

水污染防治

DOI 10.12030/j.cjee.201711193 中图分类号 X703 文献标识码 A

吕永涛, 党文娟, 周亦桥, 等. NO₂⁻-N 和盐度对反硝化除磷及 N₂O 释放的影响 [J]. 环境工程学报, 2018, 12(6): 1651-1656.

LYU Yongtao, DANG Wenjuan, ZHOU Yiqiao, et al. Effects of nitrite and salinity on efficiency of denitrification phosphorus removal system and nitrous oxide emissions [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2018, 12(6): 1651-1656.

NO₂⁻-N 和盐度对反硝化除磷及 N₂O 释放的影响

吕永涛^{1,*}, 党文娟¹, 周亦桥¹, 廖正伟², 贺酰淑², 王磊¹

1. 西安建筑科技大学环境与市政工程学院, 西安 710055

2. 陕西省水务集团水务科技有限公司, 西安 710000

第一作者: 吕永涛 (1980—), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 污水处理与资源化。E-mail: hybos2000@126.com

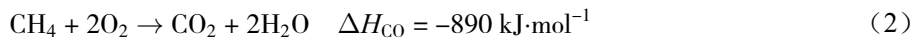
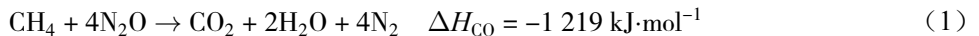
* 通信作者

摘要 以驯化好的反硝化除磷污泥为研究对象, 通过批式实验考察了 NO₂⁻-N 和 NaCl 浓度对反硝化除磷率及 N₂O 释放的影响。当进水亚硝酸盐的浓度由 15 mg·L⁻¹ 升高至 25 和 40 mg·L⁻¹ 时, 除磷率由 68.81% ± 0.5% 降至 66.25% ± 1% 和 62.88% ± 0.8%, TN 的去除率由 90.6% ± 0.7% 降至 74.55% ± 1.5% 和 51.65% ± 2%, N₂O 释放量分别为 4.82、13.83 和 17.06 mg。当 NaCl 质量分数为 0%、0.5%、1% 和 2% 时, TN 的去除率由 74.55% ± 1% 降至 68% ± 2%、64.2% ± 1% 和 54.3% ± 2.5%, 除磷率由 66.37% ± 1.5% 降至 61.29% ± 1%、50.47% ± 2% 和 36.7% ± 0.5%, N₂O-N 转化率为 41.1% ± 2%、41.4% ± 2.5%、48.94% ± 0.6% 和 51.03% ± 2%。因此, NO₂⁻-N 和 NaCl 质量分数的升高均会降低脱氮除磷效率, 但增加了 N₂O 释放量; 兼顾脱氮除磷效率前提下, NO₂⁻-N 为 25 mg·L⁻¹、NaCl 质量分数为 1% 是 N₂O 释放量增加的优化条件。

关键词 反硝化除磷; N₂O; 盐度; NO₂⁻-N

N₂O 是一种强温室气体, 其温室效应是 CO₂ 的 300 倍^[1], 且容易产生破坏臭氧层和光化学烟雾等次生环境危害。污水生物脱氮过程是产生 N₂O 的重要来源之一, 因此, N₂O 的产生和释放控制成为本领域的研究热点之一。研究发现, 基于 NO₂⁻ 的短程生物脱氮过程是 N₂O 释放的主要来源^[2], 且 C/N、NO₂⁻ 浓度和 pH 等是影响 N₂O 释放的重要因素^[3]。

近年来, 水环境研究组委会 (Water Environment Research Federation, WERT) 报道, N₂O 是一种潜在的可再生能源, 当代替氧气作为 CH₄ 的助燃剂时, 可提高 37% 的热值^[4], 具体反应见式 (1) 和式 (2)。这一报道为污水处理过程中氮的能源化提供了新思路^[5]。



