

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

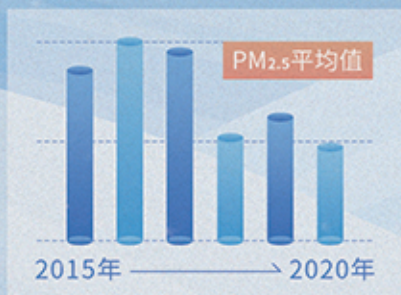
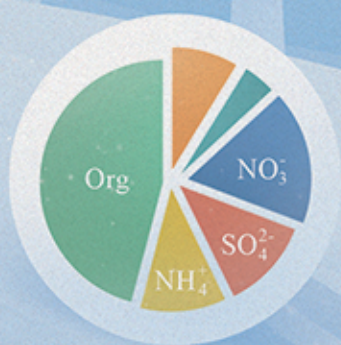
环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV
HUANJING KEXUE

北京冬季奥运会历史同期大气PM_{2.5}污染特征分析

刘玥晨, 满睿琪, 裴彦挺, 杨佳炜, 王均睿, 谭瑞, 汤丽姿, 俞颖, 宋锴, 郭松, 陈仕意,
曾立民, 吴志军, 胡敏



■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2022年8月

第43卷 第8期
Vol.43 No.8

目次

北京冬季奥运会历史同期大气 PM _{2.5} 污染特征分析·····	刘玥晨, 满睿琪, 袁彦挺, 杨佳炜, 王均睿, 谭瑞, 汤丽姿, 俞颖, 宋锴, 郭松, 陈仕意, 曾立民, 吴志军, 胡敏 (3895)
天津城区 2019 年 2~3 月气溶胶粒径分布特征观测分析·····	郝团, 蔡子颖, 刘敬乐, 王晓佳, 姚青 (3903)
长江中游地区 PM _{2.5} 重污染过程的典型天气环流分型及区域传输影响·····	王莹, 智协飞, 白永清, 董甫, 张玲 (3913)
滇中典型工矿城市大气干湿沉降重金属等元素特征及健康风险评价·····	范晨子, 刘永兵, 袁继海, 郭威, 孙冬阳, 刘成海 (3923)
典型工业城市夏季 VOCs 污染特征及反应活性·····	秦涛, 李丽明, 王信梧, 杨文, 王晓丽, 徐勃, 耿春梅 (3934)
大连市夏季 VOCs 化学反应活性及来源·····	朱轲欣, 刘立忠, 刘焕武, 罗静期, 高冉冉 (3944)
河南省 18 个城市大气污染物分布特征、区域来源和传输路径·····	刘光瑾, 苏方成, 徐起翔, 张瑞芹, 王克 (3953)
京津冀臭氧污染特征、气象影响及基于神经网络的预报效果评估·····	朱媛媛, 刘冰, 桂海林, 李健军, 汪巍 (3966)
2006~2020 年中国大气本底站 BC 气溶胶的时空分布特征·····	王红磊, 颜雪, 沈利娟, 柳竞先, 赵天良, 管小彬, 赵德龙 (3977)
钢铁生产行业二噁英污染特征变化及其排放因子·····	杨艳艳, 谢丹平, 付建平, 陈晓燕, 尹文华, 韩静磊, 张素坤, 张璐, 肖滔 (3990)
长江流域着生藻类群落结构的格局及其生态评价·····	胡愈忻, 曹亮, 屈仁超, 黄杰, 胡圣, 周正, 王英才, 张静 (3998)
基于蒙特卡罗模拟与 PMF 模型的黄河流域沉积物重金属污染评价及源解析·····	庞阔, 李敏, 刘璐, 杨璐, 赵洪军 (4008)
梯级拦河堰对典型山地城市河流重金属元素的滞留效应: 以重庆市梁滩河为例·····	王超, 贾伯阳, 潘成勇, 何文战, 叶秋, 罗杉山, 张夏武 (4018)
基于土壤流失的农业面源 TN 和 TP 排海系数估算·····	王有霄, 黄翀, 刘高焕, 赵忠贺, 李贺, 刘庆生 (4032)
河湟谷地不同时空尺度下土地利用及空间格局对水质的影响·····	李好好, 黄懿梅, 郭威, 侯宏洋, 范梦苑, 齐照平, 贾鹏辉, 郭庆波 (4042)
联合 PMF 模型与稳定同位素的地下水污染溯源·····	张涵, 杜昕宇, 高菲, 曾卓, 程思茜, 许懿 (4054)
江西锦江流域抗生素污染特征与生态风险评价·····	李佳乐, 王萌, 胡发旺, 董一慧, 孙占学, 王瑶, 卫承芳, 燕雯 (4064)
天津市地表水中新型优先污染物筛选与管控对策·····	吴颜岐, 宋帅, 史雅娟, 刘莹, 杨胜杰 (4074)
宁夏第三排水沟中药物和个人护理品 (PPCPs) 的污染特征与生态风险评估·····	李富娟, 高礼, 李凌云, 郑兰香, 马兰, 杨桂钦 (4087)
再生水河道浮游生物多样性季节变化分析: 以北运河为例·····	袁训超, 王敏, 郭道宇, 吴东丽 (4097)
太湖草、藻湖区沉积物 WSOM 组成和分子结构分析·····	杜瑛珣, 戴家如, 张巧颖, 刘静静, 黄秀琳, 安世林, 文帅龙 (4108)
太湖氧化亚氮 (N ₂ O) 排放特征及潜在驱动因素·····	刘朝荣, 朱俊羽, 李宇阳, 俞晓琴, 陈慧敏, 杨艳, 周永强 (4118)
海绵城市生物滞留带重金属污染特征及风险评价·····	雷晓玲, 邱丽娜, 魏泽军, 杨程, 何博 (4127)
玉米芯和稻草秸秆强化潜流人工湿地对低 C/N 污水的处理效果·····	胡曼利, 郝庆菊, 马容真, 陈柯沁, 罗师旭, 江长胜 (4136)
环境 pH 条件下 Fe ²⁺ 活化过二硫酸盐降解有机污染物的效能与影响因素·····	刘颖, 郭依玮, 乔俊莲, 孙远奎 (4146)
新疆沙雅县不同植物类型农田环境中典型农药残留及其风险评价·····	谢宣宣, 艾力江·努尔拉, 买合木提·巴拉提, 仲乃福, 李南鑫 (4154)
宁夏养鸡场粪污和周边土壤中抗生素及抗生素抗性基因分布特征·····	沈聪, 张俊华, 刘吉利, 韩新宁, 尚天浩, 代金霞 (4166)
宁夏石嘴山市农用地土壤硒的富集因素·····	王莹, 刘海燕, 王泽晶, 张晓东, 王登红 (4179)
地块尺度重金属污染风险耕地安全利用区划方法·····	王锐, 余京, 李瑜, 周蛟, 贾中民, 余飞, 张云逸, 蒋玉莲 (4190)
姜湖贡米产地土壤重金属空间分布、源解析及生态风险评价·····	于林松, 万方, 范海印, 康桂玲, 刘辉, 王东平, 徐佳 (4199)
基于特定源风险评估模型的小麦籽粒铅超标风险预测·····	杨阳, 李艳玲, 牛硕, 陈卫平, 王天齐, 王美娥 (4212)
柳州地源性镉异常区稻米重金属累积效应与健康风险·····	朱亮亮, 王佛鹏, 唐乐斌, 肖乃川, 董心月, 韦美溜, 宋波 (4219)
不同玉米品种 Cd、Pb、Zn 和 As 积累与转运特性·····	任超, 肖建辉, 李竞天, 杜倩倩, 朱利文, 王浩, 朱瑞颖, 赵海洋 (4232)
橡胶草 (TKS) 对铅镉污染农田土壤的修复潜力·····	张恒, 熊明彪, 王乾鑫, 孙博文, 饶逸驰, 程章, 徐小逊, 杨占彪, 鲜骏仁, 朱雪梅, 杨绍平, 杨远祥 (4253)
3 种地被竹对重金属复合污染农田土壤的修复潜力·····	张颖, 赵欣, 张圣虎, 漆丹, 王博, 陈引, 陆建刚 (4262)
连续施肥对双季稻镉硅累积效应的影响·····	彭华, 邓凯, 石宇, 魏维, 柳赛花, 纪雄辉 (4271)
改性壳聚糖负载氧化硅调控水稻对砷吸收与转运的影响·····	杨嘉仪, 孙梦强, 肖羽堂, 韦行, 张建强, 陈志良 (4282)
不同螯合剂和有机酸对苍耳修复镉复合污染土壤的影响·····	张雅睿, 黄益宗, 保琼莉, 魏祥东, 铁柏清, 张盛楠, 韩甘, 黄永春 (4292)
水分管理对稻田土壤铁氧化物形态转化的影响及其与酶活性变化的耦合关系·····	李明远, 张小婷, 刘汉斌, 魏世强 (4301)
外源 Fe 调控根系微生物群落结构和功能对水稻 Cd 积累的影响·····	郑沈, 黄道友, 李波, 马天池, 许超, 朱奇宏, 朱捍华, 张泉 (4313)
不同降水下覆盖与缓释肥减量对油菜土壤微生物群落结构的影响·····	冯军, 石超, Hafiz Athar Hussain, 刘永波, 刘天朋, 李永洪, 刘俊峰, 王龙昌 (4322)
基于高通量测序和代谢组学解析重金属污染对农田微生物群落组成和功能的影响·····	庞发虎, 李晓琦, 段莉阳, 陈彦, 姬明飞, 张浩, 韩辉, 陈兆进 (4333)
汞矿区周边农田土壤微生物群落结构特征及其环境驱动因子·····	陈芬, 余高, 孙约兵, 张红丽, 田霞, 夏蓓 (4342)
岩溶湿地与稻田土壤团聚体细菌群落结构的比较·····	冷蒙, 靳振江, 肖筱怡, 熊丽媛, 李雪松 (4353)
戴云山土壤微生物碳源利用效率的海拔变异规律及影响因素·····	吕坤, 王晶晶, 吴国朋, 林思诺, 苏延桂, 黄刚 (4364)
长期秸秆还田对水稻根系碳矿化与激发效应的影响·····	刘峰, 王云秋, 张昀, 祝贞科, 吴金水, 葛体达, 李宇虹 (4372)
秸秆还田配施生物炭对关中平原夏玉米产量和土壤 N ₂ O 排放的影响·····	白金泽, 刘镇远, 宋佳杰, 李娜, 于琦, 郝嘉琪, 许宏伟, 程博豪, 王兴, 冯永忠 (4379)
聚苯乙烯纳米塑料对大蒜生长生理的影响·····	邱陈陈, 李国新, 李青松, 颜昌宙 (4387)
微塑料对土壤水分入渗和蒸发的影响·····	王志超, 张博文, 倪嘉轩, 杨文焕, 李卫平 (4394)
氢燃料电池汽车动力系统生命周期评价及关键参数对比·····	陈轶嵩, 兰利波, 郝卓, 付佩 (4402)
《环境科学》征订启事 (4211) 《环境科学》征稿简则 (4312) 信息 (3922, 4031, 4107)	

