

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第2期

Vol.34 No.2

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

16 届亚运会期间广州城区 PM _{2.5} 化学组分特征及其对霾天气的影响	陶俊, 柴发合, 高健, 曹军骥, 刘随心, 张仁健 (409)
北京地区秋季雾霾天 PM _{2.5} 污染与气溶胶光学特征分析	赵秀娟, 蒲维维, 孟伟, 马志强, 董璠, 何迪 (416)
上海市秋季大气 VOCs 对二次有机气溶胶的生成贡献及来源研究	王倩, 陈长虹, 王红丽, 周敏, 楼晟荣, 乔利平, 黄成, 李莉, 苏雷燕, 牟莹莹, 陈宜然, 陈明华 (424)
杭州市大气超细颗粒物浓度谱季节性特征	谢小芳, 孙在, 付志民, 杨文俊, 林建忠 (434)
保定市大气气溶胶中正构烷烃的污染水平及来源识别	李杏茹, 杜熙强, 王英锋, 王跃思 (441)
春节期间西安城区碳气溶胶污染特征研究	周变红, 张承中, 王格慧 (448)
华东区域高山背景点 PM ₁₀ 和 PM _{2.5} 背景值及污染特征	苏彬彬, 刘心东, 陶俊 (455)
基于电子鼻土壤与地下水污染修复现场 TVOC 和恶臭的评估	田秀英, 蔡强, 刘锐, 张永明 (462)
积融雪控制下土壤大气间汞交换通量特征	张刚, 王宁, 艾建超, 张蕾, 杨净, 刘子琪 (468)
靖海湾重金属污染及铅稳定同位素溯源研究	徐林波, 高勤峰, 董双林, 刘佳, 傅秀娟 (476)
正构烷烃及单体碳同位素记录的石臼湖生态环境演变研究	欧杰, 王延华, 杨浩, 胡建芳, 陈霞, 邹军, 谢云 (484)
干旱区城市昌吉降雪及积雪中 PGEs 含量分布及其影响因素	刘玉燕, 刘浩峰, 张兰 (494)
降尘收集方法对降尘效率的影响	张正偲, 董治宝 (499)
海河流域水生生态功能一级二级分区	孙然好, 汲玉河, 尚林源, 张海萍, 陈利顶 (509)
长江中下游浅水湖泊水下辐照度漫射衰减特征研究	时志强, 张运林, 王明珠, 刘笑茵 (517)
内陆水体叶绿素反演模型普适性及其影响因素研究	黄昌春, 李云梅, 徐良将, 杨浩, 吕恒, 陈霞, 王延华 (525)
溶氧对富集培养的河口湿地表层沉积物氨氧化菌多样性及氨氧化速率的影响	邱昭政, 罗专溪, 赵艳玲, 颜昌宙 (532)
自然条件下盐城海滨湿地土壤水分/盐度空间分异及其与植被关系研究	张华兵, 刘红玉, 李玉凤, 安静, 薛星宇, 侯明行 (540)
淮河流域农业非点源污染空间特征解析及分类控制	周亮, 徐建刚, 孙东琪, 倪天华 (547)
高岚河不同降雨径流类型磷素输出特征	崔玉洁, 刘德富, 宋林旭, 陈玲, 肖尚斌, 向坤, 张涛 (555)
城市雨水径流水质演变过程监测与分析	董雯, 李怀恩, 李家科 (561)
复合人工湿地系统强化处理单元的运行特性与效果	任峰, 陆忆夏, 刘琴, 汤杨杨, 王世和, 高海鹰, 乔红杰, 王为进 (570)
给水管网中耐氯分枝杆菌的灭活特性及机制研究	郑琦, 陈超, 张晓健, 陆品品, 刘源源, 陈雨乔 (576)
1 株溶藻菌的部分生物学特性及溶鱼腥藻作用	李三华, 张奇亚 (583)
水生植物热解生物油中对肋骨藻抗氧化酶活性的影响	姚远, 李锋民, 李媛媛, 单时, 李杰, 王震宇 (589)
TiO ₂ 光催化联合技术降解苯酚机制及动力学	张轶, 黄若男, 王晓敏, 王齐, 丛燕青 (596)
皮革废水有机污染物生物降解特性研究	王勇, 李伟光, 杨力, 宿程远 (604)
链霉菌 FX645 对偶氮染料红 AR30 的降解机制研究	谢练武, 方继前, 郭亚平 (611)
一种负载型生物载体的制备及性能研究	杨基先, 曾红云, 周义, 邱珊, 马放, 王蕾, 肖大伟 (616)
基于污泥资源化利用的蛋白核小球藻 (<i>Chlorella pyrenoidosa</i>) 培养研究	嵇雯雯, 夏会龙, 方治国, 刘惠君 (622)
温和热处理对低有机质污泥厌氧消化性能的影响	陈汉龙, 严媛媛, 何群彪, 戴晓虎, 周琪 (629)
天然和水热合成针铁矿对有机物厌氧分解释放 CH ₄ 的影响	姚敦璠, 陈天虎, 王进, 周飞跃, 岳正波 (635)
蚀刻废液及其回收后生产的铜盐产品中 PCDD/Fs 含量水平及分布特征	青宪, 韩静磊, 温炎桑 (642)
基于特定场地污染概念模型的健康风险评估案例研究	钟茂生, 姜林, 姚珏君, 夏天翔, 朱笑盈, 韩丹, 张丽娜 (647)
区域地下水污染风险评价方法研究	杨彦, 于云江, 王宗庆, 李定龙, 孙宏伟 (653)
地下水有机污染源识别技术体系研究与示范	王晓红, 魏加华, 成志能, 刘培斌, 纪轶群, 张干 (662)
祁连山不同海拔土壤有机碳库及分解特征研究	朱凌宇, 潘剑君, 张威 (668)
黑土有机碳、氮及其活性对长期施肥的响应	骆坤, 胡荣桂, 张文菊, 周宝库, 徐明岗, 张敬业, 夏平 (676)
根茬连续还田对镉污染农田土壤中镉赋存形态和生物有效性的影响	张晶, 于玲玲, 辛木贞, 苏德纯 (685)
长期施肥措施下稻田土壤有机质稳定性研究	罗璐, 周萍, 童成立, 石辉, 吴金水, 黄铁平 (692)
外源 Cr(Ⅲ) 在我国 22 种典型土壤中的老化特征及关键影响因子研究	郑顺安, 郑向群, 李晓辰, 刘书田, 姚秀荣 (698)
某林丹生产企业搬迁遗留场地土壤中六六六的残留特征	潘峰, 王利利, 赵浩, 尤奇中, 刘林 (705)
大型炼锌厂周边土壤及蔬菜的汞污染评价及来源分析	刘芳, 王书肖, 吴清茹, 林海 (712)
天津成人头发指甲中有机氟污染物的残留特征	姚丹, 张鸿, 柴之芳, 沈金灿, 杨波, 王艳萍, 刘国卿 (718)
沉积物中雌激素及壬基酚、辛基酚、双酚 A 的测定	吴唯, 史江红, 陈庆彩, 张晖, 刘晓薇 (724)
动物饲料中砷、铜和锌调查及分析	姚丽贤, 黄连喜, 蒋宗勇, 何兆桓, 周昌敏, 李国良 (732)
氟虫双酰胺在水稻和稻田中的残留动态研究	王点点, 宋宁慧, 吴文铸, 由宗政, 何健, 石利利 (740)
2 株降解菲的植物内生细菌筛选及其降解特性	倪雪, 刘娟, 高彦征, 朱雪竹, 孙凯 (746)
嗜盐拟香味菌 Y6 降解硝基苯的特性研究	厉阗, 钱坤, 肖伟, 王进军, 邓新平 (753)
固定化条件对苯系物细胞传感器检测效果的影响	唐阔, 马安周, 于清, 邓雪梅, 吕迪, 庄国强 (760)
16S rDNA 克隆文库分析高含盐生物脱硫系统细菌多样性	刘卫国, 梁存珍, 杨金生, 王桂萍, 刘苗苗 (767)
氨氮浓度对 CANON 工艺功能微生物丰度和群落结构的影响	刘涛, 李冬, 曾辉平, 畅晓燕, 张杰 (773)
筒青霉 (<i>Penicillium simplicissimum</i>) 对木质纤维素的降解及相关酶活性特征	沈莹, 胡天觉, 曾光明, 黄丹莲, 尹璐, 刘杨, 吴娟娟, 刘晖 (781)
石油污染土壤微生物群落结构与分布特性研究	杨萌青, 李立明, 李川, 李广贺 (789)
土霉素在鸡粪好氧堆肥过程中的降解及其对相关参数的影响	王桂珍, 李兆君, 张树清, 马晓彤, 梁永超 (795)
生活垃圾填埋过程含水率变化研究	李睿, 刘建国, 薛玉伟, 张媛媛, 岳东北, 聂永丰 (804)
动物消化机制用于木质纤维素的厌氧消化	吴昊, 张盼月, 郭建斌, 吴永杰 (810)
《环境科学》征订启事 (447)	《环境科学》征稿简则 (493)
信息 (508, 588, 610, 731)	专辑征稿通知 (788)

