977A), 固相萃取装置 (美国 Waters 公司), MCX 固相萃取柱 (60 mg) 购买自美国 Waters 公司等.

1.2 污水样品采集

在 2020 年 4 月、9 月、10 月和 2021 年 3 月进行了 4 次采样活动,主要采集大连市生活污水处理厂未经处理的进水污水样品. 在 2020 年 4 月下旬采集了 3 个市辖区和一个县的 7 个污水处理厂, 9 月和 10 月采集其他 4 个市辖区和 2 个代管县级市的 15 个污水处理厂及 2 个泵站; 2021 年 3 月中旬采集了 12 个污水处理厂和 1 个泵站的水样,服务区域同样涵盖大连市 7 个市辖区、2 个代管县级市和 1 个县. 采集样品时使用自动采样器采集进水口的未经处理的 24 h 复合样品,要求自动进样器采水频率为每小时 120 mL 的污水. 将样品放置于采样瓶中,采样瓶的材质为聚对苯二甲酸乙二醇酯,然后运回实验室并储存在 -20°C 的冰箱中. 采样点如图 1 所示.

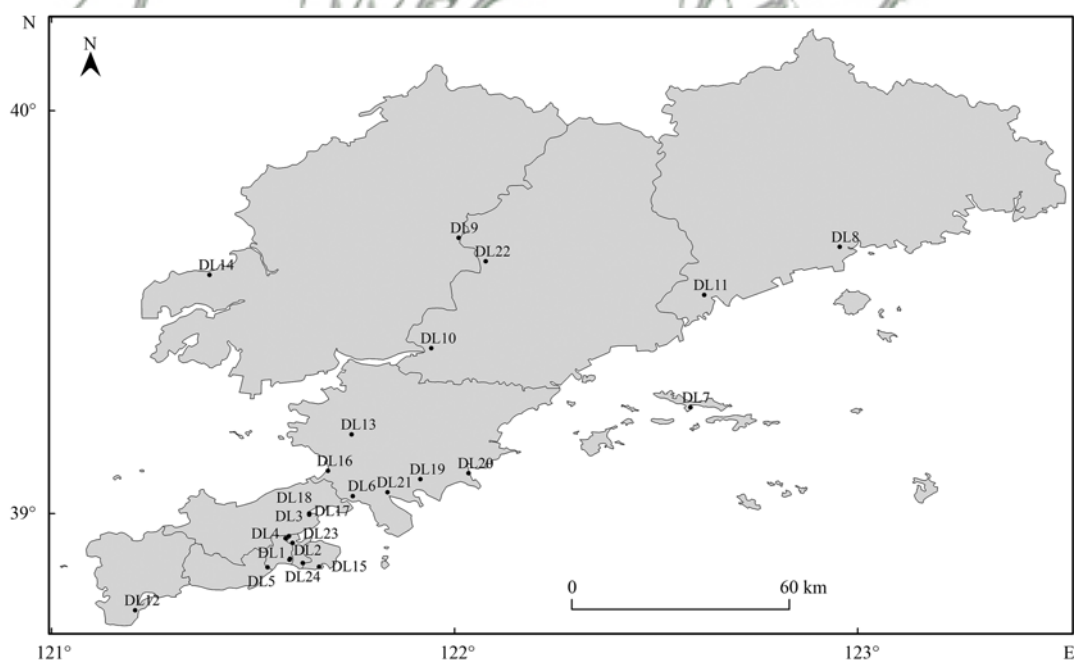


图 1 大连市污水处理厂采样点示意

Fig. 1 Sampling locations of WWTPs from Dalian

1.3 样品前处理

将污水样品在常温下解冻、摇匀,使用针筒过滤器将 50 mL 样品依次通过 $0.45\ \mu\text{m}$ 和 $0.22\ \mu\text{m}$ 水系滤膜过滤去除固体和悬浮颗粒物. 过滤后的样品通过预先用 6 mL 甲醇和 9 mL 超纯水活化的 MCX 固相萃取柱,待样品全部通过萃取柱后,使用真空泵在 10 mm 汞柱的压力下抽干 5 min. 依次使用 4 mL 甲醇和 4 mL 5% 的甲醇氨溶液来洗脱萃取物质并收

集洗脱液. 洗脱液在柔和的氮气气流下吹干. 200 μL 乙腈复溶后, 25 μL BSTFA 来进行衍生化反应以测定吗啡和苯甲酰芽子碱,取 20 μL 按 10:1 体积比加 $200\ \text{ng}\cdot\text{mL}^{-1}$ Nap-d8 作为内标上机分析; 剩余溶液氮吹后, 180 μL 乙酸乙酯复溶,加入 25 μL TFA 来进行衍生化反应以测定甲基苯丙胺、3, 4-亚甲二氧基甲基苯丙胺和氯胺酮,使用 200 ~ 300 μL 10% 碳酸氢钠溶液调 pH 至中性以去除多余的

TFA, 在2 000 r·min⁻¹下离心 3 min, 取上层有机相转移到色谱瓶中加入相应量的 Nap-d8 作为内标上机分析.

1.4 样品分析

样品使用 Agilent 7890B-5977A 气相色谱质谱联用仪(GC-MS)进行分析, 色谱柱为 HP-5MS(30 m × 0.25 mm × 0.25 μm, J&W Scientific), 使用高纯氦气(≥99.999%)作为载气, 进样模式为不分流进样, 离子源(EI 电离源)温度为 230℃, 能量为 70 eV, 四级杆温度为 150℃. 对不同的衍生化样品使用

进样温度和升温程序. 酰化样品进样口温度设定为 230℃, 柱温箱初始温度为 90℃, 保持 2 min, 然后以 10℃·min⁻¹的速度升高到 250℃; 硅烷化样品进样口温度设定为 260℃, 柱温箱初始温度为 90℃, 保持 2 min, 以 20℃·min⁻¹的速度升高到 230℃, 保持 4 min, 然后以 10℃·min⁻¹的速度升高到 250℃, 保持 3 min. 进样量均为 2 μL, 采用选择离子监测模式(SIM). 5 种目标化合物的定量和定性离子、检出限、定量限和空白加标回收率如表 1 所示.

表 1 目标化合物的定量离子、定性离子、检出限、定量限和回收率

Table 1 Qualitative ions, quantitative ions, limit of detection(LOD), limit of quantitation(LOQ), and recovery rate of target compounds

目标化合物	定量离子 (<i>m/z</i>)	定性离子 (<i>m/z</i>)	检出限 /ng·L ⁻¹	定量限 /ng·L ⁻¹	回收率 /%
METH-TFA	154	110, 118	0.19	0.64	96.68 ± 0.95
MDMA-TFA	154	135, 162	0.15	0.51	95.07 ± 0.32
KET-TFA	270	110, 236	0.08	0.28	94.96 ± 1.07
BE-TMS	361	82, 240	0.11	0.37	82.72 ± 5.97
MOR-2TMS	236	429, 196	0.15	0.50	84.83 ± 3.96

1.5 计算公式

本研究通过NH₄⁺-N浓度估算人口数量, 公式如下:

$$P_i = \rho(\text{NH}_4^+-\text{N})_i \times F_i / m(\text{NH}_4^+-\text{N}) \quad (1)$$

式中, $\rho(\text{NH}_4^+-\text{N})_i$ 为来自 *i* 污水处理厂进水样品测得NH₄⁺-N质量浓度(mg·L⁻¹), F_i 为污水厂的流量(m³·d⁻¹), $m(\text{NH}_4^+-\text{N})$ 为每人每日NH₄⁺-N产生的平均量(6 g·d⁻¹)^[18].