研究发现, 利用内碳源进行反硝化可显著增加 N₂O 的释放量^[5-6]。SCHERSON 等^[7] 研究发现, 当脉冲式添加 NO₂⁻ 进行内源反硝化时, 获得高达 75%~80% 的 N₂O-N 转化率。反硝化除磷也是典型的内源反硝化过程, 通过影响因子控制能否实现反硝化除磷过程中 N₂O 的高度富集尚不明确。此外, 盐度也是生物反应的重要影响因素之一^[8], 通过抑制脱氮过程酶的活性影响其脱氮性能和产物。以往国内外研究多集中在反硝化脱氮过程中^[9], 但对反硝化除磷系统的脱氮除磷效果以及 N₂O 释放的研究尚未见报道。

本研究通过批式实验研究 NO₂⁻-N 和盐度对反硝化除磷效率及 N₂O 释放的影响, 旨在为 N₂O 的富集及氮的资源化利用提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 反应器及其运行

实验采用圆柱形 SBR，内径 15 cm，高 34 cm，有效容积 5 L，排水比为 0.6。每天运行 4 个周期，每个周期运行 6 h，其中厌氧进水 3 min，搅拌 90 min，沉淀 20 min，排水 10 min；缺氧进水 3 min，搅拌 210 min，沉淀 20 min，排水 10 min。厌氧段与缺氧段之间设置沉淀排水，目的是排除厌氧段剩余的 COD，以便使缺氧段利用内碳源进行反硝化除磷，从而为 DPAOs 提供良好环境。

1.2 实验用水和污泥特性

实验所用污泥为驯化完成的以硝酸盐为电子受体的反硝化除磷污泥，脱氮率和除磷率分别达到 99.95% 和 95.23%，单周期 N_2O 释放量为 7.48 mg， N_2O -N 转化率达到 16.41%。稳定运行期间，反应器内污泥浓度维持在 $(3\ 000 \pm 200)$ $mg \cdot L^{-1}$ ，SVI 为 $48.5\ mL \cdot g^{-1}$ ，污泥沉降性能良好，SRT 约为 20 d。

实验用水人工配制。厌氧段进水： CH_3COONa 250 $mg \cdot L^{-1}$ ， NH_4Cl 40 $mg \cdot L^{-1}$ ， $CaCl_2$ 10 $mg \cdot L^{-1}$ ， $NaHCO_3$ 200 $mg \cdot L^{-1}$ ， $MgSO_4$ 40 $mg \cdot L^{-1}$ ， $FeSO_4$ 10 $mg \cdot L^{-1}$ ；缺氧段进水： KNO_3 40 $mg \cdot L^{-1}$ ， KH_2PO_4 30 $mg \cdot L^{-1}$ ， $CaCl_2$ 10 $mg \cdot L^{-1}$ ， $NaHCO_3$ 200 $mg \cdot L^{-1}$ ， $MgSO_4$ 40 $mg \cdot L^{-1}$ ， $FeSO_4$ 10 $mg \cdot L^{-1}$ 。厌氧段和缺氧段各添加 1 $g \cdot L^{-1}$ 微量元素，组成^[10]见表 1。

1.3 水质及 N_2O 分析

NH_4^+ -N、 NO_2^- -N、 NO_3^- -N、 PO_4^{3-} -P 均按照标准方法^[11]进行测定，其中 NO_2^- -N 采用 N-(1-萘基)-乙二胺光度法， NO_3^- -N 采用紫外分光光度法， PO_4^{3-} -P 用钼锑抗分光光度法，pH 用精密酸度 (PHM210, HACH, USA) 测定。 N_2O 用气相色谱法 (PE600) 测定。

1.4 实验方案

批式实验 1。分别取厌氧末的泥水混合液 400 mL，沉淀排除上清液后用蒸馏水清洗 3~4 次，备用。用去离子水反复清洗后将反应器污泥定容到 0.15 L，加入 0.85 L 人工配水（批式反应器总体积为 1 L），使 3 个反应器内反应初期 NO_2^- -N 浓度分别为 15、25 和 40 $mg \cdot L^{-1}$ ，用 0.1 $mol \cdot L^{-1}$ 的 HCl 和 NaOH 调节初始 pH=7 左右，缺氧反应 210 min。每 10 min 取 1 次水样，测定水样中 NO_3^- -N、 NO_2^- -N 和 PO_4^{3-} -P 的浓度，水样测定前先经 0.45 μm 滤纸过滤；实验过程中通入高纯氮气使污泥混合合同时吹脱出反应产生的 N_2O ，在曝氮气第 0、0.5、1、3、5、8、10、15、20、30、40、50、60、70、80、90、100、110、120、130、140、150、160、180 和 210 分钟能够采集气样并测定 N_2O ；批式实验重复 3 次，结果取平均值。