保定市大气气溶胶中正构烷烃的污染水平及来源识别

李杏茹¹, 杜熙强¹, 王英锋¹, 王跃思^{2*}

(1. 首都师范大学化学系, 分析测试中心, 北京 100048; 2. 中国科学院大气物理研究所 LAPC, 北京 100029)

摘要: 有机物已成为我国城市大气颗粒物中重要组成部分。为认知河北工业城市大气颗粒物中有机物浓度水平和来源, 于2010年9月~2011年8月, 利用安德森9级惯性撞击式颗粒物采样器在河北省保定市采集了大气颗粒物样品, 采用有机溶剂萃取-气相色谱/质谱法定量分析了其中的正构烷烃。结果表明, 采样期间保定市大气细粒子日均浓度67%超过GB 3095-2012二级标准 $75 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 约96%超过国家可吸入颗粒物浓度标准 $150 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。颗粒物中检测出C14~C32正构烷烃19种, 浓度范围111.23~979.81 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$, 日均浓度264.2 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$; 4个季节的主峰碳各有不同, 冬春季主峰碳为C20、C21和C22, 夏季为C27; 春、夏、秋、冬CPI值分别为0.97、1.24、0.92、0.86, 平均值为1.01。冬春季正构烷烃主要受控于化石燃料燃烧和汽车尾气排放, 夏秋季还同时受到高等植物角质蜡层的挥发影响, 全年以人为源的影响为主。

关键词: 保定; 大气气溶胶; 正构烷烃; 污染特征; 来源识别

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)02-0441-07

Pollution Characteristics and Source Identification of Atmospheric Particulate Matters *n*-Alkanes in Baoding City

LI Xing-ru¹, DU Xi-qiang¹, WANG Ying-feng¹, WANG Yue-si²

(1. Analysis and Testing Center, Department of Chemistry, Capital Normal University, Beijing 100048, China; 2. LAPC, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: Organic matter has been a very important component in the ambient particulate matter of big cities in China. In order to investigate the mass concentrations and sources of the organic matter which are adsorbed in ambient particulate matters in the industry cities of Hebei province, aerosol samples were collected with Anderson sampler during Sep. 2009 to Aug. 2010, in Baoding city, Hebei province. The concentration of *n*-alkanes was determined via GC-MS. About 66.7% of the daily average concentrations of fine particulate matters were higher than the 24-hour average threshold value of class II standard of the ambient air quality standard (GB 3095-2012, $75 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). About 96% of the daily average concentrations of inhalable particles were higher than $150 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (GB 3095-2012). The total concentration of *n*-alkanes was in the range of 111.23~979.81 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ with an average of 264.2 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$. The *n*-alkene homologues from C14 to C32 were detected with different peak carbon numbers ranging from 20 to 27 in different seasons. In summer, the peak carbon number was 27, while it was C20, C21 or C22 in winter and spring. The CPI values were 0.97, 1.24, 0.92 and 0.86 in spring, summer, autumn and winter, respectively, with an average of 1.01. These results indicated that the incomplete combustion of fossil fuel and vehicle emissions was the main resource of *n*-alkanes in winter and spring, and the high plant waxes were playing a major role in summer and autumn. The primary sources were anthropogenic activities all year round.

Key words: Baoding; particulate matters; *n*-alkanes; pollution characteristics; source identification

中国经济高速增长的同时, 人口持续向城镇集聚, 使我国城市化进程得以快速前进。然而, 城市的局地大气污染却也逐渐演变为区域性复合大气污染, 已成为目前各个城市面临的重大环境问题之一。大气复合污染表现为大气氧化性物种和细颗粒物浓度增高、大气能见度显著下降和环境恶化, 且大有向周边区域蔓延的趋势^[1]。大气颗粒物在大气环境中发挥着重要的作用^[2], 这些颗粒物主要分成两部分, 细粒子(空气动力学直径 $<2.5 \mu\text{m}$)和粗粒子(空气动力学直径 $>2.5 \mu\text{m}$)^[3,4]。

颗粒物携带的有机物大部分具有致毒性, 致癌性, 致畸性^[5,6]。自20世纪80年代以来, 对于大气颗粒物中的有机物, 国内外一直都有广泛而持续的

研究^[7~11]。作为颗粒物中的重要组成成分之一的正构烷烃(*n*-alkane)^[12], 随着分子量的不断增大, 正构烷烃的麻醉性也随之增强。当碳数 >16 时, 随碳数的进一步增加, 正构烷烃的危害也越来越大, 不但能损伤皮肤, 甚至有产生皮肤癌的危险^[13]。正构烷烃因其活性和挥发性低, 使其成为气溶胶迁移和颗粒物来源研究中的标志物之一^[14]。国内外的学者对正构烷烃的时空变化和来源等问题一直进行着相关的

收稿日期: 2012-04-24; 修订日期: 2012-08-17

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-Q02-03); 北京市科技计划项目(D09040903670902)

作者简介: 李杏茹(1979~), 女, 博士, 讲师, 主要研究方向为气溶胶有机化学。

* 通讯联系人, E-mail: wys@mail.iap.ac.cn

研究^[15~20],目前的研究结果表明^[21],烷烃主要的来源分为人为源和自然源。人为源包括化石燃料的燃烧,木材和农村秸秆的燃烧;自然源包括高等植物角质蜡层的排放,花粉,悬浮的孢子、微生物和昆虫的排放等。

