

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第11期

Vol.33 No.11

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版



目次

京津冀与长三角区域大气 NO ₂ 污染特征	王英, 李令军, 刘阳 (3685)
2008~2011 年夏季京津冀区域背景大气污染变化分析	杨俊益, 辛金元, 吉东生, 朱彬 (3693)
沧州市大气污染特征观测研究	王永宏, 胡波, 王跃思, 刘伟, 张武 (3705)
华北工业城市降水中金属元素污染特征及来源	李月梅, 潘月鹏, 王跃思, 王英锋, 李杏茹 (3712)
广州市交通主干道空气中苯系物的测量	叶丛雷, 谢品华, 秦敏, 凌六一, 郑尼娜, 刘文彬, 黄祖照 (3718)
基于实时交通信息的道路机动车动态排放清单模拟研究	黄成, 刘娟, 陈长虹, 张健, 刘登国, 朱景瑜, 黄伟明, 巢渊 (3725)
柴油轿车燃用煤基 F-T 合成油的排放特性	胡志远, 程亮, 谭丕强, 楼狄明 (3733)
九龙江口滨海湿地生源要素空间分布特征	余小青, 杨军, 刘乐冕, 田原, 余正, 王昌付 (3739)
南四湖水体氮、磷营养盐时空分布特征及营养状态评价	舒凤月, 刘玉配, 赵颖, 吴艳鹏, 李爱华 (3748)
天目湖流域湿地对氮磷输出影响研究	李兆富, 刘红玉, 李恒鹏 (3753)
北京市新建城区不透水地表径流 N、P 输出形态特征研究	李立青, 吕书丛, 朱仁肖, 刘泽权, 单保庆 (3760)
云阳宗海库的分布与来源	张玉玺, 向小平, 张英, 陈玺, 刘景涛, 王金翠, 张媛静, 孙继朝 (3768)
南方某城市地表水体中粪源性污染指示微生物的分布特征研究	孙傅, 沙婧, 刘彦华 (3778)
三峡库区大宁河藻细胞昼夜垂直迁移研究	张永生, 郑丙辉, 姜霞, 郑浩, 钟娜, 陈春宵 (3787)
江淮农村生态型排水系统构建及截污作用研究	单保庆, 李楠, 唐文忠 (3797)
人工湿地植物床-沟壕系统水质净化效果	汪仲琼, 张荣斌, 陈庆华, 魏宏斌, 王为东 (3804)
潜流人工湿地演变对废水中有机物、氮及磷去除的影响	魏泽军, 谢建平, 黄玉明 (3812)
人工湿地处理含盐生活污水的特性研究	高峰, 杨朝晖, 李晨, 金卫红, 邓一兵 (3820)
催化湿式氧化法降解水中的 β -萘酚	刘杰, 于超英, 赵培庆, 陈革新 (3826)
ZVI/EDDS/Air 体系降解水中 2,4-二氯酚的研究	孙倩, 周海燕, 曹梦华, 吴琳娜, 王琳玲, 陈静, 陆晓华 (3833)
微波改性 MWNTs/TiO ₂ 复合材料对 1,2,3-三氯苯的光催化降解研究	施周, 张茜, 张伟, 徐舜开, 张骅 (3840)
腐殖酸对生物炭去除水中 Cr(VI) 的影响机制研究	丁文川, 田秀美, 王定勇, 曾晓岚, 徐茜, 陈健康, 艾小雨 (3847)
臭氧氧化-活性污泥法处理含 PVA 工业废水的试验研究	邢晓琼, 黄程兰, 刘敏, 陈滢 (3854)
复合底物对颗粒化 EBPR 系统除磷特性的影响及优化试验研究	徐少娟, 孙培德, 郑雄柳, 董毅 (3859)
进水比例对水解反应器出水水质的影响研究	梁康强, 熊娅, 戚茂荣, 林秀军, 朱民, 宋英豪 (3868)
厌氧-好氧联合型生物反应器埋地渗滤液水质水量变化规律的研究	韩智勇, 刘丹, 李启彬, 陈馨 (3873)
我国城市污水处理回用调查研究	郭宇杰, 王学超, 周振民 (3881)
快雌醇和壬基酚在土壤中的吸附-解吸特征	姜鲁, 王继华, 李建忠, 辛佳, 李森, 刘翔 (3885)
黄土丘陵区刺槐林深层土壤有机碳矿化特征初探	马昕昕, 许明祥, 杨凯 (3893)
半干旱黄土丘陵区土壤结皮的地表水文效应	卫伟, 温智, 陈利顶, 陈瑾, 吴东平 (3901)
广西大石围巨型漏斗土壤中多环芳烃与环境因素	孔祥胜, 祁士华, 蒋忠诚, 黄保健 (3905)
酸性条件下黄铁矿氧化机制的研究	王楠, 易筱筠, 党志, 刘云 (3916)
淋洗条件下砂土和粉土盐运移过程的监测研究	付腾飞, 贾永刚, 郭磊, 刘晓磊 (3922)
空气注射修复苯污染地下水模拟研究	樊艳玲, 姜林, 张丹, 钟茂生, 贾晓洋 (3927)
不同终点检测 5 种双酚 A 类化合物对 MCF-7 的细胞毒性	张帅帅, 刘堰, 刘树深, 朱祥伟 (3935)
上海世博园后滩湿地糙足类群落特征及其对环境因子的响应	陈立婧, 吴艳芳, 景钰湘, 王聪, 张饮江 (3941)
耐盐石油烃降解菌的筛选鉴定及其特性研究	吴涛, 谢文军, 依艳丽, 李小彬, 王君, 胡相明 (3949)
高效降酚菌株 <i>Ochrobactrum</i> sp. CH10 生长动力学和苯酚降解特性的研究	陈晓华, 魏刚, 刘思远, 孙江曼, 王芳芳, 李昊源, 刘宇军 (3956)
四溴双酚 A 好氧降解菌的筛选及其降解特性研究	钱艳园, 刘莉莉, 于晓娟, 丁丛, 王志平, 施玉衡, 李晨君 (3962)
长期施用有机和无机肥对黑土 <i>nirS</i> 型反硝化菌种群结构和丰度的影响	尹昌, 范分良, 李兆君, 宋阿琳, 朱平, 彭畅, 梁永超 (3967)
三氯乙烯在不同土壤中的吸附特性及其影响因素研究	何龙, 邱兆富, 吕树光, 逯志昌, 王治立, 隋倩, 林匡飞, 刘勇弟 (3976)
多菌灵在农田土壤中的降解及其影响因素研究	肖文丹, 杨肖娥, 李廷强 (3983)
硫化物对垃圾焚烧污泥焚烧飞灰高温过程中重金属挥发的影响	刘敬勇, 孙永裕 (3990)
关于医疗垃圾飞灰中二噁英在惰性气氛下的低温热脱附研究	纪莎莎, 李晓东, 徐旭, 陈彤 (3999)
第七届环境模拟与污染控制学术研讨会论文	
稻田气溶胶 NH ₃ 和气体 NO _x 排放在线测定研究	龚巍巍, 栾胜基 (4006)
一种可同时检测挥发性氯代烷烃和氯代烯烃的电子鼻的研制	文晓刚, 刘锐, 蔡强, 万梅, 汤灵容, 陈吕军 (4012)
基于被动采样技术的垃圾焚烧厂及周边大气中 PAHs 分布研究	孙少艾, 李洋, 周轶, 王海蛟, 孙英 (4018)
涪江流域农业非点源污染空间分布及污染源识别	丁晓雯, 沈珍瑶 (4025)
人工湿地不同区域基质磷含量的差异分析	曹雪莹, 种云霄, 余光伟, 仲海涛 (4033)
基于 RT-qPCR 选择性检测水中活性病原菌	林怡雯, 李丹, 吴舒旭, 何苗, 杨天 (4040)
消毒副产物生成的温度影响和动力学模型	张小璐, 杨宏伟, 王小仵, 付静, 解跃峰 (4046)
一种厌氧微观定量研究新方法	张仲良, 吴静, 蒋剑凯, 姜洁, 李怀志 (4052)
梧桐树叶作为反硝化碳源的研究	熊剑峰, 徐华, 阎宁, 张永明 (4057)
降解嗜盐菌 AD-3 的筛选、降解特性及加氧酶基因的研究	崔长征, 冯天才, 于亚琦, 董斐, 杨昕梅, 冯耀宇, 刘勇弟, 林汉平 (4062)
《环境科学》征订启事 (3711) 《环境科学》征稿简则 (3767) 信息 (3998, 4039, 4045, 4056) 专辑征稿通知 (4051)	

