

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, 李初, 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, 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)	

温度对间歇曝气 SBR 短程硝化及硝化活性的影响

刘宏¹, 彭永臻², 卢炯元¹, 李慧¹, 南彦斌¹, 王瑾¹, 陈永志^{1*}

(1. 兰州交通大学环境与市政工程学院, 兰州 730070; 2. 北京工业大学城镇污水深度处理与资源化利用技术国家工程实验室, 北京 100124)

摘要: 采用 SBR 反应器处理实际生活污水, 单周期分别交替 4 次(30℃)和 7 次(18℃)好氧/缺氧模式, 好氧/缺氧时间比为 30 min/30 min. 进水氨氮和亚硝氮浓度为 61.44 mg·L⁻¹ 和 0.77 mg·L⁻¹, 分别运行 61 和 90 周期时, 出水氨氮分别为 0.68 mg·L⁻¹ 和 1.28 mg·L⁻¹, 氨氮去除率高达 98.94% 和 99.57%; 亚硝氮积累浓度达到 20.57 mg·L⁻¹ 和 20.18 mg·L⁻¹, 亚硝氮积累率分别达到 95.92% 和 99.58%. 在实现短程硝化过程中, 氨氧化菌(AOB)活性逐渐增加最后稳定在 100.00% 左右, 而亚硝酸盐氧化菌(NOB)活性先增加后逐渐降低, 分别在 32 和 74 周期时, AOB 活性超过 NOB 活性, AOB 成为优势菌种, 61 和 90 周期时 NOB 活性被完全抑制.

关键词: 温度; 间歇曝气; 短程硝化; 硝化活性; SBR

中图分类号: X703.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2017)11-4656-08 DOI: 10.13227/j.hjxx.201704277

Effects of Temperature on Shortcut Nitrification and Nitrification Activity of Nitrification in an Intermittent Aeration Sequencing Batch Reactor

LIU Hong¹, PENG Yong-zhen², LU Jiong-yuan¹, LI Hui¹, NAN Yan-bin¹, WANG Jin¹, CHEN Yong-zhi^{1*}

(1. School of Environmental and Municipal Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China; 2. National Engineering Laboratory for Advanced Municipal Wastewater Treatment and Reuse Technology, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: Real domestic sewage was treated with sequencing batch reactors (SBR). The aerobic/anoxic modes were alternated 4 times at 30℃ and 7 times at 18℃ in a single-cycle, respectively, and the ratio of aerobic/anoxic cycles was 30 min/30 min. The influent concentration of ammonia and nitrite was 61.44 mg·L⁻¹ and 0.77 mg·L⁻¹, respectively. After the experiments were run for 61 and 90 cycles, the effluent of the ammonia was 0.68 mg·L⁻¹ and 1.28 mg·L⁻¹ and the removal rate for ammonia was 98.94% and 99.57%, respectively. The nitrite concentrations were 20.57 mg·L⁻¹ and 20.18 mg·L⁻¹, and the nitrite accumulation rate reached 95.92% and 99.58%, respectively. During shortcut nitrification, the activity of the ammonia oxidizing bacteria (AOB) increased gradually before finally stabilizing at 100.00%, however the activity of nitrite oxidizing bacteria (NOB) increased first and then decreased gradually, the activity of AOB exceeded NOB at 32 and 74 cycles respectively, where the AOB became the dominant bacteria and the activity of NOB was completely inhibited at 61 and 90 cycles.

Key words: temperature; intermittent aeration; shortcut nitrification; nitrification activity; sequencing batch reactor

短程硝化由于节省硝化过程 25% 氧气和减少反硝化过程 40% 碳源消耗的优点被广泛应用^[1~3], 在污水处理过程中, 维持稳定的短程硝化成为短程脱氮工艺的关键. 以往的研究主要集中在连续曝气的前提下, 通过单一因素(温度、低 DO、污泥龄、水力停留时间)来实现亚硝的稳定积累^[4,5], 而间歇曝气可以实现好/厌氧条件的快速交替, 更有利于氨氧化菌(AOB)的富集和活性表达, 而抑制了亚硝酸盐氧化菌(NOB)的生长^[6], 通过间歇曝气模式可以使 AOB 成为优势菌种, 对于稳定短程硝化具有重要作用^[7,8]. 短程硝化能够实现及长期稳定运行的实质在于 AOB 和 NOB 生理特性的差异, 有学者研究发现在高温、低溶解氧、pH 值等实时控制策略下可以实现短程硝化^[9~11], 张功良等^[9]采用 SBR 反应器

在连续曝气的条件下, 控制温度为 21~23℃ 时无法实现短程硝化的稳定运行, 在 31~33℃ 时可以实现短程硝化的恢复并维持其稳定. 而控制温度在间歇曝气条件下实现短程硝化的研究较鲜见, 本研究采用 SBR 反应器在不同温度时, 通过交替好氧/缺氧模式处理实际生活污水实现短程硝化, 并探究 AOB 和 NOB 活性的变化规律, 以期为短程硝化在实际工程中的应用提供理论参考.

收稿日期: 2017-04-27; 修订日期: 2017-05-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(51668033); 甘肃省高等学校特色专业(101004); 兰州交通大学教改重点项目; 大学生科技创新项目(DXS-KJJCX-2016-012)

作者简介: 刘宏(1993~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为水污染控制理论与技术, E-mail: 1073604917@qq.com

* 通信作者, E-mail: 476411589@qq.com

1 材料与方法

1.1 试验装置

SBR 反应器采用有机玻璃柱制成(图 1),直径 15 cm,高 40 cm,有效容积 5 L. 其侧壁设有取样口,采用搅拌器搅拌,利用时间控制器实现间歇曝气,采用温度控制器调节温度.

