

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第38卷 第11期

Vol.38 No.11

2017

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

天津市非道路移动源污染物排放清单开发	张意, Andre Michel, 李东, 张欣, 吴琳, 张衍杰, 马超, 邹超, 毛洪钧 (4447)
基于移动监测和土地利用回归模型的上海市近地面黑碳浓度空间模拟	彭霞, 余倩楠, 龙凌波, 刘敏, 徐茜, 魏宁, 周陶冶 (4454)
鄂东典型工业城市大气 PM ₁₀ 中元素浓度特征和来源分析	占长林, 张家泉, 郑敬茹, 姚瑞珍, 刘红霞, 肖文胜, 刘先利, 曹军骥 (4463)
常州夏秋季 PM _{2.5} 中碳质气溶胶特征及来源	叶招莲, 刘佳澍, 李清, 马帅帅, 许澎 (4469)
徐州市冬季大气细颗粒物水溶性无机离子污染特征及来源解析	范美益, 曹芳, 张园园, 鲍孟盈, 刘晓妍, 张雯淇, 高嵩, 章炎麟 (4478)
南宁市一次污染过程大气颗粒物理化特性及来源	刘慧琳, 陈志明, 李宏姣, 蒋靖坤, 张强, 黄炯丽, 毛敬英, 梁桂云, 杨俊超, 张达标, 莫招育 (4486)
西安市秋冬季不同空气质量下可培养微生物气溶胶浓度和粒径分布	李婉欣, 路瑞, 谢铮胜, 王金龙, 范春兰, 刘鹏霞, 李彦鹏 (4494)
黄渤海海域秋季营养盐及有色溶解有机物分布特征	唐永, 孙语嫣, 石晓勇, 韩秀荣, 苏荣国 (4501)
华东沿海滩涂区表层沉积物重金属含量特征及风险评价	张明, 鲍征宇, 陈国光, 雍太健, 朱意萍, 梁晓红 (4513)
基于地球化学特性的海州湾海洋牧场沉积物重金属研究	李大鹏, 张硕, 张中发, 罗娜, 魏青青, 张瑞, 黄宏 (4525)
尼洋河流域水化学特征及其控制因素	张涛, 蔡五田, 李颖智, 张智印, 耿婷婷, 边超, 赵森, 蔡月梅 (4537)
南亚热带地区水库夏季铁、锰垂直分布特征	杨思远, 赵剑, 余华章, 彭亮, 肖利娟 (4546)
辽河流域地表水中典型抗生素污染特征及生态风险评估	张晓娇, 柏杨巍, 张远, 马淑芹, 郭昌胜, 张莉 (4553)
东太湖渔业养殖对沉积物营养盐的影响	何肖微, 储瑜, 曾巾, 赵大勇, 陆建明, 曹萍, 吴庆龙 (4562)
浑太河不同水生态区营养盐对底栖硅藻的影响及阈值	张莉, 林佳宁, 张远, 王书平, 臧小苗, 张晓娇 (4570)
水环境条件对三峡库区消落带狗牙根根磷养分淹水浸泡释放的影响	肖丽微, 朱波 (4580)
野鸭湖湿地芦苇根际微生物多样性与磷素形态关系	滕泽栋, 李敏, 朱静, 宋明阳 (4589)
人为扰动背景下城市边缘溪流底质硝化-反硝化潜力分析	李如忠, 郑侠, 高苏蒂, 叶舟 (4598)
不同扰动下外源磷在形态磷间的分布规律	蔡顺智, 李大鹏, 唐鑫煜, 李浩冉, 朱伟, 黄勇 (4607)
伊乐藻-高效脱氮微生物协同作用对污染水体氮素脱除机制的影响	王浩, 李正魁, 张一品, 丁帮璟 (4617)
零价铁活化过硫酸钠去除废水中的砷(V)	周孜迈, 邓文娜, 杨艺琳, 孙艳秋, 王悦, 柳听义, 王中良 (4623)
nZVI/AC 复合材料对水中锑的去除	蒋婷, 鲍玥, 李威, 方荣业, 史惠祥 (4632)
流态对生物添加强化硝化效果的影响	于莉芳, 杜倩倩, 张茹, 杨秀玲, 李韧, 渭思思, 冯云堂 (4641)
温度对 SBR 生物脱氮效能及胞外聚合物的影响	孙洪伟, 陈翠忠, 吴长峰, 赵华南, 于雪, 方晓航 (4648)
温度对间歇曝气 SBR 短程硝化及硝化活性的影响	刘宏, 彭永臻, 卢炯元, 李慧, 南彦斌, 王瑾, 陈永志 (4656)
不同诱导模式下 CAST 工艺的亚硝酸盐型反硝化除磷能力	马娟, 王谨, 俞小军, 张伟, 魏雪芬, 陈永志, 田文清 (4664)
污水处理厂 CANON 工艺小试	李冬, 赵世勋, 王俊安, 朱金凤, 关宏伟, 张杰 (4673)
SBR 加载不同粒径磁性活性炭对其污泥颗粒化进程的影响机制	信欣, 管蕾, 郭俊元, 刘洁, 冯梅, 余婷婷 (4679)
常温下厌氧氨氧化污泥的储存及活性恢复	黄佳路, 王小龙, 高大文 (4687)
同步脱氮除磷好氧颗粒污泥培养过程微生物群落变化	高景峰, 王时杰, 樊晓燕, 潘凯玲, 张丽芳, 张树军, 高永青, 张帅 (4696)
硫酸盐和 Fe(II) EDTA-NO ₃ /Fe(III) EDTA 厌氧还原过程特性及微生物群落分析	张玉, 万方, 周集体 (4706)
SBR 系统外加磁场对微生物群落多样性和处理效果的影响	耿淑英, 付伟章, 王静, 郑书联 (4715)
安徽某铁矿排土场废矿石中产酸微生物群落	杜泽瑞, 郝春博, 裴理鑫, 卫朋飞, 张鑫, 鲁艳春 (4725)
典型集雨人饮地区窖水微生物群落多样性及差异解析	杨浩, 张国珍, 杨晓妮, 武福平, 赵炜, 张洪伟, 张翔 (4733)
表层沉积物中 6:2 氟调醇生物降解对细菌群落结构的影响	王丹, 侯珍, 张琪, 周莹, 卢晓霞 (4747)
外源环烷酸在土壤中的降解过程及对微生物群落结构的影响	刘艳秋, 赵嫣然, 刘梦娇, 樊灏, 黄艺 (4756)
1 株异养硝化-好氧反硝化细菌 DK1 的分离鉴定及其脱氮特性	牟东阳, 靳鹏飞, 彭永臻, 李夕耀, 张琼, 何建中 (4763)
重庆缙云山 4 种典型植被覆盖下汞的释放通量及影响因素	杨光, 孙涛, 安思危, 马明 (4774)
模拟氮沉降对闽江口淡水感潮沼泽湿地 CO ₂ 、CH ₄ 排放通量的短期影响	李冬冬, 仝川, 谭立山, 陈坤龙, 孙东耀, 黄佳芳 (4782)
地膜覆盖对稻-油轮作农田 CH ₄ 和 N ₂ O 排放的影响	石将来, 郝庆菊, 冯迪, 张凯莉, 石孝均, 江长胜 (4790)
西安市公园土壤多环芳烃污染特征、来源及风险评价	周燕, 卢新卫 (4800)
不同沙生灌木下土壤颗粒及重金属空间分布特征	代豫杰, 郭建英, 董智, 李锦荣, 李红丽 (4809)
不同水分梯度下 UV-B 辐射对 2 个稻田土壤碳氮转化的影响	蒋梦蝶, 王秋敏, 徐鹏, 周维, 郭磊, 胡荣桂 (4819)
喀斯特灌丛土壤丛枝菌根真菌群落结构及丰度的影响因子	梁月明, 苏以荣, 何寻阳, 陈香碧, 胡亚军 (4828)
生物炭和草酸活化磷矿粉对镉镍复合污染土壤的应用效果	段然, 胡红青, 付庆灵, 寇长林 (4836)
反复冻融与高温老化对神污染土壤固化稳定化效果的影响	杨洁, 钱赵秋, 王旌 (4844)
皂角苷和柠檬酸联合对污泥中 Cu、Pb 和 Zn 的去除及其稳定性特征	叶涛, 黄丽, 张克强, 张斌, 常红, 刘智杰, 杜连柱 (4850)
针铁矿与胡敏酸的交互作用及其复合物的稳定性	王锐, 朱朝菊, 向文军, 方敦, 杨小洪, 吴少尉, 魏世勇 (4860)
塑胶跑道中有机磷酸酯的含量及健康风险	印红玲, 刘琴, 廖林群, 王震, 罗怡, 邓旭, 丁凌刚, 唐铭 (4868)
农业废物堆肥化中理化参数对 GH6 家族基因影响	陈耀宁, 苟宇, 黎媛萍, 伍艳馨, 陈艳容, 李辉, 刘耀, 汪元南, 张道利, 朱福造, 曾光明 (4874)
F/M 及 HRT 对果蔬垃圾厌氧发酵产氢的影响	李标, 孔晓英, 李连华, 李颖, 袁振宏, 孙永明, 吕鹏梅 (4882)
环境模型中敏感性分析方法评述	陈卫平, 涂宏志, 彭驰, 侯鹰 (4889)
《环境科学》征稿简则 (4462)	
《环境科学》征订启事 (4672)	
信息 (4647, 4705, 4789)	

