

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第1期

Vol.35 No.1

2014

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

雾霾重污染期间北京居民对高浓度 PM _{2.5} 持续暴露的健康风险及其损害价值评估	谢元博, 陈娟, 李巍 (1)
长白山 PM _{2.5} 中水溶性离子季节变化特征研究	赵亚南, 王跃思, 温天雪, 戴冠华 (9)
青岛大气颗粒物数浓度变化及对能见度的影响	柯馨姝, 盛立芳, 孔君, 郝泽彤, 屈文军 (15)
重庆市大气二噁英污染水平及季节变化	张晓岭, 卢益, 朱明吉, 蹇川, 郭志顺, 邓力, 孙静, 张芹, 罗财红 (22)
西南地区再生铝冶炼行业二噁英大气排放	卢益, 张晓岭, 郭志顺, 蹇川, 朱明吉, 邓力, 孙静, 张芹 (30)
西南地区新型干法水泥生产中的二噁英大气排放	张晓岭, 卢益, 蹇川, 郭志顺, 朱明吉, 邓力, 孙静, 张芹 (35)
杭州市办公场所室内空气中 PBDEs 的污染现状与特征	蒋欣慰, 孙鑫, 裴小强, 金漫彤, 李云龙, 沈学优 (41)
模拟不同排放源排放颗粒及多环芳烃的粒径分布研究	符海欢, 田娜, 商惠斌, 张彬, 叶素芬, 陈晓秋, 吴水平 (46)
川东北地区元素大气沉降通量及其季节变化	童晓宁, 周厚云, 游镇烽, 汤静, 刘厚均, 黄颖, 贺海波 (53)
重庆市铁山坪 2001 ~ 2010 年酸沉降变化	余德祥, 马萧萧, 谭炳全, 赵大为, 张冬保, 段雷 (60)
汉江上游金水河流域氮湿沉降	王金杰, 张克荣, 吴川, 张全发 (66)
麦秸及其烟尘中正构脂肪酸的组成	刘刚, 李久海, 吴丹, 徐慧 (73)
兰州市室内大气降尘环境磁学特征及其随高度变化研究	吴铎, 魏海涛, 赵瑞瑞, 张蕊, 刘建宝 (79)
中亚热带针阔混交林土壤-大气界面释汞通量研究	马明, 王定勇, 申源源, 孙荣国, 黄礼昕 (85)
水稻秸秆生物炭对耕地土壤有机碳及其 CO ₂ 释放的影响	柯跃进, 胡学玉, 易卿, 余忠 (93)
黄海和东海海域溶解铋地球化学分布特征	吴晓丹, 宋金明, 吴斌, 李学刚 (100)
浑河上游(清原段)水环境中重金属时空分布及污染评价	马迎群, 时瑶, 秦延文, 郑丙辉, 赵艳民, 张雷 (108)
POCIS 采样技术应用于九龙江流域水环境中雌激素的检测	张利鹏, 王新红, 李永玉, 吴玉玲, 张祖麟 (117)
降雨条件下岩溶地下水微量元素变化特征及其环境意义	陈雪彬, 杨平恒, 蓝家程, 莫雪, 师麟 (123)
锡林河流域地表水水化学主离子特征及控制因素	唐玺雯, 吴锦奎, 薛丽洋, 张明泉, Frauke Barthold, Lutz Breuer, Hans-Georg Frede (131)
子牙河水系河流氮素组成及空间分布特征	赵钰, 单保庆, 张文强, 王超 (143)
水稻种植对中亚热带红壤丘陵区小流域氮磷养分输出的影响	宋立芳, 王毅, 吴金水, 李勇, 李裕元, 孟岑, 李航, 张满意 (150)
黄东海表层沉积物中磷的分布特征	宋国栋, 刘素美, 张国玲 (157)
河流沉积物中有机磷提取剂 (NaOH-EDTA) 提取比例与机制研究	张文强, 单保庆, 张洪, 唐文忠 (163)
沉积物短期扰动下 BAPP 再生和转化机制	武晓飞, 李大鹏, 汪明 (171)
三峡库区典型农村型消落带沉积物风险评价与重金属来源解析	敖亮, 雷波, 王业春, 周谐, 张晟 (179)
太湖东部不同类型湖区疏浚后沉积物重金属污染及潜在生态风险评价	毛志刚, 谷孝鸿, 陆小明, 曾庆飞, 谷先坤, 李旭光 (186)
滇池沉积物中主要污染物含量时间分异特征研究	王心宇, 周丰, 伊旋, 郭怀成 (194)
浓度层析荧光光谱局部匹配溢油鉴别技术	王春艳, 史晓凤, 李文东, 张金亮 (202)
光电 Fenton 技术处理污泥深度脱水液研究	王现丽, 王世峰, 吴俊峰, 濮文虹, 杨昌柱, 张敬东, 杨家宽 (208)
同步脱氮除磷颗粒污泥硝化反硝化特性试验研究	刘小英, 林慧, 马兆瑞, 王磊, 刘静伟, 郭超, 姜应和 (214)
垃圾填埋场渗滤液短程生物脱氮的长期稳定性实验研究	孙洪伟, 郭英, 彭永臻 (221)
油田区土壤石油烃组分残留特性研究	胡迪, 李川, 董倩倩, 李立明, 李广贺 (227)
水稻光合同化碳在土壤中的矿化和转化动态	谭立敏, 彭佩钦, 李科林, 李宝珍, 聂三安, 葛体达, 童成立, 吴金水 (233)
土地利用及退耕对喀斯特山区土壤活性有机碳的影响	廖洪凯, 李娟, 龙健, 张文娟, 刘云飞 (240)
水稻土团聚体 Cu ²⁺ 吸附过程中铝的溶出及土壤溶液 pH 变化	许海波, 赵道远, 秦超, 李玉姣, 董长勋 (248)
Cr(VI) 对两种黏土矿物在单一及复合溶液中 Cu(II) 吸附的影响	刘娟娟, 梁东丽, 吴小龙, 屈广周, 钱勋 (254)
淹水时长对 3 种丛枝菌根 (AM) 真菌感染 2 种湿地植物的影响	马雷猛, 王鹏腾, 王曙光 (263)
太湖水质与水生生物健康的关联性初探	周笑白, 张宁红, 张咏, 牛志春, 刘雷, 于红霞 (271)
3 种典型污染物对水生生物的急性毒性效应及其水质基准比较	姜东生, 石小荣, 崔益斌, 李梅 (279)
某制药废水对发光细菌急性毒性的评价研究	杜丽娜, 杨帆, 穆玉峰, 余若祯, 左剑恶, 高俊发, 余忻, 滕丽君, 汤薪瑶 (286)
异丙甲草胺与锌共存对斜生栅藻毒性手性差异影响	胡晓娜, 张淑娟, 陈彩东, 刘惠君 (292)
Biotic Ligand Model 的简化模型及预测性能评价	王万宾, 陈莎, 吴敏, 苏德丽, 赵婧 (299)
基于 USEtox 的焦化行业优先污染物筛选排序研究	郝天, 杜鹏飞, 杜斌, 曾思育 (304)
微囊藻毒素降解菌 <i>Paucibacter</i> sp. CH 菌的分离鉴定及其降解特性	游狄杰, 陈晓国, 向荟圯, 欧阳溱, 杨冰 (313)
硝酸盐抑制油田采出水中硫酸盐还原菌活性研究	杨德玉, 张颖, 史荣久, 韩斯琴, 李光哲, 李国桥, 赵劲毅 (319)
降解纤维素产甲烷的四菌复合系	吴俊妹, 马安周, 崔萌萌, 于清, 齐鸿雁, 庄绪亮, 庄国强 (327)
中国陆地生态系统土壤异养呼吸变异的影响因素	谢薇, 陈书涛, 胡正华 (334)
内蒙古羊草草原根呼吸和土壤微生物呼吸区分的研究	史晶晶, 耿元波 (341)
南京河流夏季水-气界面 N ₂ O 排放通量	韩洋, 郑有飞, 吴荣军, 尹继福, 孙霞 (348)
杀菌剂对湖泊水体温室气体浓度分析的影响	肖启涛, 胡正华, James Deng, 肖薇, 刘寿东, 李旭辉 (356)
生物表面活性剂强化剩余污泥微生物燃料电池产电特性研究	彭海利, 张植平, 李小明, 杨麒, 罗琨, 易欣 (365)
不同硅铝比 Fe-ZSM-5 催化剂对氧化亚氮催化分解性能的研究	卢仁杰, 张新艳, 郝郑平 (371)
硫酸铵和尿素对废物焚烧过程中多种途径生成氯苯类的抑制作用	严密, 祁志福, 李晓东, 胡艳军, 陈彤 (380)
县域尺度的京津冀都市圈 CO ₂ 排放时空演变特征	汪浩, 陈操操, 潘涛, 刘春兰, 陈龙, 孙莉 (385)
保水剂性能及其农用安全性评价研究进展	李希, 刘玉荣, 郑袁明, 贺纪正 (394)