近年来,我国对大气颗粒物的研究主要集中在发达的沿海城市及人口众多的内陆大城市,如北京、广州、兰州、南京、天津等地^[22~28],而且以往的研究表明污染物在城市间的跨区域输送也很明显^[29,30]。保定市在北京市西南方向约 150 km 处,与北京、天津构成黄金三角,素有“首都南大门”之称,人口众多,经济发达,气候条件属暖温带大陆性季风气候,秋冬季节干燥少雨,夏季湿热。作为北京周边的中型城市,鲜见有对保定市大气气溶胶的污染情况的具体研究,只有齐学先^[31]提及保定市大气环境中 PM₁₀ 的污染,因此,此次选择保定作为研究区域,不仅填补了有专门针对保定大气气溶胶污染的研究数据,而且也为京津冀地区大气污染的运输转移提供一定的参考。同时,国家环境保护部将于 2016 年颁布 PM_{2.5} 国家标准,以期为其提供一定的保定市污染背景资料。

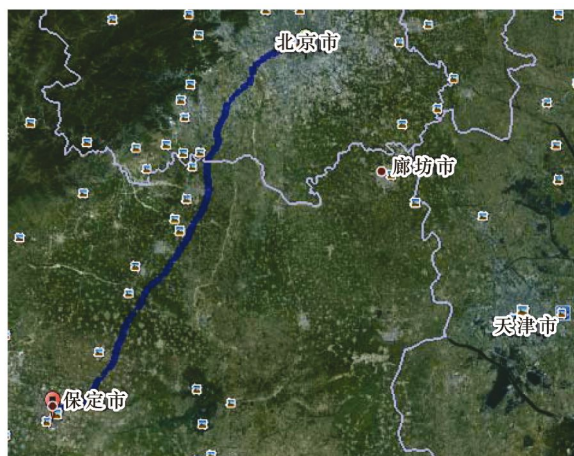


图 1 保定市地理位置示意

Fig. 1 Location of sampling city

1 材料与方法

1.1 实验仪器及药品试剂

仪器:颗粒物采样器(Thermal Anderson,美国),气相色谱-质谱联用仪(Thermo Finnigan TRACE DSQ II,美国),HP-5MS 弹性石英毛细柱(30 m × 0.25 mm × 0.25 μm),氮气吹干仪(N-EVAP™ 116,美国),旋转蒸发仪(Büchi,瑞典),马弗炉(EYELA TMF-2200,日本),十万分之一电子天平(Sartorius,

德国);恒温恒湿箱,超声波清洗仪等均为国产。

药品及试剂:二氯甲烷、正己烷、甲醇(Fisher scientific,美国)均为色谱纯;正构烷烃混标:C14~C32、内标物六甲基苯(Supelco,美国);无水硫酸钠、分析纯、硅胶(80~100目)、三氧化二铝(100~200目)均为国内产品,使用前抽提 72 h,并进行活化处理。

1.2 样品的采集

采样点为河北农业大学西校区一工作间房顶,采样器距离地面约 10 m,采样点接近城市中心地带,周边无高大建筑物和典型污染源。采样时间从 2010 年 9 月~2011 年 8 月,历时 1 a,每月上旬和下旬各采集一次,每次 24 h(从第一天上午 10:00 开始,次日上午 10:00 结束),共采集样品数 24 份,雨天不采样。采样器为 Andersen 分级采样器(流速:28.3 L·min⁻¹),粒子的 50% 切割等效空气动力学粒径(EAD)为 9.0、5.8、4.7、3.3、2.1、1.1、0.65 和 0.43 μm。采样器采集一定数量的样品后,切割器孔容易堵塞,若遇此情况,则将切割头取下,先放于超声波清洗仪超声清洗 0.5 h,风干后,用棉签蘸上适量酒精擦拭切割头至光洁干净为止。采样选用玻璃纤维滤膜,采样前将玻璃纤维滤膜在马弗炉中 450℃ 焙烧 4 h,以消除可能的有机物,冷却后放入恒温恒湿箱中平衡 24 h(温度:25℃,湿度 50%),用十万分之一的精密电子天平称重。采样后的滤膜用铝箔封装后带回实验室,恒温恒湿 24 h(温度:25℃,湿度 50%),用十万分之一的精密电子天平称重后放入冰箱中低温冷冻保存至分析。采样期间同步记录气象信息(见表 1)。

表 1 采样期间气象参数

Table 1 Meteorological parameters during sampling periods				
采样季节	降雨量 /mm	平均风速 /m·s ⁻¹	平均温度 /℃	平均相对湿度 /%
秋	0.91	1.29	13.73	58.92
冬	0.11	1.83	-2.41	44.21
春	0.47	2.99	13.58	46.72
夏	3.47	2.34	26.02	69.08

1.3 样品的前处理和分析

将每层滤膜裁成均等两份,每层取一半滤膜,粗粒子(视为 PM_{>2.1},粒径段 2.1~3.3 μm、3.3~4.7 μm、4.7~5.8 μm、5.8~9.0 μm、>9.0 μm),细粒子(视为 PM_{2.1},粒径段 <0.43 μm、0.43~0.65 μm、0.65~1.1 μm、1.1~2.1 μm),各粒径段滤膜叠加一起,剪成细条状于锥形瓶中,用适量的二氯甲烷超声抽提 3 次,每次抽提 20 min,每次更换溶剂,

合并提取液并过滤,滤液在旋转蒸发仪上减压浓缩至即将干.将浓缩液滴加在填装适量硅胶(10 cm)和氧化铝(10 cm)的层析柱中,依次用 70 mL 正己烷、70 mL 正己烷/二氯甲烷(1:1,体积比)和 40 mL 甲醇洗脱,分别得到正构烷烃、多环芳烃和极性组分,将正构烷烃部分洗脱液旋转蒸发浓缩,加入六甲

基苯作为内标物,用氮吹仪缓缓吹至约 1 mL,最后定容至 1 mL,利用 GC-MS 进行分析检测.通过 GC-MS 的各项控制参数,使样品的分离和检测达到最佳效果,仪器的分析条件见表 2.目标化合物通过与标准物质比对保留时间及质谱图定性分析,内标法定量分析.

表 2 GC-MS 主要仪器控制参数
Table 2 Operating parameters for GC-MS

GC 参数	设定值	MS 参数	设定值
载气	高纯氮气(≥99.999%)	电离方式	EI
色谱柱	HP-5MS(J&W) 30 m×0.25 mm×0.5 μm	电子能量	70 eV
进样方式	手动进样	离子源温度	230℃
进样量	1 μL,无分流	四极杆温度	150℃
进样口温度	250℃	扫描方式	全扫描
溶剂延迟时间	6.0 min	扫描质量范围	50~550 u
柱流量	1.0 mL·min ⁻¹ 恒流模式	扫描频率	2.96 Scans·s ⁻¹
升温程序	50℃恒温 5 min,以 15℃·min ⁻¹ 升至 160℃,保持 5 min,以 5℃·min ⁻¹ 升至 300℃,恒温 15 min	倍增器电压	1 100 V
		离子化电流	300 μA

1.4 质量保证与质量控制

试剂空白、实验室空白、野外空白和回收率实验,结果表明实验符合空白质量保证和质量控制要求,各类碳数烷烃标准曲线线性良好, R^2 均大于 0.955,回收率为 72%~115%.采样所用的玻璃纤维滤膜,采样前在马弗炉中 450℃焙烧 4 h,尽可能地消除因滤膜中含有有机物而引起自身本底值过高的误差.

