

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第9期

Vol.33 No.9

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

我国4个WMO/GAW本底站大气CH₄浓度及变化特征 方双喜,周凌晔,许林,姚波,刘立新,夏玲君,王红阳(2917)

我国东北地区大气降水稳定同位素特征及其水汽来源 李小飞,张明军,马潜,李亚举,王圣杰,汪宝龙(2924)

2010年广州亚运期间空气质量与污染气象条件分析 李婷苑,邓雪娇,范绍佳,吴兑,李菲,邓涛,谭浩波,蒋德海(2932)

厦门市冬春季灰霾期间大气PM₁₀中多环芳烃的污染特征及来源分析 钱冉冉,闫景明,吴水平,王新红(2939)

气溶胶OCEC切割点确定方法改进及应用 王莉华,董华斌,闫才青,曾立民,郑玫,张延君,刘久萌,Weber R J(2946)

松花江上游夹皮沟金矿土壤与大气汞污染特征 张刚,王宁,王媛,刘特,艾建超(2953)

河北农居环境颗粒态汞污染特征及健康评估研究 赵亚娟,龚巍巍,栾胜基(2960)

印刷电路板(PCB)厂挥发性有机物(VOCs)排放指示物筛选 马英歌(2967)

烹调油烟中挥发性有机物的排放初探 何万清,田刚,聂磊,曲松,李靖,王敏燕(2973)

生物滴滤塔降解甲苯废气长期运行生物膜相特性研究 胡俊,郑江玲,吴越新,张丽丽,陈建孟(2979)

分期布液生物滴滤床净化H₂S废气性能研究 刘春敬,李坚,刘佳,彭淑婧,李超,陈英,何洪(2987)

粉煤灰综合利用过程中汞的二次释放规律研究 孟阳,王书肖(2993)

太湖、巢湖水体总悬浮物浓度半分析反演模型构建及其适用性评价 刘忠华,李云梅,檀静,郭宇龙,周莉,刘阁(3000)

巢湖水质与流域农业投入的关联性研究 张燕,高翔,张洪(3009)

巢湖十五里河水花生生长区沉积物及间隙水中营养盐的基本特性 李如忠,李峰,周爱佳(3014)

巢湖沉积物中磷蓄积时空变化及人为污染定量评价 刘恩峰,杜臣昌,羊向东,沈吉(3024)

巢湖周边表土中有机质、全氮和全磷空间分布及其相关性 陈书琴,储昭升,胡社荣,刘俊,王长春,王曼(3031)

丹江口水库典型入库支流氮磷动态特征研究 雷沛,张洪,单保庆(3038)

水温分层对三峡水库香溪河库湾春季水华的影响 刘流,刘德富,肖尚斌,孔松,陈媛媛,方小凤(3046)

平水期和丰水期殷村港污染物浓度时空变异比较研究 杨晓英,罗兴章,郑正,方淑波(3051)

江苏西部湖泊沉积物营养盐赋存形态和释放潜力差异性分析 刘涛,胡志新,杨柳燕,肖琳,席北斗,许其功(3057)

太湖西岸湖滨带沉积物氮磷有机质分布及评价 甘树,卢少勇,秦普丰,金相灿,焦伟,王佩(3064)

南四湖流域种植业面源污染氮磷源解析研究 刘静,路风,杨延钊,徐娜,王田妮(3070)

珠江水体中有机物分布、组成及与消毒副产物生成的关系 何洪威,周达诚,王保强,梁艳红(3076)

东江流域典型乡镇饮用水源地重金属污染健康风险评价 王若师,许秋瑾,张娴,魏群山,颜昌宙(3083)

深圳茅洲河表层沉积物卤代多环芳烃污染研究 孙建林,倪宏刚,丁超,曾辉(3089)

福建罗源湾潮间带沉积物重金属含量空间分布及其环境质量影响 高文华,杜永芬,王丹丹,高抒(3097)

渤海湾大型底栖生物群落结构变化及原因探讨 蔡文倩,刘录三,乔飞,林尚璇,周娟(3104)

地下水污染防治区划体系构建研究 王俊杰,何江涛,陆燕,刘丽雅,张小亮(3110)

北京市平原区地下水污染防治区划不确定性分析 陆燕,何江涛,王俊杰,刘丽雅,张小亮(3117)

川东平行岭谷区典型岩溶含水系统中NO₃⁻的存储和运移 杨平恒,袁道先,任幼蓉,谢世友,贺秋芳,胡晓风(3124)

改性活性炭对水中PFOS的吸附去除研究 董锡臻,石宝友,解岳,王东升(3132)

水溶液中臭氧和溴离子的反应研究 俞潇婷,张家辉,潘循哲,张仁熙,侯惠奇(3139)

HPSEC-UV-TOC联用技术测定有机物相对分子质量分布 张晗,董秉直(3144)

不同有机基质诱发的水体黑臭及主要致臭物(VOSC_s)产生机制研究 卢信,冯紫艳,商景阁,范成新,邓建才(3152)

不同pH下纳米铁镍颗粒对生物降解苯酚的影响 况辉,周琰,王清萍,陈祖亮(3160)

多级微氧生物流化床预处理高浓度丙烯酸废水 李莎,郑盛之,宋玉栋,周岳溪,朱长军,刘淑玲,潘玲,蒲文晶(3167)

三级生物膜深度处理腈纶废水生化出水的脱氮研究 徐少阳,蒋进元,周岳溪,崔俊涛,段妮妮(3172)

改性花生壳对水中镉的动态吸附研究 龙腾,易筱筠,党志(3177)

硫氰酸根在粒状镁铝复合氧化物上的吸附性能 王秀娟,王海增,孙宝维,韩文军(3182)

海水生物滤器氨氮沿程转化规律模型 罗荣强,侯沙沙,沈加正,陈珠,刘鹰(3189)

营养物质缺乏引起的好氧颗粒污泥膨胀及其恢复 张著,高大文,袁向娟,勾倩倩(3197)

生物表面活性剂强化污泥水解的研究 易欣,罗琨,杨麒,李小明,邓伟光,张植平(3202)

厌氧氨氧化菌的富集培养与分子鉴定 刘冬英,邱艳玲,袁宪正,师晓爽,郭荣波(3208)

阿特拉津降解菌株的分离、鉴定及降解特性研究 李绍峰,朱静,李铁晶(3214)

农业废物堆肥中高产漆酶新菌株的分离鉴定及酶学性质研究 任秀娟,范长征,鲁伦慧,王聪,曾光明(3220)