稻田气溶胶 NH_3 和气体 NO_x 排放在线测定研究

龚巍巍¹, 栾胜基^{1,2*}

(1. 北京大学深圳研究生院环境与能源学院, 城市人居环境科学与技术重点实验室, 深圳 518055; 2. 深港产学研基地环境模拟与污染控制重点实验室, 深圳 518057)

摘要: 气溶胶 NH_3 和气体 NO_x 是大气颗粒物和降水的主要成分, 是形成气溶胶的关键物种. 田间集约化氮肥施用是气溶胶 NH_3 和气体 NO_x 的一个重要来源, 目前该领域的研究鲜有报道. 2010 年 5 月 ~ 2010 年 10 月, 在线监测了稻田施用尿素后气溶胶 NH_3 和气体 NO_x 的排放情况. 监测系统的时间分辨率设置为 1 h. 在 4 次稻田施肥试验中, 施肥后对气溶胶 NH_3 排放和相应的气象因子连续采样 20 d. 在第 4 次施肥试验中, 施肥后连续采样 47 d, 进而研究气体 NO_x 的排放规律及其与气象因子的关系. 结果表明, 气溶胶 NH_3 的排放因子分别为 2.6%、5.5%、4.0% 和 1.6%, 相应的排放通量分别为 3.97、2.08、1.52 和 1.22 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$. 温度(空气温度和土壤温度)是影响稻田施肥气溶胶 NH_3 排放的主要因子, 而空气湿度和土壤水分对其排放的影响却不明确. 通过分析监测数据可知, 稻田施肥后 $\text{NO}_2\text{-N}$ 排放量与 NO-N 排放量的比值为 9/4, 气体 NO_x 的排放因子和排放通量分别为 0.14% 和 0.30 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$. 气象因子与气体 NO_x 排放通量的关系也进行了初步探讨.

关键词: 气溶胶 NH_3 ; 气体 NO_x ; 稻田; 排放通量; 排放因子

中图分类号: X51; X831 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)11-4006-06

Hourly Measurement on Aerosol NH_3 and Gas NO_x Emission in the Rice Field

GONG Wei-wei¹, LUAN Sheng-ji^{1,2}

(1. Key Laboratory for Urban Habitat Environmental Science and Technology, School of Environment and Energy, Peking University Shenzhen Graduate School, Shenzhen 518055, China; 2. PKU-HKUST Shenzhen-Hong Kong Institution Key Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control, Shenzhen 518057, China)

Abstract: Aerosol NH_3 and gas NO_x are the major components in atmospheric particles and precipitation, which are key precursors to form aerosols. The intensive N fertilization in arable land is an important source of aerosol NH_3 and gas NO_x , which have not been well characterized yet. During May to October in 2010, the characteristics of aerosol NH_3 and gas NO_x emission from rice field after urea application were investigated. The time resolutions of measurements were set to be one hour. The aerosol NH_3 emission and meteorological factors within 20 d of continuous sampling after fertilization in four experiments were monitored. The experiment on gas NO_x emission and meteorological factors influencing the emission were carried out from the beginning of the forth test, which lasted for 47 days. Results indicated that the aerosol NH_3 emission factors of four tests were 2.6%, 5.5%, 4.0% and 1.6%, respectively. The corresponding aerosol NH_3 emission flux of four tests were 3.97, 2.08, 1.52 and 1.22 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, respectively. Temperature (air temperature and soil temperature) was found to be the main factor influencing aerosol NH_3 emission in rice fields after fertilization, while the impacts of air humidity and soil moisture were not clear. After analyzing the monitoring data, it can be concluded that the ratio of the emission amount of $\text{NO}_2\text{-N}$ and NO-N in rice fields after fertilization was 9/4; the emission factor and the emission flux of gas NO_x were 0.14% and 0.30 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, respectively. The relationship between meteorological factors and gas NO_x emission flux was also examined.

Key words: aerosol NH_3 ; gas NO_x ; rice field; emission flux; emission factor

作为大气中痕量的天然成分, NH_3 和 NO_x (主要包括 NO 和 NO_2) 在大气化学转化和大气气溶胶形成中起着重要作用^[1~3]. 其中, 形成的颗粒物对能见度降低和区域灰霾形成有重要贡献, 同时颗粒物特别是细颗粒物严重影响人体健康^[4,5].