流态对生物添加强化硝化效果的影响

于莉芳¹, 杜倩倩¹, 张茹¹, 杨秀玲¹, 李韧¹, 滑思思¹, 冯云堂²

(1. 西安建筑科技大学环境与市政工程学院, 西安 710055; 2. 中山市春兴建筑科技有限公司, 中山 528400)

摘要: 在 15℃、相同氮负荷和添加强度条件下运行 SBR 和 CSTR 以对比分析两种典型流态(推流式和完全混合式)对硝化菌添加强化硝化效果的影响。结果表明, 添加期间, SBR 中氨氧化速率(AUR)和亚硝酸盐氧化速率(NUR)分别为添加前的 2.34 和 2.39 倍, 停止添加后又分别降为添加前的 2.01 和 1.78 倍; 添加期间 CSTR 中 AUR 和 NUR 分别为添加前的 2.63 和 2.44 倍, 停止添加后又分别降为添加前的 1.48 和 1.31 倍。荧光原位杂交结果显示, 添加期间, SBR 中氨氧化菌(AOB)和亚硝酸盐氧化菌(NO_B)的个数百分比分别为添加前的 2.67 和 2.71 倍, 添加停止后, 又分别降至原来的 2.14 和 1.95 倍; CSTR 中 AOB 和 NO_B 分别为添加前的 2.91 和 1.77 倍, 但在添加停止后 CSTR 中 AOB 和 NO_B 分别降至添加前的 1.25 和 1.50 倍。因此, 硝化菌添加期间, 两种流态的添加效果接近, 但是在添加停止后, 由于流态对硝化菌中 K-决策者(*Nitrosospira*、*Nitrospira*)和 r-决策者(*Nitrosomonas europaea*、*Nitrobacter*)的选择作用, 添加的硝化菌在完全混合式条件下比推流式条件下更容易被系统淘汰。

关键词: 流态; 硝化菌; 生物添加; r/K-决策者; 硝化性能; 群落结构

中图分类号: X703.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2017)11-4641-07 DOI: 10.13227/j.hjks.201704272

Effect of the Flow Patterns of Main-stream Reactors on the Efficiency of Nitrification Enhancement with Bioaugmentation

YU Li-fang¹, DU Qian-qian¹, ZHANG Ru¹, YANG Xiu-ling¹, LI Ren¹, HUA Si-si¹, FENG Yun-tang²

(1. School of Environmental & Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China; 2. Zhongshan Chunxing Construction Technology Co., Ltd., Zhongshan 528400, China)

Abstract: A nitrifying sequencing batch reactor (SBR) and continuous stirred-tank reactor (CSTR) were operated at 15℃ under the same conditions to investigate the effect of two typical flow patterns (plug flow and complete mixing) on the efficiency of nitrification enhancement. The results show that, during bioaugmentation, the ammonia utilized rate (AUR) and nitrite utilized rate (NUR) in the SBR were 2.34 and 2.39 times of that before bioaugmentation, and after bioaugmentation ceased, the AUR and NUR slightly decreased to 2.01 and 1.78 times of that before bioaugmentation. Meanwhile, the AUR and NUR in the CSTR were 2.63 and 2.44 times that before bioaugmentation, and after bioaugmentation ceased, the AUR and NUR decreased to 1.48 and 1.31 times that before bioaugmentation. Fluorescence In-Situ Hybridization (FISH) results showed that during bioaugmentation, the ammonia oxidizing bacteria (AOB) and nitrite oxidizing bacteria (NO_B) in the SBR were 2.67 and 2.71 times of that before bioaugmentation, and after bioaugmentation ceased, the AUR and NUR slightly decreased to 2.14 and 1.95 times that before bioaugmentation. Meanwhile, the AUR and NUR in the CSTR were 2.91 and 1.77 times of that before bioaugmentation, and after bioaugmentation ceased, the AUR and NUR decreased to 1.25 and 1.50 times of that before bioaugmentation. Therefore, the efficiency of nitrification enhancement was similar between the two types of flow patterns during bioaugmentation, but the seeded nitrifiers were much more vulnerable to wash out in the CSTR than that in the SBR due to r/K selectivity of the flow patterns.

Key words: flow pattern; nitrifiers; bioaugmentation; r/K-strategists; nitrification performance; community structure

城市污水处理厂中污泥水(包括污泥厌氧消化池上清液、浓缩池上清液和脱水滤液)的氮负荷占进水氮负荷的 15%~25%, 国内外大多数污水处理厂采用将其回流至进水口进行再处理的方法, 使得污水处理系统的实际氮负荷高于设计负荷, 而城市污水生物脱氮系统常因活性污泥中硝化菌含量低而导致低温硝化效果差^[1,2]。许多学者提出在污泥水回流前增设一个侧流系统将其中的氨氮完全硝化, 一方面可以降低污水处理系统氮负荷, 另一方面, 可以将侧流系统富集的硝化菌(其实是侧流系统剩余污泥)添加至污水处理系统, 增加污水处理系统

硝化菌的份额。因此, 这种生物添加强化硝化工艺对强化低温地区生物脱氮系统性能有着较大的潜力, 美国宾夕法尼亚州 Harrisburg 污水处理厂^[3](2015 年)与瑞典 Slottshagen 污水处理厂^[4](2016 年)的现场实验表明, 温度越低, 强化硝化效果越明显, 在低温时段, 硝化速率可提高 41% 以上。但是由于两个系统的温度、碱度、氨氮浓度、pH 以及硝化

收稿日期: 2017-04-27; 修订日期: 2017-05-16

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(51208414); 陕西省教育厅专项(12JK0650)

