

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第5期

Vol.33 No.5

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

区域空气质量模拟中查表法的应用研究 谢旻,王体健,江飞,李树,蔡彦枫,庄炳亮(1409)

长江三角洲地区秸秆露天焚烧大气污染物排放清单及其在空气质量模式中的应用 苏继峰,朱彬,康汉青,王红磊,王体健(1418)

北京及周边城市一元脂肪酸大气颗粒物干沉降通量及来源分析研究 徐小娟,李杏茹,王跃思,刘晨书,潘月鹏,王英锋(1425)

上海大气超细颗粒物和工业纳米颗粒的表征及细胞毒性的比较研究 张睿,吕森林,尚羽,易飞,任晶晶,郝晓洁,安静,吴明红(1431)

青岛市大气PM_{2.5}元素组成及来源研究 李秀镇,盛立芳,徐华,屈文军(1438)

冬季天津家庭室内空气颗粒物中邻苯二甲酸酯污染研究 王夫美,陈丽,焦姣,张雷波,姬亚芹,白志鹏,张利文,孙增荣,张星梅(1446)

再悬浮装置在大气PM_{2.5}源谱分析中的应用 段恒轶,钱冉冉,吴水平,印红玲(1452)

黔西南煤燃烧产物微量元素分布特征及富集规律研究 魏晓飞,张国平,李玲,项萌,蔡永兵(1457)

三峡水库不同运行状态下支流澎溪河水-气界面温室气体通量特征初探 蒋滔,郭劲松,李哲,方芳,白镭,刘静(1463)

香溪河库湾夏季温室气体通量及影响因素分析 王亮,肖尚斌,刘德富,陈文重,王雨春,陈小燕,段玉杰(1471)

臭氧浓度升高与土壤湿度对农田土壤微生物呼吸温度敏感性的影响 陈书涛,张勇,胡正华,史艳妹,沈小帅(1476)

托木尔峰青冰滩72号冰川径流水化学特征初步研究 赵爱芳,张明军,李忠勤,王飞腾,王圣杰(1484)

五大连池水溶性有机磷矿化特性的研究 张斌,席北斗,赵越,魏自民,白雪,王曼林(1491)

7条环太湖河流沉积物氮含量沿程分布规律 卢少勇,远野,金相灿,焦伟,吴瑶洁,任德有,周羽化,陈雷(1497)

巢湖十五里河沉积物氮磷形态分布及生物有效性 李如忠,李峰,周爱佳,童芳,钱家忠(1503)

北运河系地表水近10年来水质变化及影响因素分析 郭婧,荆红卫,李金香,李令军(1511)

东莞运河排涝对东江河水水质影响分析 孙磊,毛献忠,黄旻旻(1519)

北京平原区地下水污染源识别与危害性分级 陆燕,何江涛,王俊杰,刘丽雅,张小亮(1526)

地下水曝气修复过程的三维数值模拟 李恒震,胡黎明,王建,武晓峰,刘培斌(1532)

垂向水动力扰动机的蓝藻控制效应数值实验研究 邹锐,周璟,孙永健,嵇晓燕,岳佳,刘永(1540)

新型生物岛栅中污染物去除的微生物机制研究 高明瑜,谢慧君,王文兴(1550)

营养盐水平对念珠藻胞外有机物产生的影响 齐飞,刘晓媛,徐冰冰,黄岳,封莉,张立秋(1556)

水网藻种植水对铜绿微囊藻生长的抑制作用研究 傅海燕,柴天,赵坤,刘智峰,张明真,侯明,许鹏成(1564)

酞酸酯在模拟海河菹草微宇宙中的消减和分布特征 迟杰,杨青(1570)

电子束辐射对铜绿微囊藻毒素产生和释放的抑制作用研究 刘书宇,吴明红,姜钦鹏(1575)

青铜峡灌区典型排水沟水污特征解析 李强坤,胡亚伟,罗良国(1579)

四溴双酚A的辐照降解研究 李杰,徐殿斗,马玲玲,吴明红(1587)

污泥基活性炭催化臭氧氧化降解水中微量布洛芬的效能研究 王红娟,齐飞,封莉,张立秋(1591)

高水力负荷对人工湿地处理精养虾塘排水效果的影响 李怀正,章星异,陈卫兵,叶剑峰(1597)

城市污水生物脱氮系统出水经氯胺消毒形成NDMA的影响因素研究 尚晓玲,李咏梅(1604)

利用淀粉基共混物作为反硝化固体碳源的研究 沈志强,吴为中,杨春平,陈佳利,王建龙(1609)

好氧污泥颗粒化过程中Zeta电位与EPS的变化特性 王浩宇,苏本生,黄丹,崔晓娟,竺建荣(1614)

活性污泥对病毒的生物吸附特性 周玉芬,郑祥,雷洋,陈迪(1621)

阴离子型聚丙烯酰胺在离子交换膜上的吸附规律 邓梦洁,于水利,时文歆,衣雪松(1625)

两性修饰膨润土对苯酚的吸附及热力学特征 李婷,孟昭福,张斌(1632)

表面活性剂对苯并[a]芘在黑炭表面吸附解吸的影响 张景环,陈春溶,张玮航,栗桂州(1639)

南京市4个污水处理厂的活性污泥中细菌的分离鉴定和抗生素耐药性分析 葛峰,郭坤,周广灿,张会娟,刘济宁,戴亦军(1646)

焦化废水中苯酚降解菌筛选及其降解性能 陈春,李文英,吴静文,李静(1652)

Xanthobacter flavus DT8降解二噁英的特性研究 金小君,陈东之,朱润晔,陈静,陈建孟(1657)

未开发油气田地表烃氧化菌空间定量分布 满鹏,齐鸿雁,呼庆,马安周,白志辉,庄国强(1663)

矿化垃圾中氧化甲烷兼性营养菌的筛选与生物特性研究 赵天涛,项锦欣,张丽杰,全学军,赵由才(1670)

长江中游干流及22条支流表层水中多氯联苯的分布特征及其潜在风险 李昆,赵高峰,周怀东,曾敏,廖柏寒,吴正勇,张盼伟,郝红(1676)

典型血吸虫病区表层水中酚类化合物的污染特征及潜在风险 吴正勇,赵高峰,周怀东,李科林,曾敏,李昆,张盼伟,郝红(1682)

闽江福州段沉积物中多环芳烃的空间分布异质性研究 陈卫锋,倪进治,杨红玉,魏然,杨玉盛(1687)

三峡库区蓄水运用期表层沉积物重金属污染及其潜在生态风险评价 王健康,高博,周怀东,陆瑾,王雨春,殷淑华,郝红,袁浩(1693)

典型电器工业区河涌沉积物中重金属的分布和潜在生态风险 邓代永,孙国萍,郭俊,张宏涛,张琴,许玫英(1700)

密云水库上游金属矿区土壤中重金属形态分布及风险评价 高彦鑫,冯金国,唐磊,朱先芳,刘文清,季宏兵(1707)