计算污水处理厂甲基苯丙胺滥用量的公式如下:

$$m_{\text{T},i} = \rho_{\text{T},i} \times F_i \times f_i / P_i \quad (2)$$

式中, $\rho_{\text{T},i}$ 为污水中 5 种毒品的质量浓度(ng·L⁻¹), P_i 为污水处理厂的人群数量, f_i 为校正因子, 5 种毒品校正因子如表 2 所示.

由于每个污水处理厂服务人口不同, 为了获得

一个地区的平均滥用量, 每个污水处理厂的滥用量需要通过人口权重进行校正. 区域平均消费量($m_{\text{T},\text{mean}}$)可以通过以下公式计算.

$$m_{\text{T},\text{mean}} = \sum_{i=1}^n m_{\text{T},i} W_i \quad (3)$$

式中, W_i 为 *i* 个污水处理厂服务人口的权重, 每个污水处理厂的权重可以由其服务的人口和该区域全部污水厂服务的人口来计算; *n* 是一个区域所包含的污水处理厂数量.

毒品的流行率由平均滥用量、典型剂量和频率计算, 公式为:

$$\text{PR} = [m_{\text{T},i} / (D_{\text{T}} \times n_{\text{T}})] \times 100\% \quad (4)$$

式中, D_{T} 为 5 种毒品典型滥用剂量(mg·次⁻¹), n_{T} 为滥用频率(次·d⁻¹), 通常估算数值如表 2 所示.

表 2 5 种毒品生物标识物、滥用剂量、滥用频率和校正因子

Table 2 Biomarkers, D_{T} , n_{T} , and correction factors of five illicit drugs

毒品名称	中文名称	生物标识物	校正因子	D_{T} /mg·次 ⁻¹	n_{T} /次·d ⁻¹	文献
METH	甲基苯丙胺	METH	3.7	135	0.31	[19, 20]
MDMA	摇头丸	MDMA	4.44	70	0.43	[19, 21]
KET	氯胺酮	KET	5	70	0.43	[22]
COC	可卡因	BE	3.59	100	0.31	[23, 24]
HER	海洛因	MOR	3.07	146	2.4	[24]

1.6 不确定性分析

为了减少使用均值的输入参数引起的不确定性, 使用蒙特卡洛模拟法(Oracle Crystal Ball 版本 11.1.4716.0)分析滥用量和流行率的不确定性. 流量和服务区人口数量设置为正态分布, 5 种毒品浓度和氨氮浓度设置为对数正态分布, 甲基苯丙胺和

海洛因滥用剂量和频率数据设置为对数正态分布, 氯胺酮滥用剂量和频率数据设置为三角分布^[19].

2 结果与讨论

2.1 生物标志物浓度水平

各污水厂 5 种毒品的浓度水平如表 3 所示. 在

2020 年和 2021 年两次毒品检测中,所有污水样品均检出甲基苯丙胺,浓度范围分别为 6.16 ~ 66.10 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 3.55 ~ 89.01 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$,平均浓度分别为 23.69 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 20.64 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$. 吗啡和氯胺酮在 2020 年所有污水样品中均被检出,其浓度范围分别为 7.65 ~ 43.98 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 0.51 ~ 4.52 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$,均值为 23.21 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 2.40 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$; 2021 年部分污水处理厂未检出吗啡和氯胺酮,其中 ρ (吗啡)范围 < LOD(低于检出限,下同) ~ 62.89 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$,均值为 20.92 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$, ρ (氯胺酮)范围 < LOD ~ 1.81 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$,均值为 0.47 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$. 2021 年 3 种毒品平均浓度均低于 2020 年,其中甲基苯丙胺和氯胺酮的浓度均低于 2015 年全国平均浓度水平^[25]; 各个污水厂吗啡平均浓度均低于 2016 年全国平均浓度水平^[26]. 所有污水样品中均未检出摇头丸和苯甲酰芽子碱.

表 3 2020 ~ 2021 年污水中氨氮和目标化合物质量浓度

Table 3 Mass concentrations of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and target compounds in wastewater in 2020-2021							
年份	污水处理厂	流量/万 t	服务人口 /万人	ρ (氨氮) / $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	ρ (甲基苯丙胺) / $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$	ρ (吗啡) / $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$	ρ (氯胺酮) / $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$
2020	DL1	10.0	35	16.85	10.78	13.67	3.31
	DL2	8.2	25	19.09	17.61	11.15	3.74
	DL3	12.0	18	17.75	19.85	13.50	2.39
	DL4	12.0	28	19.15	15.18	16.20	2.72
	DL5	8.0	24	30.74	26.85	17.01	1.75
	DL6	7.2	26	40.12	66.10	39.32	4.49
	DL7	0.2	3.5	73.01	25.79	37.17	4.52
	DL8	6.0	21	31.54	24.03	26.42	1.82
	DL9	10.0	30	24.43	28.03	18.89	3.64
	DL10	4.8	20	31.98	25.29	23.79	0.51
	DL11	1.0	7	18.74	49.16	20.97	1.15
	DL12	3.2	25	32.41	41.75	25.55	1.70
	DL13	0.6	8	79.88	15.27	43.98	2.41
	DL14	1.2	3	47.55	35.06	24.98	1.00
	DL15	7.2	27	26.39	17.76	16.99	2.40
	DL16	6.5	31	41.45	17.47	23.63	1.14
	DL17	3.6	24	42.4	36.54	23.74	3.86
	DL18	6.4	18	51.81	29.74	28.10	2.12
	DL19	4.6	10	36.95	13.16	22.67	2.83
	DL20	1.1	3	49.11	6.16	28.13	2.58
	DL21	8.2	7.9	29.39	18.08	20.85	2.26
	DL22	2.0	10	13.01	10.10	19.80	4.29
	DL23	10.0	27	32.88	7.81	7.65	2.35
	DL24	0.3	1	20.32	18.17	32.99	1.16
2021	DL1	10.0	35	19.82	24.68	29.56	1.63
	DL5	8.0	24	22.16	7.26	5.22	< LOD
	DL6	7.2	26	49.52	13.29	< LOD	< LOD
	DL7	0.2	4	38.28	3.55	49.51	< LOD
	DL8	6.0	21	45.75	89.01	24.31	1.81
	DL9	10.0	30	6.96	21.83	< LOD	< LOD
	DL10	4.8	20	31.98	39.50	37.25	< LOD
	DL11	1.0	7	15.60	5.53	< LOD	< LOD
	DL12	3.2	25	39.45	6.42	26.57	< LOD
	DL14	1.2	3	65.83	12.47	16.43	< LOD
	DL15	7.2	27	10.60	16.27	12.37	1.74
	DL16	6.5	31	14.95	13.66	62.89	0.35
	DL17	3.6	20	18.85	22.28	13.59	0.35
	DL23	10.0	27	17.88	13.29	15.18	0.64

2.2 甲基苯丙胺滥用趋势

通过检测各个污水处理厂甲基苯丙胺浓度,结合氨氮浓度及调查访问污水厂流量等信息,除 DL6、DL11、DL13、DL16、DL19、DL21、DL23 和 DL24 为排除工业来源使用服务人口^[27],其余污水处理厂由

公式(1)计算人口,2020 年甲基苯丙胺人均滥用用量范围为 2.78 ~ 69.08 $\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$,利用公式(3)估算大连市甲基苯丙胺人均滥用用量为 21.53 $\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$,2021 甲基苯丙胺人均滥用用量范围为 2.06 ~ 69.62 $\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$,估算大连市人均滥用用量为 22.50 $\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$.

