

温度及反硝化聚磷对 SBMBBR 脱氮除磷的影响

吴广华, 张耀斌*, 全燮, 赵雅芝

(大连理工大学环境与生命学院 工业生态与环境工程教育部重点实验室, 大连 116024)

摘要: 实验在维持进水 COD、 PO_4^{3-} -P 和 NH_4^+ -N 浓度分别为 450 mg/L、10 mg/L 和 40 mg/L 左右的条件下, 考察了较低温度 ($14^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$) 和较高温度 ($24^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$) 对 SBMBBR (序批式移动床生物膜反应器) 除磷脱氮效果的影响. 结果表明, $14^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 和 $24^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 下, PAOs (聚磷菌) 的释磷量分别为 54.7 mg/L、19.7 mg/L; 除磷率分别为 98.3%、83.4%; 脱氮率分别为 87.8%、98.4%. 较低温度有利于 PAOs 的富集, 但不利于硝化的进行; 较高温度有利于硝化反硝化的进行, 但 PAOs 不再是污泥系统的优势菌种. 同时在经过较长时间 (3 个月) 厌氧/好氧运行的污泥系统中进行了厌氧/缺氧反硝化除磷实验, 该系统内反硝化聚磷除磷效果较好, 反硝化吸磷占总吸磷量的 80% 左右.

关键词: 序批式移动床生物膜反应器; 脱氮除磷; 聚磷菌; 反硝化聚磷

中图分类号: X703.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2007)11-2484-04

Effect of Temperature and Denitrifying Phosphorus on Nitrogen and Phosphorous Removal in SBMBBR

WU Guang-hua, ZHANG Yao-bin, QUAN Xie, ZHAO Ya-zhi

(Key Laboratory of Industrial Ecology and Environmental Engineering of National Ministry of Education, School of Environmental and Biological Science and Technology, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: The effect of two kinds of temperature conditions ($14^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ and $24^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$) on the removal of phosphorus and nitrogen were studied in a sequencing batch moving bed biofilm reactor (SBMBBR). The experiments were performed at the concentrations of COD, nitrogen and phosphorus in the feed fixing at about 450 mg/L, 40 mg/L and 10 mg/L, respectively. The results indicated that under the two temperatures the phosphorus release amounts were 54.7 mg/L, 19.7 mg/L, and the phosphorus removals were 98.3%, 83.4%, and the total nitrogen removals were 87.8%, 98.4%, respectively. It found that PAOs (phosphorus-accumulating organisms) predominated in the biomass and the nitrifying level was low at the lower temperature. However, with increase of temperature, PAOs were no longer the predominant microbial species and the total nitrogen removal efficiency increased. A denitrifying phosphorus experiment was carried out under the mode of anaerobic/anoxic in the SBMBBR after 3 months anaerobic/oxic operation. The results showed the ratio of denitrifying phosphorus removal to total phosphorus removal was about 80%.

Key words: sequencing batch moving bed biofilm reactor (SBMBBR); nitrogen and phosphorous removal; phosphorus accumulating organisms; denitrifying phosphorus removal

传统理论认为生物脱氮需要通过好氧硝化和厌氧 (缺氧) 反硝化, 生物除磷则通过厌氧放磷、好氧吸磷来完成的. 因此, 生物脱氮除磷需 2 个 (或以上) 彼此独立的厌氧和好氧过程, 即 A/O (或 A^2/O) 工艺. 但在生物脱氮除磷工艺中, 由于作用的微生物种类不同, 各微生物对诸工艺条件的要求不同 (碳源、DO、温度等), 很难达到同时高效脱除氮磷的目的.

环境温度对于氮磷的去除效果有重要影响. 在生物脱氮除磷工艺中, 有硝化菌、反硝化菌、PAOs (聚磷菌)、DPB (反硝化除磷菌) 等微生物, 它们对环境的适宜温度存在差异^[1,2]. 考察并确定工艺的适宜温度对提高氮磷的去除很有意义. 但目前, 国内外关于温度对生物同时脱除氮磷的影响报道不多.