湘西花垣矿区土壤重金属污染及其生物有效性 杨胜香,袁志忠,李朝阳,龙华,唐文杰(1718)

基于GIS的某训练场土壤重金属污染评价 刘玉通,方振东,杨琴,谢朝新,王大勇,毛华军(1725)

土壤质地和湿度对SVE技术修复苯污染土壤的影响 刘少卿,姜林,姚玉君,李艳霞,刘希涛,林春野(1731)

蒙脱土、高岭土和针铁矿对DNA吸附与解吸特征 王慎阳,饶伟,王代长,张亚楠,李腾,唐冰培,杨世杰(1736)

LNAPL在砂质含水层中动态迁移的电阻率法监测试验研究 潘玉英,贾永刚,郭磊,李进军,单红仙(1744)

亚临界水解预处理稻草秸秆制备活性炭及表征 董宇,申哲民,雷阳明,王茜,刘婷婷(1753)

蓝藻好氧堆肥及其氮素损失控制的研究 任云,崔春红,刘奋武,占新华,周立祥(1760)

固定化微生物技术修复PAHs污染土壤的研究进展 钱林波,元妙新,陈宝梁(1767)

《环境科学》征订启事(1483) 《环境科学》征稿简则(1620) 信息(1490,1496,1586,1743)

北京及周边城市一元脂肪酸大气颗粒物干沉降通量及来源分析研究

徐小娟¹, 李杏茹¹, 王跃思², 刘晨书¹, 潘月鹏², 王英锋^{1*}

(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大气边界层物理和大气化学国家重点实验室, 北京 100029)

摘要: 城市大气颗粒物中有机质浓度不断攀升, 其中有机酸为重要成分之一. 通过 PUF 膜收集大气颗粒物干沉降, 采取溶剂提取、衍生化和 GC-MS 分析, 对 2007 年 12 月~2008 年 11 月间, 北京及其周边城市天津、唐山、保定大气颗粒物干沉降中一元脂肪酸含量进行了观测研究. 结果表明, 干沉降中可检出所有 C₁₀~C₂₄ 的烷酸, 以及油酸、亚油酸和桐油酸 3 种烯酸. 干沉降量最大的是正十六烷酸, 其次为正十八烷酸, 油酸、亚油酸的含量也相对较高. 年均干沉降量最大的城市为北京, 其次是保定、唐山、天津, 沉降量分别为 0.32、0.25、0.16 和 0.12 kg·(hm²·a)⁻¹. 北京一元脂肪酸的平均日沉降量最大值出现在 8~9 月, 达 262.43 μg·(m²·d)⁻¹; 4~5 月次高, 为 130.98 μg·(m²·d)⁻¹; 天津市最高值出现在 4~5 月, 为 66.04 μg·(m²·d)⁻¹; 唐山出现在 2~3 月, 为 73.62 μg·(m²·d)⁻¹; 保定出现在 4~5 月, 为 173.28 μg·(m²·d)⁻¹. 源解析显示, 京津冀四城市的一元脂肪酸的年度干沉降以机动车排放源最为重要, 其次为微生物源和餐饮源, 秋季北京大气餐饮源排放脂肪酸量很高.

关键词: 一元脂肪酸; 干沉降; 时空变化; 源; 大气

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)05-1425-06

Atmospheric Dry Deposition Flux and Sources of Monocarboxylic Acids in Beijing and Surrounding Cities

XU Xiao-juan¹, LI Xing-ru¹, WANG Yue-si², LIU Chen-shu¹, PAN Yue-peng², WANG Ying-feng¹

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

Abstract: The concentration of organic matter has been increased in the urban atmospheric particles, in which the organic acids are one kind of the important species. Dry deposition of 17 *n*-alkanoic acids (C₁₀-C₂₄) and 3 alkenoic acids (including oleic, linoleic and eleostearic acid) were determined by GC/MS from Dec. 2007 to Nov. 2008 in Beijing, Tianjin, Tangshan and Baoding. The results showed that C₁₆ and C₁₈ were both the most abundant species and oleic acid and linoleic acid were in the next place. The annual dry deposition flux of monocarboxylic acids was the highest in Beijing 0.32 kg·(hm²·a)⁻¹, followed by Baoding, Tangshan and Tianjin, which were 0.25, 0.16, 0.12 kg·(hm²·a)⁻¹, respectively. The maximum deposition flux of monocarboxylic acids in Beijing was found in August to September [262.43 μg·(m²·d)⁻¹]. In Tianjin, the maximum deposition flux was found in April to May [66.04 μg·(m²·d)⁻¹]. For Tangshan and Baoding, the fluxes were found in February to March [73.62 μg·(m²·d)⁻¹] and in April to May [173.28 μg·(m²·d)⁻¹], respectively. Source distribution implied that vehicle exhaust was the most important source. The contribution of microbial decomposition litter and cooking emission were large as well while cooking emission contributed more to monocarboxylic acids in autumn of Beijing.

Key words: monocarboxylic acids; dry deposition; spatial and temporal variation; source; atmosphere

有机物是城市大气颗粒物的主要组分之一, 目前能分离出上万种、鉴别出几百种、能追踪分析的仅有几十种, 其中极性物质有机酸是其中最难研究的一类化合物, 但由于其在二次有机气溶胶(SOA)形成过程中的重要性, 目前已成为气溶胶化学研究重点之一^[1~4]. 城市大气颗粒物中含量较高的有机酸, 包括脂肪族和芳香族一元、二元羧酸、羟基酸、酮基酸, 以及大量的含羰基化合物. 目前被证实的大气有机酸释放有机动车尾气、生物质燃烧和烹饪过程等

三大人为污染源, 以及植物、海洋和土壤等自然源^[4~6]. 羧酸具有很强的亲水性, 可以显著地改变大气细粒子的表面吸湿性而影响粒子的活性和增长速度, 如若改变了云凝结核的活性, 即可改变云的形成

收稿日期: 2011-07-07; 修订日期: 2011-09-29

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); 北京市科技计划公益应用项目(D09040903670902)

作者简介: 徐小娟(1979~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为气溶胶有机化学, E-mail: xxj_xue@163.com

* 通讯联系人, E-mail: feng-yw@263.net

过程和分布,进而影响城市能见度,甚至区域和全球气候变化^[5,6].有机酸沉降到地表,还会导致土壤、植被和水体的生态环境发生酸化,也直接或间接影响了人类健康^[7].

京津冀地区是我国政治、经济和文化中心,具有举足轻重的战略地位.伴随着区域社会经济的快速发展,京津都市圈大气污染呈现出明显的区域性和复合型特征,颗粒物为首要污染物,而干沉降是污染物的重要去除方式.近些年来国内外的学者对干沉降中水溶性盐和重金属的研究较多^[8-11],对有机物的研究多侧重于多环芳烃的研究^[12,13],对降尘中的有机酸缺少相应的研究.对北京、天津及河北重镇唐山、保定大气有机酸随干沉降通量的研究,有利于认知北京及周边大气颗粒物污染有机物含量水平及来源,可为区域霾大气污染形成机制研究提供实验数据,以期制定有效的区域联合大气污染减排措施提供科学依据.

