

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第39卷 第8期

Vol.39 No.8

2018

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

我国城市 PM _{2.5} 污染的健康风险及经济损失评价	李惠娟, 周德群, 魏永杰 (3467)
冬季电力行业对长江中游城市群空气质量影响	孙晓伟, 郭秀锐, 程水源 (3476)
基于区域传输矩阵和 PM _{2.5} 达标约束的大气容量计算方法	李敏辉, 廖程浩, 杨柳林, 曾武涛, 唐喜斌 (3485)
利用 SPAMS 研究天津市夏季环境空气中细颗粒物化学组成特征	温杰, 史旭荣, 田瑛泽, 徐娇, 史国良, 冯银厂 (3492)
重庆市北碚城区气溶胶中有机碳和元素碳的污染特征	彭小乐, 郝庆菊, 温天雪, 吉东生, 刘子锐, 王跃思, 陈建博, 江长胜 (3502)
杭甬地区大气中含碳气溶胶特征及来源分析	徐宏辉, 徐婧莎, 何俊, 浦静姣, 齐冰, 杜荣光 (3511)
城市生活垃圾露天焚烧 PM _{2.5} 及其组分排放特征	王艳, 郝伟伟, 程珂, 支国瑞, 易鹏, 樊静, 张洋 (3518)
民用燃煤排放分级颗粒物中碳组分排放因子	杨国威, 孔少飞, 郑淑睿, 吴剑, 郑明明, 郑煌, 严沁, 刘海彪, 王伟, 吴方琪, 程溢 (3524)
大连地区夏季非甲烷烃 (NMHC) 特征及其来源解析	纪德钰 (3535)
“十三五”挥发性有机物总量控制情景分析	张嘉妮, 陈小方, 梁小明, 柯云婷, 范丽雅, 叶代启 (3544)
浙江省包装印刷行业挥发性有机物排放特征及排放系数	王家德, 吕建璋, 李文娟, 顾震宇, 缪孝平 (3552)
有机溶剂使用企业挥发性恶臭有机物排放特征及特征物质识别	翟增秀, 孟洁, 王巨, 翟友存, 曹阳, 邹克华 (3557)
基于 MODIS_C006 的乌鲁木齐 10 年气溶胶光学厚度变化特征	胡俊, 亢燕铭, 陈勇航, 刘鑫, 李霞, 刘琼 (3563)
基于路网车流量的北京城市副中心机动车污染控制情景	樊守彬, 郭津津, 李雪峰 (3571)
北京典型跑步区域空气污染特征及跑步者呼吸暴露	陶双成, 高硕吟, 熊新竹, 姚嘉林, 邓顺熙 (3580)
丹江口水库调水前后表层沉积物营养盐和重金属时空变化	李冰, 王亚, 郑钊, 许信, 辛英督, 黄进, 郭诗君, 毕升阁, 胡兰群, 陈兆进, 李玉英 (3591)
太湖北部湖区春、冬季节天然有机质的荧光特征及环境意义	吕伟伟, 姚昕, 张保华 (3601)
太湖重点区域水环境中邻苯二甲酸酯的污染水平及生态风险评价	朱冰清, 高占啟, 胡冠九, 王骏飞, 于南洋, 韦斯 (3614)
台风强降雨输入水源水库悬浮泥沙的氮磷吸附特性	姚玲爱, 赵学敏, 马千里, 梁荣昌, 夏北成, 卓琼芳 (3622)
珠江三角洲高碑地下水赋存环境特征及成因分析	张昌延, 何江涛, 张小文, 倪泽华 (3631)
有机污染物对杭州湾海域浮游细菌群落的影响	宣丽霞, 戴文芳, 郁维娜, 周素明, 欧昌荣, 熊金波 (3640)
澜沧江流域浮游细菌群落结构特征及驱动因子分析	程豹, 望雪, 徐雅倩, 杨正健, 刘德富, 马骏 (3649)
碧流河水库细菌群落结构特征及其关键驱动因子	王欢, 赵文, 谢在刚, 魏杰, 姜洋 (3660)
浑河底泥反硝化厌氧甲烷氧化菌群落多样性的时空分布特征及其与环境因子关系分析	张亚迪, 宋永会, 彭剑桥, 张剑桥, 张盼月, 刘瑞霞, 石国强 (3670)
人类活动对河流沉积物中反硝化厌氧甲烷氧化菌群落特征的影响	刘洋, 陈永娟, 王晓燕, 许康利 (3677)
外源氮输入对不同土地利用排水沟底泥反硝化和 N ₂ O 排放影响	余冬立, 陈心逸, 高雪梅, 张文娟, 夏永秋 (3689)
雨水管道沉积物沉淀特性及主要污染物含量分布	尚宇, 周毅, 廖安意, 方正 (3696)
水体中 Cr(VI) 对不同混凝剂混凝过程的影响	高倩, 张大为, 徐慧, 徐建坤, 张崇森, 王东升 (3704)
Co ₃ O ₄ /BiVO ₄ 复合阳极活化过一硫酸盐强化光电催化降解双酚 A	李蒋, 王雁, 张秀芳, 赵旭 (3713)
海藻酸钙/生物炭复合材料的制备及其对 Pb(II) 的吸附性能和机制	于长江, 董心雨, 王苗, 林强 (3719)
磁性生物炭对水中 CIP 和 OFL 的吸附行为和机制	赵华轩, 郎印海 (3729)
污水中新精神活性物质的分析方法优化及验证	陈培培, 杜鹏, 周子雷, 徐泽琼, 高婷婷, 李喜青 (3736)
臭氧-CNT 膜改性联用工艺对 PVDF 中空纤维膜污染进程的缓解	关羽琪, 王凯伦, 祝学东, 董丹, 薛小雷, 马艳林, 栾桂荣, 郭瑾 (3744)
阴离子交换树脂生物再生去除硝酸盐氮	叶婷, 张光, 王珂, 双陈冬, 李爱民 (3753)
普鲁士蓝@酵母菌催化剂的合成及其 Fenton 性能	陈思, 白波, 王洪林, 索有瑞 (3759)
PN/A 双菌层系统的构建及其脱氮性能	许静怡, 杜俊, 杨一峰, 吕峰, 夏四清 (3767)
苯酚对 EBPR 系统除磷性能的抑制作用	马娟, 王瑾, 俞小军, 周猛, 李光银, 孙洪伟 (3775)
反硝化-短程硝化-厌氧氨氧化工艺处理晚期垃圾渗滤液的脱氮除碳性能	王凡, 陆明羽, 殷记强, 李祥, 黄勇 (3782)
好/厌氧条件下反硝化细菌脱氮特性与功能基因	康鹏亮, 陈胜男, 黄廷林, 张海涵, 商潘路, 刘珍芳, 王跃, 谭欣林 (3789)
苯并[a]芘厌氧降解的苯酚共基质协同作用与污泥微生物特性	吴海珍, 胡肖怡, 王鸣, 韦景悦, 范一文, 韦朝海, 钟练文, 彭亚环 (3797)
污泥超高温堆肥过程中 DOM 结构的光谱分析	刘晓明, 余震, 周普雄, 罗海林, 王跃强, 廖汉鹏, 周顺桂 (3807)
生物炭对华北农田土壤 N ₂ O 通量及相关功能基因丰度的影响	刘杏认, 赵光昕, 张晴雯, 田秀平 (3816)
设施菜田土壤 N ₂ O 产生对 O ₂ 的响应	陈吉吉, 宋贺, 曹文超, 王乙然, 王敬国 (3826)
利用 μ -XRF 和 XANES 研究铅锌矿区土壤铅形态及其生物有效性	孙晓艳, 柳检, 罗立强 (3835)
南京市铅锌矿采矿场土壤重金属污染评价及优势植物重金属富集特征	李俊凯, 张丹, 周培, 刘群录 (3845)
Fe-Al 改性硅藻土的制备及其对土壤 Cd 污染固定化效果	杨雨中, 朱健, 肖媛媛, 谭蓉, 王平, 陈润华, 徐海音, 杨雄 (3854)
基于稳定碳同位素技术的干旱区绿洲土壤有机碳向无机碳的转移	李杨梅, 贡璐, 安申群, 孙力, 陈新 (3867)
生境过滤驱动庞泉沟华北落叶松林土壤真菌群落的构建过程	赵鹏宇, 李鑫, 柴宝峰 (3876)
转 cry1Ab 和 epsps 基因玉米 C0030.3.5 对土壤固氮细菌丰度和群落结构的影响	王蕊, 朱珂, 李刚, 刘惠芬, 王晶, 修伟明, 赵建宁, 杨殿林 (3885)
脱硫石膏对稻田 CH ₄ 释放及其功能微生物种群的影响	胡翔宇, 向秋洁, 木志坚 (3894)
长期施肥对不同深度稻田土壤碳氮水解酶活性的影响特征	杜林森, 唐美铃, 祝贞科, 魏亮, 魏晓梦, 周萍, 葛体达, 王久荣, 邹冬生, 吴金水 (3901)
黄河口滨岸潮滩湿地泥沙沉积及外源 Cd 输入对碱蓬物质量分配及抗氧化酶活性的影响	宋红丽, 王立志, 郁万妮, 吴希媛 (3910)
黄河下游开封段引黄灌区小麦中重金属污染特征及健康风险评价	康国华, 张鹏岩, 李颜颜, 杨丹, 庞博, 何坚坚, 闫宇航 (3917)
氧化石墨烯对邻苯二甲酸二丁酯藻毒性的影响	涂海峰, 刘成, 王宇擎, 储祺, 侯晓冬, 李锋民 (3927)
有机物对厌氧氨氧化微生物燃料电池脱氮产电性能的影响	祖波, 马兰, 刘波, 卢培利, 许君 (3937)
中国氢燃料电池车燃料生命周期的化石能源消耗和 CO ₂ 排放	林婷, 吴焯, 何晓婧, 张少君, 郝吉明 (3946)
气溶胶水相反应生成二次有机气溶胶研究进展	叶招莲, 瞿珍秀, 马帅帅, 盖鑫磊 (3954)
《环境科学》征订启事 (3543)	
《环境科学》征稿简则 (3570)	
信息 (3600, 3728, 3844)	