在生物脱氮除磷工艺中, 存在厌氧释磷和反硝化脱氮对碳源的竞争, 这也是出水氮磷很难高效处

理的原因之一. 研究表明^[3,4], 一部分 PAOs (聚磷菌) 可在缺氧下以硝酸盐为电子受体进行吸磷, 即 DPB. DPB 具有与 PAOs 相似的除磷性能, 只是电子受体不同. 如在工艺上利用 DPB 可将反硝化与除磷这 2 个需碳源的过程合二为一, 实现一碳两用, 可提高脱氮除磷效果. 但因工艺条件所限, 反硝化除磷的实际应用不多. 对于现有脱氮除磷工艺, 考察反硝化除磷作用的存在水平, 对于优化常规工艺的反硝化除磷作用, 提高氮磷去除能力具有重要意义.

本实验在序批式移动床生物膜反应器 (SBMBBR) 中进行, 初步研究了温度及反硝化聚磷作

收稿日期: 2006-12-12; 修订日期: 2007-02-05

基金项目: 教育部重大培育基金项目 (705011)

作者简介: 吴广华 (1980 ~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为污水深度处理, E-mail: wuguanghua@dlut@163.com

* 通讯联系人, E-mail: zhangyb@dlut.edu.cn

用对脱氮除磷的影响.

1 材料与方法

1.1 实验装置

实验用反应器高 300 mm, 直径 110 mm, 由有机玻璃制成, 在反应器壁上设有取样口、排水排泥口, 总有效容积为 2 L. 底部装有微孔曝气砂头, 鼓风曝气, 曝气量为 0.12 m³/h. 反应器设有搅拌器, 搅拌转速为 100 r/min. 反应器装改性聚乙烯填料(Ø10 mm × 10 mm 的空心圆柱, 内外表面作纹状处理, 空隙率 84%, 空床填充率为 50%).

1.2 实验水质

实验采用人工模拟废水, 进水 COD、NH₄⁺-N、PO₄³⁻-P 浓度通过投加不同的 CH₃COONa(碳源)、KH₂PO₄ 和 NH₄Cl 来实现, 同时加入 Cu、Ca、Mg、Fe 和 S 等微量元素, 并投加 NaHCO₃, 维持进水的 pH 值在 7.5 左右.

1.3 分析项目及方法

COD: 快速重铬酸钾法; PO₄³⁻-P: 钼锑抗分光光度法; NH₄⁺-N: 纳氏试剂光度法; NO₃⁻-N: 紫外分光光度法; NO₂⁻-N: N-(1-萘基)-乙二胺光度法.

2 结果与分析

2.1 温度对除磷脱氮的影响

SBMBBR 反应器采用厌氧(2 h)/好氧(7 h)的运行方式. 实验在分别 14℃ ± 1℃ 和 24℃ ± 1℃ 下进行. 除温度不同外, 2 种温度下的进水水质相同, 进水 PO₄³⁻-P、NH₄⁺-N、COD 浓度分别为 10 mg/L、40 mg/L 和 450 mg/L 左右. 待系统运行稳定后, 定时测定反应器内 COD、PO₄³⁻-P、NH₄⁺-N、NO₃⁻-N 和 NO₂⁻-N 的浓度.

2.1.1 温度对除磷的影响

图 1 为 2 种温度(T₁ = 14℃ ± 1℃、T₂ = 24℃ ± 1℃)下除磷和除 COD 效果的比较. 由图 1 可知, 在厌氧段 PAOs 释放磷, 反应器内磷浓度在厌氧末期达到最大. 14℃ ± 1℃ 和 24℃ ± 1℃ 下, 反应器内磷浓度由进水的 9.2 mg/L、8.6 mg/L 分别升至 63.9 mg/L、28.3 mg/L, 释磷量分别为 54.7 mg/L、19.7 mg/L. 在好氧段 PAOs 吸收磷并在体内合成聚磷, 好氧结束时, 14℃ ± 1℃ 和 24℃ ± 1℃ 条件下出水磷浓度分别为 0.16 mg/L、1.42 mg/L. 因此, 较低温度下的释磷速率、吸磷速率以及释磷量都比较高温度时大. 一般来讲温度越高, 微生物的活性越大, 增殖速度越快. 实