近两年人均濫用量远低于 2018 年全国平均水平 $157 \mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$ [28], 相比国外, 远低于澳大利亚的 $405 \sim 1\,733 \mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$ [29]; 远高于欧洲国家波兰的 $7.07 \mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$ [30]; 与瑞典的 $3.7 \sim 118.4 \mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$ [31] 和加拿大的 $54 \mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$ [32] 相当。

结合大连市 2015 ~ 2019 年毒情监控数据 [27,33], 大连市 2015 ~ 2021 年甲基苯丙胺人均濫用量如图 2 所示, 甲基苯丙胺的人均濫用量远低于 2015 ~ 2018 年濫用水平。甲基苯丙胺的人均濫用量由 2018 年 $53.92 \mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$ 增加到 2019 年 $134.37 \mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$, 2020 年大幅度减少, 相比于 2019 年减少了 $112.84 \mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$, 下降了 84%, 具有明显统计学差异 ($P < 0.05$), 2021 年虽有增加趋势, 相比 2020 年仅增加 5%, 远小于 2019 年。虽不同于欧洲新冠疫情下甲基苯丙胺增加趋势 [34], 但与冯立洲等 [35] 研究发现疫情前后广东省某市甲基苯丙胺濫用量下降约 45% 的结果相似, 且与袁媛等 [36] 研究发现疫情期间甲基苯丙胺的濫用量、流行率和濫用人数均下降的结果一致。因此初步推断, 2019 年 12 月底, 新冠疫情的暴发, 我国坚持贯彻落实非药物物理隔离的防控措施, 使得毒品进出口流通渠道受阻, 居民生活水平受到影响且大量娱乐会所关闭, 导致毒品濫用量急剧下降。

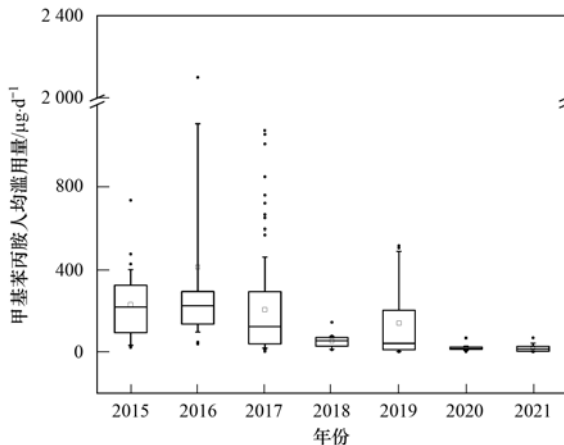


图 2 2015 ~ 2021 年大连市甲基苯丙胺濫用量

Fig. 2 Consumption of METH in samples collected from Dalian in 2015-2021

2.3 海洛因和氯胺酮濫用趋势

吗啡是海洛因的主要尿代谢产物, 但也可能来自合法药物的代谢, 主要是治疗性吗啡和可待因。因此, 要反算海洛因的消费量, 就须扣减合法吗啡的贡献 [37]。结合文献 [27], 2019 ~ 2021 年大连市海洛因的濫用量如图 3 所示, 远低于 Du 等 [26] 的研究中全国人均濫用量, 2015 年为 $(64.6 \pm 78.7) \mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$, 2016 年为 $0 \sim (263.9 \pm 115.9) \mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$ 。同时低于 Du 等 [38] 的研究中 2018 ~ 2019 年的全国人均濫用

量 $(56.7 \pm 56.8) \mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$ 。以上研究中大连的海洛因人均濫用量分别为 2015 年 $(6.4 \mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1})$ 、2016 年 $(10 \mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1})$ 和 2018 ~ 2019 年 $(16 \pm 0.8) \mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$ 与本研究中海洛因人均濫用量相似。相比国外, 远低于西班牙的 $190 \mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$ [39] 和意大利的 $92 \mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$ [5], 可见大连市海洛因的濫用一直处于低水平。本研究发现海洛因由 2019 年的 $28.68 \mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$ 下降至 2020 年的 $9.89 \mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$, 下降 66%, 2021 年几乎不变 ($10.02 \mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$), 此 3 年海洛因人均濫用量具有统计学差异 ($P < 0.05$), 总体呈现先上升后下降趋势。不同于意大利 2010 ~ 2014 年持续下降的趋势 [6], 海洛因人均濫用量与澳大利亚 2013 ~ 2015 年在基线水平上下小幅度变化相似 [7], 且与本研究甲基苯丙胺的变化趋势相同。

2020 ~ 2021 年大连市氯胺酮的濫用量如图 3, 其均值分别为 $3.28 \mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$ 和 $0.76 \mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$ 。经公式 (3) 计算人口权重后氯胺酮的人均濫用量分别为 $3.22 \mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$ 和 $0.84 \mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$, 持续低于 2015 年的深圳、上海和广州等地 [31]; 且低于 2018 ~ 2019 年全国人均濫用量 $(35.3 \pm 65.2) \mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$, 表明大连市 2 年来氯胺酮的濫用一直处于较低水平且较为稳定。

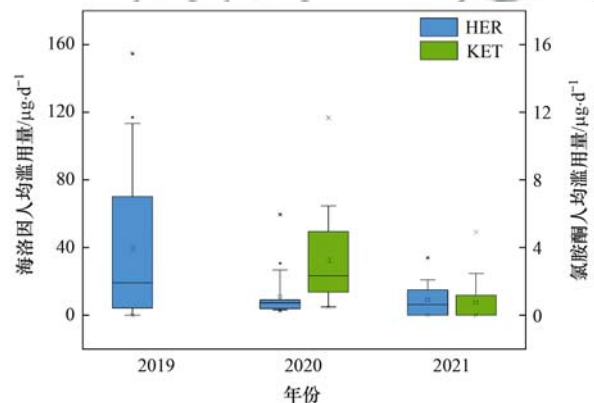


图 3 2019 ~ 2021 年大连市海洛因和氯胺酮的人均消费量

Fig. 3 Consumption of HER and KET in samples collected from Dalian in 2019-2021

2.4 2020 ~ 2021 年毒品空间特征分析

根据公式 (3) 得到大连市 2020 年和 2021 年各行政区毒品的人均濫用量如图 4 和图 5 所示, 甲基苯丙胺是主要的濫用毒品, 部分地区海洛因濫用情况也较为严重, 氯胺酮次之。这与我国 2019 年毒品形势报告的结果一致 [17]。整体上, 2020 年和 2021 年除 DL7 所在行政区甲基苯丙胺人均濫用量较低, 其余行政区濫用水平相差不大; 而经济水平较高, 交通较为发达的行政区海洛因的濫用相对较多; 氯胺酮的人均濫用量则普遍较低。

