

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第5期

Vol.36 No.5

2015

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

深圳大气颗粒物中卤代多环芳烃污染研究	孙建林, 常文静, 陈正侠, 曾辉 (1513)
北京市典型餐饮企业 VOCs 排放特征研究	崔彤, 程婧晨, 何万清, 任培芳, 聂磊, 徐东耀, 潘涛 (1523)
2006~2010 年珠三角地区 SO ₂ 特征分析	李菲, 谭浩波, 邓雪娇, 邓涛, 徐婉筠, 冉靓, 赵春生 (1530)
环境空气 PM _{2.5} 连续监测系统手工采样比对测试	王强, 钟琪, 迟颖, 张杨, 杨凯 (1538)
燃煤电厂可凝结颗粒物的测试与排放	裴冰 (1544)
南海水域不同深度非光合微生物的固碳潜能及其对不同电子供体的响应	方峰, 王磊, 席雪飞, 胡佳俊, 付小花, 陆兵, 徐殿胜 (1550)
基于 GOCI 影像和水体光学分类的内陆湖泊叶绿素 a 浓度遥感估算	冯驰, 金琦, 王艳楠, 赵丽娜, 吕恒, 李云梅 (1557)
贵州清水江流域丰水期水化学特征及离子来源分析	吕婕梅, 安艳玲, 吴起鑫, 罗进, 蒋浩 (1565)
东莞石马河流域水化学特征时空差异及来源辨析	高磊, 陈建耀, 王江, 柯志庭, 朱爱萍, 许凯 (1573)
河南鸡冠洞洞穴水对极端气候的响应及其控制因素研究	刘肖, 杨琰, 彭涛, 赵景耀, 任小凤, 张银环, 聂旭东, 李建仓, 凌新有, 张志钦 (1582)
石漠化治理对岩溶地下水水化学和溶解无机碳稳定同位素的影响	肖时珍, 熊康宁, 蓝家程, 张晖, 杨龙 (1590)
旱季不同土地利用类型下岩溶碳汇效应差异	赵瑞一, 梁作兵, 王尊波, 于正良, 江泽利 (1598)
有机氯农药在岩溶区上覆土壤中的垂直迁移特征及对地下水的影响	孙玉川, 王永启, 梁作兵, 袁道先 (1605)
山东南四湖沉积物中汞的污染现状及迁移研究	曹霏霏, 杨丽原, 庞绪贵, 王炳华, 王云倩 (1615)
摇蚊幼虫扰动下沉积物微环境和微界面对物理扰动强度的响应	史晓丹, 李勇, 李大鹏, 王忍, 邓猛, 黄勇 (1622)
南方红壤区氮湿沉降特征及其对流域氮输出的影响	郝卓, 高扬, 张进忠, 徐亚娟, 于贵瑞 (1630)
不同紫色母岩对景观水体氮磷及有机物去除的影响	黄雪娇, 刘晓晨, 李振轮, 石纹豪, 杨珊 (1639)
荔枝落叶对铜绿微囊藻生长和光合作用的影响	汪小雄, 姜成春, 李锦卫, 汪晓军 (1648)
黄连根茎浸提物对绿藻的毒理作用	陈亚楠, 袁玲 (1655)
饮用水中消毒副产物 1,1-二氯丙酮的形成机制	丁春生, 孟壮, 徐洋洋, 缪佳 (1662)
水中利谷隆氯化降解动力学和消毒副产物生成特性	凌晓, 胡晨燕, 程明, 谷建 (1668)
化学消毒的中和剂对水中内毒素活性检测的影响	张灿, 刘文君, 史云, 安代志, 白森, 徐稳 (1674)
牛粪生物炭对水中氨氮的吸附特性	马锋锋, 赵保卫, 刁静茹, 钟金魁, 李安邦 (1678)
丁二酸改性茶油树木屑吸附铅的研究	张晓峰, 陈迪云, 彭燕, 刘永胜, 熊雪莹 (1686)
SPG 膜表面润湿性对膜污染和化学耐受性的影响	张静, 肖太民, 张晶, 曹丽亚, 杜亚威, 刘春, 张磊 (1694)
TiO ₂ 诱导下左旋氧氟沙星的可见光降解及其机制	郭宏生, 刘亚楠, 乔琪, 魏红, 董呈幸, 薛洁, 李克斌 (1700)
新型高分子絮凝剂对废水中 Cr(VI) 的捕集性能	王刚, 杜凤龄, 常青, 徐敏 (1707)
基于 OUR-HPR 测量在线估计活性污泥合成 PHA 量	曾善文, 王泽宇, 高敬, 刘东, 张代钧, 卢培利 (1713)
分离高浓度污泥产酸发酵液的自生动态膜形成机制	黄帅, 刘宏波, 殷波, 马惠君, 符波, 刘和, 白洁 (1720)
通风强度对市政污泥生物干化中试效果的影响	张喻, 韩融, 陆文静, 王洪涛, 明中远, 王强, 夏伟 (1727)
生物可降解螯合剂谷氨酸 N,N-二乙酸四钠对污泥中重金属萃取效率的研究	吴青, 崔延瑞, 汤晓晓, 杨慧娟, 孙剑辉 (1733)
百乐克 (BIOLAK) 活性污泥宏基因组的生物多样性及功能分析	田美, 刘汉湖, 申欣, 赵方庆, 陈帅, 姚永佳 (1739)
异养硝化-好氧反硝化菌 YL 的脱氮特性	梁贤, 任勇翔, 杨垒, 赵思琪, 夏志红 (1749)
菌株 <i>Arthrobacter</i> sp. CN2 降解对硝基苯酚的特性与动力学	任磊, 史延华, 贾阳, 姚雪松, Ruth Nahurira, 弥春霞, 闫艳春 (1757)
短短芽孢杆菌及其芽孢对苣的降解	刘芷辰, 叶锦韶, 彭辉, 刘则华, 邓庭进, 尹华, 廖丽萍 (1763)
垃圾填埋场抗生素抗性基因初探	李蕾, 徐晶, 赵由才, 宋立岩 (1769)
不同构型人工湿地基质中土著菌的耐药性及整合子丰度调查	麦晓蓓, 陶然, 杨扬, 张敏, 林剑华, 满滢 (1776)
硝酸盐和甲烷对覆土中苯系物厌氧氧化的影响	柳蓉, 龙焰, 王立立, 何婷, 叶锦韶 (1785)
山西高原落叶松人工林土壤呼吸的空间异质性	严俊霞, 李洪建, 李君剑, 武江星 (1793)
施氮对黄土旱塬区春玉米土壤呼吸和温度敏感性的影响	姜继韶, 郭胜利, 王蕊, 刘庆芳, 王志齐, 张彦军, 李娜娜, 李如剑, 吴得峰, 孙棋棋 (1802)
宣威街道尘中重金属的分布特征及其健康风险评估	张文超, 吕森林, 刘丁戎, 刘品威, 米持真一, 王效举, 王青耀 (1810)
宝鸡市街道尘埃磁学特征空间分布及环境意义	张俊辉, 王瑾, 张健, 房妮, 夏敦胜 (1818)
长期施肥下浙江稻田不同颗粒组分有机碳的稳定特征	毛霞丽, 陆扣萍, 孙涛, 张小凯, 何丽芝, 王海龙 (1827)
矿区植被恢复方式对土壤微生物和酶活性的影响	李君剑, 刘峰, 周小梅 (1836)
三江平原典型湿地类型土壤微生物特征与土壤养分的研究	肖烨, 黄志刚, 武海涛, 吕宪国 (1842)
钠盐类型对表面活性剂清洗煤油污染土壤的强化效应	黄昭露, 陈泉源, 周娟, 谢墨函 (1849)
石油污染土壤的生物修复技术及微生物生态效应	杨茜, 吴蔓莉, 聂麦茜, 王婷婷, 张明辉 (1856)
可生物降解螯合剂 GLDA 诱导东南景天修复重金属污染土壤的研究	卫泽斌, 陈晓红, 吴启堂, 谭蒙 (1864)
绿洲土 Pb-Zn 复合胁迫下重金属形态特征和生物有效性	金诚, 赵转军, 南忠仁, 王胜利, 武文飞, 王厚成 (1870)
硫素对水稻根系铁锰胶膜形成及吸收的影响	王丹, 李鑫, 王代长, 饶伟, 杜光辉, 杨军, 化党领 (1877)
臭氧对几种楠木气体交换参数的影响	李苗苗 (1888)
某货车侧翻水污染事件的环境损害评估方法探索	蔡锋, 赵士波, 陈刚才, 鲜思淑, 杨清玲, 周贤杰, 余海 (1902)
《环境科学》征订启事 (1543) 《环境科学》征稿简则 (1756) 信息 (1667, 1726, 1809, 1848)	