太湖氧化亚氮(N_2O)排放特征及潜在驱动因素

刘朝荣^{1,2}, 朱俊羽², 李宇阳², 俞晓琴², 陈慧敏², 杨艳^{1*}, 周永强^{2,3}

(1. 西华师范大学环境科学与工程学院, 南充 637000; 2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室, 南京 210008; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 氧化亚氮(N_2O)是《京都议定书》规定的6种温室气体之一,其百年增温趋势是 CO_2 的298倍,大气 N_2O 浓度在持续快速增长中。浅水湖泊是大气 N_2O 的重要来源,为探讨富营养湖泊太湖 N_2O 排放的时空变化及潜在驱动因素,于2月(冬)和8月(夏)不同季节下在太湖进行野外观测,采用扩散系数-顶空瓶法观测表层水体 N_2O 浓度 $[c(\text{N}_2\text{O})]$ 和排放通量 $[F(\text{N}_2\text{O})]$,并讨论分析 N_2O 排放的潜在驱动因素。由于溶解性有机物(DOM)光谱是溶解性有机碳(DOC)及溶解性有机氮(DON)来源组成的有效示踪指标,其迁移转化过程亦会释放大量的无机氮,改变水体氧化还原电位,因而也能影响 N_2O 排放。结果表明,太湖表层水体 N_2O 的浓度和排放通量表现出的时间变化及空间变化强烈受到季节(水温)差异和营养水平的共同影响,其表层水体 $c(\text{N}_2\text{O})$ 均值为 $(19.7 \pm 2.7) \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$, $F(\text{N}_2\text{O})$ 均值为 $(41.1 \pm 1.8) \mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$,两者均表现为夏季高于冬季(t -test, $P < 0.01$); DOM和DOC等有机质的输入累积能够提高水体 N_2O 的产生和排放潜力,其中 N_2O 排放通量与水体类腐殖质组分C1显著正相关,表征陆源输入的荧光峰积分比值 $I_C:I_T$ 及芳香性指标 $S_{275-295}$ 都表明西北入湖河口区积累了大量陆源类腐殖酸,其转化降解对 N_2O 的产生及排放有较大的贡献。结果显示水温、DOM组成来源和营养水平均是影响太湖水体 N_2O 排放的重要因素。长期连续观测能更好地全面评估各种因素对水体 N_2O 产生及排放的影响并科学合理地制定减排方案。

关键词: 太湖; 氧化亚氮(N_2O); 通量; 溶解性有机物(DOM); 平行因子分析(PARAFAC)

中图分类号: X16 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2022)08-4118-09 DOI: 10.13227/j.hjxx.202111017

Emission of Nitrous Oxide (N_2O) from Lake Taihu and the Corresponding Potential Driving Factors

LIU Chao-rong^{1,2}, ZHU Jun-yu², LI Yu-yang², YU Xiao-qin², CHEN Hui-min², YANG Yan^{1*}, ZHOU Yong-qiang^{2,3}

(1. College of Environment Science and Engineering, China West Normal University, Nanchong 637000, China; 2. State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Nitrous oxide (N_2O) is one of the six greenhouse gases stipulated in the Kyoto Protocol. Its greenhouse potential over the past century was 298 times that of CO_2 , and the concentration of atmospheric N_2O has been continuously and rapidly increasing during the past hundred years. Shallow lakes are an important source of atmospheric N_2O . In order to explore the temporal and spatial changes and potential driving factors of N_2O emissions from eutrophic water, we conducted field observations in February (winter) and August (summer) in Lake Taihu. We used the coefficient of diffusion-headspace bottle method to trace the variability in the N_2O concentration $[c(\text{N}_2\text{O})]$ and efflux $[F(\text{N}_2\text{O})]$ from surface water bodies and explored the potential driving factors of N_2O emissions. The optical measurements of dissolved organic matter (DOM) are an effective approach for tracing the source and composition of dissolved organic carbon (DOC) and dissolved organic nitrogen (DON). The migration and transformation processes of DOM also release a large amount of inorganic nitrogen, which changes the redox potential of the water column and thereby affects N_2O emissions. Our results showed that the variability in $c(\text{N}_2\text{O})$ and $F(\text{N}_2\text{O})$ in the surface waters of Lake Taihu were strongly affected by water temperature and nutrient levels. The average $c(\text{N}_2\text{O})$ of the surface waters was $(19.7 \pm 2.7) \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$, corresponding to a mean $F(\text{N}_2\text{O})$ of $(41.1 \pm 1.8) \mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, and the means of both $c(\text{N}_2\text{O})$ and $F(\text{N}_2\text{O})$ were higher in summer than those in winter (t -test, $P < 0.01$). The input and accumulation of DOM could increase the production and emission potential of N_2O in water bodies, as supported by both $c(\text{N}_2\text{O})$ and $F(\text{N}_2\text{O})$ significantly increasing with increasing level of terrestrial humic-like C1. The integration ratio of peak C to peak T $I_C:I_T$ of DOM and the spectral slope $S_{275-295}$ results indicated that there were high inputs of terrestrial DOM in the northwestern inflowing river mouths, concurring with the high production and emission of N_2O found there. This suggested that the accumulation and degradation of terrestrial DOM potentially fueled the emission of N_2O . Our results showed that water temperature, DOM composition, and nutrient level were all important factors affecting N_2O emission from Lake Taihu. Long-term continuous observation can be applied to better evaluate the impact of various environmental factors on the production and emission of N_2O in water bodies and to help with providing scientific emission reduction plans.

Key words: Lake Taihu; nitrous oxide(N_2O); flux; dissolved organic matter (DOM); parallel factor analysis (PARAFAC)

大气中温室气体浓度的不断升高使得全球气候变暖,带来了诸如高温热浪、极端降水事件等自然灾害频发等一系列的环境问题。氧化亚氮(N_2O)是《京都议定书》规定的6种温室气体之一,与二氧化碳(CO_2)相比, N_2O 虽然属于痕量气体,在大气中的含量很低,但其单分子百年尺度上的增温潜势却是

CO_2 的298倍,是造成平流层臭氧消耗的主要原因

收稿日期: 2021-11-02; 修订日期: 2022-01-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(41807362); 中国科学院青年促进会会员项目(2021312); 中国科学院南京地理与湖泊研究所项目(E1SL002)

作者简介: 刘朝荣(1997~),男,硕士研究生,主要研究方向为湖泊温室气体排放, E-mail: winkcr@163.com

* 通信作者, E-mail: sister_yy@sina.cn

素^[1]. 湖泊承接地表输入的有机碳、氮后会快速发生一系列微生物及光化学降解与转化,并释放与其表面积不成比例的温室气体. 全球大气中 N_2O 在过去近百年内快速增长,工业革命前大气中的 $\varphi(\text{N}_2\text{O})$ 仅为 270×10^{-9} ,到 2011 年已经增长到 324×10^{-9} ^[2,3].

上游人类活动,特别是在农业生产中使用的合成化肥,向内陆湖泊排放的各类有机和无机氮,会影响湖泊生态系统的氮平衡,进而可能导致 N_2O 的排放增加^[4]. 城市居民区产生的含高浓度有机碳和有机氮的生活废水排放汇入河流,其进一步导致流域水力连通特征及土地利用结构等发生改变,也会对 N_2O 排放通量有显著影响^[4,5]. N_2O 是反硝化过程中硝酸盐($\text{NO}_3^- - \text{N}$)被微生物还原为亚硝酸盐($\text{NO}_2^- - \text{N}$)、一氧化氮(NO)和氮气(N_2)的中间产物,同时也是硝化过程中铵态氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)被微生物氧化为 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的副产物. 这些微生物过程可在湖泊中普遍发生,使湖泊成为大气 N_2O 的重要来源^[5]. 相较于河流,湖泊具有相对更长的水力滞留时间,因而使得湖泊水体中的无机氮去除率更高,同时也可能释放更多的 N_2O ^[6]. 因此,准确地估算内陆湖泊的 N_2O 排放通量是在区域范围内量化 N_2O 收支的重要前提^[7].

有研究表明,N 的形态(如 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 或 $\text{NO}_3^- - \text{N}$)、溶解氧(DO)、pH、水温和水深对 N_2O 排放通量均有一定影响^[8]. 溶解性有机物(dissolved organic matter, DOM)是天然有机质最重要的赋存形态,有色可溶性有机物(chromophoric DOM, CDOM)是 DOM 中可以强烈吸收光谱中的紫外光和可见光的部分,其组成包括一系列的腐殖酸、富里酸、脂肪族和芳香烃类物质,富含有机碳、氮等生源要素^[9],因而其光谱特征能在一定程度上反映有机碳、氮来源组成^[10]. DOM 在湖库水体运移过程中不断发生光化学降解和微生物降解,改变了水体溶氧水平和氧化还原电位. 另外 DOM 光谱是溶解性有机碳(DOC)和溶解性有机氮(DON)来源组成的重要示踪剂,能反映 DOC 和 DON 的来源及组成相关信息^[10]. DOM 的降解也会释放大量无机碳和无机氮,改变水体氧化还原电位. DOM 在光化学降解下也会发生催化氨氮生成的光氨化过程^[11],在一定程度上也能够左右 N_2O 的排放.