2.5 人均濫用量和流行率计算以及不确定性分析

利用 Crystal Ball 通过蒙特卡洛模拟的方法对

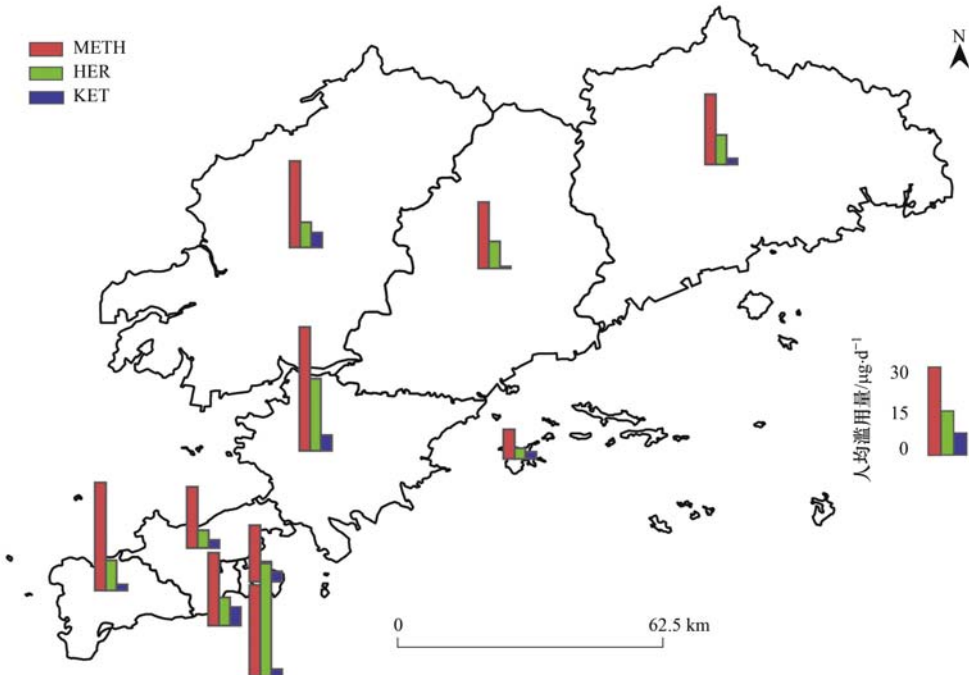


图 4 2020 年大连甲基苯丙胺、海洛因和氯胺酮的人均消费量
Fig. 4 Consumption of METH, HER, and KET in samples collected from Dalian in 2020

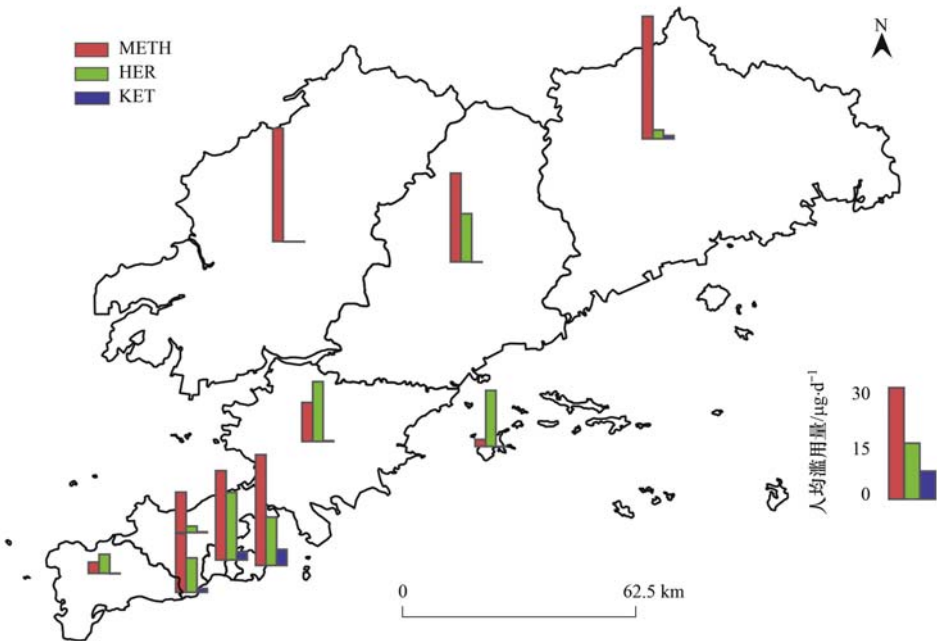
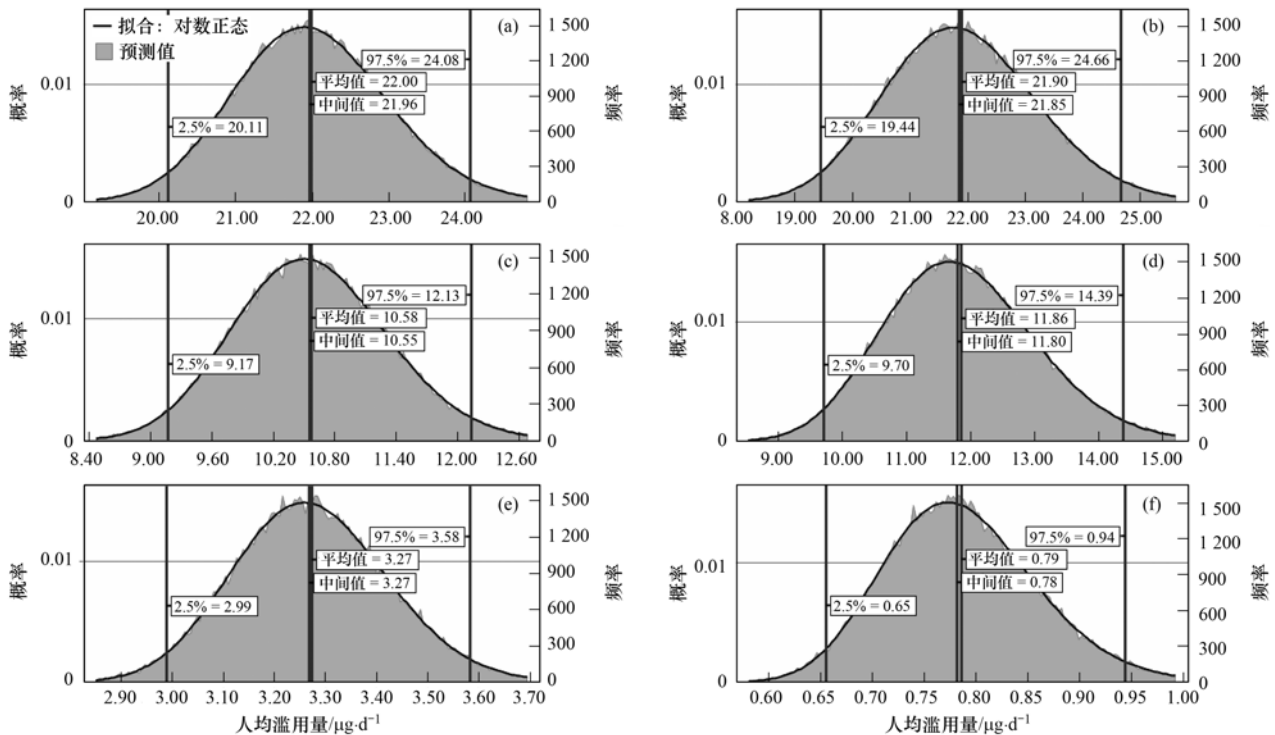