作者简介: 于莉芳(1981~), 女, 博士, 副教授, 主要研究方向是废水生物处理, E-mail: yulifang81@163.com

菌种群结构等存在差异,富集的硝化菌添加至污水处理系统后可能存在适应性问题,目前尚未明确,导致该工艺在实际应用中仍然进展缓慢。

污水处理系统的流态会直接影响氨氮、亚硝酸盐的时空分布,从而影响其中硝化菌的性能和种群结构。Chudoba 等^[5]和 Still 等^[6]发现推流式硝化速率是完全混合式的 1.53 ~ 1.6 倍,文献[7 ~ 9]发现流态对硝化菌种群有明显的选择特性,推流式更有利于基质亲和力弱、快生长型的 r-决策者 (*Nitrosomonas europaea*、*Nitrobacter*) 生存,完全混合式更有利于基质亲和力强、慢生长型的 K-决策者 (*Nitrospira*、*Nitrospira*) 生存。因此,富集的硝化菌添加至不同流态的系统后,由于流态对硝化菌的选择作用,添加强化硝化效果可能也会存在差异。

实验对相同负荷下运行的 SBR (推流式) 和 CSTR (完全混合式) 进行硝化菌添加强化硝化实验,采用耗氧速率法 (OUR) 和荧光原位杂交方法 (FISH) 对添加前、持续添加期间和添加停止后 3 个阶段 SBR 和 CSTR 中活性污泥硝化性能、硝化菌群落结构的变化情况进行对比分析,以考察污水处理系统流态对硝化菌添加强化硝化效果的影响。

1 材料与方法

1.1 实验装置

SBR: 采用有机玻璃制成,有效容积为 4 L,运行参数: 温度为 $(15 \pm 1)^\circ\text{C}$, HRT 为 8 h, SRT 为 7 d, 每天循环 6 个周期,每周期进水 2 L,每个循环 4 h,包括: 进水 6 min,曝气搅拌 3 h,沉淀 40 min,出水 8 min,静置 6 min。

CSTR: 采用有机玻璃制成,包括方形曝气池和二沉池,曝气池有效容积为 4 L,运行参数: 温度为 $(15 \pm 1)^\circ\text{C}$, HRT 为 8 h, SRT 为 7 d。氨氮连续流入方形曝气池中,为抑制 CSTR 丝状菌过度繁殖,碳源及其它营养物等间歇进入方形曝气池中,每 30 min 进水 1 次,每次进水 2 min,每天总进水量为 12 L。

1.2 实验启动及运行

接种污泥取自西安市第二污水处理厂。反应器进水均为人工配水,组分为: 尿素 $91.74 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; NH_4Cl $30.00 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; CH_3COONa $79.37 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; 蛋白胨 $17.41 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; 酵母 $52.24 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; KH_2PO_4 $23.40 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ $5.80 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; 淀粉 $122.00 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; 奶粉 $116.19 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 及微量元素^[9]。进水氨氮负荷为 $0.15 \text{ kg} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{d})^{-1}$, 有机负荷为 $1.2 \text{ kg} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{d})^{-1}$ 。溶解氧维持在 2 ~ 3

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 通过 NaHCO_3 调节进水 pH 值在 7.0 ~ 8.0 之间。

反应器在运行至第 144 d 开始添加,第 185 d 停止添加,添加使用的硝化菌为实验室在 25°C 、高氨氮条件下采用序批式反应器培养所得,添加期间每天取 20 mL 分别添加至 SBR 和 CSTR。第 212 d 停止运行。

1.3 分析项目及方法

COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、MLSS、MLVSS、SV、SS 采用标准方法测定。DO、pH 采用溶解氧仪 (梅特勒 Seven2Go S9)、pH 计测定。

氨氧化速率 (AUR) 和亚硝酸盐氧化速率 (NUR) 采用 OUR 法进行测定^[10],测定温度均为 20°C 。

硝化菌群落结构分析采用荧光原位杂交方法^[11,12],实验中使用的探针: EUB_{mix} (检测总细菌)、NSO1225 (AOB)、Nsm156 (*Nitrosomonas europaea*)、Nsv 443 (*Nitrospira*)、Ntspa662 + Comp Ntspa662 (*Nitrospira*) 和 NIT3 + Comp NIT3 (*Nitrobacter*)。其中总细菌所用探针采用 CY5 标记, AOB 所用探针采用 FITC 标记, NOB 所用探针采用 CY3 标记, Comp Ntspa662、Comp NIT3 无荧光标记。

2 结果与讨论

2.1 富集硝化菌性能

用于添加的硝化菌是在实验室条件下采用模拟污泥水富集培养所得,污泥水水质参数参考西安市邓家村污水处理厂消化池上清液水质配制而成^[1]。富集硝化菌的 AUR 和 NUR 分别为 $(74.51 \pm 9.78) \text{ mg} \cdot (\text{L} \cdot \text{h})^{-1}$ 和 $(111.06 \pm 10.30) \text{ mg} \cdot (\text{L} \cdot \text{h})^{-1}$ 。硝化菌个数为 $(41.66 \pm 14.50)\%$, 其中 AOB/EUB_{mix} 为 $(28.02 \pm 8.46)\%$, NOB/EUB_{mix} 为 $(13.64 \pm 4.94)\%$, AOB 优势菌为 *Nitrosomonas europaea*, 占总细菌数的 $(26.24 \pm 2.19)\%$, NOB 中 *Nitrobacter* 和 *Nitrospira* 共存,分别占总细菌数的 $(6.89 \pm 1.13)\%$ 和 $(6.75 \pm 2.83)\%$ 。这与以往研究结果一致^[13~16]。

2.2 反应器运行状况

2.2.1 COD

实验期间 SBR 和 CSTR 进、出水 COD 及 COD 去除率历时变化分别如图 1 和图 2 所示。为防止 CSTR 中丝状菌膨胀,实验进水中 COD 由复杂有机物配制而成,如: 蛋白胨、酵母、淀粉和奶粉,这些物质溶解度不稳定,造成进水中 COD 在 $303.03 \sim 413.70 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间波动。两个反应器启动稳定后,

SBR 和 CSTR 出水 COD 平均浓度分别为 $(20.73 \pm 5.89) \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $(19.47 \pm 7.44) \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 这与 Chen 等^[17]的研究结果一致. 整个实验期间, 两个反应器出水 COD 变化无明显差异.

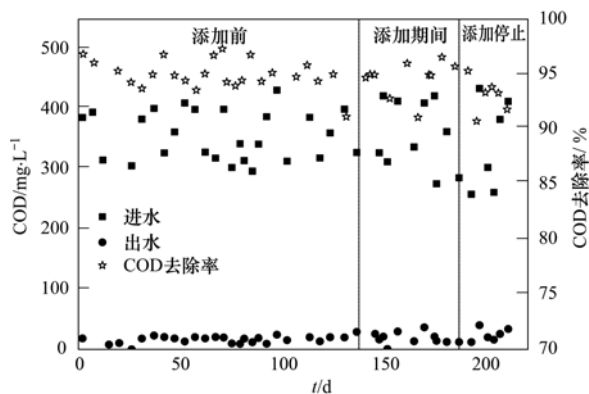


图1 SBR 的 COD 历时变化

Fig. 1 COD profiles of the SBR

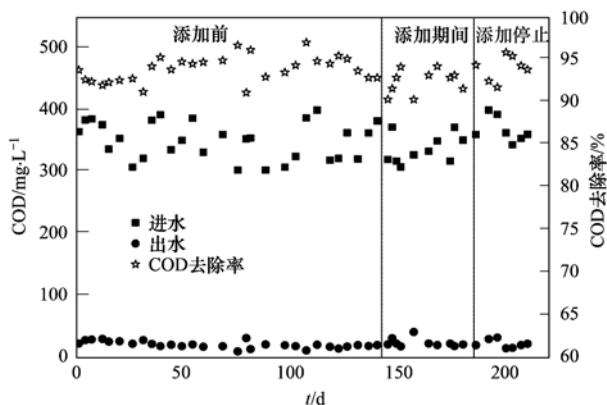


图2 CSTR 的 COD 历时变化

Fig. 2 COD profiles of the CSTR

2.2.2 氮

实验期间 SBR 和 CSTR 的出水氮浓度历时变化分别如图 3 和图 4 所示. 两个反应器在刚启动运行时, 氨氮和亚硝氮浓度波动较大. 在运行第 25 d 开始及添加过程中, SBR 氨氮和亚硝氮基本维持在 $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下, 而 CSTR 在添加前出水氨氮和亚硝氮浓度分别在 $0.03 \sim 6.21 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 与 $0.16 \sim 5.31 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间波动; 在添加期间及添加停止后出水氨氮浓度低于 $1.28 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 出水亚硝氮浓度低于 $2.36 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