有研究表明,水体中不同形态的无机氮含量与 N_2O 的产生和排放过程直接相关,说明了太湖 N_2O 排放通量 $[F(\text{N}_2\text{O})]$ 可能与 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 相关^[12]. 然而关于太湖的 N_2O 排放通量受 DOM 光谱组成影

响的研究仍然较少. 本文将大型富营养浅水湖泊太湖作为研究对象,通过顶空瓶法测定水体溶解性 N_2O 浓度并计算 N_2O 的排放通量. 运用光谱吸收结合平行因子分析等手段表征 DOM 的来源组成,分析太湖水体 N_2O 浓度和排放通量空间分布特征及与环境因子,包括 DOM 光谱组成参数的潜在关联,以期太湖 N_2O 排放特征及与环境因子,包括 DOM 来源组成之间潜在关联机制提供理论参考.

1 材料与方法

1.1 样品采集

太湖($30^\circ 55' 40'' \sim 31^\circ 32' 58'' \text{N}$, $119^\circ 52' 32'' \sim 120^\circ 36' 10'' \text{E}$)位于长三角区域,是典型的富营养湖泊且是我国第三大淡水湖泊,其面积为 $2\,338.1 \text{ km}^2$,平均水深为 1.9 m ,处在中国工业化程度最高、人口最密集的地区之一. 太湖流域所对应主要行政区域有江苏和浙江^[13]. 根据太湖河流分布及湖区水文特征,在太湖设置 32 个采样点(图 1). 野外采样分别开展于 2019 年 2 月和 2019 年 8 月,共计采集 62 个表层水与气体样品(2019 年 2 月 32 个样品,2019 年 8 月 30 个样品),采样时间为当月中旬的每日上午,天气条件均为晴朗或多云,且风速较低. 使用稀盐酸浸泡并反复清洗过的聚乙烯瓶装采集表层水样($0 \sim 0.5 \text{ m}$)并储存于黑暗低温环境(4°C),于采样结束后立即运回实验室过滤. 气体采集采用顶空瓶法,采集表层($0 \sim 0.5 \text{ m}$)水样,将水样灌装在事先装有 2 g KCl 的 61 mL 棕色玻璃瓶中,在水中静置 30 s 以排除所有气泡而后用丁基胶塞在水中封住瓶口,并用铝塑盖和压盖钳将其密封,同时再取一份湖面上方 2 m 处的大气背景样品注入真空密封棕色玻璃瓶中(以计算 N_2O 排放通量),一同转移至实

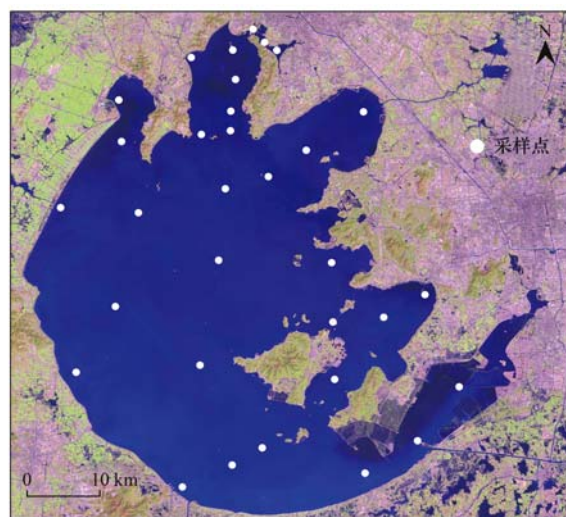


图 1 太湖采样点分布示意

Fig. 1 Location of sampling sites in Lake Taihu

验室.

1.2 水质参数测定

水样通过 Whatman GF/F 0.7 μm 孔径滤膜, 滤后液采用总有机碳分析仪 (Shimadzu TOC-V CPN, 日本岛津) 经 680 $^{\circ}\text{C}$ 高温灼烧并在 NPOC 扫吹模式下测定 DOC 浓度^[6]; 0.7 μm 滤后液利用连续流动式分析仪 (荷兰 Skalar SAN++) 测定 NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N 浓度; 原位风速使用便携式风速仪 (希玛 AS816, 中国香港) 现场测定; 常规指标如水温 (t) 和溶解氧 (DO) 均用多参数水质仪 (YSI-EX02) 现场测定.

1.3 N_2O 的浓度和排放通量测定

$c(\text{N}_2\text{O})$ 的测量使用 Agilent-7890B 气相色谱仪, 进样时使用装有三通阀的针筒 (5 mL), 每次进样 5 mL, 计算公式为:

$$c(\text{N}_2\text{O}) = (p_{\text{Final}} \cdot K_{\text{OEquilibrium}}) + \left(\frac{\text{HS}}{S} \cdot \frac{p_{\text{Final}} - p_{\text{Initial}}}{V_{\text{m}}} \right) \quad (1)$$

式中, p_{Initial} 和 p_{Final} 分别为高纯氮气中 N_2O 的分压以及振荡平衡后混合气体中的分压, $101\,325 \times 10^{-6}$ Pa; HS 为采样针筒气相体积 (本研究为 20 mL); S 为采样针筒液相体积 (本研究为 40 mL); V_{m} 为 N_2O 气体的摩尔体积; $K_{\text{OEquilibrium}}$ 为平衡时 N_2O 气体的平衡常数, $\text{mol} \cdot (\text{L} \cdot 101\,325 \text{ Pa})^{-1}$, 计算公式为:

$$\ln K_{\text{OEquilibrium}} = -60.7467 + \frac{88.8280}{T/100} + 21.2531 \cdot \ln(T/100) \quad (2)$$

式中, T 为水样温度, K.

基于气体扩散模型的传递系数法计算水气界面 N_2O 排放通量 $[F(\text{N}_2\text{O}), \mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}]$ ^[12,14], 公式为:

$$F(\text{N}_2\text{O}) = k_x (C_{\text{water}} - C_{\text{eq}}) \quad (3)$$

式中, C_{water} 为水样中溶解性气体浓度, C_{eq} 为原位温度下与大气平衡的水中的 N_2O 浓度, 计算公式为:

$$C_{\text{eq}} = p_{\text{Final}} \cdot K_{\text{OEquilibrium}} \quad (4)$$

式中, p_{Final} 为采样时水面上空气的分压.

式(3)中 k_x 为气体交换系数 ($\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$), 并被归一化为施密特数 600, 计算公式为:

$$k_x = k_{600} (Sc/600)^{-x} \quad (5)$$

式中, k_x 为气体交换系数 ($\text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$), x 由风速决定, 风速 $< 3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, $x = 0.66$, 风速 $> 3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, $x = 0.5$. Sc 为给定温度和水密度下气体的施密特数, 公式为:

$$Sc = 2\,055.6 - 137.11t + 4.3173t^2 - 0.054350t^3 \quad (6)$$

式(5)中 k_{600} 为 20 $^{\circ}\text{C}$ 淡水中 N_2O 施密特数为 600 时标

准值, 由风速决定, 计算公式为:

$$k_{600} = 2.07 + 0.215 \times U_{10}^{1.7} \quad (U_{10} < 3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}) \quad (7)$$

$$k_{600} = 0.45 \times U_{10}^{1.64} \quad (3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \leq U_{10} < 5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}) \quad (8)$$

$$k_{600} = 1.68 + 0.228 \times U_{10}^{2.2} \quad (U_{10} \geq 5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}) \quad (9)$$

式中, U_{10} 为水面上高程 10 m 处的风速, 由水面实测风速 U_1 决定, 计算公式为:

$$U_{10} = 1.22U_1 \quad (10)$$

1.4 CDOM 光谱测定

水样经 Millipore 0.22 μm 滤膜过滤, 所得滤液使用 Shimadzu UV-2550 UV-Vis 分光光度仪在 200 ~ 800 nm 波长范围 (间隔为 1 nm) 进行吸收光谱扫描, 得到 CDOM 吸光度, 并换算为吸收系数, 其中 a_{254} 为 CDOM 在波长 254 nm 处的吸收系数, 可用以表征 CDOM 相对丰度^[15].

滤液 (0.22 μm) 采用三维荧光光谱法 (three-dimensional excitation-emission matrices, EEMs) 测定, 使用 Hitachi 公司的 F-7000 型荧光光度计测定 DOM 三维荧光光谱, 通过平行因子分析 (parallel factor analysis, PARAFAC) 将 DOM 的各类荧光成分分解识别出其丰度信息, 进而了解 DOM 完整的光谱组成特征^[15,16]. 三维荧光光谱扫描激发波长范围为 230 ~ 450 nm, 间隔 5 nm, 发射波长范围为 300 ~ 550 nm, 间隔 1 nm. 实验以每日 Milli-Q 超纯水作为空白对照, 以去除拉曼散射峰, 用 drEEM 工具包消除扫描中的瑞利散射峰, 采用激发发射波长对应的吸光度对 EEMs 做内滤波效应校正^[17], 所有 EEMs 以当天超纯水 Milli-Q 空白 EEMs 中 350 nm 激发下荧光强度做定标, 将 EEMs 定标为拉曼单位 Raman unit (R. U.). 将处理后的 EEMs 数据导入 MATLAB R2015b 软件, 利用 drEEM 工具箱结合 PARAFAC 得出组分信息^[18].

1.5 统计分析

本文使用 ArcGIS 10.2 绘制采样点位图, 采用 MATLAB R2015b 下的 drEEM 工具箱进行平行因子分析建模, 并利用 Origin Pro 2018 软件对数据进行统计分析 (分析结果包括平均值、标准差、 t 检验、线性非线性和显著性水平检验拟合等).