图 5 2021 年大连甲基苯丙胺、海洛因和氯胺酮的人均消费量
Fig. 5 Consumption of METH, HER, and KET in samples collected from Dalian in 2021

大连市 3 种毒品的人均滥用量进行不确定性分析,得到大连市人均滥用量统计分布结果如图 6 所示.根据概率分布大连市 2020 年甲基苯丙胺、海洛因和氯胺酮的人均滥用量分别为 $22.00 \mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$ (95% CI: $20.11 \sim 24.08 \mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$)、 $10.58 \mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$ (95% CI: $9.17 \sim 12.13 \mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$)和 $3.27 \mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$ (95% CI: $2.99 \sim 3.58 \mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$). 2021 年甲基苯丙胺、海洛因和氯胺酮的人均滥用量分别为 $21.90 \mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$ (95% CI: $19.44 \sim 24.66 \mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$)、 $11.86 \mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$ (95%

CI: $9.70 \sim 14.39 \mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$)和 $0.79 \mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$ (95% CI: $0.65 \sim 0.94 \mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$).

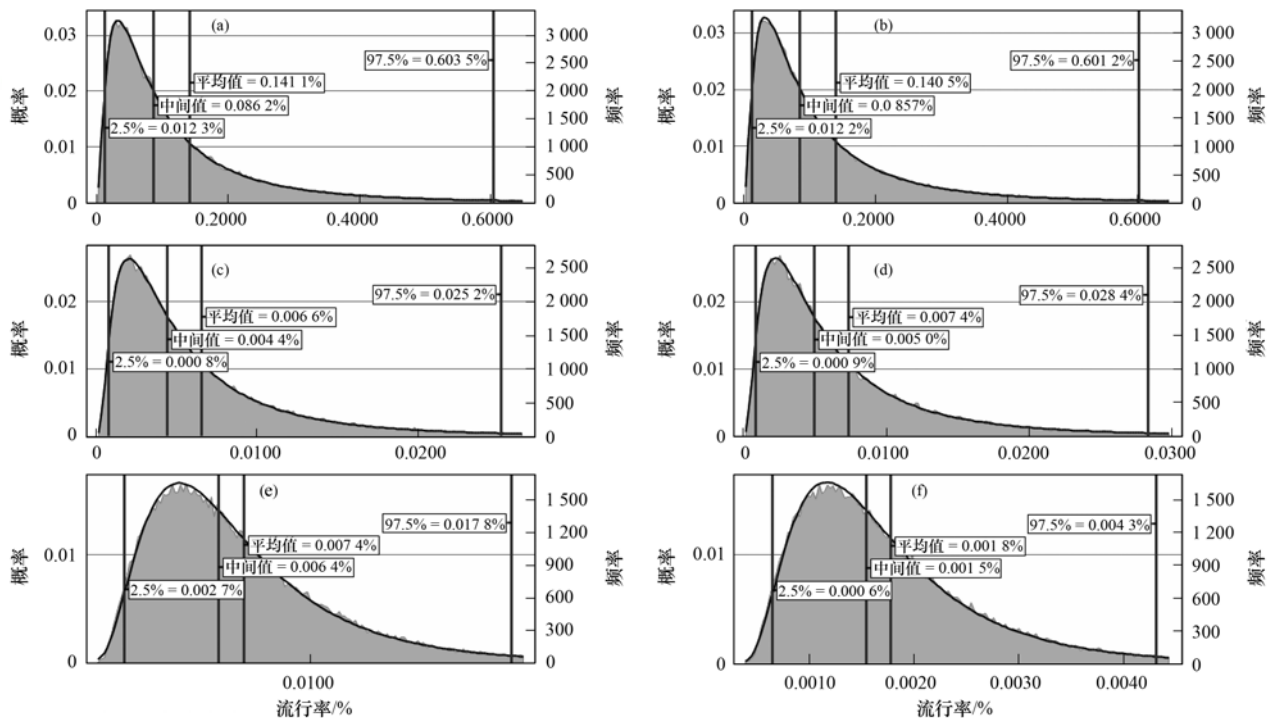
利用公式(4)计算并通过蒙特卡洛模拟的方法对大连市 3 种毒品的流行率进行不确定性分析,大连市 3 种毒品流行率统计分布结果如图 7 所示.根据概率分布,大连市 2020 年甲基苯丙胺、海洛因和氯胺酮的流行率分别为 0.1411% (95% CI: $0.0123\% \sim 0.6035\%$)、 0.0066% (95% CI: $0.0008\% \sim 0.0252\%$)和 0.0074% (95% CI:



所有模拟试验进行 100 000 次, (a) 2020 年甲基苯丙胺 (显示 99 429 个), (b) 2021 年甲基苯丙胺 (显示 99 380 个), (c) 2020 年海洛因 (显示 99 422 个), (d) 2021 年海洛因 (显示 99 322 个), (e) 2020 年氯胺酮 (显示 99 430 个), (f) 2021 年氯胺酮 (显示 99 282 个)

图 6 2020 年和 2021 年甲基苯丙胺、海洛因和氯胺酮的滥用量的概率分布

Fig. 6 Probability distribution of consumption of METH, HER, and KET in 2020 and 2021



所有模拟试验进行 100 000 次, (a) 2020 年甲基苯丙胺 (显示 97 929 个), (b) 2021 年甲基苯丙胺 (显示 97 923 个), (c) 2020 年海洛因 (显示 97 866 个), (d) 2021 年海洛因 (显示 97 812 个), (e) 2020 年氯胺酮 (显示 97 957 个), (f) 2021 年氯胺酮 (显示 97 931 个)

图 7 2020 年和 2021 年甲基苯丙胺、海洛因和氯胺酮的流行率的概率分布

Fig. 7 Probability distribution of the prevalence of METH, HER, and KET in 2020 and 2021

0.002 7%~0.017 8%)。2021 年甲基苯丙胺、海洛因和氯胺酮的流行率分别为 0.014 05% (95% CI: 0.012 2%~0.060 12%)、0.007 4% (95% CI:

0.000 9%~0.028 4%) 和 0.001 8% (95% CI: 0.000 6%~0.004 3%)。2020~2021 年甲基苯丙胺和海洛因流行率远低于 2019 年大连的流行率

(METH:0.30%, HER:0.02%),同时远低于世界毒品报告显示东亚和东南亚苯丙胺类和阿片类流行率(0.62%和0.21%)。可见大连市近两年毒品流行率仍处于较低水平。