糖蜜酒精废水脱色微生物的筛选及鉴定 李必金,刘幽燕,贺锴,滕芳明,何熙璞,李青云(3228)

餐厨垃圾乳酸发酵过程中的微生物多样性分析 刘建国,汪群慧,王爽,孙晓红,仇天雷,李焕(3236)

共价功能化对单壁碳纳米管产生DNA损伤和活性氧的影响研究 吴仁人,陶雪琴,党志,李开明,蔡美芳(3241)

*Geobacter sulfurreducens*对汞的甲基化及其影响因素研究 邹嫣,司友斌,颜雪,陈艳(3247)

单一与复合胁迫下油菜对镉、铅的吸收效应 武文飞,南忠仁,王胜利,赵转军,周婷(3253)

金铜矿下游农户家养番鸭体内重金属分布特征及其评价 杭小帅,梁斌,王文林,王霞,李维新(3261)

环境激素氧氟菊酯对萼花臂尾轮虫繁殖的影响 董学兴,杨家新,吕林兰,赵卫红,於叶兵(3266)

地聚物固化生活垃圾焚烧飞灰固化体抗氧化硫杆菌腐蚀性能的研究 金漫彤,孙鑫,董海丽,金赞芳(3272)

焚烧飞灰高温过程中重金属的挥发及其氯化特征 刘敬勇,孙水裕(3279)

城市废弃物处理温室气体排放研究:以厦门市为例 于洋,崔胜辉,林剑艺,李飞(3288)

NPEOs及其代谢产物在城市污水处理厂中的归趋分析 连静,刘俊新(3295)

《环境科学》征订启事(3037) 《环境科学》征稿简则(3151) 信息(2999,3030,3096,3227)

烹调油烟中挥发性有机物的排放初探

何万清, 田刚, 聂磊, 曲松, 李靖, 王敏燕

(北京市环境保护科学研究院, 国家城市环境污染控制工程技术研究中心, 北京 100037)

摘要: 挥发性有机化合物 (VOCs) 是大气臭氧和二次有机气溶胶污染的关键前体物, 而烹调油烟排放的 VOCs 作为大气中 VOCs 的重要来源之一, 对其排放浓度进行研究具有重要意义. 从食用油的烧杯加热实验入手, 简化模拟烹调油烟发生情景, 采用 Tenax 吸附管采样, 热脱附-气相色谱-质谱法 (GC-MS) 定量检测分析, 以加热温度和油品作为变量, 对花生油、葵花籽油、大豆油、调和油和橄榄油在不同温度下加热生成的油烟 VOCs 浓度进行了比较分析, 并初步估算了在实验温度范围内典型食用油单位时间内油烟 VOCs 的排放强度. 结果表明, 5 种典型食用油随着加热温度的升高, 排放的油烟中 VOCs 的浓度也随之升高; 而在同一温度下加热 5 种食用油, 调和油产生的油烟中 VOCs 的浓度最低; 对不同温度下典型食用油单位时间内油烟 VOCs 的排放强度进行拟合, 结果为二项式最优, 其单位时间内油烟 VOCs 的排放强度范围为 $1.6 \sim 11.1 \text{ mg} \cdot (\text{kg} \cdot \text{min})^{-1}$.

关键词: 烹调油烟; VOCs; GC-MS; Tenax 吸附; 排放强度

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)09-2973-06

Preliminary Study Concerning Emissions of the Volatile Organic Compounds from Cooking Oils

HE Wan-qing, TIAN Gang, NIE Lei, QU Song, LI Jing, WANG Min-yan

(National Engineering Research Center for Urban Environmental Pollution Control, Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection, Beijing 100037, China)

Abstract: Cooking oil fume is one of the important sources of atmospheric volatile organic compounds (VOCs), which are the key precursors of ozone and secondary organic aerosols in air. In this study, the production of cooking oil fume was simulated by heating typical pure vegetable oils (peanut oil, sunflower oil, soybean oil, olive oil and blend oil) at different temperatures in beakers to investigate the VOCs emission characteristics. The emitted VOCs were sampled with a Tenax adsorption tube and analyzed using GC-MS after thermal desorption. The results showed that the emission of VOCs increased with the increase of the heating temperature for all the investigated cooking oils, and at a given temperature, the blend oil emitted the lowest amount of VOCs. The VOCs emission intensity at different heating temperatures fitted well with binomial equations and ranged from $1.6 \sim 11.1 \text{ mg} \cdot (\text{kg} \cdot \text{min})^{-1}$.

Key words: cooking oil fume; VOCs; GC-MS; Tenax adsorption; emission intensity

众所周知,挥发性有机物 (VOCs) 已成为影响我国大气区域性复合型污染的重要前体物,是光化学烟雾、 O_3 污染和二次气溶胶生成的必要条件. 过去,对大气污染控制主要集中于工业和交通污染源,忽略了饮食业排放的油烟污染. 不少学者对城市大气 VOCs 的主要来源,如移动源、固定燃烧源、工业过程源、溶剂使用过程和油品的储运销过程排放等污染源都进行了一系列的研究^[1]. 而饮食业排放的油烟作为城市颗粒物及 VOCs 的重要来源之一,对其排放特征的基础性研究很少,而现行国家饮食业油烟排放标准也没有对油烟 VOCs 的排放做出限制^[2-4]. 随着人们对生活质量和工作环境追求的提高,饮食业油烟污染已逐渐成为人们关注的焦点.

烹调油烟是指食物烹饪和食品生产加工过程中挥发的油脂、有机质及热氧化和热裂解产生的混合物^[5,6]. 食物烹饪的主要介质是食用油,然而食用油的沸点比较复杂,主要成分的沸点约 300°C 左右,一

般很难将其烧至沸点挥发. 因此,加热油温成为烹饪过程的关键因素. Lin 等^[7]研究发现,烹调时油分解的醛种类和数量取决于油温. 林晔^[8]报道,同一采样位置,同一加热方式,温控范围越高,多环芳烃 (PAHs) 浓度越高; 在较高温控范围内,除检出苯并芘 (Bap) 外,还检出其它 3 种成分,而在较低温控范围内,只检出苯并芘 (Bap). Francis 等^[9]还发现,在烤肉炉中,温度是最关键的因素,随着温度的升高,污染物的数量会增加.