1 材料与方 法

1.1 站点布 设和观测设备

选择北京以及周边的天津、保定、唐山共4个城市,利用有一定基础条件的观测站,组成能体现影响北京和周边城市区域大气环境的观测站网.观测点选在周围空旷的草地或楼顶,为最大程度地避免点源污染,如地面扬尘等的直接影响,采样点周围均无直接的人类活动干扰,基本能够代表所在城市的大气环境状况.各站点地理位置见图1.

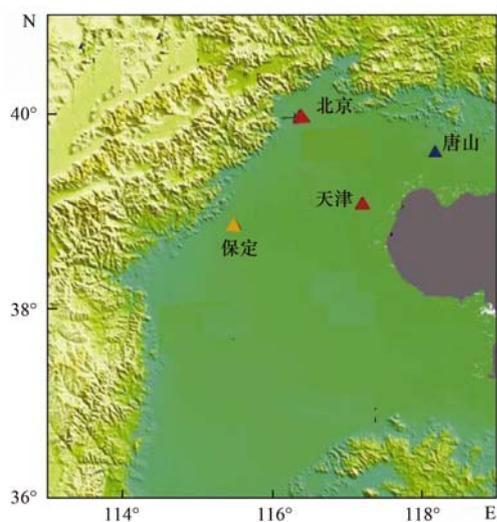


图1 采样点地理位置示意

Fig. 1 Sampling sites

大气颗粒物干沉降用青岛崂山电子仪器总厂有限公司生产的APS-2B降水降尘自动采样器和集尘

缸(直径15 cm,高30 cm)组成的观测设备(国家标准),降尘桶中放置直径150 mm、厚度为13 mm聚氨酯甲酸乙酯(PUF)膜作为承接降尘的载体,降雨开始10 s内干沉降采集自动停止,雨停5 min后自动开始.采样时间是2007年12月~2008年11月,每2个月采集一次,4个站共采集24个样品.

1.2 试剂与仪器

药品及试剂:二氯甲烷、正己烷、甲醇、乙腈均为色谱纯(Dikma,美国);无水硫酸钠、硅胶(80~100目)、三氧化二铝(100~200目)和标准试剂-羧酸甲酯混合物FAMEMix C₁₀~C₂₄均为进口产品(Supelco公司,美国).

分析仪器包括:气-质联用仪(Thermo Finnigan TRACE DSQ,美国)、旋转蒸发仪(Büchi,瑞士)、索氏提取器、氮气吹干仪(OA公司,美国)、马弗炉(EYELA,日本)和水浴锅及层析柱(Teflon活塞,长35 cm,内径1 cm; Supelco公司).

1.3 样品前处理和分析

硅胶和三氧化二铝使用前用二氯甲烷索氏抽提72 h,室温下干燥后在马弗炉中250℃活化12 h,然后加入3%蒸馏水失活,装入锥形瓶中用正己烷浸泡,用聚四氟乙烯胶带密封备用.采样前,PUF膜在索氏提取器中60℃用二氯甲烷净化提取24 h,抽提过的PUF膜片干燥后立即用干净的锡箔纸包裹并放入密封袋中,运送至各站点采样.采样后的PUF膜用二氯甲烷在索氏提取器中60℃抽提48 h.提取液过滤后在旋转蒸发仪上减压浓缩至近干,将浓缩液转移至填充5 g硅胶、5 g氧化铝、1 g无水硫酸钠的层析柱中,依次用70 mL正己烷、70 mL正己烷/二氯甲烷混合液(体积比为1:1)和40 mL甲醇洗脱,分别得到正构烷烃、多环芳烃和脂肪酸溶液.将脂肪酸溶液旋蒸至近干,加入14%的BF₃/甲醇溶液1 mL,拧紧瓶盖,置于80℃水浴上反应40 min,自然冷却至室温.加入0.3 mL乙腈、3 mL正己烷和3 mL去离子水进行萃取,弃去下层水相,再用去离子水萃取,共重复3次.所得上层有机相用无水硫酸钠除去残留水后,用氮吹仪蒸发定量到1 mL,进行GC-MS分析.

样品使用GC-MS法进行分析.毛细柱为30 m×0.25 mm×0.25 μm HP-5MS弹性石英毛细管柱,色谱条件:载气为高纯氮气(纯度≥99.999%),1.0 mL·min⁻¹恒流模式;进样口与传输线均恒温250℃;进样量为1 μL,无分流;程序升温:45℃恒温5 min,然后5℃/min升至

280℃, 保持 15 min. 质谱条件如下: EI 模式, 电离能量 70 eV, 离子源温度 230℃, 四极杆温度 150℃, 50 ~ 550 u 全扫描方式.

使用 Thermo Finnigan 公司的 Xcalibur 软件, 通过谱图解析, 并与标准化化合物 FAME Mix C₄ ~ C₂₄ 对比保留时间、NIST 标准有机质谱库进行定性确定目标化合物. 使用 6 个浓度级别的外标曲线进行定量分析, 各种羧酸对应的工作曲线相关系数 (R^2) 在 0.992 ~ 1.000 之间, 仪器精度 92% ~ 99% ($n = 6$), 在确定最低检出限时, 配制接近方法检测极限浓度的标准品, 将其重复 5 次进样分析, 计算 5 次分析值的标准差, 方法检测极限 3 倍标准偏差值, 测得该方法检出范围为 0.1 ~ 6.0 ng·μL⁻¹; 整个样品处理过程回收率在 70% ~ 90%, 相对标准偏差 < 8%. 计算出各酸的干沉降量, 再根据采样面积和时间计算干沉降通量. 实验所用试剂均为色谱纯, 所用棉花、剪刀等均在正己烷中浸泡 48 h 以上.

2 结果与讨论

本研究共计分析了 2007 年 12 月 ~ 2008 年 11 月 4 个城市站点共计 24 组样品, 共讨论了其中的

17 种一元脂肪酸, 包括 14 种 C₁₀ ~ C₂₄ 的一元正构烷酸和油酸 C_{18:1}、亚油酸 C_{18:2}、桐油酸 C_{18:3} 这 3 种不饱和脂肪酸.

