

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第5期

Vol.34 No.5

**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

|                                                                                     |                                 |                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| 基于过氧化物的消毒技术研究进展                                                                     | 习海玲,赵三平,周文                      | (1645)                  |
| 环境损害评估:国际制度及对中国的启示                                                                  | 张红振,曹东,於方,王金南,齐霖,贾倩,张天柱,骆永明     | (1653)                  |
| 不同国家基于健康风险的土壤环境基准比较研究与启示                                                            | 徐猛,颜增光,贺萌萌,张超艳,侯红,李发生           | (1667)                  |
| 蚯蚓堆肥及蝇蛆生物转化技术在有机废弃物处理应用中的研究进展                                                       | 张志剑,刘萌,朱军                       | (1679)                  |
| 基于生态分区的我国湖泊营养盐控制目标研究                                                                | 刁晓君,席北斗,何连生,邓祥征,吴锋,王鹏腾          | (1687)                  |
| 我国东北地区地表水酸化现状                                                                       | 徐光仪,康荣华,罗遥,段雷                   | (1695)                  |
| 西安市对渭河水质的影响分析                                                                       | 于婕,李怀恩                          | (1700)                  |
| 极端干旱水文年(2011年)夏季珠江口溶解氧的分布特征及影响因素研究                                                  | 叶丰,黄小平,施震,刘庆霞                   | (1707)                  |
| 应用相平衡分配法建立湘江衡阳段沉积物重金属质量基准                                                           | 韩超南,秦延文,郑丙辉,张雷,曹伟               | (1715)                  |
| 长江口海域底栖生态环境质量评价——AMBI和M-AMBI法                                                       | 蔡文倩,孟伟,刘录三,朱延忠,周娟               | (1725)                  |
| 温州城市降雨径流中BOD <sub>5</sub> 和COD污染特征及其初始冲刷效应                                          | 王骏,毕春娟,陈振楼,周栋                   | (1735)                  |
| 影响悬浮颗粒物吸收系数测量的相关因素研究                                                                | 余小龙,沈芳,张晋芳                      | (1745)                  |
| 香溪河库湾春季pCO <sub>2</sub> 与浮游植物生物量的关系                                                 | 袁希功,黄文敏,毕永红,胡征宇,赵玮,朱孔贤          | (1754)                  |
| 紊流脉动强度对藻类生长及水环境的影响研究                                                                | 雷雨,龙天渝,伞磊,安强,黄允秋                | (1761)                  |
| 高铁酸钾对水中藻类及其次生臭味污染物二甲基三硫醚同步去除研究                                                      | 马晓雁,张泽华,王红宇,胡仕斐,李青松             | (1767)                  |
| 纳米Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 非均相Fenton反应催化氧化邻苯二酚 | 何洁,杨晓芳,张伟军,王东升                  | (1773)                  |
| 水中茶普生的紫外光降解机制及其产物毒性研究                                                               | 马杜娟,刘国光,吕文英,姚锐,周丽华,谢成屏          | (1782)                  |
| 酸活化赤泥催化臭氧氧化降解水中硝基苯的效能研究                                                             | 康雅凝,李华楠,徐冰冰,齐飞,赵伦               | (1790)                  |
| 镉污染应急处置含镉絮体稳定性实验研究                                                                  | 柳王荣,魏清伟,杨仁斌,许振成,曾东              | (1797)                  |
| 基于光学在线监测及形态学研究的絮凝体强度分析方法                                                            | 金鹏康,冯永宁,王宝宝,王晓昌                 | (1802)                  |
| 不同电子供体下三氯苯酚的还原脱氯机制研究                                                                | 万金泉,胡梦蝶,马邕文,黄明智                 | (1808)                  |
| 壳聚糖季铵盐磁性颗粒的制备及其对甲基橙的吸附效果                                                            | 张聪璐,胡筱敏,英诗颖,王芳                  | (1815)                  |
| 城市污水二级出水超滤膜污染与膜特性的研究                                                                | 孟晓荣,张海珍,王磊,王旭东,赵亮               | (1822)                  |
| 倒置A <sup>2</sup> /O-MBR处理城市污水的中试研究                                                  | 张健君,邹高龙,杨淑芳,丁星,王莉,毛乾庄,杨丹        | (1828)                  |
| 不同电子供体的硫自养反硝化脱氮实验研究                                                                 | 袁莹,周伟丽,王晖,何圣兵                   | (1835)                  |
| 短程同步硝化反硝化过程的脱氮与N <sub>2</sub> O释放特性                                                 | 梁小玲,李平,吴锦华,王向德                  | (1845)                  |
| 基于固相萃取的水中多种有毒有害有机污染物富集方法优化                                                          | 张明全,李锋民,吴乾元,胡洪营                 | (1851)                  |
| 多环麝香污染胁迫对蚯蚓特异性蛋白基因表达的影响                                                             | 陈春,刘潇威,郑顺安,周启星,李松               | (1857)                  |
| 浙江省制药行业典型挥发性有机物臭氧产生潜力分析及健康风险评价                                                      | 徐志荣,王浙明,许明珠,何华飞                 | (1864)                  |
| 苯系物光催化开环降解产物低级醛类的健康效应                                                               | 赵伟荣,廖求文,杨亚楠,戴九松                 | (1871)                  |
| 四川妇女血清中多溴联苯醚的浓度水平与组成特征                                                              | 邵敏,陈永亨,李晓宇                      | (1877)                  |
| 咪唑类离子液体毒性的QSAR/QSPR研究                                                               | 赵继红,赵永升,张宏忠,张香平                 | (1882)                  |
| 宁夏石嘴山河滨工业园区表层土壤重金属污染的时空特征                                                           | 樊新刚,米文宝,马振宁,王婷玉                 | (1887)                  |
| 内蒙古包头白云鄂博矿区及尾矿区周围土壤稀土污染现状和分布特征                                                      | 郭伟,付瑞英,赵仁鑫,赵文静,郭江源,张君           | (1895)                  |
| 福建省重点城市路面尘负荷及化学组成研究                                                                 | 郑桢,杨冰玉,吴水平,王新红,陈晓秋              | (1901)                  |
| 重金属污染场地电阻率法探测数值模拟及应用研究                                                              | 王玉玲,能昌信,王彦文,董路                  | (1908)                  |
| 丛枝菌根真菌对稀土尾矿中大豆生长和稀土元素吸收的影响                                                          | 郭伟,赵仁鑫,赵文静,付瑞英,郭江源,张君           | (1915)                  |
| 海洋细菌N3对几种赤潮藻的溶藻效应                                                                   | 史荣君,黄洪辉,齐占会,胡维安,田梓杨,戴明          | (1922)                  |
| 1株分离自煤矿废水的铁硫氧化细菌LY01的鉴定及其氧化特性研究                                                     | 刘玉娇,杨新萍,王世梅,梁银                  | (1930)                  |
| 1株苯并[a]芘高效降解菌的筛选与降解特性                                                               | 蔡瀚,尹华,叶锦韶,常晶晶,彭辉,张娜,何宝燕         | (1937)                  |
| 2,2',4,4'-四溴联苯醚的好氧微生物降解                                                             | 张姝,Giulio Franco,李晓豹,卢晓霞,侯珍,杨君君 | (1945)                  |
| 养猪废水培养微生物絮凝剂产生菌群B-737及发酵特性                                                          | 裴瑞林,信欣,张雪乔,周迎芹,姚力,羊依金           | (1951)                  |
| 1997~2011年北京市空气中酸性物质与降水组分变化趋势的相关性分析                                                 | 陈圆圆,田贺忠,杨懂艳,邹本东,鹿海峰,林安国         | (1958)                  |
| 黄山降水酸度及电导率特征分析                                                                      | 石春娥,邓学良,吴必文,洪杰,张苏,杨元建           | (1964)                  |
| 夏季黄山不同高度大气气溶胶水溶性离子特征分析                                                              | 文彬,银燕,秦彦硕,陈魁                    | (1973)                  |
| 广州秋季灰霾污染过程大气颗粒物有机酸的污染特征                                                             | 谭吉华,赵金平,段菁春,马永亮,贺克斌,杨复沫         | (1982)                  |
| 福建省三大城市冬季PM <sub>2.5</sub> 中有机碳和元素碳的污染特征                                            | 陈衍婷,陈进生,胡恭任,徐玲玲,尹丽倩,张福旺         | (1988)                  |
| 上海市含碳大气颗粒物的粒径分布                                                                     | 袁宁,刘卫,赵修良,王广华,姚剑,曾友石,刘遂庆        | (1995)                  |
| 上海市浦东城区二次气溶胶生成的估算                                                                   | 崔虎雄,吴迺名,段玉森,伏晴艳,张懿华,王东方,王茜      | (2003)                  |
| 沙尘暴期间上海市大气颗粒物元素地球化学特征及其物源示踪意义                                                       | 钱鹏,郑祥民,周立旻                      | (2010)                  |
| 厦门秋季近郊地面CO <sub>2</sub> 浓度变化特征研究                                                    | 李燕丽,穆超,邓君俊,赵淑惠,杜可               | (2018)                  |
| GC-MS和GC-ECD同时在线观测本底大气中的HCFC-142b                                                   | 郭立峰,姚波,周凌晔,李培昌,许林               | (2025)                  |
| 城市居家环境空气真菌群落结构特征研究                                                                  | 方治国,欧阳志云,刘芃,孙力,王小勇              | (2031)                  |
| 城市污水处理厂挥发性芳香烃的气味指纹及定量评价研究                                                           | 郭薇,王伯光,唐小东,刘舒乐,何洁,张春林           | (2038)                  |
| 内河多点分散码头大气污染叠加影响特征                                                                  | 刘建昌,李兴华,徐洪磊,程金香,王忠岱,肖杨          | (2044)                  |
| 义马煤中铅的热稳定性及转化行为研究                                                                   | 刘瑞卿,王钧伟                         | (2051)                  |
| 基于能源消费情景模拟的北京市主要大气污染物和温室气体协同减排研究                                                    | 谢元博,李巍                          | (2057)                  |
| 《环境科学》征订启事(1652)                                                                    | 《环境科学》征稿简则(1789)                | 信息(1807,1821,1881,1987) |
| 编辑征稿通知(1863)                                                                        |                                 |                         |