批式实验 2。预处理步骤同批式实验 1 所述，控制初始 NO_2^- -N 浓度均为 25 $mg \cdot L^{-1}$ ， PO_4^{3-} -P 浓度为 30 $mg \cdot L^{-1}$ ，分别投加 0%、0.5%、1% 和 2% NaCl，缺氧反应 210 min，反应过程中通入恒定流量的高纯氮气，用取样针取气样 5 mL 进行 N_2O 的测定，取样方式同批式实验 1 所述；批式实验重复 3 次，结果取平均值。

2 结果与分析

2.1 NO_2^- -N 浓度对反硝化除磷率及 N_2O 释放的影响

2.1.1 不同进水 NO_2^- -N 浓度对氮去除率的影响

投加不同浓度的亚硝酸盐，系统内氮的去除情况见图 1，可知，系统中存在一定浓度的 NO_3^- -N，

表 1 微量元素组成
Table 1 Trace element composition

微量元素配方	浓度/ ($g \cdot L^{-1}$)
$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	1.5
H_3BO_3	0.15
$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	0.03
KI	0.18
$MnCl_2 \cdot 4H_2O$	0.12
$NaMoO_4 \cdot 2H_2O$	0.06
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	0.12
$CoCl_2 \cdot 6H_2O$	0.15
EDTA	10

且随进水 NO_2^- -N 浓度同步升高, 可能的原因是污泥在清洗后含有一定的 NO_3^- -N 及试剂纯度不够。整个反应过程 NO_3^- -N 和 NO_2^- -N 均呈缓慢下降的趋势。当进水 NO_2^- -N 浓度为 $15 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, NO_2^- -N 和 NO_3^- -N 在 210 min 时基本反应完全, 平均反硝化速率 (以 NO_2^- -N 计) 为 $0.695 \text{ mg}\cdot(\text{g}\cdot\text{min})^{-1}$ (SS), TN (在本实验中未投加氨氮, TN 近似为硝酸盐氮和亚硝酸盐氮的加和) 的去除率为 $90.6\% \pm 0.7\%$; 当进水 NO_2^- -N 浓度为 25 和 $40 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 平均反硝化速率分别为 0.69 和 $0.67 \text{ mg}\cdot(\text{g}\cdot\text{min})^{-1}$ (SS), TN 的去除率分别为 $74.55\% \pm 1.5\%$ 和 $51.65\% \pm 2\%$ 。可以看出, 随着 NO_2^- -N 浓度的增大, 反硝化速率和 TN 的去除率均下降。反硝化速率的下降可能是因为将电子受体由 NO_3^- -N 改为 NO_2^- -N 后对 DPAOs 产生了抑制作用^[12-13]。

