

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第2期

Vol.35 No.2

**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

我国环境空气中颗粒物达标统计要求研究 ..... 王帅,丁俊男,王瑞斌,李健军,孟晓艳,杨彬,林宏 (401)

北京城区 PM<sub>2.5</sub> 中致癌重金属季节变化特征及其来源分析 ..... 陶俊,张仁健,段菁春,荆俊山,朱李华,陈忠明,赵岳,曹军骥 (411)

北京地区冬春 PM<sub>2.5</sub> 和 PM<sub>10</sub> 污染水平时空分布及其与气象条件的关系 ..... 赵晨曦,王云琦,王玉杰,张会兰,赵冰清 (418)

北京市 PM<sub>2.5</sub> 可吸入颗粒物反演及其时空分布分析 ..... 王艳慧,肖瑶 (428)

杭州市春季大气超细颗粒物粒径谱分布特征 ..... 谢小芳,孙在,杨文俊 (436)

春节期间南京市大气气溶胶粒径分布特征 ..... 王红磊,朱彬,沈利娟,刘晓慧,张泽锋,杨洋 (442)

南京市大气颗粒物中有机碳和元素碳粒径分布特征 ..... 吴梦龙,郭照冰,刘凤玲,刘杰,卢霞,姜琳娟 (451)

忻州市环境空气 PM<sub>10</sub> 中有机碳和元素碳污染特征分析 ..... 史美鲜,彭林,刘效峰,牟玲,白慧玲,刘凤娟,杨花 (458)

广州某工业区大气中 PCDD/Fs 含量水平及其季节性变化特征 ..... 青亮,苏原,苏青,张素坤,任明忠 (464)

燃煤电厂锅炉 PM<sub>2.5</sub> 排放危害度评价模型建立及案例分析 ..... 史妍婷,杜谦,高建民,边昕,王知涛,董鹤鸣,韩强,曹阳 (470)

中国南海大气降水化学特征 ..... 肖红伟,龙爱民,谢露华,肖化云,刘丛强 (475)

临安本底站酸雨长期观测特征分析 ..... 李正泉,马浩,毛裕定,冯涛 (481)

北京城区大气氮湿沉降特征研究 ..... 贺成武,任玉芬,王效科,毛宇翔 (490)

烟雾箱与数值模拟研究苯和乙苯的臭氧生成潜势 ..... 贾龙,徐永福 (495)

祁连山老虎沟 12 号冰川积雪中飞灰颗粒物的特征 ..... 董志文,秦大河,秦翔,杜志恒,陈记祖,任贾文 (504)

生活垃圾填埋场作业面恶臭散发率研究 ..... 羌宁,王红玉,赵爱华,袁文祥,邵俊,陈檬 (513)

生物滴滤塔处理苯酚气体研究 ..... 何觉聪,黄倩茹,陈洲洋,叶杞宏,罗雨薇,魏在山 (520)

国 V 柴油机燃用丁醇-柴油混合燃料颗粒粒径分布特性试验研究 ..... 楼狄明,徐宁,范文佳,张涛 (526)

翻堆频率对猪粪条堆肥过程温室气体和氨气排放的影响 ..... 赵晨阳,李洪枚,魏源送,钟佳,郑嘉嘉,韩圣慧,万合锋 (533)

CuBr<sub>2</sub> 分解缓释-膜催化对零价汞的氧化性能研究 ..... 胡林刚,瞿赞,晏乃强,郭永福,谢江坤,贾金平 (541)

浙闽沿海岸域总溶解态无机锡的分布及影响因素研究 ..... 张许州,任景玲,刘宗广,樊孝鹏,刘诚刚,吴莹 (547)

基于双向算法的湖库允许纳污负荷量计算及案例 ..... 贾海峰,郭羽 (555)

北京平原区第四系地下水污染风险评价 ..... 郭高轩,李宇,许亮,李志萍,杨庆,许苗娟 (562)

不同季节辽河口营养盐的河口混合行为 ..... 张晋华,于立霞,姚庆祯,田琳 (569)

太湖南运河入湖河口沉积物氮素分布特征 ..... 马久远,王国祥,李振国,张佳,周锋,魏宏农,欧媛 (577)

亚热带地区潜流人工湿地木本植物筛选与净化潜力评价 ..... 陈永华,吴晓芙,郝君,陈明利,朱光玉 (585)

潜流人工湿地基质结构与水力特性相关性研究 ..... 白少元,宋志鑫,丁彦礼,游少鸿,何珊 (592)

凤眼莲对铜绿微囊藻生长及藻毒素与营养盐释放的影响 ..... 周庆,韩士群,严少华,宋伟,刘国锋 (597)

不同预氧化剂对长江原水氯(胺)化 DBPs 生成潜能的影响 ..... 田富箱,徐斌,荣蓉,陈英英,张天阳,朱贺振 (605)

溴化十六烷基吡啶改性沸石对水中菲的吸附作用 ..... 李佳,林建伟,詹艳慧,陈祖梅,王鹏钧 (611)

四环素光催化降解特性与选择性研究 ..... 宋晨怡,尹大强 (619)

微生物电解系统生物阴极的硫酸盐还原特性研究 ..... 符诗雨,刘广立,骆海萍,张仁铎,章莹颖 (626)

市政污水 A/DAT-IAT 系统中溶解性有机物表征与生态安全 ..... 杨赛,周启星,华涛 (633)

膜-生物反应器处理高盐废水膜面污染物特性研究 ..... 李彬,王志伟,安莹,吴志超 (643)

臭氧-曝气生物滤池组合工艺处理石化二级出水的试验研究 ..... 刘明国,吴昌永,周岳溪,高祯,王佩超,杨琦,董德 (651)

厌氧生物法处理果胶废水的研究 ..... 陈兵兵,杨春平,黎想,代传花,彭蓝艳 (657)

氧氟沙星在碳纳米管上的吸附机制研究 ..... 赵兴兴,于水利,王哲 (663)

平菇菌糠对废水中铜离子的生物吸附性能 ..... 胡晓婧,戴婷婷,顾海东,金羽,曲娟娟 (669)

基于流态化作用的吸附反应动力学和穿透特征 ..... 王君,王瑶,黄星,袁益龙,陈瑞晖,周航,周丹丹 (678)

广州城市污泥中重金属形态特征及其生态风险评价 ..... 郭鹏然,雷永乾,蔡大川,张涛,吴锐,潘佳翎 (684)

中国农田土壤重金属富集状况及其空间分布研究 ..... 张小敏,张秀英,钟大洋,江洪 (692)

废旧电容器封存点土壤中的 PCBs 污染特征和健康风险评价 ..... 周玲莉,吴广龙,薛南冬,杨兵,李发生,丁琼,周丹丹,燕云仲,刘博,韩宝禄 (704)