2.1 总体概况

北京及周边城市一元脂肪酸随大气颗粒物干沉降的总体概况如图 2. 从中可以看出各城市大气颗粒物干沉降中各脂肪酸成分谱表现出明显的趋同性, 正十六烷酸 C₁₆ 是大气颗粒物干沉降中含量最高的脂肪酸成分, 十八烷酸 C₁₈ 含量次之, 并表现出明显的奇偶优势. 此外油酸 C_{18:1} 和亚油酸 C_{18:2} 含量也较高. 北京大气颗粒物干沉降中, 8 ~ 9 月正十六烷酸 C₁₆ 沉降量最高, 达 103.21 μg·(m²·d)⁻¹, 亚油酸 C_{18:2} 次之, 为 48.71 μg·(m²·d)⁻¹; 天津大气颗粒物干沉降中 4 ~ 5 月正十六烷酸 C₁₆ 最高, 达 29.08 μg·(m²·d)⁻¹, 十八烷酸和十四烷酸干沉降量也较高; 唐山正十六烷酸 C₁₆ 在 2 ~ 3 月最高, 达 31.24 μg·(m²·d)⁻¹; 保定正十六烷酸 C₁₆ 在 4 ~ 5 月最高, 达 59.99 μg·(m²·d)⁻¹, 同时十八烷酸和十四烷酸干沉降量也较高, 分别达到 22.84 和 22.26 μg·(m²·d)⁻¹.

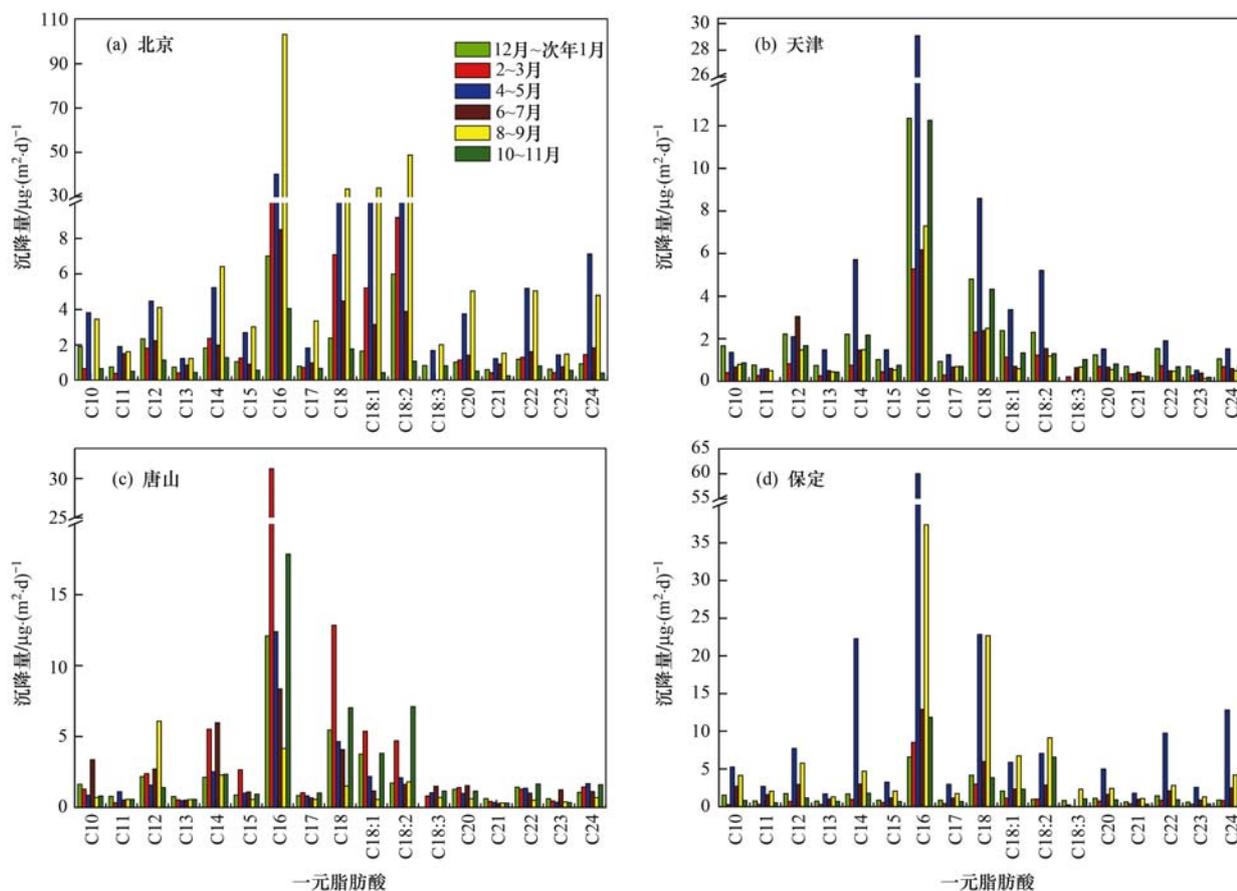


图 2 大气颗粒物干沉降中一元脂肪酸概况 (2007-12 ~ 2008-11)

Fig. 2 Average flux of monocarboxylic acids in the atmospheric dry deposition

2.2 年度变化

北京及其周边 4 个城市大气颗粒物干沉降中一元脂肪酸的季节变化十分明显,如图 3. 北京地区最大沉降量出现在 8~9 月,达 $262.43 \mu\text{g}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{d})^{-1}$, 4~5 月次高,为 $130.98 \mu\text{g}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{d})^{-1}$. 日均最低值出现在 10~11 月,为 $16.01 \mu\text{g}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{d})^{-1}$. 天津最高干沉降量出现在 4~5 月,达 $66.04 \mu\text{g}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{d})^{-1}$,最低值出现在 2~3 月,为 $16.22 \mu\text{g}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{d})^{-1}$. 唐山最高沉降量出现在 2~3 月,达 $73.62 \mu\text{g}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{d})^{-1}$;日均最低值出现在 8~9 月,为 $22.50 \mu\text{g}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{d})^{-1}$;12~1 月日均值也比较小,为 $37.08 \mu\text{g}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{d})^{-1}$;保定最高一元脂肪酸日均干沉降量出现在 4~5 月,达 $173.28 \mu\text{g}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{d})^{-1}$;日均最低值出现在 2~3 月,为 $20.27 \mu\text{g}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{d})^{-1}$. 由图 3 可以看出除唐山外的其余 3 个城市在 4~5 月,此时属于春季,一元脂肪酸的日均干沉降量都较高,其原因为冬季半挥发性有机酸的储存释放、春季植物生长和微生物活性加强排放所致^[14]. 此外,春季沙尘、碱性粒子更容易捕捉到气态羧酸,共同沉降^[15]. 而北京和保定在 8~9 月大气干沉降中一元脂肪酸的含量较高,结合这段时间最大优势碳 C_{max} 为 C_{16} 和 C_{18} ,碳优势指数 CPI 在 6.52~10.80,表明人为源在内的微生物源的巨大贡献,生物来源丰富^[16],但这段时间干沉降量大的具体来源还有待研究.