外源氮输入对不同土地利用排水沟底泥反硝化和 N_2O 排放影响

余冬立^{1,2}, 陈心逸¹, 高雪梅¹, 张文娟¹, 夏永秋^{2*}

(1. 河海大学农业工程学院, 南方地区高效灌排与农业水土环境教育部重点实验室, 南京 210098; 2. 中国科学院南京土壤研究所, 土壤与农业可持续发展国家重点实验室, 南京 210008)

摘要: 农田排水沟通过底泥硝化-反硝过程可消纳部分农业面源氮。水稻、蔬菜和水果是太湖地区种植业的主要土地利用类型, 各种植区排水河沟密布, 且不同种植区沟道接受外源氮差异明显, 直接影响沟道消纳能力。分别采集太湖地区果园、稻田和菜地种植区排水沟道沉积物, 设计上覆水 N_0 、 N_1 、 N_2 、 N_3 和 N_4 这 5 个外源 NO_3^- -N 输入梯度, 净氮输入量分别为 0、0.5、1.0、5.0 和 10 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 开展室内培养试验, 研究外源氮输入对不同土地利用区排水沟道底泥反硝化和 N_2O 排放的影响。结果表明, 外源氮输入激发了排水沟底泥反硝化作用, 3 条沟道底泥反硝化速率均随上覆水 NO_3^- -N 输入浓度增大显著增大 ($P < 0.05$), 底泥累积反硝化量与输入 NO_3^- -N 浓度呈显著线性正相关关系 ($R^2 > 0.75$); 除菜地外, 沟道底泥 N_2O 排放速率和累积排放量随外源 NO_3^- -N 输入浓度增大均无显著增大趋势 ($P > 0.05$)。在无外源氮或低外源氮输入时 (N_0 和 N_1), 果园、菜地和稻田种植区 3 种沟道之间底泥反硝化和 N_2O 排放累积损失氮量的差异不显著 ($P > 0.05$)。随 NO_3^- -N 输入浓度增大, 特别是高外源氮输入 (N_3 和 N_4) 条件下, 果园和稻田排水沟道底泥反硝化消纳氮量显著高于菜地沟道底泥反硝化损失氮量 ($P < 0.05$), 而菜地排水沟底泥 N_2O 排放损失氮量显著高于其它 2 条沟道底泥的 N_2O 排放损失氮量 ($P < 0.05$)。排水沟底泥有机碳矿化速率与反硝化损失速率成正相关关系 ($n = 15$), 微生物矿化 (CO_2 -C) 作用促进了沟道底泥硝化反硝过程。

关键词: 面源污染; 沟道; 反硝化; N_2O 排放; 土地利用

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2018)08-3689-07 DOI: 10.13227/j.hjxx.201709100

Impact of Exogenous Nitrogen Import on Sediment Denitrification and N_2O Emissions in Ditches Under Different Land Uses

SHE Dong-li^{1,2}, CHEN Xin-yi¹, GAO Xue-mei¹, ZHANG Wen-juan¹, XIA Yong-qiu^{2*}

(1. Key Laboratory of Efficient Irrigation-Drainage and Agricultural Soil-Water Environment in Southern China, Ministry of Education, College of Agricultural Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract: Farmland drainage ditch soil can consume part of the agricultural non-point nitrogen through nitrification-denitrification processes. Paddy fields, vegetable land, and orchards are the main types of land uses in the Taihu Lake region, and many drainage ditches are distributed across these lands. The way exogenous nitrogen is imported to drain ditches under different land uses differs significantly, which can directly affect the nitrogen consumption ability of the channels. A soil incubation experiment was conducted under laboratory conditions to study the denitrification loss and N_2O emissions of drainage ditch soil under different land uses. In this study, drainage ditch sediment was collected from orchards, paddy fields, and vegetable land in the Taihu Lake region. Five different NO_3^- -N content import levels were set: 0, 0.5, 1.0, 5.0, and 10 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, which were denoted as N_0 , N_1 , N_2 , N_3 , and N_4 , respectively. The results showed that exogenous nitrogen input stimulated sediment denitrification in the drainage ditches. The sediment denitrification rates of the three types of channels increased significantly with the increase of input NO_3^- -N concentration ($P < 0.05$). There was a significant linear positive correlation between the cumulative denitrification loss and input NO_3^- -N concentration ($R^2 > 0.75$). Excluding for the vegetable land sediment, the N_2O emission rate and cumulative emissions did not increase significantly with the increase of input NO_3^- -N concentration ($P > 0.05$). There was no significant difference in the denitrification and N_2O emissions among the three kinds of channel sediment, with no or low exogenous nitrogen input (N_0 and N_1) ($P > 0.05$). As the input NO_3^- -N concentration increased, especially under the condition of high exogenous nitrogen input (N_3 and N_4), the nitrogen consumed via denitrification in orchard and paddy field sediment was significantly higher than that in vegetable land sediment ($P < 0.05$), whereas the N_2O emissions of drainage ditch sediment from the vegetable land was significantly higher than that of the other two channel sediments ($P < 0.05$). The mineralization rate of ditch soil organic carbon had a positive correlation with denitrification rate ($n = 15$),

收稿日期: 2017-09-11; 修订日期: 2018-03-05

基金项目: 江苏省自然科学基金项目(BK20161503); 国家自然科学基金项目(51779245); 土壤农业可持续发展国家重点实验室开放基金项目(Y412201423); 江苏省国土资源科技项目(KJXM2016009); 中央高校基本科研业务费专项(2018B12214)

作者简介: 余冬立(1980~), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为农田水土过程与侵蚀控制, E-mail: shedongli@hhu.edu.cn

* 通信作者, E-mail: yqxia@issas.ac.cn

and microbial mineralization ($\text{CO}_2\text{-C}$) promoted the nitrification and denitrification of the drainage ditch soils.

Key words: non-point source pollution; drainage ditches; denitrification; N_2O emissions; land uses

排水沟道作为灌区农田生态系统的重要组成部分,其排涝功能是农业生态安全的重要保障;同时,排水沟道作为农田非点源污染物田间产出和受纳水体(湖泊、江河)间的过渡带,污染物在其中的迁移转化对控制其最终输出负荷具有重要作用^[1-3]. Peterson 等^[4]应用 ^{15}N 同位素示踪技术,研究表明氮在沟道里迁移距离只有几十到几百米,硝氮迁移距离相对较长,为氨氮的5~10倍,最终排出沟道系统的氮素只有不到输入氮的50%.姜翠玲等^[5]研究了南京市浦口区自然沟道氮素迁移规律,发现沟道年消纳总氮量高达463~515 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$.王岩等^[6]比较了3种不同类型沟道氮的消纳效果,结果表明生态沟道对氮素去除率为20%,拦截效果明显高于混凝土沟道和土质沟道.