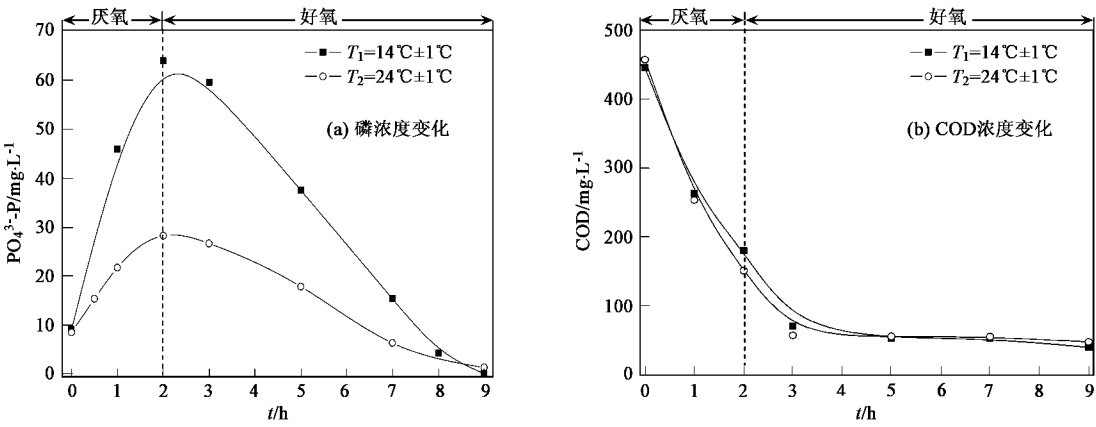


图 1 温度对除磷的影响
Fig.1 Effect of temperature on phosphorus removal

验中出现这种结果的可能原因是: 在一定温度范围内, 随着温度升高, PAOs 对基质利用能力下降, 增长速率变慢, PAOs 的数量逐渐减少, 生物膜内微生物菌种重新优化, PAOs 不再是微生物种群结构中的优势功能菌, 被聚糖原菌(GAOs)代替^[5].

2.1.2 温度对脱氮的影响

图 2 为温度对脱氮影响的结果. 从图 2 可知, 2 种温度(T₁ = 14℃ ± 1℃、T₂ = 24℃ ± 1℃)下, 整个反

应过程中 NO₃⁻-N 和 NO₂⁻-N 均没有积累, TN 浓度在厌氧反应 15 min 之内大幅下降(推测为生物吸附作用), 随后下降缓慢, 进入好氧段又继续下降. 在 NH₄⁺-N 进水浓度为 40 mg/L 时, TN 去除率分别为 87.8%、98.4%, 可见, 24℃ ± 1℃ 的脱氮率明显高于 14℃ ± 1℃ 的脱氮率. 这是因为较高温度更适宜硝化菌(包括亚硝化菌)和反硝化细菌的生长, 硝化速率以及反硝化速率都提高, 增加了 TN 的去除率.