深圳市表层土壤多环芳烃污染及空间分异研究 ..... 章迪,曹善平,孙建林,曾辉 (711)

洋河流域万全段重金属污染风险及控制对策 ..... 谭冰,王铁宇,朱朝云,李奇峰,徐笠,吕永龙 (719)

施用组配固化剂对盆栽土壤重金属交换态含量及在水稻中累积分布的影响 ..... 曾卉,周航,邱琼瑶,廖柏寒 (727)

螯合剂复配对实际重金属污染土壤洗脱效率影响及形态变化特征 ..... 尹雪,陈家军,吕策 (733)

*Pseudomonas* sp. QJX-1 的锰氧化特性研究 ..... 周娜娜,柏耀辉,梁金松,罗金明,刘锐平,胡承志,袁林江 (740)

$n(\text{NO}_3^- - \text{N})/n(\text{NO}_2^- - \text{N})$  对混培养菌与纯培养菌同步脱氮除硫的影响 ..... 陈子爱,陈会娟,魏本平,刘刚金,邓良伟,吴力斌 (746)

杭州市空气微生物群落碳代谢特征研究 ..... 龚婵娟,许晶,方治国,楼秀芹,欧阳志云 (753)

鼠李糖脂逆胶束体系中纤维素酶的后萃研究 ..... 赵艳鸽,袁兴中,黄华军,崔凯龙,彭馨,彭子原,曾光明 (759)

黄海常见鱼类体内汞含量的种内和种间差异研究 ..... 朱艾嘉,许战洲,柳圭泽,邓丽杰,方宏达,黄良民 (764)

3 种 PAEs 对蚯蚓的毒性作用和组织酶活性影响的研究 ..... 王艳,马泽民,吴石金 (770)

新型保水剂应用于土壤-小白菜系统的环境安全评价 ..... 李希,贺纪正,郑袁明,郑明兰 (780)

黄河三角洲翅碱蓬湿地硫化氢和羧基硫磺排放动态研究 ..... 李新华,郭洪海,杨丽萍,朱振林,孙晓青 (786)

农田土壤 N<sub>2</sub>O 产生的关键微生物过程及减排措施 ..... 朱永官,王晓辉,杨小茹,徐会娟,贾炎 (792)

《环境科学》征订启事(691) 《环境科学》征稿简则(800) 信息(489,519,591,791)

# 黄河三角洲翅碱蓬湿地硫化氢和羰基硫排放动态研究

李新华<sup>1</sup>, 郭洪海<sup>2</sup>, 杨丽萍<sup>1</sup>, 朱振林<sup>1</sup>, 孙晓青<sup>1</sup>

(1. 山东省农业可持续发展研究所, 济南 250100; 2. 山东省农业科学院资源与环境研究所, 济南 250100)

**摘要:** 利用静态箱/气相色谱法, 观测了生长季(5~10月)黄河三角洲翅碱蓬湿地 H<sub>2</sub>S 和 COS 的释放动态。结果表明, H<sub>2</sub>S、COS 的排放通量具有明显的季节和日变化规律, 在生长季, 黄河三角洲翅碱蓬湿地是 H<sub>2</sub>S 和 COS 的释放源, 其中 H<sub>2</sub>S 的平均释放通量为 4.97 μg·(m<sup>2</sup>·h)<sup>-1</sup>, COS 的平均释放通量为 0.92 μg·(m<sup>2</sup>·h)<sup>-1</sup>。在探讨的环境因子中, 不同环境因子对翅碱蓬湿地 H<sub>2</sub>S 和 COS 释放通量的影响不同, 其中土壤 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 含量是影响 H<sub>2</sub>S 释放通量的主要因素, 土壤含水量是影响 COS 释放通量的主要因素。含硫气体的排放可能还受到其它因素如植物、潮汐状况等多种因素的影响。

**关键词:** 黄河三角洲; 翅碱蓬湿地; 硫化氢; 羰基硫; 排放通量

中图分类号: X131.1; X144 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)02-0786-06

## Study on Dynamics of Hydrogen Sulfide and Carbonyl Sulfide Emission Fluxes from *Suaeda salsa* Marsh in the Yellow River Estuary

LI Xin-hua<sup>1</sup>, GUO Hong-hai<sup>2</sup>, YANG Li-ping<sup>1</sup>, ZHU Zhen-lin<sup>1</sup>, SUN Xiao-qing<sup>1</sup>

(1. Shandong Institute of Agriculture Sustainable Development, Ji'nan 250100, China; 2. Institute of Resource and Environment, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Ji'nan 250100, China)

**Abstract:** The H<sub>2</sub>S and COS emission fluxes from *Suaeda salsa* marsh in the Yellow River estuary were measured using the static chamber and Chromatogram method during the growth season (May to October), the results showed that the seasonal and diurnal variations of H<sub>2</sub>S and COS emission fluxes were obvious, and *Suaeda salsa* marsh in the Yellow River estuary was the sources for both H<sub>2</sub>S and COS during the growth time, and the mean H<sub>2</sub>S and COS emission fluxes from *Suaeda salsa* marsh were 4.97 μg·(m<sup>2</sup>·h)<sup>-1</sup> and 0.92 μg·(m<sup>2</sup>·h)<sup>-1</sup>, respectively. Different environmental factors had different effects on the emission fluxes of H<sub>2</sub>S and COS from *Suaeda salsa* marsh, in which the SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> content and water content in the soil were the main factors that affected the H<sub>2</sub>S and COS emission fluxes, respectively. Sulfur gases emissions from *Suaeda salsa* marsh may be affected by many factors, such as plant, tide status and so on, so that should be further studied.

**Key words:** Yellow River estuary; *Suaeda salsa* marsh; hydrogen sulfide; carbonyl sulfide; emission fluxes

挥发性含硫气体是自然界硫循环的重要组成部分,对环境有着较大影响<sup>[1]</sup>,酸沉降、温室效应、气溶胶形成等均与此有关<sup>[2]</sup>。从自然界释放的含硫气体是大气中硫气体的主要来源之一,据估算由自然源释放的含硫气体和人为释放的含硫气体相当<sup>[2]</sup>,但是自然源释放含硫气体具有很大的时空变异性,再加上监测数据的有限性,给全球硫收支预算带来了很大的不确定性<sup>[3]</sup>。湿地由于其独特的自然条件和生态条件,其释放的含硫气体一般比内陆高一个或几个数量级,是重要的自然硫释放源之一<sup>[4]</sup>。湿地释放的含硫气体主要有硫化氢(H<sub>2</sub>S)、羰基硫(COS)、二甲基硫(DMS)、二硫化碳(CS<sub>2</sub>)、硫醇(MeSH)和二甲基二硫(DMDS)等<sup>[5~8]</sup>,其中 H<sub>2</sub>S 在近海岸和滨海含盐湿地中具有较高的释放通量<sup>[9]</sup>,COS 是大气中丰度最高的还原态硫化物<sup>[10]</sup>,且人们对 COS 的源/汇认识也存在着较大争议<sup>[11]</sup>。湿地释放的含硫气体主要来自有机物质的分解和硫酸根

