

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 CO₂ 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, 师阳 (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 Cu²⁺ 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) 真菌侵染 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 *Paucibacter* 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 N₂O 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 CO₂ 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)

《环境科学》征订启事 (65) 《环境科学》征稿简则 (220) 信息 (226, 270, 298, 364)

汉江上游金水河流域氮湿沉降

王金杰^{1,2}, 张克荣¹, 吴川^{1,2}, 张全发^{1*}

(1. 中国科学院武汉植物园水生植物与流域生态重点实验室, 武汉 430074; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 汉江上游金水河流域是南水北调工程的重要水源涵养区, 但是氮污染已成为该流域水质的主要威胁因素. 该研究对汉江的金水河流域开展了为期1 a(2012-02~2013-02)的氮湿沉降观测, 并利用氮输出模型估算了氮湿沉降对河流氮负荷的贡献量. 结果表明雨水中总氮(DTN)的浓度在0.24~2.89 mg·L⁻¹之间, 铵态氮(NH₄⁺-N)、硝态氮(NO₃⁻-N)及有机氮(DON)分别占42.8%、13.3%和43.9%; 雨水氮浓度随降雨量增大而变小, 明显受到降雨的稀释作用. 流域内氮湿沉降主要来自人类活动, 沉降负荷在4.97~7.00 kg·(hm²·a)⁻¹之间, 受降雨量的主要影响, 上游地区的氮湿沉降负荷>下游地区>中游地区, 春夏两季约占全年氮湿沉降的81%. 流域氮湿沉降对河流氮负荷贡献量约为34 000~46 000 kg, 只占流域氮肥贡献量的5.05%~6.78%, 远小于流域内农业活动化肥氮的贡献量, 不是河流氮的主要来源.

关键词: 金水河流域; 氮湿沉降; 氮截留; 源头河流; 氮负荷

中图分类号: X131; X171.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)01-0066-07

Wet Deposition of Atmospheric Nitrogen of the Jinshui Watershed in the Upper Hanjiang River

WANG Jin-jie^{1,2}, ZHANG Ke-rong¹, WU Chuan^{1,2}, ZHANG Quan-fa¹

(1. Key Laboratory of Aquatic Botany and Watershed Ecology, Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430074, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The Jinshui River, a tributary of the Hanjiang River, is an important region of water conservation for the Middle Route of South to North Water Transfer Project. However, water quality has been deteriorated in recent years, in particular nitrogen increasing pollution. In this study, the wet deposition of atmospheric nitrogen in the Jinshui watershed was investigated between Feb. 2012-Feb. 2013, and the corresponding contribution to the river N loading was calculated using N retention model. The results indicated that the volume-weighted concentration of dissolved total nitrogen (DTN) was 0.24-2.89 mg·L⁻¹, consisting of ammonium (NH₄⁺-N) (42.8%), nitrate (NO₃⁻-N) (13.3%) and dissolved organic nitrogen (DON) (43.9%), which decreased with rainfall volume as a result of dilution. The wet deposition of atmospheric N was mainly from anthropogenic pollution and the flux was between 4.97-7.00 kg·(hm²·a)⁻¹, dominated by seasonal rainfall, of which about 81% occurred in spring and summer and the flux in a decreasing order of upstream, downstream, and middlestream. The wet deposition contributed approximately 34 000-46 000 kg N to the river, accounting for only 5.05%-6.78% of the contribution by fertilizers, which was too small to be the main source of the river N loading.

Key words: Jinshui watershed; wet deposition of atmospheric nitrogen; nitrogen retention; head watershed; N loading

近百年来,世界范围内工农业的迅速发展,使得排放到大气中含氮化合物急剧增加. 从1860~2000年,人类活动产生并排放到大气中的反应性氮由15 Tg·a⁻¹增加到165 Tg·a⁻¹,并且其中的70%沉降到达地表^[1]. 世界许多地区的氮沉降超过了自然界可以承受的范围,造成氮饱和及水质恶化的危害,影响水生和陆地生态系统的结构和功能^[2]. 在国外,氮沉降已经作为重要的氮源纳入到流域氮循环的研究范围之内^[3-5].

目前我国大气氮素湿沉降通量平均值达9.19 kg·(hm²·a)⁻¹^[6],已经成为继欧洲和美国之后的第三大沉降区^[7]. 我国虽然是氮排放严重地区,但氮沉降的研究却分布零散,大量的研究也只集中在氮沉降对陆地生态系统(如森林、草地等)的影

响^[8-12],以流域为单位对氮沉降进行的研究仅见于九龙江等地区^[13],将氮沉降纳入流域非点源污染对河流氮负荷的贡献量进行估计的研究比较少见.

金水河流域是我国南水北调中线工程重要水源地之一,氮污染已经成为该河流水质的重要因素^[14]. 金水河又是典型的降水补给型河流,80%的河水来自降水和地下水^[15],所以对该地区的降水湿沉降进行调查,并将其作为流域重要的氮源,估算其对河流氮负荷的贡献量,对河流氮源的分析和水质管理意义重大.