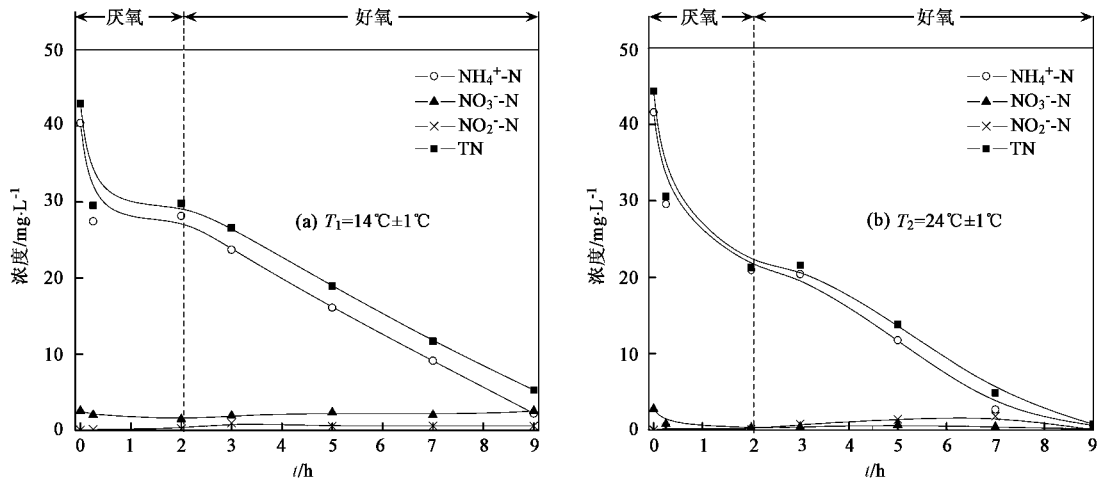


图 2 温度对脱氮的影响

Fig.2 Effect of temperature on nitrogen removal

该系统较高的 TN 去除率除了厌氧段开始时可能的吸附作用外,其余大部分发生在好氧段.好氧段良好的 TN 去除应归结为同时硝化反硝化:载体上的生物膜较厚(约 2 mm),在膜上形成了良好的氧气扩散梯度,生物膜外部为好氧环境,进行硝化反应,内部为缺氧环境,为反硝化提供条件.

另外,进入好氧段后[图 1(b)], COD(外碳源)大部分被消耗完(好氧 1 h 后 COD 降至 50 mg/L 以下),此时系统反硝化所利用的碳源可能来源于 PAOs 储存在体内的内碳源 PHB. 在好氧段,PHB 一方面作为 PAOs 吸收磷的能源,另一方面作为反硝化的碳源,即一碳两用于反硝化和除磷,推测该反应器内存在 DPB. 为了验证 DPB 的存在与作用,进行了如下实验.

2.2 反硝化除磷运行性能研究

在经过长期(3 个月)运行的厌氧/好氧的污泥系统中进行反硝化除磷实验,运行方式为厌氧(2 h)/缺氧(7 h),操作温度为 24°C ± 1°C. 由于有机物与 NO₃⁻-N 在缺氧段共存时,反硝化菌将优先利用有机物进行反硝化,一定程度上抑制 DPB 的生长. 为此,本实验采用进水 COD 浓度为 200 mg/L 左右, PO₄³⁻-P 和 NH₄⁺-N 浓度均为 10 mg/L 左右. 缺氧开始时,投加 KNO₃ 作为 DPB 的电子受体,在 NO₃⁻-N 浓度分别为 10 mg/L、30 mg/L 和 50 mg/L 的条件下进行试验,定时检测出水 COD、PO₄³⁻-P 和 NO₃⁻-N 的浓度. 将所得反硝化除磷的结果与同样进水条件下厌氧/好氧除磷结果相比,得出厌氧/好氧 SBMBBR 中反硝化除磷的情况.

2.2.1 厌氧/好氧除磷效果

图 3 是该反应器在常规的厌氧/好氧运行方式下的除磷情况. 进水 COD 浓度为 194.1 mg/L, 磷浓度为 8.4 mg/L, 经过 2 h 的充分厌氧, PAOs 将其细胞内储存的聚磷转化为无机磷释放到水中, 同时把有机物以 PHB 的形式贮存在体内, 总碳消耗率约为 80%, 反应器内磷浓度在厌氧结束时达到 26.5 mg/L. 进入好氧段, PAOs 氧化厌氧阶段存储在细胞内的 PHB, 同时从废水中过量摄取无机磷, 并以聚磷的形式储存在细胞内, 反应结束时磷浓度为 3.5 mg/L, 好氧吸磷量为 23.0 mg/L.