的异化还原<sup>[2]</sup>,其排放速率受温度、潮汐变化、Eh、植被类型等多种因素的影响<sup>[4~8]</sup>。定量化湿地释放的含硫气体能更好地理解湿地在全球硫循环中的作用,并为全球硫收支预算提供基础数据。目前国内有关自然湿地挥发性含硫气体释放的研究主要集中在近海海域、江苏苏北盐沼和三江平原沼泽湿地等<sup>[12~14]</sup>,黄河三角洲是我国暖温带保存最完整、最广阔和最年轻的湿地生态系统,在北方河口湿地中具有代表性,但有关本区湿地硫排放的研究尚鲜见报道。翅碱蓬作为黄河三角洲重要的盐生植被之一,常分布在介于海陆交互相互作用的潮滩地带,潮汐作用是影响潮滩湿地变化的重要驱动力,在海陆相互作用下,潮滩地带的各种环节因素变化剧烈、

收稿日期: 2013-05-28; 修订日期: 2013-07-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(41103036)

作者简介: 李新华(1979~),女,博士,副研究员,主要研究方向为环境生态与生物地球化学, E-mail: xinhuali\_2008@163.com

频繁,湿地的稳定性、干扰程度及频率也不断变换,湿地面貌和结构始终处于变化之中。由翅碱蓬为建群种形成的翅碱蓬潮滩湿地是黄河三角洲湿地系统演替的先锋阶段,也是黄河三角洲丹顶鹤、白鹭、行目鸟类等的主要栖息地,同时还起着维持湿地生态系统正常演替、防风固堤、调解气候等多种重要功能<sup>[15]</sup>。鉴于此,本研究选择翅碱蓬潮滩湿地为对象,在生长季开展 H<sub>2</sub>S、COS 排放通量野外原位观测,目的在于探讨翅碱蓬湿地系统 H<sub>2</sub>S、COS 通量的排放特征及主要影响因素,以期为评估含硫气体排放对大气环境的影响提供依据,也为进一步研究本区湿地硫循环提供基础数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于黄河三角洲自然保护区内(37°35'N~38°12'N, 118°33'E~119°20'E),试验于 2012-05~2012-10,在现黄河入海口北部滨海潮滩湿地典型试验区内进行(37°46'38.9"N, 119°09'41.4"E)。黄河三角洲国家级自然保护区于 1992 年经国家林业局批准建立,是全国最大的河口三角洲自然保护区,在世界范围内河口湿地生态系统中具有较强的代表性,主要保护黄河口新生湿地生态系统和濒危珍稀鸟类。保护区总面积 15.3 万 hm<sup>2</sup>,属暖温带季风气候区,具有明显的大陆性季风气候特点,雨热同期,四季分明,冷热干湿界限极为明显。春季干旱多风,常有春旱,夏季炎热多雨,高温高湿,时有台风侵袭。该区年平均气温 12.1℃,无霜期 196 d,≥10℃ 的年积温约为 4 300℃,年均蒸发量 1 962 mm,年均降水量 551.6 mm,70% 的降水集中于 7 月和 8 月。保护区的土壤类型主要为隐域性潮土和盐土,主要植被类型为芦苇(*Phragmites australis*)群落,翅碱蓬(*Suaeda salsa*)群落、芦苇-荻(*Triarrhena sacchariflora*)群落、穗状狐尾藻(*Myriophyllum spicatum*)群落、柽柳(*Tamarix chinensis*)群落和补血草(*Limonium sinense*)群落等。

### 1.2 气体样品的采集和分析

在黄河入海口北部滨海潮滩湿地典型试验区内选取典型翅碱蓬盐沼湿地,布设监测点,设置 3 个重复。观测期为 5~10 月,观测频次为每月 1 次,每次观测均在上午 08:00~10:00 进行,并于 6 月 20 日进行了日变化观测,每 4h 观测一次。

气体样品的采集采用密闭箱法<sup>[16]</sup>,采样箱由 0.4 mm 厚的铁皮制成,箱体四周及顶部用白色泡沫

包裹以确保采样时箱内温度变化不大,箱体内壁贴有聚四氟乙烯薄膜,防止含硫气体的吸附。采样箱由箱体和底座两部分组成,箱体规格 50 cm×50 cm×100 cm,底座规格为 50 cm×50 cm×20 cm。底座上端有宽 2 cm、深 3 cm 的密封水槽,采样时将箱体罩在底座上,各部分之间均以水密封,以防止箱体和底座的接触处漏气。采样箱内装有搅气小风扇、温度传感器,采气三通阀及气压平衡管。放上采样箱后,立即采集第一个样品,然后每隔 15 min 采集一个样品,共采集 4 个样品,每个样品采集 1 L,采集的样品放在聚四氟乙烯袋里,立即带回实验室分析。采集样品时同步观测土壤含水量、气温、箱温、-5 cm 土壤温度等环境因子,其中土壤含水量用高精度土壤水分测量仪 AZS-2 测定,气温、箱温、-5 cm 土壤温度分别用气温计、箱体温度传感器和地温计测定。采集气体样品后采集土壤样品,带回实验室,晾干后测试,硫酸根测试采用 Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 浸提, BaSO<sub>4</sub> 比浊法<sup>[17]</sup>。

含硫气体样品的分析采用低温浓缩富集、热解吸-气相色谱法测定<sup>[18]</sup>。利用下面的公式计算气体的通量:

$$F = \frac{MPT_0}{V_0P_0T} H \frac{dc}{dt}$$

式中, $F$  为气体通量 [ $\mu\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$ ];  $M$  为气体的摩尔质量,对 H<sub>2</sub>S 和 COS 而言, $M$  分别为 34.08 和 60.07;  $P_0$ 、 $T_0$  和  $V_0$  分别为理想气体标准状态下的空气压力、气温和摩尔体积(为 1 013.25 hPa、273.15 K 和 22.41 L·mol<sup>-1</sup>);  $H$  为采样箱高;  $P$  为采样点气压;  $T$  为采样时的绝对温度;  $\frac{dc}{dt}$  为采样时气体浓度随时间变化的回归曲线斜率。

### 1.3 数据处理与分析

运用 Origin 7.5 对数据进行绘图,运用 SPSS 13.0 进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 H<sub>2</sub>S、COS 排放通量的季节变化

翅碱蓬潮滩湿地在生长季 H<sub>2</sub>S 和 COS 的排放通量如图 1 所示。从中可知在生长季,翅碱蓬潮滩湿地 H<sub>2</sub>S 和 COS 的排放通量具有明显的季节变化特征。H<sub>2</sub>S 在整个生长季都表现为排放,通量范围为 2.00~7.31  $\mu\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$ ,均值为 4.97  $\mu\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$ ,变异系数为 37.5%。5~8 月,排放速率逐渐增加,在 8 月出现最大值。8~9 月排放速

率降低,之后排放速率又略有增加. COS 在生长季表现为排放-吸收交替的特征,排放通量范围为  $-1.16 \sim 2.52 \mu\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$ , 均值为  $0.92 \mu\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$ , 变异系数为 135.4%, 具有较大的变异性. 5~8 月, 排放通量逐渐降低, 在 8 月出现最小值, 为  $-1.16 \mu\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$  表现为吸收, 之后 8~10 月排放通量又逐渐增加. 与三江平原淡水沼泽湿地相比, 翅碱蓬湿地  $\text{H}_2\text{S}$  和 COS 的排放通量均高于淡水沼泽湿地含硫气体的排放量<sup>[14]</sup>.