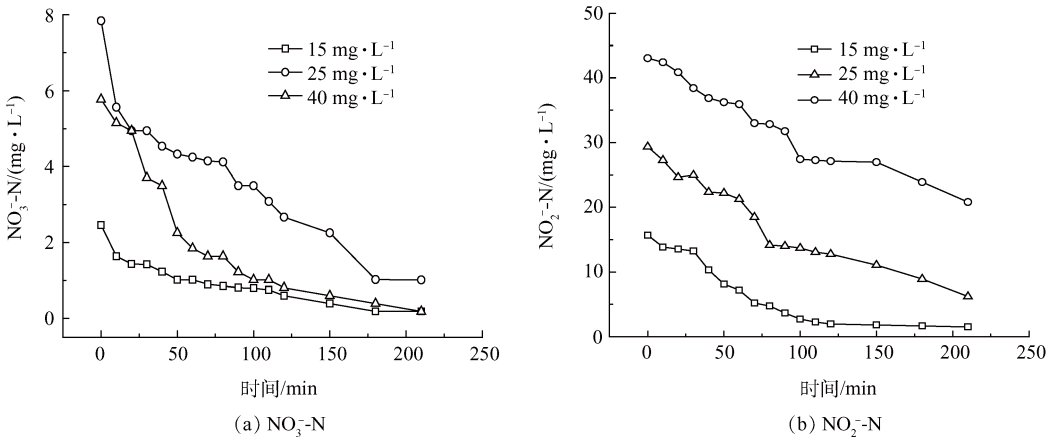


图 1 不同进水 NO_2^- -N 浓度条件下 NO_2^- -N 和 NO_3^- -N 浓度变化
Fig. 1 Concentration change of NO_2^- -N and NO_3^- -N at different concentration of NO_2^- -N

2.1.2 不同进水 NO_2^- -N 浓度对磷去除率的影响

图 2 为在不同进水 NO_2^- -N 浓度条件下 PO_4^{3-} -P 的变化情况。可知, PO_4^{3-} -P 浓度呈下降趋势, 当进水 NO_2^- -N 浓度为 15、25 和 $40 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 前 90 min PO_4^{3-} -P 的去除速率分别为 0.118 、 0.115 和 $0.113 \text{ mg}\cdot(\text{g}\cdot\text{min})^{-1}$ (SS), 除磷率分别为 $68.81\% \pm 0.5\%$ 、 $66.25\% \pm 1\%$ 和 $62.88\% \pm 0.8\%$ 。结果表明, 随着 NO_2^- -N 浓度由 $15 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 升高至 25 和 $40 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 高浓度 NO_2^- -N 会抑制 DPAOs 的吸磷作用, 且浓度越高对吸磷的抑制作用越明显。与 WANG 等^[14] 和 苗志加等^[15] 的研究结果相似。王亚宜等^[16] 发现当 NO_2^- -N $\geq 15 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 反硝化反应和缺氧吸磷反应均受到了抑制作用。苗志加等^[15] 发现初始 NO_2^- -N 最高浓度为 $112.36 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 反硝化除磷代谢并未停止。但刘建广等^[17] 研究表明当 NO_2^- -N $\geq 35 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 抑制了反硝化除磷菌活性, 缺氧吸磷反应基本完全停止。

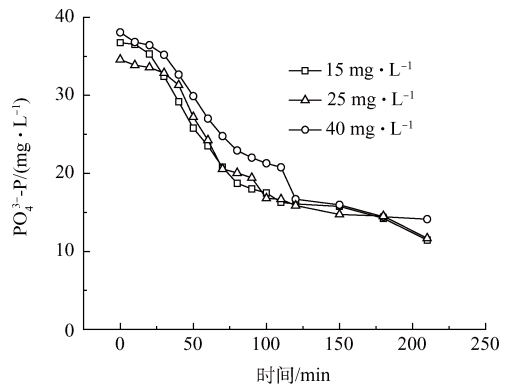


图 2 不同进水 NO_2^- -N 浓度条件下 PO_4^{3-} -P 浓度变化
Fig. 2 Concentration change of PO_4^{3-} -P at different concentration of NO_2^- -N

2.1.3 不同进水 NO_2^- -N 浓度对 N_2O 释放的影响

图 3 为不同进水 NO_2^- -N 浓度条件下 N_2O 释放速率的变化情况。可知, N_2O 释放速率呈先升高后降低的趋势, 当进水浓度为 $15 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 在 30 min 时 N_2O 释放速率达到最大值 $81.82 \mu\text{g}\cdot(\text{g}\cdot\text{min})^{-1}$ (SS), N_2O 释放量为 4.82 mg , N_2O -N 转化率为 $24.5\% \pm 3.5\%$ 。反应初始阶段较高的 FNA 对氧化亚氮

还原酶产生了抑制作用, N_2O 还原速率下降, 导致 N_2O 积累^[18]。当反应进行到 110 min 时, 因 NO_2^- -N 反应完全, 不存在 FNA 抑制作用, 使 N_2O 被彻底还原成 N_2 。