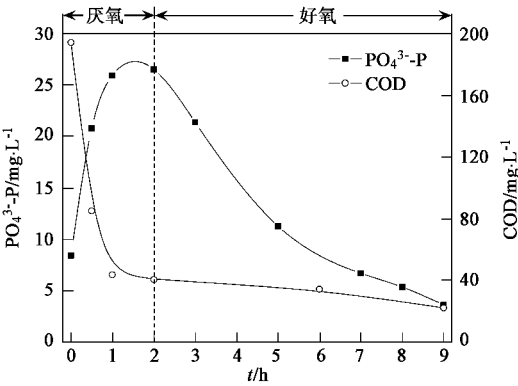


图 3 A/O 方式运行磷和有机物浓度变化

Fig.3 Variation of phosphorus and COD during A/O process

2.2.2 厌氧/缺氧反硝化除磷效果

图 4 是厌氧/缺氧条件下的除磷效果. 由图 4(a) 可见, 缺氧段进水 NO₃⁻-N 为 10 mg/L、30 mg/L 和 50 mg/L 的条件下, 运行过程中都能出现厌氧释磷. 缺氧吸磷的现象. 厌氧结束时磷浓度分别为 28.9 mg/L、24.5 mg/L 和 26.9 mg/L; 缺氧结束时, 磷浓度分别为 17.2 mg/L、6.3 mg/L 和 7.0 mg/L. 可知, 缺氧段进水

KNO_3 浓度为 10 mg/L 时,共有 11.7 mg/L 的磷在缺氧环境中被吸收.由图 4(b),缺氧反应 3 h(反应进行 5 h)时, NO_3^- -N 已被消耗完,此时电子受体(NO_3^- -N)不足,存储于 DPB 细胞内的 PHB 因缺乏电子受体而不能继续被氧化,水中磷浓度不再下降.随着反应继续进行,磷浓度有少量增加,出现了二次释磷现象[如图 4(a)].由图 4(a)还可看出,缺氧段进水 KNO_3 浓度为 30 mg/L 和 50 mg/L 时,缺氧吸磷量分别为 18.2

mg/L 和 19.9 mg/L,表现出较好的反硝化吸磷现象.与同样进水条件下厌氧/好氧运行的吸磷量 23.0 mg/L 相比,缺氧吸磷量约占 80%,这说明反硝化聚磷菌本身就存在于常规的厌氧/好氧交替运行的强化生物除磷体系中.如果按照 Wachtmeister 等的结论:缺氧吸磷和好氧吸磷速率的比值反映了 DPB 和全部 PAOs 的比值^[6,7],该污泥体系中 DPB 约占总 PAOs 的 80%.