重庆市铁山坪 2001 ~ 2010 年酸沉降变化

余德祥¹, 马萧萧², 谭炳全¹, 赵大为³, 张冬保³, 段雷^{4*}

(1. 重庆市沙坪坝气象局, 重庆 400030; 2. 北京国电富通科技发展有限责任公司, 北京 100070; 3. 重庆市环境科学研究院, 重庆 400020; 4. 清华大学环境学院, 国家环境保护大气复合污染来源与控制重点实验室, 北京 100084)

摘要: 我国“十一五”期间实现了全国二氧化硫(SO₂)排放总量削减 10% 以上的目标, 但氮氧化物(NO_x)排放量仍持续增长。为了评估排放的变化对酸沉降控制的效果, 2001 ~ 2010 年在重庆铁山坪连续开展了 10 a 的穿透水观测, 结果表明该地区硫沉降有明显的下降趋势, 而氮沉降有明显的上升趋势, 总体上酸沉降有所下降。以上趋势和重庆市同期 SO₂ 排放量有所下降而 NO_x 排放量持续增长的趋势是一致的, 这表明我国酸沉降控制取得一定的效果。但是, 2010 年重庆铁山坪的穿透水硫沉降量和氮沉降量分别达到 9.9 keq·(hm²·a)⁻¹ 和 4.5 keq·(hm²·a)⁻¹。如果以此作为总沉降量的近似, 将可能存在硫沉降被高估 28%, 氮沉降被低估 50% 的不确定性。以上硫沉降和氮沉降水平平均达到甚至超过欧美在历史上酸沉降最严重时期的水平, 表明重庆地区的酸沉降问题依然严重。

关键词: 酸沉降; 硫沉降; 氮沉降; 穿透水; 重庆

中图分类号: X517 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)01-0060-06

Trend in Acid Deposition at Tieshanping, Chongqing During 2001-2010

YU De-xiang¹, MA Xiao-xiao², TAN Bing-quan¹, ZHAO Da-wei³, ZHANG Dong-bao³, DUAN Lei⁴

(1. Chongqing Shapingba Meteorological Bureau, Chongqing 400030, China; 2. Beijing Guodian Futong Science and Technology Development Co., Ltd., Beijing 100070; 3. Chongqing Institute of Environmental Science, Chongqing 400020, China; 4. State Environmental Protection Key Laboratory of Sources and Control of Air Pollution Complex, School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Although the total emission of sulphure dioxide (SO₂) was reduced by more than 10% in the Eleventh Five-Year-Plan (2006-2010) in China, the total emission of nitrogen oxides (NO_x) in the same period kept increasing. In order to evaluate the effects of the emission changes on acid depostion, a ten-year monitoring on forest throughfall was carried out from 2001 to 2010 at Tieshanping, Chongqing in Southwestern China. The results indicated there was a significantly decreasing trend of sulphur deposition and an increasing trend of nitrogen deposition, which coincided well with the decreasing trend of SO₂ emission and increasing tread of NO_x emission in Chongqing, respectively. As the net effect, acid deposition was reduced by the emission contol. However, the total deposition of sulphur and nitrogen in 2010 was estimated to be 9.9 keq·(hm²·a)⁻¹ and 4.5 keq·(hm²·a)⁻¹, respectively according to the throughfall data, with the former probably overestimated by 28% and the latter underestimated by 50%. Since both the sulphur deposition and nitrogen deposition are higher than the highest levels in the history in Europe and North America, acid deposition is still a serious issue in Chongqing.