当进水浓度为 25 和 40 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 均在 60 min 时 N_2O 释放速率达到最大值, 二者分别为 105.33 和 120.39 $\mu\text{g}\cdot(\text{g}\cdot\text{min})^{-1}$ (SS); 反应结束时 N_2O 释放速率分别是 14.08 和 14.81 $\mu\text{g}\cdot(\text{g}\cdot\text{min})^{-1}$ (SS), N_2O 释放量分别为 13.83 和 17.06 mg, N_2O -N 转化率分别为 $46.1\% \pm 1\%$ 和 $41.5\% \pm 3\%$ 。根据 FNA 浓度计算公式, 当 NO_2^- -N 浓度为 25 和 40 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 反应结束时, 出水 pH 分别为 8.5 ± 0.3 和 9.0 ± 0.2 ,

pH 的升高及 NO_2^- -N 浓度的降低使 FNA 浓度减小, FNA 浓度分别为 5.17 和 17 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。ZHOU 等^[19] 发现, 当 FNA 浓度高于 10 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时缺氧代谢受到严重的抑制, 抑制了氧化亚氮的还原能力。这也是本研究中当 NO_2^- -N 的浓度为 25 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 反硝化除磷系统可以获得较高 N_2O -N 转化率的原因。

2.2 盐度对反硝化除磷效率及 N_2O 释放的影响

由批式实验 1 可知, 当进水 NO_2^- -N 浓度为 25 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 反应器会表现出良好的脱氮除磷效果, 同时也有较高的 N_2O 释放量, 因此, 批式实验 2 固定 NO_2^- -N 浓度为 25 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以研究盐度对反硝化除磷效率及 N_2O 释放的影响。

2.2.1 盐度对氮去除效率的影响

不同进水盐度条件下 NO_2^- -N 和 NO_3^- -N 的变化情况如图 4 所示。可知, 当投加不同浓度的 NaCl 时, NO_2^- -N 都均有剩余, 这是因为反硝化除磷系统对亚硝酸盐的耐受力小^[12]。当未投加 NaCl 时, TN 的去除率为 $74.55\% \pm 1\%$, 平均反硝化速率为 0.069 $\text{mg}\cdot(\text{g}\cdot\text{min})^{-1}$ (SS); 当投加 0.5%、1% 和 2% NaCl 时, TN 的去除率分别为 $68\% \pm 2\%$ 、 $64.2\% \pm 1\%$ 和 $54.3\% \pm 2.5\%$, 平均反硝化速率分别为 0.048、0.044 和 0.037 $\text{mg}\cdot(\text{g}\cdot\text{min})^{-1}$ (SS)。结果表明, 随着 NaCl 质量分数的增加, TN 的去除率和反硝化速率都明显减小。这主要是因为盐浓度的增加, 对微生物抑制作用增强, 导致其活性逐渐降低^[8]。

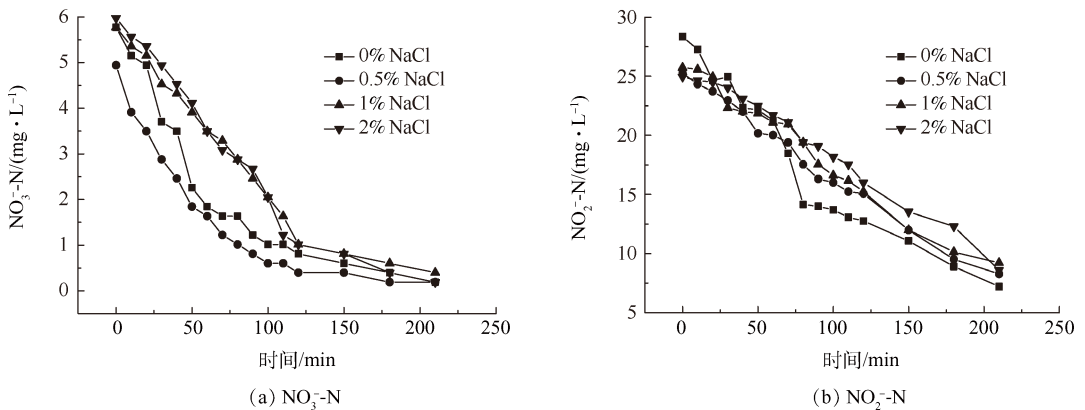


图4 不同进水盐度条件下 NO_2^- -N 和 NO_3^- -N 浓度变化
Fig. 4 Concentration change of NO_2^- -N and NO_3^- -N at different salinity