2 结果与分析

2.1 颗粒物粒径分布

由于所用采样器没有 2.5 μm 的切割直径,因此将 2.1 μm 作为粗细粒子的分割点.在 2010 年 9 月~2011 年 8 月的采样期间,4 个季节中,秋、冬、春、夏细粒子的平均浓度分别为 161.3、291.2、56.8、63.9 μg·m⁻³,粗粒子的平均浓度分别为 159.8、287.3、133.7、109.6 μg·m⁻³.冬季细粒子的质量浓度明显地高于其他 3 个季节,是全年平均值的 2.11 倍.在冬季,粗粒子也表现出很高的浓度值,这可能与冬季中大风卷起的沙尘有密切关系,加上冬季气温低,降水少,颗粒物不易去除,故表现出较高的浓度值.4 个季节中,细粒子与粗粒子的浓度比值范围为 0.42~1.01,秋、冬、春、夏这 4 个季节分别为 1.01、1.02、0.42、0.58,在秋冬两季排放量均等,而春夏两季中,随着天气温度的回升,来自于化石燃料燃烧带来的细粒子排放有明显的降低.

4 个季节颗粒物的粒径分布呈相似的双峰型结

构,如图 2 所示.细粒子中粒径段 0.65~1.1 μm 有最大值,占整个粒径的 6.4%~14.9%,可见,在研究城市的颗粒物污染时,对粒径较小的细粒子的研究很有必要;粗粒子中粒径段 4.7~5.8 μm 呈现最大值,占整个粒径段的 21.2%~26.8%.有资料显示^[1],粒径分布规律能较好地反映出颗粒物的来源特征,粒径<2.5 μm 的粒子主要来源于燃烧过程所产生的蒸汽冷凝、凝结,以及由大气化学反应所产生的各种气体分子转化成的二次颗粒物等;而粒径>2.5 μm 的粒子则主要来源于机械过程所造成的扬尘和风砂等一次粒子.

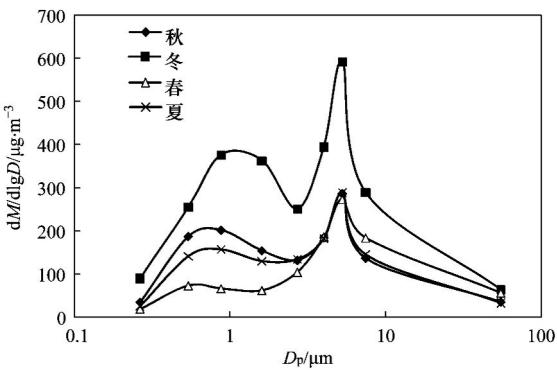


图 2 颗粒物粒径分布示意
Fig. 2 Size distribution of particulate matter

2.2 粗、细粒子中正构烷烃的季节变化

正构烷烃的浓度也呈现出较强的季节变化,如图 3 所示.在 4 个季节中,秋、冬、春、夏的平均总浓度情况分别为 230.4、496.2、150.1、180.1

$\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$, 冬季 > 秋季 > 春季 > 夏季, 平均值为 $264.2 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$; 9 ~ 11 月为秋季, 高等植物叶子的角质蜡层相互摩擦及植物残体腐烂后的排放, 导致秋季的烷烃排放量增大, 另外, 每年秋季, 华北地区农作物秸秆、树叶、枯草等生物质燃烧普遍^[32~36], 也是秋季烷烃的排放量较大的原因之一; 进入冬季 (12 月 ~ 次年 2 月) 后, 天气温度开始逐渐下降, 供暖燃煤使用量的却日渐增多, 导致冬季烷烃的浓度值居高不下, 在 2 月, 其值达到最大值 $1725.1 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$, 此外, 在冬季有诸多不利的大气环境因素, 如低温, 冬季平均温度 -2.41°C (见表 1), 低混合层高度等都对污染物的扩散起着阻碍作用; 进入 3 月中旬后, 北方各地都陆续停止供暖, 燃煤的需求也逐渐下降, 所以春季 (3 ~ 5 月) 的浓度值较冬季值有非常大的下降; 而到了夏季 (6 ~ 8 月), 由于草木的繁盛茂密, 高等植物排放的正构烷烃应大有增长, 可夏季的雨量充沛, 降水量也是全年最大的, 夏季平均降雨量 3.47 mm (见表 1), 明显高于其他 3 个季节, 故雨水的清除作用也表现得最为明显。

有机物是大气气溶胶的主要组分, 占气溶胶总质量的 10% ~ 50%^[37]. 我国城市大气细粒子中有机物含量很高, 呈现出颗粒有机物污染严重的特点^[38]. 正构烷烃在细粒子中的含量约占 24% ~ 35%^[39], 而保定市正构烷烃浓度值在颗粒物中的比重均低于上述研究数据, 在粗粒子中约占 5.2% ~ 11.3%, 在细粒子中约占 4.9% ~ 13.2%, 表明保定市大气颗粒物中的其他污染物占有更大的比重。

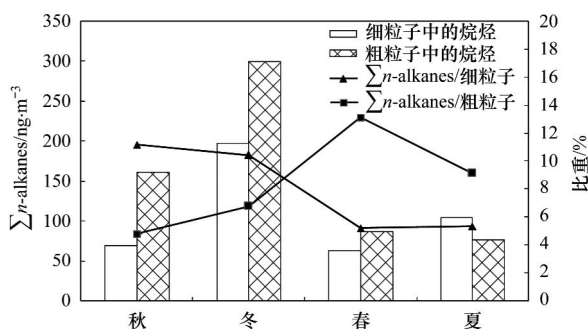


图 3 4 个季节中 $\text{PM}_{2.1}$ 和 $\text{PM}_{2.5}$ 中正构烷烃含量及其比重

Fig. 3 Seasonal variation of $\sum n\text{-alkanes}$ mass concentration in $\text{PM}_{2.1}$ and $\text{PM}_{2.5}$

2.3 正构烷烃各碳数的季节变化

在不同的采样季节里, 正构烷烃的碳数分布呈现不同的分布类型 (见图 4). 最为明显的便是冬季的前峰型, C16 ~ C21 之间的烷烃同系物都有较高浓度, C21 的浓度值最大; C25 ~ C32 的浓度值相差都

不大, 较 C16 ~ C21 的浓度值相比要小很多; 夏季呈后峰型分布, 而且各个碳数的烷烃浓度都比其他 3 个季节的低, 夏季时分, 正构烷烃主要来源于植物蜡的挥发, 保定的夏季东南季风盛行, 风力较大, 对污染物的扩散大为有利, 此峰型分布结果与成玉等^[40]的研究结论相似. 秋季与春季的碳数分布没有明显的峰型变化, 各烷烃同系物的浓度值差距也不大, 但秋季跟夏季的情况相比, 数值略高, 说明在秋冬两季, 保定的排放源都较稳定单一, 而且排放时间与强度都较大, 其浓度稍高的集中在 C16 ~ C22 之间, 对于碳数 > 26 的正构烷烃, C26 和 C27 的浓度稍高些, 但并没有出现明显的奇偶效应, 与其他地区的研究结果有不一致的地方^[41,42], 表明保定地区可能有其他因素的影响。