2.3 硝化性能

表 1 为 SBR 和 CSTR 在添加前、添加期间以及添加停止后 3 个阶段稳定条件下的氨氧化速率和亚硝酸盐氧化速率. 从中可以看出, 第一, 3 个阶段的 SBR 反应器硝化活性均明显高于 CSTR 的硝化活性, 这与以往研究结果类似^[5,6]. 第二, 添加可以明

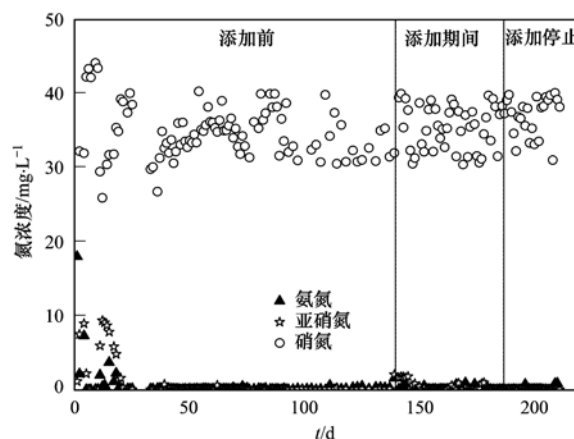


图3 SBR 的氮浓度历时变化

Fig. 3 Nitrogen concentration profiles of the SBR

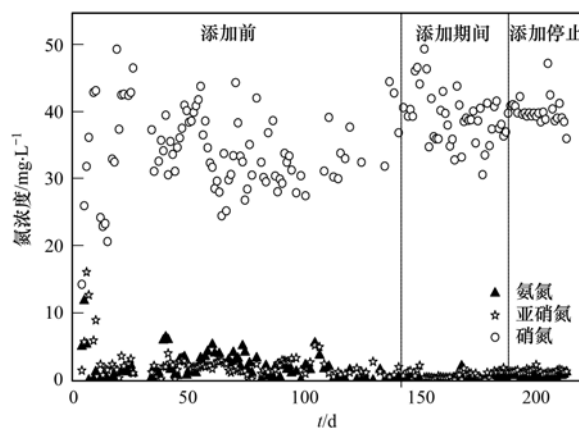


图4 CSTR 的氮浓度历时变化

Fig. 4 Nitrogen concentration profiles of the CSTR

显提高反应器的硝化性能, 添加期间, SBR 中 AUR 由 $(11.90 \pm 0.15) \text{ mg} \cdot (\text{L} \cdot \text{h})^{-1}$ 增加至 $(27.88 \pm 5.20) \text{ mg} \cdot (\text{L} \cdot \text{h})^{-1}$, NUR 由 $(11.67 \pm 1.19) \text{ mg} \cdot (\text{L} \cdot \text{h})^{-1}$ 增加至 $(28.00 \pm 4.17) \text{ mg} \cdot (\text{L} \cdot \text{h})^{-1}$, 分别为添加前的 2.34 倍和 2.39 倍; CSTR 中 AUR 由 $(7.00 \pm 0.24) \text{ mg} \cdot (\text{L} \cdot \text{h})^{-1}$ 增加至 $(18.43 \pm 1.05) \text{ mg} \cdot (\text{L} \cdot \text{h})^{-1}$, NUR 由 $(7.21 \pm 0.60) \text{ mg} \cdot (\text{L} \cdot \text{h})^{-1}$ 增加至 $(17.64 \pm 2.58) \text{ mg} \cdot (\text{L} \cdot \text{h})^{-1}$, 分别为添加前的 2.63 倍和 2.44 倍. 从硝化速率的增加比例来看, SBR 和 CSTR 的添加效率接近. 第三, 添加停止后, SBR 中 AUR 和 NUR 分别降为 $(24.02 \pm 1.50) \text{ mg} \cdot (\text{L} \cdot \text{h})^{-1}$ 和 $(20.78 \pm 0.59) \text{ mg} \cdot (\text{L} \cdot \text{h})^{-1}$, 分别为添加前的 2.01 倍和 1.78 倍; CSTR 中 AUR 和 NUR 分别降为 $(10.37 \pm 1.46) \text{ mg} \cdot (\text{L} \cdot \text{h})^{-1}$ 和 $(9.48 \pm 1.34) \text{ mg} \cdot (\text{L} \cdot \text{h})^{-1}$, 分别为添加前的 1.48 倍和 1.31 倍, 由此可以看出, CSTR 与 SBR 相比, 硝化速率在停止添加后下降幅度大, 但是仍高于添加前的硝化速率.

表 1 SBR 和 CSTR 在添加前、添加期间以及添加停止后的硝化性能(稳定阶段)/ $\text{mg}\cdot(\text{L}\cdot\text{h})^{-1}$

Table 1 Nitrification activity of the SBR and CSTR during three stages under stable conditions/ $\text{mg}\cdot(\text{L}\cdot\text{h})^{-1}$

反应器	项目	添加前	添加期间	添加停止
SBR	AUR	11.90 ± 0.15	27.88 ± 5.20	24.02 ± 1.50
	NUR	11.67 ± 1.19	28.00 ± 4.17	20.78 ± 0.59
CSTR	AUR	7.00 ± 0.24	18.43 ± 1.05	10.37 ± 1.46
	NUR	7.21 ± 0.60	17.64 ± 2.58	9.48 ± 1.34

2.4 硝化菌群落结构

图 5 为 SBR 和 CSTR 在添加前、添加期间以及添加停止后 3 个阶段稳定运行期间的 FISH 照片. 蓝色为 EUB_{mix} 探针(CY5 标记), 绿色为 AOB_{mix} 探针(FITC 标记), 红色为 NOB_{mix} 探针(CY3 标记), Bar = 25 μm .

