

# 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 ..... 刁海玲,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,黄宁秋 (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)

水中萘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,姚锬,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 ..... 王金泉,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 ..... 张璐璐,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,刘邃庆 (1995)

上海市浦东新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) 专辑征稿通知(1863)

# 我国东北地区地表水酸化现状

徐光仪, 康荣华, 罗遥, 段雷\*

(清华大学环境学院, 环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100084)

**摘要:** 2011 年 8 月对我国东北地区东部的溪流进行采样调查, 以评价地表水的酸化现状. 通过对采集的 33 个水体 pH 值和酸中和容量(ANC)的分析发现, 只有长白山上少数溪流的 pH 值低于 6.0, 而所有采样水体的 ANC 均高于  $0.2 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1}$ , 说明该地区尚未大面积发生地表水酸化问题. 离子浓度分析结果表明,  $\text{HCO}_3^-$  是水体中最主要的阴离子, 而  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度往往小于  $150 \mu\text{eq}\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $\text{NO}_3^-$  浓度更是远低于  $\text{SO}_4^{2-}$ , 这说明该地区酸沉降污染较轻. 但是, 东北地区广泛分布着风化速率较低的酸性森林土壤, 导致一些水体缓冲酸沉降的能力较弱, 水体酸化的可能性仍然存在. 以此类推, 东北亚目前的酸沉降水平尚不足以产生严重的地表水酸化问题, 周边国家不应过分夸大我国排放酸性气体的越境输送导致的环境影响.

**关键词:** 酸化; 地表水; 酸中和容量(ANC); 临界负荷; 东北地区

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)05-1695-05

## Current Status of Surface Water Acidification in Northeast China

XU Guang-yi, KANG Rong-hua, LUO Yao, DUAN Lei

(State Key Joint Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control, School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** In order to evaluate the status of surface water acidification in Northeast China, chemical composition of 33 small streams was investigated in August, 2011. It was found that only a few waters located in Changbai Mountain had pH of lower than 6.0, and all waters had acid neutralizing capacity (ANC) of higher than  $0.2 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1}$ . This indicated that surface water acidification was not a regional environmental issue in Northeast China.  $\text{HCO}_3^-$  was the major anion, with  $\text{SO}_4^{2-}$  concentration mostly below  $150 \mu\text{eq}\cdot\text{L}^{-1}$  and even much lower  $\text{NO}_3^-$  concentration. Low concentration of  $\text{SO}_4^{2-}$  and  $\text{NO}_3^-$  means no serious acid deposition in this area. However, the distribution of acidic forest soils, with low base cation weathering rate, could only provide limited buffering capacity for surface water to acidification in Northeast China, and the potential risk of water acidification still existed. Currently, acid deposition in Northeast Asia could hardly cause severe acidification of surface water. The neighboring countries should therefore not amplify the environmental impact by transboundary air pollutants from China.

**Key words:** acidification; surface water; acid neutralizing capacity (ANC); critical load; Northeast China

酸沉降(俗称酸雨)是我国亟待解决的区域环境问题之一,重污染区主要分布在西南、华中、华南和华东地区,而东北地区也出现酸雨并有恶化的趋势<sup>[1]</sup>. 自从 1993 和 1994 年连续在丹东凤凰山一带观测到较强酸雨以来,辽吉黑三省的酸雨逐渐蔓延,2007 年吉林省东部年酸雨频率局部最高达到 63.6%, 2009 年辽宁省大连市酸雨频率高达 40.3%, pH 均值为 4.84, 已达到中度酸雨污染水平<sup>[2-4]</sup>. 与其他地区不同,东北地区更多地受到境外污染源的影响. 东北亚地区污染物的越境输送多年来也一直受到中、日和韩等相关国家的重视,邻国指称我国的酸性气体排放对其产生重要影响<sup>[5,6]</sup>. 因此,准确认识我国东北地区酸沉降的影响,能为我国应对国际环境争端并制定相关减排对策提供科学依据.

