ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第38卷 第8期

Vol.38 No.8

2017

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版

中国期刊方阵 双奖期刊 中华人民共和国新闻出版总署

环境科学
(HUANJING KEXUE) ENVIRONMENTAL SCIENCE
第38卷 第8期
2017年8月15日

目 次

用于滤膜称重的饱和氯化镁溶液恒湿系统搭建与评估 …… 李晓晓,张强,邓建国,蒋靖坤,郝吉明(3095)
钢铁工业排放颗粒物中碳组分的特征 …… 张进生,吴建会,马咸,冯银厂(3102)
常州市大气 $PM_{2.5}$ 中 PAHs 污染特征及来源解析 …… 顾爱军,刘佳澍,罗世鹏,毕承路,苏亚兰,叶招莲,盖鑫磊(3110)
兰州河谷盆地大气多环芳烃干沉降通量及来源 …… 剧媛丽,刘攀亮,于周锁,高宏,毛潇萱,马建民,黄韬(3120)
株洲市大气降尘中元素特征及来源分析 …… 王世豪,张凯,柴发合,钟学才,周广柱,杨晴,柯馨姝(3130)
传统北京烤鸭烤制过程中大气污染物的排放特征 …… 徐敏,何万清,聂磊,韩力慧,潘涛,石爱军(3139)
基于车载测试的重型柴油车尾气典型烷烃排放特征 …… 史纯珍,郝雪薇,申现宝,曹鑫悦,张伟,吴辉,姚志良(3146)
基于 wavelet-SVM 的 PM_{10} 浓度时序数据预测 …… 王平,张红,秦作栋,姚清晨,耿红(3153)
广州港船舶停泊工况排放因子实测及排放量初步估算 …… 黄学良,张洲,杨威强,李晟,朱明,方华,何俊杰,陈俊文,万承浩,张艳利,刘国光,黄祖照,王宇骏,王新明(3162)
沙尘天气对生物气溶胶中总微生物浓度及粒径分布的影响 …… 李鸿涛,祁建华,董立杰,高冬梅(3169)
典型生活垃圾处理设施恶臭排放特征及污染评价 …… 芦会杰(3178)
杭州地区城区降雪中全氟化合物的污染特征 …… 张明,唐访良,俞雅雲,徐建芬,陈金汉,余波,周姗,张伟(3185)
黄浦江流域典型污水中不同粒径胶体的三维荧光光谱特征 …… 聂明华,晏彩霞,杨毅,周俊良,刘敏(3192)
漓江地表水体有机碳来源 …… 赵海娟,肖琼,吴夏,刘凡,苗迎,蒋勇军(3200)
夏季热分层效应对典型岩溶水库水化学及溶解无机碳的影响 …… 吴飞红,蒲俊兵,李建鸿,张陶,李丽,黄思宇(3209)
城市不同功能区地表水重金属污染特性比较:以宁波为例 …… 徐美娟,童桂华,孙丹,李建新,虞效益(3218)
地下水主要组分水化学异常识别方法对比:以柳江盆地为例 …… 张小文,何江涛,彭聪,张昌延,倪泽华(3225)
人为扰动背景下城郊溪流底质磷的生物-非生物吸收潜力分析 …… 李如忠,叶舟,高苏蒂,郑侠(3235)
长江口低氧区沉积物中磷的形态及其环境意义 …… 刘军,臧家业,冉祥滨,赵晨英,刘季花,王小静(3243)
三峡库区小流域不同土地利用类型"土壤-水体"氮磷含量特征及其相互关系 …… 陈成龙, 高明, 木志坚, 倪九派, 祁乐(3254)
黄土高原降雨驱动下流域碳输移特征及其碳流失评估:以羊圈沟坝系流域为例 …… 鄂馨卉,汪亚峰,高扬,陈利顶,陈世博,陈维梁(3264)
新型溴代苯酚类消毒副产物的氯化降解机制 …… 李欢,李正魁,李爱民,周庆,王莹, 潘旸(3273)
藻形态及混凝剂组成对混凝-超滤过程的影响 …… 张大为,徐慧,王希,门彬,王东升,段晋明 (3281)
汝溪河浮游硅藻功能群特征及其与环境因子相关性分析 …… 向蓉,李巧玉,喻燚,张洪波,董聪聪,施军琼,吴忠兴(3290)
石岩水库叶绿素 a 时空分布及其影响因子分析 …… 宋云龙,张金松,郭小雅,朱佳,王丽, 陶益, 张丽(3302)
不同湿地模型中根系微生物的多样性 …… 王林,李冰,余家辉,朱加宾,朱健(3312)
北海湖微生物群落结构随季节变化特征 …… 张雅洁,李珂,朱浩然,张洪勋(3319)
基于高通量测序的流化床生物滤器细菌群落结构分析 …… 张海耿,宋红桥,顾川川,单建军,张宇雷,倪琦(3330)
高效反硝化菌和包埋填料性能及微生物群落分析 …… 孟婷,杨宏(3339)
基于城市污水资源化的微藻筛选与污水预处理 …… 韩松芳,金文标,涂仁杰,陈洪一(3347)
生物膜贴壁培养小球藻净化猪粪沼液废水的效果 …… 王愿珠,程鹏飞,刘德富,刘天中(3354)
微气泡臭氧催化氧化-生化耦合工艺深度处理煤化工废水 …… 刘春,周洪政,张静,陈晓轩,张磊,郭延凯(3362)
pH 冲击对海洋厌氧氨氧化菌处理含海水污水脱氮效能的影响 …… 于德爽,周同,李津,王晓霞,吴国栋,王骁静(3369)
酒精废水部分亚硝化-厌氧氨氧化脱氮的可行性 …… 周正,林兴,王凡,顾澄伟,沈婧,袁砚,金润(3377)
模拟废水中钯的微生物回收及其对亚甲基蓝的催化特性 …… 康乃馨,朱能武,郭雯颖,何志心 (3385)
采用颜色空间表征 ANAMMOX 启动与冲击过程 …… 王利君,李志华,韩冬,张天宇,杨成建(3393)
CSTR 和 MBR 反应器的短程硝化快速启动 …… 张婷,吴鹏,沈耀良,闾刚,徐乐中,Samwine Thomas (3399)
硫酸盐还原氨氧化体系中基质转化途径 …… 完颜德卿,黄勇,毕贞,刘忻,姚鹏程,张文静(3406)
不同 TOC/NH_4^+-N对厌氧氨氧化脱氮效能的影响 …… 王凡,刘凯,林兴,周正,李祥,黄勇(3415)
盐度对 EGSB 反应器的运行及厌氧颗粒污泥的影响 …… 谭潇,黄靓,杨平,涂弈州(3422)
CANON 颗粒污泥工艺的启动与负荷提高策略 …… 孙延芳,韩晓宇,张树军,李星,曹相生(3429)
胞外聚合物对活性污泥吸附去除全氟辛烷磺酸(PFOS)的影响 …… 刘鑫彤,尹华,彭辉,李浩榕,杨萍萍,曹雅娟(3435)
不同施肥方式下紫色土 N_2O 与 NO_x 的排放特征 …… 胡磊,刘韵,朱波(3442)
地膜覆盖对蔬菜地甲烷排放的影响 …… 张凯莉,郝庆菊,冯迪,石将来,石孝均,江长胜(3451)
模拟的增温增雨对内蒙古温带草原土壤氨氧化微生物的影响 …… 张翠景,沈菊培,孙翼飞,王军涛,杨中领,韩红艳,张丽梅,万师强,贺纪正(3463)
长期施肥酸性旱地土壤硝化活性及自养硝化微生物特征 …… 徐白璐,钟文辉,黄欠如,秦红益,邓欢,韩成(3473)
施加碳酸钙对酸性土壤微生物氮循环的影响 …… 郭安宁,段桂兰,赵中秋,唐仲,王杨扬,王伯勋(3483)
水稻不同生育期根际与非根际土壤胞外酶对施氮的响应 …… 魏亮,汤珍珠,祝贞科,蔡观,葛体达,王久荣,吴金水(3489)
凋落物呼吸温度敏感性的变化特征及其影响因素 …… 张彦军(3497)
西北干旱区农田土壤磁性特征及其环境意义 …… 王新,夏敦胜,王博,陈红,刘浩(3507)
小麦秸秆驱动菱铁矿热解制备磁性生物质碳及其吸附 Cd^{2+} 活性 …… 张如玉,刘海波,邹雪华,庆承松,李梦雪,陈冬,陈天虎 (3519)
交通污染暴露对 DNA 甲基化的影响 …… 汪婷,丁锐,黄丹妮,祝子逸,章军,叶怀庄,徐迎春,金永堂(3529)
外接菌种对污泥堆肥效能及堆体细菌群落的影响 …… 杨萍萍,尹华,彭辉,唐少宇,卢妙,刘皓(3536)
中国电动自行车动力铅酸蓄电池生命周期评价 …… 刘巍, 田金平, 陈吕军 (3544)
《环境科学》征稿简则(3280) 《环境科学》征订启事(3301) 信息(3353, 3472, 3535)