1.2 接种污泥

接种污泥取自兰州市七里河安宁区污水处理厂,浓度为3 000 mg·L⁻¹左右,污泥 MLVSS/MLSS(*f* 值)为 0.37,SV₃₀为 18,污泥具有良好的沉降性能.

1.3 试验用水水质及检测方法

试验用水取自兰州交通大学家属区实际生活污水,其水质指标见表 1.

取 100 mL 混合污泥置于量筒中,静置 30 min,

表 1 试验用水水质

Table 1 Quality of raw wastewater/mg·L ⁻¹				
项目	COD	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N
范围	139.96 ~ 298.24	51.84 ~ 71.06	0.06 ~ 2.75	0.02 ~ 1.41
均值	219.10	61.44	1.41	0.77

测定 SV₃₀. 从反应器中取 100 mL 水样,用定量滤纸过滤,滤纸残余物在 105℃ 的烘箱内烘至恒重,冷却后测量 MLSS. 然后在 600℃ 的马弗炉内烘至恒重,冷却后测量 MLVSS. 水样经滤纸过滤后根据国家标准方法^[12]测定 COD、NH₄⁺-N、NO₂⁻-N、NO₃⁻-N.

1.4 运行模式

温度分别为 30℃ 和 18℃,以下分别用 *T*_{30℃} 和 *T*_{18℃} 表示. 采用单周期 4 次(*T*_{30℃})和 7 次(*T*_{18℃})交替好氧:缺氧=30 min:30 min 模式,最后一次交替好氧后不再进行缺氧反应,之后沉淀 30 min 后排水;每周分别运行时间为 240 min 和 420 min,每天运行 2 个周期,瞬时进出水;曝气量为 80 L·h⁻¹,排水比为 75 %.

1.5 计算方法

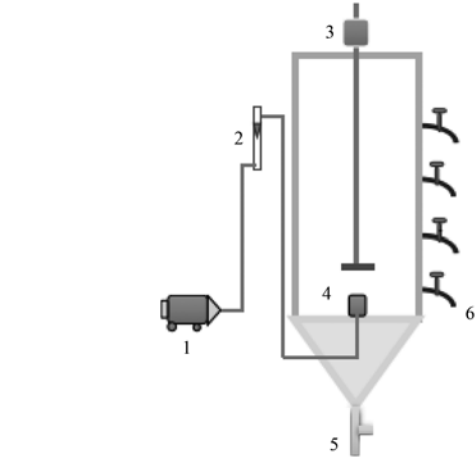
氨氮去除率、亚硝酸盐氮积累率、硝酸盐氮积累率、比氨氮氧化速率(SAOR)、比亚硝酸盐氮产生速率(SNiPR)和比硝酸盐氮产生速率(SNaPR)的计算参考孙洪伟等^[13]的公式进行,氨氧化速率和亚硝酸盐氮氧化速率参考卞伟等^[14]的公式.

1.5.1 AOB 和 NOB 的活性计算

AOB 活性的计算^[15]:

$$\eta_{\text{AOB活性}} = \text{SAOR}_n / \text{SAOR}_m \times 100\% \quad (1)$$

式中, $\eta_{\text{AOB活性}}$ 为 AOB 活性,% ; SAOR_n 为第 *n* 周期曝气结束时 SAOR(以 N/VSS 计),g·(g·d)⁻¹; SAOR_m



1. 曝气泵; 2. 气体流量计; 3. 搅拌器;
4. 曝气头; 5. 排泥口; 6. 取样口

图 1 SBR 试验装置示意

Fig. 1 Schematic diagram of a SBR

为整个试验阶段 SAOR 的平均值(以 N/VSS 计),g·(g·d)⁻¹.

NOB 活性的计算^[15]:

$$\eta_{\text{NOB活性}} = \text{SNaPR}_n / \text{SNaPR}_m \times 100\% \quad (2)$$

式中, $\eta_{\text{NOB活性}}$ 为 NOB 活性,% ; SNaPR_n 为第 *n* 周期曝气结束时 SNaPR(以 N/VSS 计),g·(g·d)⁻¹; SNaPR_m 为整个试验阶段 SNaPR 的平均值(以 N/VSS 计),g·(g·d)⁻¹.

1.5.2 同步硝化反硝化计算

根据张建华等^[16]提出的同步硝化反硝化(SND)率计算方法,在此公式中忽略了反应过程微生物的同化作用和细胞死亡的影响,计算公式如下:

$$C_{\text{SND率}} = (1 - \text{NO}_x^- \text{-N}_{\text{进-出}} / \text{NH}_4^+ \text{-N}_{\text{进-出}}) \times 100\% \quad (3)$$

式中, $C_{\text{SND率}}$ 为同步硝化反硝化率,% ; $\text{NO}_x^- \text{-N}_{\text{进-出}}$ 表示系统曝气前后 $\text{NO}_x^- \text{-N}$ ($\text{NO}_2^- \text{-N} + \text{NO}_3^- \text{-N}$)的增加量,mg·L⁻¹; $\text{NH}_4^+ \text{-N}_{\text{进-出}}$ 为系统曝气前后 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的减少量,mg·L⁻¹.