反硝化是沟道主要脱氮过程之一,其过程可以表示为: $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO} \rightarrow \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$ (气体).氮素反硝化过程复杂,影响因素众多,分析和提取关键因子,是探明沟道消纳除氮规律、估算沟道反硝化除氮能力的关键.太湖地区农田年施氮量大,河流水体污染严重,河道密布,排水沟道发达.在农业流域内沟道长度占总溪流长度高达85%^[4],大量活化氮通过径流进入沟道系统^[7].而近年来,由于水果、蔬菜等作物经济效益高,太湖流域稻改果、菜现象明显,农田施肥量进一步增加,肥料利用率降低,氮素流失潜力加大^[8],导致不同利用方式土地排水沟接受外源氮差异明显.外源氮的输入差异对不同种植业区排水沟道底泥反硝化特性的影响如何,报道较少,不能全面解释排水沟道对农业面源氮的消纳能力.为此,本研究通过模拟试验,分析不同利用方式土地(果园、稻田和菜地)排水沟在外源氮输入下底泥反硝化和 N_2O 排放规律,以期为太湖流域氮素平衡与生态评价提供适量参考.

1 材料与方法

1.1 研究区概况

选取太湖流域宜兴市周铁镇为试验区($31^\circ 22'\text{N}$ 、 $119^\circ 57'\text{E}$),其属亚热带湿润气候,冬冷夏热、四季分明.目前,由于农田大量施肥,排水沟深受非点源污染,沟内底泥富集大量氮素.选取试验区内3种典型种植业区排水沟道为研究对象:果园土质农沟,长度178.6 m,沟宽0.21 m,平均深度

0.09 m;稻麦轮作区土质农沟,长度140.1 m,沟宽0.6 m,平均深度0.16 m;菜地混凝土衬砌农沟,长度340.8 m,沟宽0.3 m,平均深度0.33 m.

各排水沟自上而下均匀设置6个取样点,利用奥地利Uwitec无扰动沉积物采样器(PVC,内径8 cm,高30 cm)采集各样点0~15 cm土层样品.将土样混合均匀后装入聚乙烯袋内带回实验室培养,4℃下保存备用.研究区域沟道底泥土壤理化性质见表1.

表1 排水沟道底泥土壤理化性质
Table 1 Physical and chemical properties of the drainage ditch sediments

采样地	全氮 /%	有机碳 /%	$\text{NH}_4^+\text{-N}$ / $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{NO}_3^-\text{-N}$ / $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
果园排水沟	0.2 ± 0.0	1.4 ± 0.6	34.1 ± 10.7	1.1 ± 0.2
菜地排水沟	0.1 ± 0.0	1.1 ± 0.4	28.7 ± 7.4	0.2 ± 0.1
稻田排水沟	0.2 ± 0.0	1.5 ± 0.1	16.1 ± 3.8	0.6 ± 0.1

1.2 研究方法及设备

培养试验选在河海大学农业水土实验室进行.称取相当于40 g烘干土重的新鲜土,置250 mL三角瓶中,按照水土比5:1的比例添加硝酸钾溶液上覆水(对照组加入等量蒸馏水).野外沟道底泥样品采集之前,作者对3条排水沟道进水口输入水含氮量进行了为期两年的动态监测,根据沟道输入氮的变化范围和平均水平^[9],试验设上覆水 N_0 、 N_1 、 N_2 、 N_3 和 N_4 共5个 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 输入梯度,净氮输入量分别为0、0.5、1.0、5.0和10 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,各处理3次重复.采用带有2根钢管的橡胶塞塞住瓶口,接口用704胶密封,两根钢管分别接一段硅胶管,用三通阀连接^[10].

试验分为两组,其中一组不充乙炔,用于测定土壤 N_2O 排放速率;另一组在培养前充入10%的乙炔处理(方法参考文献[4]),抑制硝化作用过程中 N_2O 的产生及反硝化过程中 N_2O 还原为 N_2 ,所测定的 N_2O 质量浓度代表反硝化速率(D_N).用30 mL注射器来回抽、充三角瓶内气体3~4次,使瓶内气体混合均匀,用10 mL注射器从每个三角瓶内抽取8~10 mL的气体作为初始时刻的气样.处理完毕后将所有培养瓶置入恒温培养箱内,温度为 $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$.

根据预试验结果,试验培养时间定为4 d,并采用10 mL注射器分别在0、4、14、26、50和74 h

时刻抽取三角瓶内气体, 每次抽完气体保持三角瓶与大气畅通 30 min, 然后重新充气, 重复之前操作. 气样 N_2O 和 CO_2 质量浓度采用 Agilent7820A 气相色谱仪分析测定. N_2O 标准气体由日本国家农业环境研究所提供. N_2O 排放速率、 D_N 和有机碳矿化速率计算公式见文献[11].

土壤中 NH_4^+-N 和 $NO_3^- -N$ 采用 KCl 浸提-比色法测定. 数据分析采用 Excel, 显著性分析通过 SPSS 19.0 实现.

2 结果与分析

2.1 上覆水 $NO_3^- -N$ 输入浓度对沟道底泥反硝化速率的影响

运用乙炔抑制处理的培养组中 N_2O 总量代表土壤反硝化氮损失速率. 由图 1 可以看出, 不同上覆水 $NO_3^- -N$ 输入梯度下果园排水沟底泥反硝化速率随时间变化趋势基本一致, 均呈现出随培养时间增长而逐渐减小的变化趋势, 培养前 4 h 时反硝化速率即达到较大值, 分别为 4.9、5.3、10.1、30.2 和 47.7 $\mu g \cdot (kg \cdot h)^{-1}$; 稻田排水沟底泥反硝化速率随培养时间推进的变化规律与果园排水沟底泥反硝化速率变化相同, 但菜地排水沟底泥在不同氮浓度输入处理下反硝化速率随培养时间增加而逐渐增大, 最大值均出现在培养前 26 h. 3 条沟道底泥反硝化速率均随着上覆水 $NO_3^- -N$ 输入浓度增大而逐渐增大, 不同氮输入浓度间的差异均达到显著水平 ($P < 0.05$). 无外源氮输入条件, 不同沟道底泥反硝化速率之间差异不显著 ($P > 0.05$); 随着外源 $NO_3^- -N$ 输入, 3 条沟道底泥反硝化速率差异逐渐增大, 特别是高外源氮输入(N_3 和 N_4) 条件下, 果园和稻田排水沟道底泥平均反硝化速率显著高于菜地沟道底泥的平均反硝化速率 ($P < 0.05$).

2.2 上覆水 $NO_3^- -N$ 输入浓度对沟道底泥 N_2O 排放速率的影响

N_2O 排放速率为硝化作用和反硝化作用中 N_2O 排放速率之和^[12~14]. 果园、菜地和稻田这 3 种土地利用方式排水沟底泥在不同上覆水 $NO_3^- -N$ 输入梯度下的 N_2O 平均排放速率变化范围分别为 0.02 ~ 0.08、0.16 ~ 1.71、0.04 ~ 0.44 $\mu g \cdot (kg \cdot h)^{-1}$ (图 2). 在无外源氮输入或低浓度 $NO_3^- -N$ 输入时(N_0 和 N_1), 3 种沟道底泥 N_2O 排放速率差异不显著; 随输入氮浓度增大, 菜地排水沟底泥 N_2O 排放速率显著高于其它两条沟道底泥的 N_2O 排放速率 ($P < 0.05$). 3 条沟道底泥 N_2O 排放速率变化规律与其对