典型生活垃圾处理设施恶臭排放特征及污染评价

芦会杰
(北京市环境卫生设计科学研究所,生活垃圾检测分析与评价北京市重点实验室,北京 100028)

摘要: 为研究生活垃圾处理设施恶臭污染排放特征,分别在北京市生活垃圾填埋、焚烧、堆肥 3 种工艺的前处理车间采集恶臭样品,利用冷阱富集-气质联用(GC/MS)技术对恶臭气体进行分析. 结果表明,检测到的恶臭物质主要分为 6 大类:芳香烃化合物、硫化物、卤代物、烯烃、烷烃和含氧有机物. 其中,填埋工艺的前处理车间共检测出 50 种物质,质量浓度为 100.069 $mg\cdot m^{-3}$,理论臭气浓度 OU_T 为 350.611,综合臭气指数 N 为 25.448. 焚烧工艺的前处理车间共检测出 55 种物质,质量浓度为 36.052 $mg\cdot m^{-3}$,理论臭气浓度 OU_T 为 141.434,综合臭气指数 N 为 21.506. 堆肥工艺的前处理车间共检测出 34 种物质,质量浓度为 25.382 $mg\cdot m^{-3}$,理论臭气浓度 OU_T 为 27.547,综合臭气指数 N 为 14.401. 利用阈稀释倍数的恶臭贡献值计算方法,初步识别填埋工艺的前处理车间特征恶臭污染物质为:二甲二硫醚、乙酸丁酯、对二乙苯和乙醇;焚烧工艺的前处理车间特征恶臭污染物质为:甲硫醇、二甲二硫醚、乙醇和柠檬烯;堆肥工艺的前处理车间特征恶臭污染物质为:乙醇、二甲二硫醚、乙酸丁酯和柠檬烯.

关键词:生活垃圾;处理设施;恶臭;排放特征;污染评价
中图分类号: X512 **文献标识码**: A **文章编号**: 0250-3301(2017)08-3178-07 **DOI**: 10.13227/j.hjkx.201612230

Odor Emission Characteristics and Pollution Evaluation from Typical Household Rubbish Disposal Facilities

LU Hui-jie
(Beijing Key Laboratory of Municipal Solid Wastes Testing Analysis and Evaluation, Beijing Environmental Sanitation Engineering Research Institute, Beijing 100028, China)

Abstract: In order to study the characteristics of odors from typical household rubbish disposal facilities, samples were taken from pretreatment workshops of the landfill process, incineration process, and composting process in Beijing, and cold enrichment-GC/MS was used to determine the odor component qualitatively and quantitatively. Results indicated that six categories were detected in all samples: aromatic hydrocarbons, sulfides, halides, olefins, alkanes, and oxygen containing organic substances. In the pretreatment workshop of the landfill process, 50 kinds of chemicals were detected, the total odor concentration was 100.069 $mg\cdot m^{-3}$, the theoretical odor concentration was 350.611, and the comprehensive odor index was 25.448. In the pretreatment workshop of the incineration process, 55 kinds of chemicals were detected, the total odor concentration was 36.052 $mg\cdot m^{-3}$, the theoretical odor concentration was 141.434, and the comprehensive odor index was 21.506. In the pretreatment workshop of the composting process, 34 kinds of chemicals were detected, the total odor concentration was 25.382 $mg\cdot m^{-3}$, the theoretical odor concentration was 27.547, and the comprehensive odor index was 14.401. Combined with the threshold of diluted multiples, the particular pollutants of the pretreatment workshop of the landfill process were dimethyl disulfide, butyl acetate, *p*-diethylbenzene, and ethanol. Similarly, the particular pollutants of the pretreatment workshop of the incineration process were methanethiol, dimethyl disulfide, ethanol, and limonene. The particular pollutants of the pretreatment workshop of the composting process were ethanol, dimethyl disulfide, butyl acetate, and limonene.

Key words: household rubbish; disposal facilities; odor; emission characteristics; pollution evaluation

目前,生活垃圾的处置方式主要分为三类:填埋、焚烧、堆肥. 我国城市生活垃圾的产量逐年增加,据统计,2015 年北京市全年生活垃圾无害化处理量为 788.73 万 t,其中卫生填埋 492.09 万 t,焚烧 183.55 万 t,其他以堆肥为主的为 113.09 万 t. 生活垃圾在填埋、焚烧、堆肥过程中会产生大量恶臭物质. 段振菡对北京某一典型生活垃圾填埋场作业面进行恶臭物质释放特征及源解析研究,发现填埋场存在的主要恶臭物质是异丁烷、乙醇、柠檬烯、丁烷、甲苯及三氯一氟甲烷[1]. 垃圾在焚烧前需要在储存仓中进行一定程度的发酵,降低含水率,以提高焚烧质量,因此在储存的过程中为恶臭物质的产生提供了较好的厌氧条件[2]. 有研究发现,生活垃圾在堆肥过程中容易产生的恶臭物质包括氨气、硫化氢和甲硫醇等[3]. 虽然针对恶臭已有许多研究,但关于填埋、焚烧、堆肥这 3 种处置工艺的前处理车间恶臭排放的研究较少.