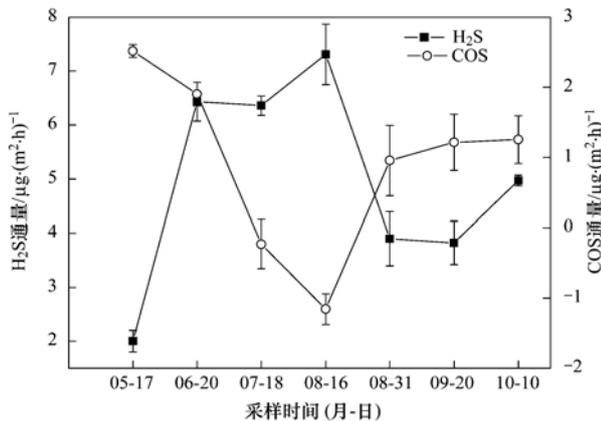


图 1  $\text{H}_2\text{S}$ 、COS 季节变化特征

Fig. 1 Seasonal variation of  $\text{H}_2\text{S}$  and COS emission fluxes

## 2.2 $\text{H}_2\text{S}$ 、COS 排放通量的日变化

6 月 19~20 日, 观测了翅碱蓬湿地  $\text{H}_2\text{S}$ 、COS 排放通量的日变化情况, 结果如图 2 所示. 从中可知  $\text{H}_2\text{S}$  通量的日变化范围为  $3.90 \sim 8.56 \mu\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$ , 均值为  $6.22 \mu\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$ , 变异系数为 30.6%, 白天排放速率逐渐增加, 在下午 2:00 出现排放峰值, 之后排放速率又逐渐降低. COS 通量的日变化范围为  $-1.80 \sim 0.23 \mu\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$ , 均值  $-0.45 \mu\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$ , 变异系数为 182.2%, 和季节通量变化相一致, 具有较大的变异性, 白天表现为吸收, 夜晚表现为弱的排放, 在 14:00 出现吸收峰值. 已有的研究表明植物是 COS 最大的汇, 植物可以通过叶孔吸收 COS<sup>[19]</sup>, 在 14:00 出现的吸收峰值可能与该时段翅碱蓬有较强的吸收作用有关, 但至于 COS 是如何被翅碱蓬吸收以及吸收过程与哪些代谢活动有关仍需要进一步的研究.

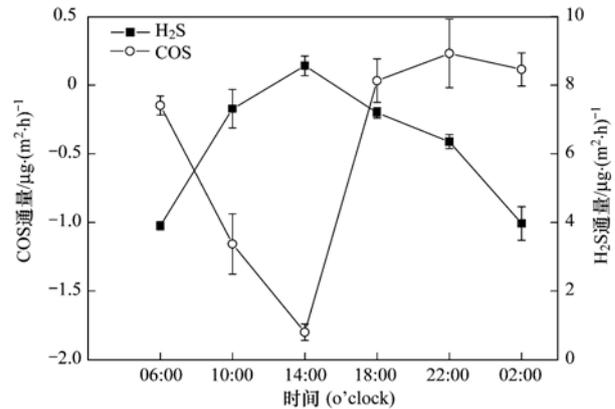


图 2  $\text{H}_2\text{S}$ 、COS 日变化特征

Fig. 2 Diurnal variation of  $\text{H}_2\text{S}$  and COS emission fluxes

## 3 讨论

### 3.1 环境因素与含硫气体排放通量的关系

#### 3.1.1 温度对含硫气体排放通量的影响

土壤释放含硫气体主要来自微生物作用下硫酸盐的异化还原和含硫氨基酸的降解, 温度过高或过低都会影响微生物的活性, 进而影响含硫气体的排放. 在采集样品期间, 同步监测了气温和  $-5 \text{ cm}$  的地温, 如图 3 所示. 通过比较温度与含硫气体通量及相关分析可知 (表 1),  $\text{H}_2\text{S}$  的排放通量与气温、 $-5 \text{ cm}$  地温均呈正相关, 并且与  $-5 \text{ cm}$  地温的相关性达到了显著正水平, 这表明温度的升高, 尤其是地温的升高能促进  $\text{H}_2\text{S}$  的排放, Staubes 等<sup>[20]</sup> 在德国北部地区土壤排放 DMS 和 COS 年变化和月变化与土壤温度变化关系研究中也证实了这一观点. COS 的排放通量与气温、 $-5 \text{ cm}$  地温均呈负相关, 但未达到显著水平, 这表明 COS 的排放与温度的相关性不大, Kanda 等<sup>[21]</sup> 在研究水稻、小麦和玉米田含硫气体的释放时也得到了类似的结论. 此外这种较弱的相关性也表明其它因素可能在含硫气体产生与排放过程中发挥了更为重要的作用, 进而掩盖了温度变化的影响, 而这些因素可能是水分状况、盐分状况、植被状况以及沉积物基质状况等.