欧洲和北美曾是历史上酸沉降污染最严重的地区. 作为酸沉降可能带来的最严重的环境问题,地

表水酸化于 20 世纪 50 年代之后在北欧多个国家、苏格兰部分地区和北美东北部等地相继发生,对渔业和人体健康造成了严重危害,直到 20 世纪 80 年代以来欧洲和北美采取一系列酸性气体控制减排措施后才逐渐缓解<sup>[7,8]</sup>. 相对于欧洲和北美,我国在酸沉降影响方面的研究十分薄弱,特别是一直缺乏对区域地表水酸化现状及趋势的认识,从而制约了国家对酸沉降的科学控制. 近期对西南地区地表水的调查结果表明,酸化并非严重的区域问题,原因是该地区土壤具有很强的酸中和能力<sup>[9]</sup>. 相对而言,东北地区的土壤对酸沉降更敏感,表现为临界负荷较低,特别是北部大兴安岭地区的漂灰土和东部的暗棕壤<sup>[10]</sup>,因此东北地区的地表水酸化现状同样值得

收稿日期: 2012-07-17; 修订日期: 2012-10-15

基金项目: 环境保护公益性行业科研专项(201009002)

作者简介: 徐光仪(1988~),女,硕士研究生,主要研究方向为大气污染控制, E-mail: xgy06@mails.tsinghua.edu.cn

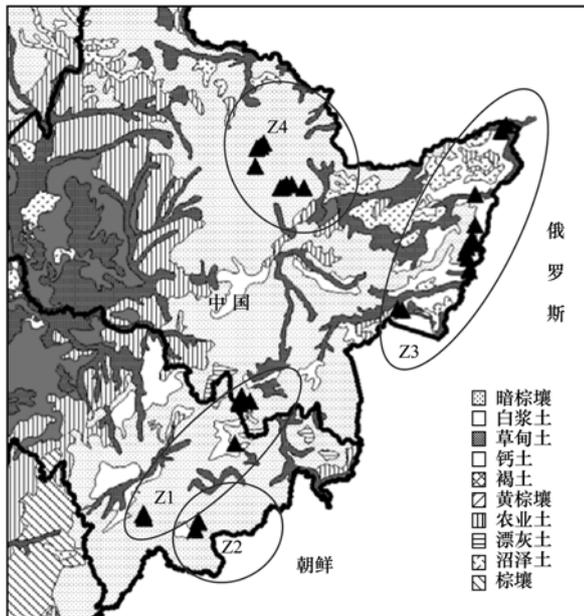
\* 通讯联系人, E-mail: lduan@tsinghua.edu.cn

关注.

## 1 地表水采样和分析

为了尽可能多地找到酸化或者容易酸化的水体,本研究集中在东北地区东部,采样对象为松花江、牡丹江及乌苏里江流域的一些小溪流. 前期研究表明,该地区的土壤和地表水对酸沉降均较敏感<sup>[10,11]</sup>,同时小兴安岭和长白山山区分布着大面积的森林,这些溪流作为河流的源头,没有受到明显的人为活动的影响(如生活污水和农业面源污染,它们均可极大地缓解水体酸化). 相比而言,较大的水体(如河流、湖泊和水库)对酸沉降的中和能力(可以用临界负荷来定量)很高而不容易酸化<sup>[12]</sup>. 东北地区的北部尽管土壤对酸沉降敏感<sup>[10]</sup>,但酸沉降量很低;西部主要是草原,同样酸沉降量很低,而且土壤对酸沉降极不敏感<sup>[10]</sup>;中部和南部为平原地区,土壤对酸沉降也不敏感<sup>[10]</sup>,尽管工农业发达导致酸沉降量可能较高<sup>[2-4]</sup>,同时难以找到明显不受人活动影响的水体.

本研究共采集 33 个地表水的样品,采样水体分布如图 1 所示,大致分成长白山周边山地、长白山、三江平原和小兴安岭等 4 个区域. 采样时间为 2011 年 8 月. 在部分地表水采样点附近同时采集土壤样品. 采集的水样现场测定 pH 值和电导率,实验室测定碱度、主要阴阳离子 ( $F^-$ 、 $Cl^-$ 、 $NO_3^-$ 、 $SO_4^{2-}$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $Na^+$ 、 $K^+$  和  $NH_4^+$ ) 浓度、溶解性有机



背景为主要土壤类型分布,根据文献[15]绘制

图 1 采样点分布示意

Fig. 1 Location of sampling sites of waters

碳(DOC)和总氮(TN)含量. 水体的酸中和容量(ANC)根据主要离子的浓度,通过下式<sup>[13]</sup>计算:

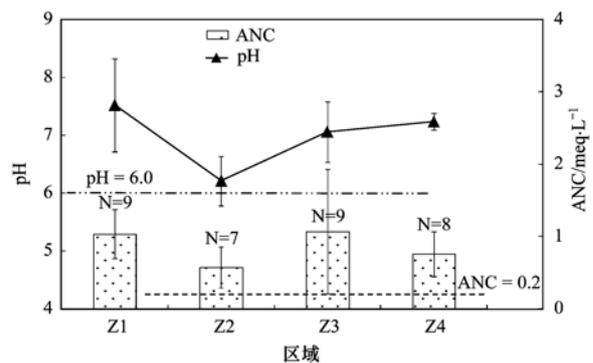
$$ANC = 2[Ca^{2+}] + 2[Mg^{2+}] + [K^+] + [Na^+] - 2[SO_4^{2-}] - [NO_3^-] - [Cl^-] - [F^-] \quad (1)$$

式中,ANC 的单位是  $meq \cdot L^{-1}$  (其中 eq 为当量,相当于电荷摩尔数,下同),各离子浓度单位为  $mmol \cdot L^{-1}$ . 土样测定 pH 值、可交换性盐基含量(CEC)、盐基饱和度(BS)、总氮(TN)和总有机碳(TOC). 水样和土壤的分析方法参见文献[14].

## 2 结果与讨论

### 2.1 区域地表水 pH 值和 ANC

各区域采集地表水的 pH 值分布如图 2 所示. 可以看出,各区域多数地表水的 pH 值均大于 6.0 (根据欧美的研究,地表水 pH 值低于 6.0 即发生明显的酸化,可能导致鱼类死亡<sup>[16]</sup>),这表明该地区地表水总体上并未发生明显酸化. 但是,在采集的水样中, pH 最低值仅为 5.81,该点在长白山区域(Z2),海拔 900 m,植被为落叶松. 长白山区域平均 pH 值为 6.21,普遍低于其他 3 个地区. 与长白山相比,长白山周边山地区域(Z1)的海拔较低,范围 413~819 m,植被是红松林,但该区域地表水 pH 值较高,平均达到 7.52. 其他两个区域,即三江平原(Z3,海拔 54~155 m,植被为阔叶林)和小兴安岭(Z4,海拔 185~377 m,植被为落叶松),地表水平均 pH 值介于上述两者之间,平均值分别为 7.06 和 7.24.



柱图和点表示平均值,误差线表示标准差,下同

图 2 各区域地表水的 pH 值和 ANC

Fig. 2 pH and ANC of surface water in different areas

各区域的平均 ANC 值也如图 2 所示. 国外判断地表水酸化的阈值<sup>[16]</sup>为  $ANC = 0.2 \text{ meq} \cdot L^{-1}$ ,据此可以看出调查水体均高于这个标准,并未酸化. ANC 最低值出现在三江平原区域,为  $0.35 \text{ meq} \cdot L^{-1}$ ;其次出现在长白山,为  $0.38 \text{ meq} \cdot L^{-1}$ ,也

是 pH 最低的水体. 各区域中,地表水 ANC 最低的区域仍是长白山(平均  $0.57 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1}$ ),较高的是三江平原(平均  $1.07 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1}$ ,区域内不同水体的差异较大)和长白山周边山地(平均  $1.04 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1}$ ),小兴安岭居中(平均  $0.76 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1}$ ). 总体上 pH 值较低的水体 ANC 也较低,但也有例外(如 Z3),这与水体的化学组成有关(见 2.2 节).

之前的研究在对长白山和大兴安岭这两个地区一级河流的采样结果显示<sup>[17]</sup> pH 范围为 6.49 ~ 8.01,ANC 范围为  $0.27 \sim 4.95 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1}$ . 总的来看,本研究的 pH 范围为 5.81 ~ 8.24,ANC 范围为  $0.35 \sim 1.71 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1}$ ,两者均稍低,这与采样点和采样时间的差异有关. 不过 2 个研究均表明我国东北地区的地表水酸化问题不严重.

