

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第1期

Vol.35 No.1

2014

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

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

南京河流夏季水-气界面 N_2O 排放通量

韩洋¹, 郑有飞^{2*}, 吴荣军³, 尹继福¹, 孙霞¹

(1. 南京信息工程大学大气物理学院, 南京 210044; 2. 江苏省大气环境监测与污染控制高技术研究重点实验室, 南京 210044; 3. 南京信息工程大学环境科学与工程学院, 南京 210044)

摘要: 利用静态箱-气相色谱法对南京 4 条河流(内秦淮河、外秦淮河、金川河、团结河)和 1 座水库(金牛湖)的夏季水-气界面 N_2O 气体通量进行 24 h 连续观测. 结果表明, 4 条河流 24 h 内均为 N_2O 的排放源, 而金牛湖作为本底对照则表现为 N_2O 的吸收汇. 受水利条件变化的影响内秦淮河 N_2O 在 20:00 达到排放峰值. 金川河和团结河 N_2O 排放通量均在夜间水中溶解氧饱和度极低的时候达到最低值. 外秦淮白天的硝化作用和夜间的反硝化作用导致其 N_2O 呈现出双峰的排放趋势. 金牛湖 N_2O 的排放量主要受风速影响, 呈现出夜高昼低的排放趋势. 在常规观测中, 团结河、金川河、外秦淮河及金牛湖这 4 种水体能代表全天空平均值的采样时间段均在 08:00 ~ 12:00 之间, 但对于受外界影响较大的内秦淮其适宜的时间段则为 14:00 ~ 16:00.

关键词: 南京; 河流; 夏季; 水-气界面; N_2O 通量

中图分类号: X144 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)01-0348-08

Nitrous Oxide Flux at the Water-Air Interface of the Rivers in Nanjing During Summer

HAN Yang¹, ZHENG You-fei², WU Rong-jun³, YIN Ji-fu¹, SUN Xia¹

(1. School of Atmospheric Physics, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China; 2. Jiangsu Key Laboratory of Atmospheric Environment Monitoring and Pollution Control, Nanjing 210044, China; 3. School of Environment Science and Engineering, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: Employing floating static chamber-chromatography method, the N_2O diurnal fluxes at the water-air interface of four rivers (Tuanjie River, Jinchuan River, Inner and Outer Qinhuai River) and Jinniu Lake were monitored in Nanjing during summer. The results show that four rivers act as the sources of N_2O emission, but Jinniu Lake is characterized by the absorption of N_2O . The highest N_2O flux from Inner Qinhuai presented at 20:00 because of the changing of hydrodynamic conditions. Both Jinchuan and Tuanjie rivers' minimum N_2O fluxes were detected when the content of dissolved oxygen was extremely low. The tendency of N_2O from Outer Qinhuai showed a double-peak because of its daytime nitrification and nocturnal denitrification. The flux of N_2O from Jinniu Lake had been noted as being generally higher at night than that during light hours due to the effect of wind. For natural rivers, the proper sampling period is from 08:00 to 12:00, but for the river subjected to interference, the sampling period is different.

Key words: Nanjing; river; summer; water-air interface; N_2O flux

氧化亚氮 (N_2O) 在温室气体中扮演重要的角色, 其增温效应是 CO_2 的 260 ~ 310 倍, 在对流层中的停留时间更是长达 120 a^[1]. 此外, N_2O 还作为催化剂破坏平流层中的臭氧层. 大气中的 N_2O 来自天然和人为源. IPCC 估计农田土壤及其水环境中微生物将 N 转化为 N_2O 是人为地向大气释放 N_2O 最大的源^[2]. 国内外关于农田 N_2O 的排放也有大量的报道^[3, 4]. 然而, 近几十年来人类活动导致输入到淡水流域中的 N 大幅增加, 其中大多数进入河流, 恶化水质^[5]. Beaulieu 等^[6] 认为, 在人类造成的 N_2O 排入大气的活动中, 河流至少是其中 10% 的来源, 是 IPCC 估算量的 3 倍. 王佳宁等^[7] 通过对国内 3 个流域不同类型河流研究, 发现其估算的所有河流 N_2O 释放系数 ($\text{EF}_5\text{-r} = 0.881\%$) 显著高于 2006 年

IPCC 提出的参考值 (0.25%). Seitzinger 等^[8] 通过模型结果指出, 在人类干扰下不断增加的无机 N 负荷加速了水生生态系统中 N 循环的过程, 全球河流 N_2O 的释放量和陆地表面该气体的人为排放量相当. McMahon 等^[9] 研究表明, South Dlatte River 和 Potomal River 释放量 N_2O 的总和超过了美国大陆所有污水处理厂 N_2O 的排放量. 因此, 作为人们赖以生活、生产的重要资源, 同时担负着各种社会活动废物排放的城市河流, 其水-气界面的温室气体交换不可忽视.