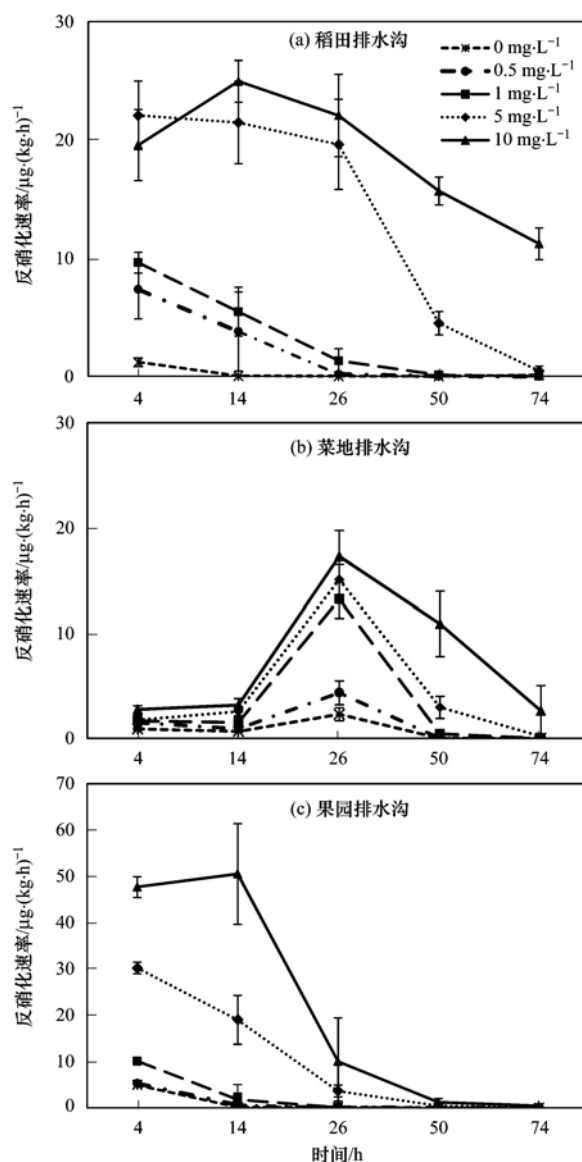


图 1 不同浓度上覆水 $NO_3^- -N$ 输入下排水沟道底泥反硝化速率

Fig. 1 Sediment denitrification rates with different $NO_3^- -N$ input in ditches under different land uses

应的反硝化速率变化规律基本一致, 果园和稻田排水沟底泥 N_2O 排放速率随时间变化最大值均出现在前 4 h, 且随培养时间延长呈逐渐减小趋势; 菜地排水沟底泥 N_2O 排放速率随培养时间延长呈先增后降趋势, 最大值出现在 26 h. 除菜地外, 沟道底泥 N_2O 排放平均速率随外源 $NO_3^- -N$ 输入浓度增大均无显著变化 ($P > 0.05$).

2.3 上覆水 $NO_3^- -N$ 输入浓度对沟道底泥反硝化和 N_2O 排放总量的影响

培养期沟道底泥反硝化损失和 N_2O 排放总量的估算(以每 kg 土壤的排放量计算)如图 3 所示. 3 种利用方式土地排水沟底泥的累积反硝化量均随上覆水 $NO_3^- -N$ 输入浓度升高显著增大 ($P < 0.05$), 呈

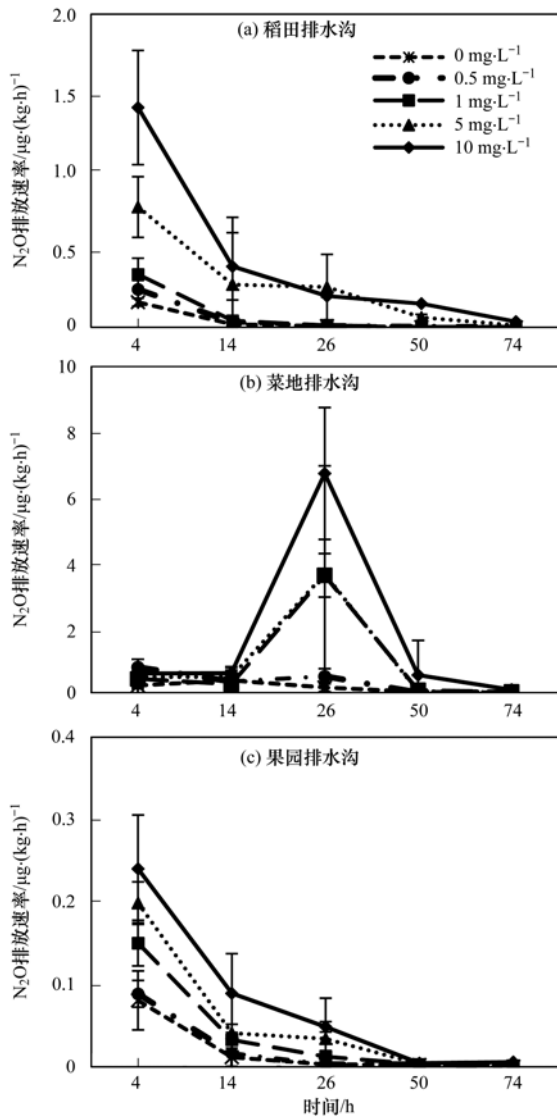


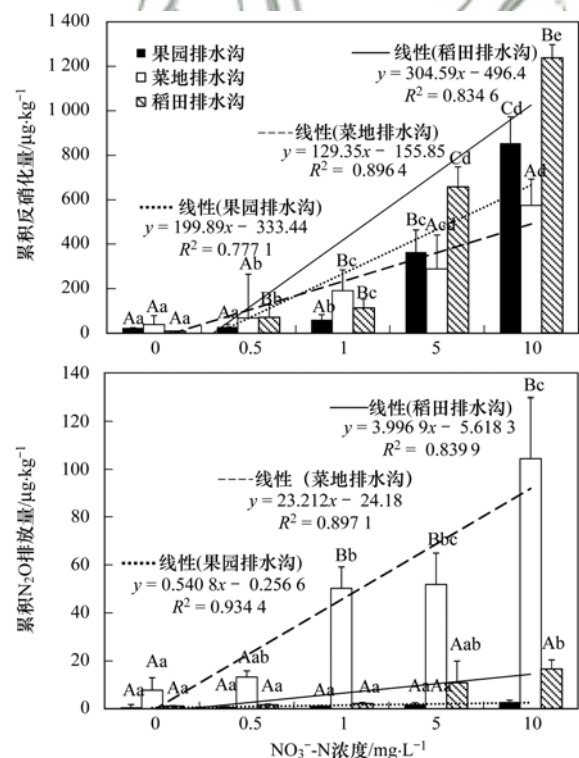
图2 不同浓度上覆水 NO_3^- -N输入下沟道底泥 N_2O 排放速率

Fig. 2 N_2O emission rates with different NO_3^- -N inputs in ditches under different land uses

线性正相关关系 ($R^2 > 0.75$)。培养 74 h 后果园排水沟在 N_0 、 N_1 、 N_2 、 N_3 和 N_4 处理下底泥累积反硝化损失总氮量分别为 23.6、28.2、59.6、365.1 和 854.6 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，分别占净氮投入量的 0.09%、0.10%、0.12%、0.31% 和 0.62%；菜地和稻田排水沟底泥累积反硝化量与果园排水沟有一致变化规律，在 N_0 、 N_1 、 N_2 、 N_3 和 N_4 处理下菜地排水沟底泥累积反硝化损失总量分别占净氮投入量的 0.15%、0.18%、0.28%、0.30% 和 0.33%；而稻田排水沟底泥累积反硝化损失总量分别占净氮投入量的 0.10%、0.15%、0.18%、0.49% 和 0.52%。外源 NO_3^- -N输入增大了底泥反硝化损失氮量占输入氮量的比例。

外源氮输入增加了菜地排水沟底泥 N_2O 排放总量。培养 74 h 后，菜地排水沟底泥在 N_0 、 N_1 、 N_2 、 N_3 和 N_4 处理下累积 N_2O 排放总量分别为 7.7、13.2、50.2、51.9 和 104.4 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，高 NO_3^- -N输入 (N_2 、 N_3 和 N_4) 处理下 N_2O 累计排放量显著高于对照组 ($P < 0.05$)。外源氮输入对稻田和果园排水沟道底泥累积 N_2O 排放总量无显著影响 ($P > 0.05$)。