2 结果与讨论

2.1 不同温度间歇曝气模式下氨氮变化特征

对于好氧/缺氧脱氮工艺,从好氧池出来的混合液所携带的溶解氧必然会进入到缺氧池,导致缺氧

池不能形成真正的缺氧状态,使反硝化不彻底,从而使交替好氧/缺氧脱氮工艺在实际工程运用受到限制. 因此,对于 SBR 工艺,运用间歇曝气交替好氧/缺氧脱氮模式,可以较好实现好氧/缺氧的条件,使硝化和反硝化均能够彻底进行,达到脱氮的目的. 图 2 为 30℃ 和 18℃ 时氨氮变化特征,在整个运行过程中进水氨氮平均浓度为 $61.44 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 30℃ 条件下,第 1~10 周期氨氮的出水浓度从 $40.31 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 降低到 $2.76 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,去除率从 36.39% 升高到 95.05%; 第 11~61 周期氨氮去除率基本稳定在 90% 以上,第 61 周期时氨氮去除率升高到 98.94%,出水氨氮浓度降低至 $0.68 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,满足一级 A 排放标准. Zhang 等^[17]控制温度为 30℃ 条

件下,采用交替好氧/缺氧模式氨氮去除率稳定在 90.00% 以上. 在 18℃ 条件下,第 1~10 周期氨氮的出水浓度从 $50.07 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 减少到 $16.51 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,去除率从 18.33% 增加到 71.88%; 第 11~90 周期,氨氮的去除率增长幅度相对较缓慢,最终去除率达到 97.86%,出水浓度递减到 $1.28 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. 结果表明,在交替好氧/缺氧模式下,30℃ 比 18℃ 条件下在获得氨氮较高去除率的情况下,运行周期更短,这是由于温度较高时硝化菌的生化活性较高,反应速率较快,所需的反应时间更少. 蒋轶锋等^[7]在室温时采用间歇曝气模式取得了比连续曝气更好的氨氮去除效果,去除率分别达到 90% 和 75% 以上.

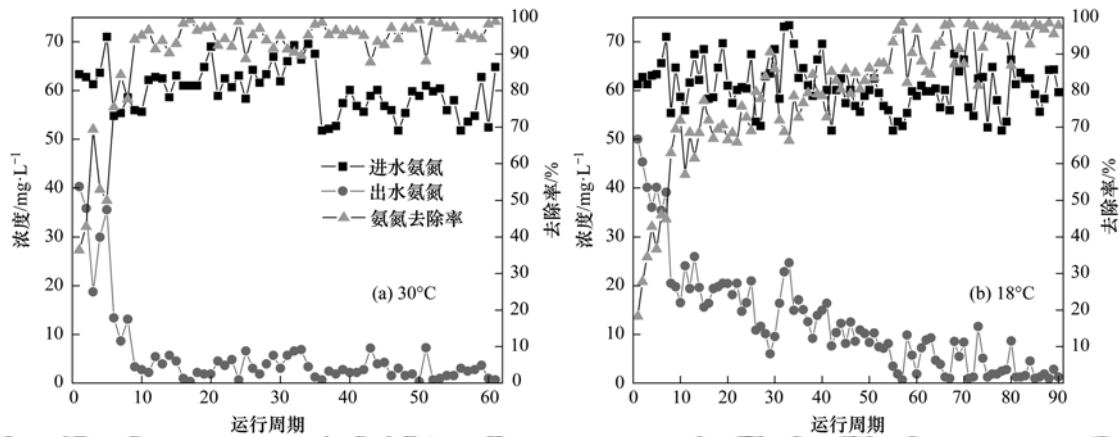


图 2 30℃ 和 18℃ 时 氨氮变化特征

Fig. 2 Variations of ammonia nitrogen at 30℃ and 18℃

2.2 温度对短程硝化的影响

根据 Arrhenius-type 方程^[18,19] 温度与硝化菌最大生长速率之间的关系为 30、25、20 和 10℃ 时速率常数 θ 为 (7.30 ± 0.60) 、 (3.90 ± 0.30) 、 (2.10 ± 0.20) 和 $(1.13 \pm 0.03) \text{ d}^{-1}$. 图 3、4 为 30℃ 和 18℃ 时氮的硝化、比亚硝态氮/硝态氮产生速率及 SND 率的变化. 整个试验过程中,亚硝氮和硝氮进水浓度均维持在 $2.00 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下,30℃ 条件下,第 1~21 周期出水亚硝氮和硝氮的浓度都呈现增长的趋势,亚硝氮从 $2.80 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 增加到 $9.55 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,硝氮浓度从 $2.44 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 升高到 $22.05 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,此时硝氮出水浓度达到最大值,亚硝氮积累率维持在 30.21%; 第 22~61 周期,亚硝氮浓度增加到 $20.57 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,而硝氮浓度减少到 $0.87 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,此时亚硝氮积累率高达 95.92%,成功实现了稳定的短程硝化. 18℃ 条件下,第 1~31 周期,亚硝氮和硝氮浓度也呈现增长的趋势,第 31 周期时,亚硝氮和硝氮出水浓度分别为 $9.63 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $14.30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,此时

硝氮出水浓度达到最大,亚硝氮积累率达到 40.24%. 31~90 周期时,亚硝氮浓度继续上升,而硝氮浓度逐渐下降,90 周期时亚硝氮和硝氮出水浓度分别达到 $20.18 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.09 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,亚硝氮积累率高达 99.58%,亚硝氮得到稳定积累. 根据 FA 公式^[13] 计算两种温度下 FA 浓度都维持在 $2.00 \sim 6.00 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, Anthonisen 等认为^[20],当游离氨 (FA) 浓度为 $1.00 \sim 10.00 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,NOB 活性受到抑制,而 AOB 受抑制较弱,因此在此过程中 FA 对 AOB 和 NOB 都产生抑制作用. 综上所述,在不同温度下,间歇曝气协调 FA 等条件可以实现亚硝氮的稳定积累,18℃ 下硝化菌的增殖速率较慢,硝化反应速率较低,但同样也可以实现亚硝的稳定积累,实现短程硝化. 两种温度下,比亚硝态氮产生速率都呈现上升的趋势,分别第 61 和 90 周期时产生速率维持在 $0.08 \text{ g} \cdot (\text{g} \cdot \text{d})^{-1}$ 和 $0.06 \text{ g} \cdot (\text{g} \cdot \text{d})^{-1}$ 左右,30℃ 条件下增长较快. 比硝态氮产生速率都呈现先升高后降