3 结论

通过分析 2020~2021 年大连市 22 家污水处理厂进水口污水发现,2020 年 ρ (甲基苯丙胺)、 ρ (吗啡)和 ρ (氯胺酮)均值分别为 23.69、23.21 和 $2.40 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$;2021 年均值分别为 20.64、20.92 和 $0.47 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$;摇头丸和可卡因在大连市所有污水样品中均未检出。大连市甲基苯丙胺的人均滥用率在 2015~2018 年持续降低后,在 2019 年有所增加,2020 年有显著下降趋势,2021 年基本不变。2019~2021 年大连市海洛因人均滥用率变化趋势与甲基苯丙胺相同,氯胺酮滥用则一直处于较低水平。蒙特卡洛模拟分析大连市近两年毒品流行率仍处于较低水平。新冠疫情防控措施可能导致毒品流通受阻,使得毒品的滥用大幅度减少。

参考文献:

- [1] UNODC. World Drug Report 2020 [EB/OL]. <https://wdr.unodc.org/wdr2020/index.html>, 2020-12-23.
- [2] 陈培培,杜鹏,周子雷,等.污水中新精神活性物质的分析方法优化及验证[J].环境科学,2018,39(8):3736-3743.
- [3] Daughton C G, Tammy L, Jones L. Pharmaceuticals and personal care products in the environment[M]. Washington DC: American Chemical Society. 2001. 348-364.
- [4] Zuccato E, Chiabrando C, Castiglioni S, et al. Cocaine in surface waters: a new evidence-based tool to monitor community drug abuse[J]. Environmental Health, 2005, 4(1), doi: 10.1186/1476-069X-4-14.
- [5] Castiglioni S, Borsotti A, Senta I, et al. Wastewater analysis to monitor spatial and temporal patterns of use of two synthetic recreational drugs, ketamine and mephedrone, in Italy[J]. Environmental Science & Technology, 2015, 49(9): 5563-5570.
- [6] Zuccato E, Castiglioni S, Senta I, et al. Population surveys compared with wastewater analysis for monitoring illicit drug consumption in Italy in 2010-2014[J]. Drug and Alcohol Dependence, 2016, 161: 178-188.
- [7] Tschärke B J, Chen C, Gerber J P, et al. Temporal trends in drug use in Adelaide, South Australia by wastewater analysis[J]. Science of the Total Environment, 2016, 565: 384-391.
- [8] Tschärke B J, Chen C, Gerber J P, et al. Trends in stimulant use in Australia: a comparison of wastewater analysis and population surveys[J]. Science of the Total Environment, 2015, 536: 331-337.
- [9] Gushgari A J, Venkatesan A K, Chen J, et al. Long-term tracking of opioid consumption in two United States cities using wastewater-based epidemiology approach[J]. Water Research, 2019, 161: 171-180.
- [10] Burgard D A, Williams J, Westerman D, et al. Using wastewater-based analysis to monitor the effects of legalized retail sales on cannabis consumption in Washington State, USA[J]. Addiction, 2019, 114(9): 1582-1590.
- [11] Been F, Lai F Y, Kinyua J, et al. Profiles and changes in stimulant use in Belgium in the period of 2011-2015[J]. Science of the Total Environment, 2016, 565: 1011-1019.
- [12] Zhang X H, Huang R H, Li P, et al. Temporal profile of illicit drug consumption in Guangzhou, China monitored by wastewater-based epidemiology[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2019, 26(23): 23593-23602.
- [13] Song X B, Shao X T, Liu S Y, et al. Assessment of metformin, nicotine, caffeine, and methamphetamine use during Chinese public holidays[J]. Chemosphere, 2020, 258, doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.127354.
- [14] 国家禁毒委员会办公室. 2016 年中国毒品形势报告[EB/OL]. http://www.nncc626.com/2017-03/27/c_129519255.htm, 2017-03-27.
- [15] 国家禁毒委员会办公室. 2017 年中国毒品形势报告[EB/OL]. http://www.nncc626.com/2018-06/25/c_129900461.htm, 2018-06-25.
- [16] 国家禁毒委员会办公室. 2018 年中国毒品形势报告[EB/OL]. http://www.nncc626.com/2019-06/17/c_1210161797.htm, 2019-06-17.
- [17] 国家禁毒委员会办公室. 2019 年中国毒品形势报告[EB/OL]. http://www.nncc626.com/2020-06/24/c_1210675813.htm, 2020-06-24.
- [18] Zheng Q D, Lin J G, Pei W, et al. Estimating nicotine consumption in eight cities using sewage epidemiology based on ammonia nitrogen equivalent population[J]. Science of the Total Environment, 2017, 590-591: 226-232.
- [19] 王德高. 污水流行病学[M]. 北京: 科学出版社, 2018.
- [20] Wang D G. Sewage epidemiology[M]. Beijing: Science Press, 2018.
- [21] Pei W, Zhan Q X, Yan Z Y, et al. Using Monte Carlo simulation to assess uncertainty and variability of methamphetamine use and prevalence from wastewater analysis[J]. International Journal of Drug Policy, 2016, 36: 1-7.
- [22] Gracia-Lor E, Zuccato E, Castiglioni S. Refining correction factors for back-calculation of illicit drug use[J]. Science of the Total Environment, 2016, 573: 1648-1659.
- [23] Du P, Zheng Q D, Thomas K V, et al. A revised excretion factor for estimating ketamine consumption by wastewater-based epidemiology-Utilising wastewater and seizure data[J]. Environment International, 2020, 138, doi: 10.1016/j.envint.2020.105645.
- [24] Castiglioni S, Bijlsma L, Covaci A, et al. Evaluation of uncertainties associated with the determination of community drug use through the measurement of sewage drug biomarkers[J]. Environmental Science & Technology, 2013, 47(3): 1452-1460.
- [25] Zuccato E, Chiabrando C, Castiglioni S, et al. Estimating community drug abuse by wastewater analysis[J]. Environmental Health Perspectives, 2008, 116(8): 1027-1032.
- [26] Du P, Li K Y, Li J, et al. Methamphetamine and ketamine use in major Chinese cities, a nationwide reconnaissance through