Key words: acid deposition; sulphur deposition; nitrogen deposition; throughfall; Chongqing

酸沉降(包括干沉降和湿沉降,其中湿沉降俗称酸雨)是我国亟待解决的区域环境问题之一。我国酸雨最早在西南地区发现,“六五”期间我国进行了第一次酸雨调查,在以重庆和贵阳等大城市为中心的区域,酸雨已经非常严重^[1~3]。至今,西南地区仍是我国主要的重酸雨区^[4~6]。目前重污染区还分布在华中、华南和华东地区,而东北地区也出现酸雨并有恶化的趋势^[6]。在过去的 30 多年中,由于经济社会的快速发展导致的致酸气体,包括二氧化硫(SO₂)、氮氧化物(NO_x)和氨(NH₃)(尽管通常认为是碱性气体能够中和大气降水的酸度,但沉降到土壤中后被植物吸收或发生硝化作用,总体上产生酸化效应^[7])的大量排放是其根本原因。为了遏制酸

雨并改善大气环境,国家在“十一五”期间实现了 SO₂ 排放总量超过 10% 的削减,进而“十二五”期间在 SO₂ 继续削减 8% 的同时削减 10% 的氮氧化物排放。大气污染物总量控制的效果将通过对大气沉降的监测结果来评价。

大气沉降包括湿沉降和干沉降,其中干沉降测定通常十分困难,但是在森林地区则可利用穿透水法^[8~12]。穿透水指大气降水通过林冠空隙直接落入林地或在林冠下层形成水滴落入林地,当忽略林冠

收稿日期:2013-04-28; 修订日期:2013-06-06

基金项目:环境保护公益性行业科研专项(201209001)

作者简介:余德祥(1962 ~),男,工程师,主要研究方向为大气科学,
E-mail:dexiangyu@163.com

* 通讯联系人, E-mail:lduan@tsinghua.edu.cn

交换作用时,穿透水中各种离子的通量等于森林生态系统的总沉降通量^[12]。目前我国环保部门的常规监测只进行湿沉降的长期观测,而针对总沉降的研究性观测^[12~16]一般持续时间较短,无法反映长期趋势。本研究利用重庆郊区长达 10 a(2001~2010 年)穿透水监测资料,来评价重庆市大气污染物总量控制的效果。重庆市是我国西南最大的城市和工业基地,燃用高硫煤作为主要的能源和不佳的大气扩散条件使得该城市成为我国空气污染最严重的城市之一。

1 材料与方法

1.1 实验样地

在重庆市东北郊的铁山坪林场的一片马尾松(*Pinus massoniana*)林内进行穿透水的连续观测。马尾松林是我国东南部湿润亚热带地区分布最广和资源最大的森林群落,也是这一地区典型代表群系之一,有天然林,也有大面积的人工林^[17]。该地(106°41.24'E,29°37.42'N)距市中心大约 25 km,海拔约 500 m,年均温度 18℃左右,年均降水量 1 100 mm·a⁻¹左右(30 a 平均,沙坪坝气象台)。观测在位于南坡的 40 a 树龄人工马尾松林内开展,林分比较整齐,密度约为 800 株·hm⁻²,平均树高 15 m。

在中国-挪威合作项目“中国陆地生态系统酸化的综合观测计划”(Integrated Monitoring Program on Acidification of Chinese Terrestrial Systems, IMPACTS)^[13,18]的支持下,2000 年在同一片马尾松林内设立了 4 块 30×30 m²的样区,在每个样区四角(样区内距相邻两边均为 2 m)各安装一个穿透水采样器。采样器由一个倒立的内径 9.0 cm 的剪去瓶底的塑料采样瓶和一个塑料收集瓶组成(两瓶瓶口相连),用竹竿固定在距地面 1 m 高处。用尼龙网罩住采样瓶底以避免枯落物掉入。为避光并减少样品蒸发,收集瓶用锡箔纸包裹。2004 年底 IMPACTS 项目结束后观测仍继续进行至今。

1.2 采样和分析方法

从 2001 年 1 月起开始对每个样区的穿透水进行采样,各样区每周采样 1 次,同一样区 4 个样品合并成一个样品,记录每个样品的体积。每 4 周的样品合并作为月平均样品。样品均于 4℃保存,并尽快送实验室分析。样品分别测定其 pH 值(SevenGo-SG2 pH 计)、电导率(SevenGo-SG3 电导率仪)和各大主要阴阳离子(Cl⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻、Ca²⁺、Mg²⁺、

Na⁺、K⁺和 NH₄⁺)浓度(戴安 ICS-2000 离子色谱仪,在进行离子分析前先将水样用 0.45 μm 的滤膜进行过滤)。

1.3 数据分析方法

根据各月获得的穿透水的样品体积和 4 个采样瓶的截面积之和可计算各样区的月穿透水量,4 个样区取平均值得到月穿透水量,进而各月累加得到年穿透水量。每月 4 个样区的各主要离子浓度以各自样区的月穿透水量为权重进行加权平均,得到月平均浓度,进而以每月的穿透水量为权重进行加权平均,得到年平均浓度。平均 pH 值则根据平均 H⁺浓度计算得到。各主要离子的月平均浓度与月穿透水量相乘,得到月沉降量;将全年各月沉降量相加,得到年沉降量。

截至 2010 年已经进行了整 10 a 的观测(其间存在个别月份因重庆地区干旱,一些样地未采集到穿透水)。基于逐月 pH 值和主要离子浓度,本研究利用流量调节的季节性肯达尔检验法(Seasonal-Kendall Test, SKT)来分析穿透水化学组成的年际变化趋势^[19,20],用 Sen 斜率估计法(Sen's estimator of slope)计算年变化率^[21]。该方法在河流水质变化趋势分析中有很多应用^[22,23],近年也在酸雨变化趋势研究中有所使用^[24,25]。用 Pearson 系数反映沉降量同大气污染物排放量相关关系。

2 结果与分析

2.1 pH 值和主要离子浓度的月变化

观测期间穿透水量、pH 值和主要离子(SO₄²⁻、NO₃⁻、NH₄⁺和 Ca²⁺)浓度的月变化如图 1 所示,存在明显的季节变化。如图 1(a)所示,穿透水 pH 值呈“冬季低,夏季高”的趋势,这与该地区穿透水量(代表降水量)的季节变化特征相一致[但峰值出现稍滞后,图 1(a)]。pH 变化范围很大(2.48~6.19),大多数月份 pH 值小于 4.5(重酸雨),但夏季个别月份有可能大于 5.6(非酸雨)。SO₄²⁻、NO₃⁻和 Ca²⁺浓度则呈明显的“冬季高,夏季低”的趋势[图 1(b)和 1(c)]。几种离子的浓度变化范围也很大。总体来看,冬季降水量低,SO₄²⁻和 NO₃⁻等离子浓度较高,从而 H⁺浓度较高, pH 值较低。夏季降水量大,稀释作用使得 SO₄²⁻和 NO₃⁻等离子浓度较低,因而 pH 值较高。从图 1(b)中还可以看出, NH₄⁺尽管与 SO₄²⁻、NO₃⁻和 Ca²⁺等离子一样在冬季出现浓度的峰值,在夏季也出现峰值(原因是春夏 NH₃