烹调油烟作为我国特有的一类污染源,有其独特的性质. 纵观国内对烹调油烟的研究历程,往往将其作为一个整体研究^[10,11]. 事实上,烹调油烟经过油烟净化器等设备的初级处理,大部分的颗粒态

收稿日期: 2011-11-10; 修订日期: 2012-03-12

基金项目: 北京市自然科学基金项目 (8112015)

作者简介: 何万清 (1983 ~), 女, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为大气污染控制, E-mail: wanqing888@126.com

物质被吸附或收集起来,无法进入人体,对人体健康危害相对较小^[12-14]. 而其中的气态部分,主要为 VOCs,无法通过目前的油烟处理设备获得有效处理,从而直接排入大气或吸入人体中,对大气环境和人体健康造成危害.

因此,有必要对烹调油烟 VOCs 的排放特征进行探索研究. 研究发现,烹调过程比纯油加热过程排放的可吸入颗粒物和 VOCs 的浓度高^[8],但两者在本质上是一样的,都是油脂及有机质的氧化分解和相互化学反应. 然而由于中式烹饪中各种烹炒、煎炸、烧烤等复杂的操作融合进行,烹饪过程变化因素较多,且油温等条件不可控,因此本实验通过烧杯加热食用油来简化模拟实际烹饪过程,并通过控制油温和油品的方式来模拟烹炒和煎炸过程,对烹调油烟中的 VOCs 进行单独采样,采用吸附/热脱附-GC-MS 法^[15]对不同种类的食用油在不同设定温度下加热排放的 VOCs 浓度进行比较分析,研究油温和油品对 VOCs 排放的影响.

1 材料与方法

1.1 实验材料

根据商场和超市食用油销售情况调研,选择食品烹饪中常用的调和油、大豆油、葵花籽油和花生油作为研究试材,同时选取国外使用较多的橄榄油进行中外对比研究,具体使用材料如下:鲁花 5S 压榨一级花生油;多力 100% 纯正葵花籽油;金龙鱼精炼一级大豆油;金龙鱼第二代食用调和油;欧丽薇兰特级初榨橄榄油.

1.2 仪器及设备

Agilent 7890A 气相色谱仪:美国 Agilent 公司; Agilent 5975C 质谱检测器:美国 Agilent 公司; Unity series2 热脱附仪:英国 Markes 公司; Ultra series2 自动进样器:英国 Markes 公司; TC-20 Tube Conditioner:英国 Markes 公司; 油烟发生装置(非标).

1.3 实验温度

本实验的温度设置为:130、160、190、220 和 260℃. 视 130℃、160℃ 分别为烹炒温度的低、高温;视 190℃ 为炸肉类食品温度;视 260℃ 为炸面类食品温度^[16]. 考虑到 190℃ 和 260℃ 之间跨度较大,在 190℃ 与 260℃ 之间添加一个过渡温度 220℃,可视为低温炸面类或者高温炸肉类食品的温度.

1.4 采样流程

首先调试实验装置系统,测试实验装置的密闭性. 确保实验系统密闭无泄漏后,取容量为 500 mL

的干净烧杯,往烧杯中加入一定质量(150 g)的食用油(新油)放入密闭的油烟发生装置中,将温控器探头浸入食用油中. 装置的一侧用鼓风机鼓入一定流量($40 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)的环境空气,使箱体内的气体混合均匀. 在烧杯正上方约 0.5 m 处的采样口装上干净的不锈钢金属滤筒,开启电源,开始加热,将食用油加热到 $T_{\text{设}}$,并保持在 $T_{\text{设}} \pm 5^\circ\text{C}$. 加热产生的油烟气先经过金属滤筒过滤,然后用大气采样仪以 $300 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ 的流量抽取油烟气样品进入内填充 Tenax 吸附剂的吸附管中,并同时采集环境空气样品以测量环境空气本底值,每个样品吸附 10 min,采样流程如图 1 所示. 每次采集样品前,将吸附管老化 30 min,老化后进行吸附管的空白实验测试,确保老化后的吸附管空白在 0.1% 以下;然后进行样品采集,采集好的吸附管放入自动进样器中,进行热脱附-GC-MS 分析. 通过自动进样器的二级热解析,本实验 Tenax 吸附管的吸附解吸效率可达 99% 以上,完全满足实验精度需求.

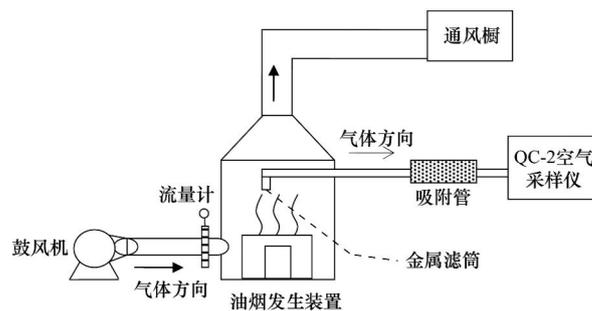


图 1 采样流程示意

Fig. 1 Flow chart of sampling

1.5 采样时间

1.5.1 吸附管穿透实验

按照采集油烟 VOCs 样品的流程和条件,称取 150 g 食用油在 260℃ 条件下加热,待加热温度升高至 260℃ 并稳定后,将 2 根 Tenax 吸附管串联接在 QC-2 采样仪上(靠近采样仪的为主吸附管,另一支为副吸附管),采样仪以同样的 $300 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ 采样流量抽取油烟气样品分别通过 2 根串联的吸附管,采集时间设定为 30 min. 采样完成后,将主副吸附管分别进行热脱附-GC-MS 分析,分析发现副吸附管各峰面积达不到积分要求,未能检出 VOCs. 可见在 260℃ 的加热条件下, Tenax 吸附管至少能采集样品 30 min 而不被穿透.

1.5.2 采样时间方案确定

本研究油烟 VOCs 的采集方案为设定时间内的间隔时间采样. 由于食用油加热升温过程迅速,通

过前期的实验摸索, 食用油最晚在加热 30 ~ 40 min 后可达 $T_{\text{设}}$ 并稳定. 为捕捉前期加热升温过程 VOCs 的变化情况, 因此采样时间设置为 10 min 而不是穿透实验采用的 30 min, 并且前期升温过程采样间隔较为密集. 因此在食用油总共加热的 120 min 内, 从

$T=0$ 食用油加热开始到 $T=10$ min 为采集的第一个样品 (Sample1), 之后每间隔 5 min 采集 Sample2 和 Sample3; 而后每间隔 30 min 再采集 Sample4 和 Sample5, 每个样品的采集时间均为 10 min. 采样时间设计方案如图 2.