#### 3.1.2 土壤盐分对含硫气体排放通量的影响

土壤盐分含量是影响黄河三角洲植被分布的关键因子<sup>[22]</sup>, 采样期间, 土壤盐分含量的变化如图 4

表 1 环境因子与含硫气体通量的相关分析

Table 1 Correlation analysis between environmental factors and the fluxes of sulfur gases

| 项目                   | $\text{SO}_4^{2-}$ 含量 | 盐分含量    | 土壤含水量     | 气温     | $-5 \text{ cm}$ 地温 |
|----------------------|-----------------------|---------|-----------|--------|--------------------|
| $\text{H}_2\text{S}$ | 0.838 *               | -0.226  | 0.424     | 0.623  | 0.760 *            |
| COS                  | -0.293                | 0.876 * | -0.937 ** | -0.315 | -0.544             |

1) \* 表示  $P < 0.05$  显著水平; \*\* 表示  $P < 0.01$  显著水平

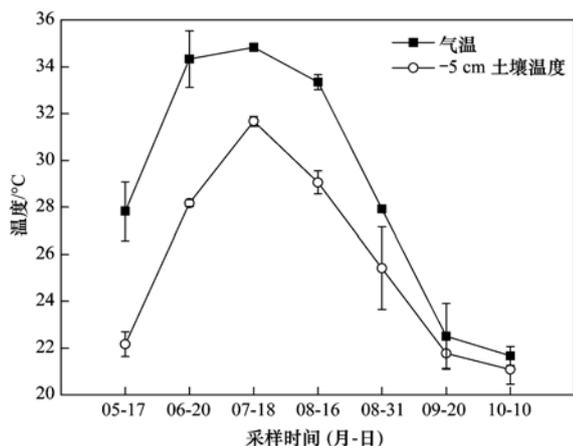


图3 温度的季节变化

Fig. 3 Seasonal changes of temperature

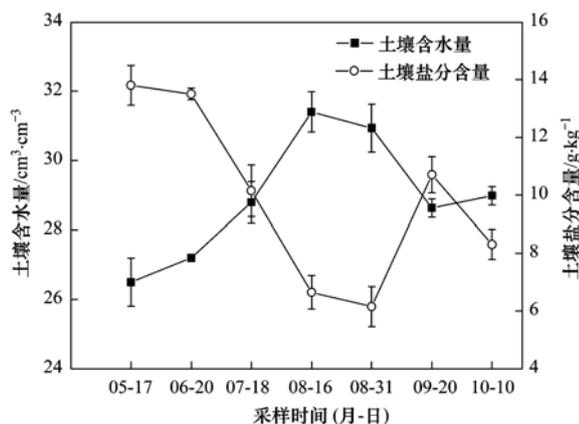


图4 土壤盐分和土壤含水量的季节变化

Fig. 4 Season changes of salinity and water content in soil

所示,土壤盐分含量和含硫气体通量的相关分析表明(表1),土壤盐分含量与 $H_2S$ 的排放通量无显著相关性,与COS的排放通量呈显著正相关,这表明土壤盐分含量的高低显著影响含硫气体的排放,且对不同的含硫气体影响作用不同,这是因为不同土层中分布着不同的硫氧化微生物,参与不同的脱硫和氧化过程,由于不同的硫氧化微生物对盐度的适应性不同,从而导致含硫气体的排放通量和土壤盐分含量间存在不同的关系<sup>[23]</sup>。 $H_2S$ 的产生主要是由硫酸盐的异化还原过程产生,这一过程是通过硫酸盐还原细菌完成,硫酸盐异化还原细菌分布在土壤的深层,其生长受到土壤盐分的影响,当土壤中的盐浓度较高时,会抑制硫酸盐还原细菌的生长<sup>[24]</sup>。

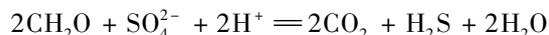
### 3.1.3 土壤含水量对含硫气体排放通量的影响

土壤含硫气体的排放主要来自微生物作用下硫酸盐的异化还原和含硫氨基酸的降解,而土壤含水量直接影响 $O_2$ 的可利用率、气体扩散速率和微生物

物活性<sup>[25]</sup>,并间接影响到土壤的pH值和Eh变化<sup>[24]</sup>,从而对含硫气体的产生和扩散产生影响。采样期间,土壤含水量的变化如图4所示,土壤含水量与含硫气体通量的相关分析表明(表1),土壤含水量与 $H_2S$ 的排放通量呈负相关,但未达到显著水平,这可能与观测点土壤含水量较低,未达到硫酸盐异化还原细菌生长的最适宜水分条件有关,已有的研究表明含硫气体释放的最佳土壤含水量为50%~75%<sup>[26]</sup>,这也是土壤微生物生长较适宜的生长条件<sup>[27]</sup>。但土壤含水量与COS的排放通量呈显著正相关,这表明土壤含水量是影响COS排放的主要因素之一,但其影响机制还有待进一步深入探讨。

### 3.1.4 土壤 $SO_4^{2-}$ 含量对含硫气体排放的影响

采样期间,土壤 $SO_4^{2-}$ 含量的季节变化如图5所示,土壤 $SO_4^{2-}$ 含量与含硫气体通量的相关分析表明(表1),土壤 $SO_4^{2-}$ 含量与 $H_2S$ 的排放通量呈显著正相关关系,这表明土壤 $SO_4^{2-}$ 含量的高低对 $H_2S$ 的排放通量影响显著,已有的研究表明在淡水沼泽湿地中,较低的 $H_2S$ 排放通量可能与土壤硫酸根含量较低有关<sup>[28]</sup>, $H_2S$ 主要来自硫酸盐的异化还原,反应方程式为<sup>[4]</sup>:



土壤中丰富的 $SO_4^{2-}$ 含量可以刺激硫酸盐异化还原菌的活性,从而促进 $H_2S$ 的排放<sup>[29]</sup>。与COS的排放通量呈负相关关系,但未达到显著水平,这表明土壤 $SO_4^{2-}$ 含量不是影响COS排放的主要因素,已有的研究也表明COS的排放通量主要受到植物生长活动的影响<sup>[14]</sup>。

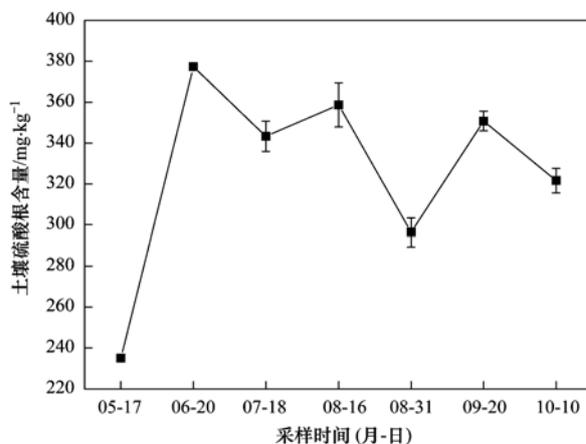


图5 土壤硫酸根含量的季节变化

Fig. 5 Seasonal changes of sulfate content in soil

## 3.2 环境因素与含硫气体排放通量的多元回归分析

通过逐步引入-剔除法分别建立气温、地温、土

壤含水量、土壤含盐量、土壤  $\text{SO}_4^{2-}$  含量 5 个环境因素与  $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{COS}$  的多元回归方程:

$$Y_1 = 0.0326X_1 - 5.65$$

$$(R^2 = 0.702, P = 0.019)$$

$$Y_2 = -0.552X_2 + 16.89$$

$$(R^2 = 0.622, P = 0.035)$$

式中,  $Y_1$  为  $\text{H}_2\text{S}$  通量,  $X_1$  为土壤硫酸根含量;  $Y_2$  为  $\text{COS}$  通量,  $X_2$  为土壤含水量。