# 广州秋季灰霾污染过程大气颗粒物有机酸的污染特征

谭吉华<sup>1,4</sup>, 赵金平<sup>2</sup>, 段菁春<sup>3\*</sup>, 马永亮<sup>4</sup>, 贺克斌<sup>4</sup>, 杨复沫<sup>1</sup>

(1. 中国科学院大学地球科学学院, 北京 100049; 2. 中国科学院城市环境研究所, 厦门 361021; 3. 中国环境科学研究院环境基准与风险评估国家重点实验室, 北京 100012; 4. 清华大学环境学院, 北京 100084)

**摘要:** 收集广州秋季一个灰霾过程大气颗粒物昼夜样品, 进行了 26 种脂肪酸和 8 种二元羧酸的定量分析 (GC/MS)。结果表明, 大气脂肪酸和二元羧酸的污染水平较高。灰霾与非灰霾期间脂肪酸和二元羧酸浓度之比分别为 1.9 和 2.5。污染上升过程脂肪酸和二元羧酸晚上浓度 ( $653 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ ) 高于白天浓度 ( $487 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ ), 而在污染降低过程, 白天脂肪酸和二元羧酸浓度 ( $412 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ ) 要高于晚上浓度 ( $336 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ )。采样期间二元羧酸和脂肪酸日均值浓度总体上与颗粒物和碳质组分的变化趋势一致。脂肪酸和二元羧酸与有机碳比值大体上与颗粒物污染成反比, 比值随着大气颗粒物的增加而降低, 27 号晚上之后, 随着颗粒物的降低而开始增加, 说明有机酸主要以直接排放为主, 而灰霾对有机酸的富集有明显抑制作用。基于特征比值法 (C3/C4) 及相关性分析, 表明秋季灰霾污染过程脂肪酸和二元羧酸都是以一次排放为主。

**关键词:** 脂肪酸; 羧酸; 碳质组分; 昼夜变化; 广州市

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)05-1982-06

## Pollution Characteristics of Organic Acids in Atmospheric Particles During Haze Periods in Autumn in Guangzhou

TAN Ji-hua<sup>1,4</sup>, ZHAO Jing-ping<sup>2</sup>, DUAN Jing-chun<sup>3</sup>, MA Yong-liang<sup>4</sup>, HE Ke-bin<sup>4</sup>, YANG Fu-mo<sup>1</sup>

(1. College of earth science, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 2. Institute of Urban Environment, Chinese Academy of Sciences, Xiamen 361021, China; 3. State Key Laboratory of Environmental Criteria and Risk Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 4. School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** Total suspended particles (TSP), collected during a typical haze period in Guangzhou, were analyzed for the fatty acids (C12-C30) and low molecular weight dicarboxylic acids (C3-C9) using gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS). The results showed that the concentration of total fatty and carboxylic acids was pretty high during the haze episode. The ratios of fatty acids and carboxylic acids in haze to those in normal days were 1.9 and 2.5, respectively. During the episode of the increasing pollution, the fatty acids and carboxylic acids at night ( $653 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ ) was higher than that ( $487 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ ) in days. After that, the level of fatty acids and carboxylic acids in days ( $412 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ ) was higher than that ( $336 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ ) at night. In general, the time-series of fatty acids and carboxylic acids was similar to that of the air particle and carbonaceous species, however, the trend of the ratio of fatty acids and carboxylic acids to organic carbon was opposite to that of air particle and carbonaceous species. This ratio decreased with the increase of the concentration of air particle and after the night of 27th, the ratio increased with the decrease in the concentration of air particle. The results showed that haze pollution had a significant inhibitory effect on the enrichment of fatty and carboxylic acids. Based on the ratio of malonate to succinate (C3/C4), it could be found that primary sources contribute more to the atmospheric fatty and carboxylic acids during the autumn haze pollution periods in Guangzhou.