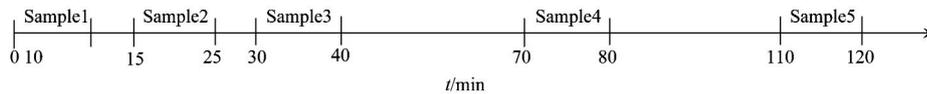


图 2 采样时间方案轴

Fig. 2 Sample timeline

1.6 热脱附-GC-MS 操作条件

热脱附条件: 热脱附仪操作条件如表 1 所示.

表 1 热脱附仪工作条件

Table 1 Working conditions of the thermal desorption device

步骤	时间 /min	温度 /°C	流量 /mL·min ⁻¹	分流流量 /mL·min ⁻¹
预吹扫	1	150	20	20
吸附管解吸	5	250	50	20
冷阱解吸	5	300	50	20

GC 条件: 色谱柱: DB-5ms, 60 m × 320 μm × 1.00 μm (膜厚); 载气: 高纯氦气 (99.999%); 进样口温度 250°C; 接口温度 280°C; 程序升温: 采用三级程序升温, 40°C 保留 5 min, 以 6°C·min⁻¹ 升至 150°C, 再以 5°C·min⁻¹ 升至 250°C, 最后 250°C 停留 5 min, 全程运行 48.333 min.

MS 条件: 离子源温度 150°C; 四级杆温度 230°C; 电子倍增器电压 1329 V.

恒流模式: 1.5 mL·min⁻¹; 进样量: 1.5 μL, 自动不分流; 离子扫描方式: 全扫描; 扫描范围: 35 ~ 300 u, 0 ~ 4 min 溶剂延迟. GC-MS 分析图谱见图 3.

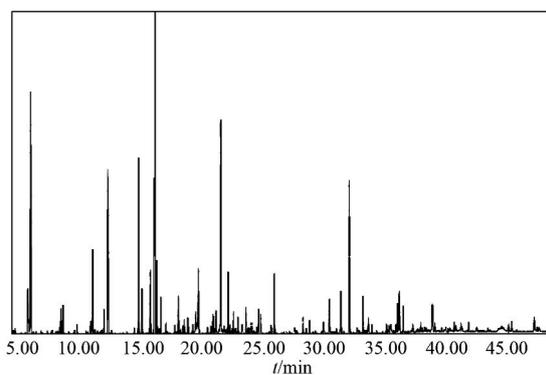


图 3 油烟 VOCs 的总离子流图

Fig. 3 Total ion chromatogram of VOCs in the oil fume

1.7 油烟 VOCs 的浓度计算

本研究利用甲苯的峰面积做参照物进行定量计算油烟中的 VOCs. 首先确定甲苯质量与峰面积的对应关系. 取 6 支 Tenax 吸附管, 注入相同体积的浓度为 1 000 μg·mL⁻¹ 的甲苯标液, 并在氦气流中吸附 5 min. 将吸附有甲苯标液的吸附管放入热脱附仪, 进行热脱附-GC-MS 检测, 获得单位质量的甲苯峰面积, 取平均值. 以甲苯质量计, 则油烟中 VOCs 的总峰面积与甲苯峰面积的比值即为油烟 VOCs 的质量.

因此, GC-MS 测得的油烟 VOCs (以甲苯质量计) 的浓度计算公式如下:

$$c = \frac{M}{10 \text{ min} \times 300 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}}$$

式中, c 为油烟 VOCs 的浓度, mg·m⁻³; M 为油烟 VOCs 的总质量 (以甲苯质量计), μg.

2 结果与讨论

油烟中的 VOCs 是一个复杂的体系, 其排放水平随所选用的食用油种类、食品种类、烹调方式、锅具类型、加热温度等的不同有很大差异. 本研究只关注加热温度和食用油种类的差异造成的 VOCs 排放差异.

2.1 不同温度下油烟 VOCs 排放浓度随时间变化的比较

图 4 ~ 图 8 给出了花生油、葵花籽油、大豆油、调和油和橄榄油在不同温度下加热产生的 VOCs 浓度随时间的变化趋势.

典型食用油在不同温度下加热产生的 VOCs 浓度随时间的变化有一定的规律性. 在某个设定温度下进行加热实验, 从室温开始加热, 随着温度的升高和加热时间的增加, 排放的 VOCs 浓度逐渐增大, 达到设定温度后, 排放的 VOCs 浓度逐渐趋于稳定, 基本不再增加. 除去加热升温过程, 在食用油分别达

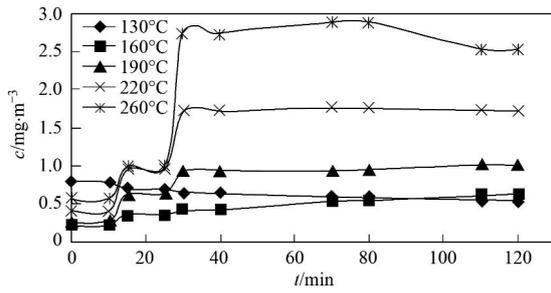


图 4 花生油在各温度下的油烟 VOCs 浓度变化

Fig. 4 Changes of VOCs concentration in peanut oil heated at different temperatures

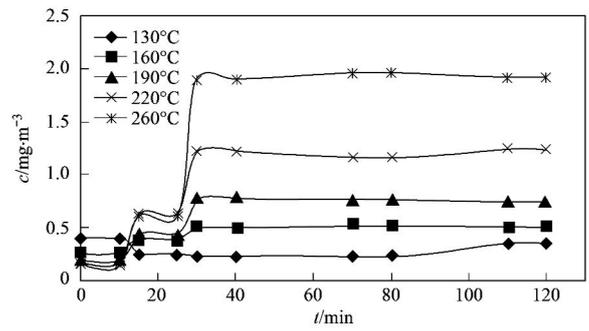


图 7 调和油在各温度下的油烟 VOCs 浓度变化

Fig. 7 Changes of VOCs concentration in blend oil heated at different temperatures

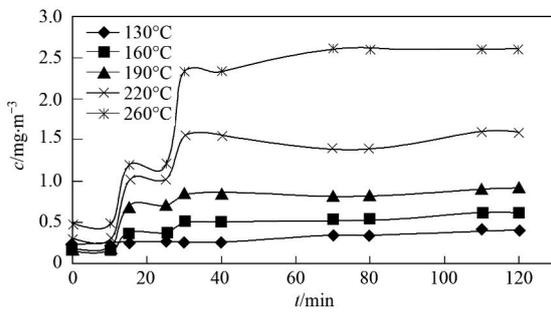


图 5 葵花籽油在各温度下的油烟 VOCs 浓度变化

Fig. 5 Changes of VOCs concentration in sunflower oil heated at different temperatures