对  $\text{H}_2\text{S}$  排放通量来说, 环境因素中仅有土壤  $\text{SO}_4^{2-}$  含量进入回归方程, 对  $\text{COS}$  来说, 仅有土壤含水量进入回归方程, 说明土壤  $\text{SO}_4^{2-}$  含量对  $\text{H}_2\text{S}$  排放通量的影响显著, 土壤含水量对  $\text{COS}$  排放通量影响显著, 其它因素对二者虽有一定影响但并不显著。

#### 4 结论

(1) 在生长季(5~10月), 黄河三角洲翅碱蓬潮滩湿地系统是  $\text{H}_2\text{S}$  和  $\text{COS}$  的排放源, 其中  $\text{H}_2\text{S}$  排放通量范围为  $2.00 \sim 7.31 \mu\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$ , 均值为  $4.97 \mu\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$ ,  $\text{COS}$  排放通量范围为  $-1.16 \sim 2.52 \mu\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$ , 均值为  $0.92 \mu\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$ 。

(2)  $\text{H}_2\text{S}$  和  $\text{COS}$  具有明显的日变化规律。  $\text{H}_2\text{S}$  的排放速率白天较夜晚大, 在 14:00 点出现排放峰值。  $\text{COS}$  白天表现为吸收, 夜晚表现为弱的排放, 在 14:00 出现吸收峰值。

(3) 不同环境因子对翅碱蓬潮滩湿地含硫气体排放影响不同, 其中土壤  $\text{SO}_4^{2-}$  含量是影响  $\text{H}_2\text{S}$  排放通量的主要因素, 土壤含水量是影响  $\text{COS}$  排放通量的主要因素。翅碱蓬潮滩湿地含硫气体的排放可能还受到植物、潮汐活动等多种因素的影响, 还有待于进一步深入研究。

#### 参考文献:

- [1] Aneja V P. Natural sulfur emission into the atmosphere [J]. Journal of the Air Waste Management Association, 1990, **40** (4): 469-476.
- [2] Andreae M O, Jaeschke W A. Exchange of sulphur between biosphere and atmosphere over temperate and tropical regions [A]. In: Howarth R W, Stewart J W B, Ivanou M. Sulphur cycling in the continents [M]. New York: John Wiley and Sons, 1992. 27-61.
- [3] Yang Z, Kong L, Zhang J, et al. Emission of biogenic sulfur gases from Chinese rice [J]. Science of the Total Environment, 1998, **224**(1-3): 1-8.
- [4] Devai I, Delaune R D. Formation of volatile sulfur compounds in salt marsh sediment as influenced by soil redox condition [J]. Organic Geochemistry, 1995, **23**(4): 283-287.
- [5] Aneja V P, Farwell S O, Robinson E, et al. Emission survey of biogenic sulfur flux from terrestrial surface [J]. Journal of the Air pollution Control Association, 1981, **31**(3): 256-258.
- [6] Cooper D J, Demello W Z, Cooper W J, et al. Short-term variability in biogenic sulfur emission from a Florida spartina alterniflora marsh [J]. Atmospheric Environment, 1987, **21** (1): 7-12.
- [7] Morrison M C, Hines M E. The variability of biogenic sulfur flux from a temperate salt marsh on short time and space scales [J]. Atmospheric Environment, 1990, **24**(7): 1771-1779.
- [8] Delaune R D, Devai I, Lindau C W. Flux of reduced sulfur gases along a salinity gradient in Louisiana coastal Marshes [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2002, **54** (6): 1003-1011.
- [9] Howarth R W. The ecological significance of sulfur in the energy dynamics of salt marsh and marine sediments [J]. Biogeochemistry, 1984, **1**(1): 5-27.
- [10] Kuhn U, Ammann C, Wolf A, et al. Carbonyl sulfide exchange on an ecosystem scale: soil represents a dominant sink for atmospheric COS [J]. Atmospheric Environment, 1999, **33**(6): 995-1008.
- [11] Watts S F. The mass budgets of carbonyl sulfide, dimethyl sulfide, carbon disulfide and hydrogen sulfide [J]. Atmospheric Environment, 2000, **34**(5): 761-779.
- [12] 景伟文, 杨桂朋, 康志强. 胶州湾海水中 DMS 和 DMSP 的分布及其影响因素 [J]. 中国海洋大学学报, 2010, **40**(11): 95-100.
- [13] 周长芳, 安树青, 赵聪蛟, 等. 互花米草入侵对海岸盐沼二甲基硫及氧化亚氮气体释放的影响 [J]. 海洋科学, 2009, **33**(2): 17-21.
- [14] 李新华, 刘景双, 杨继松. 三江平原小叶章湿地  $\text{H}_2\text{S}$  和  $\text{COS}$  排放动态 [J]. 环境科学, 2006, **27**(11): 2145-2149.
- [15] 牟晓杰, 孙志高, 王玲玲, 等. 黄河口滨岸潮滩不同生境下翅碱蓬氮的累积与分配特征 [J]. 湿地科学, 2010, **8**(1): 57-66.
- [16] Kanda K, Minami K. Measurement of dimethyl sulfide emission from lysimeter paddy field [J]. The Ecological Bulletin, 1992, **42**: 195-198.
- [17] 李西开主编. 土壤农业化学常规分析方法 [M]. 北京: 科学出版社, 1983.
- [18] 李新华, 刘景双, 贾益群. 低温吸附、热解吸气相色谱法测定痕量硫化氢 [J]. 分析测试学报, 2006, **25**(3): 68-69.
- [19] Melillio J M, Steudler P A. The effect of nitrogen fertilization on the COS and  $\text{CS}_2$  emission from temperate forest soils [J]. Journal of Atmospheric Chemistry, 1989, **9**(4): 411-418.
- [20] Staubes R, Georgii H W, Ockelmann G. Flux of COS, DMS and  $\text{CS}_2$  from various soils in Germany [J]. Tellus, 1989, **41B**(3): 305-313.
- [21] Kanda K I, Tsuruta H, Minami K. Emission of dimethyl sulfide, carbonyl sulfide and carbon disulfide from paddy fields [J]. Soil Science and Plant Nutrition, 1992, **38**(4): 709-716.
- [22] 贺强, 崔保山, 赵欣胜, 等. 黄河河口盐沼植被分布、多样性与土壤化学因子的相关关系 [J]. 生态学报, 2009, **29**