北京市典型餐饮企业 VOCs 排放特征研究

崔彤¹, 程婧晨², 何万清², 任培芳², 聂磊², 徐东耀¹, 潘涛^{2*}

(1. 中国矿业大学(北京) 化学与环境工程学院, 北京 100083; 2. 北京市环境保护科学研究院, 北京 100037)

摘要: 选取北京市餐饮业中的烧烤、中式快餐、西式快餐、川菜和浙菜这 5 种典型菜系, 借鉴 EPA 相关方法, 对典型餐饮企业排放油烟气中的挥发性有机物(volatile organic compounds, VOCs)进行了采样分析, 研究了各菜系排放 VOCs 的浓度水平和组分构成。结果表明按基准风量折算后, 烧烤的 VOCs 排放浓度水平最高, 达到 $12.22 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, 中、西式快餐、川菜和浙菜为 $4 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 左右。5 种典型菜系中, 烧烤的 VOCs 排放组分构成与非烧烤类菜系具有明显区别, 主要组分有丙烯、1-丁烯和正丁烷等。非烧烤菜系的主要组分是乙醇, 其中西式快餐排放的醛酮类有机物比重较高。通过分析各菜系的单个灶头基准风量浓度可知, 同等规模的烧烤类餐饮企业对大气环境质量的影响高于非烧烤类餐饮企业, 应是重点管控对象。

关键词: 餐饮业; 菜系; VOCs; 排放特征; GC/MS

中图分类号: X511 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)05-1523-07 DOI: 10.13227/j.hjxx.2015.05.002

Emission Characteristics of VOCs from Typical Restaurants in Beijing

CUI Tong¹, CHENG Jing-chen², HE Wan-qing², REN Pei-fang², NIE Lei², XU Dong-yao¹, PAN Tao^{2*}

(1. School of Chemical and Environmental Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China; 2. Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection, Beijing 100037, China)

Abstract: Using the EPA method, emission of volatile organic compounds (VOCs), sampled from barbecue, Chinese and Western fast-food, Sichuan cuisine and Zhejiang cuisine restaurants in Beijing was investigated. VOCs concentrations and components from different cuisines were studied. The results indicated that based on the calibrated baseline ventilation volume, the VOCs emission level from barbecue was the highest, reaching $12.22 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, while those from fast-food of either Chinese or Western, Sichuan cuisine and Zhejiang cuisine were about $4 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$. The components of VOCs from barbecue were different from those in the other cuisines, which were mainly propylene, 1-butene, n-butane, etc. The non-barbecue cuisines consisted of high concentration of alcohols, and Western fast-food contained relatively high proportion of aldehydes and ketones organic compounds. According to emission concentration of baseline ventilation volume, barbecue released more pollutants than the non-barbecue cuisines at the same scale. So, barbecue should be supervised and controlled with the top priority.

Key words: restaurants; cuisine; VOCs; emission characteristics; GC/MS

餐饮业蓬勃发展所带来的环境污染问题已成为我国城市群区域面临的主要环境问题之一^[1~4]。2001 年颁布的《饮食业油烟排放标准(试行)》(GB 18483-2001)在一定程度上推进了餐饮业大气污染物排放的制度化、规范化^[5], 为监察部门执法提供了法律依据。随着科研工作的不断深入, 人们认识到餐饮业排放的油烟气中除了颗粒物以外, 还存在挥发性有机物(volatile organic compounds, VOCs)^[6]。餐饮业作为集中于城市区域的 VOCs 排放源, 由于数量众多, 对城市短时段局地空气质量和排口周边居住环境都有不小的影响, 理应进行深入研究。

餐饮业排放的 VOCs 成分复杂, 已经检测到的有机物有脂肪酸、烷烃、烯烃、醛、酮、醇、酯、多环芳烃和杂环化合物^[7, 8], 不仅直接威胁厨房工作人员的健康状况^[9~12], 而且对区域大气环境质量产生明显影响。其主要危害在于可以与氮氧化物

(NO_x) 反应生成臭氧(O_3), 形成光化学烟雾污染^[13~15], 还可以经过一系列反应转化为二次气溶胶(secondary organic aerosol, SOA), 而 SOA 是构成城市细颗粒物污染物的重要部分^[16]。因此北京、上海等大城市开始将控制餐饮业 VOCs 排放作为环境管理的重点工作之一。