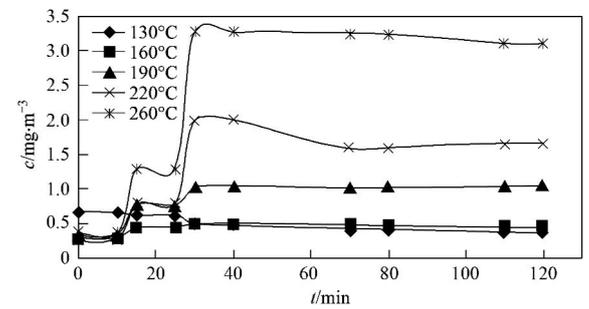


图 8 橄榄油在各温度下的油烟 VOCs 浓度变化

Fig. 8 Changes of VOCs concentration in olive oil heated at different temperatures

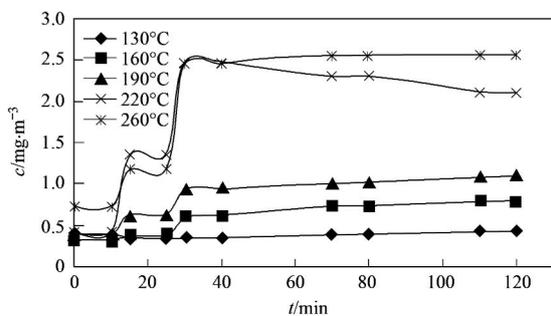


图 6 大豆油在各温度下的油烟 VOCs 浓度变化

Fig. 6 Changes of VOCs concentration in soybean oil heated at different temperatures

到温度 $T_{\text{设}}$ (130、160、190、220 和 260°C) 后,5 种食用油 VOCs 排放浓度均随着设定温度的提高而呈递增趋势,但增大幅度不同,260°C 时增幅最大,增加最为明显。

温度是影响油脂氧化的一个重要因素,食用油中油脂的氧化、分解速度会随着温度的升高而加快,因此,油烟 VOCs 的排放量会随着温度的升高而增加。

2.2 不同油品在同一设定温度下排放的 VOCs 浓度比较

由 2.1 节可知,加热食用油在达到设定温度后,

其 VOCs 排放浓度随加热时间的变化很小,基本保持稳定。因此,选择 VOCs 浓度达到稳定后的 Sample4 (70 ~ 80 min) 来进行不同油品在同一温度下加热排放的 VOCs 浓度比较。图 9 即是对不同油品在同一温度下加热,采集的 Sample4 的 VOCs 排放浓度进行比较。

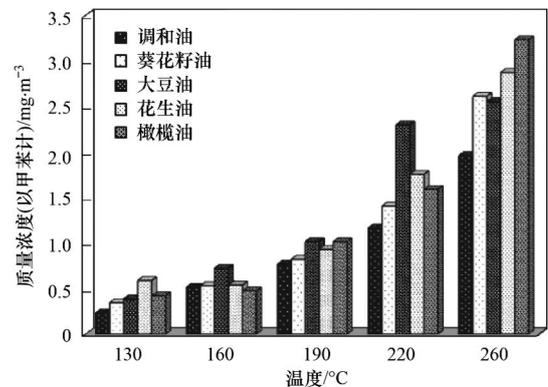


图 9 5 种食用油在不同设定温度下油烟 VOCs 的浓度比较

Fig. 9 Comparison of VOCs concentration in the five cooking oils heated at different temperatures

5 种食用油分别在同一温度下加热,产生的 VOCs 的浓度排列顺序不同。130°C 花生油最高,而

160、190 和 220℃ 都是大豆油排放 VOCs 最多; 260℃ 又变为橄榄油排放最多. 但在实验的 5 个设定温度下加热, 调和油在 5 种食用油中 VOCs 排放量几乎都是最低. 这可能是由于调和油加工过程中通常要加入少量的棕榈油. 棕榈油中饱和脂肪酸的含量比其他植物油高, 相同条件下加热, 其自身的挥发和分解要比其他植物油慢, 从而油烟 VOCs 的排放要低一些. 可见, 从营养健康角度来讲, 调和油不是很好的食用油, 而从环境保护来说, 调和油又是较好的煎炸油.

2.3 典型食用油在单位时间内油烟 VOCs 排放强度研究

在本实验数据的基础上, 对食用油在单位时间内排放的油烟 VOCs 进行比较分析. 由 2.1 节可知, 食用油在加热前期, VOCs 的排放变化较大, 不能代表设定温度下的 VOCs 排放; 在达到设定温度即最晚 30 ~ 40 min 后才基本保持稳定, 才能代表设定温度下的 VOCs 排放情况, 故取 70 ~ 80 min 的 VOCs 浓度值, 计算 5 种典型食用油在不同温度下加热, 单位时间内油烟 VOCs 的排放强度, 其计算公式如下:

$$\text{VOCs 的排放强度} = \frac{c \times Q}{m} \times 1000$$

式中, c 为油烟 VOCs 的排放浓度, $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$; m 为食用油质量, g ; Q 为进口风量, $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$.

对不同温度下花生油、葵花籽油、大豆油、调和油和橄榄油单位时间内油烟 VOCs 的排放强度进行拟合, 发现规律性较强, 均为二项式的拟合度最好. 5 种食用油单位时间内油烟 VOCs 排放强度随温度的变化曲线如图 10 所示.

由图 10 可见, 花生油、葵花籽油、调和油和橄榄油的二项式拟合度很好, R^2 均达到 0.99 以上, 大豆油的二项式拟合度稍差, 但 R^2 也达到 0.9 以上.

通过计算可得, 在实验温度范围内, 花生油、葵花籽油、大豆油、调和油和橄榄油单位时间内的油烟 VOCs 的排放强度范围分别为 [单位: $\text{mg} \cdot (\text{kg} \cdot \text{min})^{-1}$]: 花生油 2.6 ~ 12.8; 葵花籽油 1.5 ~ 11.7; 大豆油 1.7 ~ 11.4; 调和油 1.0 ~ 8.8; 橄榄油 1.9 ~ 14.4.