氮肥施入土壤后, 发生一系列物理和化学变化, 一方面产生大量铵根离子, 进而转化为 NH_3 并排放出来^[6,7]. NH_3 是大气中最重要的碱性气体, 很容易结合硝酸和硫酸等酸性物质, 致使一部分气态 NH_3 转变成气溶胶态 NH_3 . 另一方面在土壤微生物硝化

与反硝化的作用下, 含氮化合物转化为 NO_x (主要包括 NO 和 NO_2) 并释放到大气中^[7~9]. 中国氨排放总量约占全球的 20% 左右^[10~12], 而集约化氮肥施用的农田是重要的来源之一^[13,14]. 第二次全国农业普查资料^[15] 显示, 截至 2006 年底, 我国稻谷的播种面积约为 $2.89 \times 10^7 \text{ hm}^2$, 稻田施肥后 NH_3 排放研究

收稿日期: 2012-02-14; 修订日期: 2012-05-16

基金项目: 国家高新技术研究发展计划(863)项目(2006AA06A309)

作者简介: 龚巍巍(1985~), 男, 博士研究生, 主要研究方向为大气环境, E-mail: weiwong@163.com

* 通讯联系人, E-mail: luansj@szpku.edu.cn

有助于掌握其排放规律和估算 NH_3 排放总量. 研究表明, 施氮田地 NH_3 排放受多种因素影响, 甚至平行试验中变化也较大^[16,17]. 已有报道显示, 种植业氮肥施用后气体 NH_3 的排放因子为 0.63% ~ 39.79%, 平均为 $(10.6 \pm 7.5)\%$ ^[17,18]. 在我国, 所有的普通氮肥中尿素对 NH_3 排放的贡献率最大^[18]. Yienger 等^[19] 考虑降水、土温和湿度等因素, 建立复杂模式估算中国和日本的 NO 年排放总量为 $3.1 \times 10^5 \text{ t}$. 谢旻等^[20] 利用 Williams 的模型估计了 2000 年我国土壤 NO_x 排放总量为 $2.3 \times 10^5 \text{ t}$, 约占人为源的 7%, 而这一比例在夏季将达到 23.4%. 卢昌艾等^[21] 通过对滇池流域集约化菜田气体 NO 与 NO_2 排放研究发现, 气体 NO/NO_2 的排放因子和排放通量分别为 0.63% ~ 0.92% 和 $1.07 \sim 10.19 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$.

珠三角地区一直受高浓度气溶胶、频繁的灰霾天气及酸雨困扰^[22], 这主要是由大气复合污染造成的, 一定程度上与 NH_3 和 NO_x 排放有很大关系. 近 30 年来, 广东省水稻的播种面积平均占农作物总播

种面积的 52.4%^[23]. 施用氮肥的稻田中, 气溶胶 NH_3 和气体 NO_x 排放的研究并不多见, 而对二者的深入研究可以掌握其排放总量及规律, 为后续珠三角地区大气污染的治理提供依据, 也为我国集约化农田气溶胶 NH_3 和气体 NO_x 排放的估算提供依据. 在本研究中, 利用自主设计搭建的在线系统监测了施肥后稻田中气溶胶 NH_3 和气体 NO_x 排放特性, 时间分辨率为 1 h, 气溶胶 NH_3 和气体 NO_x 的排放通量和气象条件之间的关系也被初步探索.

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验地点 ($22^\circ 35' \text{N}$, $113^\circ 58' \text{E}$) 位于珠三角东部的深圳市大学城内, 海拔高度 20 m. 2011 年, 深圳市年降雨量为 1 269.7 mm, 较累年平均值 (1 935.8 mm) 偏少 34.4%; 年平均气温 22.6°C ; 年平均相对湿度 71%; 年日照时数 2 054.4 h; 年平均风速为 $2.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ^[24]. 供试土壤为赤红壤, 是珠三角地区典型的土壤类型, 其理化性质如表 1 所示.

表 1 供试土壤理化性质

Table 1 Physico-chemical properties of the four tested soils

土壤类型	土壤深度/cm	pH	有机质/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	全氮/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	有效氮/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	全磷/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	全钾/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$
赤红壤	0 ~ 30	6.12	20.8	1.0	2.2	0.60	33.20

1.2 施肥试验

通过对珠三角农业地区的实地调研, 掌握该地区的作物类型、轮作制度、耕作和水肥管理 (主要包括施肥量、施肥时间和灌溉等) 情况, 并作为本研究试验中水肥管理的重要依据. 水稻是珠三角地区种植面积最大的作物类型, 由于气候条件, 一年内生产早稻和晚稻各一季. 本研究即选用早稻和晚稻为试验对象. 而集约化的稻田中, 尿素是最常用的化肥之一. 故选用尿素 (国产, 含 N 量 $\geq$

46.3%, 粒度: 0.85 ~ 2.80 mm, 执行 GB 2440-2001 标准) 作为供试氮肥. 稻田所有维护、管理均交由稻农专门实施, 稻农根据珠三角地区水稻种植习惯管理试验地.

对早稻和晚稻分别进行了 1 次基肥和 1 次追肥, 共 4 次稻田施肥试验. 4 次施肥试验中, 均对气溶胶 NH_3 连续采样 20 d, 研究气溶胶 NH_3 排放情况. 对气体 NO_x 排放采样 47 d, 进而探讨气体 NO_x 排放规律. 4 次施肥试验的基本情况如表 2 所示.

表 2 施肥处理试验基本情况

Table 2 Summary of the fertilizer treatments

试验序号	作物类型	施肥处理期	氮肥施用量 (以 N 计)/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	水肥管理
1	早稻	基肥期 (2010-05-16 ~ 2010-06-04)	162.2	撒施, 浇水
2	早稻	追肥期 (2010-06-22 ~ 2010-07-11)	40.9	撒施, 浇水
3	晚稻	基肥期 (2010-07-31 ~ 2010-08-19)	40.9	撒施, 浇水
4	晚稻	追肥期 (2010-08-26 ~ 2010-09-14)	81.8	撒施, 浇水

已有研究表明^[17,25~27], 种植业田地 NH_3 排放主要发生在施肥后前 2 ~ 3 周内. 本研究即把施肥后连续 20 d 内 NH_3 累积排放量作为单次施肥试验的 NH_3 总排放量.