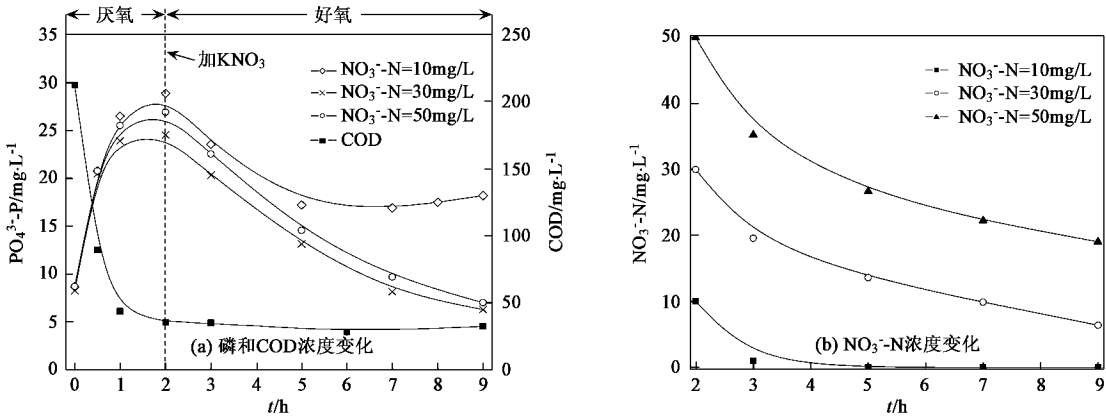


图 4 A/A 方式运行磷、COD 和 NO_3^- -N 浓度变化

Fig.4 Variation of phosphorus, COD and nitrate during A/A process

另外应当说明的是,在实验中发现当一个周期结束时如果反应器内残留的 NO_3^- -N 浓度较大,会影响下一周期的厌氧释磷.这是因为在厌氧段反硝化菌与 DPB 竞争有机碳源,而反硝化菌的竞争能力大于 DPB,所以只有 NO_3^- -N 反硝化完毕,才出现厌氧释磷.由于厌氧释磷受到抑制,导致整个系统除磷能力的下降.有研究结果表明^[8],反硝化除磷 SBR 反应器的出水 NO_3^- -N 浓度控制在 4 mg/L 以下最佳,否则,系统除磷效果会迅速下降,甚至不会有除磷效果.

3 结论

(1)温度为 $14^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 和 $24^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 的条件下,厌氧释磷量分别为 54.7 mg/L、19.7 mg/L,除磷率分别为 98.3%、83.4%,脱氮率分别为 87.8%、98.4%. $14^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 下有利于 PAOs 的富集,但不利于硝化的进行; $24^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 下有利于硝化的进行,但 PAOs 不再是污泥系统的优势菌种,被 GAOs 所代替,因此在同一个系统里要同时达到较高的脱氮除磷效果需要有合适的温度,该系统中 $14^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 较适合.

(2)长期厌氧/好氧运行的 SBMBBR 系统中发生了良好的反硝化除磷,该污泥系统中,反硝化聚磷作用约占总聚磷作用的 80%.这就使得吸磷和反硝化

(脱氮)这 2 个生物化学过程借助同一种细菌在同一种环境下一并完成,实现了一碳两用,降低了碳源需求.同时,在缺氧环境下完成的吸磷节省了曝气所需要的能源.

参考文献:

[1] 朱怀兰,史家梁,徐亚同. SBR 除磷工艺的研究[J]. 上海环境科学, 1993, 12(8): 8 ~ 13.

[2] 王亚宜,王淑莹,彭永臻,等. 污水有机碳源特征及温度对反硝化聚磷菌的影响[J]. 环境科学学报, 2006, 26(2): 186 ~ 192.

[3] Kuba T, Van Loosdrecht M C M, Heijnen J J. Phosphorus and nitrogen removal with minimal COD requirement by integration of denitrifying dephosphatation and nitrification in a two-sludge system [J]. Water Research, 1996, 30(7): 1702 ~ 1710.

[4] Ekama A G, Wenzel C M. Difficulties and developments in biological nutrient removal technology and modelling [J]. Water Science and Technology, 1999, 39(6): 1 ~ 11.

[5] Panswad T, Doungchai A, Anotai J. Temperature effect on microbial community of enhanced biological phosphorus removal system [J]. Water Research, 2003, 37 (2): 409 ~ 415.

[6] Wachtmeister A, Kuba T, Van Loosdrecht M C M, et al. A sludge characterization for aerobic and denitrifying phosphorus removing sludge [J]. Water Research, 1997, 31(3): 471 ~ 478.

[7] Meinhold J, Filipe C D M, Dagger G T, et al. Characterization of the denitrifying fraction Biological phosphate removal process [J]. Water Science and Technology, 1999, 39(1): 31 ~ 42.

[8] 刘慧,米海蓉. 硝氮对反硝化除磷系统效率的影响 [J]. 大庆石油学院学报, 2006, 30(4): 43 ~ 46.