2.2.2 盐度对磷去除效率的影响

图 5 为不同进水盐度条件下 PO_4^{3-} -P 的变化情况, 可知, PO_4^{3-} -P 浓度均呈下降趋势, 当投加 0.5%、1% 和 2% NaCl 时, 除磷率由未投加 NaCl 的 $66.37\% \pm 1.5\%$ 降至 $61.29\% \pm 1\%$ 、 $50.47\% \pm 2\%$ 和 $36.7\% \pm$

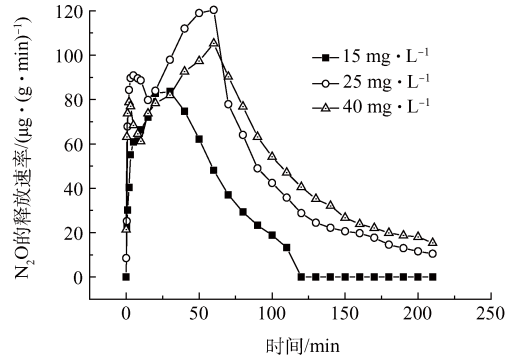


图3 不同进水 NO_2^- -N 浓度条件下 N_2O 释放速率变化
Fig. 3 Concentration change of N_2O at different concentration of NO_2^- -N

0.5%，由于过高的盐度对微生物的抑制作用大，降低了除磷效率。结果表明，高浓度的 NaCl 会对 DPAOs 产生抑制作用，降低除磷效率。

2.2.3 盐度对 N_2O 释放的影响

图 6 为不同进水盐度条件下 N_2O 释放速率的变化情况。可见， N_2O 的释放速率均呈先升高后降低的趋势。当未投加 NaCl 时， N_2O 的释放量为 12.38 mg， N_2O -N 转化率为 $41.1\% \pm 2\%$ ；当投加 0.5%、1% 和 2% 的 NaCl 时， N_2O 的释放量分别为 12.44、12.71 和 13.87 mg， N_2O -N 转化率分别为 $41.4\% \pm 2.5\%$ 、 $48.94\% \pm 0.6\%$ 和 $51.03\% \pm 2\%$ 。结果表明，随着盐浓度的增大， N_2O -N 的转化率增大。一方面主要是因为系统对过高盐度不适应，对反硝化菌的活性有抑制作用，导致 N_2O 释放量和 N_2O -N 转化率均有所增加^[8,20]；另一方面是因为盐度对氧化亚氮还原酶有抑制作用，导致 N_2O 释放量和 N_2O -N 转化率进一步增加^[8]。

3 结论

1) 升高进水 NO_2^- -N 浓度会降低脱氮除磷率，增加 N_2O 释放量。当进水 NO_2^- -N 浓度为 $25 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时，脱氮除磷率分别维持在 $74.55\% \pm 1.5\%$ 和 $66.25\% \pm 1\%$ ，可获得较高的 N_2O -N 转化率，达到 $46.1\% \pm 1\%$ 。

2) 在低盐度 (0%~2%) 条件下，随着盐浓度的增加，会抑制微生物的活性，进而降低 TN 的去除率和除磷率，但提高了 N_2O 释放量和转化率。NaCl 质量分数增加到 1% 时， N_2O -N 转化率由 $41.1\% \pm 1.5\%$ 升至 $48.94\% \pm 0.6\%$ 。

3) 在兼顾脱氮除磷性能的条件下， NO_2^- -N 为 $25 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、NaCl 为 1% 是获得 N_2O 增量释放的优化条件。

参 考 文 献

[1] WARRICK R A, LE C P, MEIER M F, et al. Climate change 1995: The science of climate change[J]. Environment & Planning A, 1996,25(5):43-55.

[2] 王淑莹, 委燕, 彭永臻, 等. 一种实现污泥消化液短程硝化过程中 N_2O 产生与利用的方法: CN103739086A[P].2014-04-23.