**Key words:** fatty acids; carboxylic acids; carbonaceous species; diurnal variation; Guangzhou

广州市近年来灰霾天气发生频率居高不下, 而能见度的下降与高浓度的大气颗粒物污染密切相关<sup>[1,2]</sup>。脂肪酸和二元羧酸是大气颗粒物中一类重要的水溶性有机物, 极易富集在大气颗粒物上, 不仅是大气颗粒物的重要组成部分, 也是影响云凝结核的形成, 进而增强云的反射, 影响全球的能量平衡的重要因素<sup>[3~6]</sup>。有机酸有一次排放<sup>[6~9]</sup>, 如植物的排放、肉类食品烹饪过程、化石燃料燃烧和机动车排放, 也有经过大气化学反应转化形成的二次来源<sup>[10]</sup>。一次排放的有机酸以碳数小于 20 的脂肪酸

为主<sup>[11]</sup>。二次来源则主要通过苯、甲苯等芳香烃类化合物的芳环断裂降解反应生成的二羰基化合物的氧化<sup>[9,10~12]</sup>。研究表明, 十六碳酸、十八碳酸等是与人类活动密切相关, 在人类活动频繁的地区含量会相应增高。由于大气颗粒物中有机酸的环境效应

收稿日期: 2012-08-20; 修订日期: 2012-10-25

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41105111, 41275134); 国家重点实验室专项基金项目 (11K03ESPCT); 中国环境科学研究院研究专项 (2012ysky09)

作者简介: 谭吉华 (1978~), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为大气环境化学, E-mail: tanjh@ucas.ac.cn

\* 通讯联系人, E-mail: duanjc@craes.org.cn

与气候效应,目前越来越受到人们的关注.

国内外对城市大气气溶胶中脂肪酸和二元羧酸的研究,主要是通过季节变化趋势探讨其组成和来源<sup>[11~15]</sup>. 目前对于广州大气颗粒物化学成分及粒径分布研究较多<sup>[1,2,16~18]</sup>,但对有机酸昼夜变化规律及典型灰霾污染生消过程其变化规律的研究较少. 笔者以广州市大气颗粒物中一元脂肪酸和二元羧酸为研究对象,观察其昼夜浓度变化规律,讨论其成分组成、质量分布及污染生消过程的变化规律,该结果对于了解高浓度大气颗粒物条件下有机物的变化规律具有重要的科学意义.

## 1 材料与方法

### 1.1 样品的采集

本研究所取采样点位于广州市天河区五山中国科学院广州地球化学研究所情报楼顶(20 m). 研究表明该采样点能代表广州市大气污染整体状况<sup>[17]</sup>. 采样仪器为天虹 TSP 大流量采样器,流速为  $1.05 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ . 石英纤维滤膜采样(QM-Whatman, 20.3 cm × 25.4 cm),采样前滤膜置于马弗炉中 450℃ 焙烧 4 h,样品称重前置于 25℃、相对湿度 50% 的恒温恒湿箱中平衡 24 h,然后低温保存. 采样时间为 2005 年 10 月 25 ~ 29 日,白天样品采集时间为上午 08:30 时至晚上 08:30 时,晚上样品采集时间为晚上 08:30 至次日上午 08:30. 同时记录温度、湿度、风速、风向等各种气象数据.

### 1.2 标准品

内标: 氘代碳二十四烷( $n\text{-C}_{24}\text{D}_{50}$ ) (Aldrich USA). 脂肪酸甲酯混标(99.2% ~ 99.9%)、癸二酸(99%)、己二酸(>99%)、庚二酸、辛二酸和壬二酸(99%).

### 1.3 样品前处理

将滤膜剪碎至棕色瓶子中,每个样品每次都加  $V(\text{二氯甲烷}):V(\text{甲醇})=2:1$  的混合溶剂 50 mL 左右,加入回收率指示物  $n\text{-C}_{24}\text{D}_{50}$ . 超声萃取 3 次,过滤至 250 mL 圆底烧瓶中,将每个样品旋转蒸发至约 1 mL,转移到细胞瓶中,低温冷冻保存待进样分析.

### 1.4 仪器分析及样品定量

碳质组分: 本实验采用美国 Sunset Laboratory Inc 的碳分析仪进行样品碳质组分分析,OC 定义为样品通氦气时分析碳的量,EC 为样品在通氧气/氦气时分析碳的量,详细分析程序见文献[19]. 标准样品的回收率为 98% ~ 102%. 每日随机选取部分样品进行平行样分析,相对标准偏差分别为: EC =

8.7%, OC = 3.6%. EC 和 OC 的检测限分别为:  $0.001 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$  和  $0.1 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ .

有机酸: 进样前样品用微量射器取出样品 20  $\mu\text{L}$  至另一干净的细胞瓶中, BSTFA 进行衍生化,放在 70℃ 烘箱里 3 h,充分衍生化,整个过程都要在严格无水的环境中进行. 转换溶剂为正己烷后进 GC-MS 分析. 详细分析方法可参考文献[16].

定量分析由气相色谱(HP6890GC)/质谱(Micromass VRPlatform)完成,所用毛细管柱为 DB 5 (30 m × 0.32 mm × 0.25 mm). 实验条件: 进样口温度为 290℃,离子源温度为 180℃; 无分流进样. 柱温: 起始 80℃,保持 5 min,以  $4\% \cdot \text{min}^{-1}$  升温至 290℃,保持 20 min.

### 1.5 气象条件

本研究采样期间,10 月 27 ~ 28 日为严重灰霾,10 月 28 日受冷空气对流影响,大气污染物得到有效去除,气象条件逐渐趋于稳定并向下一个灰霾期过渡,整个采样期间为一个完整的典型灰霾周期. 采样期间天气气象条件如图 1 所示.

## 2 结果与讨论

### 2.1 采样期间大气颗粒物污染特征

图 2 为采样期间大气颗粒物、有机碳和元素碳变化趋势. 从中可以看出,受气象条件及源排放的影响,大气颗粒物和有机碳呈现先逐步增加,然后逐渐降低的过程,大气颗粒物和有机碳最高浓度出现在 27 日晚上,分别超过了  $370 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$  和  $70 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ . 而元素碳浓度相对而言比较稳定,最高值出现在 26 日晚上. 元素碳化学性质比较稳定,因此污染过程元素碳浓度水平相对比较稳定,广州灰霾污染过程大气颗粒物中有机碳的大幅度增加与化学转化的二次形成有密切的关系<sup>[1]</sup>. 单从颗粒物浓度及含碳组份上看,大气污染物的昼夜变化没有明显变化规律,在污染物上升到最高浓度之前,晚上浓度要高于白天浓度,而污染物开始下降后,白天浓度要高于晚上浓度,说明颗粒物浓度的昼夜变化主要受大尺度气象条件的影响<sup>[20]</sup>.