化石燃料燃烧排放的烷烃多呈短中链, 即以 < C24 为主, 而 > C24 的烷烃则主要来自于植物蜡的排放^[43,44]. 以峰型较为明显的冬夏两季为例. 在冬季的时候, < C24 的烷烃同系物浓度总值和 > C24 烷烃同系物浓度总值的数值分别为 $1837.6 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $444.1 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$, 两者比值为 4.14. 而在夏季, 两者的数值分别为 $330.3 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $554.4 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$, 比值为 0.59. 烷烃同系物不同季节的比值不同, 明显表现出季节排放的差异。

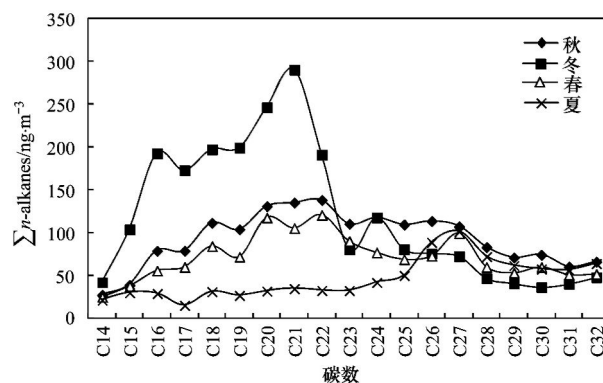


图 4 采样点正构烷烃浓度的季节变化和碳数分布

Fig. 4 Seasonal variations of mass concentration and carbon number contribution

2.4 正构烷烃的来源分析

常用于鉴别和评价正构烷烃来源的参数有: 最大浓度碳数 (C_{max})、碳优势指数 (CPI)、低分子量与高分子量烷烃比值 (LMW/HMW)、植物蜡 (WaxC_n)^[45].

Simoneit 等^[45]最初将 CPI 做为污染物的人为来源和天然来源的参考指标, 公式定义为:

$$\text{CPI} = \frac{\sum C_{\text{奇数}}}{\sum C_{\text{偶数}}}$$

式中, $\sum C_{\text{奇数}}$ 为碳数为奇数的正构烷烃含量总和; $\sum C_{\text{偶数}}$ 为碳数为偶数的正构烷烃含量总和. CPI 值用于气溶胶中正构烷烃分布特征和来源方面的研究, Simoneit 等^[45]曾对城市与郊区大气飘尘中正构烷烃进行了研究, 认为 CPI ≈ 1 时, 大气飘尘中的污染物主要来自于化石燃料或生物质(如木材、农产品残渣)的不完全燃烧等人为来源; $1 < \text{CPI} < 3$ 时, 则污染物主要来源于高等植物、细菌等现代生物和化石燃料的双重来源, 气溶胶颗粒中正构烷烃的 CPI 值越大, 说明来自植物排放的正构烷烃的比例越高.

在保定市采样期间, 粗粒子在秋、冬、春、夏 4 个季节的 CPI 值分别为 0.84、0.83、0.99、1.67, 平均值为 1.08; 细粒子在秋、冬、春、夏 4 个季节的 CPI 值分别为 1.06、0.88、0.93、0.96 平均值为 0.96. 表明无论是粗粒子样品还是细粒子, 4 个季节的石油、煤等化石燃料的燃烧等人为了输入是大气中正构烷烃的主要来源, 尤其是在冬季采暖期, 工业用煤和居民取暖用煤的使用量都很大, 高等植物因气温较低等原因排放量的减少, 都使得人为源成为烷烃污染的主要来源.

为进一步区分天然源和人为源对正构烷烃的贡献, Simoneit 等^[46]认为植物来源的正构烷烃($>C_{24}$)的贡献率, 可以通过以下公式计算: $\% \text{WaxC}_n = 100[C_n - 0.5(C_{n-1} + C_{n+1})] / \sum C_n$ ^[46], 式中, n 表示碳数; $[C_n]$ 表示碳数为 n 的正构烷烃的含量; WaxC_n 代表植物来源的正构烷烃含量. 结果显示, 粗粒子样品中 $\% \text{WaxC}_n$ 值夏、秋、春、冬季分别为 51.24%、37.26%、22.41%、20.16%, 平均值为 32.77%; 细粒子样品中 $\% \text{WaxC}_n$ 值夏、秋、春、冬季分别为 39.88%、32.39%、19.23%、15.52%, 平均值为 26.76%. 可知, 在 4 个季节中, 生物源的贡献可达到 19.23% ~ 51.24%, 尤其是夏季, 生物源的贡献最高可达到 51.24%. 夏季高等植物生长茂盛, 天然排放的正构烷烃量异常明显. 同时, 随着季节的变化, $\% \text{WaxC}_n$ 值也发生一定的波动, 这表明正构烷烃的主要来源在天然源和人为源之间发生着主次变化.

3 结论

(1) 于 2010 年 9 月 ~ 2011 年 8 月采样期间, 河北工业城市保定大气中可吸入颗粒物和细粒子质量浓度年均值分别为 $172.6 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 、 $143.3 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$;

粗粒子和细粒子浓度季节变化形式为冬 > 秋 > 春 > 夏, 浓度范围分别为 $657.6 \sim 1724.3 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 和 $340.9 \sim 1747.3 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. 保定市大气中粗、细粒子污染均十分严重.

(2) 有机物中的正构烷烃在粗粒子中含量 5.2% ~ 11.3%, 在细粒子中的含量 4.9% ~ 13.2%; 正构烷烃在 4 个季节中的浓度值, 呈现冬 > 秋 > 春 > 夏的特征. 最大浓度碳数(C_{max}), 碳优势指数(CPI), 低分子量与高分子量烷烃比值(LMW/HMW)和 WaxC_n 的结果均表示, 保定大气中正构烷烃的源排放随季节的变化而变化. 秋冬季节的排放主要源自供暖需求和工业用途的化石燃料的燃烧, 大量生物质的燃烧等; 春夏季节主要来自高等植物蜡的排放, 但由于污染物的排放强度减弱, 而且在夏季雨量充沛, 易于污染物的去除, 空气质量表现良好.

(3) 鉴于保定市大气中粗、细粒子污染均十分严重的现状, 不能仅关注细粒子及其气态前体物的控制, 必须同时控制粗粒子排放, 尤其是燃煤、柴油车排放和道路扬尘等来源的调控.

参考文献:

- [1] 胡敏, 何凌燕, 黄晓峰. 北京大气细粒子和超细粒子理化特征、来源及形成机制[M]. 北京: 科学出版社, 2009. 1-10.
- [2] 唐孝炎, 张远航, 邵敏. 大气环境化学[M]. (第二版). 北京: 高等教育出版社, 2006. 268-305.
- [3] Finlayson-Pitts B J, Pitts J N Jr. Tropospheric air pollution: ozone, airborne toxics, polycyclic aromatic hydrocarbons, and particles[J]. Science, 1997, **276**(5315): 1045-1052.
- [4] Chan C K, Yao X H. Air pollution in mega cities in China[J]. Atmospheric Environment, 2008, **42**(1): 1-42.
- [5] Lewtas J. Human exposure to complex-mixtures of air-pollutants[J]. Toxicology Letters, 1994, **72**(1-3): 163-169.
- [6] Atkinson R, Arey J. Atmospheric chemistry of gas-phase polycyclic aromatic-hydrocarbons-formation of atmospheric mutagens[J]. Environmental Health Perspectives, 1994, **102**(Suppl.4): 117-126.
- [7] Ketseridis G, Hahn J, Jaenicke R, et al. The organic constituents of atmospheric particulate matter[J]. Atmospheric Environment, 1976, **10**(8): 603-610.
- [8] Broddin G, Cautreels W, Van Cauwenberghe K. On the aliphatic and poly aromatic hydrocarbon levels in urban and back ground aerosols from Belgium and the Netherlands[J]. Atmospheric Environment, 1980, **14**(6): 895-910.
- [9] Jaffrezzo J L, Clain M P, Masclet P. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the polar ice of greenland. Geochemical use of these atmospheric traces[J]. Atmospheric Environment, 1994, **28**(6): 1139-1145.
- [10] 陈宗良, 竺迈恺, 徐振全, 等. 大气颗粒物溶剂萃取物及其