从图 5 可以观察到, 在 SBR 和 CSTR 中, AOB 菌落比 NOB 的大, 并且 NOB 菌落形态不规则. 此

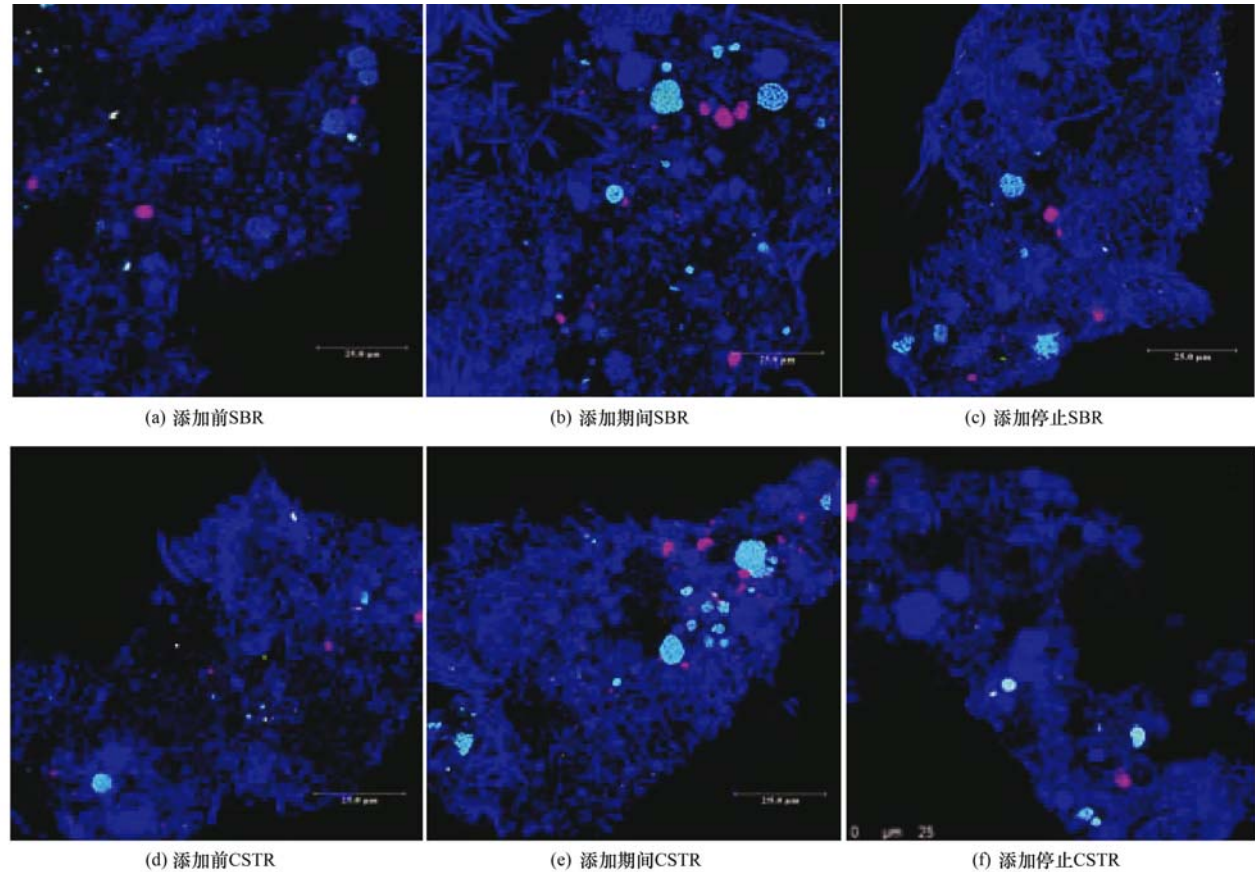


图 5 实验过程中 SBR 和 CSTR 的 FISH 照片

Fig. 5 FISH images of SBR and CSTR during experiments

外, 添加期间两个反应器硝化菌的份额明显增加, 但在添加停止后, 硝化菌的份额又减少.

对反应器活性污泥样品分别采用单个特异性探针与 EUB_{mix} 的荧光原位杂交结果进行分析, 得到 *Nitrosomonas europaea*、*Nitrosospira*、*Nitrospira* 和 *Nitrobacter* 占总细菌数的个数百分比, 分析结果如图 6~9 所示的 AOB 和 NOB 的群落结构.

SBR 中, 添加前、添加期间和添加停止后 AOB/EUB_{mix} 的比值分别为 $(1.52 \pm 0.17)\%$ 、 $(4.06 \pm 0.69)\%$ 和 $(3.25 \pm 1.09)\%$, 添加期间和添加停止后 AOB 个数百分比分别为添加前的 2.67 和 2.14 倍; NOB/EUB_{mix} 分别为 $(1.30 \pm 0.41)\%$ 、 $(3.52 \pm$

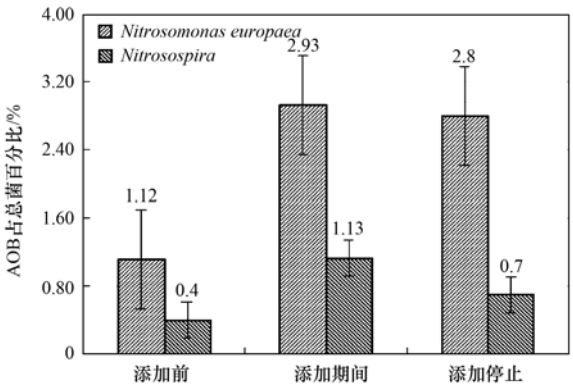


图 6 SBR 的 AOB 群落结构变化

Fig. 6 AOB community structure changes in the SBR

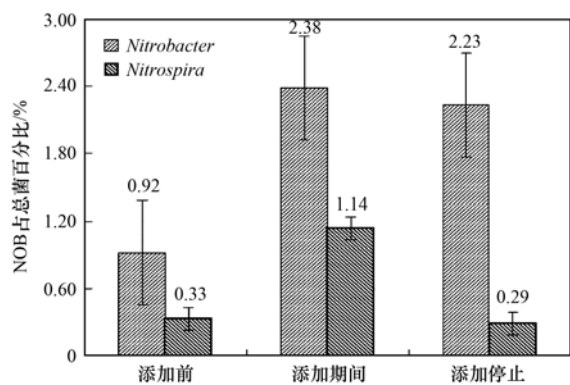


图7 SBR 的 NOB 群落结构变化

Fig. 7 NOB community structure changes in the SBR

0.38)% 和 $(2.54 \pm 0.94)\%$, 添加期间和添加停止后 NOB 个数百分比分别为添加前的 2.71 和 1.95 倍. 3 个阶段中, AOB 优势菌均为 *Nitrosomonas europaea*, 占 AOB 的个数百分比依次为 74%、72% 和 86%; NOB 优势菌均为 *Nitrobacter*, 占 NOB 的个数百分比依次为 77%、68% 和 88%. 这与以往结果一致^[18~21]. 由图 6 和图 7 可以看出, 添加期间, *Nitrosomonas europaea*、*Nitrospira*、*Nitrobacter* 以及 *Nitrospira* 的份额均显著增加, 但在添加停止后, 又不同程度地下降, 其中 K-决策者 (*Nitrosospira* 和 *Nitrospira*) 下降更为明显. 这说明添加停止后, 添加的硝化菌将不同程度地从系统流失, 相比于在 SBR 中具有选择优势的 r-决策者而言, K-决策者更容易被系统淘汰.

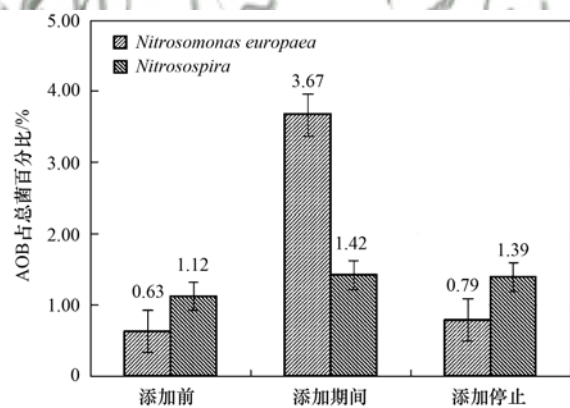


图8 CSTR 的 AOB 群落结构变化

Fig. 8 AOB community structure changes in the CSTR

CSTR 中, 添加前、添加期间和添加停止后 AOB/EUB_{mix} 的比值分别为 $(1.75 \pm 0.86)\%$ 、 $(5.09 \pm 0.69)\%$ 和 $(2.18 \pm 0.85)\%$, 添加期间和添加停止后 AOB 个数百分比分别为添加前的 2.91 和 1.25 倍; NOB/EUB_{mix} 的比值分别为 $(0.94 \pm 0.39)\%$ 、 $(1.66 \pm 0.31)\%$ 和 $(1.41 \pm 0.67)\%$, 添加期间和添加停止后 NOB 个数百分比分别为添加前的 1.77 和