尽管国内外已有大量学者对河流水-气界面的

收稿日期: 2013-04-07; 修订日期: 2013-06-24

基金项目: GEF/UNDP“中国准备第二次国家信息通报能力建设”项目

作者简介: 韩洋 (1988 ~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为大气环

境, E-mail: hyleo5@yeah.net

* 通讯联系人, E-mail: zhengyf@nuist.edu.cn

温室气体释放进行了大量的研究^[10, 11],但对不同受污程度的城市河流 N_2O 温室气体的排放通量研究较少,尤其缺乏河流温室气体昼夜排放特征的精确研究. 因此,本研究选取南京市具有代表性的内、外秦淮河,金川河、城郊团结河以及金牛湖作为研究对象,其中金牛湖为本底参照,采用漂浮静态箱-气相色谱法,对上述 5 种水体夏季水-气界面 N_2O 排放通量分别进行了 24 h 的观测和研究,并对相关影响因素进行了分析,揭示了不同受污河流温室气体昼夜排放特征,以期弥补我国城市河流温室气体排放研究的不足,为今后估算河流水体对大气温室气体的影响提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 观测区概况和采样点布设

本研究于 2012 年 8 月分别对南京市金川河、团结河、内秦淮河、外秦淮河及金牛湖的水-气界面的 N_2O 排放通量进行持续观测,观测日期分别为:8 月 4 日、8 月 16 日、8 月 25 日、8 月 31 日、8 月 23 日. 采样点分布如图 1 所示.

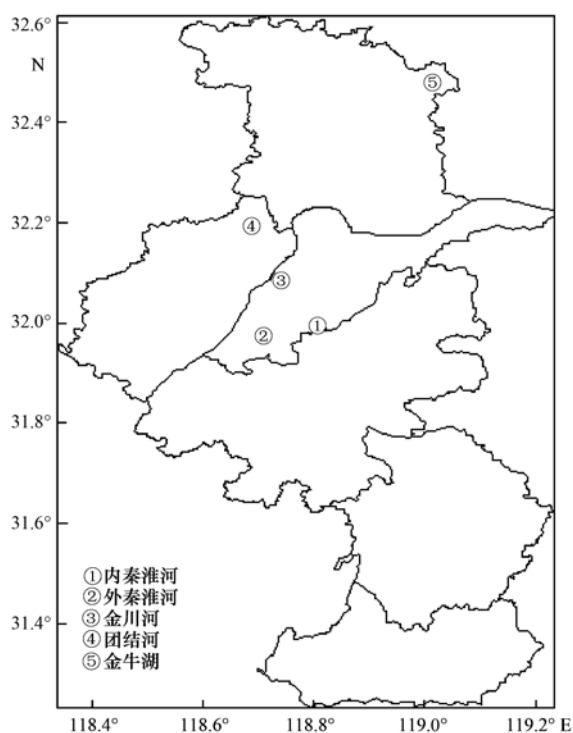


图 1 采样点分布示意

Fig. 1 Distribution of sampling sites

观测区域中,金川河、内、外秦淮河均为南京市内重要的城市内河,全部为闸控河流,河道两边均为人筑石堤,并建有绿化带和供居民休息的景观设施. 金川河除自然降水外,基本无清洁水源流入^[12],水

体属有机物污染,主要是粪便和生活垃圾为主的生活污水大量排放造成. 秦淮河分内秦淮河和外秦淮河两支:外秦淮主要接纳沿河的工业废水和生活污水,导致其水质普遍为劣 V 类水^[13];对于内秦淮河段,一方面居民的生活垃圾、废水、粪便等直接倾入水体,另一方面,沿岸大量的商业小区、市场、饭店等人为污染注入水体. 其水质状况劣于 V 类标准,主要污染物是有机物,表现为典型的城市污水污染特征^[14]. 城郊团结河为典型的自然河流,水位较浅,农田施用化肥会大量流失并流入该河,其流域沿线存有小作坊、小工厂,因此不同于城内河流水体污染主要来自工业废水和生活污水,城郊河流污染物更为复杂;金牛湖原名金牛山水库,位于六合区东北部低山丘陵区. 集水面积为 124.14 km²,总库容量 9 600 万 m³,是南京市最大的人工湖泊,为二级饮用水源地. “十二五”期间,江北金牛湖和江南石臼湖将被列为城市备用水源地. 本研究选取金牛湖作为本底对照,以期探明南京典型的受污程度的河流温室气体排放量的昼夜差异.

为了方便采样,采样点均设置在人类活动和陆地生态系统的生物效应对采样结果产生影响较小的河边. 各河流及水库采样点的位置分别为:内秦淮,文正桥附近 (118°47'38.785 2" E, 32°1'20.139 6" N); 外秦淮,石头城公园附近 (118°45'21.909 6" E, 32°2'50.524 8" N); 金川河,城北污水处理厂出水口附近 (118°45'8.683 2" E, 32°6'19.198 8" N); 团结河,铁路桥附近 (118°42'21.87" E, 32°13'15.00" N); 金牛湖,金牛湖风景区内 (118°58'14.808" E, 32°28'15.348" N).