低的趋势,分别在 21 周期和 31 周期时出现拐点,此拐点与硝氮浓度转折点一致,最后比硝态氮产生速率降低至 $0 \text{ g} \cdot (\text{g} \cdot \text{d})^{-1}$,硝氮的产生受到完全抑制。

在实现短程硝化的过程中,进水总氮浓度(氨

氮、亚硝氮和硝氮)远大于出水总氮浓度,经计算 SND 率发现,在两种温度下,SND 率均达到 50.00% 以上,亚硝氮的浓度维持在 $20.00 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 左右,这是由于发生了同步硝化反硝化,从而导致在短程硝化过程中发生了氮的损失。

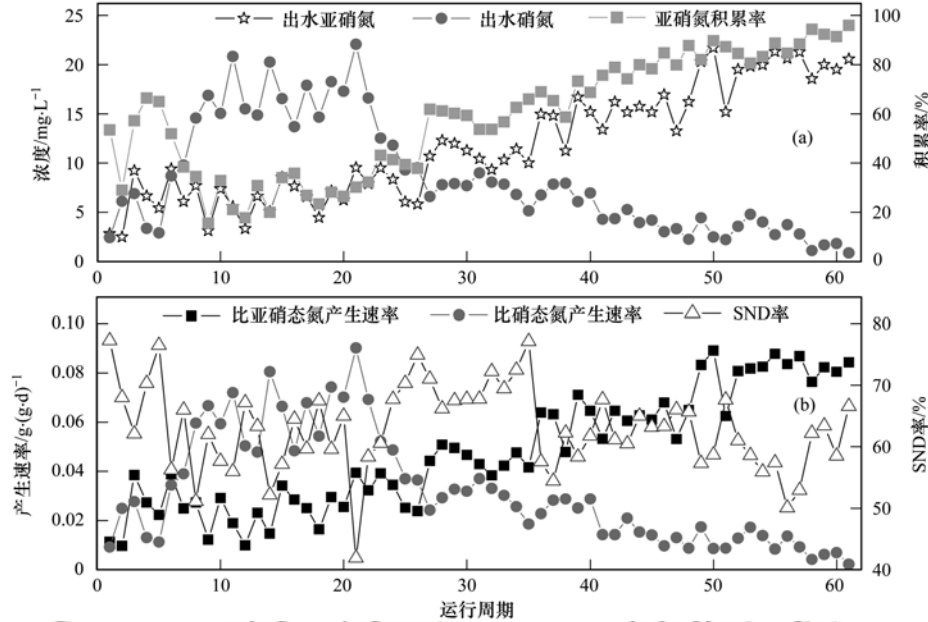


图3 30℃时氮的变化特征

Fig. 3 Change in nitrogen concentration at 30℃

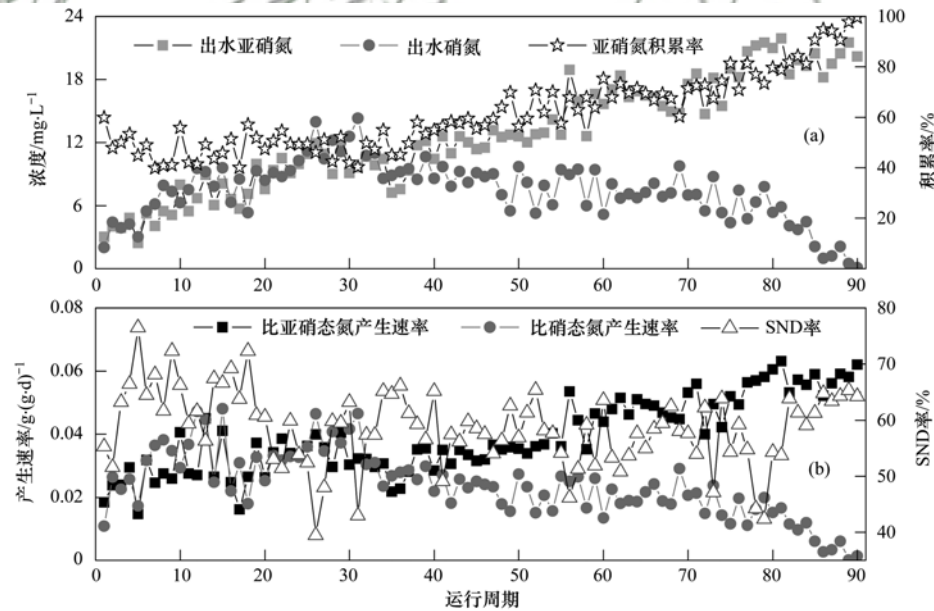


图4 18℃时氮的变化特征

Fig. 4 Change of nitrogen concentration at 18℃

2.3 氨氧化速率、比氨氧化速率、亚硝酸盐氧化速率的特性

图5、6为30℃和18℃条件下氨氧化速率、亚硝酸盐氧化速率、好氧速率、比氨氧化速率的变

化,可以看出,30℃条件下,第1~10周期氨氧化速率从 $19.22 \text{ mg} \cdot (\text{L} \cdot \text{min})^{-1}$ 增加到 $44.11 \text{ mg} \cdot (\text{L} \cdot \text{min})^{-1}$;随着反应的进行逐渐稳定在 $50.00 \text{ mg} \cdot (\text{L} \cdot \text{min})^{-1}$ 左右。18℃条件下,第1~25周期氨