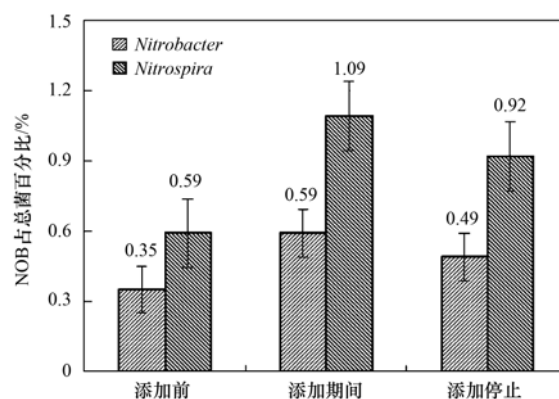


图9 CSTR 的 NOB 群落结构变化

Fig. 9 NOB community structure changes in the CSTR

1.50 倍. 其中 AOB 优势菌在添加前为 *Nitrosospira*, 占总细菌数的百分比为 $(1.12 \pm 0.34)\%$, 在添加期间 AOB 优势菌由 *Nitrosospira* (占 AOB 的 64%) 演替为 *Nitrosomonas europaea* (占 AOB 的 72%), 在添加停止后, AOB 优势菌又由 *Nitrosomonas europaea* 演替为 *Nitrosospira* (占 AOB 的 64%). 添加期间 AOB 优势菌的改变是因为添加的 AOB 中 *Nitrosomonas europaea* 占绝对优势 (占 AOB 的 94%) 所致^[22]. NOB 的优势菌在 3 个阶段均为 *Nitrospira*, 占 NOB 个数百分比依次为 63%、66% 和 65%. 与以往研究结果一致^[8,23]. 由图 8 和图 9 可以看出, 添加期间, CSTR 中 *Nitrosomonas europaea*、*Nitrospira*、*Nitrobacter* 以及 *Nitrospira* 的份额均显著增加, 在添加停止后, 又不同程度地下降, 说明添加停止后, 添加的硝化菌将不同程度地从系统流失, 这一规律与 SBR 系统类似. 但是 CSTR 中 r-决策者尤其是 *Nitrosomonas europaea* 在添加停止后明显下降, 这说明相比于在 CSTR 中具有选择优势的 K-决策者而言, r-决策者在添加停止后更容易被系统淘汰.

比较 SBR (间歇流) 和 CSTR (连续流) 两个系统, 由于添加的 AOB 中, *Nitrosomonas europaea* (r-决策者) 占 AOB 的 94%, NOB 中 *Nitrobacter* (r-决策者) 与 *Nitrospira* (K-决策者) 份额相当, 但是快生长型的 *Nitrobacter* 的硝化速率要比 *Nitrospira* 大得多^[24~26], 因此添加所引起的 NUR 增加主要依赖于 *Nitrobacter* (r-决策者). 因此, 尽管添加期间不同流态系统的硝化菌份额和硝化速率的增加幅度相似, 但是由于 r-决策者在 SBR 中具有竞争优势, 而在 CSTR 中处于竞争劣势, 导致在添加停止后 CSTR 中因前期添加所带入的硝化菌快速流失, 硝化性能大幅下降.

3 结论

(1)硝化菌添加可以有效增加两种典型流态系统的硝化菌份额从而强化系统的硝化性能,添加期间 SBR 和 CSTR 中硝化菌份额分别增至添加前的 1.95~2.71 倍,硝化速率增加至添加前的 2.34~2.63 倍。

(2)添加停止后,SBR 中因添加所增加的 K-决策者比 r-决策者容易被系统淘汰,CSTR 则相反。由于本实验中添加所用的 AOB 中 r-决策者占绝对优势,NOB 中 r、K-决策者数量相当,但 NUR 主要由 r-决策者贡献,因此本实验在添加停止后,CSTR 中硝化菌份额和硝化性能的减少幅度明显大于 SBR 系统。

参考文献:

- [1] 于莉芳,彭党聪.城市污水厂污泥水脱氮技术的应用及进展[J].中国给水排水,2007,23(8):9-13.
- Yu L F, Peng D C. Application and progress of nitrogen removal technology from sludge water in MWWTP[J]. China Water & Wastewater, 2007, 23(8): 9-13.
- [2] 曾薇,张丽敏,王安其,等.污水处理系统中硝化菌的菌群结构和动态变化[J].中国环境科学,2015,35(11):3257-3265.
- Zeng W, Zhang L M, Wang A Q, et al. Community structures and population dynamics of nitrifying bacteria in activated sludges of wastewater treatment plants[J]. China Environmental Science, 2015, 35(11): 3257-3265.
- [3] Tang H L, Chen H P. Nitrification at full-scale municipal wastewater treatment plants: evaluation of inhibition and bioaugmentation of nitrifiers[J]. Bioresource Technology, 2015, 190: 76-81.
- [4] Stenström F, La Cour Jansen J. Promotion of nitrifiers through side-stream bioaugmentation: a full-scale study[J]. Water Science & Technology, 2016, 74(7): 1736-1743.
- [5] Chudoba J, Čech J S, Chudoba P. The effect of aeration tank configuration on nitrification kinetics[J]. Journal (Water Pollution Control Federation), 1985, 57(11): 1078-1083.
- [6] Still D A, Ekama G A, Wentzel M C, et al. Filamentous organism bulking in nutrient removal activated sludge systems. Paper 2: Stimulation of the selector effect under aerobic conditions[J]. Water SA, 1996, 22(2): 97-118.
- [7] Wei B, Wu X. Comparison diversity and distribution of ammonia-oxidizing bacteria in five different water treatment processes[J]. African Journal of Microbiology Research, 2012, 6(13): 3202-3207.
- [8] Terada A, Sugawara S, Yamamoto T, et al. Physiological characteristics of predominant ammonia-oxidizing bacteria enriched from bioreactors with different influent supply regimes[J]. Biochemical Engineering Journal, 2013, 79: 153-161.
- [9] 于莉芳,潘瑞玲,彭党聪,等.流态对活性污泥硝化性能及菌群结构的影响[J].环境工程学报,2014,8(9):3563-3566.
- Yu L F, Pan R L, Peng D C, et al. Effect of flow pattern on nitrifiers community and nitrification rates of nitrifying activated sludge process[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2014, 8(9): 3563-3566.
- [10] 王建龙,吴立波,齐星,等.用氧吸收速率(OUR)表征活性污泥硝化活性的研究[J].环境科学学报,1999,19(3):225-229.
- Wang J L, Wu L B, Qi X, et al. Characterization of nitrification activity of activated sludge by oxygen uptake rate (OUR)[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 1999, 19(3): 225-229.
- [11] Loy A, Maixner F, Wagner M, et al. probeBase—an online resource for rRNA-targeted oligonucleotide probes: new features 2007[J]. Nucleic Acids Research, 2007, 35(S1): 800-804.
- [12] 于莉芳,杜倩倩,傅学焘,等.城市污水中硝化菌群落结构与性能分析[J].环境科学,2016,37(11):4366-4371.
- Yu L F, Du Q Q, Fu X T, et al. Community structure and activity analysis of the nitrifiers in raw sewage of wastewater treatment plants[J]. Environmental Science, 2016, 37(11): 4366-4371.
- [13] 于莉芳,王圣伟,郭天赐,等.污泥水富集硝化菌和强化城市污水低污泥龄硝化[J].环境科学,2008,29(2):332-337.
- Yu L F, Wang S W, Guo T C, et al. Nitrifiers accumulation with reject water and bio-augmentation for nitrification of sewage at short SRT[J]. Environmental Science, 2008, 29(2): 332-337.
- [14] Whang L M, Wu Y J, Lee Y C, et al. Nitrification performance and microbial ecology of nitrifying bacteria in a full-scale membrane bioreactor treating TFT-LCD wastewater[J]. Bioresource Technology, 2012, 122: 70-77.
- [15] Tangkitjaisut W, Limpiyakorn T, Powtongsook S, et al. Differences in nitrite-oxidizing communities and kinetics in a brackish environment after enrichment at low and high nitrite concentrations[J]. Journal of Environmental Sciences, 2016, 42: 41-49.
- [16] Sorrenti G, Buriani G, Gaggia F, et al. Soil CO₂ emission partitioning, bacterial community profile and gene expression of *Nitrosomonas* spp. and *Nitrobacter* spp. of a sandy soil amended with biochar and compost[J]. Applied Soil Ecology, 2017, 112: 79-89.
- [17] Chen Q, Ni J R, Ma T, et al. Bioaugmentation treatment of municipal wastewater with heterotrophic-aerobic nitrogen removal bacteria in a pilot-scale SBR[J]. Bioresource Technology, 2015, 183: 25-32.
- [18] David G W, Speitel Jr G E. Hydroxylamine addition impact to *Nitrosomonas europaea* activity in the presence of monochloramine[J]. Water Research, 2015, 68: 719-730.
- [19] Yuan Y, Liu J J, Ma B, et al. Improving municipal wastewater nitrogen and phosphorous removal by feeding sludge fermentation products to sequencing batch reactor (SBR)[J]. Bioresource Technology, 2016, 222: 326-334.
- [20] Reino C, Suárez-Ojeda M E, Pérez J, et al. Kinetic and microbiological characterization of aerobic granules performing partial nitrification of a low-strength wastewater at 10°C[J]. Water Research, 2016, 101: 147-156.
- [21] Wang X H, Wen X H, Criddle C, et al. Community analysis of ammonia-oxidizing bacteria in activated sludge of eight wastewater treatment systems[J]. Journal of Environmental Sciences, 2010,