由于国内外饮食习惯和烹饪方式不同, 国外的研究内容集中于 VOCs 在食用油加热和油炸烤制肉类过程中的排放状况, 如 Chung 等^[17]研究了食用油加热时 VOCs 的排放特征^[18~20], 但由于中式烹饪的复杂性, 这些成果对国内控制餐饮业 VOCs 的借鉴意义不大。国内对于餐饮业 VOCs 排放研究的重视

收稿日期: 2014-11-04; 修订日期: 2014-12-10

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2013BAC17B01); 环境保护公益性行业科研专项(2014001019); 北京市科技计划项目(Z131100004213007)

作者简介: 崔彤(1990~), 女, 硕士, 主要研究方向为大气污染物控制, E-mail: cuitong_hj@163.com

* 通讯联系人, E-mail: pantao@cee.cn

不够,基础数据不足,部分研究人员虽然采用模拟烹饪或检测实际餐饮企业排放的方式对中式餐饮 VOCs 排放进行了探索性研究^[21~26],但目前采样分析方法标准不统一、灶头工况难以控制,因此结果值得进一步研究讨论。

本实验选取了北京市餐饮业的 5 种典型菜系,借鉴 EPA 采样分析方法,对典型餐饮企业排放油烟气中的 VOCs 进行了采样分析。将实测排放浓度折算为基准风量的排放浓度后,研究各菜系所排放 VOCs 的浓度水平、组分构成和每人每餐 VOCs 排放浓度。排除了餐饮企业规模、上座率、风机风量等因素对不同菜系 VOCs 排放特征的影响,使分析

结论更加科学客观,以期为城市群区域开展餐饮业 VOCs 排放控制提供决策依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

选取烧烤、中式快餐、西式快餐、川菜和浙菜这 5 种典型菜系的餐饮企业作为采样对象。采样口的设置参照文献[5]的要求,选取中午和晚上用餐高峰时间进行了连续性采样,详细记录了采样时段餐饮企业厨房灶头的烹饪情况和油烟气实测风量等相关信息。所选餐饮企业的基本信息(菜系类型、规模、燃料类型)和采样时段的相关信息见表 1。

表 1 采样餐饮企业的基本信息

Table 1 Basic information of the sampling restaurants

菜系	采样时段烹饪情况	灶头/个	上座率/%	餐位/个	燃料	实测风量/ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$
烧烤	使用木炭作为燃料,食材涉及肉类、海鲜和蔬菜等的综合型烧烤,油烟较大	4	80	80	木炭	3 919.0
中式快餐	荤素搭配,大火烹炒,客流量大,营业时间长	3	100	156	天然气	5 516.0
西式快餐	以炸鸡腿、薯条、烘焙面点为主,非连续性烹饪	2	50	130	天然气	5 254.3
川菜	多油多盐,多使用辣椒等有刺激性气味的食材,烹调方式以炒、爆、烧、煸居多	9	90	300	天然气	8 839.2
浙菜	口味清淡,食材以蔬菜居多,烹饪方式以蒸煮居多	4	70	200	天然气	8 471.8

参照文献[27]中的采样方法,将餐饮企业排放的油烟气通过不锈钢采样枪采集至 Tedlar 采样袋中。采样结束后,立即将 Tedlar 采样袋中的气体转移到 Summa 罐保存,Summa 罐事先采用自动清罐仪(Entech Model 3100)清洗,以确保每种目标化合物的本底浓度低于 $0.2 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 。连接管路采用 Teflon 管,并在前端设置颗粒物过滤装置。餐饮业 VOCs 采样装置示意图如图 1 所示。

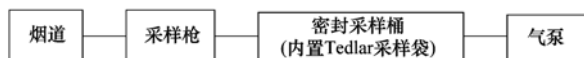


图 1 餐饮业 VOCs 采样装置示意

Fig. 1 Sampling system for VOCs emission from the restaurants

1.2 样品分析

VOCs 的定量分析参考 USEPA TO15 方法进行。样品通过快速接头进入自动进样系统(Entech 7032),通过三级冷阱(Entech 7100A)预浓缩后,除掉大部分水和 CO_2 。第一级冷阱捕集温度为 -150°C ,预热温度 10°C ,解析温度 10°C ,烘烤温度 150°C ,烘烤时间 10 min;二级冷阱捕集温度为 -30°C ,解析温度 180°C ,解析时间 2.5 min,烘烤温度 180°C ,烘烤时间 10 min;三级冷阱捕集温度为 -170°C ,进样时间 2.5 min,烘烤时间 2 min。

预浓缩后样品被转移至气相色谱/质谱联用仪(Agilent 7890A/5975C)进行定量分析,使用的分析标准物质为 TO-15(U. S. EPA,1999)标准气体(Scott Gases,美国)和 PAMs 标准气体(Spectra gases,美国)。色谱条件:DB-5MS, $60.0 \text{ m} \times 0.35 \text{ mm} \times 1 \mu\text{m}$;载气为高纯氦气,流速为 $1.2 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$;进样口温度为 250°C ;GC/MS 升温条件为: 40°C 保持 8 min,以 $8^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 升温至 150°C ,再以 $30^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 升温至 220°C ,保持 5 min。质谱条件:电子轰击源,电压 70 eV,SCAN 扫描模式,扫描范围: $35 \sim 300 \text{ u}$,扫描速度为 $1.44 \text{ scan} \cdot \text{s}^{-1}$ 。四级杆温度 150°C ;离子源温度 230°C ^[28]。

2 结果与讨论

2.1 典型菜系的 VOCs 排放浓度及影响因素

2.1.1 VOCs 排放浓度

VOCs 排放浓度受到所选餐饮企业的菜系类型、规模、上座率、风机管道设计等诸多因素影响。表 2 为本研究选取的典型餐饮企业油烟气中 VOCs 的实测排放浓度。

本研究在实验室 GC/MS 分析检测时使用 TO-15 标准气体和 PAMs 标准气体,因而部分没有相应标准气体的 VOCs 未能准确定量,采用以苯计的相

表 2 典型餐饮企业油烟气中 VOCs 的实测排放浓度/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

Table 2 Concentrations of VOCs emission from typical restaurants/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