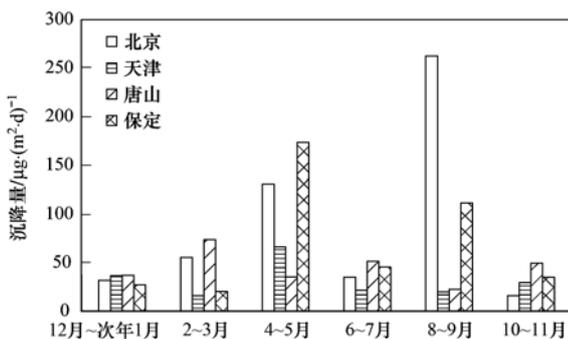


图 3 大气颗粒物干沉降中一元脂肪酸的年度变化(2007-12~2008-11)

Fig. 3 Variation of monocarboxylic acids in the atmospheric dry deposition

2.3 站点差异

从图 4 可以看出一元脂肪酸的年度干沉降通量最大的城市为北京,其次是保定、唐山、天津,年沉降通量分别为 323.95 、 251.89 、 164.16 和 $116.17 \text{g}\cdot(\text{hm}^2\cdot\text{a})^{-1}$. 4 个城市大气颗粒物干沉降中各脂肪酸成分谱有明显的趋同性,正十六烷酸 C_{16} 明显是

大气颗粒物干沉降中含量相对最高的成分,十八烷酸 C_{18} 的含量次之,此外油酸 $C_{18:1}$ 和亚油酸 $C_{18:2}$ 含量也比较高,说明 4 个城市脂肪酸的来源基本相似. 北京作为首都,机动车尾气、烹饪源等排放量大;夏秋季节,北京盛行偏南风,河北、山东的一些中小城市的污染物会随风输送到北京,北京三面环山的地理条件又不利于污染物扩散,因此,粒子干沉降便成为该区域颗粒物大气污染清除的重要途径,而附着其上的脂肪酸也会随之沉降;保定和唐山是河北省发展中的中等工业城市,大气颗粒物干沉降中脂肪酸含量也比较大,但唐山、天津为临海城市,有利于颗粒物的扩散,使得大气颗粒物干沉降中一元脂肪酸含量下降.

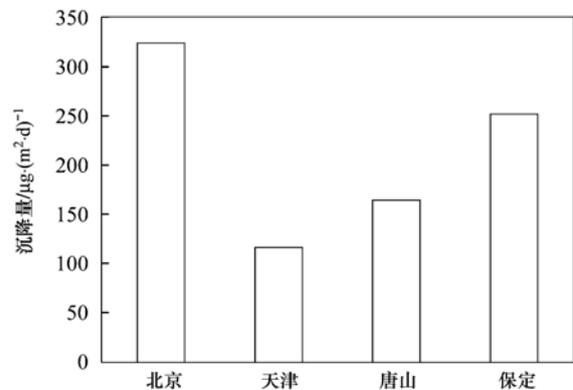


图 4 大气颗粒物干沉降中一元脂肪酸总量

Fig. 4 Summary of monocarboxylic acids in the atmospheric dry deposition

2.4 来源分析

机动车尾气、烹饪过程、微生物源、有机物的燃烧等均释放一元脂肪酸,其中十六烷酸和十八烷酸都是最主要的成分^[17]. 在城市地区,碳数 <20 ($C_n < C_{20}$) 的脂肪酸主要来源于烹饪源和生物质燃烧^[18,19]. 油酸($C_{18:1}$)可以在微生物活动以及烹饪过程中产生,亚油酸($C_{18:2}$)主要来源于餐饮源^[20],十四烷酸 C_{14} 在肉类烹饪和机动车尾气中含量仅次于十六烷酸 C_{16} 和十八烷酸 C_{18} . 有报道称最大优势碳是 C_{16} 和 C_{18} ,表明微生物源在内的人为源的巨大贡献,最大优势碳是 C_{16} 和 C_{24} 的双峰态分布,表明存在明显的植物蜡和海洋源^[21]. 由图 2 可以看出北京及周边城市大气颗粒物干沉降中,十六烷酸 C_{16} 明显是一元脂肪酸干沉降中相对最高的组分,正十八烷酸 C_{18} 次之,表明包括人为源对这 4 个城市的巨大贡献;油酸、亚油酸的含量也相对偏高,说明餐饮源是北京及周边城市大气干沉降中脂肪酸不可忽视的重

要来源。8~9月(属于夏秋之交)北京亚油酸($C_{18:2}$)的量尤为突出,一方面说明北京夏秋季餐饮源排放有机酸量很高,另一方面是由于夏秋季节北京地区气温高,脂肪酸的挥发性使之传播范围较大;天津、保定在4~5月(属于春季)十四烷酸 C_{14} 沉降量较高,可知这2个城市在春季干燥,扬尘严重,脂肪酸随之沉降量显现出高值,而秋季降水清除量大,相对脂肪酸随粒子的干沉降量减少。

有文献采用 C_{18}/C_{16} 比值来表征大气中有机酸的来源^[22],比值 <0.25 、 $0.25\sim0.5$ 、 $0.5\sim1.0$ 分别表示木材等植物的燃烧源、机动车尾气排放、路面扬尘和餐饮源。由表1可以看出北京及周边3个站点全年基本是以机动车尾气为主要排放源,但是保定12~1月和8~9月以路面扬尘和餐饮源以及燃煤排放为

主。北京6~7月也以路面扬尘和餐饮源为主。

燃料燃烧排放的碳数为 $C_{10}\sim C_{18}$,碳优势指数 $CPI < 1.5$;微生物源产生的一元羧酸碳数也为 $C_{10}\sim C_{18}$,但 $CPI > 2$;高碳数的一元脂肪酸主要是植物蜡的贡献,植物蜡排放的脂肪酸碳数为 $C_{22}\sim C_{34}$ ^[16,23]。因此有研究^[24]用 $C_n > C_{22}$ 的一元羧酸的总浓度与 $C_n < C_{20}$ 的一元羧酸的总浓度的比值来反映一元羧酸中自然排放和人为排放的比例。虽然本实验只研究到了 C_{24} ,但是 $C_n < C_{20}$ 的一元羧酸占绝对优势,大于 C_{20} /小于 C_{20} 的比值 < 1 , C_{max} 为 C_{16} 和 C_{18} ,反映了存在大量微生物源,结合表1中的CPI值2.94~10.80,可知北京、天津、唐山、保定这4个站点全年的微生物排放源不可忽视,而垃圾分解正是城市最主要的微生物有机酸的排放源。

表1 4个采样点大气颗粒物干沉降中一元脂肪酸来源判断特征值(2007-12~2008-11)¹⁾

Table 1 Values of molecular diagnostic ratios of monocarboxylic acids for source identification in the atmospheric dry deposition