[3] KERRN J P, HENZE M. Biological phosphorus uptake under anoxic and aerobic conditions[J]. Water Research, 1993, 27(4): 617-624. DOI:10.1016/0043-1354(93)90171-D.

[4] 张清华. 污水生物脱氮处理工艺中 N_2O 气体的调查与研究 [D]. 西安: 陕西科技大学, 2016.

[5] THRID K A, BURNETT N, COED R. Simultaneous nitrification and denitrification using stored substrate (PHB) as the electron donor in an SBR[J]. Biotechnology and Bioengineering, 2003, 83: 706-720. DOI:10.1002/bit.10708.

[6] 郭春艳. 不同电子受体及 pH 值对聚磷菌代谢的影响 [D]. 北京: 北京工业大学, 2011.

[7] SCHERSON Y D, WOO S G, CRIDDLE C S. Production of nitrous oxide from anaerobic digester centrate and its use as a co-oxidant of biogas to enhance energy recovery[J]. Environmental Science & Technology, 2014, 48(10): 5612-5619. DOI:10.1021/es501009j.

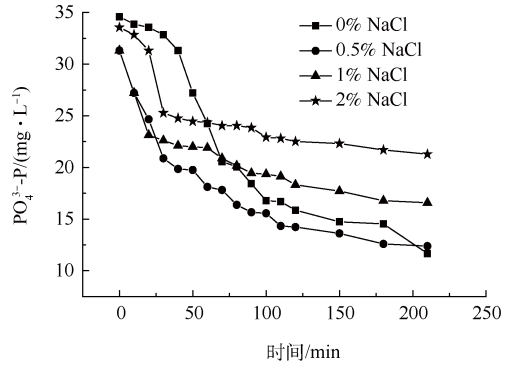


图 5 不同进水盐度条件下 PO_4^{3-} -P 浓度变化
Fig. 5 Concentration change of PO_4^{3-} -P at different salinity

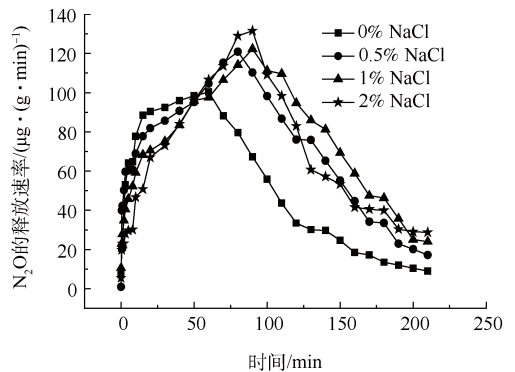


图 6 不同进水盐度条件下 N_2O 释放速率变化
Fig. 6 Concentration change of N_2O at different salinity