1.3 试验方法

稻田施用氮肥试验中气溶胶 NH_3 的排放规律由氨挥发在线测定系统测定^[17]. $\text{NO}-\text{NO}_2-\text{NO}_x$ 分析仪 (Model 42i, Thermo Electron Corporation) 和风洞系

统^[28]连接起来用于测定稻田施用氮肥试验中气体 NO_x 的排放规律. 测定风洞系统出气口和进气口气体中物质浓度,二者之间的差值即可求得气体 NO_x 的排放情况.

本试验采用 2 台微型自动气象站自动实时测量土壤温度、土壤水分、空气湿度和风速等气象因子,用于探究各气象因子对气溶胶 NH_3 和气体 NO_x 排放的影响. 每个气象因子均有两组传感器平行测定. 2 台微型自动气象站时间分辨率均被设置为 15 min^[17].

2 结果与讨论

2.1 排放通量和排放因子

4 次施肥试验中气溶胶 NH_3 的排放通量和排放

表 3 4 次施肥试验中气溶胶 NH_3 排放情况

Table 3 Aerosol NH_3 emission in the four tests

试验序号	作物类型	氮肥施用量(以 N 计)/ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$	排放通量/ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$	排放因子/%
1	早稻	162.2	3.97	2.6
2	早稻	40.9	2.08	5.5
3	晚稻	40.9	1.52	4.0
4	晚稻	81.8	1.22	1.6

珠三角地区大气中酸性物质较多,利于捕捉气态 NH_3 ,进而形成气溶胶 NH_3 . 而目前关于稻田气溶胶 NH_3 排放几乎没有报道,对于区域大气联防联控而言,弄清稻田气溶胶 NH_3 排放规律十分必要,该领域的探讨需进一步深入.

2.2 累积排放因子

4 次施肥处理试验的气溶胶 NH_3 累积排放因子(气溶胶 NH_3 累积排放量与该次试验中气溶胶 NH_3 排放总量的比值)与时间关系如图 1 所示. 可以明显看出,稻田中气溶胶 NH_3 排放主要发生在施肥后

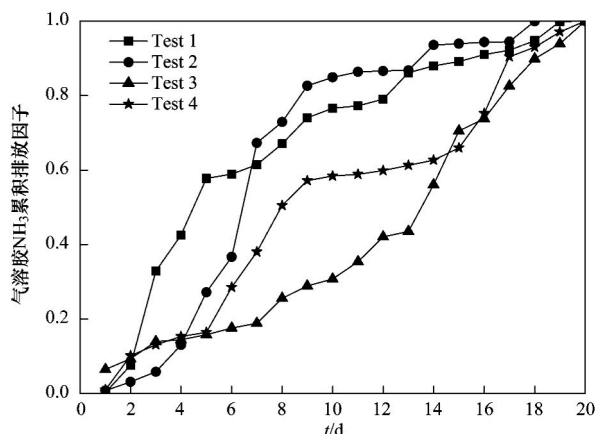


图 1 气溶胶 NH_3 累积排放因子变化

Fig. 1 Diagram of cumulative factors of aerosol NH_3 emission

因子的结果如表 3 所示. 4 次试验的气溶胶 NH_3 排放因子分别为 2.6%、5.5%、4.0% 和 1.6%. 4 次试验的气溶胶 NH_3 排放通量分别为 3.97、2.08、1.52 和 1.22 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$. 通过计算得出,稻田施肥试验排放出的 NO_2 -N 量与 NO -N 量的比值为 9/4. Stohl 等^[29]在模型估算土壤氮氧化物排放时,认为氮氧化物中 NO -N 与 NO_2 -N 的比例为 9/1. 两者的研究结果相差较大,可能的原因是本研究试验地区的大气氧化性较高,大气中所含的臭氧浓度较高,导致排放出的 NO 迅速氧化为 NO_2 所致. 气体 NO_x 的排放因子和排放通量分别为 0.14% 和 0.30 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$. Fang 等^[30]采用 NO - NO_2 - NO_x 分析仪监测得出大白菜和马铃薯地施氮后气体 NO 排放因子为 0.6%~3.6%,与本研究结果一致.

两周内. 4 次稻田施肥试验中,施肥后前 20 天气溶胶 NH_3 累积排放分别占排放总量的 89.1%、93.9%、70.5% 和 65.9%,平均值为 $(79.9 \pm 13.7)\%$. 最主要的原因是由于施肥初期,转化成的 NH_4^+ -N 浓度较高, NH_3 相应的排放速率相应就高,随着时间变化,其排放速率相应的逐渐降低.

图 2 显示,气体 NO_x 和 NO 排放随时间没有明显的变化且受 NH_4^+ -N 浓度影响较小,这一点与气溶胶 NH_3 排放规律不同. 郑循华等^[31]采用箱法自动观测了华东冬小麦的 NO 排放,结果表明温度是决

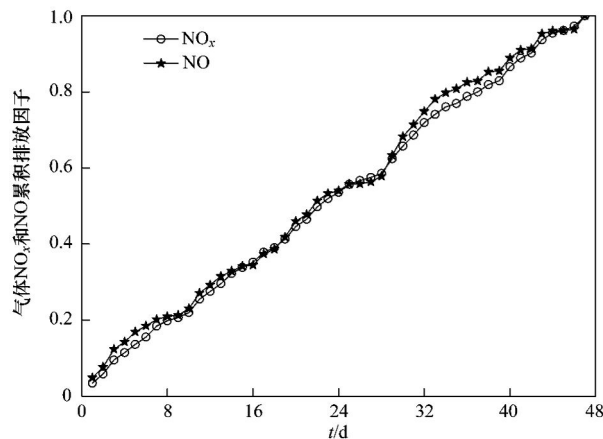


图 2 气体 NO_x 和 NO 累积排放因子变化

Fig. 2 Diagram of cumulative factors of gas NO_x and NO emission

定 NO 排放季节变化基本形式的首要因素,施氮肥不能改变 NO 排放的季节变化规律,与本研究结果基本一致. 另外如图 2 所示,气体 NO_x 排放与气体 NO 排放有明显的相关性($r = 0.937, P < 0.01, n = 1\,126$).