排放量较高,主要来自周边地区农田氮肥的使用),这可能是夏季 pH 值较高的另一原因。

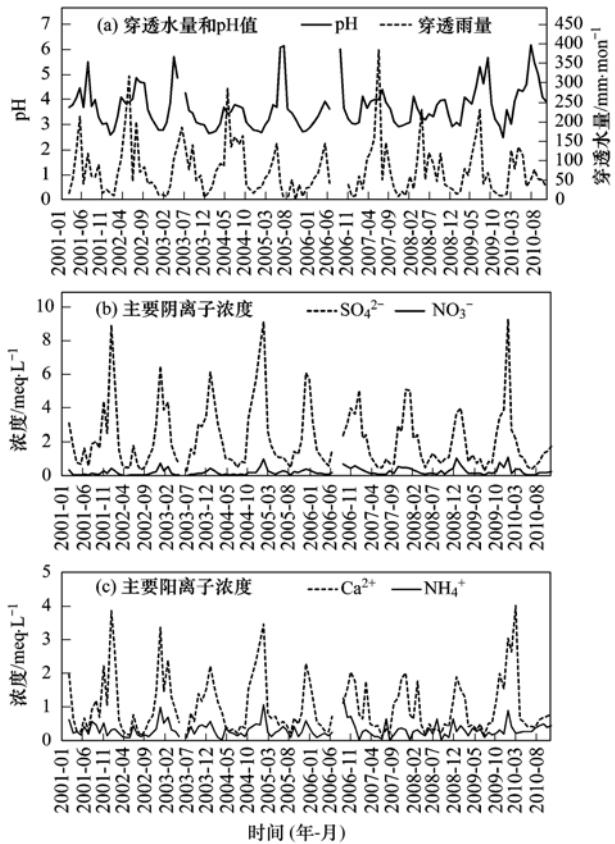


图1 穿透水月均水量、pH 值和主要阴阳离子浓度

Fig. 1 Monthly average water flux, pH value, and concentration of major anions and cations of throughfall

2.2 年均 pH 值和主要离子浓度

观测期间年均穿透水量、pH 值和主要离子浓度如图 2 所示. 利用流量校正 SKT 检验得到的穿透水 pH 值和主要离子浓度的变化趋势结果如表 1 所示. 结合图 2(a) 和表 1 可以看出,在观测的 10 a 间,穿透水 pH 值呈显著的逐年上升趋势(年增加率为 0.042 a⁻¹),特别是在 2006 年后(年变化率为 0.171 a⁻¹). 不过,2005 年前呈不明显的下降趋势. 总体来看,穿透水 pH 值均低于 5.0,一些年份甚至低于 4.5,与该地区属于重酸雨区是一致的. 2009 和 2010 年稳定在 4.8 左右,稍高于 2001 年的水平.

表 1 穿透水 pH 值和主要离子浓度的年变化率¹⁾

Table 1 Change rate of pH and concentration of major ions in throughfall

时间段	pH	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺
2001 ~ 2010 年	0.042 *	-50.6 **	12.7 **	-1.38	-21.4
其中:2001 ~ 2005 年	-0.090	163	26.3 **	8.28	41.0
2006 ~ 2010 年	0.171 *	11.8	-14.5	23.5	-5.6

1) 离子浓度变化率单位 μeq·(L·a)⁻¹, pH 变化率单位为 a⁻¹; * 表示流量校正 SKT 表明趋势显著, P < 0.05; ** 表示高度显著, P < 0.01

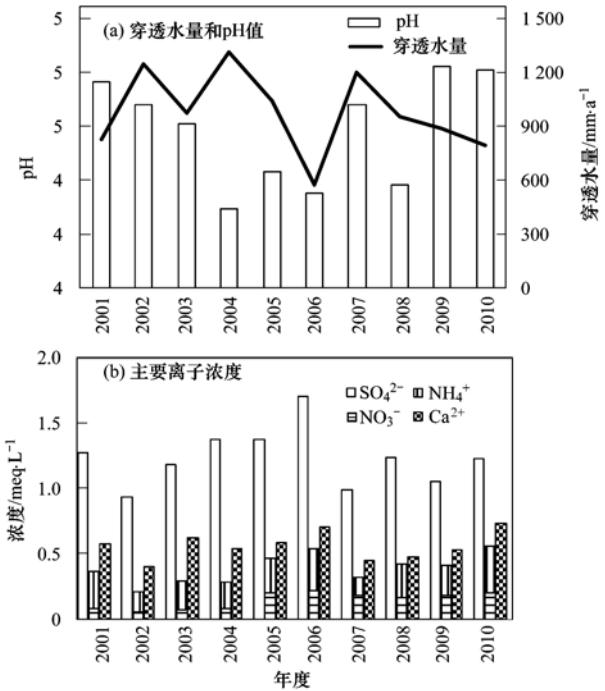


图2 穿透水年均水量、pH 值和主要离子浓度

Fig. 2 Yearly average water flux, pH value and concentration of major ions of throughfall

从图 2(b) 和表 1 可以看出,不同离子浓度变化趋势存在差异. SO₄²⁻ 浓度在观测的 10 a 间呈显著下降的趋势,年变化率为 -50.6 μeq·(L·a)⁻¹; NO₃⁻ 则呈显著的上升趋势,年变化率为 12.7 μeq·(L·a)⁻¹; NH₄⁺ 和 Ca²⁺ 则无明显的变化趋势. 由于 SO₄²⁻ 浓度的年下降率大于 NO₃⁻ 浓度的上升率,所以穿透水的酸度总体上应该下降,这与 pH 值的变化趋势是一致的.