- 日变化和致突变的初步研究[J]. 环境化学, 1982, **1**(4): 267-273.
- [11] 陈宗良, 张孟威, 徐振全, 等. 北京大气颗粒有机物的污染水平及其源的识别[J]. 环境科学学报, 1982, **5**(1): 38-45.
- [12] Huang X F, He L Y, Hu M, *et al.* Annual variation of particulate organic compounds in PM_{2.5} in the urban atmosphere of Beijing [J]. Atmospheric Environment, 2006, **40**(14): 2449-2458.
- [13] 堀口博, 刘文宗, 张凤臣, 等译. 公害与毒物、危险物(有机篇)[M]. 北京: 石油化学工业出版社, 1978. 11-17.
- [14] Gelencsér A, Barcza T, Kiss G, *et al.* Distribution of *n*-alkanes and PAHs in atmospheric aerosols[J]. Atmospheric Research, 1998, **46**(3-4): 223-231.
- [15] Duan F K, He K B, Liu X D. Characteristics and source identification of fine particulate *n*-alkanes in Beijing, China[J]. Journal of Environmental Sciences, 2010, **22**(7): 998-1005.
- [16] Li W F, Peng Y, Bai Z P. Distributions and sources of *n*-alkanes in PM_{2.5} at urban, industrial and coastal sites in Tianjin, China [J]. Journal of Environmental Sciences, 2010, **22**(10): 1551-1557.
- [17] Guo Z G, Lin T, Zhang G, *et al.* Occurrence and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons and *n*-alkanes in PM_{2.5} in the roadside environment of a major city in China[J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, **170**(2-3): 888-894.
- [18] Pietrogrande M C, Mercuriali M, Perrone M G, *et al.* Distribution of *n*-Alkanes in the Northern Italy aerosols: data handling of GC-MS signals for homologous series characterization [J]. Environmental science and Technology, 2010, **44**(11): 4232-4240.
- [19] 姚利, 李杏茹, 郭雪清, 等. 2007 年春节期间北京大气细粒子中正构烷烃的污染特征[J]. 环境科学, 2009, **30**(2): 589-593.
- [20] 张云, 张成君. 兰州市大气降尘中正构烷烃的分布特征及源解析[J]. 环境监测管理与技术, 2010, **22**(4): 23-26.
- [21] Simoneit B R T. Organic-matter in eolian dusts over the Atlantic Ocean[J]. Marine Chemistry, 1977, **5**(4-6): 443-464.
- [22] 周家斌, 王铁冠, 黄云碧, 等. 北京地区大气颗粒物中正构烷烃的粒径分布及污染源示踪研究[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2004, **28**(5): 121-125, 130.
- [23] 周立. 二步浓缩进样-GC/MS 法分析和研究大气痕量有机污染物——以北京为例[D]. 北京: 中国科学院大气物理研究所, 2000. 39-42.
- [24] 郭方琴, 张成君, 张云, 等. 兰州市大气沉降尘中正构烷烃分布及环境意义[J]. 环境科学与技术, 2009, **32**(2): 9-11.
- [25] 张睿, 蔡旭辉, 宋宇. 北京地区大气污染物时空分布及累积效应分析[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2004, **40**(6): 930-938.
- [26] 吴水平, 左谦, 陶澍, 等. 京津地区不同粒径大气颗粒物中的有机污染物[J]. 农业环境科学学报, 2004, **23**(3): 578-583.
- [27] Bi X H, Sheng G Y, Peng P A, *et al.* Size distribution of *n*-alkanes and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in urban and rural atmospheres of Guangzhou, China [J]. Atmospheric Environment, 2005, **39**(3): 477-487.
- [28] 牛红云, 赵欣, 戴朝霞, 等. 南京市大气气溶胶中颗粒物和正构烷烃特征及来源分析[J]. 环境污染与防治, 2005, **27**(5): 363-367.
- [29] Zheng M, Wan T S M, Fang M, *et al.* Characterization of the non-volatile organic compounds in the aerosols of Hong Kong-identification, abundance and origin [J]. Atmospheric Environment, 1997, **31**(2): 227-237.
- [30] Guo Z G, Sheng L F, Feng J L, *et al.* Seasonal variation of solvent extractable organic compounds in the aerosols in Qingdao, China [J]. Atmospheric Environment, 2003, **37**(13): 1825-1834.
- [31] 齐学先, 保定市大气环境质量评价及砷污染特征分析[D]. 保定: 河北大学, 2009. 9-13.
- [32] Duan F K, Liu X D, Yu T, *et al.* Identification and estimate of biomass burning contribution to the urban aerosol organic carbon concentrations in Beijing [J]. Atmospheric Environment, 2004, **38**(9): 1275-1282.
- [33] Song Y, Tang X Y, Xie S D, *et al.* Source apportionment of PM_{2.5} in Beijing in 2004 [J]. Journal of Hazardous Materials, 2007, **146**(1-2): 124-130.
- [34] Rogge W F, Hildemann L M, Mazurek M A, *et al.* Sources of fine organic aerosol. 4. Particulate abrasion products from leaf surfaces of urban plants [J]. Environmental Science and Technology, 1993, **27**(13): 2700-2711.
- [35] Zheng M, Salmon L G, Schauer J J, *et al.* Seasonal trends in PM_{2.5} source contributions in Beijing, China [J]. Atmospheric Environment, 2005, **39**(22): 3967-3976.
- [36] Zheng X Y, Liu X D, Zhao F H, *et al.* Seasonal characteristics of biomass burning contribution to Beijing aerosol [J]. Science in China Series B (Chemistry), 2005, **48**(5): 481-488.
- [37] Seinfeld J H, Pandis S N. Atmospheric chemistry and physics-from air pollution to climate change[M]. New York: John Wiley and Sons, 1998. 112-115.
- [38] He K B, Yang F M, Ma Y L, *et al.* The characteristics of PM_{2.5} in Beijing, China [J]. Atmospheric Environment, 2001, **35**(29): 4959-4970.
- [39] Li L, Wang W, Feng J L, *et al.* Composition, source, mass closure of PM_{2.5} aerosols for four forests in eastern China [J]. Journal of Environmental Sciences, 2010, **22**(3): 405-412.
- [40] 成玉, 盛国英, 闵育顺, 等. 珠江三角洲气溶胶中正构烷烃分布规律、来源及其时空变化[J]. 环境科学学报, 1999, **19**(1): 96-100.
- [41] Young L, Wang C. Characterization of *n*-alkanes in PM_{2.5} of the Taipei aerosol [J]. Atmospheric Environment, 2002, **36**(3): 477-482.
- [42] Kalaitzoglou M, Terzi E, Samara C. Patterns and sources of particle-phase aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in urban and rural sites of western Greece [J]. Atmospheric Environment, 2004, **38**(16): 2545-2560.
- [43] Simoneit B R T. Organic matter of the troposphere-V.