收稿日期: 2016-12-27; **修订日期**: 2017-03-07
作者简介: 芦会杰(1988~),女,硕士,主要研究方向为固体废弃物处理,E-mail:luhuijie.hi@163.com

恶臭物质种类繁多，能以低浓度产生嗅觉刺激，并且恶臭污染通常是由多种恶臭物质形成的复合型污染[4~6]. 有研究表明[7~11]，很多恶臭气体具有光化学反应活性，容易与大气中气体化学成分反应形成二次污染物，同时也是形成二次气溶胶粒子的重要前体物，在一定条件下二次粒子的积累可导致 $PM_{2.5}$ 浓度的增加，进而诱发霾天气. 在一些发达国家，因恶臭引发的环境投诉越来越多，在美国占全部空气污染投诉的 50% 以上，在澳大利亚投诉比例高达 90%，在日本仅次于噪声居第二位. 近年来，我国很多城市相继发生了大面积的影响严重的恶臭污染事件，由此，恶臭诱发的环境污染问题引起人们的高度关注[12].

本研究在生活垃圾填埋、焚烧和堆肥 3 种工艺前处理车间采集气体样品，采用冷阱富集结合 GC/MS 分析技术，对恶臭物质进行成分分析，确定恶臭物质的排放特征，对恶臭物质造成的恶臭污染进行评价，以期为生活垃圾处理过程中恶臭污染的防治与管理提供理论依据.

1　材料与方法

1.1　样品采集

垃圾在进行填埋、焚烧、堆肥处置之前，都会对垃圾进行一定的前处理，以北京生活垃圾处理设施恶臭排放源为研究对象，分别在 3 种垃圾处置工艺的前处理车间进行采样. 所有前处理车间都是室内封闭空间，属于无组织的排放源中的连续排放源，在每种工艺的前处理车间，采样参照文献[13]，采样点设在垃圾下风向距离垃圾 5 m 处，每隔 2 h 采一次，共采集 4 次，取其最大测定值. 具体的采样点信息可见表 1.

表 1　恶臭样品采样点信息

Table 1　Information about odor sampling stations

项目	填埋工艺（转运站前处理车间）	焚烧工艺（料仓）	堆肥工艺（垃圾储存车间）
下风向与垃圾距离/m	5	5	5
采样高度/m	1.2	1.2	1.2
垃圾存放时间/d	1	7~15	5
温度/℃	35	25	30
垃圾组成	混合垃圾	混合垃圾	混合垃圾

1.2　恶臭分析方法

成分分析参考 USEPA TO-14、15 方法. 用不锈钢苏玛罐（美国 ENTECH 公司，采样罐经过硅烷化惰性处理）采集样品，采样之前使用 Entech 3100 罐清洗系统 6 次，并抽真空至 250 Pa 以下. 在采样点将苏玛罐打开进行瞬时采样，时间为 10 ~ 30 s. 用预浓缩仪自动抽取标准状态下气体样品 200 mL，采集的样品气体经过 Entech 7200 冷阱预浓缩系统浓缩，进入气相色谱质谱仪系统（Agilent 7890/5975C）进行分析测定. 使用含有 120 种恶臭物质（芳香烃 18 种，卤代烷烯烃类 35 种，烯烃 13 种，烷烃 28 种，醇、醛、酮、酯、醚等含氧有机物共 23 种，其他含硫类 3 种）的混合标准气体对标准曲线进行校准. 样品定性通过各有机物的保留时间和谱库中标准质谱图检索来进行，定量则使用内标法，内标物质为：溴氯甲烷、1,4-二氟苯、氯苯-d5、对溴氟苯. 以上所有标品物质均由美国 Spectra Gases 公司生产.

预浓缩进样系统条件：第一级冷阱捕集温度为 -150℃，预热温度 20℃，解析温度 20℃，烘烤温度 130℃，烘烤时间 5 min；二级冷阱捕集温度为 -20℃，解析温度 180℃，解析时间 3.5 min，烘烤温度 190℃；三级冷阱捕集温度为 -180℃，进样时间 3 min，烘烤时间 2 min，结束时间 3 min，等待时间 31 min.

气相色谱条件：色谱柱为 DB-5MS（60 m × 0.32 mm × 1.0 μm），载气：氦气（≥99.999%），载气流速：1.5 $mL \cdot min^{-1}$，进样方式：不分流进样，柱温：35℃保持 5 min，以 5 $℃ \cdot min^{-1}$ 升温至 150℃，然后再以 15 $℃ \cdot min^{-1}$ 升温到 220℃保持 7 min；进样口温度 100℃.

质谱条件：离子源温度 230℃，四级杆温度 150℃，接口温度 280℃，扫描范围：m/z 15 ~ 300 u，扫描速度5 $scans \cdot s^{-1}$，EI 源条件 70 eV，扫描模式 SIM/SCAN.

2　结果与讨论

2.1　冷阱富集-气质联用（GC/MS）技术对恶臭组成特征分析

利用冷阱富集-气质联用（GC/MS）技术，在填埋工艺前处理车间共检测出 50 种有机化合物（图 1），恶臭物质的总质量分数为为 100.069 $mg \cdot m^{-3}$，物质种类包括：一种含硫化合物即二甲二硫醚，占总

质量分数为0.95%；卤代物8种，占总质量分数为15.48%；芳香烃化合物17种，占总质量分数为19.57%；烯烃化合物2种，占总质量分数为2.47%，其中以柠檬烯为主；烷烃化合物17种，占总质量分数为12.82%；含氧化合物5种，占总质量分数为48.71%，其中以乙醇为主，占总质量分数的31.73%. 从质量分数来看，转运站主要恶臭气体为乙醇、甲苯、1,2-二氯丙烷、乙酸丁酯、乙酸乙酯、间二甲苯、2-丁酮、二氯甲烷和柠檬烯，这几种物质占总质量分数的72.61%.

在产物中，含硫化合物只有二甲二硫醚一种，与文献[14,15]相比，虽然种类减少，但二甲二硫醚的质量浓度达到0.953 $mg\cdot m^{-3}$，比已有报道中含硫化合物的质量浓度明显偏高. 在检测到的含氧有机物中以乙醇为主，占到总的含氧有机物质量浓度的65.16%，与文献[16]报道相一致，乙醇主要来源于生活垃圾中有机物的降解. 在检测到的卤代物中，1,2-二氯丙烷质量浓度最大，占到总的卤代物质量浓度的53.79%；在检测到的芳香烃中以甲苯为主，占到总的芳香烃质量浓度的35.69%，检测到的3种二甲苯占到总的芳香烃质量浓度的39.46%. 路鹏等[17]选择间二甲苯作为填埋场恶臭污染的标志化合物开展恶臭研究. 在检测到的两种烯烃中，柠檬烯占到87.28%，据文献报道[18]，柠檬烯是生活垃圾处置过程中产生的典型恶臭物质. 在检测到的烷烃化合物中，其中戊烷的浓度最高，相关研究已有报道[19,20]，在烹饪过程中，部分氢化的大豆油热降解会产生戊烷.