2.3 主要离子沉降量

观测期间主要离子 (SO₄²⁻、NO₃⁻、NH₄⁺ 和 Ca²⁺) 的穿透水沉降量如图 3 所示. 硫沉降量在 2004 年前呈上升趋势,2004 年达到最高 [18.2

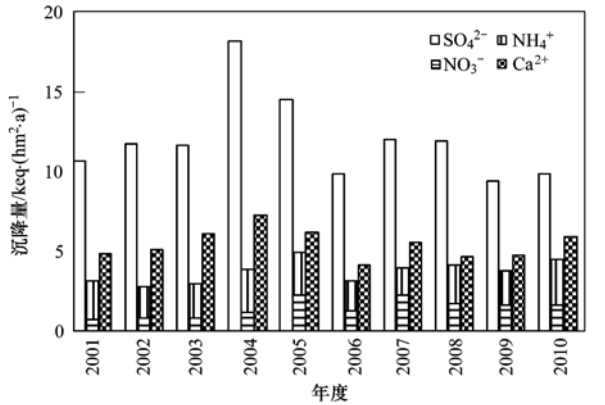


图3 主要离子的穿透水沉降量

Fig. 3 Deposition of major ions by throughfall

$\text{keq}\cdot(\text{hm}^2\cdot\text{a})^{-1}$],之后有逐渐降低的趋势,2010 年硫沉降量为 $9.9\text{ keq}\cdot(\text{hm}^2\cdot\text{a})^{-1}$,低于 2001 年水平. 氮沉降总体上呈增加趋势,2010 年达到 $4.5\text{ keq}\cdot(\text{hm}^2\cdot\text{a})^{-1}$,比 2001 年增加约 50%,其中 NO_3^- 的增加较明显,尽管仅占 1/3. 相对而言,钙沉降变化趋势不明显. 这些结果同 2.3 中相应离子的年均浓度的变化是一致的. 需要注意的是,2010 年不论硫沉降还是氮沉降水平都不低于甚至高于欧美酸沉降最严重时期的水平^[18].

3 讨论

3.1 总沉降的不确定性

利用穿透水方法观测大气沉降应用很广,欧美在多个大型观测计划中一直使用该方法^[10,11]. 近年来我国也有研究利用干湿沉降采样器对大气总沉降进行测定^[26,27],但会造成严重低估^[28]. 穿透水方法同样存在一定的不确定性,即林冠对各种离子存在交换作用. 通常认为, SO_4^{2-} 、 Cl^- 和 Na^+ (特别是 Na^+) 的林冠交换作用可以忽略,而 NO_3^- 和 NH_4^+

(特别是 NH_4^+) 被吸收, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 K^+ 会发生淋溶现象^[9],于是 NH_4^+ 沉降量可能被低估(从而氮沉降被低估),而 Ca^{2+} 沉降可能被高估. 于是,可以利用 Na^+ 的穿透水沉降和湿沉降的比例来对其他离子的总沉降量进行校正(即总沉降量等于该离子的湿沉降量乘以 Na^+ 的比例). 利用 IMPACTS 项目 2001 ~ 2004 年的湿沉降和穿透水沉降数据^[13,18],可以得到各离子的穿透水沉降和湿沉降的比例,如表 2 所示. 如果假设 Na^+ 的树冠交换作用可忽略,则各种的离子的总沉降是湿沉降的 4.3 倍(2001 ~ 2004 年平均),也就是说干沉降对总沉降的贡献远远高于湿沉降,仅对湿沉降进行观测是无法准确获取总沉降信息的. 此外, SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 NO_3^- 和 NH_4^+ 的穿透水沉降同湿沉降的比例分别是 5.5、9.6、2.1 和 2.2,于是利用穿透水沉降作为总沉降时, SO_4^{2-} 和 Ca^{2+} 的总沉降可能被分别高估 28% 和 123%,而 NO_3^- 和 NH_4^+ 的总沉降被分别低估 51% 和 49%,从而氮沉降被低估约 50%. 不过,上述不确定性对总沉降趋势的评估没有影响.

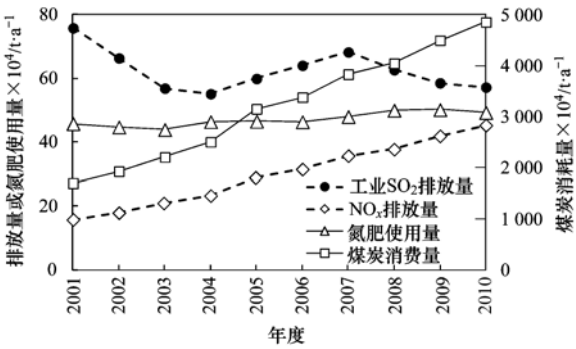
表 2 各离子的穿透水沉降量同湿沉降量的比值

Table 2 Ratio between throughfall and wet deposition

年份	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	NH_4^+	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-
2001	9.1	8.6	4.0	13.8	2.6	5.5	2.3	5.8
2002	9.8	7.5	4.7	11.3	1.9	5.5	2.1	5.9
2003	9.7	10.3	3.7	14.6	2.1	5.4	1.8	5.7
2004	9.7	10.0	4.8	14.0	2.0	5.9	2.1	7.6
平均	9.6	9.1	4.3	13.4	2.2	5.5	2.1	6.2

3.2 沉降与排放趋势的相关性

一个地区的酸沉降量尽管受到气象条件的影响(如图 1 和图 2),但通常主要取决于周边前体污染物的排放量. 根据观测结果,重庆铁山坪地区沉降中的 SO_4^{2-} 浓度(或硫沉降)在 2001 ~ 2010 年间呈显著的下降趋势,这同重庆市这十年间 SO_2 排放量的总体趋势(如图 4)是一致的(但是 Pearson 相关性不显著). 尽管煤炭燃煤量在这十年间持续快速增长(如图 4),但是由于采取了 SO_2 污染控制措施,比如 1998 年两控区划分之后的限制高硫煤使用,特别是“十一五”期间的总量控制(大规模安装电厂烟气脱硫设施),重庆市 SO_2 排放量反而有所下降. 与 SO_2 相反,由于未采取严格的控制措施,可以预见 NO_x 排放量将保持快速增长的趋势(图 4),这和沉降中 NO_3^- 浓度(NO_3^- 沉降)呈显著的上升趋势是一致的(Pearson 相关性显著). 氮沉降的另一种前体物 NH_3 主要来源于氮肥的使用^[29],由于重庆市在



煤炭和氮肥使用量以及工业 SO_2 排放量引自文献[30],
 NO_x 排放量以 NO_2 计,2003 年和 2005 年数据
引自文献[31,32],其他年份按照燃煤量类推
图 4 重庆市 2001 ~ 2010 年煤炭和氮肥使用量以及 SO_2
(工业)和 NO_x 排放量

Fig. 4 Coal and N-fertilizer consumption and industrial SO_2 and NO_x emission in Chongqing in 2001-2010

2001 ~ 2010 年间氮肥使用量没有明显的变化,可以

估计 NH_3 排放量没有明显的变化, 沉降中 NH_4^+ 浓度 (NH_4^+ 沉降量) 没有明显变化正说明了这一点. Ca^{2+} 沉降量也没有呈现明显的变化趋势, 表明 Ca^{2+} 的排放量 (来自颗粒物) 可能没有发生明显的变化.