地点	12月~次年1月			2~3月			4~5月			6~7月			8~9月			10~11月		
	CPI	$C_{18:1}/C_{18}$	C_{18}/C_{16}	CPI	$C_{18:1}/C_{18}$	C_{18}/C_{16}	CPI	$C_{18:1}/C_{18}$	C_{18}/C_{16}	CPI	$C_{18:1}/C_{18}$	C_{18}/C_{16}	CPI	$C_{18:1}/C_{18}$	C_{18}/C_{16}	CPI	$C_{18:1}/C_{18}$	C_{18}/C_{16}
北京	3.55	0.69	0.34	8.23	0.74	0.33	6.76	0.72	0.40	2.96	0.71	0.53	10.80	1.02	0.32	2.94	0.25	0.44
天津	4.57	0.50	0.39	4.89	0.49	0.44	7.64	0.39	0.30	4.10	0.30	0.38	4.89	0.24	0.34	8.26	0.31	0.35
唐山	4.90	0.69	0.45	8.25	0.42	0.41	5.25	0.47	0.37	9.05	0.28	0.49	5.15	0.37	0.36	7.24	0.54	0.39
保定	3.46	0.49	0.63	5.84	0.37	0.35	8.28	0.26	0.38	4.17	0.39	0.47	6.52	0.30	0.61	5.70	0.61	0.32

1) $C_{18:1}$ 、 $C_{18:2}$ 、 $C_{18:3}$ 分别表示含有1个、2个、3个双键的十八碳烯酸; $C_{18:1}/C_{18}$ 和 C_{18}/C_{16} 分别为比值; CPI,碳优势指数,对于羧酸来说是指数偶数碳原子羧酸浓度与奇数碳原子羧酸浓度之比

本研究同时还检测到各城市的大气颗粒物干沉降中有3种不饱和脂肪酸:油酸($C_{18:1}$)、亚油酸($C_{18:2}$)和桐油酸($C_{18:3}$)。不饱和脂肪酸在大气中不稳定,如若气温高、太阳辐射强,则很强的大气氧化能力,就会使油酸($C_{18:1}$)和亚油酸($C_{18:2}$)快速氧化降解^[25];另外,污染物的长距离输送也会使其中的不饱和脂肪酸浓度因被氧化而下降,本地源则会出现不饱和脂肪酸浓度较高的情况^[24]。有文献用油酸和正十八烷酸的比值($C_{18:1}/C_{18}$)表征颗粒物在大气中的存留时间^[26],该值大表明颗粒物在大气中存留时间短(即颗粒物主要为本地排放)或大气氧化能力弱(即温度低、太阳辐射弱)。由表1可知,北京12月~次年3月,唐山的10月~次年1月,保定的10月~次年1月该比值较大,这是因为这段时间温度较低,不饱和羧酸的降解速度比较慢的缘故;北京在温度较高的4~9月该比值也出现高值,这是因为虽然温度较高,不饱和羧酸的降解速度较快,但是颗粒物的量还取决于排放和大气输送过程,由于本地源的大量排放,尤其是其它还原型物质的大量排放(如NO),大大削减了大气的氧化能力,使得 $C_{18:1}/C_{18}$ 比值仍然较大。

由于方法所限,本研究不对 C_{10} 以下的一元脂肪酸研究探讨,但有研究表明低碳数的一元脂肪酸有很大部分为大气二次来源,特别是甲酸日变化非常显著,主要来自光化学氧化过程^[27]。

3 结论

(1)2007年12月~2008年11月检测出北京及周边共4个城市大气颗粒物干沉降中一元脂肪酸共17种成分,各城市大气颗粒物干沉降中各脂肪酸成分谱表现出明显的趋同性,即正十六烷酸含量最高,正十八烷酸含量其次,油酸、亚油酸的含量也相对较高。

(2)北京及周边4城市一元脂肪酸的年度干沉降量最大的城市为北京,其次是保定、唐山、天津;日均沉降量春季或秋季较高。

(3)源解析显示,4城市全年以机动车排放源最强,其次为微生物源(垃圾)和餐饮源;在植物生长茂盛季节,排放到大气中的有机酸较多。

(4)鉴于本研究结果,建议4个城市采取有力措施,限制机动车过快增长、加强餐饮业烟气排放管理、合理有效地处理城市垃圾,以确保宜居城市的建设。

参考文献:

- [1] Hildemann L M, Cass G R, Mazurek M A, *et al.* Mathematical modeling of urban organic aerosol: Properties measured by high-resolution gas chromatography [J]. *Environment Science and Technology*, 1993, **27**(10): 2045-2055.
- [2] Fraser M P, Cass G R, Simoneit B R T. Gas-phase and particle-phase organic compounds emitted from motor vehicle traffic in a Los Angeles roadway tunnel [J]. *Environmental Science and Technology*, 1998, **32**(14): 2051-2060.
- [3] Kleeman M J, Robert M A, Riddle S G, *et al.* Size distribution of trace organic species emitted from biomass combustion and meat charbroiling [J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**(13): 3059-3075.
- [4] Rogge W F, Hildemann L M, Mazurek M A, *et al.* Sources of fine organic aerosol: Charbroilers and meat cooking operations [J]. *Environmental Science and Technology*, 1991, **25**(6): 1112-1125.
- [5] Yu S C. Role of organic acids (formic, acetic, pyruvic and oxalic) in the formation of cloud condensation nuclei (CCN): a review [J]. *Atmospheric Research*, 2000, **53**(4): 185-217.
- [6] Kerminen V M. Relative roles of secondary sulfate and organics in atmospheric cloud condensation nuclei production [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2001, **106**(D15): 17321-17333.
- [7] Saxena P, Hildemann L M, McMurry P H, *et al.* Organics alter hygroscopic behavior of atmospheric particles [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1995, **100**(D9): 18755-18770.
- [8] Chu C C, Fang G C, Chen J C, *et al.* Ambient air dry deposition and ionic species analysis by using various deposition collectors in Shalu, central Taiwan [J]. *Atmospheric Research*, 2008, **88**(3-4): 212-223.
- [9] Endo T, Yagoh H, Sato K, *et al.* Regional characteristics of dry deposition of sulfur and nitrogen compounds at EANET sites in Japan from 2003 to 2008 [J]. *Atmospheric Environment*, 2011, **45**(6): 1259-1267.
- [10] Sakata M, Tani Y, Takagi T. Wet and dry deposition fluxes of trace elements in Tokyo Bay [J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**(23): 5913-5922.
- [11] Zhang L M, Wright L P, Blanchard P. A review of current knowledge concerning dry deposition of atmospheric mercury [J]. *Atmospheric Environment*, 2009, **43**(37): 5853-5864.
- [12] Demircioglu E, Sofuoglu A, Odabasi M. Particle-phase dry deposition and air-soil gas exchange of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Izmir, Turkey [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2011, **186**(1): 328-335.
- [13] Bozlaker A, Muezzinoglu A, Odabasi M. Atmospheric concentrations, dry deposition and air-soil exchange of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in an industrial region in Turkey [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2008, **153**(3): 1093-1102.
- [14] 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.
- [15] Hou X M, Zhang G S, Sun Y L, *et al.* Characteristic and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons and fatty acids in PM_{2.5} aerosols in dust season in China [J]. *Atmospheric Environment*, 2006, **40**(18): 3251-3262.
- [16] Simoneit B R T, Mazurek M A. Organic matter of the troposphere- II: Natural background of biogenic lipid matter in aerosols over the rural western United States [J]. *Atmospheric Environment*, 1982, **16**(9): 2139-2159.
- [17] He L Y, Hu M, Huang X F, *et al.* Chemical characterization of fine particles from on-road vehicles in the Wutong tunnel in Shenzhen, China [J]. *Chemosphere*, 2006, **62**(10): 1565-1573.
- [18] Pio C A, Alves C A, Duarte A C. Identification, abundance and origin of atmospheric organic particulate matter in a Portuguese rural area [J]. *Atmospheric Environment*, 2001, **35**(8): 1365-1375.
- [19] Yue Z W, Fraser M P. Polar organic compounds measured in fine particulate matter during TexAQS 2000 [J]. *Atmospheric Environment*, 2004, **38**(20): 3253-3261.
- [20] Cheng Y, Li S M, Leithead A, *et al.* Characterizations of cis-pinonic acid and n-fatty acids on fine aerosols in the Lower Fraser valley during Pacific 2001 air quality study [J]. *Atmospheric Environment*, 2004, **38**(34): 5789-5800.
- [21] 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.
- [22] Oliveira C, Pio C, Alves C, *et al.* Seasonal distribution of polar organic compounds in the urban atmosphere of two large cities from the north and south of Europe [J]. *Atmospheric Environment*, 2007, **41**(27): 5555-5570.
- [23] Simoneit B R T. Characterization of organic constituents in aerosols in relation to their origin and transport; A review [J]. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 1986, **23**(3): 207-237.
- [24] Zheng M, Fang M, Wang F, *et al.* Characterization of the solvent extractable organic compounds in PM_{2.5} aerosols in Hong Kong [J]. *Atmospheric Environment*, 2000, **34**(17): 2691-2702.
- [25] Kawamura K, Kaplan I R. Motor exhaust emissions as a primary source for dicarboxylic acids in Los Angeles ambient air [J]. *Environmental Science and Technology*, 1987, **21**(1): 105-110.
- [26] Jiang Y L, Hou X M, Zhuang G S, *et al.* The sources and seasonal variations of organic compounds in PM_{2.5} in Beijing and Shanghai [J]. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 2009, **62**(3): 175-192.
- [27] Wang Y, Zhuang G S, Chen S, *et al.* Characteristics and sources of formic, acetic and oxalic acids in PM_{2.5} and PM₁₀ aerosols in Beijing, China [J]. *Atmospheric Research*, 2007, **84**(2): 169-181.