参考商场超市这 5 种食用油的销售情况, 本研究设定花生油、葵花籽油、大豆油、调和油和橄榄油的使用权重分别为 1.5、2、3、3 和 0.5, 结合 5 种食用油油烟 VOCs 排放浓度进行加权平均和拟合, 发现二项式的拟合度最好, R^2 达到 0.99 以上, 如图

11 所示. 同时得到典型食用油不同温度下单位时间内油烟 VOCs 的排放强度范围为 1.6 ~ 11.1 $\text{mg} \cdot (\text{kg} \cdot \text{min})^{-1}$.

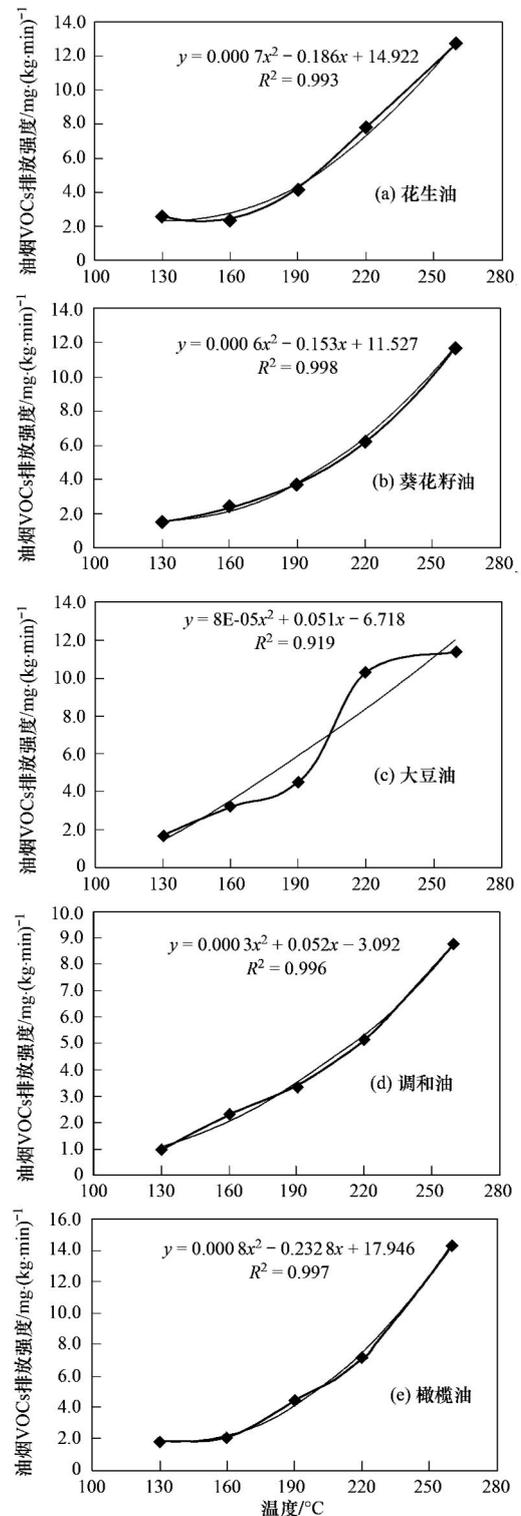


图 10 5 种食用油单位时间内油烟 VOCs 的排放强度曲线图
Fig. 10 Changes in the emission intensity of VOCs in the five different oils heated at different temperatures

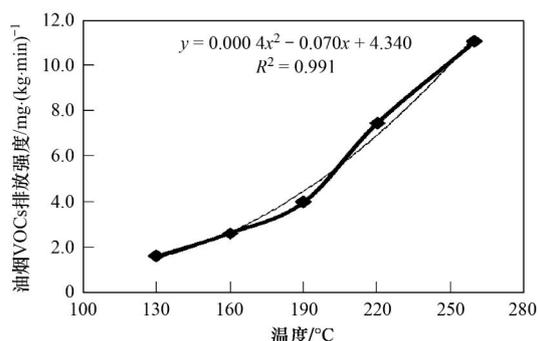


图 11 单位典型食用油油烟 VOCs 排放量曲线

Fig. 11 Changes in the emissions of VOCs from unit typical oil heated at different temperatures

3 结论

(1) 5 种食用油在不同温度下加热实验,产生的油烟中 VOCs 的浓度随温度的变化趋势一致,均随着设定温度的提高而呈递增趋势,260℃增加最为显著,可达 220℃的 2 倍。可见,随加热温度升高,不同油品的挥发性有机物排放量都随之增加,因此,食用油加热温度不宜过高,尤其不宜超过 220℃。

(2) 调和油排放的 VOCs 在这 5 种典型食用油中都最低,从 VOCs 排放量上看,调和油是较好的烹炒和煎炸用油。因此,从控制油烟中 VOCs 排放角度,建议降低烹调操作温度,尤其减少 260℃高温煎炸类操作;不可避免情况下,适宜选择调和油作为高温烹炒和煎炸用油。

(3) 在不同温度下典型食用油单位时间内油烟 VOCs 的排放强度对加热温度进行拟合,结果为二项式最优,其范围为 1.6 ~ 11.1 mg·(kg·min)⁻¹。

参考文献:

[1] 魏巍. 中国人源挥发性有机化合物的排放现状及未来趋势

[D]. 北京:清华大学,2009.

- [2] GB18483-2001, 饮食业油烟排放标准[S]. 北京:中国环境科学出版社,2000.
- [3] 《饮食业油烟排放标准》编制课题组. 《饮食业油烟排放标准》编制说明[Z]. 2000.
- [4] 张楷, 马永亮, 徐康富, 等. 中外饮食业油烟控制标准比较[J]. 污染防治技术, 2002, 15(4): 34-36.
- [5] 牛晓明. 饮食业油烟污染现状分析与对策[J]. 科技情报开发与经济, 2006, 16(1): 156-158.
- [6] 严松, 周萍, 郑学斌, 等. 广元市饮食业油烟污染现状及防治对策[J]. 四川环境, 2003, 22(6): 69-71.
- [7] Lin J M, Liou S J. Aliphatic aldehydes produced by heating Chinese cooking oils [J]. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 2000, 64(6): 817-824.
- [8] 林晔. 烹饪对大气污染及其防治技术的研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学,1995.
- [9] Francis G Z, Lipinski R E. Control of air pollution from restaurant charbroilers [J]. Journal of the Air Pollution Control Association, 1977, 27(7): 643-647.
- [10] 相震. 餐饮业油烟污染及治理[J]. 青海环境, 2003, 13(3): 132-133.
- [11] 厉曙光, 黄昕. 家庭厨房烹调油烟污染的危害[J]. 上海预防医学杂志, 2003, 15(2): 57-58.
- [12] 苏世军, 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.
- [13] 张楷, 马永亮, 徐康富. 饮食业油烟控制技术现状分析[J]. 重庆环境科学, 2003, 25(4): 55-58.
- [14] 段玉环, 谢超颖, 方恒. 餐饮业油烟污染及治理技术浅议[J]. 环境污染治理技术与设备, 2002, 3(11): 67-69.
- [15] 徐东群, 崔九思, 韩克勤, 等. 活性炭纤维吸附/热解吸/毛细管气相色谱法测定低浓度 VOCs 的方法[J]. 环境化学, 1999, 18(6): 566-572.
- [16] 骆霄. 烹调油烟的排放特征研究[D]. 北京:北京市环境保护科学研究院,2010.