3 种土地利用排水沟道底泥反硝化和 N_2O 排放损失氮量之间的差异受外源 NO_3^- -N输入影响 (图 3)。在无外源氮或低外源氮输入时 (N_0 和 N_1)，3 种沟道底泥反硝化和 N_2O 排放损失氮量之间的差异不显著 ($P > 0.05$)。随输入 NO_3^- -N浓度增大，特别是高外源氮输入 (N_3 和 N_4) 条件下，果园和稻田排水沟道底泥反硝化损失氮量显著高于菜地沟道底泥反硝化损失氮量 ($P < 0.05$)，而菜地排水沟底泥 N_2O 排放损失氮量显著高于其它两条沟道底泥的 N_2O 排放损失氮量 ($P < 0.05$)。



图中不同大写字母表示相同外源 NO_3^- -N输入浓度梯度下，不同种植区沟道底泥反硝化和 N_2O 排放损失氮量之间差异显著 ($P < 0.05$)；不同小写字母表示相同种植区内，不同外源 NO_3^- -N输入浓度梯度下沟道底泥反硝化和 N_2O 排放损失氮量之间差异显著 ($P < 0.05$)。

图3 不同 NO_3^- -N浓度下沟道底泥累积反硝化量和 N_2O 排放量

Fig. 3 Accumulation of denitrification and N_2O emissions for different NO_3^- -N inputs

3 讨论

3.1 外源氮添加对排水沟道底泥反硝化和 N_2O 排放损失氮量的影响

土壤反硝化作用是微生物驱动的氮素转换过程, 凡是影响微生物活动的因素均对其产生影响^[15,16]. 外源氮输入通过改变碳氮比影响微生物活性, 从而影响土壤反硝化损失和 N_2O 的排放^[17~19]. 本试验中, 外源 NO_3^- -N输入对研究区排水沟道底泥反硝化速率具有显著影响($P < 0.05$). 培养试验过程中, 反硝化速率随外源氮输入量增大逐步增大. 沟道底泥中添加 NO_3^- -N可加速底泥反硝化作用, 表明沟道中 NO_3^- -N浓度是影响反硝化速率的限制因子, 氮输入促进了土壤微生物生长, 产生激发效应, 这与前人研究结果一致^[20,21]. 但目前也有研究发现^[22], 当土壤中添加高浓度 NO_3^- -N时, 土壤反硝化速率大小不受 NO_3^- -N浓度限制. 如孙志高等^[13]的研究结果表明当土壤 NO_3^- -N浓度达到一定值后, 高浓度氮可抑制微生物活性且水分和碳源将会转换成土壤反硝化限制因子. 而本研究在底泥上覆水中 NO_3^- -N浓度达到 $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时并没有出现反硝化作用被抑制的现象, 这一方面可能与厌氧氨氧化有关. 厌氧氨氧化细菌在碳源不足时会与反硝化细菌竞争碳源, 特别C/N比值低于2的环境更有利于厌氧氨氧化细菌的生存^[23,24]. 另一方面, 也可能由于太湖地区长期高氮投入使得微生物已适应低碳氮比环境, 故添加氮源会持续促进高氮环境下的硝化与反硝化作用.

无外源氮或低外源氮输入时(N_0 和 N_1), 果园、菜地和稻田这3种利用方式土地排水沟道之间底泥反硝化和 N_2O 排放损失氮量均无显著差异($P > 0.05$), 表明在低氮水平下, 氮是不同土地利用沟渠反硝化速率的最主要限制因子. 随着外源 NO_3^- -N的输入, 不同土地利用方式排水沟道底泥反硝化速率之间的差异逐渐增大, 特别是高外源氮输入(N_3 和 N_4)条件下, 果园和稻田排水沟道底泥平均反硝化速率显著高于菜地沟道底泥的平均反硝化速率($P < 0.05$), 而菜地排水沟道底泥 N_2O 排放损失氮量显著高于其它两条沟道底泥的 N_2O 排放损失氮量($P < 0.05$). 其可能原因是, 随着氮浓度的增加, 不同土地利用沟渠反硝化速率的限制因素出现差异. 对于果园和稻田来讲, 由于有机肥和动物粪肥施加量较多, 沟渠里富含反硝化微生物所需要的DOC,

因此, 反硝化速度的主要限制因素仍然是氮浓度, 反硝化也进行得比较彻底, 反硝化的中间产物 N_2O 产生较少. 对于菜地而言, 由于其生长季短, 农民为了追求产量, 往往更多的施加速效肥如化肥, 沟渠中碳源物质较少, 反硝化速率不仅受氮浓度的影响, 还受到微生物可利用的碳浓度影响, 此时, 反硝化进行不彻底, 中间产物 N_2O 产生量大, 这与丁洪等^[20]的研究结果一致; Lee等^[25]的研究结果也证明了氮的投入能大大增加土壤 N_2O 排放.

3.2 外源氮输入条件下有机碳矿化(CO_2 -C)与反硝化关系

培养试验中对各外源氮输入处理下沟道底泥有机碳(CO_2 -C)矿化量(以每 kg 土壤的排放量计算)进行了测定. 图4为3种土地利用方式排水沟底泥 CO_2 排放速率动态变化规律. 培养前26 h时外源氮

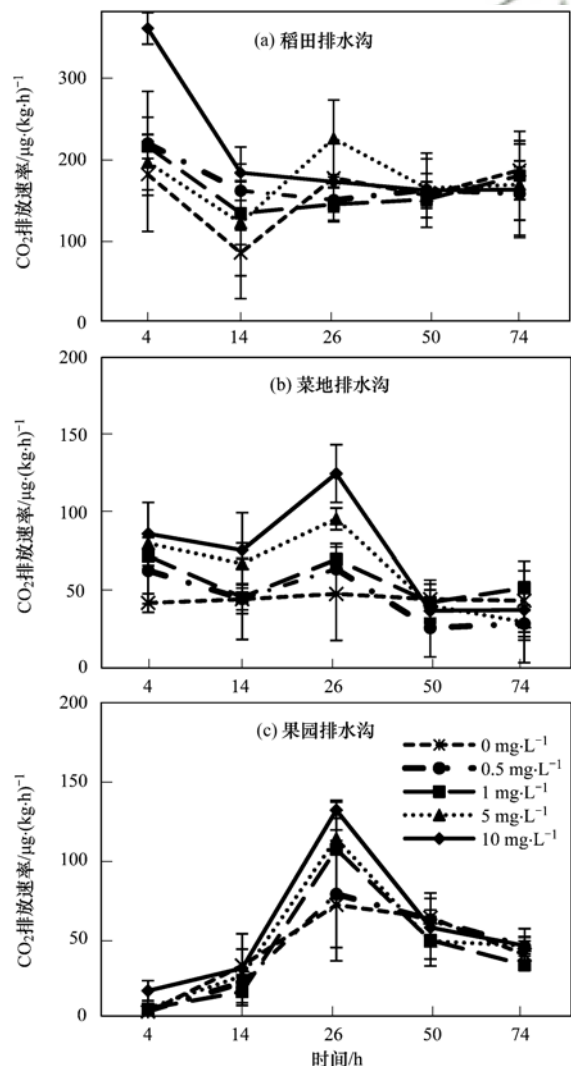


图4 不同浓度上覆水 NO_3^- -N输入下沟道底泥 CO_2 排放速率

Fig. 4 CO_2 emission rates with different NO_3^- -N inputs in ditches under different land uses

输入处理下各沟道底泥有机碳矿化速率均高于对照. 果园排水沟中 N_0 至 N_4 梯度处理的底泥有机碳矿化平均速率变化为 $41.7 \mu\text{g} \cdot (\text{kg} \cdot \text{h})^{-1}$ 增大至 $56.0 \mu\text{g} \cdot (\text{kg} \cdot \text{h})^{-1}$, 稻田排水沟中底泥有机碳矿化平均速率变化为 $155.8 \sim 206.8 \mu\text{g} \cdot (\text{kg} \cdot \text{h})^{-1}$, 激发效应随氮输入梯度升高而增大; 而菜地排水沟中 N_0 至 N_4 梯度处理底泥有机碳矿化平均速率分别为 44.5 、 45.3 、 56.4 、 62.7 和 $72.3 \mu\text{g} \cdot (\text{kg} \cdot \text{h})^{-1}$. 本试验结果表明 NO_3^- -N 输入沟道后增大了底泥的有机碳 (CO_2 -C) 矿化量, 说明沟道底泥中有效碳源较

多, 氮输入刺激了微生物生长, 这与刘德燕等^[26] 的研究结果一致.