### 2.2 有机酸的浓度水平

本研究检测到的脂肪酸的碳数范围为 C12 ~ C30,检测到的二元羧酸的碳数范围为 C3 ~ C9 (见表 1). 与其他研究结果一致<sup>[11]</sup>,在所有样品中丰度最高的脂肪酸为正十六酸和正十八酸,它们在大气中的浓度远高于其它碳数的正烷酸,可占到所测正烷酸总量的 44% ~ 76%; 丰度最高的二元羧酸为丁

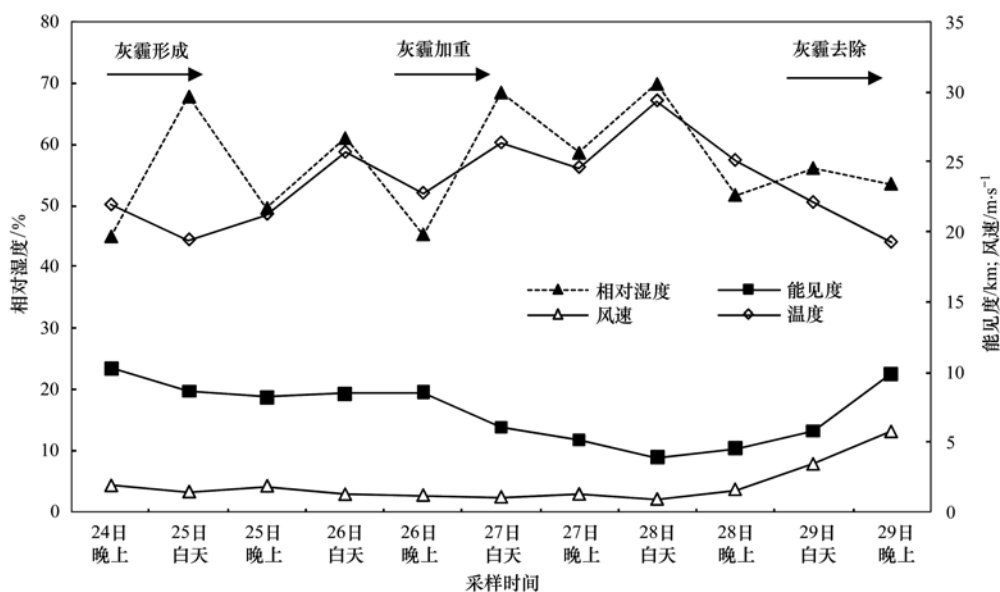


图1 采样期间气象条件

Fig. 1 Meteorological conditions during the sampling period

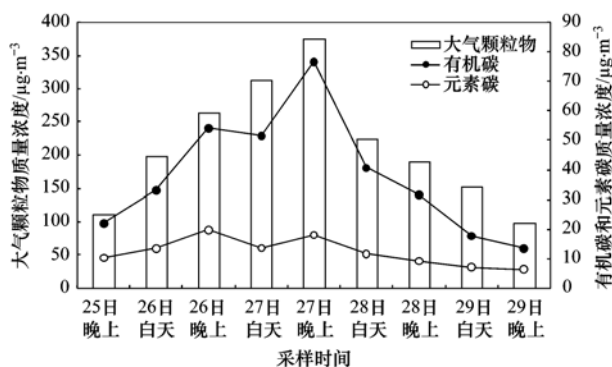


图2 采样期间大气颗粒物、有机碳和元素碳变化趋势

Fig. 2 Concentrations of atmospheric particle, organic and elemental carbon during the sampling period

二酸,可占到所测二元羧酸总量的46%~64%。气溶胶中脂肪酸浓度范围为 $190 \sim 787 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ ,平均浓度为 $441 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ ,二元羧酸浓度范围为 $15.7 \sim 80.3 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ ,平均浓度为 $51.0 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ ,广州市采样期间二元羧酸和脂肪酸占有有机物的0.8%~1.6%。灰霾期间脂肪酸和二元羧酸浓度远高于其它城市,如1992年东京<sup>[21]</sup>检测到气溶胶中二元羧酸和酮酸的浓度为 $112 \sim 312 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ ,占总有机物的1%~5%。不考虑乙二酸的话,广州大气气溶胶中二元羧酸质量浓度要稍低于南京<sup>[15]</sup>。污染过程脂肪酸和二元羧酸最高浓度分别出现在26日晚上和28日白天,一元脂肪酸最高值出现时间与元素碳最高值出现时间一致,而二元酸与有机碳出现的时间比较接近。研究表明,有机酸主要来源于一次排放,二次转

化相对较少,与元素碳相关性较好。

Kawamura等<sup>[22]</sup>研究表明,机动车尾气排放是大气中的二元羧酸主要一次污染源,而不饱和脂肪酸、芳香烃的光化学氧化是二元羧酸的二次污染源。目前常用丙二酸和丁二酸质量浓度比来区分一次和二次来源。据文献<sup>[21]</sup>报道,机动车尾气中该比值为0.25~0.44,平均为0.35。比值越高则反映了大气的光化学氧化作用对二元羧酸的贡献。本研究中,丙二酸和丁二酸质量浓度比为0.04~0.12,远小于0.35,说明大气中的光化学氧化作用产生的二次源对气溶胶没有显著的贡献,灰霾污染过程二元羧酸主要是以一次排放为主。研究认为,大气二元羧酸是光氧化反应的产物,具有明显的二次来源特征,其浓度呈现夏高冬低的趋势<sup>[14,23]</sup>。但作者先前研究结果表明,广州二元羧酸的含量冬季最高。这与广州的气象条件有关<sup>[16]</sup>,秋冬季氧化性较弱,同样说明广州二元羧酸主要是以一次排放为主。

### 2.3 灰霾与非灰霾对比

图3为灰霾与非灰霾期间脂肪酸和二元羧酸变化趋势,本研究根据实际情况,将灰霾定义为采样期间能见度小于10 km,相对湿度小于80%。灰霾天气脂肪酸和二元羧酸分别是非灰霾天气的1.94和2.51倍。灰霾天气大气颗粒物、有机碳和元素碳分别是非灰霾天气的1.93、2.87和1.76倍,与之前广州典型灰霾污染过程变化趋势相近<sup>[24]</sup>。其中元素碳和脂肪酸的增加幅度接近且较小,增加幅度较大的为有机碳和二元羧酸。

表 1 采样期间脂肪酸和二元羧酸的含量/ $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$

Table 1 Concentrations of fatty and dicarboxylic acids during the sampling period / $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$