- [8] 刘甜甜, 刘牡, 王淑莹, 等. 盐度耦合 FNA 对短程反硝化过程中 N_2O 还原的影响 [J]. 中南大学学报 (自然科学版), 2013,44(8):3561-3568.
- [9] ZHAO W, WANG Y, LIU S, et al. Denitrification activities and N_2O production under salt stress with varying COD/N ratios and terminal electron acceptors[J]. Chemical Engineering Journal,2013,215(2):252-260. DOI:10.1016/j.cej.2012.10.084.
- [10] ZHOU Y, PIJUAN M, YUAN Z G. Development of a 2-sludge,3-stage system for nitrogen and phosphorous removal from nutrient-rich wastewater using granular sludge and biofilms[J]. Water Research,2008,42(12):3207-3217. DOI:10.1016/j.watres.2008.04.012.
- [11] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法 [M]. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社,2002.
- [12] LEMAIRE R, MEYER R, TASKE A, et al. Identifying causes for N_2O accumulation in a lab-scale sequencing batch reactor performing simultaneous nitrification,denitrification and phosphorus removal[J]. Journal of Biotechnology,2006,122(1):62-72. DOI:10.1016/j.jbiotec.2005.08.024.
- [13] WANG Y, GENG J, REN Z, et al. Effect of anaerobic reaction time on denitrifying phosphorus removal and N_2O production[J]. Bioresource Technology,2011,102(10):5674-5684. DOI:10.1016/j.biortech.2011.02.080.
- [14] WANG Y Y, ZHOU S, YE L, et al. Nitrite survival and nitrous oxide production of denitrifying phosphorus removal sludge oxide production of denitrifying phosphorus removal sludge batch reactors[J]. Water Research,2014,67:33-45. DOI:10.1016/j.watres.2014.08.052.
- [15] 苗志加, 薛桂松, 翁冬晨, 等. 亚硝酸盐对聚磷菌反硝化除磷代谢及 N_2O 产生的影响 [J]. 化工学报,2013, 64(6):2201-2206.
- [16] 王亚宜, 王淑莹, 彭永臻, 等. MLSS、pH 及 NO_2^- -N 对反硝化除磷的影响 [J]. 中国给水排水,2005,21(7):47-51.
- [17] 刘建广, 付昆明, 杨义飞, 等. 不同电子受体对反硝化除磷菌缺氧吸磷的影响 [J]. 环境科学,2007,28(7):1472-1476.
- [18] ZHOU Y N, PIJUAN M, ZENG R J, et al. Free nitrous acid inhibition on nitrous oxide reduction by a denitrifying-enhanced biological phosphorus removal sludge[J]. Environmental Science & Technology,2008,42(22):8260-8265. DOI:10.1021/es800650j.
- [19] ZHOU Y, GANDA L, LIM M, et al. Free nitrous acid (FNA) inhibition on denitrifying poly-phosphate accumulating organisms (DPAOs)[J]. Applied Microbiology & Biotechnology,2010,88(1):359-369. DOI:10.1007/s00253-010-2780-3.
- [20] 尚会来, 彭永臻, 张静蓉, 等. 盐度对污水硝化过程中 N_2O 产量的影响 [J]. 环境科学,2009,30(4):1079-1083.
(本文责任编辑: 郑晓梅)

Effects of nitrite and salinity on efficiency of denitrification phosphorus removal system and nitrous oxide emissions

LYU Yongtao^{1,*}, DANG Wenjuan¹, ZHOU Yiqiao¹, LIAO Zhengwei², HE Xianshu², WANG Lei¹

1. School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China

2. Shaanxi Water Affair Science and Technology Co. Ltd., Xi'an 710000, China

Abstract The effects of nitrite and salinity on denitrifying phosphorus removal and nitrous oxide emissions were investigated by batch experiments. When the nitrite concentration increased from 15 to 25 and 40 $mg \cdot L^{-1}$, the phosphorus removal efficiency decreased from $68.81\% \pm 0.5\%$ to $66.25\% \pm 1\%$ and $62.88\% \pm 0.8\%$, and the total nitrogen removal efficiency decreased from $90.6\% \pm 0.7\%$ to $74.55\% \pm 1.5\%$ and $51.65\% \pm 2\%$. However, the nitrous oxide emissions increased from 8.82 to 13.83 and 17.06 mg, respectively. With the increase of salinity concentration from 0% to 0.5%, 1% and 2%, the total nitrogen removal efficiency decreased from $74.55\% \pm 1\%$ to $68\% \pm 2\%$, $64.2\% \pm 1\%$ and $54.3\% \pm 2.5\%$, and the phosphorus removal rates decreased from $66.37\% \pm 1.5\%$ to $61.29\% \pm 1\%$, $50.47\% \pm 2\%$ and $36.7\% \pm 0.5\%$. Correspondingly, $41.1\% \pm 1.5\%$, $41.4\% \pm 2.5\%$, $48.94\% \pm 0.6\%$ and $51.03\% \pm 2\%$ of the total nitrogen was converted to nitrous oxide, respectively. In summary, the removal efficiency of nitrogen and phosphorus decreased simultaneously with the increase of the nitrite and salinity concentration, while the nitrous oxide emissions increased. Therefore, the optimum condition was when the nitrite and NaCl concentration were $25 mg \cdot L^{-1}$ and 1%, which was better for both the nitrous oxide accumulation and the nitrogen and phosphate removal.

Key words denitrifying dephosphatation; nitrous oxide; salinity; nitrite nitrogen