土壤中反硝化过程主要是微生物化学过程, 而土壤微生物的活动需要从有机质中获得基质和能量, 有机碳 (CO_2 -C) 矿化可以为微生物活动提供这些基质和能量. 图 5 为沟道底泥反硝化速率与 CO_2 排放速率之间的关系. 可以看出有机碳矿化速率与反硝化损失速率成正相关关系 ($n = 15$), 说明沟道底泥微生物发生有机碳 (CO_2 -C) 的矿化作用的同时也促进了反硝作用.

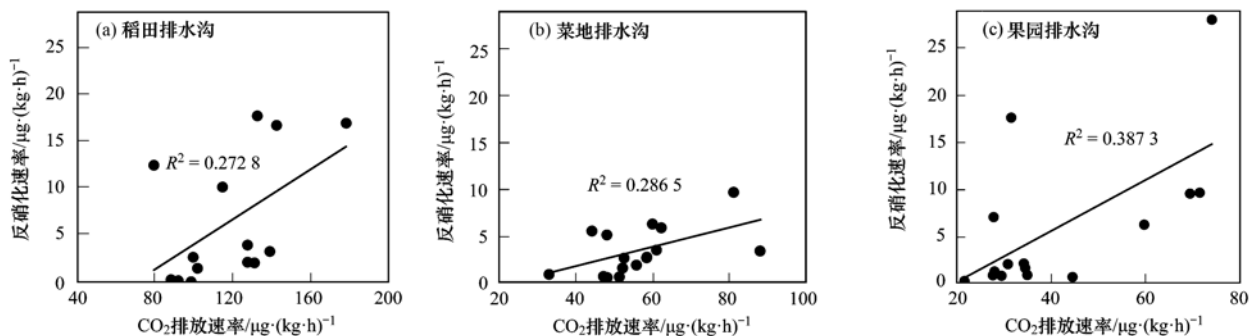


图 5 沟道底泥反硝化损失速率与 CO_2 排放速率间的关系

Fig. 5 Relationship between denitrification rate and CO_2 mineralization rate

4 结论

(1) 外源氮输入激发了排水沟底泥反硝化作用, 3 条沟道底泥反硝化速率均随上覆水 NO_3^- -N 输入浓度增大显著增大 ($P < 0.05$), 底泥累积反硝化量与输入 NO_3^- -N 浓度呈显著线性正相关关系 ($R^2 > 0.75$); 除菜地外, 沟道底泥 N_2O 排放速率和累积排放量随外源 NO_3^- -N 输入浓度增大均无显著增大趋势 ($P > 0.05$).

(2) 在无外源氮或低外源氮输入时 (N_0 和 N_1), 果园、菜地和稻田种植区 3 种沟道底泥反硝化和 N_2O 排放损失氮量之间的差异不显著 ($P > 0.05$). 随输入 NO_3^- -N 浓度增大, 特别是高外源氮输入 (N_3 和 N_4) 条件下, 果园和稻田排水沟道底泥反硝化损失氮量显著高于菜地沟道底泥反硝化损失氮量 ($P < 0.05$), 而菜地排水沟底泥 N_2O 排放损失氮量显著高于其它 2 条沟道底泥的 N_2O 排放损失氮量 ($P < 0.05$).

(3) 3 种利用方式土地排水沟底泥有机碳矿化速率与反硝化损失速率成正相关关系 ($n = 15$), 沟道底泥微生物发生有机碳 (CO_2 -C) 矿化作用的同时也促进了硝化反硝作用.

参考文献:

- [1] 杨林章, 周小平, 王建国, 等. 用于农田非点源污染控制的生态拦截型沟渠系统及其效果[J]. 生态学杂志, 2005, **24** (11): 1371-1374.
Yang L Z, Zhou X P, Wang J G, et al. Ecological ditch system with interception function and its effects on controlling farmland non-point pollution[J]. Chinese Journal of Ecology, 2005, **24** (11): 1371-1374.
- [2] 康鹏亮, 黄廷林, 张海涵, 等. 西安市典型景观水体水质及反硝化细菌种群结构[J]. 环境科学, 2017, **38** (12): 5174-5193.
Kang P L, Huang T L, Zhang H H, et al. Water quality and diversity of denitrifier community structure of typical scenic water bodies in Xi'an[J]. Environmental Science, 2017, **38** (12): 5174-5183.
- [3] Li C E, Yang J S, Wang X, et al. Removal of nitrogen by heterotrophic nitrification-aerobic denitrification of a phosphate accumulating bacterium *Pseudomonas stutzeri* YG-24 [J]. Bioresource Technology, 2015, **182**: 18-25.
- [4] Peterson B J, Wollheim W M, Mulholland P J, et al. Control of nitrogen export from watersheds by headwater streams [J]. Science, 2001, **292** (5514): 86-90.
- [5] 姜翠玲, 崔广柏, 范晓秋, 等. 沟渠湿地对农业非点源污染物的净化能力研究[J]. 环境科学, 2004, **25** (2): 125-128.
Jiang C L, Cui G B, Fan X Q, et al. Purification capacity of ditch wetland to agricultural non-point pollutants [J]. Chinese Journal of Environmental Science, 2004, **25** (2): 125-128.
- [6] 王岩, 王建国, 李伟, 等. 三种类型农田排水沟渠氮磷拦截效果比较[J]. 土壤, 2009, **41** (6): 902-906.