CONTENTS

Using Look-up Table Method in the Simulation of Regional Atmospheric Environment	XIE Min, WANG Ti-jian, JIANG Fei, <i>et al.</i> (1409)
Applications of Pollutants Released from Crop Residues at Open Burning in Yangtze River Delta Region in Air Quality Model	SU Ji-feng, ZHU Bin, KANG Han-qing, <i>et al.</i> (1418)
Atmospheric Dry Deposition Flux and Sources of Monocarboxylic Acids in Beijing and Surrounding Cities	XU Xiao-juan, LI Xing-ru, WANG Yue-si, <i>et al.</i> (1425)
Comparison of Physicochemical Characterization of Shanghai Ambient Ultrafine Particles and Engineered Nano Particles and Their Cytotoxicity	ZHANG Rui, LÜ Sen-lin, SHANG Yu, <i>et al.</i> (1431)
Element Compositions and Source of PM _{2.5} Aerosols in Qingdao	LI Xiu-zhen, SHENG Li-fang, XU Hua, <i>et al.</i> (1438)
Phthalate Esters Pollution in Household Indoor Air Particles of Tianjin in Winter	WANG Fu-mei, CHEN Li, JIAO Jiao, <i>et al.</i> (1446)
Application of a Resuspension Test Chamber in PM _{2.5} Source Profile Analysis	DUAN Heng-yi, QIAN Ran-ran, WU Shui-ping, <i>et al.</i> (1452)
Distribution and Enrichment of Trace Elements in Coal Combustion Products from Southwestern Guizhou	WEI Xiao-fei, ZHANG Guo-ping, LI Ling, <i>et al.</i> (1457)
Air-Water Surface Greenhouse Gas Flux in Pengxi River at Different Operational Stages of the Three Gorges Reservoir	JIANG Tao, GUO Jing-song, LI Zhe, <i>et al.</i> (1463)
Fluxes of Greenhouse Gases from Xiangxi River in Summer and Their Influencing Factors	WANG Liang, XIAO Shang-bin, LIU De-fu, <i>et al.</i> (1471)
Effects of Elevated Ozone Concentration and Soil Moisture on Temperature Sensitivity of Soil Microbial Respiration in a Cropland	CHEN Shu-tao, ZHANG Yong, HU Zheng-hua, <i>et al.</i> (1476)
Hydrochemical Characteristics in the Glacier No. 72 of Qingbingtan, Tomur Peak	ZHAO Ai-fang, ZHANG Ming-jun, LI Zhong-qin, <i>et al.</i> (1484)
Mineralization Characteristics of Dissolved Organic Phosphorous in Wudalianchi Lake, China	ZHANG Bin, XI Bei-dou, ZHAO Yue, <i>et al.</i> (1491)
Speciation Distribution of Nitrogen in Sediments of 7 Rivers around Taihu Lake	LU Shao-yong, YUAN Ye, JIN Xiang-can, <i>et al.</i> (1497)
Distribution and Bioavailability of Nitrogen and Phosphorus Species in the Sediments from Shiwuli Stream in Lake Chaohu	LI Ru-zhong, LI Feng, ZHOU Ai-jia, <i>et al.</i> (1503)
Surface Water Quality of Beiyun Rivers Basin and the Analysis of Acting Factors for the Recent Ten Years	GUO Jing, JING Hong-wei, LI Jin-xiang, <i>et al.</i> (1511)
Water Quality Impact of Dongjiang River Network Caused by Dongguan Canal Drainage	SUN Lei, MAO Xian-zhong, HUANG Min-min (1519)
Groundwater Pollution Sources Identification and Grading in Beijing Plain	LU Yan, HE Jiang-tao, WANG Jun-jie, <i>et al.</i> (1526)
3D Numerical Simulation of Air Sparging Remediation Process	LI Heng-zhen, HU Li-ming, WANG Jian, <i>et al.</i> (1532)
Numerical Experiment Study on the Algae Suppression Effect of Vertical Hydrodynamic Mixers	ZOU Rui, ZHOU Jing, SUN Yong-jian, <i>et al.</i> (1540)
Microbial Mechanism of Pollutants Removal in New Biological Island Grid	GAO Ming-yu, XIE Hui-jun, WANG Wen-xing (1550)
Effect of Nutrition Level of Phosphorus and Nitrogen on the Metabolism of the Extracellular Organic Matter of <i>Nostoc flagelliforme</i>	QI Fei, LIU Xiao-yuan, XU Bing-bing, <i>et al.</i> (1556)
Inhibitory Effects of Liquor Cultured with <i>Hydrodictyon reticulatum</i> on the Growth of <i>Microcystis aeruginosa</i>	FU Hai-yan, CHAI Tian, ZHAO Kun, <i>et al.</i> (1564)
Removal and Distribution of Phthalate Acid Esters in <i>Potamogeton crispus</i> L. Microcosm of Haihe River	CHI Jie, YANG Qing (1570)
Control and Removal of Microcystin Production of <i>Microcystis aeruginosa</i> by Irradiation of Electron Beam	LIU Shu-yu, WU Ming-hong, JIANG Qin-peng (1575)
Source Characteristics Analysis of Discharge and Pollutants in Typical Drainage Ditch of Qingtongxia Irrigation District	LI Qiang-kun, HU Ya-wei, LUO Liang-guo (1579)
Degradation of TBBPA by Electron Beam Radiolysis	LI Jie, XU Dian-dou, XU Gang, <i>et al.</i> (1587)
Catalytic Ozonation of Ibuprofen in Aqueous Solution by Activated Carbon Made from Sludge and Corn Cob	WANG Hong-juan, QI Fei, FENG Li, <i>et al.</i> (1591)
Effect of High Hydraulic Loading on Intensive Shrimp Aquaculture Wastewater Treatment Performance in Constructed Wetland	LI Huai-zheng, ZHANG Xing-yi, CHEN Wei-bing, <i>et al.</i> (1597)