- (2): 676-687.
- [23] 幸颖, 刘常洪, 安树青. 海岸带盐沼湿地土壤硫循环中的微生物及其作用[J]. 生态学杂志, 2007, **26**(4): 577-581.
- [24] Hironta M, Senga Y, Seike Y, *et al.* Fluxes of carbon dioxide, methane and nitrous oxide in two contrastive fringing zones of coastal lagoon, Lake Nakaumi, Japan[J]. *Chemosphere*, 2007, **68**(3): 597-603.
- [25] Wassmann R, Neue H U, Bueno C, *et al.* Methane production capacities of different rice soils derived from inherent and exogenous substrates[J]. *Plant and Soil*, 1998, **203**(2): 227-237.
- [26] 乔维川, 席淑琪, 张晋华, 等. 土壤理化条件对含硫气体释放的影响[J]. *环境科学*, 2000, **21**(1): 78-80.
- [27] 陈文新. 土壤和环境微生物[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1989. 418-439.
- [28] Giblin A E, Wieder R K. Sulphur cycling in marine and freshwater wetlands[A]. In: *Sulphur cycling on the continents* [M]. New York: John Wiley & Sons, 1992. 85-117.
- [29] 陈庆强, 唐媛, 杨艳, 等. 长江口盐沼硫酸盐还原菌的分布特征与环境机制[J]. *沉积学报*, 2012, **30**(6): 1088-1098.
- 

## 《环境科学》再获“百种中国杰出学术期刊”称号

2013年9月27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12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