| 化合物  | 25 日晚上 | 26 日白天 | 26 日晚上 | 27 日白天 | 27 日晚上 | 28 日白天 | 28 日晚上 | 29 日白天 | 29 日晚上 |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 脂肪酸  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 正十二酸 | 6.99   | 7.61   | 10.0   | 5.56   | 9      | 9.71   | 9.65   | 5.95   | 4.26   |
| 正十四酸 | 14.4   | 9.94   | 12.7   | 10.1   | 7.85   | 10.0   | 9.78   | 9.07   | 5.53   |
| 正十五酸 | 7.04   | 7.16   | 9.86   | 7.35   | 7.73   | 7.02   | 6.96   | 5.44   | 2.48   |
| 正十六酸 | 191    | 190    | 387    | 218    | 232    | 194    | 162    | 118    | 62.0   |
| 正十七酸 | 2.92   | 2.80   | 4.86   | 3.23   | 3.55   | 3.04   | 2.36   | 1.49   | 0.43   |
| 正十八酸 | 76.3   | 89.7   | 209    | 92.5   | 129    | 72.5   | 86.8   | 47.3   | 21.3   |
| 正十九酸 | 2.09   | 1.1    | 0.54   | 1.94   | 3.63   | 0.71   | 0.26   | 0.66   | 0.8    |
| 正廿酸  | 4.2    | 4.01   | 6.02   | 3.78   | 5.2    | 3.09   | 4.24   | 2.58   | 0.71   |
| 正廿一酸 | 1.28   | 1.31   | 0.88   | 1.37   | 1.2    | 0.86   | 1.24   | 0.61   | 0.31   |
| 正廿二酸 | 5.01   | 4.11   | 5.1    | 3.59   | 4.05   | 3.11   | 4.63   | 2.74   | 0.63   |
| 正廿三酸 | 1.18   | 1.34   | 1.95   | 1.72   | 1.99   | 1.6    | 1.96   | 0.89   | 0.47   |
| 正廿四酸 | 37.1   | 38.5   | 44.7   | 47.1   | 96.6   | 40.7   | 37.1   | 29.9   | 12.3   |
| 正廿五酸 | 18.8   | 11.3   | 16.9   | 12.0   | 14.3   | 11.5   | 10.6   | 10.5   | 18.9   |
| 正廿六酸 | 35.6   | 24.0   | 33.4   | 25.0   | 29.5   | 22.7   | 20.7   | 24.7   | 35.6   |
| 正廿七酸 | 4.58   | 2.81   | 3.94   | 3.05   | 5.71   | 5.08   | 4.11   | 3.42   | 4.58   |
| 正廿八酸 | 11.5   | 17.6   | 23.3   | 11.4   | 14.6   | 17.5   | 15.5   | 22.8   | 11.5   |
| 正廿九酸 | 2.81   | 2.83   | 3.98   | 2.55   | 4.41   | 1.73   | 2.31   | 4.78   | 2.81   |
| 正三十酸 | 5.98   | 8.17   | 11.4   | 7.99   | 6.65   | 13.8   | 6.7    | 8.7    | 5.98   |
| 总量   | 429    | 424    | 786    | 459    | 577    | 419    | 387    | 300    | 190    |
| 二元羧酸 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 丙二酸  | 1.14   | 1.08   | 1.53   | 3.62   | 3.45   | 3.41   | 2.18   | 0.58   | 0.32   |
| 丁二酸  | 14.8   | 22.0   | 39.1   | 30.9   | 35.7   | 42.8   | 51.5   | 12.2   | 10.0   |
| 戊二酸  | 4.04   | 5.48   | 9.07   | 2.81   | 11     | 12.7   | 8.99   | 3.32   | 2.52   |
| 己二酸  | 1.27   | 1.44   | 2.1    | 0.72   | 2.85   | 4.14   | 2.11   | 0.96   | 0.5    |
| 庚二酸  | 0.85   | 1.13   | 1.6    | 1.02   | 0.69   | 1.04   | 0.84   | 0.94   | 0.23   |
| 辛二酸  | 1.17   | 0.88   | 0.79   | 0.79   | 0.56   | 1.18   | 1.37   | 0.69   | 0.45   |
| 壬二酸  | 7.75   | 7.2    | 8.74   | 11.4   | 16.9   | 13.9   | 9.74   | 5.13   | 1.45   |
| 癸二酸  | 1.05   | 0.74   | 0.61   | 1.03   | 1.35   | 1.11   | 1.81   | 0.57   | 0.17   |
| 总量   | 32.1   | 40     | 63.5   | 52.3   | 72.6   | 80.3   | 78.6   | 24.4   | 15.7   |

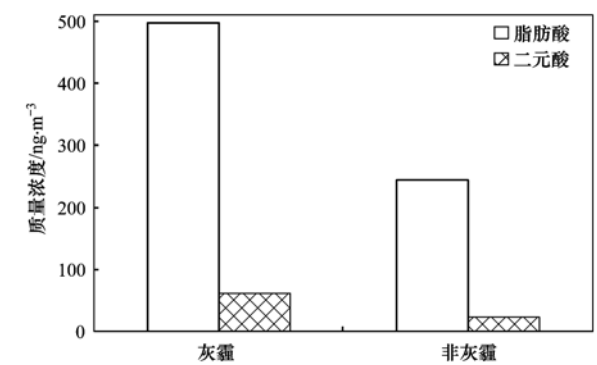


图 3 灰霾与非灰霾期间脂肪酸和二元羧酸变化趋势

Fig. 3 Average level of fatty acids and dicarboxylic acids in haze and normal days

2.4 昼夜变化规律

采样期间二元羧酸和脂肪酸日均值浓度呈明显的波动,总体上与颗粒物和碳质组分的变化趋势一致. 10 月 26 日晚上脂肪酸呈现明显差异性特征,浓度值最高,且高于颗粒物污染最严重的 10 月 27 日

晚上脂肪酸浓度  $200\text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ . 10 月 26 日晚上正十八酸异常高值导致了整体浓度的升高. 而二元羧酸最高值出现在 10 月 28 日白天样品. 可能当天样品采集大气平均温度比较高,光化学反应强有关. 有研究认为<sup>[25]</sup>,机动车、燃煤、烹饪等污染排放是二元羧酸的重要来源,但各种气态污染物( $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{NH}_3$ )及挥发性有机物(VOCs)经过复杂的光化学反应也是形成二元羧酸的另一个重要来源.

与南京市<sup>[15]</sup>和北京市<sup>[26]</sup>大气气溶胶中二元羧酸的晚上质量浓度普遍高于相应的白天质量浓度不同的是:广州有机酸昼夜变化没有一致的变化规律. 从有机酸的昼夜变化来看,脂肪酸的浓度在大气颗粒物达到浓度最值之前,晚上的浓度都要高于白天浓度,而随着大气颗粒物浓度的降低,晚上脂肪酸的浓度要低于白天的值,二元羧酸有着相似的变化规律. 反映灰霾期间有机酸的昼夜浓度变化主要受不同天气系统控制. 图 4 为采样期间有机酸和有

机碳之间的比值. 从图中可以看出,除 10 月 26 日晚上外,比值的整体变化趋势与有机碳的变化趋势呈负相关,有机碳浓度越高,比值越小. 说明随着有机碳浓度的增加,有机酸增加的同时,但有机酸在有机碳中的比例却随着降低了,说明灰霾期间有机酸的富集率低于有机碳的富集率.

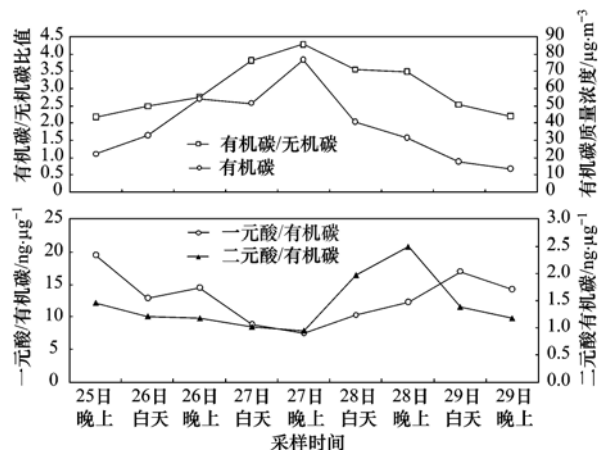


图 4 有机酸和有机碳之间的比值与有机碳变化趋势

Fig. 4 Ratio of fatty acids to organic carbon and the trend of organic carbon

#### 4 结论

(1)通过广州典型灰霾污染过程研究发现,大气颗粒物及其中的碳质组分、脂肪酸和二元羧酸的污染水平较高.