2 结果与分析

2.1 太湖表层水体 $c(\text{N}_2\text{O})$ 和 $F(\text{N}_2\text{O})$ 及 NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N 浓度的时空变化特征

太湖表层水体水温有明显的季节变化 [采样期

间冬季平均温度为(5.7 ± 0.6) $^{\circ}\text{C}$, 夏季平均水温为(29.3 ± 1.1) $^{\circ}\text{C}$, 冬季(2月)的 $c(N_2O)$ 均值低于夏季(8月)(t -test, $P < 0.01$), 两次采样期间的 $F(N_2O)$ 均值也是冬季低于夏季(t -test, $P < 0.01$), 整体的变化趋势与 $c(N_2O)$ 相同. 太湖表层水体在夏季 $F(N_2O)$ 出现负值, 说明在夏季出现了部分湖区 N_2O 弱汇的情况. DO 的变化范围为 $4.6 \sim 12.4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 冬季和夏季的两次采样均值分别为(11.3 ± 0.7) $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和(6.9 ± 1.3) $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$. 从空间变化看, $c(N_2O)$ 出现了西北入湖河口区高东南出湖湖湾

低的趋势, 且湖心高于西南及东南湖区. 同样的, 两季节的 $F(N_2O)$ 均有自西北向东南降低的趋势, 这都与流入河流的排放有关. $\rho(\text{NH}_4^+ - \text{N})$ 在冬季变化范围为 $0.03 \sim 1.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 在夏季的变化范围为 $0.4 \sim 0.12 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $\rho(\text{NH}_4^+ - \text{N})$ 的均值冬季均显著高于夏季(t -test, $P < 0.01$). $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$ 在冬季的变化范围为 $0.11 \sim 2.13 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 在夏季的变化范围为 $0.06 \sim 1.26 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. 由图2可知, 在空间尺度上, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度也呈现了与 $c(N_2O)$ 和 $F(N_2O)$ 相同的变化趋势.

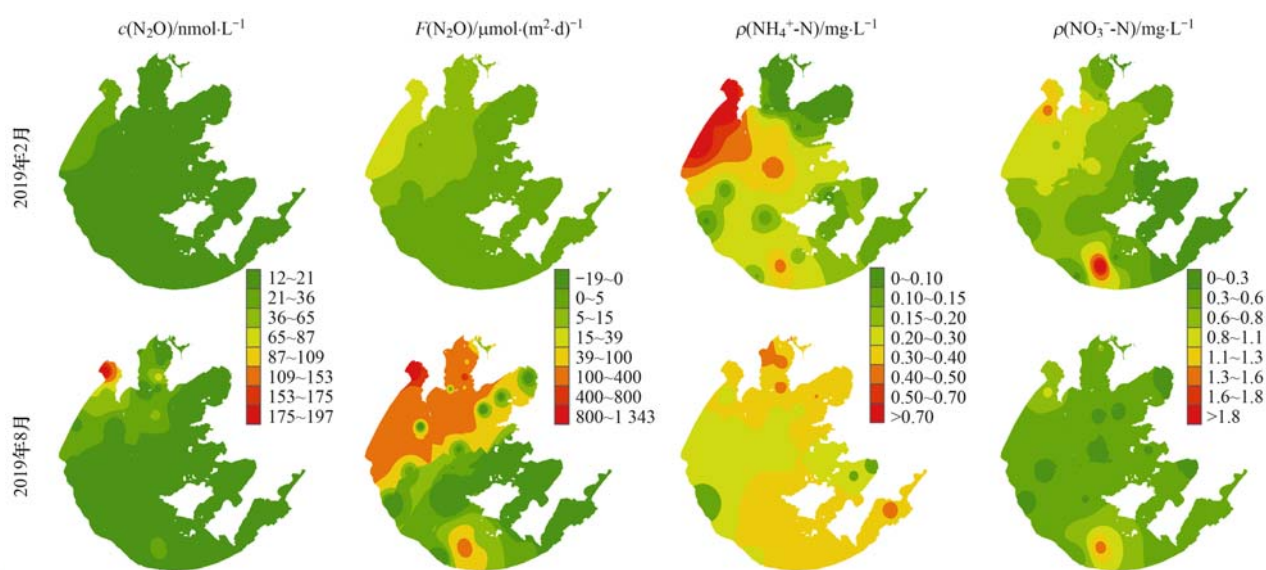


图2 太湖冬季和夏季 $c(N_2O)$ 、 $F(N_2O)$ 、 $\rho(\text{NH}_4^+ - \text{N})$ 和 $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$ 的空间分布

Fig. 2 The $c(N_2O)$, $F(N_2O)$, $\rho(\text{NH}_4^+ - \text{N})$, and $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$ in Lake Taihu in winter and summer

2.2 太湖表层水体 CDOM 变化特征及相关性分析

通过 EEMs-PARAFAC 分析得到了 4 种荧光组分(图3), 包括 C1 陆源类腐殖酸(土壤有机质)^[19], C2 内源类蛋白质类物质(类色氨酸)^[20],

C3 内源类蛋白质类物质(类色氨酸)^[21]及 C4 类酪氨酸^[22]. HIX 值范围在 $0.29 \sim 1.81$, 均值为 0.72 ; BIX 值在 $0.9 \sim 1.3$ 之间; a_{350} 范围在 $1.31 \sim 4.65 \text{ m}^{-1}$; $I_c : I_T$ 范围为 $0.94 \sim 6.17$, 反映太湖

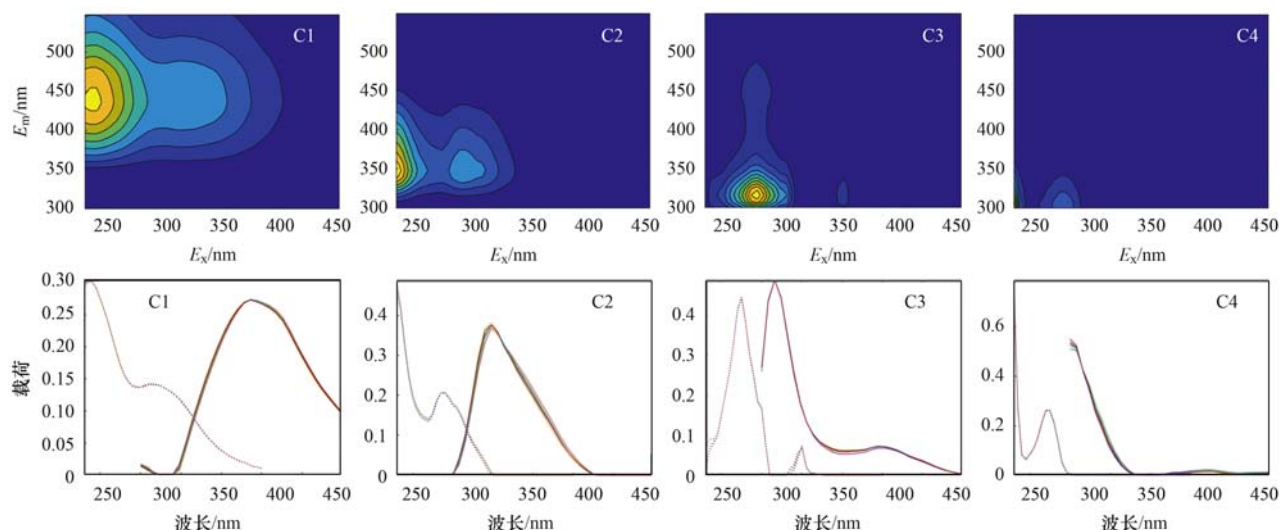


图3 PARAFAC 得到 4 种组分的荧光组分激发发射荧光图谱及对半检验结果

Fig. 3 Excitation and emission fluorescence spectra of the four components derived from PARAFAC-modeling and the half-split validation results

外源腐殖质输入对 DOM 贡献较大. 此外, 冬季 $c(\text{N}_2\text{O})$ 、 $F(\text{N}_2\text{O})$ 与组分 C1 ($r^2 = 0.78, P < 0.01$; $r^2 = 0.80, P < 0.01$) 和 $I_C:I_T$ ($r^2 = 0.49, P < 0.01$;

$r^2 = 0.52, P < 0.01$) 显著正相关(图 4), 说明太湖受外源输入影响大, 因而太湖水体 DOM 腐殖化水平较高^[23].

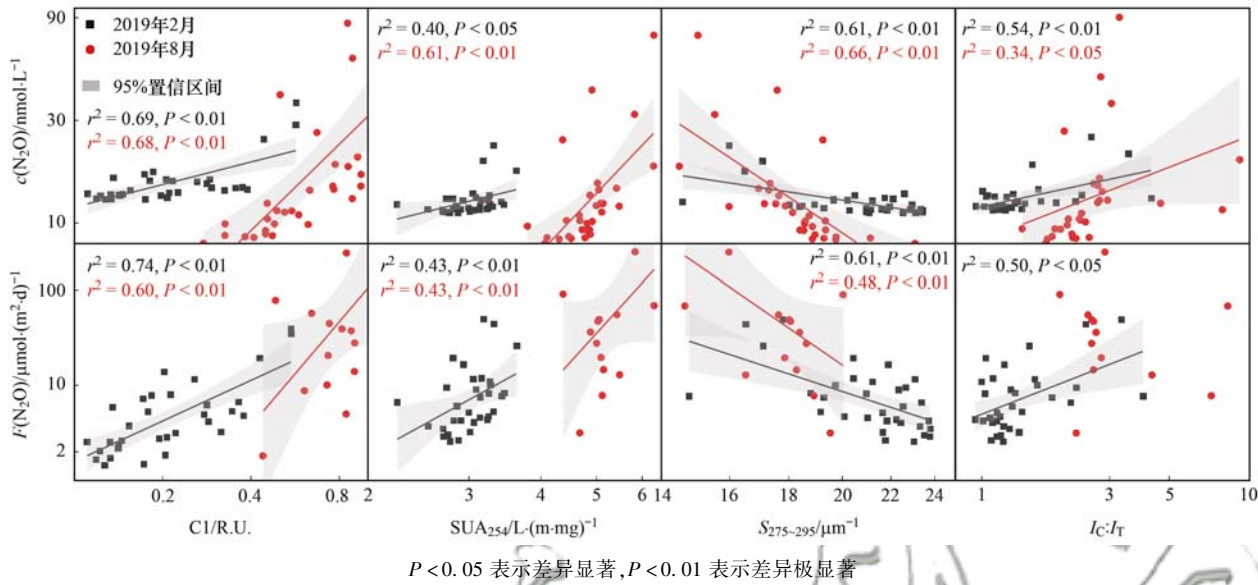


图 4 太湖表层水体 $c(\text{N}_2\text{O})$ 和 $F(\text{N}_2\text{O})$ 与陆源类腐殖酸 C1、 SUVA_{254} 、 $S_{275-295}$ 和 $I_C:I_T$ 的相关性