1.2 样品采集及数据分析

本文采用漂浮静态箱(图 2)进行水-气界面温室气体排放通量观测. 漂浮静态箱由气体采样箱和泡沫漂浮架组成. 采样箱的主体为非透明的 PVC 材质圆筒(直径 20 cm,高 24 cm),箱体表层包裹了铝箔,以减少采样时由于太阳辐射所引起的桶内温度的变化;采样箱顶部开有 2 个小孔,分别连接水银温度计和供采样用的气体导管.

采样前,箱体于通风处倒置,使箱内气体混合均匀,然后将箱体固定在泡沫板上并倒置于河道水面,箱体底部浸入水面 2 cm,用配有三通阀的注射器采集气样,3 箱同步采样,分别于箱体下水后 0、10、20 min 采集,采气前缓慢抽推注射器数次以混合采样管和箱内的气体,每次抽取 50 mL 气样. 3 个箱采完一遍后,进行下一轮采样. 观测期间采样间隔为

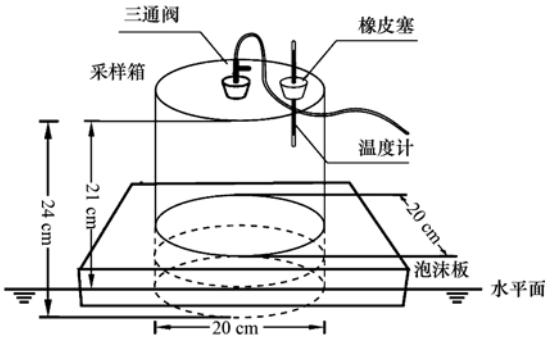


图 2 漂浮静态箱示意

Fig. 2 Schematic diagram of the floating static chamber

2 h, 气体样品在 48 h 内分析完毕. 采集气样的过程中, 同时现场测定箱内温度、气温、表层水温, 并采集表层水样. 用便携式 YSI550A 溶解氧仪同步测定水体溶解氧饱和度.

水样用聚乙烯瓶贮藏, 并及时运回实验室分析. 高锰酸盐指数、总磷 (TP)、总氮 (TN)、硝态氮 (NO_3^- -N)、亚硝态氮 (NO_2^- -N) 以及叶绿素 a 参考文献[15]中的国标方法监测, pH 值、电导率由上海佑科电导率仪 (DDS-11A) 监测. 用安捷伦 6890N 气相色谱仪结合火焰离子检测器和电子捕获器进行联机对气体样本进行 N_2O 分析测定^[16].

目标气体的排放速率是通过通过对每 3 个样品的目标气体混合比与相应的采样间隔时间 (0、10、20 min) 进行线性回归求得的. 结果的采用要基于以下 3 条标准^[17]: ①所测气体在箱内的初始浓度必须在所测地大气背景浓度值的 $\pm 10\%$ 内; ②对于 CH_4 相关系数 (R^2) 必须大于 90%, 对于 CO_2 和 N_2O 必须大于 80%; ③回归斜率不能经过零点. 单位面积的排放量是根据大气压、气温、普适气体常数、采样箱有效温度、目标气体分子量等求得的^[16].

2 结果与分析

2.1 不同水体 N_2O 昼夜排放特征

5 种水体 N_2O 昼夜变化趋势不尽相同 (图 3). 金牛湖尽管在 00:00 ~ 08:00 释放 N_2O , 但从全天尺度看, 金牛湖表现为对 N_2O 的吸收, 平均汇强为 $0.77 \mu\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$. 4 条河流均表现为对 N_2O 的排放源. 内秦淮河 N_2O 呈单峰形式排放, 最大值出现在观测当日 (8 月 16 日) 20:00, 24 h 内变化范围为 $35.18 \sim 371.59 \mu\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$, 平均值为 $130.18 \mu\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$. 金川河和外秦淮河变化趋势均为双峰型, 最大值分别出现在 14:00、8:00 和 14:00、00:00 时刻, 变化范围分别为 $6.16 \sim 64.51$ 和 $43.97 \sim 177.96 \mu\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$, 平均值分别为 $36.41 \mu\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$ 和 $106.30 \mu\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$. 团结河除了夜间 02:00 ~ 04:00 之间短暂地成为 N_2O 的吸收汇, 其余时刻 N_2O 的排放通量均为正值, 24 h 的变化幅度为 $-26.29 \sim 72.70 \mu\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$, 平均值为 $30.17 \mu\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$.

按照观测期间日出日落时间将昼夜进一步细分为昼间、夜间两部分进行考虑 (表 1). 结果发现, 金川河、团结河及外秦淮河 N_2O 夜间排放通量占全天通量的比例均超过了 30%, 内秦淮河的比例甚至超过 50%. 因此, 在以往的观测中, 由于普遍认为夜间气候条件变化, 尤其是温度的变化以及水中、底泥中微生物活性相对较低, 同时由于夜间不利于手动采样, 对夜间采样频率的有意降低可能会导致温室气体夜间排放量的漏检, 夜间河流表面温室气体的观测也应同样受到重视.