- Wang Y, Wang J G, Li W, *et al.* Comparison on removal of nitrogen and phosphorus from hibernant farmland drainage by three kinds of ditches[J]. *Soils*, 2009, **41**(6): 902-906.
- [7] Alexander R B, Boyer E W, Smith R A, *et al.* The role of headwater streams in downstream water quality[J]. *Journal of the American Water Resources Association*, 2007, **43**(1): 41-59.
- [8] 谢文明, 于飞, 冯晓宇, 等. 太湖流域农村地区典型村镇土壤养分和水体污染现状调查[J]. *土壤*, 2014, **46**(4): 613-617.
- Xie W M, Yu F, Feng X Y, *et al.* Investigation status of soil fertility and water pollution in representative villages of Taihu Lake watershed rural area[J]. *Soils*, 2014, **46**(4): 613-617.
- [9] She D L, Zhang L, Gao X M, *et al.* Limited N removal by denitrification in agricultural drainage ditches in the Taihu Lake region of China[J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2018, **18**(3): 1110-1119.
- [10] 张文娟, 余冬立, Agbna G H D, 等. 生物炭添加和灌溉对温室番茄地土壤反硝化损失的影响[J]. *环境科学*, 2016, **37**(10): 3979-3986.
- Zhang W J, She D L, Agbna G H D, *et al.* Effects of biochar amendment and irrigation on denitrification losses in greenhouse tomato fields[J]. *Environmental Science*, 2016, **37**(10): 3979-3986.
- [11] Terry R E, Tate III R L, Duxbury J M. The effect of flooding on nitrous oxide emissions from an organic soil[J]. *Soil Science*, 1981, **132**(3): 228-232.
- [12] 高雪梅, 余冬立, 颜晓元, 等. 不同量碳源输入梯度下果园排水沟底泥氮素反硝化与 N_2O 排放研究[J]. *环境科学*, 2016, **37**(7): 2731-2737.
- Gao X M, She D L, Yan X Y, *et al.* Denitrification loss and N_2O emission from different carbon inputs in orchard drains sediments[J]. *Environmental Science*, 2016, **37**(7): 2731-2737.
- [13] 孙志高, 刘景双, 杨继松, 等. 三江平原典型小叶章湿地土壤硝化-反硝化作用与氧化亚氮排放[J]. *应用生态学报*, 2007, **18**(1): 185-192.
- Sun Z G, Liu J S, Yang J S, *et al.* Nitrification-denitrification and N_2O emission of typical *Calamagrostis angustifolia* wetland soils in Sanjiang Plain[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, **18**(1): 185-192.
- [14] Read-Daily B L, Sabba F, Pavissich J P, *et al.* Kinetics of nitrous oxide (N_2O) formation and reduction by *Paracoccus pantotrophus*[J]. *AMB Express*, 2016, **6**: 85.
- [15] 孙庆花, 于德爽, 张培玉, 等. 海洋菌株 y3 的分离鉴定及其异养硝化-好氧反硝化特性[J]. *环境科学*, 2016, **37**(3): 1089-1097.
- Sun Q H, Yu D S, Zhang P Y, *et al.* Isolation, identification and nitrogen removal characteristics of a heterotrophic nitrification-aerobic denitrification strain y3 isolated from marine environment[J]. *Environmental Science*, 2016, **37**(3): 1089-1097.
- [16] Ji B, Yang K, Wang H Y, *et al.* Aerobic denitrification by *Pseudomonas stutzeri* C₃ incapable of heterotrophic nitrification[J]. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 2015, **38**(2): 407-409.
- [17] Long X E, Shen J P, Wang J T, *et al.* Contrasting response of two grassland soils to N addition and moisture levels: N_2O emission and functional gene abundance[J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2017, **17**(2): 384-392.
- [18] 程建华, 窦智勇, 孙庆业. 铜陵市河流沉积物中硝化和反硝化微生物分布特征[J]. *环境科学*, 2016, **37**(4): 1362-1370.
- Cheng J H, Dou Z Y, Sun Q Y. Distribution characteristics of Nitrifiers and Denitrifiers in the river sediments of Tongling City[J]. *Environmental Science*, 2016, **37**(4): 1362-1370.
- [19] Poh L S, Jiang X, Zhang Z B, *et al.* N_2O accumulation from denitrification under different temperatures [J]. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2015, **99**(21): 9215-9226.
- [20] 丁洪, 王跃思, 李卫华. 玉米-潮土系统中不同氮肥品种的反硝化损失与 N_2O 排放量[J]. *中国农业科学*, 2004, **37**(12): 1886-1891.
- Ding H, Wang Y S, Li W H. Denitrification losses and N_2O emission from different nitrogen fertilizers applied to maize-fluvio-aquic soil system [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, **37**(12): 1886-1891.
- [21] 胡玲珍, 陈振楼. 河口沉积物反硝化反应影响因子综述[J]. *环境科学动态*, 2003, (4): 41-43.
- Hu L Z, Chen Z L. Review of environmental effects and factors on denitrification in estuarine sediments [J]. *Environmental Science Trends*, 2003, (4): 41-43.
- [22] 白洁, 王晓东, 李佳霖, 等. 北黄海沉积物—水界面反硝化速率及影响因素研究[J]. *中国海洋大学学报*, 2007, **37**(4): 653-656.
- Bai J, Wang X D, Li J L, *et al.* A study of the denitrification rate and its influence factors at the sediment-water interface in summer in the north Yellow Sea [J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2007, **37**(4): 653-656.
- [23] 陈诺, 廖婷婷, 王睿, 等. 碳底物含量对厌氧条件下水稻土 N_2 、 N_2O 、 NO 、 CO_2 和 CH_4 排放的影响[J]. *环境科学*, 2014, **35**(9): 3595-3604.
- Chen N, Liao T T, Wang R, *et al.* Effect of carbon substrate concentration on N_2 , N_2O , NO , CO_2 and CH_4 emissions from a paddy soil in anaerobic condition [J]. *Environmental Science*, 2014, **35**(9): 3595-3604.
- [24] Hu Z Y, Lotti T, Van Loosdrecht M, *et al.* Nitrogen removal with the anaerobic ammonium oxidation process [J]. *Biotechnology Letters*, 2013, **35**(8): 1145-1154.
- [25] Lee R Y, Joye S B, Roberts B J, *et al.* Release of N_2 and N_2O from salt-marsh sediments subject to different land-derived Nitrogen loads [J]. *The Biological Bulletin*, 1997, **193**(2): 292-293.
- [26] 刘德燕, 宋长春, 王丽, 等. 外源氮输入对湿地土壤有机碳矿化及可溶性有机碳的影响[J]. *环境科学*, 2008, **29**(12): 3525-3530.
- Liu D Y, Song C C, Wang L, *et al.* Exogenous nitrogen enrichment impact on the carbon mineralization and DOC of the freshwater marsh soil [J]. *Environmental Science*, 2008, **29**(12): 3525-3530.