Fig. 4 Correlation between $c(\text{N}_2\text{O})$, $F(\text{N}_2\text{O})$ and terrestrial humic-like C1, SUVA_{254} , $S_{275-295}$, and $I_C:I_T$ in the surface water of Lake Taihu

2.3 太湖表层水体 $c(\text{N}_2\text{O})$ 和 $F(\text{N}_2\text{O})$ 的相关性分析
太湖表层水体 $c(\text{N}_2\text{O})$ 和 $F(\text{N}_2\text{O})$ 冬季均高于夏季(图 5), 冬季太湖表层水体 $c(\text{N}_2\text{O})$ 、 $F(\text{N}_2\text{O})$ 、

DO 和 DOC 均存在显著相关性(图 6, $P < 0.01$). $c(\text{N}_2\text{O})$ 、 $F(\text{N}_2\text{O})$ 和 DO 存在显著负相关, 随着 DO 的升高 $c(\text{N}_2\text{O})$ 和 $F(\text{N}_2\text{O})$ 显著下降. 微生物硝化作用同

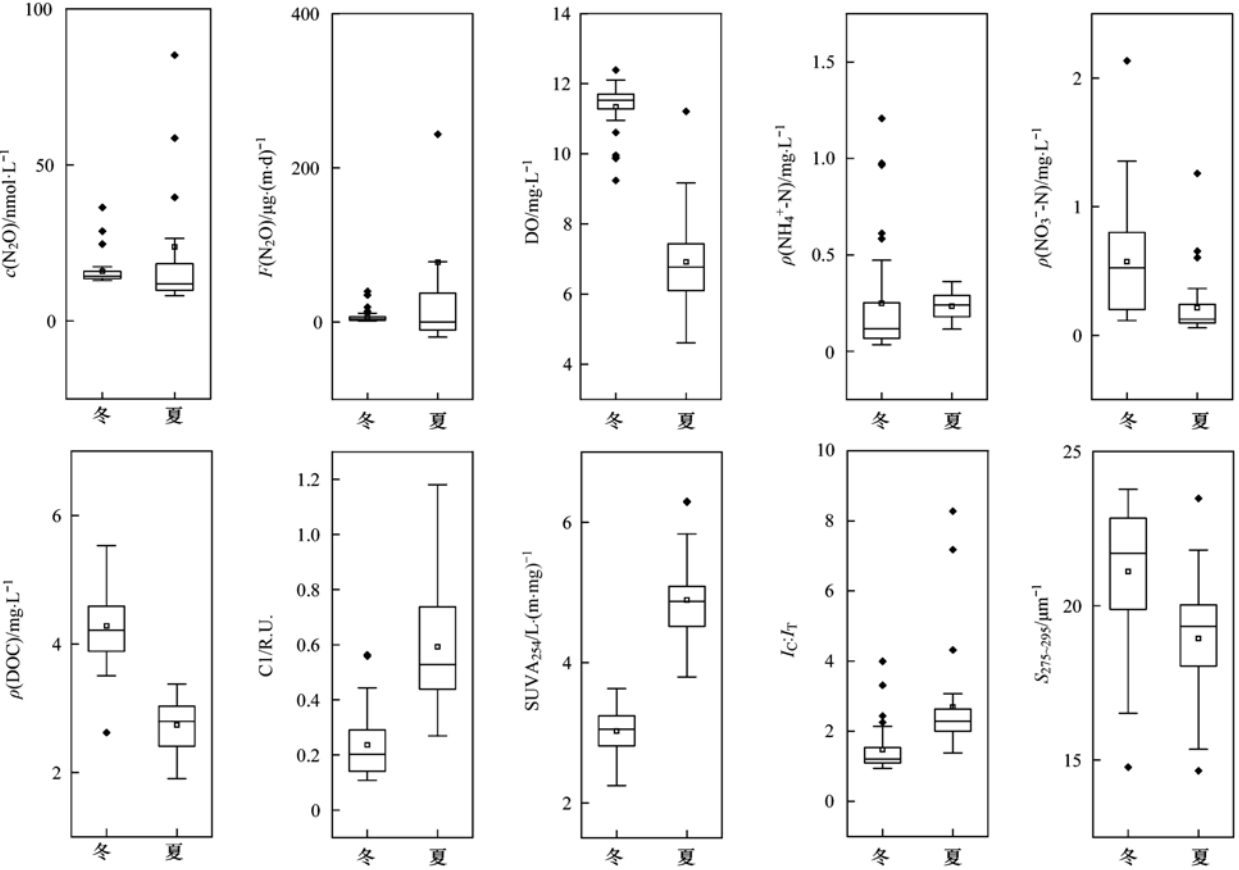


图 5 太湖表层水体不同季节各因子对比

Fig. 5 Comparison of various factors in the surface water of Lake Taihu in different seasons

时产生的 NH_4^+-N 和 NO_3^--N 则与 $c(N_2O)$ 和 $F(N_2O)$ 呈现显著正相关,随着微生物利用有机氮的活动增加,产生的 NH_4^+-N 和 NO_3^--N 使得太湖表层水体中两者浓

度增加,这与太湖向大气中 N_2O 的排放通量变化趋势相同。 $c(N_2O)$ 和 $F(N_2O)$ 与反映了外源有机物输入的指标 DOC 浓度存在显著正相关关系。

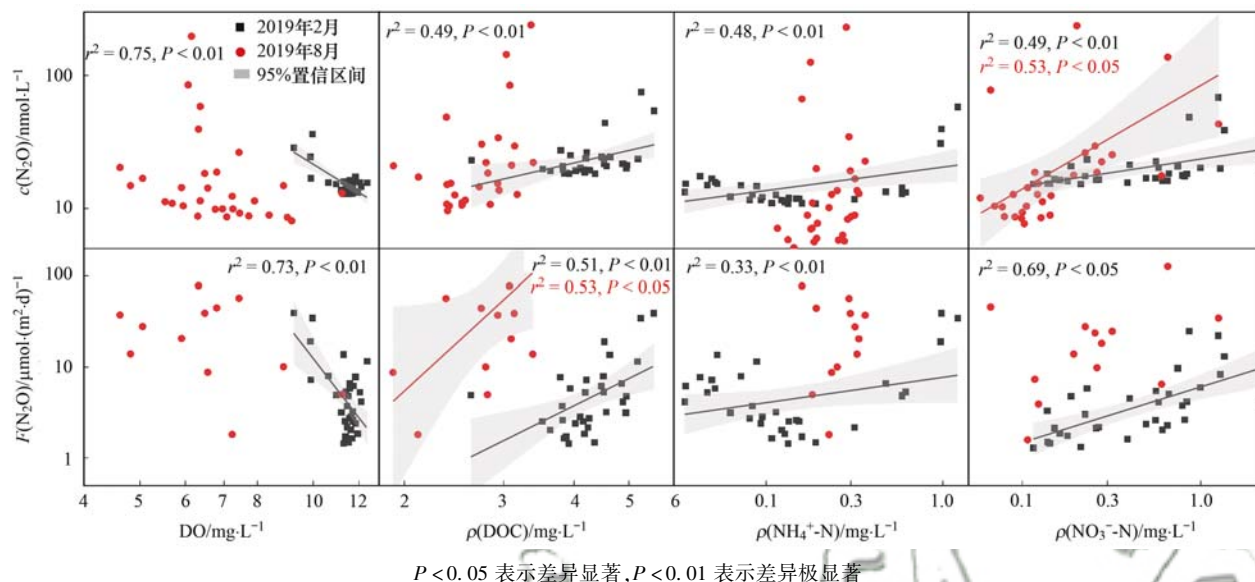


图6 太湖表层水体 $c(N_2O)$ 、 $F(N_2O)$ 和 NH_4^+-N 、 NO_3^--N 、DO、DOC的相关性

Fig. 6 Correlation between $c(N_2O)$, $F(N_2O)$ and components NH_4^+-N , NO_3^--N , DO, and DOC in the surface water of Lake Taihu

2.4 太湖表层水体 $c(N_2O)$ 和 $F(N_2O)$ 的主成分分析
对太湖主要水质参数和 DOM 光谱参数等进行主成分分析,结果表明主成分 PC1 和 PC2 对所有指标解释率为 46.3% 和 25.4% (图 7),即两种主成分可以代表所有变量的绝大多数信息.组分 C1、C2、CDOM 腐殖化指数 HIX、SUVA₂₅₄、 a_{254} 、 a_{350} 、 $c(N_2O)$ 和 $F(N_2O)$ 均与 PC1 正相关,DOC,组分 C3、C4,CDOM 芳香性参数 $S_{275-295}$ 和 CDOM 荧光参数 BIX 均与 PC1 负相关,由于 BIX 代表内源性 CDOM,其值越大,内源性越高, $S_{275-295}$ 与 CDOM 相对分子质

量呈负相关,即 PC1 与外源营养负荷及陆源 DOM 输入呈正相关(图 7).自身源 CDOM 荧光峰和 NO_3^--N 与主成分 PC2 正相关,而 $c(N_2O)$ 和 $F(N_2O)$ 与 PC2 关联性较弱,意味着 PC2 可能与反硝化过程密切相关。