一直以来,东北亚其他国家,比如日本和韩国,对我国排放酸性气体的越境输送十分关注,往往过分高估其环境影响. 事实上,考虑到日韩等国(特别是韩国)的敏感生态系统同我国东北相似<sup>[18]</sup>,既然我国东北地区目前的酸沉降水平仍不足以产生地表水酸化影响,周边国家较低的酸沉降(尽管部分来自我国的排放)更不会产生影响.

在我国西南地区,尽管森林水体 pH 值和 ANC 总体上均高于本研究结果,但是重庆出现 ANC 为负值的情况<sup>[9]</sup>. 前者表明东北地区地表水对酸化的敏感性可能高于西南地区,但西南地区酸沉降污染严重得多<sup>[19,20]</sup>,因此地表水酸化问题可能更严重.

## 2.2 区域地表水主要阴阳离子浓度

各区域的主要阴阳离子浓度如图 3 所示. 从采样水体的离子组成上看,多数水样受到海盐沉降影响,  $\text{Na}^+$  和  $\text{Cl}^-$  浓度较高. 4 个区域的地表水非海盐( $\text{Na}^+$  和  $\text{Cl}^-$  除外)阳离子均以  $\text{Ca}^{2+}$  为主,其次为  $\text{Mg}^{2+}$ . 阴离子主要以  $\text{HCO}_3^-$  为主,由图 3(a)中阴离子浓度之和同阳离子浓度之和之间的差异,占阴离子总数的 80%左右,这与这些水体的 pH 值较高是一致的. 总体来看,长白山水体的离子浓度较低,小兴安岭次之,而长白山周边山地和三江平原较高.

$\text{SO}_4^{2-}$  是除  $\text{HCO}_3^-$  外最主要的阴离子. 如图 3(b)所示,长白山地表水的平均  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度为  $65 \mu\text{eq}\cdot\text{L}^{-1}$ ,明显低于其他几个区域( $150 \mu\text{eq}\cdot\text{L}^{-1}$ 左右). 与我国西南地区地表水  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度普遍高于  $500 \mu\text{eq}\cdot\text{L}^{-1}$ <sup>[9]</sup>相比,东北地区存在较多的  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度很低的水体,它们的  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度与欧洲、美国和日本一些酸化的湖泊和地表水相当(往往小于  $150 \mu\text{eq}\cdot\text{L}^{-1}$ )<sup>[21-23]</sup>. 由于地表水中的  $\text{SO}_4^{2-}$  主要来自

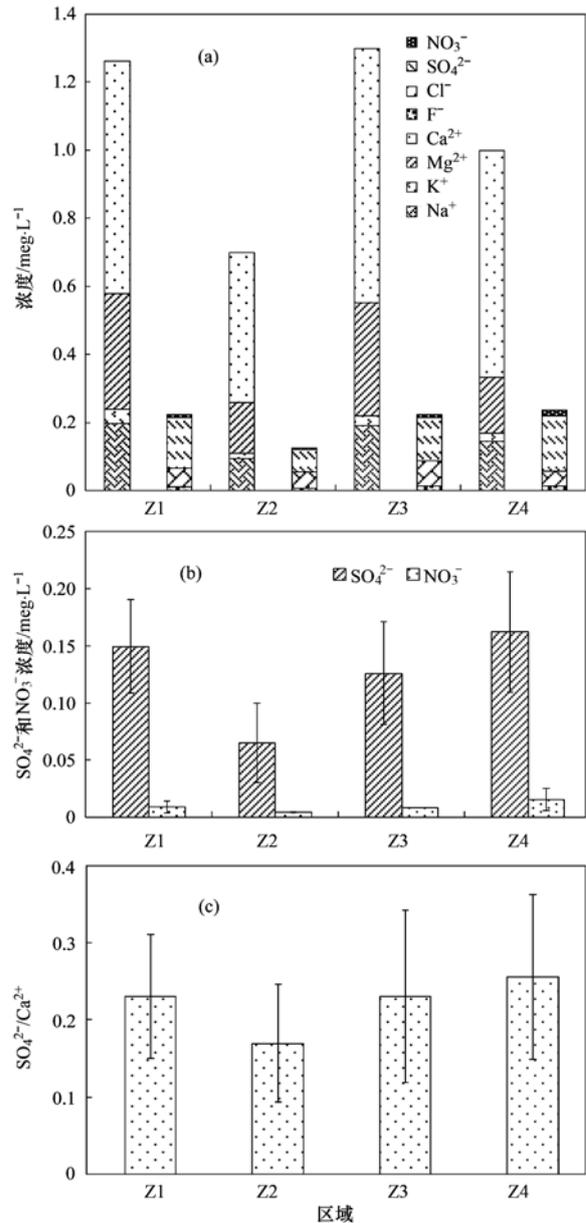


图 3 各区域地表水主要离子浓度、 $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{NO}_3^-$  浓度比较和  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Ca}^{2+}$  (当量比)