(2)脂肪酸和二元羧酸的昼夜变化主要受大尺度气象条件的影响,污染上升过程脂肪酸和二元羧酸晚上浓度高于白天浓度,而在污染降低过程,白天脂肪酸和二元羧酸浓度要高于晚上浓度.

(3)有机酸和有机碳之间的比值整体变化趋势与有机碳的变化趋势呈负相关,有机碳浓度越高,比值越小;基于特征比值法(C3/C4)及相关性分析,表明广州灰霾污染过程脂肪酸和二元羧酸都是以一次排放为主.

#### 参考文献:

[1] Tan J H, Duan J C, Chen D H, *et al.* Chemical characteristics of haze during summer and winter in Guangzhou [J]. *Atmospheric Research*, 2009, **94**(2): 238-245.

[2] 段青春, 谭吉华, 盛国英, 等. 广州灰霾期间颗粒态 PAHs 的污染特征及来源[J]. *环境科学*, 2009, **30**(6): 1574-1579.

[3] 江伟, 李心清, 曾勇, 等. 贵州省遵义地区降水中低分子有机酸及其来源[J]. *环境科学*, 2009, **29**(9): 2425-2431.

[4] 牛彧文, 顾骏强, 俞向明, 等. 有机酸对长江三角洲大气背景区降水酸化的影响[J]. *中国环境科学*, 2010, **30**(2): 150-154.

[5] 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.

[6] 徐小娟, 李杏茹, 王跃思, 等. 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[J]. *环境科学*, 2012, **33**(5): 1425-1430.

[7] Simoneit B R T, Elias V O, Kobayashi M, *et al.* Sugars-dominant water-soluble organic compounds in soils and characterization as tracers in atmospheric particulate matter [J]. *Environmental Science and Technology*, 2004, **38**(22): 5939-5949.

[8] 许士玉, 胡敏. 气溶胶中的水溶性有机物研究进展[J]. *环境科学学报*, 2000, **13**(1): 50-53.

[9] Saxena P, Hildemann L M. Water-soluble organics in atmospheric particles: a critical review of the literature and application of thermodynamics to identify candidate compounds [J]. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 1996, **24**(1): 57-109.

[10] Jiang Y L, Hou X M, Zhuang G S, *et al.* The sources and seasonal variations of organic compounds in PM<sub>2.5</sub> in Beijing and Shanghai [J]. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 2009, **62**(3): 175-192.

[11] 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.

[12] Yao X H, Fang M, Chan C K, *et al.* Characterization of dicarboxylic acids in PM<sub>2.5</sub> in Hong Kong [J]. *Atmospheric Environment*, 2004, **38**(7): 963-970.

[13] 余学春, 贺克斌, 马永亮, 等. 北京市 PM<sub>2.5</sub> 水溶性有机物污染特征[J]. *中国环境科学*, 2004, **24**(1): 54-58.

[14] 何凌燕, 胡敏, 黄晓锋, 等. 北京大气气溶胶 PM<sub>2.5</sub> 中的有机示踪化合物[J]. *环境科学学报*, 2005, **25**(1): 23-29.

[15] 牛红云, 陈洁, 王格慧, 等. 南京市大气气溶胶中二元羧酸昼夜变化研究[J]. *环境科学研究*, 2005, **18**(6): 23-26.

[16] 马社霞, 唐小玲, 毕新慧, 等. 广州市大气气溶胶中水溶性有机物的季节变化[J]. *环境科学研究*, 2007, **20**(3): 21-26.

[17] Duan J C, Bi X H, Tan J H, *et al.* The differences of the size distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) between urban and rural sites of Guangzhou, China [J]. *Atmospheric Research*, 2005, **78**(3-4): 190-203.

[18] Duan J C, Bi X H, Tan J H, *et al.* Seasonal variation on size distribution and concentration of PAHs in Guangzhou city, China [J]. *Chemosphere*, 2007, **67**(3): 614-622.

[19] Duan J C, Tan J H, Cheng D X, *et al.* Sources and characteristics of carbonaceous aerosol in two largest cities in Pearl River Delta Region, China [J]. *Atmospheric Environment*, 2007, **41**(14): 2895-2903.

[20] 谭吉华, 赵金平, 段青春, 等. 广州典型灰霾期有机碳和元素碳的污染特征[J]. *环境污染与防治*, 2009, **31**(3): 105-108.

[21] Kawamura K, Ikushima K. Seasonal changes in the distribution

- of dicarboxylic acids in the urban atmosphere[J]. *Environmental Science and Technology*, 1993, **27**(10): 2227-2235.
- [22] Kawamura K, Sempere R, Imai Y. Water soluble dicarboxylic acids and related compounds in Antarctic aerosols[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1996, **101**(D13): 18721-18728.
- [23] 黄晓锋, 胡敏, 何凌燕. 北京市大气气溶胶  $PM_{2.5}$  中水溶性有机酸的测定[J]. *环境科学*, 2004, **25**(5): 21-25.
- [24] Tan J H, Duan J C, He K B, *et al.* Chemical characteristics of  $PM_{2.5}$  during a typical haze episode in Guangzhou[J]. *Journal of Environmental Sciences-China*, 2009, **21**(6): 774-781.
- [25] Wang G H, Wang H, Yu Y J, *et al.* Chemical characterization of water-soluble components of  $PM_{10}$  and  $PM_{2.5}$  atmospheric aerosols in five locations of Nanjing, China[J]. *Atmospheric Environment*, 2003, **37**(21): 2893-2902.
- [26] Wang Y, Zhuang G S, Chen S, *et al.* Characteristics and sources of formic, acetic and oxalic acids in  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$  aerosols in Beijing, China[J]. *Atmospheric Research*, 2007, **84**(2): 169-181.

---

## 《环境科学》再获“百种中国杰出学术期刊”称号

2012 年 12 月 7 日, 中国科技论文统计结果发布会在北京举行, 会议公布了“百种中国杰出学术期刊”获奖名单. 《环境科学》连续 11 次荣获“百种中国杰出学术期刊”称号. “百种中国杰出学术期刊”是根据中国科技学术期刊综合评价指标体系进行评定. 该体系利用总被引频次、影响因子、基金论文比、他引总引比等多个文献计量学指标进行统计分析, 对期刊分学科进行评比, 其评价结果客观公正, 为我国科技界公认, 并具有广泛影响.