4 结论

(1) 重庆铁山坪 2001 ~ 2010 年连续 10 a 的穿透水观测表明该地区硫沉降有明显的下降趋势, 而氮沉降有明显的上升趋势, 总体上酸沉降有所下降. 以上趋势和重庆市该时期 SO_2 排放量有所下降同时 NO_x 排放量持续增长是一致的, 这表明酸沉降控制取得一定的效果.

(2) 2010 年重庆铁山坪的穿透水硫沉降量和氮沉降量分别达到 $9.9 \text{ keq} \cdot (\text{km}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ 和 $4.5 \text{ keq} \cdot (\text{km}^2 \cdot \text{a})^{-1}$. 如果以此作为总沉降量的近似, 将可能存在硫沉降被高估 28%, 氮沉降被低估 50% 的不确定性. 以上硫沉降和氮沉降水平均达到甚至超过欧美在历史上酸沉降最严重时期的水平, 表明重庆地区的酸沉降问题依然严重.

参考文献:

- [1] Zhao D W, Sun B Z. Air pollution and acid rain in China[J]. AMBIO, 1986, **15**(1): 2-5.
- [2] Zhao D W, Xiong J L, Xu Y, *et al.* Acid rain in southwestern China[J]. Atmospheric Environment, 1988, **22**(2): 349-358.
- [3] 王德春, 赵殿五. 中国酸雨概述[J]. 世界环境, 1988, (2): 8-10, 45.
- [4] 中华人民共和国环境保护部. 2010 年中国环境状况公报[R]. <http://jcs.mep.gov.cn/hjzl/zkgb/>.
- [5] Hao J M, He K B, Duan L, *et al.* Air pollution and its control in China[J]. Frontiers of Environmental Science and Engineering in China, 2007, **1**(2): 129-142.
- [6] 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.
- [7] Krupa S V. Effects of atmospheric ammonia (NH_3) on terrestrial vegetation: a review[J]. Environmental Pollution, 2003, **124**(2): 179-221.
- [8] Lovett G M, Lindberg S E. Dry deposition and canopy exchange in a mixed oak forest as determined by analysis of throughfall[J]. Journal of Applied Ecology, 1984, **21**(3): 1013-1027.
- [9] Garten C T, Bondiette E A, Lomax R D. Contribution of foliar leaching and dry deposition to sulfate in net throughfall below deciduous trees[J]. Atmospheric Environment, 1988, **22**(7): 1425-1432.
- [10] Erisman J W, Draaijers G. Deposition to forests in Europe: most important factors influencing dry deposition and models used for generalisation[J]. Environmental Pollution, 2003, **124**(3): 379-388.
- [11] Lindberg S E, Lovett G M. Deposition and forest canopy interactions of airborne sulfur: results from the integrated forest study[J]. Atmospheric Environment, 1992, **26**(8): 1477-1492.
- [12] 金蕾, 邵敏, 曾立民, 等. 穿透水方法估算主要可溶性无机组分的干沉降通量[J]. 科学通报, 2006, **51**(11): 1333-1337.
- [13] 向仁军, 柴立元, 张青梅, 等. 中国典型酸雨区大气湿沉降化学特性[J]. 中南大学学报 (自然科学版), 2012, **43**(1): 38-45.
- [14] Fang Y T, Gundersen P, Mo J M, *et al.* Input and output of dissolved organic and inorganic nitrogen in subtropical forests of South China under high air pollution[J]. BiogeoSciences, 2008, **5**(2): 339-352.
- [15] 李佳, 李巍, 侯锦湘, 等. 贵州地区酸雨作用下典型森林植被冠层淋溶规律研究[J]. 中国环境科学, 2010, **30**(10): 1297-1302.
- [16] 蒋益民, 曾光明, 张龚, 等. 酸雨作用下的森林冠层盐基离子 (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+) 淋洗[J]. 热带亚热带植物学报, 2004, **12**(5): 425-430.
- [17] 吴征镒. 中国植被[M]. 北京: 科学出版社, 1980.
- [18] Larssen T, Duan L, Mulder J. Deposition and leaching of sulfur, nitrogen and calcium in four forested catchments in China: implications for acidification[J]. Environmental Science and Technology, 2011, **45**(4): 1192-1198.
- [19] Hirsch R M, Slack J R. A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence[J]. Water Resource Research, 1984, **20**(6): 727-732.
- [20] Hirsch R M, Slack J R, Smith R A. Techniques of trend analysis for monthly water quality data[J]. Water Resource Research, 1982, **18**(1): 107-121.
- [21] Sen P K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau[J]. Journal of the American Statistical Association, 1968, **63**(324): 1379-1389.
- [22] 熊丽君, 刘凌. 水质模拟及趋势分析[J]. 环境科学与技术, 2003, **26**(6): 25-27.
- [23] Duan L, Ma X X, Larssen T, *et al.* Response of surface water acidification in upper Yangtze River to SO_2 emissions abatement in China[J]. Environmental Science and Technology, 2011, **45**(8): 3275-3281.
- [24] 孙志勇, 陈明朗. 抚顺市降雨特性分析[J]. 吉林水利, 2010, (3): 36-41.
- [25] 徐梅, 祝青林, 王丽娜, 等. 京津地区酸雨变化特征及趋势分析[J]. 气象, 2009, **35**(11): 78-83.
- [26] 陈能汪, 洪华生, 肖健, 等. 九龙江流域大气氮干沉降[J]. 生态学报, 2006, **26**(8): 2602-2607.
- [27] 魏样, 同延安, 段敏, 等. 陕北典型农区大气干湿氮沉降季节变化[J]. 应用生态学报, 2010, **21**(1): 255-259.
- [28] 张菊, 康荣华, 赵斌, 等. 内蒙古温带草原氮沉降的观测研究[J]. 环境科学, 2013, **34**(9): 3552-3556.
- [29] 董文煊, 邢佳, 王书肖. 1994 ~ 2006 年中国人为源大气氨排

- 放时空分布[J]. 环境科学, 2010, **31**(7): 1457-1463.
- [30] 重庆市统计局, 国家统计局重庆调查总队. 重庆统计年鉴 2012[M]. 北京: 中国统计出版社, 2012.
- [31] Zhang Q, Streets D G, He K B, *et al.* NO_x emission trends for China, 1995-2004: The view from the ground and the view from space[J]. Journal of Geophysical Research, 2007, **112**(D22): D22306, doi: 10.1029/2007JD008684.
- [32] Zhao Y, Duan L, Xing J, *et al.* Soil acidification in China: Is controlling SO₂ emissions enough? [J]. Environmental Science and Technology, 2009, **43**(21): 8021-8026.