3 讨论

3.1 太湖 $c(N_2O)$ 和 $F(N_2O)$ 的时空变化

通过对太湖表层水体的采集分析,从空间分布看,受河流汇入的氮输入,其西北地区在冬夏两季均有较高的 N_2O 浓度及排放通量,这与 NH_4^+-N 、 NO_3^--N 、DO 和 DOC 的空间变化趋势相同(图 2).陆源 DOC 进入湖泊后积累随后降解(图 2),结合硝化和反硝化作用的产物 NH_4^+-N 和 NO_3^--N 的变化趋势说明其可能是被作为硝化及反硝化作用的末端电子供体^[6].西北区流入太湖流量大且污染严重,有利于该区积累的不稳定 DOC 的降解,从而增加硝化作用和 DO 的消耗^[16],DO 的消耗可能会增加太湖水体中的不完全好氧硝化作用.与 DO 降低密切相关的微生物进行氧化的硝化作用和还原的反硝化作用则可能是 $c(N_2O)$ 和 $F(N_2O)$ 增加的原因(图 6, $P < 0.01$)^[24].此外,西北湖区较高的 NO_3^--N 浓度也可能反映了较强的硝化作用,这也进一步印证了 $c(N_2O)$ 和 $F(N_2O)$ 的增加^[24,25].太湖水温相差较大的冬季和夏季(采样时间分别为 2019 年 2 月和 2019 年 8 月),在很大程度上对太湖表层水体

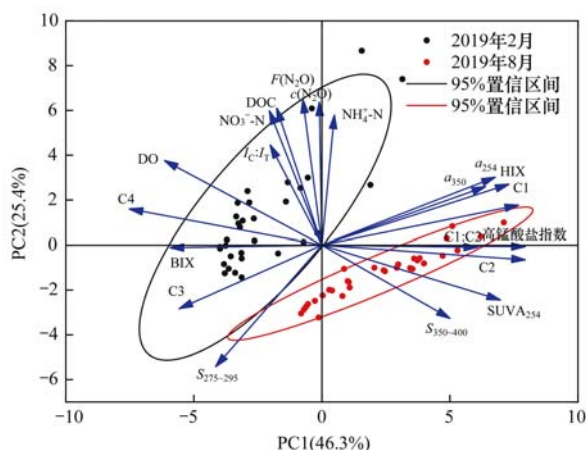


图7 太湖 $c(N_2O)$ 、 $F(N_2O)$ 、水质和 DOM 光谱指标主成分分析

Fig. 7 PCA factor loadings and scores based on $[c(N_2O)]$, $[F(N_2O)]$, water quality, and DOM optical properties for the samples collected from Lake Taihu

$c(\text{N}_2\text{O})$ 和 $F(\text{N}_2\text{O})$ 产生了影响(图2和图5). 通过研究对比, 冬季的 $c(\text{N}_2\text{O})$ 和 $F(\text{N}_2\text{O})$, NH_4^+-N 、 NO_3^--N 、DO和DOC均高于夏季, 这可能是由于气温的升高导致了微生物活动的加剧, DO进一步降低, 使得有机质快速分解释放 N_2O , $c(\text{N}_2\text{O})$ 和 $F(\text{N}_2\text{O})$ 则进一步升高, 这与其相关性分析结果相同, 也与文献[12, 15]的研究结果相似, 这反而与另一种重要的温室气体二氧化碳(CO_2)排放趋势相反^[26]. 低温条件下, 高浓度的DO和 NH_4^+-N 为硝化作用的发生提供了有利条件^[27], 观测到的 $F(\text{N}_2\text{O})$ 与 NH_4^+-N 具有相关性(图6, $P < 0.01$), 这也证实了太湖中微生物的硝化过程主导了 N_2O 的产生与排放^[28].

3.2 太湖营养水平对 $c(\text{N}_2\text{O})$ 和 $F(\text{N}_2\text{O})$ 的影响

重度富营养化的湖泊会承接陆源大量外源氮和磷输入, 太湖的西北部有众多的河流注入, 导致该湖长期处于中度及重度富营养状态^[29], 陆源营养盐输入也同时影响了其营养水平的空间分布. 湖泊的 N_2O 浓度和排放通量与 NH_4^+-N 和 NO_3^--N 等指标呈现显著正相关(图6, $P < 0.01$), 夏季随着太湖流域降雨增多、温度升高, 使得流域中人为活动产生的废水排放进入河流, 这导致了大量的氮、磷元素聚集在湖泊中. 因此, 人类活动能够通过排放营养物质影响湖泊的富营养程度进而驱动 N_2O 的产生和排放^[30]. 与此同时, N_2O 在冬季的排放通量与DO呈现显著负相关(图6, $P < 0.01$), 在夏季两者存在一定的相关关系, 但相关性并不显著, 这说明 N_2O 在夏季的生产和排放不仅受人类活动的影响, 更多影响来自外源无机氮的输入^[1, 31], 外源无机氮进入湖泊后被湖泊微生物利用, 进行微生物的硝化作用, 消耗氧气生成 N_2O , 引起湖泊中 $c(\text{N}_2\text{O})$ 升高并向大气中排放. 与之相似的是, 在夏季微生物自身活动加剧, 微生物硝化及反硝化作用产物 NH_4^+-N 和 NO_3^--N 等均趋于稳定且均值低于冬季(图5), 其受外来营养物质的影响降低, 因而 N_2O 的产生和排放表现出与 NH_4^+-N (图6, $P < 0.01$)和 NO_3^--N (图6, $P < 0.05$)表现出较弱的相关性. Xiao等^[12]的研究结果说明, 太湖 N_2O 排放通量最高的区域为富营养区, 且有较多的人为氮输入, 最低的区域为无外来氮输入的非富营养区, 其研究也说明了 N_2O 排放通量仅在非富营养区存在季节性变化, 且与水温密切相关, 即氮输入和温度共同调节了太湖 N_2O 排放通量的变化. 在冬季太湖的 N_2O 浓度及排放均与DOC显著正相关而与DO显著负相关(图6, $P < 0.01$), 这进一步说明了驱动 N_2O 的产生和排放主导因素由内源有机氮的

产生逐渐变为外源输入. 此外, 由于人为氮输入和水温共同调节 N_2O 排放通量, 富营养化和全球变暖均会增加湖泊 N_2O 的排放^[32]. 总体看来, 太湖的富营养程度会促进 N_2O 的排放和季节条件的变化, 即水温(季节)的变化能够同时主导 N_2O 的产生及排放.

3.3 太湖DOM光谱组成对 $c(\text{N}_2\text{O})$ 和 $F(\text{N}_2\text{O})$ 的影响

湖泊的DOM来源于外源输入的有机质及浮游动植物、微生物的降解分解. 太湖作为典型的大型富营养湖泊, DOM的消解途径则主要是通过微生物的降解, 其DOM来源包括河流输入和雨水输入等外源, 也包括浮游生物降解和底泥释放等内源^[33]. 已有对类似湖泊温室气体释放的调查研究表明, 外源有机质输入累计是控制湖泊 N_2O 产生的重要因素^[34]. 在本研究结果中, 陆源腐殖质组分C1与 N_2O 的排放通量显著正相关(图4, $P < 0.01$), 与类蛋白组分相比较而言, N_2O 排放通量与C1组分具有更密切的关系, 解释了 N_2O 的变异性. 平行因子结果 $I_{\text{C}}: I_{\text{T}}$ 与 $c(\text{N}_2\text{O})$ 和 $F(\text{N}_2\text{O})$ 也均存在正相关关系(图4, $P < 0.01$), 这也指示了太湖DOM较高的陆源腐殖质对 N_2O 的产生排放有更大的贡献, SUVA_{254} 也进一步说明了陆源腐殖质的贡献^[16, 35]. 表征DOM的芳香性指标 $S_{275-295}$ 与 N_2O 的产生和排放均存在显著的负相关性(图4, $P < 0.01$), 说明DOM的芳香性越高, N_2O 的产生和排放量也越高^[36, 37]. 这些结果均说明了湖泊中DOM来源组成对 N_2O 的影响显著存在且DOM对 N_2O 产生和排放的驱动显著.

4 结论

(1) 太湖表层水体 N_2O 的浓度和排放通量表现出的时间及空间异质性强, 其表层水体 $c(\text{N}_2\text{O})$ 均值为 $(19.7 \pm 2.7) \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$, $F(\text{N}_2\text{O})$ 均值为 $(41.1 \pm 1.8) \mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, 两者均表现为夏季高于冬季.

(2) 太湖为大型的富营养化湖泊, 主成分分析得到的PC1组分与外源营养负荷及陆源DOM输入呈正相关, 且与 $c(\text{N}_2\text{O})$ 和 $F(\text{N}_2\text{O})$ 正相关, 即外源营养负荷输入对 N_2O 产生有促进作用且富营养化可能会导致 N_2O 的产生和排放增加.

(3) DOM的输入累积至西北竺山湾等湖湾后降解, 产生溶解性无机氮从而提高水体 N_2O 的产生和排放能力, 其中 N_2O 排放通量与水体类腐殖质组分C1关系显著, 均反映了人类活动对 N_2O 排放的重要影响.