种类	化合物	化学式	VOCs 实测平均排放浓度				
			烧烤	中式快餐	西式快餐	川菜	浙菜
烷烃	丙烷	C_3H_8	742.52	52.30		29.85	53.35
	正丁烷	C_4H_{10}	982.89	80.53		42.97	46.22
	环戊烷	C_5H_{10}	10.45				
	正戊烷	C_5H_{12}	486.81	102.21	146.89	54.77	19.58
	异戊烷	C_5H_{12}	27.76	32.85		18.84	24.51
	甲基环戊烷	C_6H_{12}	27.85	7.44		2.55	
	环己烷	C_6H_{12}	21.29	6.10			
	2,2-二甲基丁烷	C_6H_{14}	24.69	5.51	12.98		
	2,3-二甲基丁烷	C_6H_{14}	9.96				
	2-甲基戊烷	C_6H_{14}	7.01	4.47		3.60	7.03
	3-甲基戊烷	C_6H_{14}	1.68	2.07		1.68	
	正己烷	C_6H_{14}	329.54	23.61	15.13	11.17	7.99
	甲基环己烷	C_7H_{14}	21.13	6.08		2.70	
	庚烷	C_7H_{16}	308.33	20.00	90.18	10.83	
	2,3-二甲基戊烷	C_7H_{16}	17.26				
	3-甲基己烷	C_7H_{16}	1.77				
	辛烷	C_8H_{18}	280.42	15.70	105.86	15.52	
	壬烷	C_9H_{20}	190.48		104.57		
	癸烷	$\text{C}_{10}\text{H}_{22}$	122.14		71.63		
	正十一烷	$\text{C}_{11}\text{H}_{24}$	129.07				
	正十二烷	$\text{C}_{12}\text{H}_{26}$	41.87				
	2-甲基丁烷*	C_5H_{12}		25.55		390.43	44.70
烯烃	丙烯	C_3H_6	1 131.50	81.00	8.29	60.88	49.22
	1,3-丁二烯	C_4H_6	288.64	13.86		18.78	
	1-丁烯	C_4H_8	1 020.00	46.50		29.66	19.01
	顺-2-丁烯	C_4H_8	221.08				
	反-2-丁烯	C_4H_8	148.92				
	正戊烯	C_5H_{10}	565.83	20.17	115.94	12.25	
	顺-2-戊烯	C_5H_{10}	56.56				
	反-2-戊烯	C_5H_{10}	108.02				
	异戊二烯	C_5H_8	56.97				
	正己烯	C_6H_{12}	592.13	22.35	7.88	5.68	
芳香烃	苯	C_6H_6	857.54	13.37	5.05	35.63	6.20
	甲苯	C_7H_8	404.14	23.18		18.22	11.40
	乙苯	C_8H_{10}	144.01		5.87	4.97	
	间/对二甲苯	C_8H_{10}	44.56			2.65	
	邻二甲苯	C_8H_{10}	123.35			2.79	
	苯乙烯	C_8H_8	98.89				
	正丙苯	C_9H_{12}	76.96				
	异丙苯	C_9H_{12}	19.91			5.87	
	对乙基甲苯	C_9H_{12}	69.64			8.84	
	4-乙基甲苯	C_9H_{12}	12.39			18.51	
	1,3,5-三甲苯	C_9H_{12}	15.21			17.34	
	1,2,4-三甲苯	C_9H_{12}	10.73			6.94	
	间二乙苯	$\text{C}_{10}\text{H}_{14}$	34.26			9.67	
	对二乙苯	$\text{C}_{10}\text{H}_{14}$	30.21			11.25	
	1,3-二氯苯	$\text{C}_6\text{H}_4\text{Cl}_2$				13.04	
	1,4-二氯苯	$\text{C}_6\text{H}_4\text{Cl}_2$		7.27		15.06	
	1,2,4-三氯苯	$\text{C}_6\text{H}_3\text{Cl}_3$	3.46			5.57	
	1-乙基-2-甲基苯*	C_9H_{13}	46.02			4.37	
	1-乙基-3-甲基苯*	C_9H_{13}	21.57			12.29	
醇	乙醇	$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$	7.19	3 696.43	1 248.57	10 338.36	3 367.86
	异丙醇	$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$			450.80		

续表 2

种类	化合物	化学式	VOCs 实测平均排放浓度				
			烧烤	中式快餐	西式快餐	川菜	浙菜
醛酮	丙烯醛	C_3H_4O	501.67	261.63	117.75	181.50	31.13
	丙酮	C_3H_6O	341.44	52.69	1 667.50	41.65	30.68
	2-丁酮	C_4H_8O	102.64	14.66	11.03	12.31	9.90
	2-己酮	$C_6H_{12}O$	22.01		98.51		
	丁醛*	C_4H_8O		188.98		476.57	
	戊醛*	$C_5H_{10}O$		400.05	1 368.26	1 169.70	45.88
	己醛*	$C_5H_{12}O$		2 023.21	5 862.80	3 678.57	315.18
卤代烃	氯甲烷	CH_3Cl	9.07		5.04	0.79	
	二氯甲烷	CH_2Cl_2	24.24		16.09	1.64	5.94
	四氯化碳	CCl_4	31.25			4.41	
其它	乙酸乙酯	$C_4H_8O_2$	47.68	15.79	100.18	13.76	9.17
	甲基丙烯酸甲酯	$C_5H_8O_2$	17.93				
	四氢呋喃	C_4H_8O	14.66			1.41	2.86
	萘	$C_{10}H_8$	43.70				
	1-甲基-乙酸丙酯*	$C_6H_{12}O_2$				15.69	
实测排放浓度(*物质未计入)			11 064.66	4 659.02	4 405.74	11 089.50	3 706.46
基准排放浓度(*物质未计入)			12 219.49	4 283.19	5 787.27	5 445.68	3 925.05

1) * 表示未能准确定量的 VOCs

对定量方式计算,在表 2 中用“*”标注。为了保证研究的准确性,未能准确定量 VOCs 只作参考,不计入总量分析。本研究只讨论有相应标准气体的 VOCs 检测结果,因此讨论结果小于实际的餐饮业 VOCs 排放浓度。

依据文献[5],检测油烟排放浓度时将实测排放浓度折算为基准风量的排放浓度,以此来排除餐饮企业规模、上座率、风机风量等因素对不同菜系污染物排放强度的影响。采用单个灶头基准排风量时的 VOCs 排放浓度作为指标,以期科学客观地比较各菜系 VOCs 排放的浓度水平。图 2 为餐饮企业油烟气中 VOCs 的实测排放浓度和基准风量排放浓度。

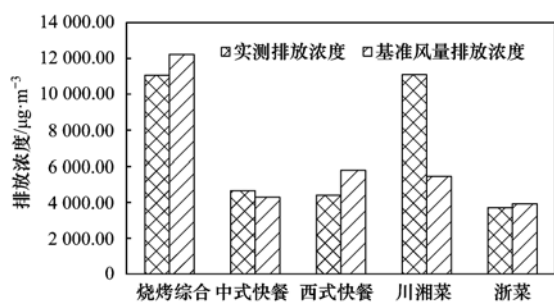


图 2 典型餐饮企业油烟气中 VOCs 的实测排放浓度和基准风量排放浓度

Fig. 2 Reference volume and the actual detection concentration of VOCs emission from typical restaurants