Factors Influencing the Formation of NDMA During Chloramination Disinfection of Effluent from Biological Nitrogen Removal System for the Treatment of Municipal Sewage	SHANG Xiao-ling, LI Yong-mei (1604)
Denitrification Using Starch/PCL Blends as Solid Carbon Source	SHEN Zhi-qiang, WU Wei-zhong, YANG Chun-ping, <i>et al.</i> (1609)
Profiles of Zeta Potential and EPS in Granulation Process of Aerobic Sludge	WANG Hao-yu, SU Ben-sheng, HUANG Dan, <i>et al.</i> (1614)
Biosorption Characteristics of f2 Bacteriophage onto Activated Sludge	ZHOU Yu-fen, ZHENG Xiang, LEI Yang, <i>et al.</i> (1621)
Adsorption of Anionic Polyacrylamide on the Surface of Ion Exchange Membranes	DENG Meng-jie, YU Shui-li, SHI Wen-xin, <i>et al.</i> (1625)
Adsorption of Amphoteric Modified Bentonites to Phenol and Its Thermodynamics	LI Ting, MENG Zhao-fu, ZHANG Bin (1632)
Effect of Surfactants on Sorption and Desorption of Benzo[a]pyrene onto Black Carbon	ZHANG Jing-huan, CHEN Chun-rong, ZHANG Wei-hang, <i>et al.</i> (1639)
Isolation and Identification of Bacteria in the Activated Sludge from Four Sewage Treatment Plants in Nanjing City and Its Antibiotic Resistance Analysis	GE Feng, GUO Kun, ZHOU Guang-can, <i>et al.</i> (1646)
Screening and Characterization of Phenol Degrading Bacteria for the Coking Wastewater Treatment	CHEN Chun, LI Wen-ying, WU Jing-wen, <i>et al.</i> (1652)
Characteristics of 1,4-Dioxane Degradation by <i>Xanthobacter flavus</i> DTS	JIN Xiao-jun, CHEN Dong-zhi, ZHU Run-ye, <i>et al.</i> (1657)
Spatial Quantitative Distribution of Hydrocarbon-Oxidizing Bacteria of Unexploited Oil and Gas Fields	MAN Peng, QI Hong-yan, HU Qing, <i>et al.</i> (1663)
Screening and Biological Characteristics of Amphitrophic Methane-Oxidizing Bacteria from Aged-Refuse	ZHAO Tian-tao, XIANG Jin-xin, ZHANG Li-jie, <i>et al.</i> (1670)
Distribution Characteristics and Potential Risk of PCBs in Surface Water from 22 Tributaries and Mainstream in Middle Reaches of Yangtze River	LI Kun, ZHAO Gao-feng, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (1676)
Pollution Characteristics and Potential Risks of Phenolic Compounds in Schistosomiasis Epidemic Areas	WU Zheng-yong, ZHAO Gao-feng, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (1682)
Spatial Heterogeneity and Autocorrelation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Sediment of Minjiang River in Fuzhou City	CHEN Wei-feng, NI Jin-zhi, YANG Hong-yu, <i>et al.</i> (1687)
Heavy Metals Pollution and Its Potential Ecological Risk of the Sediments in Three Gorges Reservoir During Its Impounding Period	WANG Jian-kang, GAO Bo, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (1693)
Investigation on the Distribution and Potential Ecological Risk of Heavy Metal in the Sediments from Typical Electrical Industrial Zone	DENG Dai-yong, SUN Guo-ping, GUO Ju, <i>et al.</i> (1700)
Fraction Distribution and Risk Assessment of Heavy Metals in Iron and Gold Mine Soil of Miyun Reservoir Upstream	GAO Yan-xin, FENG Jin-guo, TANG Lei, <i>et al.</i> (1707)
Heavy Metal Contamination and Bioavailability in Huayuan Manganese and Lead/Zinc Mineland, Xiangxi	YANG Sheng-xiang, YUAN Zhi-zhong, LI Zhao-yang, <i>et al.</i> (1718)
Evaluation of Heavy Metal Pollution in Soils from a Training Ground Based on GIS	LIU Yu-tong, FANG Zhen-dong, YANG Qin, <i>et al.</i> (1725)
Effects of Soil Texture and Water Content on Remediation of SVE on Soils Contaminated by Benzene	LIU Shao-qing, JIANG Lin, YAO Yu-jun, <i>et al.</i> (1731)
Characteristics of DNA Adsorption and Desorption in Montmorillonite, Kaoline and Goethite	WANG Shen-yang, RAO Wei, WANG Dai-zhang, <i>et al.</i> (1736)
LNAPL Migration Monitoring in Simulated Sand Aquifer Using Resistivity Method	PAN Yu-ying, JIA Yong-gang, GUO Lei, <i>et al.</i> (1744)
Preparation and Characterization of Activated Carbon from Rice Straw Pre-treated by the Subcritical Hydrolysis	DONG Yu, SHEN Zhe-min, LEI Yang-ming, <i>et al.</i> (1753)
Study on Composting of Cyanobacteria Amended with Different N Loss Inhibitor	REN Yun, CUI Chun-hong, LIU Fen-wu, <i>et al.</i> (1760)
Research Progress About Bioremediation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Contaminated Soil with Immobilized Microorganism Technique	QIAN Lin-bo, YUAN Miao-xin, CHEN Bao-liang (1767)

《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5月15日 33卷 第5期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 5 May 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. 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: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行