- sewage-based epidemiology[J]. *Water Research*, 2015, **84**: 76-84.
- [26] Du P, Thai P K, Bai Y, *et al.* Monitoring consumption of methadone and heroin in major Chinese cities by wastewater-based epidemiology[J]. *Drug and Alcohol Dependence*, 2019, **205**, doi:10.1016/j.drugalcdep.2019.06.034.
- [27] Cong Z X, Shao X T, Liu S Y, *et al.* Wastewater analysis reveals urban, suburban, and rural spatial patterns of illicit drug use in Dalian, China[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021, **28**(20): 25503-25513.
- [28] Shao X T, Liu Y S, Tan D Q, *et al.* Methamphetamine use in typical Chinese cities evaluated by wastewater-based epidemiology[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, **27**(8): 8157-8165.
- [29] Wilkins C, Lai F Y, O'brien J, *et al.* Comparing methamphetamine, MDMA, cocaine, codeine and methadone use between the Auckland region and four Australian states using wastewater-based epidemiology (WBE) [J]. *New Zealand Medical Journal*, 2018, **131**(1478): 12-20.
- [30] Nowicki P, Klos J, Kokot Z J. Amphetamines in wastewater of the city Poznań (Poland)—estimation of drug abuse[J]. *Acta Poloniae Pharmaceutica*, 2014, **71**(1): 25-33.
- [31] Khan U, Van Nuijs A L N, Li J, *et al.* Application of a sewage-based approach to assess the use of ten illicit drugs in four Chinese megacities[J]. *Science of the Total Environment*, 2014, **487**: 710-721.
- [32] Yargeau V, Taylor B, Li H X, *et al.* Analysis of drugs of abuse in wastewater from two Canadian cities[J]. *Science of the Total Environment*, 2014, **487**: 722-730.
- [33] Wang Z, Shao X T, Tan D Q, *et al.* Reduction in methamphetamine consumption trends from 2015 to 2018 detected by wastewater-based epidemiology in Dalian, China[J]. *Drug and Alcohol Dependence*, 2019, **194**:302-309.
- [34] Been F, Emke E, Matias J, *et al.* Changes in drug use in European cities during early COVID-19 lockdowns-A snapshot from wastewater analysis[J]. *Environment International*, 2021, **153**, doi: 10.1016/j.envint.2021.106540.
- [35] 冯立洲, 陈自恩, 刘波, 等. 新冠疫情期间城镇生活污水中精神类药物的赋存特征和滥用评价[J/OL]. *中国环境科学*, 2021, doi:10.19674/j.cnki.issn1000-6923.20210414.009.
Feng L Z, Chen Z E, Liu B, *et al.* Evaluation of the occurrence of psychotropic drugs in urban sewage and the abuse during the COVID-19 epidemic period [J/OL]. *China Environmental Science*, 2021, doi: 10.19674/j.cnki.issn1000-6923.20210414.009.
- [36] 袁媛, 漆寿元, 公维民, 等. 新冠肺炎疫情防控对城市毒品滥用的影响[J]. *环境化学*, 2021, **40**(4): 1187-1192.
Yuan Y, Qi S Y, Gong W M, *et al.* Wastewater-based epidemiology studies of drug abuse in donggang during COVID-19 [J]. *Environmental Chemistry*, 2021, **40**(4): 1187-1192.
- [37] Liu S Y, Yu W J, Wang Y R, *et al.* Tracing consumption patterns of stimulants, opioids, and ketamine in China by wastewater-based epidemiology[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021, **28**(13): 16754-16766.
- [38] Du P, Zhou Z L, Bai Y, *et al.* Estimating heroin abuse in major Chinese cities through wastewater-based epidemiology [J]. *Science of the Total Environment*, 2017, **605-606**: 158-165.
- [39] Mastroianni N, López-García E, Postigo C, *et al.* Five-year monitoring of 19 illicit and legal substances of abuse at the inlet of a wastewater treatment plant in Barcelona (NE Spain) and estimation of drug consumption patterns and trends[J]. *Science of the Total Environment*, 2017, **609**: 916-926.