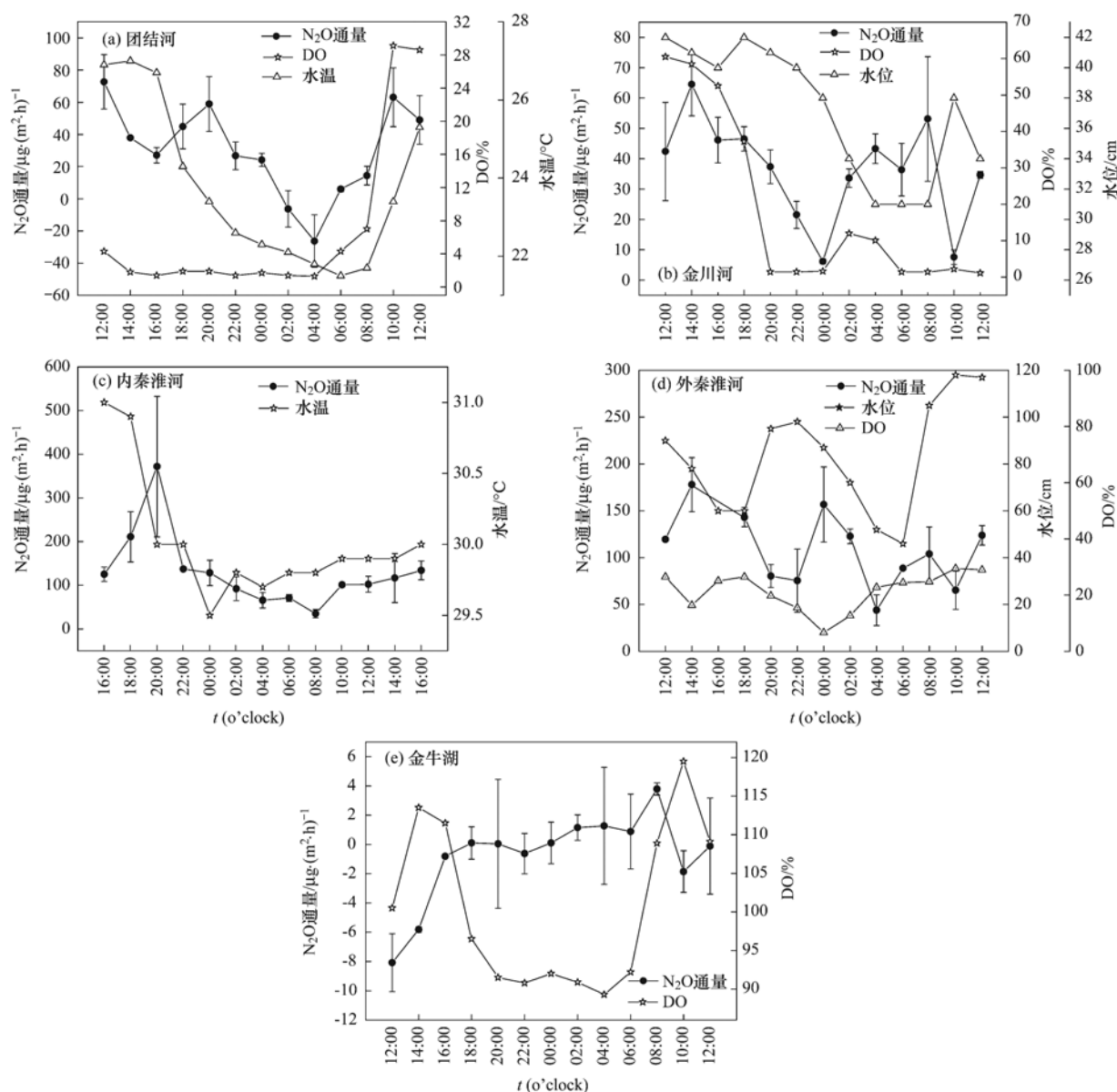
从昼夜结果中可以明显看出, 由于河流自身水质参数和水环境因子的差异以及不同河流所处地理位置环境的不同, 导致不同水体中 N_2O 排放通量具有较大的时间变异特点. 因此在长期的观测中选取一个能代表日间均通量的时间段尤为重要. 大量的文献中提到早上 09:00 ~ 11:00 作为当日的通量代表时间^[18, 19]. 万晓红等^[20]通过对白洋淀湖泊湿地 N_2O 的排放通量的研究发现, 1 d 中 10:00 ~ 14:00 可以代表白洋淀 N_2O 全天的排放通量. 赵炎等^[21]

表 1 不同河流 N_2O 昼夜通量值及代表日均通量时间段

Table 1 N_2O diurnal fluxes and the optimum period of mean diurnal fluxes from different experimental sites

采样地点 ¹⁾	日均通量 $/\mu\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$	昼均通量 $/\mu\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$	夜均通量 $/\mu\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$	夜间通量 日总通量/%	昼间时间段	夜间时间段
金川河 a	36.41	41.43	28.40	32.50	08:00 ~ 10:00	02:00 ~ 04:00
团结河 b	30.17	39.39	15.42	34.85	08:00 ~ 10:00	20:00 ~ 00:00
外秦淮河 c	106.30	113.71	95.93	37.60	08:00 ~ 12:00	20:00 ~ 00:00
内秦淮河 d	130.18	112.13	159.07	50.91	14:00 ~ 16:00	20:00 ~ 00:00
金牛湖 e	-0.77	-1.49	0.39	—	10:00 ~ 12:00	22:00