参考文献:

- [1] Amaral V, Ortega T, Romera-Castillo C, et al. Linkages between greenhouse gases (CO_2 , CH_4 , and N_2O) and dissolved organic matter composition in a shallow estuary[J]. Science of

- the Total Environment, 2021, **788**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.147863.
- [2] 吴双, 杨蔚桐, 盛扬悦, 等. 稻田灌溉河流 CH_4 和 N_2O 排放特征及影响因素[J]. 环境科学, 2021, **42**(12): 6014-6024. Wu S, Yang W T, Sheng Y Y, *et al.* Characteristics and influencing factors of the dissolved methane and nitrous oxide concentrations and emissions from a rice paddy drainage river in China[J]. Environmental Science, 2021, **42**(12): 6014-6024.
- [3] Davidson E A. The contribution of manure and fertilizer nitrogen to atmospheric nitrous oxide since 1860[J]. Nature Geoscience, 2009, **2**(9): 659-662.
- [4] Griffis T J, Chen Z C, Baker J M, *et al.* Nitrous oxide emissions are enhanced in a warmer and wetter world[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2017, **114**(45): 12081-12085.
- [5] Kuypers M M M, Marchant H K, Kartal B. The microbial nitrogen-cycling network [J]. Nature Reviews Microbiology, 2018, **16**(5): 263-276.
- [6] Zhou Y Q, Xiao Q T, Zhou L, *et al.* Are nitrous oxide emissions indirectly fueled by input of terrestrial dissolved organic nitrogen in a large eutrophic Lake Taihu, China? [J]. Science of the Total Environment, 2020, **722**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138005.
- [7] Hu M P, Chen D J, Dahlgren R A. Modeling nitrous oxide emission from rivers: a global assessment[J]. Global Change Biology, 2016, **22**(11): 3566-3582.
- [8] 邓欧平, 唐祺超, 叶丽, 等. 川西平原小流域不同水体 N_2O 排放特征及驱动因素[J]. 生态学报, 2021, **41**(23): 9305-9314. Deng O P, Tang Q C, Ye L, *et al.* Characteristics and driving factors of N_2O emission from different waters in a small watershed of the Western Sichuan Plain[J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, **41**(23): 9305-9314.
- [9] Stedmon C A, Thomas D N, Granskog M, *et al.* Characteristics of dissolved organic matter in baltic coastal sea ice: allochthonous or autochthonous origins? [J]. Environmental Science & Technology, 2007, **41**(21): 7273-7279.
- [10] 石玉, 周永强, 张运林, 等. 太湖有色可溶性有机物组成结构对不同水文情景的响应[J]. 环境科学, 2018, **39**(11): 4915-4924. Shi Y, Zhou Y Q, Zhang Y L, *et al.* Response of chromophoric dissolved organic matter composition to different hydrological scenarios in large eutrophic Lake Taihu [J]. Environmental Science, 2018, **39**(11): 4915-4924.
- [11] Yang Y W, Sun P Z, Padhye L P, *et al.* Photo-ammonification in surface water samples: mechanism and influencing factors[J]. Science of the Total Environment, 2021, **759**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.143547.
- [12] Xiao Q T, Xu X F, Zhang M, *et al.* Coregulation of nitrous oxide emissions by nitrogen and temperature in China's third largest freshwater lake (Lake Taihu) [J]. Limnology Oceanography, 2019, **64**(3): 1070-1086.
- [13] Zhang Q J, Liu T, Liu L, *et al.* Distribution and sedimentation of microplastics in Taihu Lake [J]. Science of the Total Environment, 2021, **795**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.148745.
- [14] Davidson T A, Audet J, Svenning J C, *et al.* Eutrophication effects on greenhouse gas fluxes from shallow-lake mesocosms override those of climate warming[J]. Global Change Biology, 2015, **21**(12): 4449-4463.
- [15] Zhou Y Q, Xiao Q T, Yao X L, *et al.* Accumulation of terrestrial dissolved organic matter potentially enhances dissolved methane levels in eutrophic Lake Taihu, China [J]. Environmental Science & Technology, 2018, **52**(18): 10297-10306.
- [16] Qiu Q Y, Wu L F, Ouyang Z, *et al.* Effects of plant-derived dissolved organic matter (DOM) on soil CO_2 and N_2O emissions and soil carbon and nitrogen sequestrations [J]. Applied Soil Ecology, 2015, **96**: 122-130.
- [17] Goffin A, Vasquez-Vergara L A, Guérin-Rechdaoui S, *et al.* Temperature, turbidity, and the inner filter effect correction methodology for analyzing fluorescent dissolved organic matter in urban sewage[J]. Environmental Science and Pollution Research International, 2020, **27**(28): 35712-35723.
- [18] Murphy K R, Stedmon C A, Graeber D, *et al.* Fluorescence spectroscopy and multi-way techniques. PARAFAC [J]. Analytical Methods, 2013, **5**(23): 6557-6566.
- [19] Coble P G. Characterization of marine and terrestrial DOM in seawater using excitation-emission matrix spectroscopy [J]. Marine Chemistry, 1996, **51**(4): 325-346.
- [20] He W, Hur J. Conservative behavior of fluorescence EEM-PARAFAC components in resin fractionation processes and its applicability for characterizing dissolved organic matter [J]. Water Research, 2015, **83**: 217-226.
- [21] Wünsch U J, Murphy K R, Stedmon C A. The one-sample PARAFAC approach reveals molecular size distributions of fluorescent components in dissolved organic matter [J]. Environmental Science & Technology, 2017, **51**(20): 11900-11908.
- [22] Kusakabe T, Ikeda K, Shimizu Y, *et al.* Seasonal and spatial variations in characteristics of Lake Biwa dissolved organic matter: sorption of pyrene and its derivatives and fluorescence properties[J]. Water Science & Technology, 2008, **58**(8): 1609-1614.
- [23] 张运林, 朱广伟, 秦伯强, 等. 有色可溶性有机物 (CDOM) 吸收作为湖库化学需氧量监测替代指标的探讨[J]. 湖泊科学, 2020, **32**(6): 1575-1584. Zhang Y L, Zhu G W, Qin B Q, *et al.* Application feasibility of chromophoric dissolved organic matter (CDOM) absorption coefficient as the substitute for chemical oxygen demand concentration in lakes and reservoirs [J]. Journal of Lake Sciences, 2020, **32**(6): 1575-1584.
- [24] Su X X, Wen T, Wang Y M, *et al.* Stimulation of N_2O emission via bacterial denitrification driven by acidification in estuarine sediments[J]. Global Change Biology, 2021, **27**(21): 5564-5579.
- [25] Wang X, Liu T, Wang L, *et al.* Spatial-temporal variations in riverine carbon strongly influenced by local hydrological events in an alpine catchment[J]. Biogeosciences, 2021, **18**(10): 3015-3028.
- [26] Sobek S, Algesten G, Bergström A K, *et al.* The catchment and climate regulation of pCO_2 in boreal lakes [J]. Global Change Biology, 2003, **9**(4): 630-641.
- [27] Zhang G L, Zhang J, Liu S M, *et al.* Nitrous oxide in the Changjiang (Yangtze River) Estuary and its adjacent marine area: riverine input, sediment release and atmospheric fluxes [J]. Biogeosciences, 2010, **7**(11): 3505-3516.
- [28] Li S Y, Bush R T, Santos I R, *et al.* Large greenhouse gases emissions from China's lakes and reservoirs[J]. Water Research, 2018, **147**: 13-24.
- [29] Tao Y Q. Eutrophication-induced regime shifts reduced sediment burial ability for polycyclic aromatic hydrocarbons: evidence from Lake Taihu in China[J]. Chemosphere, 2021, **271**, doi: 10.

- 1016/j.chemosphere.2021.129709.
- [30] Zhu D, Chen H, Yuan X Z, *et al.* Nitrous oxide emissions from the surface of the Three Gorges Reservoir [J]. Ecological Engineering, 2013, **60**: 150-154.
- [31] Bartosiewicz M, Maranger R, Przytulska A, *et al.* Effects of phytoplankton blooms on fluxes and emissions of greenhouse gases in a eutrophic lake[J]. Water Research, 2021, **196**, doi: 10.1016/j.watres.2021.116985.
- [32] Outram F N, Hiscock K M. Indirect nitrous oxide emissions from surface water bodies in a lowland arable catchment: a significant contribution to agricultural greenhouse gas budgets? [J]. Environmental Science & Technology, 2012, **46** (15): 8156-8163.
- [33] Zhang Y L, Wu Z, Liu M L, *et al.* Dissolved oxygen stratification and response to thermal structure and long-term climate change in a large and deep subtropical reservoir (Lake Qiandaohu, China) [J]. Water Research, 2015, **75**: 249-258.
- [34] Zhang W S, Li H P, Xiao Q T, *et al.* Urban rivers are hotspots of riverine greenhouse gas (N_2O , CH_4 , CO_2) emissions in the mixed-landscape chaohu lake basin[J]. Water Research, 2021, **189**, doi: 10.1016/j.watres.2020.116624.
- [35] 张柳青, 石玉, 李元鹏, 等. 不同水文情景下高邮湖、南四湖和东平湖有色可溶性有机物的生物可利用性特征[J]. 环境科学, 2020, **41**(5): 2149-2157.
- Zhang L Q, Shi Y, Li Y P, *et al.* Bioavailability characteristics of chromophoric dissolved organic matter in lake gaoyou, lake nansi, and lake dongping under different hydrological scenarios [J]. Environmental Science, 2020, **41**(5): 2149-2157.
- [36] Shao T T, Wang T. Effects of land use on the characteristics and composition of fluvial chromophoric dissolved organic matter (CDOM) in the Yiluo River watershed, China[J]. Ecological Indicators, 2020, **114**, doi: 10.1016/j.ecolind.2020.106332.
- [37] Nezlin N P, Beegan C, Feit A, *et al.* Colored Dissolved Organic Matter (CDOM) as a tracer of effluent plumes in the coastal ocean[J]. Regional Studies in Marine Science, 2020, **35**, doi: 10.1016/j.rsma.2020.101163.