CONTENTS

Emission Reduction Potential of Air Pollutants of Thermal Power Industry Based on Carbon Emission Reduction Target and Emission Standard Constraint Scenarios	LI Hui, SUN Xue-li, PANG Bo, <i>et al.</i> (5563)
Volatile Organic Compounds in the Vehicle Repairing Industry of China: Emission, Management, Purification, and Policy	WANG Hai-lin, YANG Tao, NIE Lei, <i>et al.</i> (5574)
Pollutant Emission Inventory of Biomass Combustion Sources in Xining City	GAO Yu-zong, JI Ya-qin, LIN Zi, <i>et al.</i> (5585)
Analysis of Air Quality and Influencing Factors in Sichuan Basin During the COVID-19 Outbreak	CHEN Jun-hui, FENG Xiao-qiong, LI Yuan, <i>et al.</i> (5594)
Estimation of PM _{2.5} Concentration in Sichuan Province Based on Improved Linear Mixed Effect Model and Geo-intelligent Random Forest	WU Yu-hong, DU Ning, WANG Li, <i>et al.</i> (5602)
Characterization of Water-soluble Inorganic Ions in Atmospheric PM _{2.5} in Chengdu During the Later Stage of the Air Pollution Prevention and Control Action Plan	LI Jia-qi, ZHANG Jun-ke, DONG Gui-ming, <i>et al.</i> (5616)
Characteristics of Chemical Composition and Source Apportionment of Atmospheric Fine Particulate Matter in Luoyang	SUN Jia-bin, DONG Zhe, LI Li-ping, <i>et al.</i> (5624)
Characteristics and Main Influencing Factors of Black Carbon Aerosol in Beijing	CAO Yang, AN Xin-xin, LIU Bao-xian, <i>et al.</i> (5633)
Chemical Characteristics and Source Apportionment with Temporal Refinement for VOCs in Tianjin Suburb in Summer	WANG Yi-xuan, LIU Bao-shuang, WU Jian-hui, <i>et al.</i> (5644)
Pollution Characteristics and Reactivity of Volatile Organic Compounds in Shenyang	DU Han-bing, WANG Nan, REN Wan-hui, <i>et al.</i> (5656)
Characteristics and Source Apportionment of Atmospheric SVOCs Around Typical Chemical Industry Zones	GE Xiang, WU Jian, GAO Song, <i>et al.</i> (5663)
Source Analysis and Health Risk Assessment of Toxic Volatile Organic Compounds in Nanjing in Summer and Winter	ZHANG Zi-jin, LIN Yu-chi, ZHANG Yu-xian, <i>et al.</i> (5673)
Emission Characteristics of Industrial VOCs Based on Emission Inventory and Field Test: A Case Zhengzhou High-tech Zone	REN He, LU Xuan, LIU Yang, <i>et al.</i> (5687)
VOCs Emission Characteristics of Water-based Architectural Coatings and the Influence on the Atmospheric Environment in China	GAO Mei-ping, WANG Hai-lin, LIU Wen-wen, <i>et al.</i> (5698)
WRF-Chem Simulations of the Impacts of Uncertainty in VOCs Emissions on Ozone Formation and Control Strategies	WANG Feng, WANG Jian-wei, YANG Ning, <i>et al.</i> (5713)
Spatial and Temporal Distribution of Ozone and Influencing Factors in Shandong Province	ZHANG Miao, DING Chun, LI Yan, <i>et al.</i> (5723)
Chemical Characteristics and Contaminant Sensitivity During the Typical Ozone Pollution Processes of Chengdu in 2020	QIAN Jun, XU Chen-xi, CHEN Jun-hui, <i>et al.</i> (5736)
Development of an Emission Model for Oxygenated Volatile Organic Compounds from Gasoline Vehicles Based on the Online Measurement	HAO Yu-qi, YUAN Zi-bing, WANG Meng-lei, <i>et al.</i> (5747)
Dynamic Evolution Characteristics of Water Resources Utilization Efficiency in China Under the Constraint of Triple Attribute Carrying Capacity	ZHANG Kai, WU Feng-ping, CHENG Chang-chun (5757)
Prediction of Total Nitrogen Load in Yangtze River Basin	DING Zhao-wei, ZHENG Hua (5768)
Dynamic of Net Anthropogenic Nitrogen Inputs and Riverine Nitrogen Export in the Yangtze River Basin in 1980-2015	YAO Meng-ya, HU Min-peng, CHEN Ding-jiang (5777)
Characteristics of Water Environment and Spatial-temporal Distribution of Nitrogen and Phosphorus Load in the Yellow River	HAN Xu, PAN Bao-zhu, CHEN Yue, <i>et al.</i> (5786)
Analysis of Nitrate Pollution Sources Under Different Rainfall Conditions Based on $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{18}\text{O}$ Values	XING Zi-kang, YU Zhong-bo, YI Peng, <i>et al.</i> (5796)
Seasonal Variation Characteristics of Eukaryotic Microbial Community Composition in the Source Water Reservoir	ZHANG Hai-han, HUANG Xin, HUANG Ting-lin, <i>et al.</i> (5804)
Characteristics of Planktonic Bacteria Community Between Summer and Winter Surface Water in Dali Lake	LI Wen-bao, GUO Xin, ZHANG Bo-yao, <i>et al.</i> (5814)
Impacts of Wastewater Effluent Discharge on Bacteria Community and Water-soluble Organic Matter in Benthic Biofilm in Receiving River	WANG Yu-tao, FAN Chen-yang, ZHU Jin-xin, <i>et al.</i> (5826)
Pollution Characteristics and Risk Assessment of Typical POPs in Typical Drinking Water Sources in Wuhan	ZHANG Kun-feng, FU Qing, TU Xiang, <i>et al.</i> (5836)
Investigation on Fluoroquinolone Resistance Genes in the Intensive Aquaculture Area of Shatianhu Intensive Aquaculture Farm and Surrounding Waterbodies in Shanghai, China	XU Mu, LI Shi-hao, MA Jin, <i>et al.</i> (5848)
Influencing Factors of Nitrogen Removal from Low-Pollution Water by Aerated Constructed Wetland	LI Lin-lin, LI Rong-tao, KONG Wei-jing, <i>et al.</i> (5857)
Removal of Characteristic Pollutants in Livestock Wastewater by Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetlands	ZHAO Wei, FAN Zeng-zeng, YANG Xin-ping (5865)
Improvement of Nitrogen and Phosphorus Adsorption and Stormwater Retention Capacity by Hardwood Biochar as an Additive Material in Filler Soil	MENG Yi-ke, WANG Yuan, WANG Chuan-yue, <i>et al.</i> (5876)
Removal of Ammonia Nitrogen from Polyvinyl Alcohol/Sodium Alginate Fixed Micron Zeolite Powder in Black and Smelly Rivers	WEI Chao, CHEN Tao, JIANG Qiao, <i>et al.</i> (5884)
Effect of Corn Stalk Biochar on the Adsorption of Aureomycin from Sierozem	NAN Zhi-jiang, JIANG Yu-feng, MAO Huan-huan, <i>et al.</i> (5896)
Microbial Degradation Potential and Transformation Pathway of Micropollutants in Sand Filters of Drinking Water Treatment Plants	ZHOU Jie, WANG Dong-lin, LIN Hui, <i>et al.</i> (5905)
Long-term Trends in Illicit Drugs Abuse in the City Assessed by Wastewater Analysis	CAO Yu, DONG Xiao-tang, SHAO Xue-ting, <i>et al.</i> (5912)
Stress and Post Effects of Azithromycin and Copper on Archaeal Community and ARGs in Activated Sludge	GAO Yu-xi, LI Xing, ZHAO Jun-ru, <i>et al.</i> (5921)
Spatial Distribution Characteristics and Source Analysis of Soil Heavy Metals at Typical Smelting Industry Sites	LI Qiang, CAO Ying, HE Lian-sheng, <i>et al.</i> (5930)
Distribution and Ecological Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Heavy Metals in Coking Sites in China	WANG Yao-feng, HE Lian-sheng, JIANG Deng-ling, <i>et al.</i> (5938)
Spatial Variation and Risk Assessment of Heavy Metals in Soils of Main <i>Torreya grandis</i> Plantation Region in Zhejiang Province	WANG Min, DONG Jia-qi, BAI Long-long, <i>et al.</i> (5949)
Investigations on the Derivation of Safe Maize-Producing Threshold of Soil Cd Content and on Classification of Cd Contaminated Maize-Producing Areas in Northern China	GUAN Wei-dou, GUO Di, WANG Ping, <i>et al.</i> (5958)
Relationship Characteristics and Risk Assessment of Heavy Metal Contents in Soil Aggregates and in Crops Around a Typical Pb-Zn Mining Area	QIANG Yu, LI Ying-ju, LUO Qian, <i>et al.</i> (5967)
Heavy Metal Pollution and Cumulative Effect of Soil-crop Systems Around Typical Enterprises in Xiong'an New District	ZHOU Ya-long, WANG Qiao-lin, WANG Cheng-wen, <i>et al.</i> (5977)
Heavy Metal Accumulation Effect and Safe Planting Zoning of Soil and Rice in Tongren	ZHU Liang-liang, WU Yong, ZHOU Lang, <i>et al.</i> (5988)
Effect of Dry-Wet Alternation on the Immobilization of Arsenic in Red Soil by Cerium Manganese Modified Biochar	HUANG Xiao-ya, LI Lian-fang, ZHU Chang-xiong, <i>et al.</i> (5997)
Ammonium Nitrogen Fertilizer and Humic Acid Synergically Promote the Removal of Cd from Soil by <i>Tagetes patula</i> L.	WANG Bing-qing, YANG Qin, LI Hong-ying, <i>et al.</i> (6006)
Characteristics and Influencing Factors of the Dissolved Methane and Nitrous Oxide Concentrations and Emissions from a Rice Paddy Drainage River in China	WU Shuang, YANG Wei-tong, SHENG Yang-yue, <i>et al.</i> (6014)
Coupling Effects of Water-saving Irrigation and Controlled-release Fertilizer (CRF) Application on CH ₄ and N ₂ O Emission in Single Cropping Paddy Field	WANG Yong-ming, XU Yong-ji, JI Yang, <i>et al.</i> (6025)
Effects of Manure Combined Chemical Fertilizers on Soil N ₂ O Emission and Microbial Characteristics of Wheat Crop System in Northwest Arid	WANG Kai, SHI Lei, MA Long, <i>et al.</i> (6038)
Effects of Different Types of Straw Returning on the Bacterial Community, Organic Carbon Mineralization and Maize Yield in Upland Red Soil	KONG Pei-jun, ZHENG Jie, LUAN Lu, <i>et al.</i> (6047)
Effects of Nitrogen and Phosphorus Additions on Soil Microorganisms in Saline-alkaline Grassland	YANG Jian-qiang, DIAO Hua-jie, HU Shu-ya, <i>et al.</i> (6058)
Effects of Combined Application of Biochar with Chemical Fertilizers and Organic Fertilizers on Nutrients and Phosphorus Forms in Purple Soils	XIANG Shu-jiang, YU Luo, XIONG Zi-yi, <i>et al.</i> (6067)
Effects of <i>Enteromorpha prolifera</i> Biochar and Wood Vinegar Co-application on Takyric Solonetz Improvement and Yield of Oil Sunflower	WANG Zheng, SUN Zhao-jun, Sameh El-Sawy, <i>et al.</i> (6078)