1) a、b、c、d、e 表示昼间通量计算时间分别为 05:42 ~ 18:25、05:49 ~ 18:09、05:40 ~ 18:30、05:35 ~ 18:39、05:48 ~ 18:12

图3 5种水体夏季 N_2O 通量昼夜变化情况Fig. 3 Diurnal variation of N_2O flux in 5 waterbodies in summer

在对三峡水库香溪河支流水域温室气体观测期间以 09:00 ~ 14:00 代表 1 d 的排放通量. 依据以上的思路, 将本研究的 5 种水体进行分析发现, 除了内秦淮河, 剩余 4 种水体昼间能代表一日平均值的时间段均在 08:00 ~ 12:00 之间, 与以上研究基本相符. 而夜间除了金川河外, 其余水体 20:00 ~ 00:00 之间的平均排放量能代表全天排放量.

2.2 环境因子对 N_2O 昼夜变化的影响

水体中 N_2O 的产生是好氧的硝化作用和厌氧的反硝化作用的共同结果. 水体中 DO 含量能影响水中 N_2O 的产生机制, 也是 N_2O 产生的主要控制因子. Laursen 等^[22] 研究表明, 河流沉积物微藻在白天

产生的 O_2 能共同促进硝化/反硝化的速率. 在本研究中金川河和团结河 N_2O 排放通量和 DO 饱和度呈正相关, 而外秦淮河和金牛湖相应的排放量和 DO 饱和度则呈负相关.

硝化、反硝化细菌在 $-2 \sim 60^\circ\text{C}$ 内均能保持活性, $35 \sim 40^\circ\text{C}$ 之间为最佳温度, 当温度继续上升则会抑制其活性^[23]. Stow 等^[24] 通过对 Neuse 河研究表明 N_2O 最高的排放量出现在较热的月份. 从表 2 中可以看出除了金牛湖外, 4 条河流 N_2O 的排放通量均和气温及水温呈正相关关系. 金川河团结河以及内秦淮河 N_2O 的排放通量和风速均呈正相关关系, 外秦淮河的相关性则不显著, 而金牛湖 N_2O 的

排放通量和风速呈显著负相关. 气压、水位和 N₂O 的释放量的相关性则没有明显的规律.

利用逐步回归方法建立回归方程见表 3, 团结河、金川河和金牛湖均主要受两种因子的共同影

响, 分别为气压和溶解氧饱和度、水位和溶解氧饱和度及水温 and 溶解氧饱和度. 气温能够解释外秦淮 34% 的 N₂O 通量变异. 而内秦淮河则无法建立回归方程.

表 2 昼夜观测期间 N₂O 通量和环境因子的关系¹⁾

Table 2 Correlation between N₂O flux and environmental factors during the diurnal variation

采样地点	气温	水温	水位	风速	溶解氧	气压
金川河	0.21	0.271	-0.006	0.423	0.584 *	-0.639 *
团结河	0.667 *	0.615 *	—	0.429	0.414	0.668 *
内秦淮河	0.362	0.303	—	0.455	NA	-0.325
外秦淮河	0.587 *	0.493	0.075	-0.012	-0.370	-0.403
金牛湖	-0.542	-0.703 *	—	-0.607 *	-0.299	0.357

1) * 代表在 0.05 水平上达到显著, “—”代表水位无变化, “NA”代表数据缺失

表 3 5 种水体 N₂O 通量和环境因子的回归方程¹⁾

Table 3 Stepwise regression equations between diurnal N₂O flux and environmental factors in 5 waterbodies

采样地点	回归方程	F 值	Sig.	R ²
团结河	$Y = -25\,169.766 + 24.817X_6 + 1.67X_5$	17.039	0.001	0.773
金川河	$Y = 13\,532.105 - 13.133X_6 - 3.418X_3$	21.838	0.000	0.814
外秦淮河	$Y = -206.839 + 10.968X_1$	5.249	0.045	0.344
金牛湖	$Y = 101.232 - 50.22X_2 + 0.258X_5$	14.413	0.001	0.742
内秦淮河	—	—	—	—

1) 参与回归的环境因子包括: X₁ 为气温, X₂ 为水温, X₃ 为水位, X₄ 为风速, X₅ 为溶解氧, X₆ 为气压; “—”代表未得出回归方程

3 讨论

3.1 不同水体昼夜排放机制探讨

表 4 为 5 种水体水质状况, 从中可以看出城郊团结河和城北金川河受污较为严重, 流经城内的内、外秦淮河次之并受污程度较为接近. 作为本底对照的金牛湖受污最轻. 有研究表明, 在流速缓慢的河流性湿地中, 反硝化作用比较彻底, 生成 N₂ 而非 N₂O, 而在流速较快的开阔河流中 N₂O 通量则会较大^[25]. 因此, 本研究中流速较慢的金川河和团结河 N₂O 的排放通量均低于内、外秦淮河. 除了微生物活性的影响外, 水体中温

室气体传输还取决于水-气界面的浓度梯度和气体的传质速度. Lilley 等^[26]在高度涡流的山间溪流发现, 温室气体会不断地从含有急流的河段排出, 而在含有水池并流速较低的河段, 又会重新补充到溪流中. 赵小杰等^[27]也指出, 较大的水面波动会导致较大的温室气体排放量. 因此, 不同于其他水体, 内秦淮河 N₂O 的排放通量的最大值出现在河道内游船过往最频繁的 20:00, 水面巨大的波动打破了原有的气液平衡, 加速溶存于水中气体的释放量. 由于受到水力条件变化的影响, 内秦淮河 N₂O 的排放通量和水环境因子的相关性均不明显.