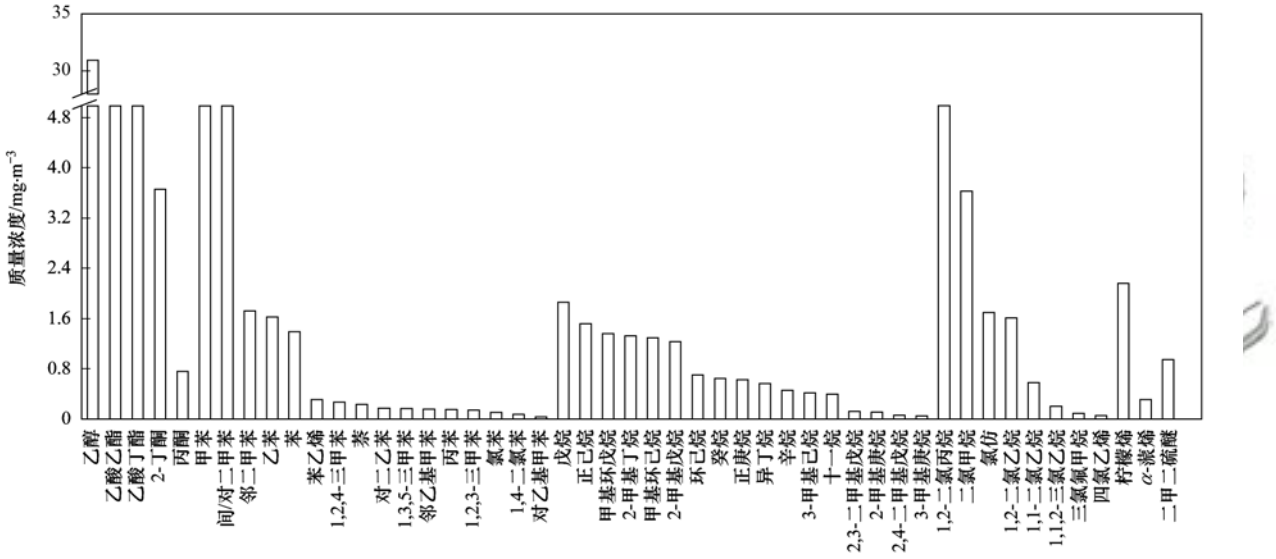

图1 填埋工艺前处理车间恶臭物质组成特征

Fig. 1 Composition characteristics of odors from the pretreatment workshop of the landfill process

利用冷阱富集-气质联用(GC/MS)技术，在焚烧工艺前处理车间共检测出55种有机化合物(图2)，恶臭物质的总质量浓度为36.052 $mg\cdot m^{-3}$，物质种类包括：含硫化合物3种，占总质量分数0.75%，以二甲二硫醚为主；卤代物6种，占总质量分数5.99%；芳香烃化合物12种，占总质量分数2.19%；烯烃化合物4种，占总质量分数5.60%，其中以柠檬烯为主；烷烃化合物20种，占总质量分数21.09%；含氧化合物10种，占总质量分数64.17%，乙醇占含氧化合物总浓度的89.36%. 从分数来看，焚烧工艺前处理车间检出的主要恶臭气体为乙醇、丁烷、柠檬烯、乙酸乙酯、异丁烷和丙烷，这几种物质占总质量分数的83.25%.

利用冷阱富集-气质联用(GC/MS)技术，在堆肥工艺前处理车间共检测出34种有机化合物(图3)，恶臭物质的总质量浓度为25.382 $mg\cdot m^{-3}$，物质种类包括：含硫化合物3种，占总质量分数0.25%，以甲硫醚和二甲二硫醚为主，两种物质都是国控恶臭污染物；卤代物4种，占总质量分数0.05%；芳香烃化合物12种，占总质量分数0.40%；烯烃化合物3种，占总质量分数1.36%，其中以柠檬烯为主；烷烃化合物5种，占总质量分数0.05%；含氧化合物7种，占总质量分数97.89%，其中以乙醇为主，占总浓度的93.48%. 从质量分数来看，堆肥工艺前处理车间主要恶臭物质乙醇、2-丁酮、乙酸乙酯、柠檬烯和乙酸丁酯，这几种物质占总质量分数的98.34%.

2.2 恶臭污染评价

恶臭物质对臭味的贡献大小受物质浓度高低及

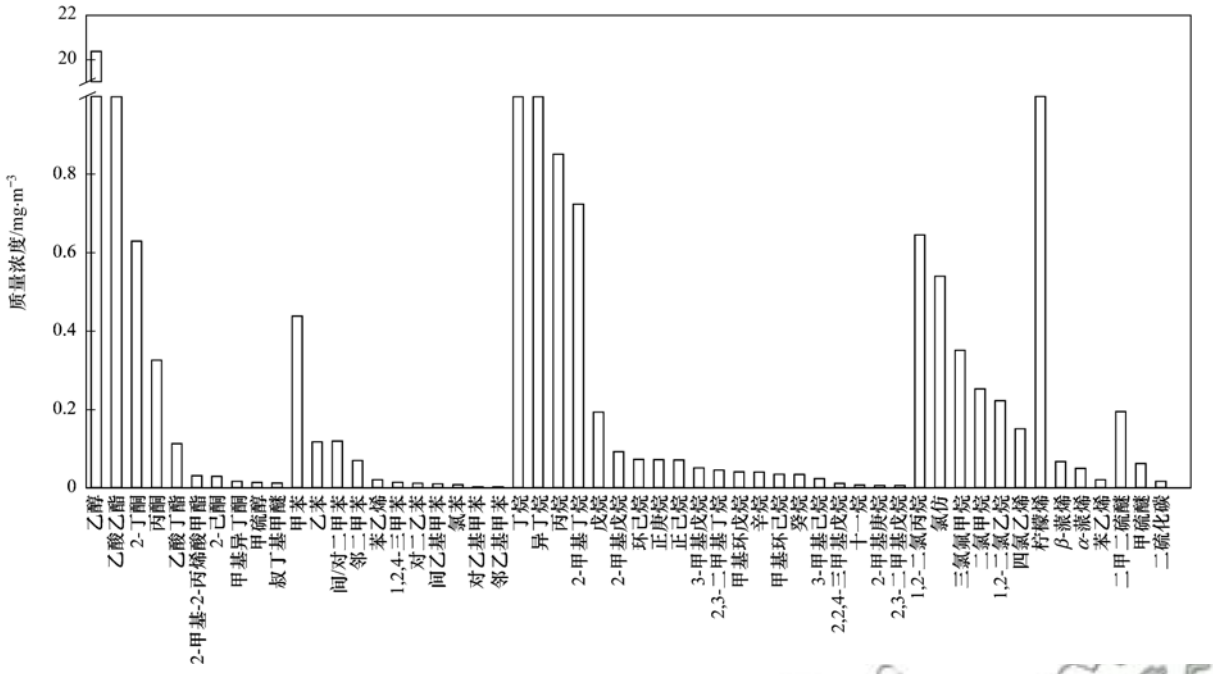

图 2　焚烧工艺前处理车间恶臭物质组成特征

Fig. 2　Composition characteristics of odors from the pretreatment workshop of the incineration process