CONTENTS

CH ₄ Concentrations and the Variation Characteristics at the Four WMO/GAW Background Stations in China	FANG Shuang-xi, ZHOU Ling-xi, XU Lin, <i>et al.</i> (2917)
Characteristics of Stable Isotopes in Precipitation over Northeast China and Its Water Vapor Sources	LI Xiao-fei, ZHANG Ming-jun, MA Qian, <i>et al.</i> (2924)
Study on Air Quality and Pollution Meteorology Conditions of Guangzhou During the 2010 Asian Games	LI Ting-yuan, DENG Xue-jiao, FAN Shao-jia, <i>et al.</i> (2932)
Characteristics and Sources of PM ₁₀ -bound PAHs During Haze Period in Winter-Spring of Xiamen	QIAN Ran-ran, YAN Jing-ming, WU Shui-ping, <i>et al.</i> (2939)
Improvement and Application of the Method for Determination of OCEC Split	WANG Li-hua, DONG Hua-bin, YAN Cai-qing, <i>et al.</i> (2946)
Characteristics of Mercury Pollution in Soil and Atmosphere in Songhua River Upstream Jia-pi-gou Gold Mining Area	ZHANG Gang, WANG Ning, WANG Yuan, <i>et al.</i> (2953)
Pollution Characteristics and Health Assessment of Particulate Mercury in Hebei Rural Households	ZHAO Ya-juan, GONG Wei-wei, LUAN Sheng-ji (2960)
Composition and Characteristics of Volatile Organic Chemicals Emission from Printed Circuit Board Factories	MA Ying-ge (2967)
Preliminary Study Concerning Emissions of the Volatile Organic Compounds from Cooking Oils	HE Wan-qing, TIAN Gang, NIE Lei, <i>et al.</i> (2973)
Characteristics of Biofilm Phase During the Long-term Degradation of a Toluene-contaminated Gas Stream Using BTF	HU Jun, ZHENG Jiang-ling, WU Yue-xin, <i>et al.</i> (2979)
Performance of Cross Flow Trickling Filter for H ₂ S Gas Treatment	LIU Chun-jing, LI Jian, LIU Jia, <i>et al.</i> (2987)
Study on Mercury Re-emissions During Fly Ash Utilization	MENG Yang, WANG Shu-xiao (2993)
Construction of Semi-analytical Model for Inversing Total Suspended Matter in Lake Taihu and Chaohu and Assessment of Its Applicability	LIU Zhong-hua, LI Yun-mei, TAN Jing, <i>et al.</i> (3000)
Association Study Between Water Quality of Chaohu Lake and Resources Input in Agriculture of Basin	ZHANG Yan, GAO Xiang, ZHANG Hong (3009)
Sediment and Pore Water Nutrient Characteristics in Growing Zones of <i>Alternanthera philoxeroides</i> in the Shiwuli River, Chaohu Lake	LI Ru-zhong, LI Feng, ZHOU Ai-jia (3014)
Enrichment Characteristic of Phosphorus in Surface and Core Sediments of Chaohu Lake and the Pollution Quantification	LIU En-feng, DU Chen-chang, YANG Xiang-dong, <i>et al.</i> (3024)
Spatial Distribution Characteristics and Correlation Analysis of Organic Matter, Total Nitrogen and Total Phosphorus in Topsoil Around Chaohu Lake	CHEN Shu-qin, CHU Zhao-sheng, HU She-rong, <i>et al.</i> (3031)
Dynamic Characteristics of Nitrogen and Phosphorus in the Representative Input Tributaries of Danjiangkou Reservoir	LEI Pei, ZHANG Hong, SHAN Bao-qing (3038)
Effects of Thermal Stratification on Spring Blooms in Xiangxi Bay of the Three Gorges Reservoir	LIU Liu, LIU De-fu, XIAO Shang-bin, <i>et al.</i> (3046)
Explore the Spatial and Temporal Patterns of Water Pollution in the Yincungang Canal of the Lake Taihu Basin, China	YANG Xiao-ying, LUO Xing-zhang, ZHENG Zheng, <i>et al.</i> (3051)
Analysis on the Forms and Release Potential of Nutrients in Sediments from Lakes in the West Jiangsu Province	LIU Tao, HU Zhi-xin, YANG Liu-yan, <i>et al.</i> (3057)
Spatial Distribution and Evaluation of Nitrogen, Phosphorus and Organic Matter in Surface Sediments from Western Lakeside Belt of Lake Taihu	GAN Shu, LU Shao-yong, QIN Pu-feng, <i>et al.</i> (3064)
Source Apportionment of Nitrogen and Phosphorus from Cropping Non-point Source Pollution in Nansi Lake Basin	LIU Jing, LU Feng, YANG Yan-zhao, <i>et al.</i> (3070)
Relationship Between Dissolved Organic Carbon and DBP in the Pearl River Water	HE Hong-wei, ZHOU Da-cheng, WANG Bao-qiang, <i>et al.</i> (3076)
Health Risk Assessment of Heavy Metals in Typical Township Water Sources in Dongjiang River Basin	WANG Ruo-shi, XU Qiu-jin, ZHANG Xian, <i>et al.</i> (3083)
Halogenated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Sediments of Maozhou River, Shenzhen	SUN Jian-lin, NI Hong-gang, DING Chao, <i>et al.</i> (3089)
Distribution Patterns of Heavy Metals in Surficial Sediment and Their Influence on the Environment Quality of the Intertidal Flat of Luoyuan Bay, Fujian Coast	GAO Wen-hua, DU Yong-fen, WANG Dan-dan, <i>et al.</i> (3097)
Study on the Changes of Macrobenthos Communities and Their Causes in Bohai Bay	CAI Wen-qian, LIU Lu-san, QIAO Fei, <i>et al.</i> (3104)
Construction of Groundwater Contamination Prevention Mapping System	WANG Jun-jie, HE Jiang-tao, LU Yan, <i>et al.</i> (3110)
Uncertainty Analysis of Groundwater Protection and Control Zoning in Beijing Plain	LU Yan, HE Jiang-tao, WANG Jun-jie, <i>et al.</i> (3117)