Fig. 3 Ion concentration, comparison of  $\text{SO}_4^{2-}$  and  $\text{NO}_3^-$  concentration, and  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Ca}^{2+}$  equivalent ratio

于酸沉降,而人为排放  $\text{SO}_2$  是其主要来源,因此调查结果表明我国东北地区,特别是长白山区域受到的酸沉降污染相对较轻.

图 3(c) 还给出了各区域地表水  $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{Ca}^{2+}$  的当量浓度比.  $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{Ca}^{2+}$  的相对浓度可更好反映酸沉降对地表水酸化的贡献程度<sup>[16]</sup>. 可以看出,长白山区域地表水的比值最低,仅 0.17,明显低于其他区域(0.25 左右). 这些值也大大低于我国西南地区的 0.3 ~ 0.7<sup>[9]</sup>,同样表明我国东北地区受到酸沉降污染较轻.

从图 3(b) 还可以看出, 各区域  $\text{NO}_3^-$  浓度均远低于  $\text{SO}_4^{2-}$ , 整体上各区域二者变化趋势一致. 由于地表水中的  $\text{NO}_3^-$  也主要来自于酸沉降(包括  $\text{NH}_4^+$  和  $\text{NO}_3^-$ , 分别来自于氨和氮氧化物排放), 目前大气氮排放对这个地区地表水酸化的贡献远远小于  $\text{SO}_2$  排放.

### 2.3 区域地表水 DOC 浓度

结合图 2 中各区域的 ANC 和图 3(b) 中各区域的  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度可以看出, 除长白山外, 其他区域的 ANC 与  $\text{SO}_4^{2-}$  呈负相关关系, 表明东北地区  $\text{SO}_2$  排放的增加可能导致地表水 ANC 下降, 地表水存在酸化可能性. 但是, 长白山地表水的 ANC 更低,  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度却并不高, 原因是其有机质含量较高. 图 4 给出了各区域的地表水 DOC 浓度. 可以看出, 长白山地表水中 DOC 浓度明显高于其他 3 个区域(这 3 个区域的值相当), 主要是腐殖质含量较高所致. 这与长白山区域为国家级自然保护区, 森林茂盛, 土壤积累大量的有机质是一致的.

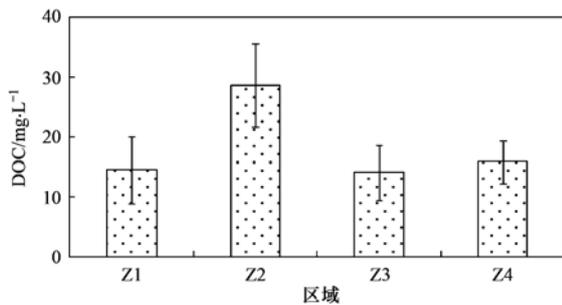


图 4 各区域地表水 DOC 浓度

Fig. 4 DOC concentration of surface water in different areas

### 2.4 区域土壤性质

集水区的土壤性质在很大程度上决定了水体抵抗酸沉降的能力. 长白山和小兴安岭的山地土壤以暗棕壤为主, 而在三江平原草甸土和沼泽土分布最广. 暗棕壤是在温带湿润季风气候和针阔混交林下发育形成的, 表层腐殖质积聚, 全剖面呈中性至微酸性反应, 盐基饱和度 60% ~ 80%; 草甸土发育于地势低平、受地下水或潜水的直接浸润并生长草甸植物的土壤, 属半水成土, 其主要特征是有机质含量较高, 腐殖质层较厚. 沼泽土是发育于长期积水并生长喜湿植物的低洼地土壤, 其表层积聚大量分解程度低的有机质或泥炭, 土壤呈微酸性至酸性反应<sup>[15]</sup>.