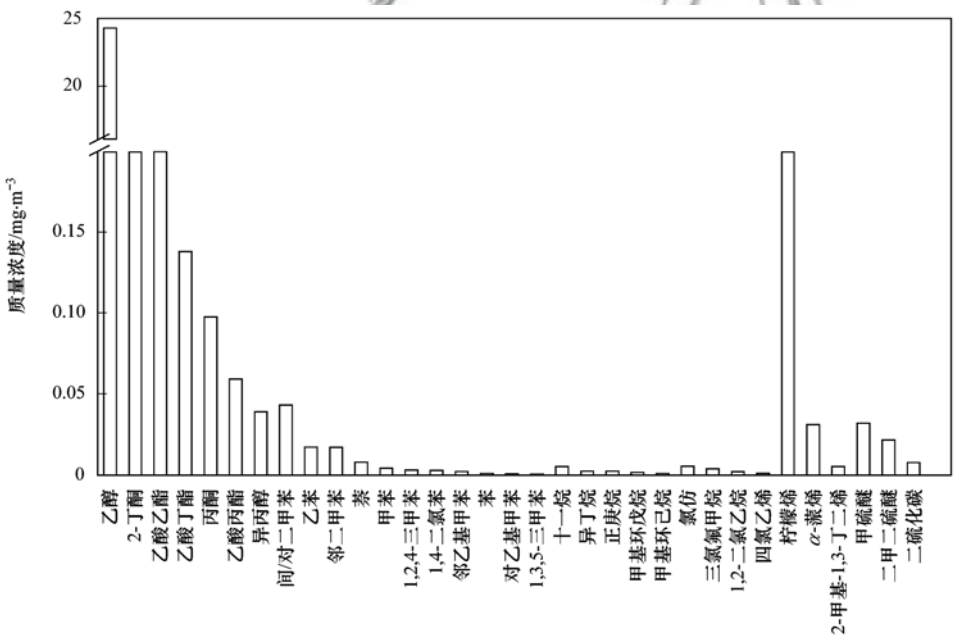

图 3　堆肥工艺前处理车间恶臭物质组成特征

Fig. 3　Composition characteristics of odors from the pretreatment workshop of the composting process

嗅阈值两方面的影响[21]. 综合两方面的影响因素，采用阈稀释倍数作为单一恶臭物质的污染评估指标. 混合恶臭气体中，恶臭物质的阈稀释倍数越高，其在臭气中的贡献值就越大，因此，造成臭气污染的主要物质不是物质浓度最高的恶臭物质，而是阈稀释倍数最大的恶臭物质[22,23]. 阈稀释倍数的具体计算方法如公式(1)：

$$D_i = c_i / C_i^{\mathrm{T}} \tag{1}$$

式中，D_i 为第 i 种恶臭物质的阈稀释倍数，无量纲；c_i 为第 i 种恶臭物质的浓度；C_i^{T} 为第 i 种恶臭物质的嗅阈值，可参考文献[24]的数据.

采用阈稀释倍数的理论臭气浓度作为恶臭污染的综合评估指标，具体计算方法如下：对照第 i 种物质的嗅阈值 C_i^{T}，利用式(1)计算各恶臭物质的阈稀释倍数 D_i；忽略阈稀释倍数 $D_i < 1$ 的恶臭物质，大量研究表明阈稀释倍数低于 1 的物质几乎不造成恶臭污

染,对前 n 项恶臭物质的阈稀释倍数做总和模型法,如式(2)所示,即得到样品的理论臭气浓度 OU_T.

$$OU_T = \sum_{i=1}^{n} D_i \quad (2)$$

依据公式(1)求得填埋、焚烧、堆肥这 3 种工艺前处理车间恶臭物质的阈稀释倍数,只选择其中阈稀释倍数 >1 的恶臭物质,具体数值大小如表 2 和表 3 所示.

根据公式(2),求得填埋、焚烧、堆肥这 3 种工艺的前处理车间检出的恶臭物质的理论臭气浓度分别为:350.611、141.434、27.547. 从理论臭气浓度(OU_T)分析,在填埋、焚烧、堆肥 3 种工艺的前处理车间,恶臭污染严重程度不同,这可能是因为空气流通、人工作业的频次及温度不同导致的. 利用这一方法确定的理论臭气浓度,一方面考虑了质量浓度较大的恶臭物质对恶臭污染的贡献,另一方面其与恶臭物质的嗅阈值有直接关系,作为一项恶臭污染的综合评估指标,能够实现不同样品间恶臭污染水平的定量化比较,为恶臭污染的对比评估提供科学依据.

表 2 填埋工艺前处理车间恶臭物质阈稀释倍数[1)]

Table 2 Threshold of diluted multiples of odors from the pretreatment workshop of the landfill process

物质(填埋)	阈稀释倍数	物质(填埋)	阈稀释倍数	物质(填埋)	阈稀释倍数
二甲二硫醚*	103.029	柠檬烯	9.338	2-丁酮	2.586
乙酸丁酯	74.990	丙苯	7.533	乙苯	2.023
对二乙苯	74.288	甲苯	5.150	苯乙烯*	1.937
乙醇	29.694	萘	4.442	乙酸乙酯	1.850
间二甲苯	22.159	α-蒎烯	2.872		

1) * 为国家优先控制的恶臭污染物,下同

表 3 焚烧和堆肥工艺前处理车间恶臭物质阈稀释倍数

Table 3 Threshold of diluted multiples of odors from the pretreatment workshop of the incineration and composting processes

物质(焚烧)	阈稀释倍数	物质(焚烧)	阈稀释倍数	物质(堆肥)	阈稀释倍数
甲硫醇*	86.486	甲硫醚*	7.355	乙醇	22.186
二甲二硫醚*	21.012	对二乙苯	4.793	二甲二硫醚*	2.356
乙醇	19.331	乙酸丁酯	1.350	乙酸丁酯	1.665
柠檬烯	8.462			柠檬烯	1.340

2.3 综合臭气指数

根据韦伯-费希纳公式,人的嗅觉感觉与恶臭物质的刺激量的对数成正比[25],具体公式计算如下:

$$S = k \lg R \quad (3)$$

式中,S 为感觉强度; R 为刺激强度; k 为常数.

根据以上公式,可将计算获得的理论臭气浓度进行指数化,以反映恶臭污染对人类嗅觉感觉的影响,更适合反映人类对恶臭污染的嗅觉感觉. 综合恶臭指数(N)的计算方法如式(4):

$$N = 10 \times \lg OU_T \quad (4)$$

填埋工艺的前处理车间检测出的恶臭物质中,阈稀释倍数 >1 的物质总共为 14 种,理论臭气浓度 OU_T 数值为 350.611,样品的综合臭气指数 N 为 25.448. 将阈稀释倍数排在前 4 位的二甲二硫醚、乙酸丁酯、对二乙苯和乙醇视为填埋工艺的前处理车间的典型恶臭污染物,对其排放浓度必须加以控制. 二甲二硫醚为国家优先控制的 8 种恶臭污染物之一,在本研究中填埋处理工艺前处理车间二甲二硫醚的质量浓度为 0.953 2 $mg \cdot m^{-3}$,嗅阈值为 0.009 252 $mg \cdot m^{-3}$,阈稀释倍数达到 103.029,对填埋工艺的前处理车间的恶臭污染的贡献很大. 0.953 2 $mg \cdot m^{-3}$ 浓度值超出垃圾处理设施恶臭污染物厂界标准值三级排放标准 0.71 $mg \cdot m^{-3}$ (GB 14554-93).

焚烧工艺的前处理车间检测出的恶臭物质中,阈稀释倍数 >1 的物质有 7 种,分别为:甲硫醇、二甲二硫醚、乙醇、柠檬烯、甲硫醚、对二乙苯和乙酸丁酯. 焚烧工艺的前处理车间样品的理论臭气浓度 OU_T 数值为 141.434,样品的综合臭气指数 N 为 21.506. 在检测到的 55 种恶臭物质中,阈稀释倍数排在前两位的是甲硫醇和二甲二硫醚,甲硫醇嗅阈值偏低,即使检测出的浓度很低,其阈稀释倍数仍旧很大; 二甲二硫醚嗅阈值较甲硫醇偏高,但其检出的质量浓度达到 0.194 4 $mg \cdot m^{-3}$,计算得出的阈稀释倍数仅次于甲硫醇,排在第二位. 同样根据阈稀释倍数的大小,将排在前 4 位的甲硫醇、二甲二硫醚、乙醇和柠檬烯视为焚烧工艺的前处理车间的典型恶臭污染物.