2.3 排放通量

4 次稻田施肥试验中气溶胶 NH₃ 排放通量和气体 NO_x 及 NO 排放通量随时间变化的规律如图 3 和 4 所示. 从中可以看出,气溶胶 NH₃ 和气体 NO_x 及 NO 的排放通量随时间变化都较大. 由图 3 可以得知,稻田施肥后气溶胶 NH₃ 的排放规律与蔬菜施肥试验中气体 NH₃ 的排放规律相似^[17]. 气溶胶 NH₃ 排放通量最大值出现在施肥后的第一周内.

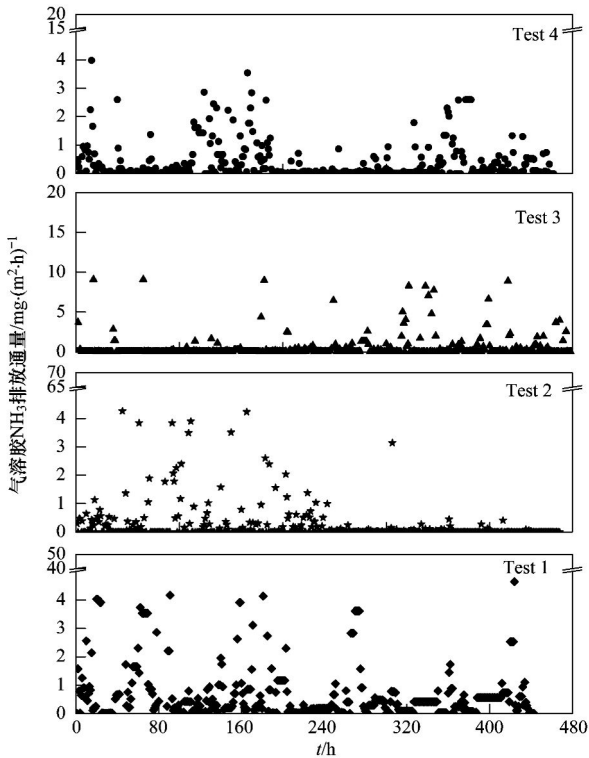


图3 气溶胶 NH₃ 排放通量变化
Fig. 3 Aerosol NH₃ emission flux

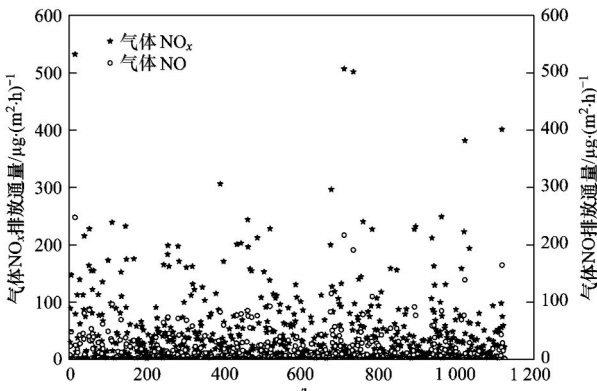


图4 气体 NO_x 和 NO 排放通量变化
Fig. 4 Gas NO_x and NO emission flux

2.4 气象因子影响

试验数据表明,气溶胶 NH₃ 排放因子与氮肥施用率呈负相关($r = -0.600$),与已有的研究结果一致^[26,32]. 而气溶胶 NH₃ 排放通量与氮肥施用率呈正相关($r = 0.827$). 由 2 台微型自动气象站自动实时测量的土壤温度、土壤水分、空气湿度和风速等气象因子数据如表 4 所示. 气溶胶 NH₃ 排放通量与气象因子之间的相关系数见表 5. 数据显示,气溶胶 NH₃ 排放通量通常与空气温度和土壤温度呈正相关. 主要是因为较高的土壤温度和空气温度有利于 NH₃-N 的形成,并加速其从土壤表面逸出,而使气溶胶 NH₃ 排放通量增大.

当尿素撒施到土壤中时气体 NO_x 和 NO 的排放及其影响因子即被监测. 气体 NO_x 和 NO 的排放通量与气象因子之间的相关系数如表 6 所示. 比较表 5 和表 6 中的数据发现,同一气象因子对气溶胶 NH₃ 排放通量和气体 NO_x 排放通量的影响效果并不相同. 由于该领域的研究报告较少,需要做大量的工作进行深入研究.

3 结论

从 2009 年 5 月~2010 年 10 月,监测了稻田施

表 4 气象因子数据

Table 4 Metrological data during each test						
试验序号	有效样本数/个	空气温度/℃	土壤温度/℃	空气湿度/%	土壤水分/%	风速/m·s ⁻¹
1	443	28.0 ± 3.3	24.6 ± 2.0	77.7 ± 13.7	28.5 ± 4.0	1.4 ± 0.11
2	468	31.1 ± 2.9	27.2 ± 1.3	77.3 ± 11.8	19.6 ± 7.7	1.3 ± 0.14
3	480	30.7 ± 3.0	27.2 ± 1.2	77.1 ± 12.9	32.3 ± 2.6	1.4 ± 0.14
4	462	29.7 ± 3.1	26.5 ± 1.2	80.5 ± 13.6	32.4 ± 2.7	1.1 ± 0.14

用氮肥后气溶胶 NH₃ 和气体 NO_x 排放机制和特性. 4 次稻田施肥试验气溶胶 NH₃ 的排放因子分别为

2.6%、5.5%、4.0% 和 1.6%, 而对应的排放通量分别为 3.97、2.08、1.52 和 1.22 kg·hm⁻². 在影响

表 5 气象因子与气溶胶 NH_3 排放通量 Pearson 相关系数统计¹⁾Table 5 Statistics of Pearson's coefficient between meteorological factors and aerosol NH_3 emission flux

气象因子	第 1 次试验 ($n=443$)	第 2 次试验 ($n=468$)	第 3 次试验 ($n=480$)	第 4 次试验 ($n=462$)
空气平均温度	0.154 **	-0.111 *	0.110 *	0.078
土壤平均温度	0.115 *	-0.129 **	0.058	0.029
空气平均湿度	-0.108 *	0.106 *	-0.083	-0.075
土壤平均水分	0.166 **	0.108 *	-0.021	0.049
平均风速	0.191 **	-0.025	-0.159 **	-0.066

1) ** 表示 $P < 0.01$; * 表示 $P < 0.05$ 表 6 气象因子与气体 NO_x 及 NO 排放通量 Pearson 相关系数统计 ($n=1126$)¹⁾Table 6 Statistics of Pearson's coefficient between meteorological factors and gas NO_x , NO emission flux ($n=1126$)

项目	空气平均温度	土壤平均温度	空气平均湿度	土壤平均水分	平均风速
气体 NO_x 排放通量	-0.102 **	-0.054	0.123 **	-0.016	0.014
气体 NO 排放通量	-0.129 **	-0.070 *	0.167 **	-0.003	0.015

1) ** 表示 $P < 0.01$; * 表示 $P < 0.05$

气溶胶 NH_3 排放的所有因子中,温度(空气温度和土壤温度)是主要影响因子,而空气湿度和土壤水分的影响却不稳定. 气溶胶 NH_3 的排放主要发生在施肥后的 2~3 周内. 氮肥施用率与气溶胶 NH_3 的排放因子呈负相关,而与气溶胶 NH_3 的排放通量呈正相关. 稻田施肥后排放的 NO_2 -N 量与 NO -N 量的比值为 9/4,而气体 NO_x 的排放因子和排放通量分别为 0.14% 和 $0.30 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$.