收稿日期:2013-04-07; 修订日期:2013-07-05

基金项目:国家自然科学基金项目(31130010,31200354);“十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAC06C03)

作者简介:王金杰(1986~),女,硕士研究生,主要研究方向为流域氮循环, E-mail: wangjinjie2012@hotmail.com

* 通讯联系人, E-mail: qzhang@wbcas.cn

1 材料与方法

1.1 研究区概况

金水河发源于陕西秦岭南坡的佛坪自然保护区,较大的支流主要有西河、新店子河、东河和吕关河(图1),流域面积 730 km²,人口 1.87 万(2007),河道全长 87 km,属于汉江的一级河流.该流域(107°40'~108°10'E, 33°16'~33°45'N)地处秦岭南坡中段地带,年均温 13℃,无霜期 220 d,海拔 416~2 904 m,年降水量 950~1 200 mm,雨季主要集中在 7~9 月,属于北亚热带与暖温带的过渡地带.流域内森林资源丰富,植被面积占流域面积的 96.40%,其中针阔混交林面积占植被面积的 47.19%,阔叶林面积占 20.32%,高山箭竹灌丛面积占 19.55%,针叶林面积占 0.87%.流域以黄棕壤和棕壤为主,占流域总土壤面积的 91.4%^[16].

1.2 研究方法

1.2.1 实验设计及采样

根据该流域的地理环境特点均匀设置了 5 个采样点(图1),分别是上游的 S1 和 S2、中游的 S3 和下游的 S4、S5^[17].上游的 S1、S2 分别位于自然保护区保护站中宽敞的平地上,人烟稀少,森林覆盖率

为流域内最高,海拔都在 1 000 m 以上;S3、S4、S5 分别位于当地居民楼房的楼顶,并远离烟囱等人为干扰,S3 位于人口稀疏的中游地区,S4、S5 位于流域内人口相对密集的下游地区.实验中的 5 个采样点平均分布在流域内,覆盖了流域内不同的地理环境,对整个流域氮湿沉降情况进行了客观估测.

每个采样点利用 APS-2A 型自动采样器(武汉天虹智能仪表厂)进行湿沉降的采集,该仪器为微电脑自动控制,降雨开始时,采样器自动打开收集装置对降雨进行采集,雨停后就立即封盖,且采样器本身具有的纱网对雨水进行了初步的过滤,有效避免植物残体及鸟类粪便等自然物质的干扰.降雨产生后,记录降雨的时间,在 24 h 内收集样品,以保证样品的客观有效性和准确性.如果 1 d 内有多场降雨,则合并为一个样品;若遇到连续降雨天气,则每 24 h 采集一个样品.样品收集时,先将样品摇匀后测定雨水体积,然后分取 250 mL 水样装入聚乙烯样品瓶中,并用 0.45 μm 的微孔滤膜对其过滤后速送实验室,于 -20℃ 的条件下保存,尽快完成溶解总氮(DTN)、硝态氮(NO₃⁻-N)和铵态氮(NH₄⁺-N)的测量.且每个样品均重复测量 3 次,取其平均值.

大气湿沉降采样时间为 2012 年 3 月~2013 年 2 月,共收集到 204 场湿沉降,利用 Excel 2007 和 SPSS 16.0 对数据进行整理和分析.

1.2.2 样品分析方法

样品解冻后,测定硝态氮(NO₃⁻-N)、铵态氮(NH₄⁺-N)和总氮(DTN).DTN 用 C/N 分析仪(Alytikjena, multi NC 2100)测定,NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N 分别采用酚二磺酸比色法和纳什比色法进行测定.无机氮(DIN) = NO₃⁻-N + NH₄⁺-N,有机氮(DON) = DTN - DIN^[13].对 S2 监测点 7 月的所有降雨样品的大众离子进行了测定,主要阴离子(Cl⁻、SO₄²⁻)采用 DX-120 型离子色谱仪测定,主要阳离子(K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、Al³⁺)采用 ICP-AES 型等离子体发射光谱仪进行测定.

1.2.3 氮沉降通量的计算方法

采用式(1)对氮湿沉降通量进行计算^[13].

$$F = \sum [(P \times c) / 100] \quad (1)$$

式中, F 代表沉降通量(kg·hm⁻²), P 代表逐月降雨量(mm), c 代表氮沉降浓度(mg·L⁻¹).