堆肥工艺的前处理车间检测出的恶臭物质中，阈稀释倍数 >1 的物质有 4 种，分别为：乙醇、二甲二硫醚、乙酸丁酯和柠檬烯，可将其视为堆肥工艺的前处理车间的典型恶臭污染物. 堆肥工艺的前处理车间样品的理论臭气浓度 OU_T 数值为 27.547，综合臭气指数 N 为 14.401. 在堆肥工艺的前处理车间检测出的恶臭物质中，乙醇的质量浓度远远高于检测到的其他恶臭物质，导致其阈稀释倍数最大. 堆肥工艺的前处理车间的生活垃圾中含有餐厨垃圾，餐厨垃圾中的淀粉及脂肪类物质，在筛分车间高温条件下，容易发酵，分解产生乙醇；另外生活垃圾中会有酒类混入，使得生活垃圾本身含有一定量的乙醇[26].

3　结论

(1)利用冷阱富集-气质联用(GC/MS)技术，在垃圾填埋、焚烧、堆肥这 3 种工艺的前处理车间采集的臭气样品中检出的部分恶臭物质分为 6 大类：芳香烃化合物、硫化物、卤代物、烯烃、烷烃和含氧有机物，物质数量分别为 50 种、55 种和 34 种.

(2)结合在 3 种工艺的前处理车间检测出的恶臭物质的质量浓度、理论臭气浓度和综合臭气指数，初步判断，在填埋、焚烧和堆肥这 3 种垃圾处置工艺的前处理车间，恶臭污染严重程度不同，这可能是因为空气流通、人工作业的频次及温度不同导致的.

(3)根据研究结果，初步识别填埋处理工艺前处理车间特征恶臭污染物质为：二甲二硫醚、乙酸丁酯、对二乙苯和乙醇；初步识别焚烧处理工艺前处理车间特征恶臭污染物质为：甲硫醇、二甲二硫醚、乙醇和柠檬烯；初步识别堆肥处理工艺前处理车间特征恶臭污染物质为：乙醇、二甲二硫醚、乙酸丁酯和柠檬烯. 甲硫醇和二甲二硫醚为我国恶臭污染物排放标准规定的受控物质，而烯烃和含氧化合物的光化学活性较强，所以应加强对以上污染物的治理和控制.

参考文献：

[1] 段振菡. 典型生活垃圾填埋场作业面恶臭物质释放特征及源解析[D]. 北京：清华大学，2015.
Duan Z H. Characterization of odorous gas emission from the working face of a typical municipal solid waste landfill [D]. Beijing: Tsinghua University, 2015.

[2] 饶世琦. 城市垃圾焚烧发电恶臭物质的污染和治理措施探讨[J]. 化学工程与装备，2011，(8)：190-191.
Rao S Q. Discussion on the pollution and control measures of odor from municipal waste incineration [J]. Chemical Engineering & Equipment, 2011, (8): 190-191.

[3] Chen J, Chen T B, Gao D, *et al*. Reducing H_2S production by O_2 feedback control during large-scale sewage sludge composting [J]. Waste Management, 2011, **31**(1): 65-70.

[4] 李伟芳，李昌建，曹阳，等. 天津市环境空气恶臭污染状况与典型气态污染物识别[J]. 环境科学研究，2014，**27**(6)：567-574.
Li W F, Li C J, Cao Y, *et al*. Odor pollution conditions and typical gaseous pollutants in urban ambient air in Tianjin city [J]. Research of Environmental Sciences, 2014, **27**(6): 567-574.

[5] 韩博，吴建会，王凤炜，等. 典型工业恶臭源恶臭排放特征研究[J]. 中国环境科学，2013，**33**(3)：416-422.
Han B, Wu J H, Wang F W, *et al*. Characterization of industrial odor sources[J]. China Environmental Science, 2013, **33**(3): 416-422.

[6] Tassi F, Montegrossi G, Vaselli O, *et al*. Degradation of C_2-C_{15} volatile organic compounds in a landfill cover soil[J]. Science of the Total Environment, 2009, **407**(15): 4513-4525.

[7] 张妍，王元刚，卢志强，等. 我国餐厨废物生化处理设施恶臭排放特征分析[J]. 环境科学，2015，**36**(10)：3603-3610.
Zhang Y, Wang Y G, Lu Z Q, *et al*. Odor emission characteristics from biochemical treatment facilities of kichen waste in China [J]. Environmental Science, 2015, **36**(10): 3603-3610.

[8] Muñoz R, Sivret E C, Parcsi G, *et al*. Monitoring techniques for odour abatement assessment [J]. Water Research, 2010, **44**(18): 5129-5149.

[9] 刘舒乐，王伯光，何清，等. 城市污水处理厂恶臭挥发性有机物的感官定量评价研究[J]. 环境科学，2011，**32**(12)：3582-3587.
Liu S L, Wang B G, He J, *et al*. Quantification assessment of the relationship between chemical and olfactory concentrations for malodorous volatile organic compounds [J]. Environmental Science, 2011, **32**(12): 3582-3587.

[10] 王伯光，张远航，邵敏. 珠江三角洲大气环境 VOCs 的时空分布特征[J]. 环境科学，2004，**25**(增刊)：7-15.
Wang B G, Zhang Y H, Shao M. Special and temporal distribution character of VOCs in the ambient air of Peal River Delta region[J]. Environmental Science, 2004, **25**(S1): 7-15.

[11] 孙杰，王跃思，吴方堃，等. 唐山市和北京市夏秋季节大气 VOCs 组成及浓度变化[J]. 环境科学，2010，**31**(7)：1438-1443.
Sun J, Wang Y S, Wu F K, *et al*. Concentration and change of VOCs in summer and autumn in Tangshan[J]. Environmental Science, 2010, **31**(7): 1438-1443.

[12] 唐亮. 恶臭污染源环境影响评价要点问题探讨[J]. 环境保护科学，2012，**38**(6)：67-69.
Tang L. Discussion on main points of odour pollution in environmental impact assessment[J]. Environmental Protection Science, 2012, **38**(6): 67-69.

[13] 姬亚芹，陈丽，宫庆超，等. 恶臭排放规律及其采样和分析方法[J]. 中国环境监测，2013，**29**(3)：132-136.
Ji Y Q, Chen L, Gong Q C, *et al*. Malodorous emission law and the method of sampling and analysis [J]. Environmental Monitoring in China, 2013, **29**(3): 132-136.

[14] 张红玉，邹克华，杨金兵，等. 厨余垃圾堆肥过程中恶臭物

质分析[J]. 环境科学, 2012, **33**(8): 2563-2568.
Zhang H Y, Zou K H, Yang J B, *et al*. Analysis of odor pollutants in kitchen waste composting [J]. Environmental Science, 2012, **33**(8): 2563-2568.