参考文献:

- [1] Erisman J W, Schaap M. The need for ammonia abatement with respect to secondary PM reductions in Europe[J]. Environmental Pollution, 2004, **129**(1): 159-163.
- [2] Zhang Y, Dore A J, Ma L, et al. Agricultural ammonia emissions inventory and spatial distribution in the North China Plain[J]. Environmental Pollution, 2010, **158**(2): 490-501.
- [3] Wang S X, Xing J, Jang C, et al. Impact assessment of ammonia emissions on inorganic aerosols in east China using response surface modeling technique [J]. Environmental Science & Technology, 2011, **45**(21): 9293-9300.
- [4] Kim J Y, Song C H, Ghim Y S, et al. An investigation on NH_3 emissions and particulate NH_4^+ - NO_3^- formation in East Asia[J]. Atmospheric Environment, 2006, **40**(12): 2139-2150.
- [5] Pinder R W, Adams P J, Pandis S N. Ammonia emission controls as a cost-effective strategy for reducing atmospheric particulate matter in the Eastern United States [J]. Environmental Science & Technology, 2007, **41**(2): 380-386.
- [6] Lin D X, Fan X H, Hu F, et al. Ammonia volatilization and nitrogen utilization efficiency in response to urea application in rice fields of the Taihu lake region, China[J]. Pedosphere, 2007, **17**(5): 639-645.
- [7] 朱兆良, 文启孝. 中国土壤氮素[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1992. 76-166.
- [8] Yamulki S, Harrison R M, Goulding K W T, et al. N_2O , NO and NO_2 fluxes from a grassland: effect of soil pH[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1997, **29**(8): 1199-1208.
- [9] Watt S A, Wagner-Riddle C, Edwards G, et al. Evaluating a flux-gradient approach for flux and deposition velocity of nitrogen dioxide over short-grass surfaces[J]. Atmospheric Environment, 2004, **38**(17): 2619-2626.
- [10] Zhao D W, Wang A P. Estimation of anthropogenic ammonia emission in Asia[J]. Atmospheric Environment, 1994, **28**(4): 689-694.
- [11] Klimont Z, Cofala J, Schöpp W, et al. Projections of SO_2 , NO_x , NH_3 and VOC emissions in East Asia up to 2030[J]. Water, Air, and Soil Pollution, 2001, **130**(1-4): 193-198.
- [12] Yamaji K, Ohara T, Akimoto H. Regional-specific emission inventory for NH_3 , N_2O and CH_4 via animal farming in South, Southeast, and East Asia[J]. Atmospheric Environment, 2004, **38**(40): 7111-7121.
- [13] Yan X Y, Akimoto H, Ohara T. Estimation of nitrous oxide, nitric oxide and ammonia emissions from croplands in East, Southeast and South Asia[J]. Global Change Biology, 2003, **9**(7): 1080-1096.
- [14] Wang X P, Mauzerall D L, Hu Y T, et al. A high-resolution emission inventory for eastern China in 2000 and three scenarios for 2020[J]. Atmospheric Environment, 2005, **39**(32): 5917-5933.
- [15] 国务院第二次全国农业普查领导小组办公室, 中华人民共和国国家统计局. 中国第二次全国农业普查资料综合提要[M]. 北京: 中国统计出版社, 2008. 88-90.
- [16] Fan X H, Song Y S, Lin D X, et al. Ammonia volatilization losses and ^{15}N balance from urea applied to rice on a paddy soil [J]. Journal of Environmental Sciences, 2006, **18**(2): 299-303.
- [17] 龚巍巍, 张宜升, 何凌燕, 等. 菜地氨挥发损失及影响因素原位研究[J]. 环境科学, 2011, **32**(2): 345-350.
- [18] Zhang Y S, Luan S J, Chen L L, et al. Estimating the

- volatilization of ammonia from synthetic nitrogenous fertilizers used in China[J]. *Journal of Environmental Management*, 2011, **92**(3): 480-493.
- [19] Yienger J J, Levy H. Empirical model of global soil-biogenic NO_x emissions[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1995, **100**(D6): 11447-11464.
- [20] 谢旻, 王体健, 张美根, 等. 土壤氮氧化物排放及其对中国地区对流层光化学特性影响的数值模拟研究[J]. *土壤学报*, 2005, **42**(6): 948-956.
- [21] 卢昌艾, 胡万里, 孔令明, 等. 滇池流域集约化菜田 NO 与 NO_2 排放的研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2008, **14**(5): 900-906.
- [22] Zhang Y H, Hu M, Zhong L J, *et al.* Regional integrated experiments on air quality over Pearl River Delta 2004 (PRIDE-PRD2004): Overview[J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**(25): 6157-6173.
- [23] 广东省统计局, 国家统计局广东调查总队. 广东统计年鉴 2011[M]. 北京: 中国统计出版社, 2011.
- [24] 深圳市气象局. 2011 年深圳市气候公报[R]. 深圳: 深圳市气象局, 2012.
- [25] 张玉铭, 胡春胜, 董文旭. 华北太行山前平原农田氨挥发损失[J]. *植物营养与肥料学报*, 2005, **11**(3): 417-419.
- [26] 苏芳, 丁新泉, 高志岭, 等. 华北平原冬小麦-夏玉米轮作体系氮肥的氨挥发[J]. *中国环境科学*, 2007, **27**(3): 409-413.
- [27] 李慧琳, 韩勇, 蔡祖聪. 运用 Jayaweera-Mikkelsen 模型对太湖地区水稻田稻季氨挥发的模拟[J]. *环境科学*, 2008, **29**(4): 1045-1052.
- [28] 黄彬香, 苏芳, 丁新泉, 等. 田间土壤氨挥发的原位测定——风洞法[J]. *土壤*, 2006, **38**(6): 712-716.
- [29] Stohl A, Williams E, Wotawa G, *et al.* A European inventory of soil nitric oxide emission and the effect of these emissions on the photochemical formation of ozone[J]. *Atmospheric Environment*, 1996, **30**(22): 3741-3755.
- [30] Fang S X, Mu Y J. Air/surface exchange of nitric oxide between two typical vegetable lands and the atmosphere in the Yangtze Delta, China[J]. *Atmospheric Environment*, 2006, **40**(33): 6329-6337.
- [31] 郑循华, 王明星, 王跃思, 等. 华东稻麦轮作生态系统冬小麦田 NO 排放观测研究[J]. *应用生态学报*, 2000, **11**(4): 577-581.
- [32] 曹金留, 田光明, 任立涛, 等. 江苏南部地区稻麦两熟土壤中尿素的氨挥发损失[J]. *南京农业大学学报*, 2000, **23**(4): 51-54.