1.2.4 流域氮沉降对金水河氮贡献量的估算

流域内的氮沉降通过降落水体的直接方式和土壤径流的间接方式输入到流域内的河道中,土壤径流向

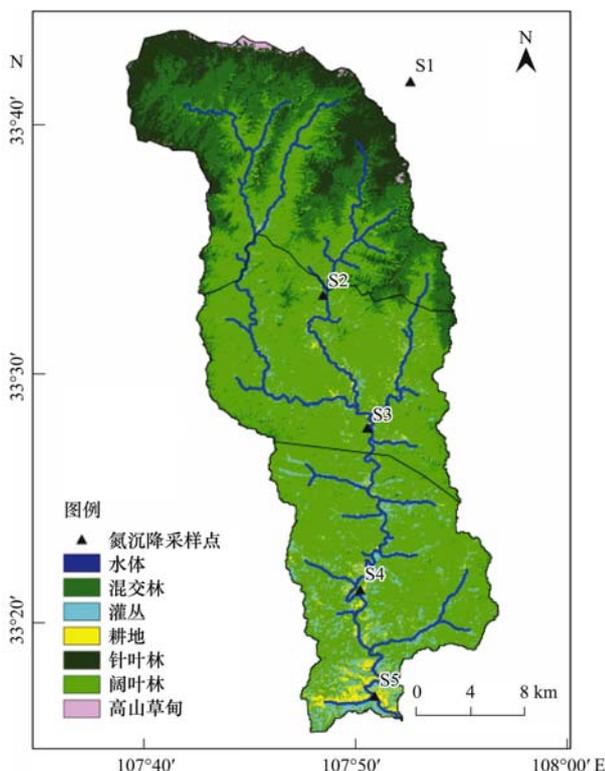


图1 金水河水系,流域土地利用及采用点

Fig. 1 Sketch of water system, sample sites and land use in the Jinshui watershed

河道输入氮的过程中,必然会因为土壤和相应覆盖物的截留而减少^[3]. 氮沉降的输出由土地利用类型和土壤水文质地共同决定. 根据相应区域的氮沉降负荷、氮输出率和土地面积,便可计算出氮沉降对流域内河流的氮贡献量^[3-5]. 在计算金水河流域氮沉降对河流的贡献量时,采取美国宾夕法尼亚州的氮输出系数进行计算(表1). Sheeder 等^[5]也利用该系数对切萨皮克湾的氮沉降输出量进行了估算,其结果与前人的研究相近. 具体的计算公式如式(2):

$$M = \sum (F_i \times S_i \times E_i) \quad (2)$$

式中, M 代表氮沉降通过土壤截留之后向该区域河道输入的氮量, F_i 代表*i*区域氮沉降通量

$[\text{kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}]$, S_i 代表*i*区域土地利用面积(hm^2), E_i 代表*i*区域内相应土壤类型的氮输出率.

表1中A~D依次代表透水性好到透水性差的4种土壤,其中C代表透水性较差的土壤,主要为黏壤土,D代表透水性很差的土壤,主要为黏土^[4]. 根据金水河流域土壤类型的调查,流域内以黄棕壤和棕壤为主,占流域总土壤面积的91.4%,剩下的小部分为黄褐土、暗棕壤、白浆化棕壤、棕壤性土和钙质粗骨土^[16],都是透水性较差的土壤,属于表1中C~D类的氮输出率. 将所有的土壤类型估测为C类土壤时,则为输出的最少估测值,将所有土壤类型估测为D类土壤时,则为输出的最大值.

表1 氮沉降在不同土壤类别下的氮输出率

Table 1 Percentage of deposited nitrogen delivered to surface water

土地类型	林地				耕地				水体			
土壤水文分组	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
氮沉降负荷输出率/%	2	4	6	8	25	25	46	67	100	100	100	100

2 结果与讨论

2.1 氮湿沉降浓度及其变化特征

2.1.1 氮湿沉降浓度

从2012年2月初到2013年2月底,从上游S1到下游的S5收到共计204场降雨. 由图2浓度箱式图可以看出,在10%~90%的置信区间内,DTN浓度为 $0.24 \sim 2.89 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、DON浓度为 $0 \sim 1.36 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 NH_4^+ -N浓度为 $0.039 \sim 1.19 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 NO_3^- -N浓度为 $0.02 \sim 0.51 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,四者的浓度都为偏右的非正态分布. DTN、DOC、 NH_4^+ -N和 NO_3^- -N的体积加权平均浓度分别为 0.781 、 0.343 、 0.334 和 $0.104 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,按照占总氮浓度的比例,DON(43.9%) > NH_4^+ -N(42.8%) > NO_3^- -N(13.3%),说明 NH_4^+ -N和DON是金水河流域氮湿沉降的主要成分. 将其与其他地方进行比较,金水

河流域湿沉降浓度远小于华北平原和华南华中地区^[10,12,13],与受工农业影响较小的藏东南地区氮湿沉降浓度相近^[18],在氮沉降成分比例上与九龙江流域上游相似^[13]. 研究表明有机氮的贡献主要在10%~50%的范围内^[19],虽然该流域的有机氮沉降比例较高,但仍处于正常水平.

2.1.2 湿沉降氮浓度的时空变化特征

(1) 湿沉降浓度的时间变化

氮湿沉降各个组分的浓度有极其显著的月际变化($P < 0.01$),雨季的氮湿沉降各组分浓度小于其它月份(图3). 降雨量和氮浓度相关分析的结果都表现为极显著的负相关($P < 0.01$),DTN、DOC、 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N和降雨量之间的 Pearson 相关系数分别为 -0.328 、 -0.252 、 -0.303 和 -0.205 ,说明降雨对氮湿沉降浓度有明显的稀释作用.