[15] 闫凤越, 邹克华, 李伟芳, 等. 垃圾填埋场恶臭气体的指纹谱[J]. 环境化学, 2013, **32**(5): 854-859.
Yan F Y, Zou K H, Li W F, *et al*. Research of odor pollutant's fingerprints in ambient air of landfill area [J]. Environmental Chemistry, 2013, **32**(5): 854-859.

[16] 王攀, 任连海, 黄燕冰. 餐厨垃圾饲料化处理厂恶臭气体成分谱研究[J]. 环境科学与技术, 2014, **37**(7): 157-161.
Wang P, Ren L H, Huang Y B. Source profiles of odors from the plant of converting food waste into feed [J]. Environmental Science & Technology, 2014, **37**(7): 157-161.

[17] 路鹏, 苏昭辉, 王亘, 等. 填埋场大气中化合物分析与恶臭指示物筛选[J]. 环境科学, 2011, **32**(4): 936-942.
Lu P, Su Z H, Wang G, *et al*. VOCs analyzing and odor indicator selecting in ambient air of landfill area [J]. Environmental Science, 2011, **32**(4): 936-942.

[18] 羌宁, 王红玉, 赵爱华, 等. 生活垃圾填埋场作业面恶臭散发率研究[J]. 环境科学, 2014, **35**(2): 513-519.
Qiang N, Wang H Y, Zhao A H, *et al*. Odor emission rate of municipal solid waste from landfill working area [J]. Environmental Science, 2014, **35**(2): 513-519.

[19] Chiriac R, Carre J, Perrodin Y, *et al*. Characterisation of VOCs emitted by open cells receiving municipal solid waste[J]. Journal of Hazardous Materials, 2007, **149**(2): 249-263.

[20] Soheili K C, Artz W E, Tippayawat P. Pan-heating of low-linolenic acid and partially hydrogenated soybean oils [J]. Journal of the American Oil Chemists'Society, 2002, **79**(3): 287-290.

[21] 赵岩, 陆文静, 王洪涛, 等. 城市固体废物处理处置设施恶臭污染评估指标体系研究[J]. 中国环境科学, 2014, **34**(7): 1804-1810.
Zhao Y, Lu W J, Wang H T, *et al*. Evaluation index system of odor pollution for municipal solid waste treatment facilities[J]. China Environmental Science, 2014, **34**(7): 1804-1810.

[22] 孙中涛, 楼紫阳, 王罗春, 等. 混合生活垃圾恶臭特性及评估方法研究[J]. 环境污染与防治, 2015, **37**(11): 11-15, 20.
Sun Z T, Lou Z Y, Wang L C, *et al*. Characteristic of odor emission from mixed waste and the odor evaluation process[J]. Environmental Pollution & Control, 2015, **37**(11): 11-15, 20.

[23] Saral A, Demir S, Yıldız S. Assessment of odorous VOCs released from a main MSW landfill site in Istanbul-Turkey via a modelling approach[J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, **168**(1): 338-345.

[24] 王亘, 翟增秀, 耿静, 等. 40 种典型恶臭物质嗅阈值测定[J]. 安全与环境学报, 2015, **15**(6): 348-351.
Wang G, Zhai Z X, Geng J, *et al*. Testing and determination of the olfactory thresholds of the 40 kinds of typical malodorous substances[J]. Journal of Safety and Environment, 2015, **15**(6): 348-351.

[25] Agus E, Zhang L F, Sedlak D L. A framework for identifying characteristic odor compounds in municipal wastewater effluent [J]. Water Research, 2012, **46**(18): 5970-5980.

[26] Phan N T, Kim K H, Jeon E C, *et al*. Analysis of volatile organic compounds released during food decaying processes[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2012, **184**(3): 1683-1692.

HUANJING KEXUE

Environmental Science (monthly)

Vol. 38 No. 8

Aug. 15, 2017

CONTENTS

Evaluation and Development of a Weighing Chamber by Using Saturated $MgCl_2$ Solution ····· LI Xiao-xiao, ZHANG Qiang, DENG Jian-guo, *et al.* (3095)

Characteristics Research on Carbonaceous Component of Particulate Matter Emitted from Iron and Steel Industry ····· ZHANG Jin-sheng, WU Jian-hui, MA Xian, *et al.* (3102)

Pollution Characteristics and Source Identification of PAHs in Atmospheric $PM_{2.5}$ in Changzhou City ····· GU Ai-jun, LIU Jia-shu, LUO Shi-peng, *et al.* (3110)

Atmospheric Dry Deposition Fluxes and Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Lanzhou Valley, Northwest China ····· JU Yuan-li, LIU Pan-liang, YU Zhou-suo, *et al.* (3120)

Characteristics and Sources of Elements in Atmospheric Dust Fall in Zhuzhou City, Central China ····· WANG Shi-hao, ZHANG Kai, CHAI Fa-he, *et al.* (3130)

Atmospheric Pollutant Emission Characteristics from the Cooking Process of Traditional Beijing Roast Duck ····· XU Min, HE Wan-qing, NIE Lei, *et al.* (3139)

Exhaust Emission Characteristics of Typical Alkanes from Heavy-Duty Diesel Vehicles Based on a Portable Emission Measurement System ····· SHI Chun-zhen, HAO Xue-wei, SHEN Xian-bao, *et al.* (3146)

PM_{10} Concentration Forecasting Model Based on Wavelet-SVM ····· WANG Ping, ZHANG Hong, QIN Zuo-dong, *et al.* (3153)

Emission Factors and Preliminary Emission Estimates of Air Pollutants from Ships at Berth in the Guangzhou Port ····· HUANG Xue-liang, ZHANG Zhou, YANG Wei-qiang, *et al.* (3162)

Influence of Dust Events on the Concentration and Size Distribution of Microorganisms in Bioaerosols ····· LI Hong-tao, Qi jian-hua, DONG Li-jie, *et al.* (3169)

Odor Emission Characteristics and Pollution Evaluation from Typical Household Rubbish Disposal Facilities ····· LU Hui-jie (3178)

Perfluorinated Compounds in Snow from Downtown Hangzhou, China ····· ZHANG Ming, TANG Fang-liang, YU Ya-yun, *et al.* (3185)

Fluorescence Characterization of Fractionated Colloids in Wastewaters Received by Huangpu River ····· NIE Ming-hua, YAN Cai-xia, YANG Yi, *et al.* (3192)

Sources of Organic Carbon in the Surface Water of Lijiang River ····· ZHAO Hai-juan, XIAO Qiong, WU Xia, *et al.* (3200)

Impacts of Thermal Stratification on the Hydrochemistry and Dissolved Inorganic Carbon in a Typical Karst Reservoir in Summer ····· WU Fei-hong, PU Jun-bing, LI Jian-hong, *et al.* (3209)

Comparison of Heavy Metal Contamination Characteristics in Surface Water in Different Functional Areas: A Case Study of Ningbo ····· XU Mei-juan, TONG Gui-hua, SUN Dan, *et al.* (3218)

Comparison of Identification Methods of Main Component Hydrochemical Anomalies in Groundwater: A Case Study of Liujiang Basin ····· ZHANG Xiao-wen, HE Jiang-tao, PENG Cong, *et al.* (3225)

Biotic and Abiotic Uptake of Phosphorus in Benthic Sediments of Suburban Streams Under Intense Human Disturbance Scenario ····· LI Ru-zhong, YE Zhou, GAO Su-di, *et al.* (3235)