氧化速率从 $5.35 \text{ mg} \cdot (\text{L} \cdot \text{min})^{-1}$ 增加到 $25.21 \text{ mg} \cdot (\text{L} \cdot \text{min})^{-1}$, 而后逐渐稳定在 $28.00 \text{ mg} \cdot (\text{L} \cdot \text{min})^{-1}$, 两种温度下均呈现先增加后趋于稳定. 比氨氧化速率和氨氧化速率变化趋势一致. 由于 AOB 的基质是 NH_3 而不是 NH_4^+ [21], 当 AOB 数量增加时, 单位时间内对 NH_3 的需求量将增大, 由于 NH_3 与 NH_4^+ 存在可逆平衡, 使得氨氧化速率的变化在反应后期逐渐趋于稳定, 从而表明氨氧化速率的变化与体系中 AOB 数量的增加不呈正比关系. 有研究发现 [22~24] 在温度为 $10 \sim 30^\circ\text{C}$ 条件下采用间歇曝气的方式, 氨氧化速率 (AOR) 维持在 $0.02 \sim 0.34 \text{ g} \cdot (\text{L} \cdot \text{d})^{-1}$, 这可能是由于采用交替好氧/缺氧模式、水质条件、生物量和活性不同等原因造成

的; 陈晓轩等 [25] 对短程硝化过程中相关功能菌群变化进行分析, AOB 数量的增长与氨氮去除负荷并不同步, 与本研究结果一致. 两种温度下亚硝酸盐氧化速率均呈现先增加后减少的趋势, 这是由于交替好氧/缺氧模式导致 NOB 受到抑制, 亚硝酸盐得到积累 (图 3、4). 由好氧速率 = $16/7 (1.50 \times \text{氨氧化速率} + 0.50 \times \text{亚硝酸盐氧化速率})$ [14] 可知, 氨氧化速率对好氧速率的贡献比亚硝酸盐氧化速率的贡献大, 因此好氧速率与氨氧化速率的变化趋势基本一致, 在反应后期好氧速率也逐渐趋于稳定, 这表明已实现稳定的短程硝化 [14]. 王盟等 [26] 采用在线监测好氧速率的方法, 当好氧速率达到稳定时, 同样实现了短程硝化.

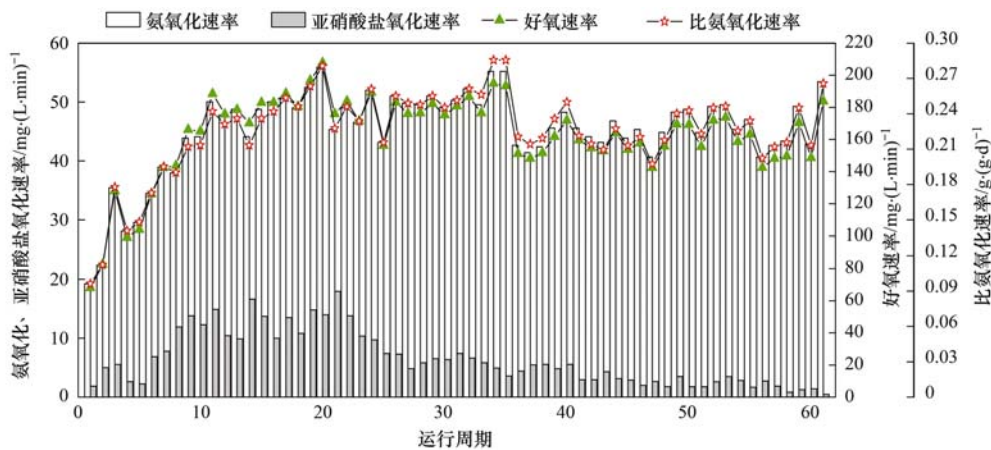


图 5 30°C 条件下氨氧化/亚硝酸盐氧化速率、好氧速率、比氨氧化速率的变化

Fig. 5 Ammonia oxidation/nitrite oxidation rate, aerobic rate and ammonia oxidation rate at 30°C

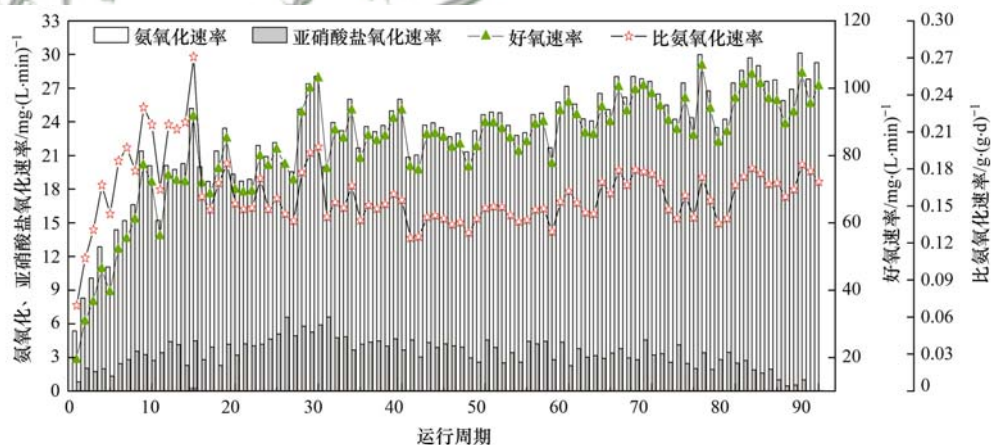


图 6 18°C 条件下氨氧化/亚硝酸盐氧化速率、好氧速率、比氨氧化速率的变化

Fig. 6 Ammonia oxidation/nitrite oxidation rate, aerobic rate and ammonia oxidation rate at 18°C