雨水浓度呈现明显的季节性差异. 按照前人根据温度和降雨量对季节进行的划分,将春(3~5月)、夏(6~7月)、秋(8~10月)、冬(11~12月)进行分组^[20],浓度总体表现为冬季 > 春季 > 夏季 > 秋季(表2),方差分析表明雨水氮浓度总体上表现为春冬两季的氮浓度大于秋夏两季. 如表2所示,季节氮沉降和季节降雨量分布不完全一致,这主要是因为氮浓度受到降雨稀释作用的同时,还受到了氮排放量的影响. 如图3所示,1月在年度内具有最大的氮湿沉降浓度. 该月份是该流域内年度最冷的月份,生物量及煤炭燃烧量

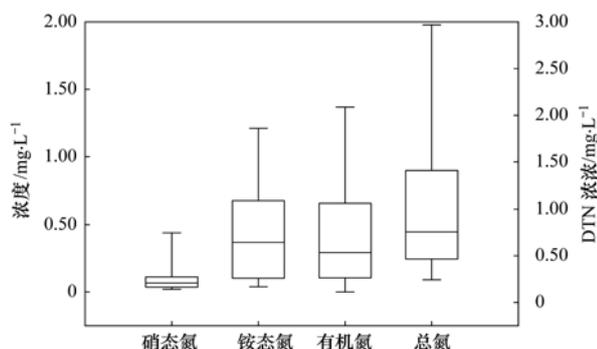


图2 雨水氮浓度的箱式图

Fig. 2 Boxplot of N concentration

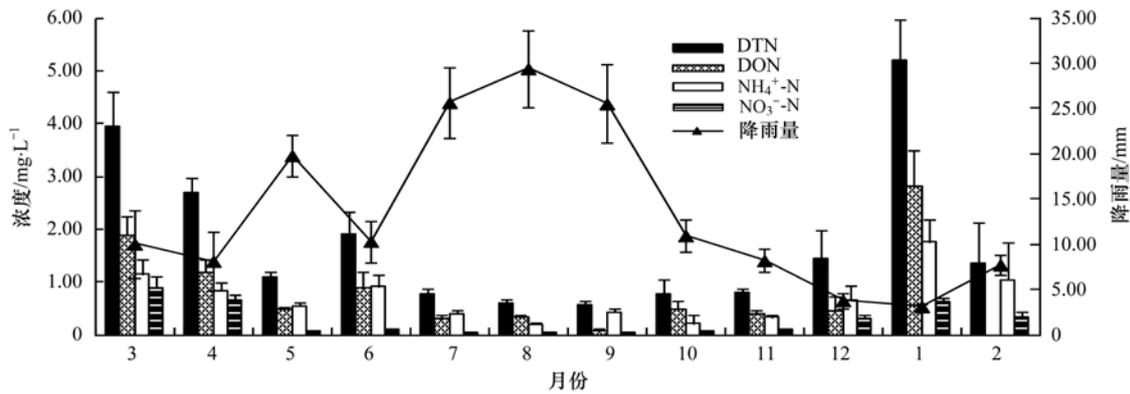


图3 氮浓度月份的动态变化

Fig. 3 Monthly variation in the concentration of wet N deposition

表2 氮浓度的季节变化

Table 2 Seasonal variation in the N concentration from rainfall

季节	降雨量/mm	NO ₃ ⁻ /mg·L ⁻¹	NH ₄ ⁺ /mg·L ⁻¹	DON/mg·L ⁻¹	DTN/mg·L ⁻¹
春	15.87 ± 1.84 ^b	0.33 ± 0.06 ^b	0.71 ± 0.08 ^b	0.86 ± 0.11 ^b	1.90 ± 0.21 ^b
夏	24.16 ± 2.44 ^c	0.08 ± 0.01 ^a	0.42 ± 0.06 ^a	0.43 ± 0.07 ^{ab}	0.92 ± 0.11 ^a
秋	15.29 ± 2.03 ^{ab}	0.06 ± 0.01 ^a	0.35 ± 0.06 ^a	0.31 ± 0.06 ^a	0.72 ± 0.09 ^a
冬	5.03 ± 0.77 ^a	0.38 ± 0.06 ^b	1.03 ± 0.29 ^b	0.80 ± 0.34 ^b	2.22 ± 0.56 ^b