CONTENTS

Characteristics of PM _{2.5} Pollution in Beijing During the Historical Period of the 2022 Olympic Winter Games	LIU Yue-chen, MAN Rui-qi, QIU Yan-ting, <i>et al.</i>	(3895)
Observation Analyses of Aerosol Size Distribution Properties from February to March, 2019 in Tianjin Urban Area	HAO Jian, CAI Zi-ying, LIU Jing-le, <i>et al.</i>	(3903)
Analysis of Typical Weather Circulation Patterns of Heavy PM _{2.5} Pollution and the Transport Pattern in the Yangtze River Middle Basin	WANG Ying, ZHI Xie-fei, BAI Yong-qing, <i>et al.</i>	(3913)
Characteristics of Heavy Metals and Other Elements in Atmospheric Dry and Wet Deposition and Health Risk Assessment of a Typical Industrial and Mining City in Central Yunnan	FAN Chen-zi, LIU Yong-bing, YUAN Ji-hai, <i>et al.</i>	(3923)
Characteristics and Reactivity of VOCs in a Typical Industrial City in Summer	QIN Tao, LI Li-ming, WANG Xin-wu, <i>et al.</i>	(3934)
Chemical Reaction Activity and Source Apportionment of Atmospheric VOCs in Summer in Dalian	ZHU Ke-xin, LIU Li-zhong, LIU Huan-wu, <i>et al.</i>	(3944)
One-year Simulation of Air Pollution in Central China, Characteristics, Distribution, Inner Region Cross-transmission, and Pathway Research in 18 Cities	LIU Guang-jin, SU Fang-cheng, XU Qi-xiang, <i>et al.</i>	(3953)
Characteristics of Ozone Pollution, Meteorological Impact, and Evaluation of Forecasting Results Based on a Neural Network Model in Beijing-Tianjin-Hebei Region	ZHU Yuan-yuan, LIU Bing, GUI Hai-lin, <i>et al.</i>	(3966)
Temporal and Spatial Variations in Black Carbon Aerosol in Different Atmospheric Background Stations in China from 2006 to 2020	WANG Hong-lei, YAN Xue, SHEN Li-juan, <i>et al.</i>	(3977)
Pollution Characteristics and Emission Factors of PCDD/Fs from Iron and Steel Industry	YANG Yan-yan, XIE Dan-ping, FU Jian-ping, <i>et al.</i>	(3990)
Community Composition and Assessment of the Aquatic Ecosystem of Periphytic Algae in the Yangtze River Basin	HU Yu-xin, CAO Liang, QU Ren-chao, <i>et al.</i>	(3998)
Evaluation and Source Analysis of Heavy Metal Pollution in Sediments of the Yellow River Basin Based on Monte Carlo Simulation and PMF Model	PANG Kuo, LI Min, LIU Lu, <i>et al.</i>	(4008)
Retention Effect of Heavy Metals in Rivers of a Typical Mountainous City by Cascade Weirs; A Case Study of Liangtan River in Chongqing	WANG Chao, JIA Bo-yang, PAN Cheng-yong, <i>et al.</i>	(4018)
Estimation of Agricultural Non-point Source TN and TP Export Coefficients Based on Soil Loss	WANG You-xiao, HUANG Chong, LIU Gao-huan, <i>et al.</i>	(4032)
Influence of Land Use and Land Cover Patterns on Water Quality at Different Spatio-temporal Scales in Hehuang Valley	LI Hao-hao, HUANG Yi-mei, GUO Wei, <i>et al.</i>	(4042)
Groundwater Pollution Source Identification by Combination of PMF Model and Stable Isotope Technology	ZHANG Han, DU Xin-yu, GAO Fei, <i>et al.</i>	(4054)
Antibiotic Pollution Characteristics and Ecological Risk Assessment in Jinjiang River Basin, Jiangxi Province	LI Jia-le, WANG Meng, HU Fa-wang, <i>et al.</i>	(4064)
Screening and Control Measures for New Priority Pollutants in Surface Water of Tianjin	WU Yan-qi, SONG Shuai, SHI Ya-juan, <i>et al.</i>	(4074)
Contamination Characteristics and Ecological Risk Assessment of Pharmaceuticals and Personal Care Products (PPCPs) in the Third Drain of Ningxia	LI Fu-juan, GAO Li, LI Ling-yun, <i>et al.</i>	(4087)
Analysis of the Seasonal Changes in Planktonic Microbial Diversity in Urban River Supplied with Reclaimed Water: A Case Study of the North Canal River	YUAN Xun-chao, WANG Min, GUO Xiao-yu, <i>et al.</i>	(4097)
Spectroscopic and Molecular Characterization of Water Soluble Organic Matter from Sediments in the Macrophyte-dominated and Algae-dominated Zones of Taihu Lake	DU Ying-xun, DAI Jia-ru, ZHANG Qiao-ying, <i>et al.</i>	(4108)
Emission of Nitrous Oxide (N ₂ O) from Lake Taihu and the Corresponding Potential Driving Factors	LIU Chao-rong, ZHU Jun-yu, LI Yu-yang, <i>et al.</i>	(4118)
Pollution Characteristics and Risk Assessment of Heavy Metals in the Bioretention Systems of Sponge Cities	LEI Xiao-ling, QIU Li-na, WEI Ze-jun, <i>et al.</i>	(4127)
Treatment Effect of Corncob and Rice Straw Enhanced Subsurface Flow Constructed Wetland on Low C/N Ratio Wastewater	HU Man-li, HAO Qing-ju, MA Rong-zhen, <i>et al.</i>	(4136)
Investigation of the Performance of Organic Contaminant Degradation by Fe ²⁺ /PDS Under Environmentally Relevant pH Conditions	LIU Ying, GUO Yi-wei, QIAO Jun-lian, <i>et al.</i>	(4146)
Typical Pesticide Residues and Their Risk Assessment in Farmland Environment of Different Plant Types in Shaya County, Xinjiang	XIE Xuan-xuan, NUERLA Ailijiang, BALATI Maihemuti, <i>et al.</i>	(4154)
Distribution Characteristics of Antibiotics and Antibiotic Resistance Genes in Manure and Surrounding Soil of Poultry Farm in Ningxia	SHEN Cong, ZHANG Jun-hua, LIU Ji-li, <i>et al.</i>	(4166)
Enrichment Factors of Soil-Se in the Farmland in Shizuishan City, Ningxia	WANG Ying, LIU Hai-yan, WANG Ze-jing, <i>et al.</i>	(4179)
Zoning and Safe Utilization Method of Heavy Metal Contaminated Cultivated Land at Block Scale	WANG Rui, YU Jing, LI Yu, <i>et al.</i>	(4190)
Spatial Distribution, Source Apportionment, and Ecological Risk Assessment of Soil Heavy Metals in Jianghugongmi Producing Area, Shandong Province	YU Lin-song, WAN Fang, FAN Hai-yin, <i>et al.</i>	(4199)
Assessing the Lead Accumulation Risks of Wheat Grain by Developing a Source-Specific Accumulation Risk Assessment Model	YANG Yang, LI Yan-ling, NIU Shuo, <i>et al.</i>	(4212)
Accumulation Effects and Health Risks of Heavy Metals in Rice in Location-based Cadmium Anomaly Area in Liuzhou	ZHU Liang-liang, WANG Fu-peng, TANG Le-bin, <i>et al.</i>	(4219)
Accumulation and Transport Characteristics of Cd, Pb, Zn, and As in Different Maize Varieties	REN Chao, XIAO Jian-hui, LI Jing-tian, <i>et al.</i>	(4232)
Remediation Potential of <i>Taraxacum kok-saghyz</i> Rodin on Lead and Cadmium Contaminated Farmland Soil	ZHANG Heng, XIONG Ming-biao, WANG Qian-xin, <i>et al.</i>	(4253)
Remediation Potential of Three Dwarf Bamboos on Farmland Soils Contaminated with Mixed Heavy Metals	ZHANG Ying, ZHAO Xin, ZHANG Sheng-hu, <i>et al.</i>	(4262)
Impacts of Uptake and Accumulation of Cd on Double Rice-Paddy Soil by Silicon Fertilizer Continuous Application	PENG Hua, DENG Kai, SHI Yu, <i>et al.</i>	(4271)
Effect of Modified Chitosan Loaded with Silica on Arsenic Uptake and Transport in Rice	YANG Jia-yi, SUN Meng-qiang, XIAO Yu-tang, <i>et al.</i>	(4282)
Effect of Chelating Agents and Organic Acids on Remediation of Cadmium and Arsenic Complex Contaminated Soil Using <i>Xanthium sibiricum</i>	ZHANG Ya-rui, HUANG Yi-zong, BAO Qiong-li, <i>et al.</i>	(4292)
Effects of Water Management on the Transformation of Iron Oxide Forms in Paddy Soils and Its Coupling with Changes in Cadmium Activity	LI Ming-yuan, ZHANG Xiao-ting, LIU Han-yi, <i>et al.</i>	(4301)
Effects of Iron Intensity-regulated Root Microbial Community Structure and Function on Cadmium Accumulation in Rice	ZHENG Shen, HUANG Dao-you, LI Bo, <i>et al.</i>	(4313)
Effects of Mulching and Slow-release Fertilizer Application Reduction on Soil Microbial Community Structure in Rapeseed Field Under Two Different Rainfall Conditions	FENG Jun, SHI Chao, Hafiz Athar Hussain, <i>et al.</i>	(4322)
High-Throughput Sequencing Combined with Metabonomics to Analyze the Effect of Heavy Metal Contamination on Farmland Soil Microbial Community and Function	PANG Fa-hu, LI Xiao-qi, DUAN Li-yang, <i>et al.</i>	(4333)
Characteristics of Microbial Community Structure in the Surrounding Farmlands of a Mercury Mining Area and Its Environmental Driving Factors	CHEN Fen, YU Gao, SUN Yue-bing, <i>et al.</i>	(4342)
Comparison of Bacterial Community Structure in Soil Aggregates Between Natural Karst Wetland and Paddy Field	LENG Meng, JIN Zhen-jiang, XIAO Xiao-yi, <i>et al.</i>	(4353)
Elevational Pattern and Control Factors of Soil Microbial Carbon Use Efficiency in the Daiyun Mountain	LÜ Kun, WANG Jing-jing, WU Guo-peng, <i>et al.</i>	(4364)
Effect of Long-term Straw Returning on the Mineralization and Priming Effect of Rice Root-carbon	LIU Feng, WANG Yun-qiu, ZHANG Yun, <i>et al.</i>	(4372)
Effects of Straw Returning and Biochar Application on Summer Maize Yield and Soil N ₂ O Emission in Guanzhong Plain	BAI Jin-ze, LIU Zhen-yuan, SONG Jia-jie, <i>et al.</i>	(4379)
Effects of Polystyrene Nanoplastics (PS-NPs) on the Physiology of <i>Allium sativum</i> L.	QIU Chen-chen, LI Guo-xin, LI Qing-song, <i>et al.</i>	(4387)
Effect of Microplastics on Soil Water Infiltration and Evaporation	WANG Zhi-chao, ZHANG Bo-wen, NI Jia-xuan, <i>et al.</i>	(4394)
Life Cycle Assessment and Key Parameter Comparison of Hydrogen Fuel Cell Vehicles Power Systems	CHEN Yi-song, LAN Li-bo, HAO Zhuo, <i>et al.</i>	(4402)