CONTENTS

An Assessment of PM _{2.5} -Related Health Risks and Associated Economic Losses in Chinese Cities	LI Hui-juan, ZHOU De-qun, WEI Yong-jie (3467)
Impact of the Electric Power Industry on Air Quality in Winter of Urban Agglomerations Along the Middle Reaches of the Yangtze River ...	SUN Xiao-wei, GUO Xiu-rui, CHENG Shui-yuan (3476)
Capacity Simulation Method Based on Regional Transfer Matrix and PM _{2.5} Concentration Target Constraint	LI Min-hui, LIAO Cheng-hao, YANG Liu-lin, <i>et al.</i> (3485)
Analysis of Chemical Composition of the Fine Particulate Matter in Summer in Tianjin City via a Single Particle Aerosol Mass Spectrometer (SPAMS)	WEN Jie, SHI Xu-rong, TIAN Ying-ze, <i>et al.</i> (3492)
Pollution Characteristics of Organic Carbon and Elemental Carbon in Atmospheric Aerosols in Beibei District, Chongqing	PENG Xiao-le, HAO Qing-ju, WEN Tian-xue, <i>et al.</i> (3502)
Characteristics and Source Analysis of Atmospheric Carbonaceous Aerosols in the Cities of Hangzhou and Ningbo	XU Hong-hui, XU Jing-sha, HE Jun, <i>et al.</i> (3511)
Emission Characteristics and Chemical Components of PM _{2.5} from Open Burning of Municipal Solid Waste	WANG Yan, HAO Wei-wei, CHENG Ke, <i>et al.</i> (3518)
Size-resolved Emission Factors of Carbonaceous Particles from Domestic Coal Combustion in China	YANG Guo-wei, KONG Shao-fei, ZHENG Shu-ni, <i>et al.</i> (3524)
Characteristics and Source Analysis of Non-methane Hydrocarbons (NMHC) in Dalian	Ji De-yu (3535)
Scenario Analyses of the Volatile Organic Compound Emission Allowance and Allocation in the 13th Five-Year Period	ZHANG Jia-ni, CHEN Xiao-fang, LIANG Xiao-ming, <i>et al.</i> (3544)
Pollution Characteristics and Emission Coefficients of Volatile Organic Compounds from the Packaging and Printing Industry in Zhejiang Province	WANG Jia-de, LÜ Jian-zhang, LI Wen-juan, <i>et al.</i> (3552)
Emission Characteristics and Characteristic Substance Identification of Volatile Odorous Organic Compounds in Industries Using Organic Solvents	ZHAI Zeng-xiu, MENG Jie, WANG Gen, <i>et al.</i> (3557)
Analysis of Aerosol Optical Depth Variation Characteristics for 10 years in Urumqi Based on MODIS_C006	HU Jun, KANG Yan-ming, CHEN Yong-hang, <i>et al.</i> (3563)
Motor Vehicle Pollution Control Scenarios of Beijing Subsidiary Administrative Center Based on Road Traffic Flow	FAN Shou-bin, GUO Jin-jin, LI Xue-feng (3571)
Air Pollution Characteristics and Jogger Inhalation Exposure in Typical Running Area of Beijing	TAO Shuang-cheng, GAO Shuo-han, XIONG Xin-zhu, <i>et al.</i> (3580)
Temporal and Spatial Changes in Sediment Nutrients and Heavy Metals of the Danjiangkou Reservoir Before and After Water Division of the Mid-route Project	LI Bing, WANG Ya, ZHENG Zhao, <i>et al.</i> (3591)
Fluorescence Characteristics and Environmental Significance of Organic Matter in the Northern Part of Lake Taihu in Spring and Winter	LÜ Wei-wei, YAO Xin, ZHANG Bao-hua (3601)
Contamination Levels and Ecological Risk Assessment of Phthalate Esters (PAEs) in the Aquatic Environment of Key Areas of Taihu Lake	ZHU Bing-qing, GAO Zhan-qi, HU Guan-jiu, <i>et al.</i> (3614)
Nitrogen and Phosphorous Adsorption Characteristics of Suspended Solids Input into a Drinking Water Reservoir via Typhoon Heavy Rainfall	YAO Ling-ai, ZHAO Xue-min, MA Qian-li, <i>et al.</i> (3622)
Geochemical Characteristics and Genesis Analyses of High-arsenic Groundwater in the Pearl River Delta	ZHANG Chang-yan, HE Jiang-tao, ZHANG Xiao-wen, <i>et al.</i> (3631)
Effects of Organic Pollutants on the Bacterioplankton Community in Hangzhou Bay	XUAN Li-xia, DAI Wen-fang, YU Wei-na, <i>et al.</i> (3640)
Bacterioplankton Community Structure in the Lancang River Basin and the Analysis of Its Driving Environmental Factors	CHENG Bao, WANG Xue, XU Ya-qian, <i>et al.</i> (3649)
Bacterial Community Structure Characteristics in the Biliuhe Reservoir and Its Key Driving Factors	WANG Huan, ZHAO Wen, XIE Zai-gang, <i>et al.</i> (3660)
Analysis of the Temporal and Spatial Distribution of the Diversity of the Denitrifying Anaerobic Methane-Oxidizing Bacterial Community in the Sediments of the Hunhe River and Its Relationship with Environmental Factors	ZHANG Ya-di, SONG Yong-hui, PENG Jian-feng, <i>et al.</i> (3670)
Influences of Anthropogenic Activities on the Community Structure of N-DAMO Bacteria in the North Canal	LIU Yang, CHEN Yong-juan, WANG Xiao-yan, <i>et al.</i> (3677)
Impact of Exogenous Nitrogen Import on Sediment Denitrification and N ₂ O Emissions in Ditches Under Different Land Uses	SHE Dong-li, CHEN Xin-yi, GAO Xue-mei, <i>et al.</i> (3689)
Sedimentation Characteristics and Pollutant Content Distribution of Storm Drainage Sediments	SHANG Yu, ZHOU Yi, LIAO An-yi, <i>et al.</i> (3696)
Effect of Cr(VI) on Coagulation Process of Different Coagulants	GAO Qian, ZHANG Da-wei, XU Hui, <i>et al.</i> (3704)
Enhancement of Photoelectrocatalytic Degradation of Bisphenol A with Peroxymonosulfate Activated by a Co ₃ O ₄ /BiVO ₄ Composite Photoanode	LI Jiang, WANG Yan, ZHANG Xiu-fang, <i>et al.</i> (3713)
Preparation and Characterization of a Calcium Alginate/Biochar Microsphere and Its Adsorption Characteristics and Mechanisms for Pb(II)	YU Chang-jiang, DONG Xin-yu, WANG Miao, <i>et al.</i> (3719)
Behaviors and Mechanisms of CIP and OFL Adsorption by Magnetic Biochar	ZHAO Hua-xuan, LANG Yin-hai (3729)
Optimization and Validation of the Analytical Method to Detect New Psychoactive Substances in Wastewater	CHEN Pei-pei, DU Peng, ZHOU Zi-lei, <i>et al.</i> (3736)
Effect of Hybrid Process of Pre-ozonation and CNT Modification on Hollow Fiber Membrane Fouling Control	GUAN Yu-qi, WANG Kai-lun, ZHU Xue-dong, <i>et al.</i> (3744)
Bioregeneration of Anion Exchange Resin Used in Nitrate Removal	YE Ting, ZHANG Guang, WANG Ke, <i>et al.</i> (3753)
Preparation of Prussian Blue@Yeast Catalyst and Its Heterogeneous Fenton Performance	CHEN Si, BAI Bo, WANG Hong-lun, <i>et al.</i> (3759)
Nitrogen Removal of Double-bacteria-layer System via PN/A Process	XU Jing-yi, DU Jun, YANG Yi-feng, <i>et al.</i> (3767)
Inhibitory Effect of Phenol on Phosphorus Removal Performance of an EBPR System	MA Juan, WANG Jin, YU Xiao-jun, <i>et al.</i> (3775)
Treatment of Old Landfill Leachate via a Denitrification-Partial Nitritation-ANAMMOX Process	WANG Fan, LU Ming-yu, YIN Ji-qiang, <i>et al.</i> (3782)
Denitrification Characteristics and Functional Genes of Denitrifying Bacteria Under Aerobic or Anaerobic Conditions	KANG Peng-liang, CHEN Sheng-nan, HUANG Ting-lin, <i>et al.</i> (3789)
Characteristic of Benzo[a]pyrene Anaerobic Degradation by Phenol Co-substrate and Microbial Communities from Two Types of Sludge	WU Hai-zhen, HU Xiao-yi, WANG Ming, <i>et al.</i> (3797)
Spectroscopic Characterization of DOM During Hyperthermophilic Composting of Sewage Sludge	LIU Xiao-ming, YU Zhen, ZHOU Pu-xiong, <i>et al.</i> (3807)
Effects of Biochar on Nitrous Oxide Fluxes and the Abundance of Related Functional Genes from Agriculture Soil in the North China Plain	LIU Xing-ren, ZHAO Guang-xin, ZHANG Qing-wen, <i>et al.</i> (3816)
Nitrous Oxide Production in Response to Oxygen in a Solar Greenhouse Vegetable Soil	CHEN Ji-ji, SONG He, CAO Wen-chao, <i>et al.</i> (3826)
Comprehensive Study of Lead Speciation and Its Bioavailability in Soils From a Lead/Zinc Mining Area by Micro X-Ray Fluorescence and X-Ray Absorption Near-Edge Structure	SUN Xiao-yan, LIU Jian, LUO Li-qiang (3835)
Assessment of Heavy Metal Pollution in Soil and Its Bioaccumulation by Dominant Plants in a Lead-Zinc Mining Area, Nanjing	LI Jun-kai, ZHANG Dan, ZHOU Pei, <i>et al.</i> (3845)
Preparation of Iron-Aluminum Modified Diatomite and Its Immobilization in Cadmium-Polluted Soil	YANG Yu-zhong, ZHU Jian, XIAO Yuan-yuan, <i>et al.</i> (3854)
Transfer of Soil Organic Carbon to Inorganic Carbon in Arid Oasis Based on Stable Carbon Isotope Technique	LI Yang-mei, GONG Lu, AN Shen-qun, <i>et al.</i> (3867)
Environmental Filters Drive the Assembly of the Soil Fungal Community in the <i>Larix principis-rupprechtii</i> Forests of the Guandi Mountains	ZHAO Peng-yu, LI Cui, CHAI Bao-feng (3876)
Effects of Transgenic Maize with <i>cry1Ab</i> and <i>Epsps</i> Genes C0030.3.5 on the Abundance and Community Structure of Soil Nitrogen-fixing Bacteria	WANG Rui, ZHU Ke, LI Gang, <i>et al.</i> (3885)
Effects of Gypsum on CH ₄ Emission and Functional Microbial Communities in Paddy Soil	HU Xiang-yu, XIANG Qiu-jie, MU Zhi-jian (3894)
Effects of Long-term Fertilization on Enzyme Activities in Profile of Paddy Soil Profiles	DU Lin-sen, TANG Mei-ling, ZHU Zhen-ke, <i>et al.</i> (3901)
Effects of Sediment Burial and Exogenous Cd Input on Biomass Allocation and Antioxidative Enzyme Activities of <i>Suaeda salsa</i> in the Coastal Wetland of the Yellow River Delta	SONG Hong-li, WANG Li-zhi, YU Wan-ni, <i>et al.</i> (3910)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Heavy Metals in Wheat Grains Cultivated in Kaifeng Irrigation Area of the Yellow River	KANG Guo-hua, ZHANG Peng-yan, LI Yan-yan, <i>et al.</i> (3917)
Effect of Graphene Oxide on Algal Toxicity of Dibutyl Phthalate	TU Hai-feng, LIU Cheng, WANG Yu-qing, <i>et al.</i> (3927)
Effects of Organic Substrates on ANAMMOX-MFC Denitrification Electrogenesis Performance	ZU Bo, MA Lan, LIU Bo, <i>et al.</i> (3937)
Well-to-Wheels Fossil Energy Consumption and CO ₂ Emissions of Hydrogen Fuel Cell Vehicles in China	LIN Ting, WU Ye, HE Xiao-yi, <i>et al.</i> (3946)
Secondary Organic Aerosols from Aqueous Reaction of Aerosol Water	YE Zhao-lian, QU Zhen-xiu, MA Shuai-shuai, <i>et al.</i> (3954)