较大,增大了当地的氮排放量,这可能是影响该月氮湿沉降的一个重要原因。

(2) 氮湿沉降浓度的空间变化

在空间尺度上,降雨量在空间上有显著差异($P < 0.05$),但因为金水河流域空间尺度太小,氮沉降各组分浓度在空间上只表现出一定的变化趋势,差异并没有达到显著水平(图4)。由图4看出, NH₄⁺-N、NO₃⁻-N与其他氮沉降成分变化趋势不一样,并没表现出降雨的稀释作用。这主要是因为 NH₃、NH₄⁺、NO_x 的氮排放量受到人为干扰和自身迁移特性的共同影响。NH₃ 与 NH₄⁺ 等水溶性氮主要在对流层进行扩散,一般在较短时间内随雨水形成氮的湿沉降^[21],而且扩散的距离在 100 km 以内^[22],50% 的 NH₃ 会在 50 km 内重新沉降到地面^[23],所以虽然流域空间尺度有限,下垫面对 NH₃

与 NH₄⁺-N 也会造成一定的影响。从上游到下游河口地区,流域的人口分布逐渐增加,人为干扰也随之增大,补充了降雨对其的稀释作用,所以 NH₄⁺-N 在空间上并没有表现随降雨量增加而降低的趋势。NO_x 有很长的大气寿命(1~15 d),能扩散到几百乃至几千公里开外的地方^[24],下垫面对其影响相对 NH₄⁺-N 较小,所以在下垫面和降雨稀释的双重作用下,NO_x 在空间上并没有明显的变化趋势。

2.2 氮来源的初步探索

忽略火山及其他自然来源,大气降水中离子组分的主要来源包括海源、陆源(岩石、土壤风化)和人为活动^[25-27]。通常认为海洋是 Na⁺ 的最重要来源,是海源最佳的参考离子^[25-27],Ca²⁺ 是典型的亲石元素,成分不会轻易改变,可作为陆源的参考离子^[25]。为了进一步了解海源(SSF)、陆源(CF)、人为活动(ASF)对雨水离子的相对贡献,以 Na⁺、Ca²⁺ 分别为海源、陆源的参考,采用以下公式进行计算^[25]:

$$\% \text{SSF} = 100(X/\text{Na}^+)_{\text{marine}} / (X/\text{Na}^+)_{\text{rainwater}} \quad (3)$$

$$\% \text{CF} = 100(X/\text{Ca}^{2+})_{\text{soil}} / (X/\text{Ca}^{2+})_{\text{rainwater}} \quad (4)$$

$$\% \text{AF} = 100 - \% \text{SSF} - \% \text{CF} \quad (5)$$

式中, X 为雨水中要计算的离子浓度,相应的数值来自表3。式中海源 X/Na^+ 及陆源 X/Ca^{2+} 的固定数值来自文献[26,28]。

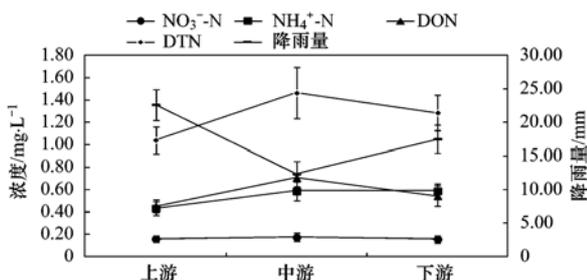


图4 雨水氮浓度的空间变化

Fig. 4 Spatial variation of the N concentration in rainwater

表3 雨中主要离子的浓度/ $\mu\text{eq}\cdot\text{L}^{-1}$
Table 3 Concentration of major ions in rainwater/ $\mu\text{eq}\cdot\text{L}^{-1}$

样品号	时间 (年-月-日)	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻
1	2012-07-02	1.839	7.851	93.310	0.000	1.600	68.688	72.676	1.380
2	2012-07-03	8.419	10.285	146.915	4.825	0.364	58.271	143.775	1.350
3	2012-07-07	22.509	16.841	94.735	0.000	0.000	65.896	88.254	1.311
4	2012-07-08	25.239	30.638	103.840	0.000	32.471	88.729	123.465	1.298
5	2012-07-09	2.157	13.826	89.890	0.000	10.243	71.896	64.113	0.980
6	2012-07-13	38.030	21.690	121.645	0.000	3.243	69.542	96.845	1.335
7	2012-07-16	7.983	14.518	143.020	0.000	32.064	92.938	66.901	0.994
8	2012-07-22	42.157	36.408	104.340	0.517	21.357	71.042	126.563	1.405
9	2012-07-25	37.261	26.818	82.030	0.000	58.000	108.083	76.901	1.303
10	2012-07-26	0.000	11.495	78.695	0.000	32.886	79.125	64.028	0.994
11	2012-07-28	51.378	31.533	132.265	0.000	57.586	115.313	86.986	1.298

表3为S2监测点7月所有降雨样品中主要离子的浓度.对表3中的各离子浓度进行相关分析,结果表明NH₄⁺和SO₄²⁻存在极显著的相关关系($P < 0.001$),NO₃⁻和Cl显著相关($P < 0.05$),相关系数分别为0.952和0.649.在计算来源问题时,通常假设NH₄⁺并不包括地壳来源^[26,27].如表4所示,NH₄⁺与SO₄²⁻几乎都来自人类活动,两者之间高度相关而与其他离子之间并无相关关系,说明NH₄⁺与SO₄²⁻可能具有相同的人类活动排放源或者两者以(NH₄⁺)₂SO₄为主要的存在形式.NO₃⁻主要来自人类活动,少部分来自土壤,海源贡献量几乎为零(表4).大量的研究表明,工厂化石燃料的燃烧,机动车的尾气是NO_x的主要来源^[29,30].