## CONTENTS

|                                                                                                                                                                               |                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Advances in Peroxide-Based Decontaminating Technologies .....                                                                                                                 | XI Hai-ling, ZHAO San-ping, ZHOU Wen (1645)                           |
| Environmental Damage Assessment; International Regulations and Revelation to China .....                                                                                      | ZHANG Hong-zhen, CAO Dong, YU Fang, <i>et al.</i> (1653)              |
| Human Health Risk-Based Environmental Criteria for Soil: A Comparative Study Between Countries and Implication for China .....                                                | XU Meng, YAN Zeng-guang, HE Meng-meng, <i>et al.</i> (1667)           |
| Organic Waste Treatment by Earthworm Vermicomposting and Larvae Bioconversion: Review and Perspective .....                                                                   | ZHANG Zhi-jian, LIU Meng, ZHU Jun (1679)                              |
| Strategies of Nutrients Control in Lakes Based on Ecoregions of Lakes in China .....                                                                                          | DIAO Xiao-jun, XI Bei-dou, HE Lian-sheng, <i>et al.</i> (1687)        |
| Current Status of Surface Water Acidification in Northeast China .....                                                                                                        | XU Guang-yi, KANG Rong-hua, LUO Yao, <i>et al.</i> (1695)             |
| Impact Analysis of Xi'an to the Water Quality of Weihe River .....                                                                                                            | YU Jie, LI Huai-en (1700)                                             |
| Distribution Characteristics of Dissolved Oxygen and Its Affecting Factors in the Pearl River Estuary During the Summer of the Extremely Drought Hydrological Year 2011 ..... | YE Feng, HUANG Xiao-ping, SHI Zhen, <i>et al.</i> (1707)              |
| Application of Equilibrium Partitioning Approach to Establish Sediment Quality Criteria for Heavy Metals in Hengyang Section of Xiangjiang River .....                        | HAN Chao-nan, QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, <i>et al.</i> (1715)       |
| Assessing the Benthic Ecological Status in Yangtze River Estuary Using AMBI and M-AMBI .....                                                                                  | CAI Wen-qian, MENG Wei, LIU Lu-san, <i>et al.</i> (1725)              |
| Pollution Load and the First Flush Effect of BOD <sub>5</sub> and COD in Urban Runoff of Wenzhou City .....                                                                   | WANG Jun, BI Chun-juan, CHEN Zhen-lou, <i>et al.</i> (1735)           |
| Influencing Factors in Measuring Absorption Coefficient of Suspended Particulate Matters .....                                                                                | YU Xiao-long, SHEN Fang, ZHANG Jin-fang (1745)                        |
| Relationship Between pCO <sub>2</sub> and Algal Biomass in Xiangxi Bay in Spring .....                                                                                        | YUAN Xi-gong, HUANG Wen-min, BI Yong-hong, <i>et al.</i> (1754)       |
| Effects of Turbulent Fluctuation Intensity on the Growth of Algae and Water Environment .....                                                                                 | LEI Yu, LONG Tian-yu, SAN Lei, <i>et al.</i> (1761)                   |
| Simultaneous Removal of Algae and Its Odorous Metabolite Dimethyl Trisulfide in Water by Potassium Ferrate .....                                                              | MA Xiao-yan, ZHANG Ze-hua, WANG Hong-yu, <i>et al.</i> (1767)         |
| Catalyzed Oxidation of Catechol by the Heterogeneous Fenton-like Reaction of Nano-Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> System .....                  | HE Jie, YANG Xiao-fang, ZHANG Wei-jun, <i>et al.</i> (1773)           |
| Photodegradation of Naproxen in Aqueous Systems by UV Irradiation: Mechanism and Toxicity of Photolysis Products .....                                                        | MA Du-juan, LIU Guo-guang, LÜ Wen-ying, <i>et al.</i> (1782)          |
| Catalytic Ozonation of Nitrobenzene in Water by Acidification-activated Red Mud .....                                                                                         | KANG Ya-ning, LI Hua-nan, XU Bing-bing, <i>et al.</i> (1790)          |
| Experimental Studies on Stability of Floes from Cadmium Pollution Emergency Treatment .....                                                                                   | LIU Wang-rong, GUO Qing-wei, YANG Ren-bin, <i>et al.</i> (1797)       |
| Evaluation of Floc Strength Based on Morphological Analysis and Optical Online Monitoring .....                                                                               | JIN Peng-kang, FENG Yong-ning, WANG Bao-bao, <i>et al.</i> (1802)     |
| Mechanism of Reductive Dechlorination of Trichlorophenol with Different Electron Donors .....                                                                                 | WAN Jin-quan, HU Meng-die, MA Yong-wen, <i>et al.</i> (1808)          |
| Preparation of Magnetic Quaternary Chitosan Salt and Its Adsorption of Methyl Orange from Water .....                                                                         | ZHANG Cong-lu, HU Xiao-min, YING Shi-ying, <i>et al.</i> (1815)       |
| Membrane Fouling by Secondary Effluent of Urban Sewage and the Membrane Properties .....                                                                                      | MENG Xiao-rong, ZHANG Hai-zhen, WANG Lei, <i>et al.</i> (1822)        |
| Treatment of Municipal Wastewater Using the Combined Reversed A <sup>2</sup> /O-MBR Process .....                                                                             | ZHANG Jian-jun, ZOU Gao-long, YANG Shu-fang, <i>et al.</i> (1828)     |
| Study on Sulfur-based Autotrophic Denitrification with Different Electron Donors .....                                                                                        | YUAN Ying, ZHOU Wei-li, WANG Hui, <i>et al.</i> (1835)                |
| Nitrogen Removal and N <sub>2</sub> O Emission Characteristics During the Shortcut Simultaneous Nitrification and Denitrification Process .....                               | LIANG Xiao-ling, LI Ping, WU Jin-hua, <i>et al.</i> (1845)            |
| Optimization of Solid-Phase Extraction for Enrichment of Toxic Organic Compounds in Water Samples .....                                                                       | ZHANG Ming-quan, LI Feng-min, WU Qian-yuan, <i>et al.</i> (1851)      |
| Polycyclic Musks Exposure Affects Gene Expression of Specific Proteins in Earthworm <i>Eisenia fetida</i> .....                                                               | CHEN Chun, LIU Xiao-wei, ZHENG Shun-an, <i>et al.</i> (1857)          |
| Health Risk Assessment and Ozone Formation Potentials of Volatile Organic Compounds from Pharmaceutical Industry in Zhejiang Province .....                                   | XU Zhi-rong, WANG Zhe-ming, XU Ming-zhu, <i>et al.</i> (1864)         |
| Health Effect of Volatile Aldehyde Compounds in Photocatalytic Oxidation of Aromatics Compounds .....                                                                         | ZHAO Wei-rong, LIAO Qiu-wen, YANG Ya-nan, <i>et al.</i> (1871)        |
| Compositions and Distribution Characteristics of Polybrominated Diphenyl Ethers in Serum of Women from Sichuan Province .....                                                 | SHAO Min, CHEN Yong-heng, LI Xiao-yu (1877)                           |