欢迎订阅 2014 年《环境科学》

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

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

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

全国各地邮局均可订阅,如有漏订的读者可直接与编辑部联系,办理补订手续.

《环境科学》2014 年为大 16 开本,90 元/册,全年 12 期.

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

国外发行代号:M 205 国内邮发代号:2-821

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

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

CONTENTS

An Assessment of PM _{2.5} Related Health Risks and Impaired Values of Beijing Residents in a Consecutive High-Level Exposure During Heavy Haze Days	XIE Yuan-bo, CHEN Juan, LI Wei (1)
Seasonal Variation of Water-Soluble Ions in PM _{2.5} at Changbai Mountain	ZHAO Ya-nan, WANG Yue-si, WEN Tian-xue, <i>et al.</i> (9)
Variation of Atmospheric Particle Number Concentrations in Qingdao and Its Impact on Visibility	KE Xin-shu, SHENG Li-fang, KONG Jun, <i>et al.</i> (15)
Concentrations of PCDD/Fs in the Atmosphere of Chongqing City and Its Seasonal Variation	ZHANG Xiao-ling, LU Yi, ZHU Ming-ji, <i>et al.</i> (22)
Atmospheric Emission of PCDD/Fs from Secondary Aluminum Metallurgy Industry in the Southwest Area, China	LU Yi, ZHANG Xiao-ling, GUO Zhi-shun, <i>et al.</i> (30)
Atmospheric Emission of PCDD/Fs from Modern Dry Processing Cement Kilns with Preheating in the Southwest Area, China	ZHANG Xiao-ling, LU Yi, JIAN Chuan, <i>et al.</i> (35)
Pollution Status and Characteristics of PBDEs in Indoor Air of Hangzhou	JIANG Xin-wei, SUN Xin, PEI Xiao-qiang, <i>et al.</i> (41)
Size Distribution of Particle and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Particle Emissions from Simulated Emission Sources	FU Hai-huan, TIAN Na, SHANG Hui-bin, <i>et al.</i> (46)
Atmospheric Deposition Fluxes and Seasonal Variations of Elements in Northeast of Sichuan, Central China	TONG Xiao-ning, ZHOU Hou-yun, YOU Chen-feng, <i>et al.</i> (53)
Trend in Acid Deposition at Tieshanping, Chongqing During 2001-2010	YU De-xiang, MA Xiao-xiao, TAN Bing-quan, <i>et al.</i> (60)
Wet Deposition of Atmospheric Nitrogen of the Jinshui Watershed in the Upper Hanjiang River	WANG Jin-jie, ZHANG Ke-rong, WU Chuan, <i>et al.</i> (66)
Chemical Compositions of <i>n</i> -Alkanoic Acids in Wheat Straw and Its Smoke	LIU Gang, LI Jiu-hai, WU Dan, <i>et al.</i> (73)
Magnetic Properties of Indoor Dustfall at Different Heights in Lanzhou	WU Duo, WEI Hai-tao, ZHAO Rui-rui, <i>et al.</i> (79)
Mercury Fluxes from Conifer-Broadleaf Forested Field in Central Subtropical Forest Zone	MA Ming, WANG Ding-yong, SHEN Yuan-yuan, <i>et al.</i> (85)
Impacts of Rice Straw Biochar on Organic Carbon and CO ₂ Release in Arable Soil	KE Yue-jin, HU Xue-yu, YI Qing, <i>et al.</i> (93)
Geochemical Distribution of Dissolved Bismuth in the Yellow Sea and East China Sea	WU Xiao-dan, SONG Jin-ming, WU Bin, <i>et al.</i> (100)
Temporal-spatial Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in the Upper Reaches of Hunhe River (Qingyuan Section), Northeast China	MA Ying-qun, SHI Yao, QIN Yan-wen, <i>et al.</i> (108)
Determination of Estrogenic Compounds in Water of Jiulong River Using Polar Organic Chemical Integrative Sampler	ZHANG Li-peng, WANG Xin-hong, LI Yong-yu, <i>et al.</i> (117)
Variation Characteristics and Environmental Significant of Trace Elements Under Rainfall Condition in Karst Groundwater	CHEN Xue-bin, YANG Ping-heng, LAN Jia-cheng, <i>et al.</i> (123)
Major Ion Chemistry of Surface Water in the Xilin River Basin and the Possible Controls	TANG Xi-wen, WU Jin-kui, XUE Li-yang, <i>et al.</i> (131)
Forms and Spatial Distribution Characteristics of Nitrogen in Ziya River Basin	ZHAO Yu, SHAN Bao-qing, ZHANG Wen-qiang, <i>et al.</i> (143)
Impact of Rice Agriculture on Nitrogen and Phosphorus Exports in Streams in Hilly Red Soil Earth Region of Central Subtropics	SONG Li-fang, WANG Yi, WU Jin-shui, <i>et al.</i> (150)
Study on Distribution of Phosphorus in Surface Sediments of the Yellow Sea and the East China Sea	SONG Guo-dong, LIU Su-mei, ZHANG Guo-ling (157)
Characterization and Optimization of the NaOH-EDTA Extracts for Solution ³¹ P-NMR Analysis of Organic Phosphorus in River Sediments	ZHANG Wen-qiang, SHAN Bao-qing, ZHANG Hong, <i>et al.</i> (163)
Regeneration and Transformation of BAPP in Suspended Solids Under Short-term Sediment Disturbance	WU Xiao-fei, LI Da-peng, WANG Ming (171)
Sediment Risk Assessment and Heavy Metal Source Analysis in Typical Country Water Level Fluctuated Zone (WLFZ) of the Three Gorges	AO Liang, LEI Bo, WANG Ye-chun, <i>et al.</i> (179)
Pollution Distribution and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments from the Different Eastern Dredging Regions of Lake Taihu	MAO Zhi-gang, GU Xiao-hong, LU Xiao-ming, <i>et al.</i> (186)