- Application of molecular marker analysis to biogenic emissions into the troposphere for source reconciliations [J]. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 1989, **8**(3): 251-275.
- [44] Sicre M A, Peltzer E T. Lipid geochemistry of remote aerosols from the southwestern pacific Ocean sector [J]. *Atmospheric Environment*, 2004, **38**(11): 1615-1624.
- [45] Simoneit B R T, Sheng G Y, Chen X J, *et al.* Molecular marker study of extractable organic matter in aerosols from urban areas of China [J]. *Atmospheric Environment Part A. General Topics*, 1991, **25**(10): 2111-2129.
- [46] Simoneit B R T, Mazurek M A. Organic matter of the troposphere- II. Nature background of biogenic lipid matter in aerosols over the rural western United States [J]. *Atmospheric Environment*, 1982, **16**(9): 2139-2159.

欢迎订阅 2013 年《环境科学》

《环境科学》创刊于 1976 年,由中国科学院主管,中国科学院生态环境研究中心主办,是我国环境科学学科中最早创刊的学术性期刊。

《环境科学》自创刊以来,始终坚持“防治污染,改善生态,促进发展,造福人民”的宗旨,报道我国环境科学领域内具有创新性高水平,有重要意义的基础研究和应用研究成果,以及反映控制污染,清洁生产和生态环境建设等可持续发展的战略思想、理论和实用技术等。

《环境科学》在国内外公开发行,并在国内外科技界有较大影响,被国内外一些重要检索系统收录,如美国医学索引 MEDLINE;美国化学文摘 CA;俄罗斯文摘杂志 AJ;美国生物学文摘预评 BP;美国医学索引 IM;日本科学技术情报中心数据库 JICST;英国动物学记录 ZR;剑桥科学文摘(CSA):Environmental Sciences;剑桥科学文摘(CSA):Pollution Abstracts;剑桥科学文摘(CAS):Life Sciences Abstracts 等;国内的检索系统有中国科技论文统计与引文数据库(CSTPCD);中文科技期刊数据库(维普);中国期刊全文数据库(CNKI);数字化期刊全文数据库(万方);中国科学引文数据库(CSCD);中国生物学文摘等。