CONTENTS

Characteristics of Atmospheric NO ₂ in the Beijing-Tianjin-Hebei Region and the Yangtze River Delta Analyzed by Satellite and Ground Observations	··· WANG Ying, LI Ling-jun, LIU Yang (3685)
Variation Analysis of Background Atmospheric Pollutants in North China During the Summer of 2008 to 2011	····· YANG Jun-yi, XIN Jin-yuan, JI Dong-sheng, <i>et al.</i> (3693)
Characteristics of Atmospheric Pollutants in Cangzhou	····· WANG Yong-hong, HU Bo, WANG Yue-si, <i>et al.</i> (3705)
Chemical Characteristics and Sources of Trace Metals in Precipitation Collected from a Typical Industrial City in Northern China	····· LI Yue-mei, PAN Yue-peng, WANG Yue-si, <i>et al.</i> (3712)
BTX Monitoring Nearby Main Road Traffic in Guangzhou	····· YE Cong-lei, XIE Pin-hua, QIN Min, <i>et al.</i> (3718)
Dynamic Road Vehicle Emission Inventory Simulation Study Based on Real Time Traffic Information	····· HUANG Cheng, LIU Juan, CHEN Chang-hong, <i>et al.</i> (3725)
Emission Characteristics of a Diesel Car Fueled with Coal Based Fischer-Tropsch (F-T) Diesel and Fossil Diesel Blends	····· HU Zhi-yuan, CHENG Liang, TAN Pi-qiang, <i>et al.</i> (3733)
Spatial Variations of Biogenic Elements in Coastal Wetland Sediments of the Jiulong River Estuary	····· YU Xiao-qing, YANG Jun, LIU Le-mian, <i>et al.</i> (3739)
Spatio-Temporal Distribution of TN and TP in Water and Evaluation of Eutrophic State of Lake Nansi	····· SHU Feng-yue, LIU Yu-pei, ZHAO Ying, <i>et al.</i> (3748)
Impact on Nitrogen and Phosphorous Export of Wetlands in Tianmu Lake Watershed	····· LI Zhao-fu, LIU Hong-yu, LI Heng-peng (3753)
Nitrogen and Phosphorus Composition in Urban Runoff from the New Development Area in Beijing	····· LI Li-qing, LÜ Shu-cong, ZHU Ren-xiao, <i>et al.</i> (3760)
Distribution and Sources of Arsenic in Yangzonghai Lake, China	····· ZHANG Yu-xi, XIANG Xiao-ping, ZHANG Ying, <i>et al.</i> (3768)
Occurrence of Fecal Indicator Bacteria in Urban Surface Water: A Case Study in Southern China	····· SUN Fu, SHA Jing, LIU Yan-hua (3778)
Vertical Migration of Algal Cells in the Daning River Bay of the Three Gorges Reservoir	····· ZHANG Yong-sheng, ZHENG Bing-hui, JIANG Xia, <i>et al.</i> (3787)
Construct of Yangtze-Huai River Rural Areas Ecological Drainage System and Its Retention Effect on Pollutants	····· SHAN Bao-qing, LI Nan, TANG Wen-zhong (3797)
Water Treatment Efficiency of Constructed Wetland Plant-Bed/Ditch Systems	····· WANG Zhong-qiong, ZHANG Rong-bin, CHEN Qing-hua, <i>et al.</i> (3804)
Effect of the Subsurface Constructed Wetland Evolution into Free Surface Flow Constructed Wetland on the Removal of Organic Matter, Nitrogen, and Phosphorus in Wastewater	····· WEI Ze-jun, XIE Jian-ping, HUANG Yu-ming (3812)
Treatment Characteristics of Saline Domestic Wastewater by Constructed Wetland	····· GAO Feng, YANG Zhao-hui, LI Chen, <i>et al.</i> (3820)
Degradation of β -Naphthol by Catalytic Wet Air Oxidation	····· LIU Jie, YU Chao-ying, ZHAO Pei-qing, <i>et al.</i> (3826)
Degradation of 2,4-Dichlorophenol in Aqueous Solution by ZVI/EDDS/Air System	····· SUN Qian, ZHOU Hai-yan, CAO Meng-hua, <i>et al.</i> (3833)
Study on Photocatalytic Degradation of 1,2,3-Trichlorobenzene Using the Microwaved MWNTs/TiO ₂ Composite	····· SHI Zhou, ZHANG Qian, ZHANG Wei, <i>et al.</i> (3840)
Mechanism of Cr(VI) Removal from Aqueous Solution Using Biochar Promoted by Humic Acid	····· DING Wen-chuan, TIAN Xiu-mei, WANG Ding-yong, <i>et al.</i> (3847)
Research on the Treatment of Wastewater Containing PVA by Ozonation-Activated Sludge Process	····· XING Xiao-qiong, HUANG Cheng-lan, LIU Min, <i>et al.</i> (3854)
Effects of Composite Substrates on the Phosphorus Removal in Granule-based EBPR System and Its Optimization Experiment	····· XU Shao-juan, SUN Pei-de, ZHENG Xiong-liu, <i>et al.</i> (3859)
Research of Input Water Ratio's Impact on the Quality of Effluent Water from Hydrolysis Reactor	····· LIANG Kang-qiang, XIONG Ya, QI Mao-rong, <i>et al.</i> (3868)
Evolution of Leachate Quantity and Quality in the Anaerobic-semiaerobic Bioreactor Landfill	····· HAN Zhi-yong, LIU Dan, LI Qi-bin, <i>et al.</i> (3873)
National Survey of Urban Sewage Reuse in China	····· GUO Yu-jie, WANG Xue-chao, ZHOU Zhen-min (3881)
Sorption and Desorption of 17 α -Ethinyl Estradiol and 4- <i>n</i> -Nonylphenol in Soil	····· JIANG Lu, WANG Ji-hua, LI Jian-zhong, <i>et al.</i> (3885)
Soil Organic Carbon Mineralization of Black Locust Forest in the Deep Soil Layer of the Hilly Region of the Loess Plateau, China	····· MA Xin-xin, XU Ming-xiang, YANG Kai (3893)