表 4 夏季昼夜变化期间水质情况

Table 4 Water quality of five waterbodies during diurnal variation

采样地点	pH 值	高锰酸盐指数 /mg·L ⁻¹	总磷 /mg·L ⁻¹	总氮 /mg·L ⁻¹	硝态氮 /mg·L ⁻¹	亚硝态氮 /mg·L ⁻¹	DO /%	叶绿素 a /mg·L ⁻¹
团结河	8.22	8.14 ± 0.26	1.97 ± 0.06	17.50 ± 2.10	0.66 ± 0.01	0.03	6.62 ± 10.01	64.44 ± 13.25
金川河	7.68	13.34 ± 1.43	1.19 ± 0.04	23.56 ± 1.08	0.60 ± 0.01	0.61	18.56 ± 24.16	29.44 ± 4.25
内秦淮河	7.4	9.71 ± 1.47	1.35 ± 0.05	2.47 ± 0.05	0.55 ± 0.05	0.34	NA ¹⁾	40.39 ± 2.39
外秦淮河	7.97	6.09 ± 0.87	0.17 ± 0.03	5.09 ± 0.75	0.15 ± 0.04	0.09	21.52 ± 6.87	45.88 ± 6.18
金牛湖	8.14	3.81 ± 0.35	0.05 ± 0.00	3.83 ± 0.75	0.59 ± 0.01	0.005	100.48 ± 10.59	25.83 ± 0.68

1) NA 代表指标未被监测 (not available)

温度升高, 沉积物微生物活性增强, 促进硝化/反硝化作用. Warwick^[28]研究发现河流中白天硝化

速率最高的时刻出现在中午过后. 同样本研究金川河、外秦淮河在 14:00 N₂O 均达到排放峰值. 白天

较活跃的硝化作用一方面能够为反硝化作用提供基质,另一方面能够在沉积物表层增强硝化-反硝化耦合作用。因此,当外秦淮河溶解氧饱和度在夜间达到低值时,在反硝化作用的影响下,其 N₂O 的释放量在 00:00 出现了极大值。而金川河由于在观测 22:00 ~ 次日 06:00 之间水体表面活性增大,水面密密麻麻鼓起白色气泡,阻碍了水-气界面之间气体的交换,并使得 N₂O 的排放通量在 00:00 达到最低值。此外,尽管从整个昼夜趋势来看,水位对 N₂O 的排放几乎没有影响。但在金川河和外秦淮河观测次日 10:00 均发现水位的上升抑制 N₂O 的释放量的现象。在对湿地的研究中也有类似的负相关关系^[29]。因此,在河流中水位的变化在一定条件下也会对 N₂O 的排放产生影响。

从图 3 中可以看出,水体中夜间溶解氧的净消耗高于日间。对于团结河,可能主要受反硝化作用影响,尽管从实验开始到次日 04:00 时 DO 饱和度都较低,但白天在较高温度的影响下 N₂O 的释放量高于夜间。因此,其 N₂O 的释放量同水温 and 气温均呈显著相关(表 2)。同时,团结河 N₂O 释放量并没有像金川河和外秦淮河一样在午后达到排放峰值。这可能是由于团结河水位较浅(25 cm),在白天容易受到光照引起溶解氧变化的影响。在实验室研究中发现,光照能增强氧气的渗透能力,从而使反硝化区域远离沉积物表面^[30]。研究表明,在光照条件下,浅水湖泊及溪流沉积物的反硝化速率较低^[31]。因此,在光照最强的期间团结河 N₂O 的排放通量反

而呈减少趋势。夜间随着温度和溶解氧饱和度进一步降低,在 02:00 ~ 04:00 之间甚至短暂地成为了 N₂O 的汇。此时是整个昼夜过程中溶解氧饱和度最低的时候(1.3% ~ 1.4%),在缺少氧气的状态下,会促使 N₂O 还原酶将 N₂O 进一步还原为 N₂。当温度再次上升时,尽管溶解氧饱和度也随之上升,但 Laursen 等^[22]研究表明,白天底泥微藻产生的氧气能共同促进反硝化和硝化速率。因此,团结河 N₂O 释放量也呈上升趋势。

沉积物是产生 N₂O 的重要场所,而金牛湖不仅为 2 级饮用水源地,并且其采样点湖底均为水泥砌筑,没有 N₂O 的产生环境。因此,金牛湖 N₂O 的排放主要取决于 N₂O 在水-气界面的分压平衡。在观测的日间,由于风速较大,而金牛湖对 N₂O 极有可能是欠饱和的。因此,对于欠饱和水体,高风速在水面可能形成向下的泵吸作用^[32],从而导致在日间金牛湖主要表现为 N₂O 的吸收汇。而夜间湖面平静,溶存在水中的 N₂O 又慢慢释放。