2.4 AOB 和 NOB 活性对比

图 7 为 AOB 和 NOB 在整个试验过程中活性的变化. 在两种温度下, AOB 的活性都呈现先增加后逐渐趋向于稳定, 最终都稳定在 100.00% 左右, AOB 能够在不同温度下进行培养, 而且它可以

调节生物量的代谢, 从而来提高这种条件下的硝化能力 [24]; 彭永臻等 [21] 指出 AOB 的基质是 NH_3 , 而不是 NH_4^+ , AOB 得到增殖后, 基质底物的需求量将增大, 但在稳定运行的短程硝化中并不能满足, 从而使得 AOB 活性逐渐趋于稳定. 30°C 条件

下第 1~21 周期时, NOB 的活性从 29.01% 增加到 282.35%; 18℃ 条件下第 1~31 周期时, NOB 的活性从 41.08% 增加到 176.16%, 此时活性均达到最大. 随着反应的进行 NOB 活性逐渐降低, 第 32 和 74 周期时, AOB 活性超过 NOB 活性, AOB 成为优势菌种, NOB 活性逐渐被抑制. 这是由于在两种温度下通过交替好氧/缺氧模式, 实现了

DO 在时间和空间上的变化, 可以很好地抑制 NOB, 由于 AOB 能够经受住“饱食饥饿”特性, 保持稳定的活性. 有研究也表明^[3,27], 间歇曝气模式可以抑制 NOB 生长, 但是对 AOB 的生长没有影响. 本研究采用间歇曝气模式实现了稳定的短程硝化, 这与高春娣等^[3]和 Chen 等^[28]的研究结果一致.

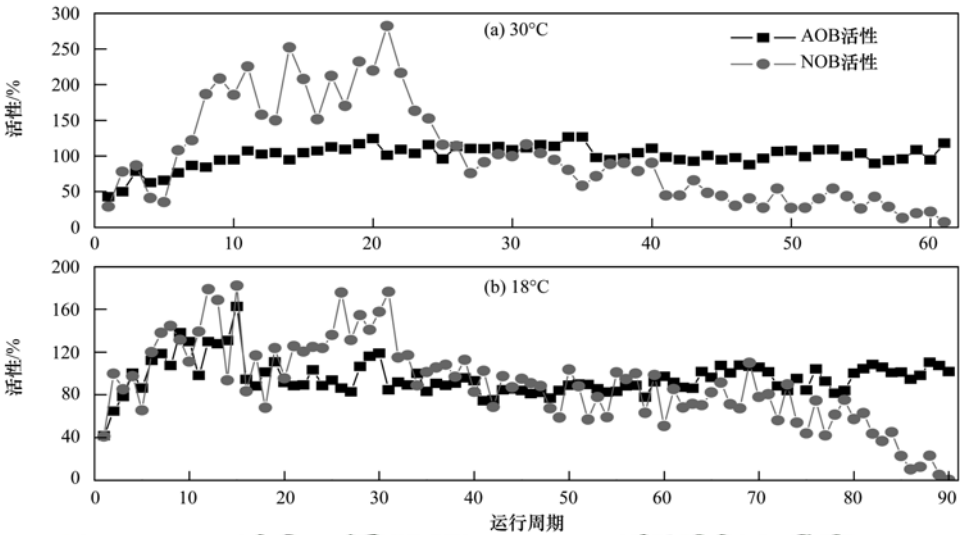


图7 30℃和18℃时 AOB 和 NOB 活性的变化

Fig. 7 Changes of the activity of AOB and NOB at 30℃ and 18℃

2.5 污泥特性变化

在整个反应系统中, MLSS 都维持在 2 500 ~ 3 000 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$. 污泥活性和沉降性能的好坏影响着短程硝化的实现及稳定性, 其中 f 值和污泥容积指数 (SVI) 是影响反应稳定运行的重要参数. 图 8 为不同温度下污泥性能参数的变化, 随着反应的进行 f 值都呈现先增长后趋向于稳定的趋势, 在反应运行结束时 f 值都稳定在 0.80 左右, 污泥具有较好的活性. 30℃ 条件下 f 值增长的幅度明显高于 18℃, 说明较高温度下污泥活性更容易提高. 30℃ 条件下

SVI 呈现上升的趋势, 最终稳定在 100.00 $\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$, 在整个试验过程中污泥沉降性能良好. 18℃ 条件下 SVI 呈现先增加后下降的趋势, 分析原因可能是由于常温下 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 的积累速率较慢, 浓度较低, 丝状菌得到增长^[29], 使得 SVI 接近于 120.00 $\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$, 出现了略微的膨胀; 之后由于 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 的积累较多 (图 4) 抑制了丝状菌的生长, 使得污泥沉降性能变好, 最终 SVI 稳定在 100.00 $\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$ 左右. 说明在短程硝化稳定运行的过程中, 两种温度下污泥都具有较高的活性和良好的沉降性能.