Effects of Soil Crusts on Surface Hydrology in the Semiarid Loess Hilly Area	····· WEI Wei, WEN Zhi, CHEN Li-ding, <i>et al.</i> (3901)
Environmental Factors on Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Soils from Dashiwei Karst Giant Doline (Tiankeng) in Guangxi, China	····· KONG Xiang-sheng, QI Shi-hua, JIANG Zhong-cheng, <i>et al.</i> (3905)
Investigation on Mechanism of Pyrite Oxidation in Acidic Solutions	····· WANG Nan, YI Xiao-yun, DANG Zhi, <i>et al.</i> (3916)
Monitoring of Water and Salt Transport in Silt and Sandy Soil During the Leaching Process	····· FU Teng-fei, JIA Yong-gang, GUO Lei, <i>et al.</i> (3922)
Simulation on Remediation of Benzene Contaminated Groundwater by Air Sparging	····· FAN Yan-ling, JIANG Lin, ZHANG Dan, <i>et al.</i> (3927)
Detecting the Cytotoxicities of Five Bisphenol A Analogues to the MCF-7 Human Breast Carcinoma Cell Line Through Different Endpoints	····· ZHANG Shuai-shuai, LIU Yan, LIU Shu-shen, <i>et al.</i> (3935)
Response of Copepod Community Characteristics to Environmental Factors in the Backshore Wetland of Expo Garden, Shanghai	····· CHEN Li-jing, WU Yan-fang, JING Yu-xiang, <i>et al.</i> (3941)
Isolation, Identification and Characterization of Halotolerant Petroleum-degrading Bacteria	····· WU Tao, XIE Wen-jun, YI Yan-li, <i>et al.</i> (3949)
Growth Kinetics and Phenol Degradation of Highly Efficient Phenol-degrading <i>Ochrobactrum</i> sp. CH10	····· CHEN Xiao-hua, WEI Gang, LIU Si-yuan, <i>et al.</i> (3956)
Isolation of Aerobic Degrading Strains for TBBPA and the Properties of Biodegradation	····· QIAN Yan-yuan, LIU Li-li, YU Xiao-juan, <i>et al.</i> (3962)
Influences of Long-term Application of Organic and Inorganic Fertilizers on the Composition and Abundance of <i>nirS</i> -type Denitrifiers in Black Soil	····· YIN Chang, FAN Fen-liang, LI Zhao-jun, <i>et al.</i> (3967)
Characteristics and Influencing Factors of Trichloroethylene Adsorption in Different Soil Types	····· HE Long, QIU Zhao-fu, LÜ Shu-guang, <i>et al.</i> (3976)
Degradation of Carbenazim in Paddy Soil and the Influencing Factors	····· XIAO Wen-dan, YANG Xiao-e, LI Ting-qiang (3983)
Effects of Sulphur Compounds on the Volatile Characteristics of Heavy Metals in Fly Ash from the MSW and Sewage Sludge Co-combustion Plant During the Disposal Process with Higher Temperature	····· LIU Jing-yong, SUN Shui-yu (3990)
Low-temperature Thermal Treatment of Dioxin in Medical Waste Fly Ash Under Inert Atmosphere	····· JI Sha-sha, LI Xiao-dong, XU Xu, <i>et al.</i> (3999)
Hourly Measurement on Aerosol NH ₃ and Gas NO _x Emission in the Rice Field	····· GONG Wei-wei, LUAN Sheng-ji (4006)
Implementation of an Electronic Nose for Rapid Detection of Volatile Chloralkane and Chloroalkene	····· WEN Xiao-gang, LIU Rui, CAI Qiang, <i>et al.</i> (4012)
Pilot Study on PAHs of the Atmosphere Around the Refuse Incineration Plant Based on the Technology of Passive Sampling	····· SUN Shao-ai, LI Yang, ZHOU Yi, <i>et al.</i> (4018)
Spatial Distribution and Pollution Source Identification of Agricultural Non-Point Source Pollution in Fujian Watershed	····· DING Xiao-wen, SHEN Zhen-yao (4025)
Difference of P Content in Different Area Substrate of Constructed Wetland	····· CAO Xue-ying, CHONG Yun-xiao, YU Guang-wei, <i>et al.</i> (4033)
Selective Detection of Viable Pathogenic Bacteria in Water Using Reverse Transcription Quantitative PCR	····· LIN Yi-wen, LI Dan, WU Shu-xu, <i>et al.</i> (4040)
Formation of Disinfection By-products; Temperature Effect and Kinetic Modeling	····· ZHANG Xiao-lu, YANG Hong-wei, WANG Xiao-mao, <i>et al.</i> (4046)
A Novel Quantitative Approach to Study Dynamic Anaerobic Process at Micro Scale	····· ZHANG Zhong-liang, WU Jing, JIANG Jian-kai, <i>et al.</i> (4052)
Leaves of <i>Platanus orientalis</i> as the Carbon Source for Denitrification	····· XIONG Jian-feng, XU Hua, YAN Ning, <i>et al.</i> (4057)
Isolation, Characterization of an Anthracene Degrading Bacterium <i>Martellella</i> sp. AD-3 and Cloning of Dioxygenase Gene	····· CUI Chang-zheng, FENG Tian-cai, YU Ya-qi, <i>et al.</i> (4062)

《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)

2012年11月15日 33卷 第11期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 11 Nov. 15, 2012

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. sciencecp. com	Distributed	by	Science Press Tel: 010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencecp. 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: 70.00 元

国外发行代号: M 205

国 内 外 公 开 发 行