- 22(4): 627-634.
- [22] Wu J, He C D, van Loosdrecht M C M, *et al.* Selection of ammonium oxidizing bacteria (AOB) over nitrite oxidizing bacteria (NOB) based on conversion rates [J]. Chemical Engineering Journal, 2016, **304**: 953-961.
- [23] Liu W R, Yang D H. Evaluating the feasibility of ratio control strategy for achieving partial nitrification in a continuous floccular sludge reactor: experimental demonstration [J]. Bioresource Technology, 2017, **224**: 94-100.
- [24] Huang Z H, Gedalanga P B, Asvapathanagul P, *et al.* Influence of physicochemical and operational parameters on *Nitrobacter* and *Nitrospira* communities in an aerobic activated sludge bioreactor [J]. Water Research, 2010, **44**(15): 4351-4358.
- [25] Park M R, Park H, Chandran K. Selective enrichment of *Nitrospira* spp. from activated sludge in a sequencing batch reactor[J]. Water Environment Federation, 2014, **6**: 975-978.
- [26] Ushiki N, Jinno M, Fujitani H, *et al.* Nitrite oxidation kinetics of two *Nitrospira* strains: the quest for competition and ecological niche differentiation [J]. Journal of Bioscience and Bioengineering, 2017, **123**(5): 581-589.

《环境科学》再获“百种中国杰出学术期刊”称号

2016年10月12日,中国科技论文统计结果发布会在北京举行,会议公布了“百种中国杰出学术期刊”获奖名单。《环境科学》连续15次荣获“百种中国杰出学术期刊”称号。“百种中国杰出学术期刊”是根据中国科技学术期刊综合评价指标体系进行评定。该体系利用总被引频次、影响因子、基金论文比、他引总引比等多个文献计量学指标进行统计分析,对期刊分学科进行评比,其评价结果客观公正,为我国科技界公认,并具有广泛影响。