|  |   |
|--|---|
| Form of the Particulate Matter Ambient Air Standards in China .....  | WANG Shuai, DING Jun-nan, WANG Rui-bin, <i>et al.</i> ( 401 )         |
| Seasonal Variation of Carcinogenic Heavy Metals in PM <sub>2.5</sub> and Source Analysis in Beijing .....  | TAO Jun, ZHANG Ren-jian, DUAN Jing-chun, <i>et al.</i> ( 411 )        |
| Temporal and Spatial Distribution of PM <sub>2.5</sub> and PM <sub>10</sub> Pollution Status and the Correlation of Particulate Matters and Meteorological Factors During Winter and Spring in Beijing ..... | ZHAO Chen-xi, WANG Yun-qi, WANG Yu-jie, <i>et al.</i> ( 418 )         |
| Inversion and Spatial-Temporal Distribution Analysis on PM <sub>5.0</sub> Inhalable Particulate in Beijing .....   | WANG Yan-hui, XIAO Yao ( 428 )  |
| Characterization of Ultrafine Particle Size Distribution in the Urban Atmosphere of Hangzhou in Spring .....   | XIE Xiao-fang, SUN Zai, YANG Wen-jun ( 436 )                          |
| Size Distributions of Aerosol During the Spring Festival in Nanjing .....  | WANG Hong-lei, ZHU Bin, SHEN Li-juan, <i>et al.</i> ( 442 )           |
| Size Distributions of Organic Carbon and Elemental Carbon in Nanjing Aerosol Particles .....   | WU Meng-long, GUO Zhao-bing, LIU Feng-ling, <i>et al.</i> ( 451 )     |
| Characterization of Organic and Elemental Carbon in PM <sub>10</sub> in Xinzhou City .....   | SHI Mei-xian, PENG Lin, LIU Xiao-feng, <i>et al.</i> ( 458 )          |
| Seasonal Variation of Concentrations and Distribution Characteristics of PCDD/Fs in Atmosphere of an Industrial Area, Guangzhou .....  | QING Xian, SU Yuan, SU Qing, <i>et al.</i> ( 464 )                    |
| Hazard Evaluation Modeling of Particulate Matters Emitted by Coal-Fired Boilers and Case Analysis .....  | SHI Yan-ting, DU Qian, GAO Jian-min, <i>et al.</i> ( 470 )            |
| Chemical Characteristics of Precipitation in South China Sea .....   | XIAO Hong-wei, LONG Ai-min, XIE Lu-hua, <i>et al.</i> ( 475 )         |
| Analysis of Acid Rain Characteristics of Lin'an Regional Background Station Using Long-term Observation Data .....   | LI Zheng-quan, MA Hao, MAO Yu-ding, <i>et al.</i> ( 481 )             |
| Characteristics of Atmospheric Nitrogen Wet Deposition in Beijing Urban Area .....   | HE Cheng-wu, REN Yu-fen, WANG Xiao-ke, <i>et al.</i> ( 490 )          |
| Studies of Ozone Formation Potentials for Benzene and Ethylbenzene Using a Smog Chamber and Model Simulation .....   | JIA Long, XU Yong-fu ( 495 )  |
| Characteristics of Fly Ash Particles Deposition in the Snowpack of Laohugou Glacier No. 12 in Western Qilian Mountains, China .....  | DONG Zhi-wen, QIN Da-he, QIN Xiang, <i>et al.</i> ( 504 )             |
| Odor Emission Rate of Municipal Solid Waste from Landfill Working Area .....   | QIANG Ning, WANG Hong-yu, ZHAO Ai-hua, <i>et al.</i> ( 513 )          |
| Gaseous Phenol Removal in a Bio-Trickling Filter .....   | HE Jue-cong, HUANG Qian-ru, CHEN Zhou-yang, <i>et al.</i> ( 520 )     |
| Particulate Distribution Characteristics of Chinese Phrase V Diesel Engine Based on Butanol-Diesel Blends .....  | LOU Di-ming, XU Ning, FAN Wen-jia, <i>et al.</i> ( 526 )              |
| Effects of Turning Frequency on Emission of Greenhouse Gas and Ammonia During Swine Manure Windrow Composting .....  | ZHAO Chen-yang, LI Hong-mei, WEI Yuan-song, <i>et al.</i> ( 533 )     |
| Oxidation of Mercury by CuBr <sub>2</sub> Decomposition Under Controlled-Release Membrane Catalysis Condition .....  | HU Lin-gang, QU Zan, YAN Nai-qiang, <i>et al.</i> ( 541 )             |
| Distributions and Influencing Factors of Total Dissolved Inorganic Antimony in the Coastal Area of Zhejiang and Fujian .....   | ZHANG Xu-zhou, REN Jing-ling, LIU Zong-guang, <i>et al.</i> ( 547 )   |
| Calculation of Allowable Pollution Loads for Lake and Reservoir Based on Bi-direction Algorithm and Its Case Study .....   | JIA Hai-feng, GUO Yu ( 555 )  |
| Risk Assessment of Quaternary Groundwater Contamination in Beijing Plain .....   | GUO Gao-xuan, LI Yu, XU Liang, <i>et al.</i> ( 562 )                  |
| Mixing Behavior of Nutrients in Different Seasons at Liaohe Estuary .....  | ZHANG Jin-hua, YU Li-xia, YAO Qing-zhen, <i>et al.</i> ( 569 )        |
| Distribution of Nitrogen in the Sediment of Taige South River Estuary .....  | MA Jiu-yuan, WANG Guo-xiang, LI Zhen-guo, <i>et al.</i> ( 577 )       |
| Selection and Purification Potential Evaluation of Woody Plant in Vertical Flow Constructed Wetlands in the Subtropical Area .....   | CHEN Yong-hua, WU Xiao-fu, HAO Jun, <i>et al.</i> ( 585 )             |
| Correlation of Substrate Structure and Hydraulic Characteristics in Subsurface Flow Constructed Wetlands .....   | BAI Shao-yuan, SONG Zhi-xin, DING Yan-li, <i>et al.</i> ( 592 )       |
| Impacts of <i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms Stress on the Growth Characteristics, Microcystins and Nutrients Release of <i>Microcystis aeruginosa</i> .....   | ZHOU Qing, HAN Shi-qun, YAN Shao-hua, <i>et al.</i> ( 597 )           |
| Effects of Different Pre-oxidants on DBPs Formation Potential by Chlorination and Chloramination of Yangtze River Raw Water .....  | TIAN Fu-xiang, XU Bin, RONG Rong, <i>et al.</i> ( 605 )               |
| Adsorption of Phenanthrene from Aqueous Solution on Cetylpyridinium Bromide (CPB)-Modified Zeolite .....   | LI Jia, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, <i>et al.</i> ( 611 )             |
| Characteristics and Selectivity of Photocatalytic-Degradation of Tetracycline Hydrochloride .....  | SONG Chen-yi, YIN Da-qiang ( 619 )                                    |
| Characterization of Biocatalysed Sulfate Reduction in a Cathode of Microbial Electrolysis System .....   | FU Shi-yu, LIU Guang-li, LUO Hai-ping, <i>et al.</i> ( 626 )          |
| Characteristics of Dissolved Organic Matter in A/DAT-IAT System for Municipal Wastewater Treatment Based on Ecological Safety .....  | YANG Sai, ZHOU Qi-xing, HUA Tao ( 633 )                               |
| Membrane Surface Fouling Properties in MBRs for High-Salinity Wastewater Treatment .....   | LI Bin, WANG Zhi-wei, AN Ying, <i>et al.</i> ( 643 )                  |
| Treatment of Petrochemical Secondary Effluent by Ozone-biological Aerated Filter .....   | LIU Ming-guo, WU Chang-yong, ZHOU Yue-xi, <i>et al.</i> ( 651 )       |
| Treatment of Pectin Wastewater by Anaerobic Biological Process .....   | CHEN Bing-bing, YANG Chun-ping, LI Xiang, <i>et al.</i> ( 657 )       |
| Sorption Mechanism of Ofloxacin by Carbon Nanotubes .....  | ZHAO Xing-xing, YU Shui-li, WANG Zhe ( 663 )                          |
| Biosorption Characteristics of Cu <sup>2+</sup> by Spent Substrate of Pleurotus Oyster .....   | HU Xiao-jing, ZANG Ting-ting, GU Hai-dong, <i>et al.</i> ( 669 )      |
| Adsorption Dynamics and Breakthrough Characteristics Based on the Fluidization Condition .....   | WANG Jun, WANG Yao, HUANG Xing, <i>et al.</i> ( 678 )                 |
| Characteristics of Speciation and Evaluation of Ecological Risk of Heavy Metals in Sewage Sludge of Guangzhou .....  | GUO Peng-ran, LEI Yong-qian, CAI Da-chuan, <i>et al.</i> ( 684 )      |
| Spatial Distribution and Accumulation of Heavy Metal in Arable Land Soil of China .....  | ZHANG Xiao-min, ZHANG Xiu-ying, ZHONG Tai-yang, <i>et al.</i> ( 692 ) |
| Pollution Patterns and Health Risk Assessment for Polychlorinated Biphenyls in Soils from a Capacitor Storage Site .....   | ZHOU Ling-li, WU Guang-long, XUE Nan-dong, <i>et al.</i> ( 704 )      |
| Occurrence and Spatial Differentiation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Soils from Shenzhen, China .....   | ZHANG Di, CAO Shan-ping, SUN Jian-lin, <i>et al.</i> ( 711 )          |
| Risk Assessment and Countermeasures of Heavy Metals Pollution in Wanquan Segment of Yanghe River .....   | TAN Bing, WANG Tie-yu, ZHU Zhao-yun, <i>et al.</i> ( 719 )            |
| Effects of Group Matching Curing Agent on Exchangeable Pb, Cd, Zn Contents in the Potted Soils and their Accumulation in Rice Plants .....   | ZENG Hui, ZHOU Hang, QIU Qiong-yao, <i>et al.</i> ( 727 )             |
| Impact of Compound Chelants on Removal of Heavy Metals and Characteristics of Morphologic Change in Soil from Heavy Metals Contaminated Sites .....  | YIN Xue, CHEN Jia-jun, LÜ Ce ( 733 )                                  |
| Characterization of Manganese Oxidation by <i>Pseudomonas</i> sp. QJX-1 .....  | ZHOU Na-na, BAI Yao-hui, LIANG Jin-song, <i>et al.</i> ( 740 )        |
| Effects of the Ratio of NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N to NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N on the Removal of Sulfide and Nitrogen by Mixed Culture and Pure Culture .....                                    | CHEN Zi-ai, CHEN Hui-juan, WEI Ben-ping, <i>et al.</i> ( 746 )        |
| Carbon Metabolic Characteristics of Airborne Microbes in Hangzhou .....  | GONG Chan-juan, XU Jing, FANG Zhi-guo, <i>et al.</i> ( 753 )          |
| Study on the Backward Extraction of Cellulase in Rhamnolipid Reverse Micelles .....  | ZHAO Yan-ge, YUAN Xing-zhong, HUANG Hua-jun, <i>et al.</i> ( 759 )    |
| Inner- and Inter-Species Differences of Mercury Concentration in Common Fishes from the Yellow Sea .....   | ZHU Ai-jia, XU Zhan-zhou, LIU Gui-ze, <i>et al.</i> ( 764 )           |
| Study on the Effect of Enzymatic Activity and Acute Toxicity of Three PAEs on <i>Eisenia foetida</i> .....   | WANG Yan, MA Ze-min, WU Shi-jin ( 770 )                               |
| Environmental Safety Assessment on the New Super Absorbent Polymers Applied into a Soil-Chinese Cabbage System .....   | LI Xi, HE Ji-zheng, ZHENG Yuan-ming, <i>et al.</i> ( 780 )            |
| Study on Dynamics of Hydrogen Sulfide and Carbonyl Sulfide Emission Fluxes from <i>Suaeda salsa</i> Marsh in the Yellow River Estuary .....  | LI Xin-hua, GUO Hong-hai, YANG Li-ping, <i>et al.</i> ( 786 )         |
| Key Microbial Processes in Nitrous Oxide Emissions of Agricultural Soil and Mitigation Strategies .....  | ZHU Yong-guan, WANG Xiao-hui, YANG Xiao-ru, <i>et al.</i> ( 792 )     |

# 《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2月15日 35卷 第2期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 2 Feb. 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)<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