Cl虽然是典型的海洋源离子,但除了样品6、9、11之外,其他样品中大部分Cl来自于人类活动,说明水汽在随云团迁移的过程中,Cl存在明显的富集.人类活动对Cl的贡献有多种来源,主要包括工厂化石燃料的燃烧,机动车的尾气、化肥等^[31].这两个阴离子有相似的排放源,经常一起排放到大气中,所以表现出一定的相关性.但作为典型的海洋源离子,大部分样品中Cl的海洋贡献率仍在10%以上,海洋源对降水中Cl有不可忽视的影响,这可能是NO₃⁻和Cl相关系数并不太高的主要原因.大气有机氮来源广泛,既存在于受污染大气环境中,也存在于受人类活动干扰比较小的大气环境中,是目前的研究难点^[13,19].

表4 大气降水中Cl⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻不同来源的贡献组成/%

Table 4 Contribution of various sources to Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻ in precipitation/%

样品号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Cl ⁻	%SSF	2.94	6.79	29.59	23.71	3.90	45.55	13.84	38.64	56.21	0.00	68.52
	%CF	1.28	1.02	1.07	0.84	1.40	1.26	2.14	0.82	1.07	1.23	1.52
	%AF	96.67	92.89	70.08	76.03	95.66	54.06	85.50	61.11	43.46	99.62	31.01
NO ₃ ⁻	%SSF	0.00	0.01	0.03	0.04	0.00	0.06	0.02	0.06	0.06	0.00	0.08
	%CF	14.20	22.85	15.17	16.80	19.26	19.14	30.22	15.60	13.22	16.63	21.40
	%AF	85.80	77.13	84.79	83.16	80.73	80.81	69.77	84.34	86.72	83.37	78.52
SO ₄ ²⁻	%SSF	0.32	1.73	4.10	3.41	0.36	6.56	1.03	7.12	4.14	0.00	5.35
	%CF	2.45	4.54	2.59	2.11	2.25	3.15	2.77	2.64	1.37	1.79	2.06
	%AF	97.23	93.73	93.31	94.48	97.39	90.29	96.20	90.24	94.50	98.21	92.59
NH ₄ ⁺	%SSF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	%CF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	%AF	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

2.3 氮沉降负荷的时空动态

随降雨量的空间分布,氮沉降有明显的空间变化.上游地区在流域中具有最大的森林覆盖率,有较大的蒸发散和湿度^[32],同时上游地区较高的海拔

优势,能有效截留大气中各形式的水分,从而在流域中具有最大的降雨量.下游地区靠近金水河汇入汉江的河口地区,此处具有较大的水体和水蒸发面积,这可能是下游地区相对中游地区具有较高降雨量的

主要原因。由氮沉降的计算公式(1)可以看出,降雨量和氮沉降负荷存在正相关关系,所以氮沉降负荷在空间尺度上也表现为上游地区 > 下游地区 > 中游地区,数值位于 $4.97 \sim 7.00 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ 之间(表 5),小于中国目前大气氮湿沉降平均通量 $9.19 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ [6]。与九龙江流域和同样位于偏远地

区的雷公山、流沙河及西双版纳热带季雨林相比,金水河流域仍处于相对较低的氮湿沉降水平[8,10,13]。金水河流域地处河流发源地,森林覆盖率在 90% 以上,人口稀少,除了少量的农业活动之外无工业活动, NO_x 和 NH_4^+ 的来源非常有限,所以金水河流域具有较低的氮湿沉降水平。

表 5 氮湿沉降负荷

Table 5 Flux of wet nitrogen deposition

位置	降雨 /mm	DTN 沉降负荷/ $\text{kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$					DTN%			
		春	夏	秋	冬	全年	春	夏	秋	冬
上游	1017.74	2.52	3.11	0.83	0.54	7.00	36.03	44.42	11.79	7.76
中游	517.66	2.26	1.67	0.86	0.18	4.97	45.42	33.61	17.37	3.60
下游	630.31	1.93	2.63	0.82	0.03	5.41	35.56	48.62	15.20	0.61
均值	721.90	2.23	2.47	0.84	0.25	5.79	39.00	42.22	14.79	3.99

在季节变化上,春夏两季的氮沉降负荷明显高于秋冬两季(表 5),是氮湿沉降的主要发生季节。流域内春夏两季的平均降雨量占全年的 79.30%,DTN、DON、 NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N 在流域内的平均沉降负荷分别占全年的 81.52%、87.49%、74.97% 和 82.34%,与降雨量所占比例相近。将 5 个点的季节氮沉降负荷和季节降雨量进行回归分析(图 5),除