Study on the Stages of Major Sediments in Dianchi Lake	WANG Xin-yu, ZHOU Feng, YI Xuan, <i>et al.</i> (194)
Oil Spill Identification Using Partial Surface Fitting Method Based on Concentration-Synchronous-Matrix-Fluorescence Spectra	WANG Chun-yan, SHI Xiao-feng, LI Wen-dong, <i>et al.</i> (202)
Treatment of Sludge Liquor Produced in Deep Dehydration by Photoelectro-Fenton Process	WANG Xian-li, WANG Shi-feng, WU Jun-feng, <i>et al.</i> (208)
Characteristics of Nitrification and Denitrification for Simultaneous Nitrogen and Phosphorus Removal by Granular Sludge	LIU Xiao-ying, LIN Hui, MA Zhao-rui, <i>et al.</i> (214)
Study on Long-Term Stability of Biological Nitrogen Removal via Nitrite from Real Landfill Leachate	SUN Hong-wei, GUO Ying, PENG Yong-zhen (221)
Compositions and Residual Properties of Petroleum Hydrocarbon in Contaminated Soil of the Oilfields	HU Di, LI Chuan, DONG Qian-qian, <i>et al.</i> (227)
Dynamics of the Mineralization and Transformation of Rice Photosynthesized Carbon in Paddy Soils - a Batch Incubation Experiment	TAN Li-min, PENG Pei-qin, LI Ke-lin, <i>et al.</i> (233)
Effects of Land Use and Abandonment on Soil Labile Organic Carbon in the Karst Region of Southwest China	LIAO Hong-kai, LI Juan, LONG Jian, <i>et al.</i> (240)
Aluminum Dissolution and Changes of pH in Soil Solution During Sorption of Copper by Aggregates of Paddy Soil	XU Hai-bo, ZHAO Dao-yuan, QIN Chao, <i>et al.</i> (248)
Effect of Cr(VI) Anions on the Cu(II) Adsorption Behavior of Two Kinds of Clay Minerals in Single and Binary Solution	LIU Juan-juan, LIANG Dong-li, WU Xiao-long, <i>et al.</i> (254)
Effect of Flooding Time Length on Mycorrhizal Colonization of Three AM Fungi in Two Wetland Plants	MA Lei-meng, WANG Peng-teng, WANG Shu-guang (263)
Preliminary Study on the Relationship Between the Water Quality and the Aquatic Biological Health Status of Taihu Lake	ZHOU Xiao-bai, ZHANG Ning-hong, ZHANG Yong, <i>et al.</i> (271)
Acute Toxicity of Three Typical Pollutants to Aquatic Organisms and Their Water Quality Criteria	JIANG Dong-sheng, SHI Xiao-rong, CUI Yi-bin, <i>et al.</i> (279)
Evaluation of the Acute Toxicity of Pharmaceutical Wastewater to Luminescent Bacteria	DU Li-na, YANG Fan, MU Yu-feng, <i>et al.</i> (286)
Influence of the Coexistence of Zn ²⁺ on the Enantioselective Toxicity of Metolachlor to <i>Scenedesmus obliquus</i>	HU Xiao-na, ZHANG Shu-xian, CHEN Cai-dong, <i>et al.</i> (292)
Simplification of Biotic Ligand Model and Evaluation of Predicted Results	WANG Wan-bin, CHEN Sha, WU Min, <i>et al.</i> (299)
Priority Pollutants Ranking and Screening of Coke Industry based on USEtox Model	HAO Tian, DU Peng-fei, DU Bin, <i>et al.</i> (304)
Isolation, Identification and Characterization of a Microcystin-degrading Bacterium <i>Paucibacter</i> sp. Strain CH	YOU Di-jie, CHEN Xiao-guo, XIANG Hui-yi, <i>et al.</i> (313)
Inhibition of the Activity of Sulfate-reducing Bacteria in Produced Water from Oil Reservoir by Nitrate	YANG De-yu, ZHANG Ying, SHI Rong-jiu, <i>et al.</i> (319)
Bioconversion of Cellulose to Methane by a Consortium Consisting of Four Microbial Strains	WU Jun-mei, MA An-zhou, CUI Meng-meng, <i>et al.</i> (327)
Factors Influencing the Variability in Soil Heterotrophic Respiration from Terrestrial Ecosystem in China	XIE Wei, CHEN Shu-tao, HU Zheng-hua (334)
Study on the Distinguishing of Root Respiration from Soil Microbial Respiration in a <i>Leymus chinensis</i> Steppe in Inner Mongolia, China	SHI Jing-jing, GENG Yuan-bo (341)
Nitrous Oxide Flux at the Water-Air Interface of the Rivers in Nanjing During Summer	HAN Yang, ZHENG You-fei, WU Rong-jun, <i>et al.</i> (348)
Effects of Antiseptic on the Analysis of Greenhouse Gases Concentrations in Lake Water	XIAO Qi-tao, HU Zheng-hua, James Deng, <i>et al.</i> (356)
Electricity Generation of Surplus Sludge Microbial Fuel Cell Enhanced by Biosurfactant	PENG Hai-li, ZHANG Zhi-ping, LI Xiao-ming, <i>et al.</i> (365)
Fe-ZSM-5 Catalysts with Different Silica-Alumina Ratios for N ₂ O Catalytic Decomposition	LU Ren-jie, ZHANG Xin-yan, HAO Zheng-ping (371)
Inhibition of Chlorobenzene Formation via Various Routes During Waste Incineration by Ammonium Sulfate and Urea	YAN Mi, QI Zhi-fu, LI Xiao-dong, <i>et al.</i> (380)
County Scale Characteristics of CO ₂ Emission's Spatial-Temporal Evolution in the Beijing-Tianjin-Hebei Metropolitan Region	WANG Hao, CHEN Cao-cao, PAN Tao, <i>et al.</i> (385)
Characterization and Soil Environmental Safety Assessment of Super Absorbent Polymers in Agricultural Application	LI Xi, LIU Yu-rong, ZHENG Yuan-ming, <i>et al.</i> (394)

《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)

2014年1月15日 35卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 1 Jan. 15, 2014

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