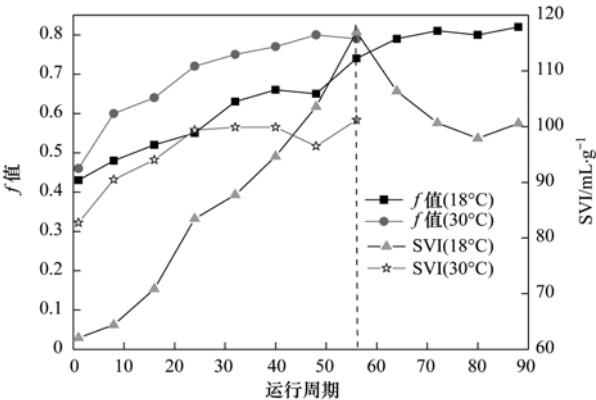


图8 污泥 f 值和 SVI 的变化

Fig. 8 Changes of sludge of f and the sludge volume index

3 结论

(1) 30℃ 和 18℃ 条件下, 采用 SBR 反应器处理实际生活污水, 通过间歇曝气交替好氧/缺氧模式于第 61 和 90 周期时, 氨氮出水浓度分别为 0.68 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 1.28 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 氨氮去除率分别高到 98.94% 和 97.86%; 亚硝氮积累浓度达到 20.57 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 20.18 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 亚硝氮积累率分别达到 95.92% 和 99.58%, 成功实现了稳定的短程硝化.

(2) 采用间歇曝气模式可以实现 DO 在时间和空间上的变化, AOB 具有“饱食饥饿”的特性, 活性保持稳定, 而 NOB 的活性逐渐被抑制, 第 32 和 74

周期时, AOB 活性超过 NOB 活性, AOB 成为优势菌种。

(3) 两种温度下, MLVSS/MLSS(f 值) 最终都稳定在 0.80 左右, 污泥具有良好的活性; SVI 都维持在 100.00 mL·g⁻¹ 左右, 污泥具有较好的沉降性能。

参考文献:

- [1] 付昆明, 左早荣, 仇付国. 陶粒 CANON 反应器的接种启动与运行[J]. 环境科学, 2014, **35**(3): 995-1001.
Fu K M, Zuo Z R, Qiu F G. Start-up by Inoculation and operation of a CANON reactor with haydite as the carrier[J]. Environmental Science, 2014, **37**(3): 995-1001.
- [2] 吴鹏, 张诗颖, 宋吟玲, 等. 连续流反应器短程硝化的快速启动与维持机制[J]. 环境科学, 2016, **37**(4): 1472-1477.
Wu P, Zhang S Y, Song Y L, et al. Quick start-up and sustaining of shortcut nitrification in continuous flow reactor[J]. Environmental Science, 2016, **37**(4): 1472-1477.
- [3] 高春娣, 王惟肖, 李浩, 等. SBR 法交替缺氧好氧模式下短程硝化效率的优化[J]. 中国环境科学, 2015, **35**(2): 403-409.
Gao C D, Wang W X, Li H, et al. Optimization of efficiency on partial nitrification under the mode of alternating anoxic/oxic in sequencing batch reactor[J]. China Environmental Science, 2015, **35**(2): 403-409.
- [4] 于莉芳, 陈青青, 杨晋, 等. 污泥水富集硝化菌的群落结构及动力学参数研究[J]. 环境科学, 2009, **30**(7): 2035-2039.
Yu L F, Chen Q Q, Yang J, et al. Community structure and kinetics characterization of enriched nitrifiers cultivated with reject water[J]. Environmental Science, 2009, **30**(7): 2035-2039.
- [5] 张立成, 党维, 徐浩, 等. SBR 快速实现短程硝化及影响因素[J]. 环境工程学报, 2015, **9**(5): 2272-2276.
Zhang L C, Dang W, Xu H, et al. Achievement and influencing factors of shortcut nitrification in SBR process[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2015, **9**(5): 2272-2276.
- [6] 苏东霞, 李冬, 张肖静, 等. 不同曝气方式 SBR 短程硝化试验研究[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2014, **45**(6): 2120-2129.
Su D X, Li D, Zhang X J, et al. Study on partial nitrification with different aeration modes in sequencing batch reactor[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2014, **45**(6): 2120-2129.
- [7] 蒋轶锋, 陈浚, 王宝贞, 等. 间歇曝气对硝化菌生长动力学影响及 NO₂⁻ 积累机制[J]. 环境科学, 2009, **30**(1): 85-90.
Jiang Y F, Chen J, Wang B Z, et al. Effect of intermittent aeration on growth kinetics of nitrifiers and mechanism for NO₂⁻ accumulation[J]. Environmental Science, 2009, **30**(1): 85-90.
- [8] 王琳, 徐新阳, 张铭川. 间歇曝气对化肥废水的短程硝化性能影响[J]. 中国环境科学, 2017, **37**(1): 146-153.
Wang L, Xu X Y, Zhang M C. Effects of intermittent aeration on the performance of partial nitrification treating fertilizer wastewater[J]. China Environmental Science, 2017, **37**(1): 146-153.
- [9] 张功良, 李冬, 张肖静, 等. 低温低氨氮 SBR 短程硝化稳定性试验研究[J]. 中国环境科学, 2014, **34**(3): 610-616.
Zhang G L, Li D, Zhang X J, et al. Stability for shortcut nitrification in SBR under low ammonia at low temperature[J]. China Environmental Science, 2014, **34**(3): 610-616.
- [10] Liang Y H, Li D, Zhang X J, et al. Microbial characteristics and nitrogen removal of simultaneous partial nitrification, anammox and denitrification (SNAD) process treating low C/N ratio sewage[J]. Bioresource Technology, 2014, **169**: 103-109.
- [11] 李凌云, 彭永臻, 杨庆, 等. SBR 工艺短程硝化快速启动条件的优化[J]. 中国环境科学, 2009, **29**(3): 312-317.
Li L Y, Peng Y Z, Yang Q, et al. Factors optimization of rapid start-up for partial nitrification in SBR process[J]. China Environmental Science, 2009, **29**(3): 312-317.
- [12] APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater (21st ed.) [M]. Washington, DC: American Public Health Association, 2001.
- [13] 孙洪伟, 吕心涛, 魏雪芬, 等. 游离氨(FA)耦合曝气时间对硝化菌活性的抑制影响[J]. 环境科学, 2016, **37**(3): 1075-1081.
Sun H W, Lv X T, Wei X F, et al. Synergetic inhibitory effect of free ammonia and aeration phase length control on the activity of nitrifying bacteria[J]. Environmental Science, 2016, **37**(3): 1075-1081.
- [14] 卞伟, 李军, 赵白航, 等. 硝化污泥中 AOB/NOB 对硝化特性的影响[J]. 中国环境科学, 2016, **36**(8): 2395-2401.
Bian W, Li J, Zhao B H, et al. The effect of AOB/NOB in nitrifying sludge on nitrification characteristics[J]. China Environmental Science, 2016, **36**(8): 2395-2401.
- [15] 郭英. SBR 生物脱氮过程进水 C/N 及 FA 对微生物硝化特性影响试验研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2013.
Guo Y. Study on the effect of influent C/N and FA on the nitrification characteristic of microbial populations in the biological nitrogen removal of sequencing batch reactor[D]. Lanzhou: Lanzhou Jiaotong University, 2013.
- [16] 张建华, 彭永臻, 张森, 等. 同步硝化反硝化 SBBR 处理低 C/N 比生活污水的启动与稳定运行[J]. 化工学报, 2016, **67**(11): 4817-4824.
Zhang J H, Peng Y Z, Zhang M, et al. Start-up and steady operation of simultaneous nitrification and denitrification in SBBR treating low C/N ratio domestic wastewater[J]. CIESC Journal, 2016, **67**(11): 4817-4824.
- [17] Zhang L C, Dang W, Li J, et al. Study on achievement and temperature influence of shortcut nitrification in sequencing biofilm batch reactor[J]. Advanced Materials Research, 2014, **955-959**: 3389-3392.
- [18] Isanta E, Reino C, Carrera J, et al. Stable partial nitrification for low-strength wastewater at low temperature in an aerobic granular reactor[J]. Water Research, 2015, **80**: 149-158.
- [19] Hao X D, Heijnen J J, Van Loosdrecht M C M. Model-based evaluation of temperature and inflow variations on a partial nitrification-ANAMMOX biofilm process[J]. Water Research, 2002, **36**(19): 4839-4849.
- [20] Anthonisen A C, Loehr R C, Prakasam T B, et al. Inhibition of nitrification by ammonia and nitrous acid[J]. Journal-Water Pollution Control Federation, 1976, **48**(5): 835-852.
- [21] 彭永臻, 孙洪伟, 杨庆. 短程硝化的生化机理及其动力学[J]. 环境科学学报, 2008, **28**(5): 817-824.