| QSAR/QSPR for Predicting the Toxicity of Imidazolium Ionic Liquids .....                                                                                                      | ZHAO Ji-hong, ZHAO Yong-sheng, ZHANG Hong-zhong, <i>et al.</i> (1882) |
| Spatial and Temporal Characteristics of Heavy Metal Concentration of Surface Soil in Hebin Industrial Park in Shizuishan Northwest China .....                                | FAN Xin-gang, MI Wen-bao, MA Zhen-ning, <i>et al.</i> (1887)          |
| Distribution Characteristic and Current Situation of Soil Rare Earth Contamination in the Bayan Obo Mining Area and Baotou Tailing Reservoir in Inner Mongolia .....          | GUO Wei, FU Rui-ying, ZHAO Ren-xin, <i>et al.</i> (1895)              |
| Road Dust Loading and Chemical Composition at Major Cities in Fujian Province .....                                                                                           | ZHENG An, YANG Bing-yu, WU Shui-ping, <i>et al.</i> (1901)            |
| Numerical Simulation and Application of Electrical Resistivity Survey in Heavy Metal Contaminated Sites .....                                                                 | WANG Yu-ling, NAI Chang-xin, WANG Yan-wen, <i>et al.</i> (1908)       |
| Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on the Growth and Rare Earth Elements Uptake of Soybean Grown in Rare Earth Mine Tailings .....                                       | GUO Wei, ZHAO Ren-xin, ZHAO Wen-jing, <i>et al.</i> (1915)            |
| Algicidal Activity Against Red-tide Algae by Marine Bacterial Strain N3 Isolated from a HABs Area, Southern China .....                                                       | SHI Rong-jun, HUANG Hong-hui, QI Zhan-hui, <i>et al.</i> (1922)       |
| Isolation, Identification and Oxidizing Characterization of an Iron-Sulfur Oxidizing Bacterium LY01 from Acid Mine Drainage .....                                             | LIU Yu-jiao, YANG Xin-ping, WANG Shi-mei, <i>et al.</i> (1930)        |
| Isolation of an Effective Benzo[a]pyrene Degrading Strain and Its Degradation Characteristics .....                                                                           | CAI Han, YIN Hua, YE Jin-shao, <i>et al.</i> (1937)                   |
| Aerobic Microbial Degradation of 2,2',4,4'-Tetrabrominated Diphenyl Ether .....                                                                                               | ZHANG Shu, Franco Giulio, LI Xiao-bao, <i>et al.</i> (1945)           |
| Piggery Wastewater Cultivating Biofloculant-Producing Flora B-737 and the Fermentation Characteristics .....                                                                  | PEI Rui-lin, XIN Xin, ZHANG Xue-qiao, <i>et al.</i> (1951)            |
| Correlation Between Acidic Materials and Acid Deposition in Beijing During 1997-2011 .....                                                                                    | CHEN Yuan-yuan, TIAN He-zhong, YANG Dong-yan, <i>et al.</i> (1958)    |
| Characteristics of Precipitation pH and Conductivity at Mt. Huang .....                                                                                                       | SHI Chun-e, DENG Xue-liang, WU Bi-wen, <i>et al.</i> (1964)           |
| Chemical Characteristics of Water-Soluble Components of Aerosol Particles at Different Altitudes of the Mount Huang in the Summer .....                                       | WEN Bin, YIN Yan, QING Yan-shuo, <i>et al.</i> (1973)                 |
| Pollution Characteristics of Organic Acids in Atmospheric Particles During Haze Periods in Autumn in Guangzhou .....                                                          | TAN Ji-hua, ZHAO Jing-ping, DUAN Jing-chun, <i>et al.</i> (1982)      |
| Characterization of Organic Carbon (OC) and Elemental Carbon (EC) in PM <sub>2.5</sub> During the Winter in Three Major Cities in Fujian Province, China .....                | CHEN Yan-ting, CHEN Jin-sheng, HU Gong-ren, <i>et al.</i> (1988)      |
| Size Distribution of Carbonaceous Particulate Matter in Atmosphere of Shanghai, China .....                                                                                   | YUAN Ning, LIU Wei, ZHAO Xiu-liang, <i>et al.</i> (1995)              |
| Secondary Aerosol Formation Through Photochemical Reactions Estimated by Using Air Quality Monitoring Data in the Downtown of Pudong, Shanghai .....                          | CUI Hu-xiong, WU Ya-ming, DUAN Yu-sen, <i>et al.</i> (2003)           |
| Geochemical Characteristics and Sources of Atmospheric Particulates in Shanghai During Dust Storm Event .....                                                                 | QIAN Peng, ZHENG Xiang-min, ZHOU Li-min (2010)                        |
| Near Surface Atmospheric CO <sub>2</sub> Variations in Autumn at Suburban Xiamen, China .....                                                                                 | LI Yan-li, MU Chao, DENG Jun-jun, <i>et al.</i> (2018)                |
| <i>In-situ</i> Measurement of Background Atmospheric HCFC-142b Using GC-MS and GC-ECD Method .....                                                                            | GUO Li-feng, YAO Bo, ZHOU Ling-xi, <i>et al.</i> (2025)               |
| Airborne Fungal Community Composition in Indoor Environments in Beijing .....                                                                                                 | FANG Zhi-guo, OUYANG Zhi-yun, LIU Peng, <i>et al.</i> (2031)          |
| Study on Quantification Assessment and Odor Fingerprint of Volatile Aromatic Hydrocarbons from Sewage Treatment Plant .....                                                   | GUO Wei, WANG Bo-guang, TANG Xiao-dong, <i>et al.</i> (2038)          |
| Superposition Impact Character of Air Pollution from Decentralization Docks in a Freshwater Port .....                                                                        | LIU Jian-chang, LI Xing-hua, XU Hong-lei, <i>et al.</i> (2044)        |
| Thermal Stability and Transformation Behaviors of Pb in Yima Coal .....                                                                                                       | LIU Rui-qing, WANG Jun-wei (2051)                                     |
| Synergistic Emission Reduction of Chief Air Pollutants and Greenhouse Gases Based on Scenario Simulations of Energy Consumptions in Beijing .....                             | XIE Yuan-bo, LI Wei (2057)                                            |

# 《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5月15日 34卷 第5期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 5 May 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)<br>北京市环境保护科学研究院<br>清华大学环境学院                                                                                                                              | Co-Sponsored     | by | Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection<br>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<br>北京市2871信箱(海淀区双清路<br>18号, 邮政编码:100085)<br>电话:010-62941102, 010-62849343<br>传真:010-62849343<br>E-mail: hjkx@rcees. ac. cn<br>http://www. hjkx. ac. cn | Edited           | by | The Editorial Board of Environmental Science ( HUANJING KEXUE )<br>P. O. Box 2871, Beijing 100085, China<br>Tel: 010-62941102, 010-62849343; Fax: 010-62849343<br>E-mail: hjkx@rcees. ac. cn<br>http://www. hjkx. ac. cn |
| 出 版     | 科 学 出 版 社<br>北京东黄城根北街16号<br>邮政编码:100717                                                                                                                            | Published        | by | Science Press<br>16 Donghuangchenggen North Street,<br>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<br>电话:010-64017032<br>E-mail: journal@ mail. sciencep. com                                                                                               | Distributed      | by | Science Press<br>Tel: 010-64017032<br>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<br>(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