了硝态氮和季节降雨量之间回归关系相对较弱之外,其他组分氮沉降通量和降雨量都存在较好的回归关系,说明降雨量对氮沉降负荷起到了主要的作用。 NO_x 有很长的大气寿命(1~15 d),能扩散到几百乃至几千公里开外的地方[24], NO_x 在大气湿沉降中不稳定,其沉降负荷受到降雨量、氮排放及迁移特性等因素的共同作用。

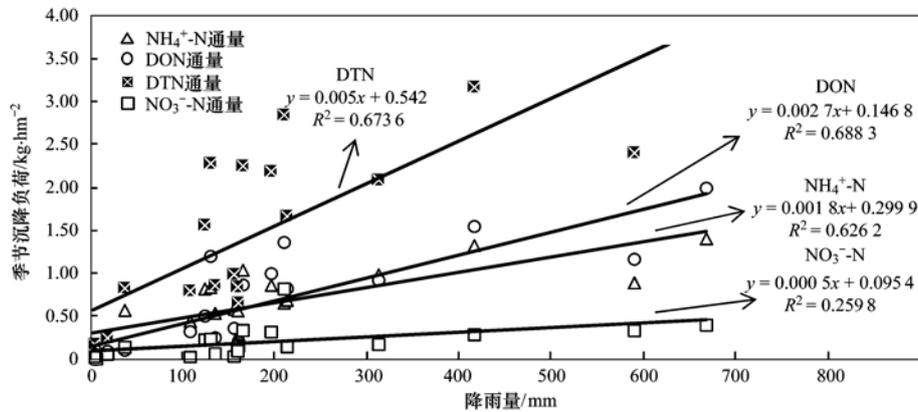


图 5 氮湿沉降负荷和降雨量的相关关系

Fig. 5 Relationship between wet N deposition and rainfall

2.4 流域氮湿沉降对金水河氮贡献量的初步估算

利用 2007 年的金水河流域不同利用类型的土地面积(图 1)[17],将灌丛、高山草甸、混交林、针叶林和阔叶林统一定义为林区,则林地、耕地和水体的面积分别为 69 910、3 004 和 332 hm^2 。流域氮湿沉降平均负荷为 $5.79 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ (表 5),根据式(2),估算出流域内大气氮沉降对河流氮贡献量约为 34 000~46 000 kg。已有研究表明,流域内具有高强度的化肥施用量,2005 年的化肥使用强度为 $992.04 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,是世界标准的 4.4 倍,是全国防止水体污染上线标准的 3.5 倍,金水河流域平均每年

约有 677 t 的氮肥未被吸收而进入水体[14]。因此流域氮沉降对金水河氮贡献率很小,只占氮肥贡献量的 5.05%~6.78%。

金水河作为源头河流,对下游的河流水质至关重要,在金水河氮含量严重超标的情况下[7],为了保证金水河达到国家地表水一类水质标准,减少氮肥的使用量并提高氮肥的利用效率,是金水河流域管理的重点之一。

3 结论

(1) 金水河氮湿沉降主要来源于人类活动,但

作为源头河流的发源地,氮排放量有限,所以金水河流域具有较低的氮沉降浓度和氮沉降负荷。

(2)降雨量是影响氮沉降负荷的主要因素。在降雨量的影响下,上游和下游地区氮沉降通量大于中游地区,春夏两季是年度氮湿沉降的主要发生季节。

(3)该流域的氮湿沉降不是金水河氮负荷的重要来源,河流中氮含量可能主要来源于化肥的使用。

参考文献:

- [1] Galloway J N, Dentener F J, Capone D G, *et al.* Nitrogen cycles: Past, present, and future [J]. *Biogeochemistry*, 2004, **70**(2): 153-226.
- [2] Vitousek P M, Aber J D, Howarth R W, *et al.* Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences [J]. *Ecological Applications*, 1997, **7**(3): 737-750.
- [3] David W, Brad H, Hans P. Importance of atmospherically deposited nitrogen to the annual nitrogen budget of the Neuse River estuary, North Carolina [J]. *Environment International*, 2003, **29**(2-3): 393-399.
- [4] Nizeyimana E, Evans B M, Anderson M C, *et al.* Quantification of NPS pollution loads within Pennsylvania watersheds. Prepared for the Pennsylvania Department of Environmental Protection, Bureau of Water Quality Protection [R]. Res. Rep. ER9708. Environmental Resources Research Institute, Pennsylvania State University, University Park.
- [5] Sheeder S A, Lynch J A, Grimm J. Modeling atmospheric nitrogen deposition and transport in the Chesapeake Bay watershed [J]. *Journal of Environmental Quality*, 2002, **31**(4): 1194-1206.
- [6] Lü C Q, Tian H Q. Spatial and temporal patterns of nitrogen deposition in China: Synthesis of observational data [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2007, **112**(D22): 1-10.
- [7] Twonsend A R, Braswell B H, Holland E A, *et al.* Spatial and temporal patterns in terrestrial carbon storage due to deposition of fossil fuel nitrogen [J]. *Ecological Applications* 1996, **6**(3): 804-814.
- [8] 沙丽清, 郑征, 冯志立, 等. 西双版纳热带季节雨林生态系统氮的生物地球化学循环研究[J]. *植物生态学报*, 2002, **26**(6): 689-694.
- [9] 孙志高, 刘景双, 王金达. 三江平原典型湿地系统大气湿沉降中氮素动态及其生态效应 [J]. *水科学进展*, 2007, **18**(2): 182-192.
- [10] Chen X Y, Mulder J. Atmospheric deposition of nitrogen at five subtropical forested sites in South China [J]. *Science of the Total Environment*, 2007, **378**(3): 317-330.
- [11] 宇万太, 马强, 张璐, 等. 下辽河平原降雨中氮素的动态变化 [J]. *生态学杂志*, 2008, **27**(1): 33-37.
- [12] 张颖, 刘学军, 张福锁, 等. 华北平原大气氮素沉降的时空变异 [J]. *生态学报*, 2006, **26**(6): 1633-1639.
- [13] 陈能汪, 洪华生, 张璐平. 九龙江流域大气氮湿沉降研究 [J]. *环境科学*, 2008, **29**(1): 38-46.
- [14] 卜红梅, 王岑, 张全发. 汉江上游金水河流域非点源污染及控制 [J]. *水土学报*, 2009, **23**(4): 33-43.
- [15] 陈义隆, 张俊杰. 汉中地区水利志 [M]. 西安: 陕西人民出版社, 1994.
- [16] 何文鸣, 宋友贵, 张昌盛, 等. 金水河流域矿物元素生物地球化学交换模式 [J]. *生态环境学报*, 2011, **20**(2): 217-225.
- [17] Zhang K R, Zhang Y L, Tian H, *et al.* Sustainability of social-ecological systems under conservation projects: Lessons from a biodiversity hotspot in western China [J]. *Biological Conservation*, 2013, **158**: 205-213.
- [18] 贾俊彦, 张颖, 蔡晓布, 等. 藏东南大气氮湿沉降动态变化——以林芝观测点为例 [J]. *生态学报*, 2009, **29**(4): 1907-1913.
- [19] 石金辉, 高会旺, 张经. 大气有机氮沉降及其对海洋生态系统的影响 [J]. *地球科学进展*, 2006, **21**(7): 721-729.
- [20] 卜红梅, 党海山, 张全发. 汉江上游金水河流域近 50 年气候变化特征及其对生态环境的影响 [J]. *长江流域资源与环境*, 2009, **18**(5): 459-465.
- [21] Aneja V P, Roelle P A, Murray G C, *et al.* Atmospheric nitrogen compounds II: emissions, transport, transformation, deposition and assessment [J]. *Atmospheric Environment*, 2001, **35**(11) 1903-1911.
- [22] Asman W A H, Van Jaarsveld H A. A variable-resolution transport model applied for NH_x in Europe [J]. *Atmospheric Environment*, 1992, **26**(3): 445-464.
- [23] Fern M. Atmospheric ammonia and ammonium transport in Europe and critical loads: a review [J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 1998, **51**(1): 5-17.
- [24] Aneja V P, Murray G C, Southerland J. Atmospheric nitrogen compounds: emissions, transport, transformation, deposition and assessment [J]. *Environmental Management*, 1998, **48**(4): 22-25.
- [25] Cao Y Z, Wang S Y, Zhang G, *et al.* Chemical characteristics of wet precipitation at an urban site of Guangzhou, South China [J]. *Atmospheric Research*, 2009, **94**(3): 462-469.
- [26] Huang K, Zhuang G S, Xu C, *et al.* The chemistry of the severe acidic precipitation in Shanghai, China [J]. *Atmospheric Research*, 2008, **89**(1-2): 149-160.
- [27] Wang H, Han G L. Chemical composition of rainwater and anthropogenic influences in Chengdu, Southwest China [J]. *Atmospheric Research*, 2011, **99**(2): 190-196.
- [28] 肖红伟, 肖化云, 王燕丽. 贵阳大气降水化学特征及来源分析 [J]. *中国环境科学*, 2010, **30**(12): 1590-1596.
- [29] Dise N B, Stevens C J. Nitrogen deposition and reduction of terrestrial biodiversity: evidence from temperate grasslands [J]. *Science in China, Series C: Life Sciences*, 2005, **48**(2): 720-728.
- [30] Duce R A, Liss P S, Merrill J T, *et al.* The atmospheric input of trace species to the world ocean [J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 1991, **5**(3): 193-259.
- [31] Xu Z F, Han G L. Chemical and strontium isotope characterization of rainwater in Beijing, China [J]. *Atmospheric Environment*, 2009, **43**(12): 1954-1961.
- [32] 黄建辉, 韩兴国. 森林生态系统的生物地球化学循环: 理论和方法 [J]. *植物学通报*, 1995, **12**(2): 195-223.

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 Jun-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