- Peng Y Z, Sun H W, Yang Q. The biochemical reaction mechanism and kinetics of partial nitrification[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2008, **28**(5): 817-824.
- [22] Gilbert E M, Agrawal S, Schwartz T, *et al.* Comparing different reactor configurations for Partial Nitrification/Anammox at low temperatures[J]. *Water Research*, 2015, **81**: 92-100.
- [23] Hu Z Y, Lotti T, de Kreuk M, *et al.* Nitrogen removal by a Nitrification-Anammox bioreactor at low temperature[J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2013, **79**(8): 2807-2812.
- [24] 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.
- [25] 陈晓轩, 刘春, 杨景亮, 等. 短程硝化启动运行中功能菌群变化研究[J]. *微生物学通报*, 2012, **39**(5): 597-605.
- Chen X X, Liu C, Yang J L, *et al.* Variation of functional bacteria during start-up and operation of partial nitrification process[J]. *Microbiology China*, 2012, **39**(5): 597-605.
- [26] 王盟, 卞伟, 侯爱月, 等. 两段式曝气工艺的短程硝化反硝化特性[J]. *化工学报*, 2016, **67**(4): 1497-1504.
- Wang M, Bian W, Hou A Y, *et al.* Characteristics of partial nitrification and denitrification via two-stage aeration[J]. *CIESC Journal*, 2016, **67**(4): 1497-1504.
- [27] Kornaros M, Dokianakis S N, Lyberatos G. Partial nitrification/denitrification can be attributed to the slow response of nitrite oxidizing bacteria to periodic anoxic disturbances [J]. *Environmental Science & Technology*, 2010, **44**(19): 7245-7253.
- [28] Chen G H, Yip W K, Mo H K, *et al.* Effect of sludge fasting/feasting on growth of activated sludge cultures [J]. *Water Research*, 2001, **35**(4): 1029-1037.
- [29] 路聪聪, 王淑莹, 葛士建, 等. 苯酚对污水生物脱氮系统亚硝积累及污泥性能的影响[J]. *化工学报*, 2013, **64**(7): 2641-2649.
- Lu C C, Wang S Y, Ge S J, *et al.* Effects of phenol on nitrite accumulation and sludge performance in biological nitrogen removal system [J]. *CIESC Journal*, 2013, **64**(7): 2641-2649.



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)