Nitrate Storage and Transport Within a Typical Karst Aquifer System in the Paralleled Ridge-valley of East Sichuan	YANG Ping-heng, YUAN Dao-xian, REN You-rong, <i>et al.</i> (3124)
Adsorption of Perfluorooctanesulfonate (PFOS) onto Modified Activated Carbons	TONG Xi-zhen, SHI Bao-you, XIE Yue, <i>et al.</i> (3132)
Investigation of the Oxidation Reaction of O ₃ with Bromide Ion in Aqueous Solution	YU Xiao-ting, ZHANG Jia-hui, PAN Xun-xi, <i>et al.</i> (3139)
Determination of the Distribution of Relative Molecular Mass of Organic Matter by High Pressure Size Exclusion Chromatography with UV and TOC Detectors	ZHANG Han, DONG Bing-zhi (3144)
Black Water Bloom Induced by Different Types of Organic Matters and Forming Mechanisms of Major Odorous Compounds	LU Xin, FENG Zi-yan, SHANG Jing-ge, <i>et al.</i> (3152)
Effect of Fe and Fe/Ni Nanoparticles on the Biodegradation of Phenol by BFN at Different pH Values	KUANG Ye, ZHOU Yan, WANG Qing-ping, <i>et al.</i> (3160)
Pretreatment of High-Concentration Acrylic Acid Wastewater by the Multi-Stage Microaerobic Biological Fluidized Bed Reactor	LI Sha, ZHENG Sheng-zhi, SONG Yu-dong, <i>et al.</i> (3167)
Denitrification on Secondary Effluent of Acrylic Fiber Wastewater by Tri-Stage Biofilm Advanced Reactor	XU Shao-yang, JIANG Jin-yuan, ZHOU Yue-xi, <i>et al.</i> (3172)
Dynamic Adsorption of Cadmium (II) in Water on Modified Peanut Shells	LONG Teng, YI Xiao-yun, DANG Zhi (3177)
Adsorption Properties of Thiocyanate Anion on Granular Mg/Al Mixed Oxides	WANG Xiu-juan, WANG Hai-zeng, SUN Bao-wei, <i>et al.</i> (3182)
Model of Regularity of Ammonia Transformation Along Marine Biological Aerated Filter	LUO Rong-qiang, HOU Sha-sha, SHEN Jia-zheng, <i>et al.</i> (3189)
Aerobic Granular Sludge Bulking Due to the Lack of Nutrient and Its Recovery	ZHANG Zhu, GAO Da-wen, YUAN Xiang-juan, <i>et al.</i> (3197)
Enhanced Hydrolysis of Waste Activated Sludge by Biosurfactant	YI Xin, LUO Kun, YANG Qi, <i>et al.</i> (3202)
Enrichment and Identification of Anaerobic Ammonium Oxidation Bacteria	LIU Dong-ying, QIU Yan-ling, YUAN Xian-zheng, <i>et al.</i> (3208)
Isolation, Identification and Characterization of an Atrazine Degrading Bacterium	LI Shao-feng, ZHU Jing, LI Tie-jing (3214)
Isolation, Identification and Enzymological Characterization of a New Fungal with High Laccase Production from Agricultural Waste Composting	REN Xiu-juan, FAN Chang-zheng, LU Lun-hui, <i>et al.</i> (3220)
Screening and Identification of Microorganisms for Decolorization of Molasses Spent Wash	LI Bi-jin, LIU You-yan, HE Kai, <i>et al.</i> (3228)
Analysis of Microbial Community Structure in Lactic Acid Fermentation from Kitchen Waste	LIU Jian-guo, WANG Qun-hui, WANG Shuang, <i>et al.</i> (3236)
Effect of Covalent Functionalization on DNA Cleavage Activity and ROS Formation of Single-Walled Carbon Nanotubes	WU Ren-ren, TAO Xue-Qin, DANG Zhi, <i>et al.</i> (3241)
Research on Mercury Methylation by <i>Geobacter sulfurreducens</i> and Its Influencing Factors	ZOU Yan, SI You-bin, YAN Xue, <i>et al.</i> (3247)
Uptake Effect of Cd and Pb by Rape Under Single Cd/Pb and Cd-Pb Combined Stress	WU Wen-fei, NAN Zhong-ren, WANG Sheng-li, <i>et al.</i> (3253)
Distribution Characteristics and Risk Assessment of Heavy Metals in Farming Domestic Muscovy Duck Originated from Au/Cu Mining and Smelting Activities	HANG Xiao-shuai, LIANG Bin, WANG Wen-lin, <i>et al.</i> (3261)
Effects of the Environmental Hormone Cypermethrin on the Reproduction of <i>Brachionus calyciflorus</i>	DONG Xue-xing, YANG Jia-xin, LÜ Lin-lan, <i>et al.</i> (3266)
Research on Anti-Corrosion of <i>Thiobacillus</i> for the Geopolymer Solidification MSWI Fly Ash	JIN Man-tong, SUN Xin, DONG Hai-li, <i>et al.</i> (3272)
Chlorination Transformation and Volatilization of Heavy Metals in Fly Ash from the Incineration During the Disposal Process with Higher Temperature	LIU Jing-yong, SUN Shui-yu (3279)
Study on Greenhouse Gas Emissions from Urban Waste Disposal System; A Case Study in Xiamen	YU Yang, CUI Sheng-hui, LIN Jian-yi, <i>et al.</i> (3288)
Fate Analysis of NPEOs and Their Metabolites in Municipal Wastewater Plants	LIAN Jing, LIU Jun-xin (3295)

《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 汤鸿霄 陈吉宁 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)

2012年9月15日 33卷 第9期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 9 Sep. 15, 2012

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. sciencecp. com	Distributed	by	Science Press Tel: 010-64017032 E-mail: journal@mail. sciencecp. com
订 购 处	全国各地邮局	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: 70.00 元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行人