从图 2 可知,川菜的实测排放浓度最高,达到 $11.09 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$,其次是烧烤, $11.06 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$,中式快

餐、西式快餐和浙菜的实测排放浓度相当,在 $4 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 左右,其中浙菜最低,为 $3.93 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

所选的采样餐饮企业中,川菜餐馆的规模较大,上座率为 90% 左右,在采样期间其厨房灶头基本处于满负荷工作状态,并且存在风机选型不合理的问题,因此实测排放浓度最高。烧烤餐馆使用木炭作为燃料,木炭燃烧和食材高温烘烤产生的 VOCs 由同一烟道排出,实测排放浓度结果受到木炭燃烧的影响较大。该烧烤餐馆属中等规模,上座率较高,但其实测排放浓度与大型川菜餐馆的相当。以上两家餐饮企业对周边大气环境影响较大,在用餐高峰时段均可以在远处下风向位置观测到烟雾和明显气味,是餐饮 VOCs 排放的重点源。中、西式快餐和浙菜餐饮企业的 VOCs 实测排放浓度较低,但如果烟道排口距离民宅较近,也会对居民生活环境造成污染。

折算成基准风量浓度后,烧烤的排放浓度为 $12.22 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$,西式快餐为 $5.79 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$,川菜为 $5.45 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$,中式快餐为 $4.28 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$,浙菜为 $3.93 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。川菜和中式快餐的 VOCs 基准风量浓度相较于实测浓度有所降低,其中川菜下降明显。其主要原因在于采样餐饮企业的风机风量小于厨房灶头所需,对排放的油烟气起到了“浓缩”的作用,加重了其对排口周边大气环境的污染;西式快餐和浙菜的浓度有所增加,这是由于风机排风量大于实际需要,“稀释”了油烟气。无论“浓缩”或是“稀释”油烟气,该餐饮企业的排放总量没有变化。折算成

单个灶头基准排风量时比较各菜系的 VOCs 排放水平,烧烤的排放浓度显著高于其它 4 种菜系,即同等规模的餐饮企业,烧烤餐馆的 VOCs 排放浓度是中、西式快餐餐馆的 2~3 倍,西式快餐成为非烧烤菜系中排放浓度最大的菜系,浙菜仍然在 5 种菜系中排放浓度最低。

2.1.2 影响 VOCs 排放水平因素

菜系的烹饪特点是造成不同菜系 VOCs 基准风量排放浓度差异的主要原因。观察总结发现:菜系的烹饪方式、常用食材特点、翻炒频率和程度都是影响餐饮业油烟气中 VOCs 排放浓度的重要因素。结合实验中的 5 种菜系分析,烧烤一般使用木炭作为燃料,烹饪过程中燃料的燃烧,肉类食材中油脂的高温气化以及酱料的挥发,是造成烧烤基准风量排放浓度高的主要原因。西餐中的煎炸过程所需的油温较高,食用油沸腾和肉类高温烹饪时产生的 VOCs 种类复杂,浓度较高。川菜和中式快餐的肉类使用量少于西餐,但翻炒频率高于前者,加速了 VOCs 的产生和挥发,同时川菜还经常添加有刺激性气味的调料。相比之下,浙菜是上述诸多影响因素出现最少的菜系,因而浓度水平最低。影响因素的权重还需进一步实验研究,但其对烹饪时 VOCs 排放水平的影响毋庸置疑。

2.1.3 人均 VOCs 排放浓度

根据各餐饮企业的 VOCs 基准风量浓度、规模和采样期间的上座率等信息,计算该菜系的人均 VOCs 排放浓度,结果如图 3 所示。

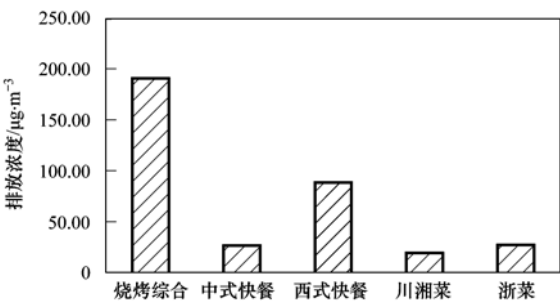


图3 典型菜系的人均 VOCs 排放浓度

Fig. 3 Reference volume concentration of VOCs emission from typical restaurants per capita

由图 3 可知,烧烤的人均 VOCs 排放浓度最高,达到 $0.19 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$,其次是西式快餐 $0.08 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$,中式快餐、川湘菜和浙菜均在 $0.02 \sim 0.03 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。即一名普通市民外出就餐选择烧烤或西式快餐时,相应餐饮企业产生 VOCs 的排放浓度分别是中式快餐等的约 6 倍和 2 倍。从个体环保减排

的角度考虑,市民食用烧烤将会加重城市区域大气环境的负担。根据 VOCs 排放总量和人均 VOCs 排放浓度两个数据,烧烤的排放水平均为最高,污染最为严重。

2.2 典型菜系的 VOCs 组分构成

2.2.1 主要排放组分

折算基准风量浓度后发现,烧烤排放的 VOCs 组分构成明显区别于中式快餐、西式快餐、川菜和浙菜,因此将 5 种菜系分为烧烤和非烧烤菜系进行分析。

比较烧烤和非烧烤菜系的 VOCs 主要排放组分。烧烤的主要排放组分有丙烯、1-丁烯和正丁烷等,非烧烤菜系的主要排放组分有乙醇、丙酮和丙烯醛等。图 4 为典型菜系排放 VOCs 的主要排放组分。

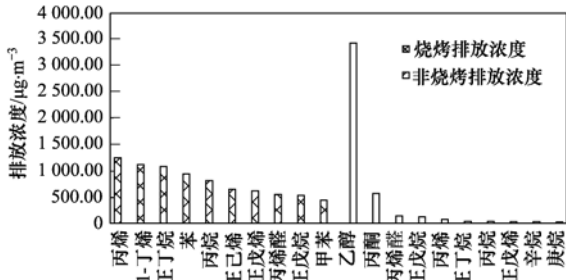


图4 典型菜系排放 VOCs 的主要排放组分浓度

Fig. 4 Main VOCs components of the emissions from the typical cuisines

烧烤排放的 VOCs 中,丙烯、1-丁烯和正丁烷的排放浓度均高于 $1 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。其次,苯、丙烷和正己烯等的排放浓度均在 $0.45 \sim 0.95 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。非烧烤菜系排放的 VOCs 主要是乙醇,平均浓度为 $3.42 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$,其它组分有丙酮、丙烯醛和正戊烷等,排放浓度仅为 $0.04 \sim 0.57 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。可以看出,烧烤与非烧烤的主要组分有部分相同,但其排放浓度水平相差甚远。烧烤排放的组分浓度均比较高,非烧烤菜系排放的组分除乙醇外均处于很低的浓度水平。