土壤样品的分析结果如图 5 所示, 可以看出各区域土壤的 pH 范围为 5 ~ 6, 呈弱酸性; 小兴安岭区域的阳离子交换容量 (CEC) 最高, 达到 136.4

meq·kg<sup>-1</sup>, 对应盐基饱和度 (BS) 达到 99%, 而长白山区域 CEC 含量仅 36.8 meq·kg<sup>-1</sup>, BS 也仅有 60% 左右. 各区域土壤 BS 与 pH 值变化趋势大致相同. 总的来看, 这些土壤 pH 值和 CEC 较低, 特别是风化速率较低<sup>[24]</sup>, 对酸化的缓冲作用较弱. 这是东北地区存在大量酸中和容量较低地表水的重要原因.

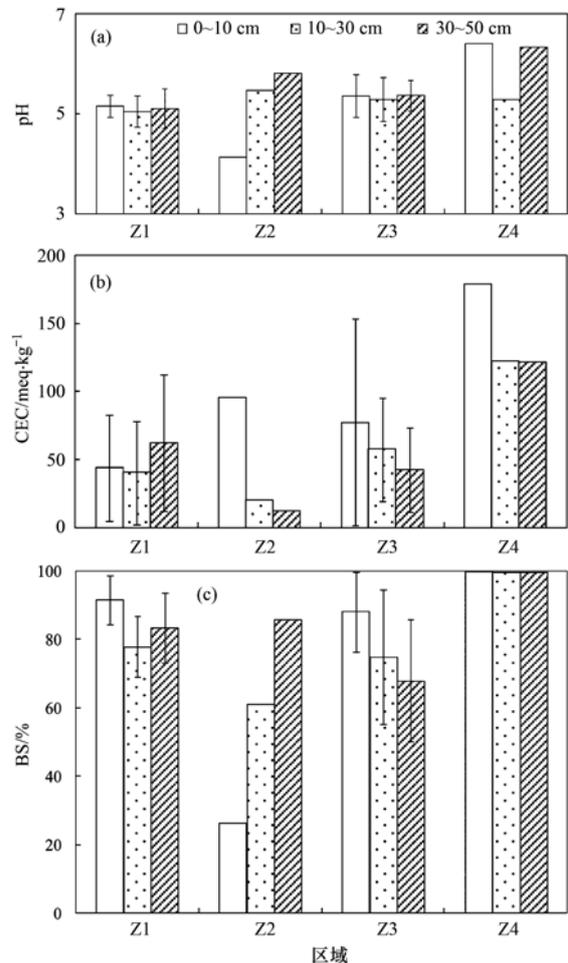


图 5 各区域分层土壤 pH 值、CEC 与 BS

Fig. 5 The pH, CEC and BS of each soil layer in different areas

## 3 结论

尽管由于调查水体数量有限, 本研究没有发现更多的酸化地表水体, 同时调查水体的区域代表性存在一定的不确定性, 但结果表明目前地表水酸化在我国的东北地区并非严重的区域环境问题. 以此类推, 东北亚目前的酸沉降水平尚不足以产生严重的地表水酸化问题, 周边国家不必担忧我国排放酸性气体的越境输送所导致的环境影响. 但是, 由于该地区分布着风化速率较低的土壤类型(比如暗棕壤等), 土壤不能提供很强的酸中和容量, 因此未来如果酸沉降增加, 将可能导致一些地表水发生酸化.