全国各地邮局均可订阅,如有漏订的读者可直接与编辑部联系,办理补订手续。

《环境科学》2013 年为大 16 开本,90 元/册,全年 12 期。

国内统一刊号:CN11-1895/X 国际标准刊号:ISSN 0250-3301

国外发行代号:M 205 国内邮发代号:2-821

编辑部地址:北京市海淀区双清路 18 号(2871 信箱) 邮编:100085

电话:010-62941102;传真:010-62849343;E-mail:hjlx@rcees.ac.cn;网址:www.hjlx.ac.cn

CONTENTS

Characterization of Chemical Compositions in PM _{2.5} and Its Impact on Hazy Weather During 16 th Asian Games in Guangzhou	TAO Jun, CHAI Fa-he, GAO Jian, <i>et al.</i>	(409)
PM _{2.5} Pollution and Aerosol Optical Properties in Fog and Haze Days During Autumn and Winter in Beijing Area	ZHAO Xiu-juan, PU Wei-wei, MENG Wei, <i>et al.</i>	(416)
Forming Potential of Secondary Organic Aerosols and Sources Apportionment of VOCs in Autumn of Shanghai, China	WANG Qian, CHEN Chang-hong, WANG Hong-li, <i>et al.</i>	(424)
Study on Number Concentration Distribution of Atmospheric Ultrafine Particles in Hangzhou	XIE Xiao-fang, SUN Zai, FU Zhi-min, <i>et al.</i>	(434)
Pollution Characteristics and Source Identification of Atmospheric Particulate Matters <i>n</i> -Alkanes in Baoding City	LI Xing-ru, DU Xi-qiang, WANG Ying-feng, <i>et al.</i>	(441)
Study on Pollution Characteristics of Carbonaceous Aerosols in Xi'an City During the Spring Festival	ZHOU Bian-hong, ZHANG Cheng-zhong, WANG Ge-hui	(448)
Characteristics of PM ₁₀ and PM _{2.5} Concentrations in Mountain Background Region of East China	SU Bin-bin, LIU Xin-dong, TAO Jun	(455)
Assessment of TVOC and Odor in the Remediation Site of Contaminated Soil and Groundwater Using Electronic Nose	TIAN Xiu-ying, CAI Qiang, LIU Rui, <i>et al.</i>	(462)
Characteristics of Mercury Exchange Flux Between Soil and Atmosphere Under the Snow Retention and Snow Melting Control	ZHANG Gang, WANG Ning, AI Jian-chao, <i>et al.</i>	(468)
Study on Heavy Metal Contaminations and the Sources of Pb Pollution in Jinghai Bay Using the Stable Isotope Technique	XU Lin-bo, GAO Qin-feng, DONG Shuang-lin, <i>et al.</i>	(476)
Eco-environmental Evolution Inferred from <i>n</i> -Alkanes and $\delta^{13}\text{C}$ Records in the Sediments of Shijiu Lake	OU Jie, WANG Yan-hua, YANG Hao, <i>et al.</i>	(484)
Distribution of PGEs Contents and Its Factors in Snowfall and Snow Cover over the Arid Region in Changji City	LIU Yu-yan, LIU Hao-feng, ZHANG Lan	(494)
Effect of Dust Deposition Collection Methods on Collection Efficiency	ZHANG Zheng-cai, DONG Zhi-bao	(499)
Regionalization of the Freshwater Eco-regions in the Haihe River Basin of China	SUN Ran-hao, JI Yu-he, SHANG Lin-yuan, <i>et al.</i>	(509)
Characteristics of Diffuse Attenuation Coefficient of Underwater Irradiance in the Lakes in the Middle and Lower Reaches of Yangtze River	SHI Zhi-qiang, ZHANG Yun-lin, WANG Ming-zhu, <i>et al.</i>	(517)
Study on Influencing Factors and Universality of Chlorophyll- <i>a</i> Retrieval Model in Inland Water Body	HUANG Chang-chun, LI Yun-mei, XU Liang-jiang, <i>et al.</i>	(525)
Effect of Dissolved Oxygen on Diversity of Ammonia-Oxidizing Microorganisms in Enrichment Culture from Estuarine Wetland Surface Sediments and Ammonia-oxidizing Rate	QIU Zhao-zheng, LUO Zhuan-xi, ZHAO Yan-ling, <i>et al.</i>	(532)
Spatial Variation of Soil Moisture/Salinity and the Relationship with Vegetation Under Natural Conditions in Yancheng Coastal Wetland	ZHANG Hua-bing, LIU Hong-yu, LI Yu-feng, <i>et al.</i>	(540)
Spatial Heterogeneity and Classified Control of Agricultural Non-Point Source Pollution in Huaihe River Basin	ZHOU Liang, XU Jian-gang, SUN Dong-qi, <i>et al.</i>	(547)
Phosphorus Output Characteristics Under Different Rainfall-Runoffs in Gaolan River	CUI Yu-jie, LIU De-fu, SONG Lin-xu, <i>et al.</i>	(555)
Monitoring and Analysis on Evolution Process of Rainfall Runoff Water Quality in Urban Area	DONG Wen, LI Huai-en, LI Jia-ke	(561)
Characteristics and Contribution of the Strengthening Units of Composite Constructed Wetland for Treating Urban Sewage	REN Feng, LU Yi-xia, LIU Qin, <i>et al.</i>	(570)
Inactivation of <i>Mycobacteria mucogenicum</i> in Drinking Water: Chlorine Resistance and Mechanism Analysis	ZHENG Qi, CHEN Chao, ZHANG Xiao-jian, <i>et al.</i>	(576)
Partial Biological Characteristics and Algicidal Activity of an Algicidal Bacterium	LI San-hua, ZHANG Qi-ya	(583)
Effects of Macrophytes Pyrolysis Bio-oil on <i>Skeletonema costatum</i> Antioxidant Enzyme Activities	YAO Yuan, LI Feng-min, LI Yuan-yuan, <i>et al.</i>	(589)
Mechanism and Kinetics of Phenol Degradation by TiO ₂ Photocatalytic Combined Technologies	ZHANG Yi, HUANG Ruo-nan, WANG Xiao-min, <i>et al.</i>	(596)
Biodegradation Characteristics of Organic Pollutants Contained in Tannery Wastewater	WANG Yong, LI Wei-guang, YANG Li, <i>et al.</i>	(604)
Microbial Degradation Mechanism of Disperse Azo Dye Red 30 by <i>Streptomyces</i> sp. FX645	XIE Lian-wu, FANG Ji-qian, GUO Ya-ping	(611)
Study on Preparation and Performance of a Biological Carrier with Tourmaline	YANG Ji-xian, ZENG Hong-yun, ZHOU Yi, <i>et al.</i>	(616)
Study on the <i>Chlorella pyrenoidosa</i> Cultivation Technology Based on the Excess Sludge Utilization	JI Wen-wen, XIA Hui-long, FANG Zhi-guo, <i>et al.</i>	(622)
Effects of Mild Thermal Pretreatment on Anaerobic Digestibility of Sludge with Low Organic Content	CHEN Han-long, YAN Yuan-yuan, HE Qun-biao, <i>et al.</i>	(629)
Effect of Natural and Hydrothermal Synthetic Goethite on the Release of Methane in the Anaerobic Decomposition Process of Organic Matter	YAO Dun-fan, CHEN Tian-hu, WANG Jin, <i>et al.</i>	(635)
Concentrations and Distribution Characteristics of PCDD/Fs in Spent Etching Solution and Its Copper Salt Recycling Products	QING Xian, HAN Jing-lei, WEN Yan-shen	(642)
Case Study on Health Risk Assessment Based on Site-Specific Conceptual Model	ZHONG Mao-sheng, JIANG Lin, YAO Jue-jun, <i>et al.</i>	(647)
Study on the Risk Assessment Method of Regional Groundwater Pollution	YANG Yan, YU Yun-jiang, WANG Zong-qing, <i>et al.</i>	(653)
Groundwater Organic Pollution Source Identification Technology System Research and Application	WANG Xiao-hong, WEI Jia-hua, CHENG Zhi-neng, <i>et al.</i>	(662)
Study on Soil Organic Carbon Pools and Turnover Characteristics Along an Elevation Gradient in Qilian Mountain	ZHU Ling-yu, PAN Jian-jun, ZHANG Wei	(668)
Response of Black Soil Organic Carbon, Nitrogen and Its Availability to Long-term Fertilization	LUO Kun, HU Rong-gui, ZHANG Wen-ju, <i>et al.</i>	(676)
Phytoavailability and Chemical Speciation of Cadmium in Different Cd-Contaminated Soils with Crop Root Return	ZHANG Jing, YU Ling-ling, XIN Shu-zhen, <i>et al.</i>	(685)
Study on Mechanism of SOM Stabilization of Paddy Soils Under Long-term Fertilizations	LUO Lu, ZHOU Ping, TONG Cheng-li, <i>et al.</i>	(692)
Aging Process of Cr(III) in 22 Typical Soils of China and Influence Factors Analysis	ZHENG Shun-an, ZHENG Xiang-qun, LI Xiao-zheng, <i>et al.</i>	(698)
Residual Characteristics of HCHs in Soils of a Former Lindane Production Enterprise	PAN Feng, WANG Li-li, ZHAO Hao, <i>et al.</i>	(705)
Evaluation and Source Analysis of the Mercury Pollution in Soils and Vegetables Around a Large-scale Zinc Smelting Plant	LIU Fang, WANG Shu-xiao, WU Qing-ru, <i>et al.</i>	(712)
Residue of Organic Fluorine Pollutants in Hair and Nails Collected from Tianjin	YAO Dan, ZHANG Hong, CHAI Zhi-fang, <i>et al.</i>	(718)
Analysis of Estrogens, Nonylphenol, 4-tert-Octylphenol and Bisphenol A in the Sediments	WU Wei, SHI Jiang-hong, CHEN Qing-cai, <i>et al.</i>	(724)
Investigation of As, Cu and Zn Species and Concentrations in Animal Feeds	YAO Li-xian, HUANG Lian-xi, JIANG Zong-yong, <i>et al.</i>	(732)
Residue Dynamics of Flubendiamide in Paddy Field	WANG Dian-dian, SONG Ning-hui, WU Wen-zhu, <i>et al.</i>	(740)
Isolation of Two Endophytic Phenanthrene-Degrading Strains and Their Degradation Capacity	NI Xue, LIU Juan, GAO Yan-zheng, <i>et al.</i>	(746)
Biodegradation of Nitrobenzene by a Halophilic <i>Myroides odoratimimus</i> Strain Y6	LI Tian, QIAN Kun, XIAO Wei, <i>et al.</i>	(753)
Effect of Immobilization on Biosensor for Benzene Derivates Detection	TANG Kuo, MA An-zhou, YU Qing, <i>et al.</i>	(760)
Investigation of Bacterial Diversity in the Biological Desulfurization Reactor for Treating High Salinity Wastewater by the 16S rDNA Cloning Method	LIU Wei-guo, LIANG Cun-zhen, YANG Jin-sheng, <i>et al.</i>	(767)
Assessment of the Effect of Influent NH ₄ ⁺ -N Concentration on the Abundance and Community Structure of Functional Bacteria in CANON Process	LIU Tao, LI Dong, ZENG Hui-ping, <i>et al.</i>	(773)
Biodegradation of Lignocellulose by <i>Penicillium simplicissimum</i> and Characters of Lignocellulolytic Enzymes	SHEN Ying, HU Tian-jue, ZENG Guang-ming, <i>et al.</i>	(781)
Microbial Community Structure and Distribution Characteristics in Oil Contaminated Soil	YANG Meng-qing, LI Li-ming, LI Chuan, <i>et al.</i>	(789)
Degradation of Oxytetracycline in Chicken Feces Aerobic-Composting and Its Effects on Their Related Parameters	WANG Gui-zhen, LI Zhao-jun, ZHANG Shu-qing, <i>et al.</i>	(795)
Research of Moisture Content Variation in MSW Landfill	LI Rui, LIU Jian-guo, XUE Yu-wei, <i>et al.</i>	(804)
Anaerobic Digestion of Lignocellulosic Biomass with Animal Digestion Mechanisms	WU Hao, ZHANG Pan-yue, GUO Jian-ben, <i>et al.</i>	(810)

《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)

2013年2月15日 34卷 第2期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 2 Feb. 15, 2013

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: 90.00 元

国外发行代号: M 205

国 内 外 公 开 发 行