2.2.2 组分构成

为研究各菜系排放的 VOCs 组分构成,将其分为烷烃、烯烃、芳香烃、醇类、醛酮类、卤代烃和其它这 7 类进行统计。图 5 为典型餐饮企业油烟气中 VOCs 的组分构成。

从图 5 可以看出烧烤排放的主要组分是烯烃、烷烃、芳香烃和醛酮类有机物,各类别所占比重在 $8.75\% \sim 37.87\%$,其中烯烃有机物的比重最高。与非烧烤菜系相比,烧烤排放 VOCs 的特点是醇类的

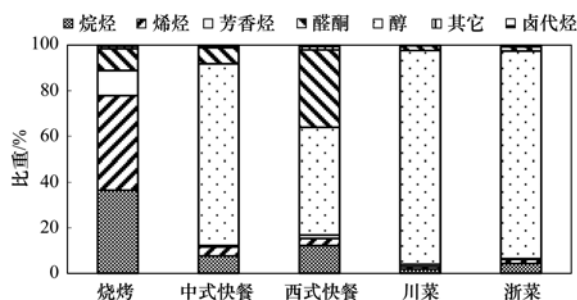


图5 典型餐饮企业油烟气中VOCs的组分构成

Fig. 5 Composition of VOCs emission from typical restaurants

比重很小, 烃类有机物的比重大, 共计占总量的 89.65%。

西式快餐排放的主要组分是醛酮类、醇类和烷烃有机物, 其中醛酮类有机物占 43.01%, 显著高于其它菜系。其醇类有机物的比重高于烧烤, 但低于中式快餐等菜系。中式快餐、川湘菜和浙菜的 VOCs 组成更为相似, 醇类有机物是主要排放组分, 比重在 79.34% ~ 93.23%, 并且全部是乙醇。其次是醛酮类和烷烃有机物, 比重在 1.93% ~ 7.06%。黄酒或料酒是腌制、烹饪肉类时的常用调料, 乙醇含量约为 15%, 加热时易挥发, 是乙醇的主要来源之一。浙菜和川菜中以鱼肉作为原料的菜品很多, 因而使用黄酒、料酒更多, 乙醇的比重更高。

3 结论

(1) 5 种典型菜系中, 按基准风量折算后 VOCs 排放浓度最高的为烧烤, 达到 $12.22 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。中式快餐、西式快餐、川菜和浙菜为 $3.93 \sim 5.79 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, 其中以浙菜的排放浓度最低。

(2) 烧烤排放的 VOCs 主要组分有丙烯、1-丁烯和正丁烷等, 排放浓度在 $0.45 \sim 1.25 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, 非烧烤菜系排放的 VOCs 主要组分有乙醇、丙酮和丙烯醛等, 乙醇的平均基准风量浓度为 $3.42 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, 但除乙醇外其它组分基准风量浓度均较小。

(3) 烧烤排放的 VOCs 组分中, 烯烃、烷烃、芳香烃和醛酮类有机物是主要成分。西餐以醛酮类、醇类和烷烃有机物为主, 中式快餐、川菜和浙菜的有机物构成特征相似, 醇类有机物是主要组分。

(4) 根据各菜系的基准风量浓度和人均 VOCs 排放量, 即从餐饮企业 VOCs 排放控制和个人环保减排两个角度分析均可知, 烧烤餐馆排放是城市区域大气环境 VOCs 的重点源, 应是重点管控对象。

参考文献:

[1] 陈晗. 餐饮业油烟污染现状及防治对策[J]. 环境科学与管

理, 2006, 31(3): 76-78.

[2] 温梦婷, 胡敏. 北京餐饮源排放细粒子理化特征及其对有机颗粒物的贡献[J]. 环境科学, 2007, 28(11): 2620-2625.

[3] 王秀艳, 高爽, 周家岐, 等. 餐饮油烟中挥发性有机物风险评估[J]. 环境科学研究, 2012, 25(12): 1359-1363.

[4] 苏仕军, 蒋文举, 杨志山. 餐饮业外排烹调油烟气的危害及净化方法研究进展[J]. 环境污染治理技术与设备, 2000, 1(3): 77-81.

[5] GB 18483-2001, 饮食业油烟排放标准[S].

[6] Zhao Y L, Hu M, Slanina S, et al. Chemical compositions of fine particulate organic matter emitted from Chinese cooking[J]. Environmental Science & Technology, 2007, 41(1): 99-105.

[7] 王凯雄, 朱杏冬. 烹调油烟气的成分及其分析方法[J]. 上海环境科学, 1999, 18(11): 526-528.

[8] 刘中文, 孙咏梅, 裘著革. 烹调油烟雾中有机成分的分析[J]. 中国公共卫生, 2002, 18(9): 26-28.

[9] 周亚美. 食用油烟对健康的影响[J]. 上海环境科学, 1997, 16(2): 35-36.

[10] 陈华, 叶舜华, 杨铭鼎, 等. 吸入烹调油烟对机体免疫功能的影响[J]. 预防医学情报杂志, 1990, 6(5): 148.

[11] 叶琳, 孙志伟. 烹调油烟对健康危害的研究进展[J]. 中国公共卫生, 2003, 19(5): 620-622.

[12] 朱利中, 王静, 江斌煊. 厨房空气中 PAHs 污染特征及来源初探[J]. 中国环境科学, 2002, 22(2): 142-145.

[13] 洪紫萍. 挥发性有机化合物的污染与防治[J]. 环境污染与防治, 1994, 16(4): 24-26.

[14] 靳卫齐, 杨萌. 城市光化学烟雾的形成机理与防治[J]. 化学工业与工程技术, 2007, 28(3): 22-24.

[15] 苏雷燕, 赵明, 李岩, 等. 环境空气中挥发性有机物(VOCs)光化学行为的研究进展[J]. 绿色科技, 2013, (11): 178-182.

[16] 唐孝炎, 邵敏, 张远航. 大气环境化学[M]. (第二版). 北京: 高等教育出版社, 2006. 252-264.

[17] Chung T Y, Eiserich J P, Shibamoto T. Volatile compounds identified in headspace samples of peanut oil heated under temperatures ranging from 50 to 200°C [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1993, 41(9): 1467-1470.

[18] Overton S V, Manura J J. Analysis of volatile organics in cooking oils by thermal desorption-gas chromatography-mass spectrometry [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1995, 43(5): 1314-1320.