CONTENTS

Development of a Non-Road Mobile Source Emissions Inventory for Tianjin	ZHANG Yi, Andre Michel, LI Dong, <i>et al.</i> (4447)
Spatial Simulation of Black Carbon Concentrations Based on a Land Use Regression Model and Mobile Monitoring over Shanghai, China	PENG Xia, SHE Qian-nan, LONG Ling-bo, <i>et al.</i> (4454)
Characteristics and Sources of Elements of a PM ₁₀ Measurements from a Typical Industrial City in Eastern Hubei Province	ZHAN Chang-lin, ZHANG Jia-quan, ZHENG Jing-ru, <i>et al.</i> (4463)
Characteristics and Source Identification of Carbonaceous Aerosols in PM _{2.5} Measurements During Summer and Fall in Changzhou	YE Zhao-lian, LIU Jia-shu, LI Qing, <i>et al.</i> (4469)
Characteristics and Sources of Water Soluble Inorganic Ions in Fine Particulate Matter During Winter in Xuzhou	FAN Mei-yi, CAO Fang, ZHANG Yuan-yuan, <i>et al.</i> (4478)
Physiochemical Properties and Sources of Atmospheric Particulate Matter During Pollution Monitoring in Nanning, China	LIU Hui-lin, CHEN Zhi-ming, LI Hong-jiao, <i>et al.</i> (4486)
Concentration and Size Distribution Characteristics of Culturable Bioaerosols at Various Air Quality Levels During Fall and Winter in Xi'an, China	LI Wan-xin, LU Rui, XIE Zheng-sheng, <i>et al.</i> (4494)
Distribution Characteristics of Chromophoric Dissolved Organic Matter and Nutrients from the Yellow Sea and Bohai Sea in Autumn	TANG Yong, SUN Yu-yan, SHI Xiao-yong, <i>et al.</i> (4501)
Characteristics and Risks of Heavy Metals Content in Surface Sediment of Tidal Flat Areas in Eastern China	ZHANG Ming, BAO Zhen-yu, CHEN Guo-guang, <i>et al.</i> (4513)
Heavy Metals in Sediments from the Haizhou Bay Marine Ranching Based on Geochemical Characteristics	LI Da-peng, ZHANG Shuo, ZHANG Zhong-fa, <i>et al.</i> (4525)
Major Ionic Features and Their Possible Controls in the Water of the Niyang River Basin	ZHANG Tao, CAI Wu-tian, LI Ying-zhi, <i>et al.</i> (4537)
Vertical Distribution Characteristics of Fe and Mn in Subtropical Reservoirs During Summer	YANG Si-yuan, ZHAO Jian, YU Hua-zhang, <i>et al.</i> (4546)
Occurrence, Distribution, and Ecological Risk of Antibiotics in Surface Water in the Liaohe River Basin, China	ZHANG Xiao-jiao, BAI Yang-wei, ZHANG Yuan, <i>et al.</i> (4553)
Effects of Optimized Fish Farming on the Sediment Nutrients of Eastern Lake Taihu	HE Xiao-wei, CHU Yu, ZENG Jin, <i>et al.</i> (4562)
Responses of the Benthic Diatom Community to Nutrients and the Identification of Nutrient Thresholds in Three Aquatic Ecoregions of the Huntai River, Northeast China	ZHANG Li, LIN Jia-ning, ZHANG Yuan, <i>et al.</i> (4570)
Impacts of Environmental Conditions on the Soaking Release of Nitrogen and Phosphorus from <i>Cynodon dactylon</i> (Linn.) Pers. in the Water-level Fluctuation Zone of the Three Gorges Reservoir Region	XIAO Li-wei, ZHU Bo (4580)
Effects of Soil Microbial Diversity on the Phosphate Fraction in the Rhizosphere of <i>Phragmites communis</i> in the Yeyahu Wetland in Beijing, China	TENG Ze-dong, LI Min, ZHU Jing, <i>et al.</i> (4589)
Nitrification and Denitrification Potential of Benthic Sediments in a Suburban Stream under Intense Human Disturbance Scenarios	LI Ru-zhong, ZHENG Xia, GAO Su-di, <i>et al.</i> (4598)
Distribution of External Phosphorus in the Sedimentary Phosphorus forms Under Different Disturbances	CAI Shun-zhi, LI Da-peng, TANG Xin-yu, <i>et al.</i> (4607)
Effect of <i>Elodea nuttallii</i> -Immobilized Nitrogen Cycling Bacteria on the Mechanism of Nitrogen Removal in Polluted River Water	WANG Hao, LI Zheng-kui, ZHANG Yi-pin, <i>et al.</i> (4617)
Zero-Valent Iron (ZVI) Activation of Persulfate (PS) for Oxidation of Arsenic (V) Form Aqueous Solutions	ZHOU Zi-mai, DENG Wen-na, YANG Yi-lin, <i>et al.</i> (4623)
Removal of Antimony from Water by Nano Zero-Valent Iron/Activated Carbon Composites	JIANG Ting, BAO Yue, LI Wei, <i>et al.</i> (4632)
Effect of the Flow Patterns of Main-stream Reactors on the Efficiency of Nitrification Enhancement with Bioaugmentation	YU Li-fang, DU Qian-qian, ZHANG Ru, <i>et al.</i> (4641)
Effect of Temperature on Nitrogen Removal Performance and the Extracellular Polymeric Substance (EPS) in a Sequencing Batch Reactor (SBR)	SUN Hong-wei, CHEN Cui-zhong, WU Chang-feng, <i>et al.</i> (4648)
Effects of Temperature on Shortcut Nitrification and Nitrification Activity of Nitrification in an Intermittent Aeration Sequencing Batch Reactor	LIU Hong, PENG Yong-zhen, LU Jiong-yuan, <i>et al.</i> (4656)
Nitrite Type Denitrifying Phosphorus Removal Capacity of Cycle Activated Sludge Technology Processes Under Different Inducing Patterns	MA Juan, WANG Jin, YU Xiao-jun, <i>et al.</i> (4664)
Laboratory-scale CANON Processes Applied to Wastewater Treatment Plants	LI Dong, ZHAO Shi-xun, WANG Jun-an, <i>et al.</i> (4673)
Effects of Magnetic Activated Carbon with Different Particle Sizes on Sludge Granulation in a SBR System	XIN Xin, GUAN Lei, GUO Jun-yuan, <i>et al.</i> (4679)
Storage and Reactivation of Anaerobic Ammonium Oxidation (ANAMMOX) Sludge at Room Temperature	HUANG Jia-lu, WANG Xiao-long, GAO Da-wen (4687)
Microbial Population Dynamics During Sludge Granulation in a Simultaneous Nitrogen and Phosphorus Removal System	GAO Jing-feng, WANG Shi-jie, FAN Xiao-yan, <i>et al.</i> (4696)
Anaerobic Reduction Process Characteristics and Microbial Community Analysis for Sulfate and Fe(II) EDTA-NO ₃ /Fe(III) EDTA	ZHANG Yu, WAN Fang, ZHOU Ji-ti (4706)
Treatment Efficiency and Microbial Community Diversity in a Magnetic Field Enhanced Sequencing Batch Reactor (SBR)	GENG Shu-ying, FU Wei-zhang, WANG Jing, <i>et al.</i> (4715)
Molecular Research of Acid-Generating Microbial Communities in Abandoned Ores in the Waste Dump of an Iron Mine in Anhui Province	DU Ze-rui, HAO Chun-bo, PEI Li-xin, <i>et al.</i> (4725)
Microbial Community Diversity and Differences in Cellar water of Typical Rainwater Harvesting Area	YANG Hao, ZHANG Guo-zhen, YANG Xiao-ni, <i>et al.</i> (4733)
Impact of the Biodegradation of 6:2 Fluorotelomer Alcohol on the Bacterial Community Structure of Surface Sediment	WANG Dan, HOU Zhen, ZHANG Qi, <i>et al.</i> (4747)
Degradation Process of Exogenous Naphthenic Acids and Their Effects on Microbial Community Structure in Soil	LIU Yan-qiu, ZHAO Yan-ran, LIU Meng-jiao, <i>et al.</i> (4756)
Identification and Nitrogen Removal Characteristics of the Heterotrophic Nitrification and Aerobic Denitrification Bacterial Strain DK1	MU Dong-yang, JIN Peng-fei, PENG Yong-zhen, <i>et al.</i> (4763)
Mercury Release Flux and Its Influencing Factors Under Four Typical Vegetation Covers at Jinyun Mountain, Chongqing	YANG Guang, SUN Tao, AN Si-wei, <i>et al.</i> (4774)
Short-term Effects of Nitrogen Deposition on CO ₂ and CH ₄ Fluxes from Wetlands in the Minjiang River Estuary	LI Dong-dong, TONG Chuan, TAN Li-shan, <i>et al.</i> (4782)
Effects of Plastic Film Mulching on Methane and Nitrous Oxide Emissions from a Rice-Rapeseed Crop Rotation	SHI Jiang-lai, HAO Qing-ju, FENG Di, <i>et al.</i> (4790)
Assessment of Pollution, Sources, and Risks of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Soil from Urban Parks in Xi'an City, China	ZHOU Yan, LU Xin-wei (4800)
Spatial Distribution of Soil Particles and Heavy Metals Under Different Psammophilic Shrubs in the Ulan Buh Desert	DAI Yu-jie, GUO Jian-ying, DONG Zhi, <i>et al.</i> (4809)
Effects of UV-B Radiation on Soil Carbon and Nitrogen Transformation under Different Soil Moisture Contents from Two Paddy Fields	JIANG Meng-die, WANG Qiu-min, XU Peng, <i>et al.</i> (4819)
Various effects on the Abundance and Composition of Arbuscular Mycorrhizal Fungal Communities in Soils in Karst Shrub Ecosystems	LIANG Yue-ming, SU Yi-rong, HE Xun-yang, <i>et al.</i> (4828)
Remediation of Cd/Ni Contaminated Soil by Biochar and Oxalic Acid Activated Phosphate Rock	DUAN Ran, HU Hong-qing, FU Qing-ling, <i>et al.</i> (4836)
Effects of Repeated Freezing and Thawing and High Temperature Aging on the Solidification and Stabilization of Arsenic Contaminated Soil	YANG Jie, QIAN Zhao-qiu, WANG Jing (4844)
Evaluation of the Combined Removal of Heavy Metals by Saponin and Citric Acid from Municipal Sewage Sludges and Metal Stability Features	YE Tao, HUANG Li, ZHANG Ke-qiang, <i>et al.</i> (4850)
Interactions between Goethite and Humic Acid and the Stability of Goethite-Humic Acid Complex	WANG Rui, ZHU Chao-ju, XIANG Wen-jun, <i>et al.</i> (4860)
Contents and Health Risks of Organic Phosphorus Esters in Plastic Runway Products	YIN Hong-ling, LIU Qin, LIAO Lin-qun, <i>et al.</i> (4868)
Effects on Physico-chemical Parameters of Glycoside Hydrolase Family 6 Genes During Composting of Agricultural Waste	CHEN Yao-ning, GOU Yu, LI Yuan-ping, <i>et al.</i> (4874)
Effect of the Food to Mass Ratio and Hydraulic Retention Time on Hydrogen Production from Fruit and Vegetable Waste	LI Biao, KONG Xiao-ying, LI Lian-hua, <i>et al.</i> (4882)
Comment on Sensitivity Analysis Methods for Environmental Models	CHEN Wei-ping, TU Hong-zhi, PENG Chi, <i>et al.</i> (4889)