## 参考文献:

- [ 1 ] Tang J, Xu X B, Ba J, *et al.* Trends of the precipitation acidity over China during 1992-2006 [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2010, **55**(17): 1800-1807.
- [ 2 ] 王文兴, 刘红杰, 汤大钢, 等. 辽宁凤凰山酸雨来源研究 [J]. *环境科学研究*, 1997, **10**(1): 22-26.
- [ 3 ] 冯喜媛, 药明, 王亚君. 2007 年酸雨形势简析 [J]. *吉林气象*, 2009, **2**(3): 27-29.
- [ 4 ] 王日东, 苏静. 大连市酸雨的变化趋势及来源简析 [J]. *黑龙江环境通报*, 2011, **35**(4): 20-22.
- [ 5 ] Park J, Cho S Y. A long range transport of SO<sub>2</sub> and sulfate between Korea and East China [J]. *Atmospheric Environment*, 1998, **32**(16): 2745-2756.
- [ 6 ] Hatakeyama S, Hanaoka S, Ikeda K, *et al.* Aerial observation of aerosols transported from East Asia-chemical composition of aerosols and layered structure of an air mass over the East China sea [J]. *Aerosol and Air Quality Research*, 2011, **11**(5): 497-507.
- [ 7 ] Brodin Y W, Kuylenstierna J C I. Background to acidification and critical loads in Nordic countries [J]. *Ambio*, 1992, **21**(5): 332-338.
- [ 8 ] Evans C D, Cullen J M, Alewell C, *et al.* Recovery from acidification in European surface waters [J]. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2001, **5**(3): 283-297.
- [ 9 ] 陈晓, 康荣华, 罗遥, 等. 四川盆地地表水酸化现状与趋势 [J]. *科学通报*, 2012, **57**(25): 2419-2424.
- [ 10 ] Duan L, Xie S D, Zhou Z P, *et al.* Critical loads of acid deposition on soil in China [J]. *Water, Air and Soil Pollution*, 2000, **118**(1-2): 35-51.
- [ 11 ] Ye X M, Hao J M, Duan L, *et al.* Acidification sensitivity and critical loads of acid deposition for surface waters in China [J]. *Science of the Total Environment*, 2002, **289**(1-3): 189-203.
- [ 12 ] Duan L, Hao J M, Xie S D, *et al.* Critical loads of acidity for surface waters in China [J]. *Science of the Total Environment*, 2000, **246**(1): 1-10.
- [ 13 ] Reuss J O, Christophersen N, Seip H M. A critique of models for freshwater and soil acidification [J]. *Water, Air and Soil Pollution*, 1986, **30**(3-4): 909-930.
- [ 14 ] 段雷, 马萧萧, 余德祥, 等. 酸化森林土壤投加石灰石和菱镁矿 5a 后的化学性质变化 [J]. *环境科学*, 2011, **32**(6): 224-229.
- [ 15 ] 熊毅, 李庆远. 中国土壤 [M]. (第二版). 北京: 科学出版社, 1987. 98-192.
- [ 16 ] Henriksen A, Kämäri J, Posch M, *et al.* Critical loads of acidity: Nordic surface waters [J]. *Ambio*, 1992, **21**(5): 356-363.
- [ 17 ] 李艳红. 东北森林地区潜在地表水酸化形势探讨 [J]. *黑龙江科技信息*, 2009, (17): 194.
- [ 18 ] Hettelingh J P, Sverdrup H, Zhao D W. Deriving critical loads for Asia [J]. *Water, Air and Soil Pollution*, 1995, **85**(4): 2565-2570.
- [ 19 ] Xiang R J, Chai L Y, Zhang Q M, *et al.* Ions distributional characteristics of wet precipitation in typical acid rain areas of China [J]. *Journal of Central South University (Science and Technology)*, 2012, **43**(1): 38-45.
- [ 20 ] 赵艳霞, 侯青. 1993-2006 年中国区域酸雨变化特征及成因分析 [J]. *气象学报*, 2008, **66**(6): 1032-1042.
- [ 21 ] Baba M, Suzuki Y, Sasaki H, *et al.* Nitrogen retention in Japanese cedar stands in Northern Honshu, with high nitrogen deposition [J]. *Water, Air, and Soil Pollution*, 2001, **131**(1-4): 1103-1108.
- [ 22 ] Nakahara O, Takahashi M, Sase H, *et al.* Soil and stream water acidification in a forested catchment in central Japan [J]. *Biogeochemistry*, 2010, **97**(2-3): 141-158.
- [ 23 ] Skjelkvåle B L, Evans C, Larssen T, *et al.* Recovery from acidification in European surface waters: A view to the future [J]. *Ambio*, 2003, **32**(3): 170-175.
- [ 24 ] Duan L, Hao J M, Xie S D, *et al.* Determining weathering rates of soils in China [J]. *Geoderma*, 2002, **110**(3-4): 205-225.

## 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[ <i>a</i> ]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) 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