[19] Schauer J J, Kleeman M J, Cass G R, et al. Measurement of emissions from air pollution sources. 1. C₁ through C₂₉ organic compounds from meat charbroiling [J]. Environmental Science & Technology, 1999, 33(10): 1566-1577.

[20] Abdullahi K L, Delgado-Saborit J M, Harrison R M. Emissions and indoor concentrations of particulate matter and its specific chemical components from cooking: A review [J]. Atmospheric Environment, 2013, 71: 260-294.

[21] 冯艳丽, 黄娟, 文晟, 等. 餐馆排放油烟气中羰基化合物浓度及分布特征[J]. 环境科学与技术, 2008, 31(2): 66-68.

[22] 王秀艳, 史建武, 白志鹏, 等. 沈阳市烹饪油烟中 VOCs 排

- 特征分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, **21**(S1): 364-366.
- [23] Huang Y, Ho S S H, Ho K F, *et al.* Characteristics and health impacts of VOCs and carbonyls associated with residential cooking activities in Hong Kong [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2011, **186**(1): 344-351.
- [24] 张春洋, 马永亮. 中式餐饮业油烟中非甲烷碳氢化合物排放特征研究[J]. 环境科学学报, 2011, **31**(8): 1768-1775.
- [25] 王敏, 印红玲, 李乾钱, 等. 川菜烹调源 VOCs 排放浓度及特征分析[J]. 环境化学, 2013, **32**(9): 1809-1810.
- [26] 何万清, 田刚, 聂磊, 等. 烹调油烟中挥发性有机物的排放初探[J]. 环境科学, 2012, **33**(9): 2974-2978.
- [27] USEPA. Method 18-measurement of gaseous organic compound emissions by gas chromatography [EB/OL]. <http://www.epa.gov/ttn/emc/promgate/m-18>.
- [28] 任培芳, 柯建明, 牛瑞, 等. 预浓缩与 GC-MS 联用测定大气环境中挥发性有机物的方法研究[A]. 见: 2013 中国环境科学学会学术年会. 2013 中国环境科学学会学术年会论文集(第四卷)[C]. 北京: 中国环境科学出版社, 2013. 2373-2377.