3.2 和相关研究的比较

表 5 给出了不同的研究对象 N₂O 的昼夜排放均值。从中可以看出,本研究中流经主城区的内、外秦淮河 N₂O 的 24h 平均释放量和美国的 Iroquois 等 3 条河流在一个量级上,高出包括流经城北的金川河和城郊团结河的其他河流 N₂O 释放量一个量级。对于受污较轻的天然水体——金牛湖则整体表现为对 N₂O 的吸收汇。总体看来,南京市有代表性的 4 条河流 N₂O 的排放量处于较高水平。

表 5 其他河流、湖泊 N₂O 的昼夜排放通量
Table 5 Compilation of N₂O mean diurnal flux from rivers and lakes

研究对象	观测时间	N ₂ O 通量/ $\mu\text{g}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{h})^{-1}$	文献
团结河	2012 年 8 月	36.41	本研究
金川河	2012 年 8 月	30.17	本研究
内秦淮河	2012 年 8 月	130.18	本研究
外秦淮河	2012 年 8 月	106.30	本研究
金牛湖	2012 年 8 月	-0.77	本研究
太湖梅梁湾	2003 年夏	65	[33]
丰乐河	2008 年 7 月 20 日 ~ 8 月 20 日	78.68	[34]
杭埠河	2008 年 7 月 20 日 ~ 8 月 20 日	24.76	[34]
南淝河	2008 年 7 月 20 日 ~ 8 月 20 日	14.79	[34]
Iroquois river	2002 年 5 月	466.4	[22]
Sugar creek	2002 年 5 月	105.6	[22]
Millstone river	2002 年 5 月	255.2	[22]
香溪河	2010 年 10 月	62.59	[11]

4 结论

4 条河流在夏季 24 h 内均为 N₂O 的排放源,其

日均通量为流经主城区的内、外秦淮河高于城北金川河和城郊团结河。金牛湖作为本底对照,表现为 N₂O 的吸收汇。在水力条件变化的影响下内秦淮河

N_2O 在 20:00 达到排放峰值,这也导致其夜间的排放量占全天排放量的比例超过了 50%。在溶解氧的影响下,金川河和团结河均在夜间水中溶解氧饱和度极低的时候达到排放最低值,其中团结河在 02:00~04:00 之间对 N_2O 形成了短暂的吸收汇。外秦淮白天的硝化作用和夜间的反硝化作用导致其 N_2O 呈现出双峰的排放趋势。金牛湖 N_2O 的排放量几乎可以忽略,其主要受风速影响,呈现出夜高昼低的排放趋势。在常规观测中,团结河、金川河、外秦淮河及金牛湖这 4 种水体能代表全天平均值的采样时间段均在 08:00~12:00 之间,和相关研究的结果接近,但对于受外界影响较大的内秦淮其适宜的时间段则为 14:00~16:00。通过和其他水体的昼夜观测对比,南京市河流 N_2O 的排放量总体处于较高水平。

参考文献:

- [1] Provencal R A, Baer D S, Owano T G, *et al.* Development and deployment of a fast, high-precision analyzer for simultaneous N_2O , CO , and H_2O measurements in field applications [A]. In: Proceedings of the AGU Fall Meeting Abstracts [C]. 2010.
- [2] Solomon S, Qin D, Manning M, *et al.* IPCC climate change 2007: the physical science basis [A]. In: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [C]. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2007.
- [3] 裴淑玮, 张圆圆, 刘俊锋, 等. 华北平原玉米-小麦轮作农田 N_2O 交换通量的研究 [J]. 环境科学, 2012, **33**(10): 3641-3646.
- [4] Ali M A, Hoque M A, Kim P J. Mitigating global warming potentials of methane and nitrous oxide gases from rice paddies under different irrigation regimes [J]. AMBIO, 2012, **42**(3): 357-368.
- [5] 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.
- [6] Beaulieu J J, Tank J L, Hamilton S K, *et al.* Nitrous oxide emission from denitrification in stream and river networks [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2011, **108**(1): 214-219.
- [7] 王佳宁, 晏维金, 陈能汪, 等. 我国河流 N_2O 饱和度与释放系数变化及其与河流氮水平的关系研究 [J]. 农业环境科学学报, 2012, **31**(8): 1576-1585.
- [8] Seitzinger S P, Kroeze C. Global distribution of nitrous oxide production and N inputs in freshwater and coastal marine ecosystems [J]. Global Biogeochemical Cycles, 1998, **12**(1): 93-113.
- [9] McMahon P B, Dennehy K F. N_2O emissions from a nitrogen-enriched river [J]. Environmental Science & Technology, 1998, **33**(1): 21-25.
- [10] Hlaváčková E, Rulík M, Čáp L, *et al.* Greenhouse gas (CO_2 , CH_4 , N_2O) emissions to the atmosphere from a small lowland stream in Czech Republic [J]. Archiv für Hydrobiologie - Hauptbände, 2006, **165**(3): 339-353.
- [11] 黄文敏, 朱孔贤, 赵玮, 等. 香溪河秋季水-气界面温室气体通量日变化观测及影响因素分析 [J]. 环境科学, 2013, **34**(4): 1270-1276.
- [12] 姚亦锋. 南京市水系变迁以及现代景观研究 [J]. 城市规划, 2009, **33**(11): 39-43.
- [13] 童朝锋, 岳亮亮, 郝嘉凌, 等. 南京市外秦淮河水水质模拟及引调水效果 [J]. 水资源保护, 2012, **28**(6): 49-54.
- [14] 罗玉兰, 徐颖, 曹忠. 秦淮河底泥及间隙水氮磷垂直分布及相关性分析 [J]. 农业环境科学学报, 2007, **26**(4): 1245-1249.
- [15] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [16] Wang Y S, Wang Y H. Quick measurement of CH_4 , CO_2 and N_2O emissions from a short-plant ecosystem [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2003, **20**(5): 842-844.
- [17] Soumis N, Duchemin É, Canuel R, *et al.* Greenhouse gas emissions from reservoirs of the western United States [J]. Global Biogeochemical Cycles, 2004, **18**(3): GB3022.
- [18] Xing Y P, Xie P, Yang H, *et al.* Methane and carbon dioxide fluxes from a shallow hypereutrophic subtropical Lake in China [J]. Atmospheric Environment, 2005, **39**(30): 5532-5540.
- [19] 喻元秀, 刘丛强, 汪福顺, 等. 洪家渡水库溶解二氧化碳分压的时空分布特征及其扩散通量 [J]. 生态学杂志, 2008, **27**(7): 1193-1199.
- [20] 万晓红, 周怀东, 王雨春, 等. 白洋淀湖泊湿地氧化亚氮的排放通量初探 [J]. 生态环境, 2008, **17**(5): 1732-1738.
- [21] 赵炎, 曾源, 吴炳方, 等. 三峡水库香溪河支流水域温室气体排放通量观测 [J]. 水科学进展, 2011, **22**(4): 546-553.
- [22] Laursen A E, Seitzinger S P. Diurnal patterns of denitrification, oxygen consumption and nitrous oxide production in rivers measured at the whole-reach scale [J]. Freshwater Biology, 2004, **49**(11): 1448-1458.
- [23] Schmidt U, Thöni H, Kaupenjohann M. Using a boundary line approach to analyze N_2O flux data from agricultural soils [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2000, **57**(2): 119-129.
- [24] Stow C A, Walker J T, Cardoch L, *et al.* N_2O emissions from streams in the Neuse River watershed, North Carolina [J]. Environmental Science & Technology, 2005, **39**(18): 6999-7004.
- [25] Wilcock R J, Sorrell B K. Emissions of greenhouse gases CH_4 and N_2O from low-gradient streams in agriculturally developed catchments [J]. Water, Air, and Soil Pollution, 2008, **188**(1-4): 155-170.
- [26] Lilley M D, Angelis D M A, Olson J E. Methane concentrations and estimated fluxes from Pacific Northwest rivers [J]. Mitt Internat Verein Limnol, 1996, **25**: 187-196.
- [27] 赵小杰, 赵同谦, 郑华, 等. 水库温室气体排放及其影响因素 [J]. 环境科学, 2008, **29**(8): 2377-2384.

- [28] Warwick J J. Diel variation of in-stream nitrification[J]. *Water Research*, 1986, **20**(10): 1325-1332.
- [29] 石兰英, 牟长城, 田新民, 等. 小兴安岭典型苔草和灌木沼泽 N_2O 排放及影响因子[J]. *生态学报*, 2011, **31**(16): 4799-4804.
- [30] Laursen A E, Carlton R G. Responses to atrazine of respiration, nitrification, and denitrification in stream sediments measured with oxygen and nitrate microelectrodes[J]. *FEMS Microbiology Ecology*, 1999, **29**(3): 229-240.
- [31] Risgaard-Petersen N, Rysgaard S, Nielsen L P, *et al.* Diurnal variation of denitrification and nitrification in sediments colonized by benthic microphytes [J]. *Limnology and Oceanography*, 1994, **39**(3): 573-579.
- [32] Smith S D, Jones E P. Evidence for wind-pumping of air-sea gas exchange based on direct measurements of CO_2 fluxes [J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 1985, **90**(C1): 869-875.
- [33] 吴平, 李香华, 逢勇. 太湖水-气界面温室气体 N_2O 日通量变化特征[J]. *工业安全与环保*, 2007, **33**(8): 49-51.
- [34] Clough T J, Buckthought L E, Kelliher F M, *et al.* Diurnal fluctuations of dissolved nitrous oxide (N_2O) concentrations and estimates of N_2O emissions from a spring-fed river: implications for IPCC methodology [J]. *Global Change Biology*, 2007, **13**(5): 1016-1027.

CONTENTS

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

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2014年1月15日 35卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 1 Jan. 15, 2014

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行