Sedimentary Phosphorus Speciation in the Coastal Hypoxic Area of Changjiang Estuary and Its Environmental Significance ····· LIU Jun, ZANG Jia-ye, RAN Xiang-bin, *et al.* (3243)

Characteristics and the Relationship of Nitrogen and Phosphorus in Soil and Water of Different Land Use Types of a Small Watershed in the Three Gorges Reservoir Area ····· CHEN Cheng-long, GAO Ming, MU Zhi-jian, *et al.* (3254)

Characteristics of Carbon Transportation Under Rainfall Events and Associated Carbon Loss Evaluation in Loess Plateau, China: A Case Study of Yangjuangou Dam Watershed ····· E Xin-hui, WANG Ya-feng, GAO Yang, *et al.* (3264)

New Bromated Phenolic Disinfection Byproducts: Mechanism of Their Decomposition During Chlorination ····· LI Huan, LI Zheng-kui, LI Ai-min, *et al.* (3273)

Effects of Algal Morphology and Al Species Distribution on the Coagulation-Ultrafiltration Process ····· ZHANG Da-wei, XU Hui, WANG Xi, *et al.* (3281)

Functional Group Characteristics of Planktonic Diatoms and Their Relationship with Environmental Factors in the Ruxi River ····· XIANG Rong, LI Qiao-yu, YU Yi, *et al.* (3290)

Spatiotemporal Variations of Chlorophyll a and Its Relationship to Environmental Factors in Shiyan Reservoir ····· SONG Yun-long, ZHANG Jin-song, Guo Xiao-ya, *et al.* (3302)

Rhizosphere Microbial Diversity in Different Wetland Microcosms ····· WANG Lin, LI Bing, YU Jia-hui, *et al.* (3312)

Community Structure of Microorganisms and Its Seasonal Variation in Beihai Lake ····· ZHANG Ya-jie, LI Ke, ZHU Hao-ran, *et al.* (3319)

Analysis of Microbial Diversity in a Fluidized-Sand Biofilter Based on High-Throughput Sequencing Technology ····· ZHANG Hai-geng, SONG Hong-qiao, GU Chuan-chuan, *et al.* (3330)

Analysis of High-efficiency Denitrifying Bacteria and Embedding Filler Performance and Microflora ····· MENG Ting, YANG Hong (3339)

Selection of Microalgae for Biofuel Using Municipal Wastewater as a Resource ····· HAN Song-fang, JIN Wen-biao, TU Ren-jie, *et al.* (3347)

Purification Effect of Piggery Wastewater with *Chlorella pyrenoidosa* by Immobilized Biofilm-Attached Culture ····· WANG Yuan-zhu, CHENG Peng-fei, LIU De-fu, *et al.* (3354)

Combination of Microbubble Catalytic Ozonation and Biological Process for Advanced Treatment of Biotreated Coal Chemical Wastewater ····· LIU Chun, ZHOU Hong-zheng, ZHANG Jing, *et al.* (3362)

Effect of pH Shock on Nitrogen Removal Performance of Marine Anaerobic Ammonium-Oxidizing Bacteria Treating Saline Wastewater ····· YU De-shuang, ZHOU Tong, LI Jin, *et al.* (3369)

Removal of Nitrogen from Alcohol Wastewater by PN-ANAMMOX ····· ZHOU Zheng, LIN Xing, WANG Fan, *et al.* (3377)

Biorecovery of Palladium from Simulated Wastewaters and Its Catalytic Property for Methylene Blue ····· KANG Nai-xin, ZHU Neng-wu, GUO Wen-ying, *et al.* (3385)

Investigation of Initiation and Shock Process of ANAMMOX Based on Color Space ····· WANG Li-jun, LI Zhi-hua, HAN Dong, *et al.* (3393)

Fast Start-up of Shortcut Nitrification in a CSTR and an MBR ····· ZHANG Ting, WU Peng, SHEN Yao-liang, *et al.* (3399)

Conversion Pathways of Substrates in Sulfate-Reducing Ammonia Oxidation System ····· WANYAN De-qing, HUANG Yong, BI Zhen, *et al.* (3406)

Effect of Different TOC to NH_4^+-N Ratios on Nitrogen Removal Efficiency in the ANAMMOX Process ····· WANG Fan, LIU Kai, LIN Xing, *et al.* (3415)

Effects of Salinity on the Operation of EGSB Reactors and the Anaerobic Granular Sludge ····· TAN Xiao, HUANG Liang, YANG Ping, *et al.* (3422)

Start-up of Granule CANON Process and the Strategy for Enhancing Total Nitrogen Removal Rate ····· SUN Yan-fang, HAN Xiao-yu, ZHANG Shun-jun, *et al.* (3429)

Effect of Extracellular Polymeric Substance (EPS) on the Adsorption of Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) onto Activated Sludge ····· LIU Xin-tong, YIN Hua, PENG Hui, *et al.* (3435)

Characteristics of N_2O and NO_x Emissions from Purple Soil Under Different Fertilization Regimes ····· HU Lei, LIU Yun, ZHU Bo (3442)

Effect of Plastic Film Mulching on Methane Emission from a Vegetable Field ····· ZHANG Kai-li, HAO Qing-ju, FENG Di, *et al.* (3451)

Responses of Soil Ammonia Oxidizers to Simulated Warming and Increased Precipitation in a Temperate Steppe of Inner Mongolia ····· ZHANG Cui-jing, SHEN Ju-pei, SUN Yi-fei, *et al.* (3463)

Nitrification Activity and Autotrophic Nitrifiers in Long-term Fertilized Acidic Upland Soils ····· XU Bai-lu, ZHONG Wen-hui, HUANG Qian-ru, *et al.* (3473)

Effects of $CaCO_3$ Application on Soil Microbial Nitrogen Cycle in an Acid Soil ····· GUO An-ning, DUAN Gui-lan, ZHAO Zhong-qiu, *et al.* (3483)

Responses of Extracellular Enzymes to Nitrogen Application in Rice of Various Ages with Rhizosphere and Bulk Soil ····· WEI Liang, TANG Zhen-zhu, ZHU Zhen-ke, *et al.* (3489)

Variation in the Temperature Sensitivity of Surface Litter Respiration and Its Influencing Factors ····· ZHANG Yan-jun (3497)

Magnetic Properties of Farmland Soils in Arid Regions in Northwest China and Their Environmental Implications ····· WANG Xin, XIA Dun-sheng, WANG Bo, *et al.* (3507)

Preparation of Magnetic Biomass Carbon by Thermal Decomposition of Siderite Driven by Wheat Straw and Its Adsorption on Cadmium ··· ZHANG Ru-yu, LIU Hai-bo, ZOU Xue-hua, *et al.* (3519)

Effects of Traffic-related Air Pollution Exposure on DNA Methylation ····· WANG Ting, DING Rui, HUANG Dan-ni, *et al.* (3529)

Effects of Exogenous Microorganism Inoculation on Efficiency and Bacterial Community Structure of Sludge Composting ····· YANG Ping-ping, YIN Hua, PENG Hui, *et al.* (3536)

Life Cycle Assessment of Traction Lead-acid Batteries for Electric Bikes in China ····· LIU Wei, TIAN Jin-ping, CHEN Lü-jun (3544)