CONTENTS

Pollution of Halogenated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Atmospheric Particulate Matters of Shenzhen	SUN Jian-lin, CHANG Wen-jing, CHEN Zheng-xia, <i>et al.</i> (1513)
Emission Characteristics of VOCs from Typical Restaurants in Beijing	CUI Tong, CHENG Jing-chen, HE Wan-qing, <i>et al.</i> (1523)
Characteristics Analysis of Sulfur Dioxide in Pearl River Delta from 2006 to 2010	LI Fei, TAN Hao-bo, DENG Xue-jiao, <i>et al.</i> (1530)
Comparison Test Between PM _{2.5} Continuous Monitoring System and Manual Sampling Analysis for PM _{2.5} in Ambient Air	WANG Qiang, ZHONG Qi, CHI Ying, <i>et al.</i> (1538)
Determination and Emission of Condensable Particulate Matter from Coal-fired Power Plants	PEI Bing (1544)
Potential Carbon Fixation Capability of Non-photosynthetic Microbial Community at Different Depth of the South China Sea and Its Response to Different Electron Donors	FANG Feng, WANG Lei, XI Xue-fei, <i>et al.</i> (1550)
Remote Sensing Estimation of Chlorophyll-a Concentration in Inland Lakes Based on GOCI Image and Optical Classification of Water Body	FENG Chi, JIN Qi, WANG Yan-nan, <i>et al.</i> (1557)
Hydrochemical Characteristics and Sources of Qingshuijiang River Basin at Wet Season in Guizhou Province	LÜ Jie-mei, AN Yan-ling, WU Qi-xin, <i>et al.</i> (1565)
Temporal-spatial Variation and Source Identification of Hydro-chemical Characteristics in Shima River Catchment, Dongguan City	GAO Lei, CHEN Jian-yao, WANG Jiang, <i>et al.</i> (1573)
Response and Control Factors of Groundwater to Extreme Weather, Jiguan Cave, Henan Province, China	LIU Xiao, YANG Yan, PENG Tao, <i>et al.</i> (1582)
Impact of Rocky Desertification Treatment on Underground Water Chemistry and Dissolved Inorganic Carbon Isotope in Karst Areas	XIAO Shi-zhen, XIONG Kang-ning, LAN Jia-cheng, <i>et al.</i> (1590)
Difference of Karst Carbon Sink Under Different Land Use and Land Cover Areas in Dry Season	ZHAO Rui-yi, LIANG Zuo-bing, WANG Zun-bo, <i>et al.</i> (1598)
Vertical Migration Characteristics of Organochlorine Pesticides in Overlying Soil in Karst Terranes and Its Impact on Groundwater	SUN Yu-chuan, WANG Yong-qi, LIANG Zuo-bing, <i>et al.</i> (1605)
Pollution Status and Migration of Mercury in the Sediments of Nansi Lake in Shandong Province	CAO Fei-fei, YANG Li-yuan, PANG Xu-gui, <i>et al.</i> (1615)
Response of Sediment Micro Environment and Micro Interface to Physical Disturbance Intensity Under the Disturbance of <i>Chironomus plumosus</i>	SHI Xiao-dan, LI Yong, LI Da-peng, <i>et al.</i> (1622)
Characteristics of Atmospheric Nitrogen Wet Deposition and Associated Impact on N Transport in the Watershed of Red Soil Area in Southern China	HAO Zhuo, GAO Yang, ZHANG Jin-zhong, <i>et al.</i> (1630)
Effect of Different Purple Parent Rock on Removal Rates of Nitrogen, Phosphorus and Organics in Landscape Water	HUANG Xue-jiao, LIU Xiao-chen, LI Zhen-lun, <i>et al.</i> (1639)
Effects of <i>Litchi chinensis</i> Defoliation on Growth and Photosynthesis of <i>Microcystis aeruginosa</i>	WANG Xiao-xiong, JIANG Chen-chun, LI Jin-wei, <i>et al.</i> (1648)
Toxicity of <i>Coptis chinensis</i> Rhizome Extracts to Green Algae	CHEN Ya-nan, YUAN Ling (1655)
Formation Mechanism of the Disinfection By-product 1,1-Dichloroacetone in Drinking Water	DING Chun-sheng, MENG Zhuang, XU Yang-yang, <i>et al.</i> (1662)
Degradation Kinetics and Formation of Disinfection By-products During Linuron Chlorination in Drinking Water	LING Xiao, HU Chen-yan, CHENG Ming, <i>et al.</i> (1668)
Interference for Various Quench Agents of Chemical Disinfectants on Detection of Endotoxin Activities in Water	ZHANG Can, LIU Wen-jun, SHI Yun, <i>et al.</i> (1674)
Ammonium Adsorption Characteristics in Aqueous Solution by Dairy Manure Biochar	MA Feng-feng, ZHAO Bao-wei, DIAO Jing-ru, <i>et al.</i> (1678)
Absorption of Uranium with Tea Oil Tree Sawdust Modified by Succinic Acid	ZHANG Xiao-feng, CHEN Di-yun, PENG Yan, <i>et al.</i> (1686)
Effect of Membrane Wettability on Membrane Fouling and Chemical Durability of SPG Membranes	ZHANG Jing, XIAO Tai-min, ZHANG Jing, <i>et al.</i> (1694)
TiO ₂ -Induced Photodegradation of Levofloxacin by Visible Light and Its Mechanism	GUO Hong-sheng, LIU Ya-nan, QIAO Qi, <i>et al.</i> (1700)
Performance of Novel Macromolecule Flocculant in the Treatment of Wastewater Containing Cr(VI) Ions	WANG Gang, DU Feng-ling, CHANG Qing, <i>et al.</i> (1707)
On-line Estimation for the Amount of Stored PHA in Activated Sludge Based on OUR-HPR Measurements	ZENG Shan-wen, WANG Ze-yu, GAO Jing, <i>et al.</i> (1713)
Formation Mechanism of Self-forming Dynamic Membrane During Separation of High-concentration Sewage Sludge Fermented for Acid Production	HUANG Shuai, LIU Hong-bo, YIN Bo, <i>et al.</i> (1720)
Influence of Air Flux on Municipal Sludge Biodrying in a Pilot Scale Test	ZHANG Yu, HAN Rong, LU Wen-jing, <i>et al.</i> (1727)
Extraction of Heavy Metals from Sludge Using Biodegradable Chelating Agent <i>N,N</i> -bis(carboxymethyl) Glutamic Acid Tetrasodium	WU Qing, CUI Yan-rui, TANG Xiao-xiao, <i>et al.</i> (1733)
Biodiversity and Function Analyses of BIOLAK Activated Sludge Metagenome	TIAN Mei, LIU Han-hu, SHEN Xin, <i>et al.</i> (1739)
Characteristics of Nitrogen Removal by a Heterotrophic Nitrification-Aerobic Denitrification Bacterium YL	LIANG Xian, REN Yong-xiang, YANG Lei, <i>et al.</i> (1749)
Biodegradation Characteristics and Kinetics of <i>p</i> -nitrophenol by Strain <i>Arthrobacter</i> sp. CN2	REN Lei, SHI Yan-hua, JIA Yang, <i>et al.</i> (1757)
Biodegradation of Pyrene by Intact Cells and Spores of <i>Brevibacillus brevis</i>	LIU Zhi-chen, YE Jin-shao, PENG Hui, <i>et al.</i> (1763)
Investigation of Antibiotic Resistance Genes (ARGs) in Landfill	LI Lei, XU Jing, ZHAO You-cai, <i>et al.</i> (1769)
Investigation of Antibiotic Resistance of Indigenous Bacteria and Abundance of Class I Integron in Matrix of Constructed Wetlands of Different Configurations	MAI Xiao-bei, TAO Ran, YANG Yang, <i>et al.</i> (1776)
Effects of Nitrate and CH ₄ on Anaerobic Oxidation of BETX in Landfill Cover Soils	LIU Rong, LONG Yan, WANG Li-li, <i>et al.</i> (1785)
Spatial Heterogeneity of Soil Respiration in a Planted Larch Forest in Shanxi Plateau	YAN Jun-xia, LI Hong-jian, LI Jun-jian, <i>et al.</i> (1793)
Effects of Nitrogen Fertilization on Soil Respiration and Temperature Sensitivity in Spring Maize Field in Semi-Arid Regions on Loess Plateau	JIANG Ji-shao, GUO Sheng-li, WANG Rui, <i>et al.</i> (1802)
Distribution Characteristics of Heavy Metals in the Street Dusts in Xuanwei and Their Health Risk Assessment	ZHANG Wen-chao, LÜ Sen-lin, LIU Ding-yu, <i>et al.</i> (1810)
Spatial Distribution of Magnetic Properties of Street Dust in Baoji City and Its Implications of Environment	ZHANG Jun-hui, WANG Jin, ZHANG Jian, <i>et al.</i> (1818)
Effect of Long-term Fertilizer Application on the Stability of Organic Carbon in Particle Size Fractions of a Paddy Soil in Zhejiang Province, China	MAO Xia-li, LU Kou-ping, SUN Tao, <i>et al.</i> (1827)
Effects of Different Reclaimed Scenarios on Soil Microbe and Enzyme Activities in Mining Areas	LI Jun-jian, LIU Feng, ZHOU Xiao-mei (1836)
Soil Microorganism Characteristics and Soil Nutrients of Different Wetlands in Sanjinag Plain, Northeast China	XIAO Ye, HUANG Zhi-gang, WU Hai-tao, <i>et al.</i> (1842)
Strengthening Effects of Sodium Salts on Washing Kerosene Contaminated Soil with Surfactants	HUANG Zhao-lu, CHEN Quan-yuan, ZHOU Juan, <i>et al.</i> (1849)
Effects and Biological Response on Bioremediation of Petroleum Contaminated Soil	YANG Qian, WU Man-li, NIE Mai-qian, <i>et al.</i> (1856)
Enhanced Phytoextraction of Heavy Metals from Contaminated Soils Using <i>Sedum alfredii</i> Hance with Biodegradable Chelate GLDA	WEI Ze-bin, CHEN Xiao-hong, WU Qi-tang, <i>et al.</i> (1864)
Speciation Characteristics and Bioavailability of Heavy Metals in Oasis Soil Under Pb, Zn Combined Stress	JIN Cheng, ZHAO Zhuan-jun, NAN Zhong-ren, <i>et al.</i> (1870)
Influence of Sulfur on the Formation of Fe-Mn Plaque on Root and Uptake of Cd by Rice (<i>Oryza sativa</i> L.)	WANG Dan, LI Xin, WANG Dai-chang, <i>et al.</i> (1877)
Effects of Ozone on Photosynthesis of Several Plants	LI Miao-miao (1888)
A Method Research on Environmental Damage Assessment of a Truck Rollover Pollution Incident	CAI Feng, ZHAO Shi-bo, CHEN Gang-cai, <i>et al.</i> (1902)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 刘 毅 汤鸿霄 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2015年5月15日 第36卷 第5期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 5 May 15, 2015

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行