

文章编号 : 1000-2472(2005)03-0097-04

好氧颗粒污泥实现同步除磷脱氮的试验研究*

杨国靖, 李小明, 曾光明, 谢 珊, 杨 麒
(湖南大学 环境科学与工程系, 湖南 长沙 410082)

摘 要:在厌氧反应 1 h, 好氧反应 4 h, 缺氧反应 2 h 的运行条件下, 研究了序批式反应器中好氧颗粒污泥同步除磷脱氮的情况, 并对好氧颗粒污泥除磷脱氮的机理进行了探讨. 试验结果表明, 该系统对氮、磷和有机物具有良好的去除效果, 对氨氮、总无机氮、磷、COD 的去除率分别达到 89.2%~98.9%, 81.3%~89.4%, 85.8%~90.0% 和 82.7%~96.6%.

关键词:序批式反应器; 好氧颗粒污泥; 同步除磷脱氮; 机理

中图分类号: X703.1

文献标识码: A

Study on Simultaneous Phosphorus and Nitrogen Removal through Aerobic Granular Sludge

YANG Guo-jing, LI Xiao-ming, ZENG Guang-ming, XIE Shan, YANG Qi
(Department of Environmental Science and Engineering, Hunan Univ, Changsha, Hunan 410082, China)

Abstract: Simultaneous phosphorus and nitrogen removal through aerobic granular sludge was achieved in a SBR system under the conditions of anaerobic reaction time 1 h, aerobic reaction 4 h and anoxic reaction 2 h. This SBR system showed a very stable phosphorus, nitrogen and organic carbon removal performance. The removal rate for ammonium, total inorganic nitrogen, phosphorus and organic carbon reached 89.2%~98.9%, 81.3%~89.4%, 86.8%~90.0% and 82.7%~96.6% respectively.

Key words: sequencing batch reactor (SBR); aerobic granular sludge; simultaneous phosphorus and nitrogen removal; mechanism

水环境污染的主要特征是水体的有机污染和富营养化, 特别是水体的富营养化问题已到了造成严重危害的程度, 而氮、磷是引起水体富营养化的主要营养物质, 其来源主要是城市污水或生活污水, 因此研究高效、经济的污水除磷脱氮工艺和方法已成为亟待开展的研究课题。

好氧颗粒污泥是近几年发现的在好氧条件下自发形成的细胞自身固定化颗粒, 它具有良好的沉降性能、较高的生物量、较好的水力强度和在高容积负荷条件下降解较高浓度有机废水的良好生物活

性^[1]。由于好氧颗粒污泥自身的结构特点以及氧扩散梯度的存在, 污泥颗粒由外到内, 可以形成好氧区—缺氧区—厌氧区, 这为除磷脱氮所需的各种微生物菌群提供了合适的生长环境, 通过适当的定向培养控制, 可以在 3 个区域中培养出不同的微生物相, 最大限度地发挥其群体优势, 以用于不同特点废水的处理。近几年国内外均有在序批式反应器 (SBR) 中培养出好氧颗粒污泥的报道^[2-5], 但在这些研究中, 颗粒污泥只是单一地用于除磷或脱氮, 并未见将二者结合起来的深入研究。本试验正是基于这一考

* 收稿日期: 2004-10-16
基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50478054)
作者简介: 杨国靖 (1980-), 男, 山东济宁人, 湖南大学讲师
E-mail: guojing_yang@hotmail.com

虑,通过调控 SBR 系统的运行条件,对好氧颗粒污泥除磷脱氮的效果及其机理进行了研究和探讨。

1 试验装置与方法

1.1 试验装置

试验采用有机玻璃圆桶(带盖)作为反应器,总体积为 5 L,有效容积约 4 L,反应器由时间程序控制器实现对运行程序的自动控制,根据需要选定运行周期以及各段的启动、关闭时间。整个试验过程均在室温(25~30℃)下运行,曝气气源采用 ACO 电磁式空气压缩机,微孔曝气头曝气,转子流量计控制曝气量,试验装置见图 1。试验每天运行 2 个周期,其余时间闲置,运行方式为:进水 10 min,厌氧搅拌 1 h(厌氧环境通过密封搅拌实现),曝气 4 h,缺氧搅拌 2 h,沉淀和排水 20 min,运行周期为 7.5 h。每次进水控制在约 4 L,定期测定系统中的 DO,SV,SVI,MLSS,MLVSS,pH 等运行参数,根据运行参数的测定分析,判断反应器的运行状况,并及时作相应调整。

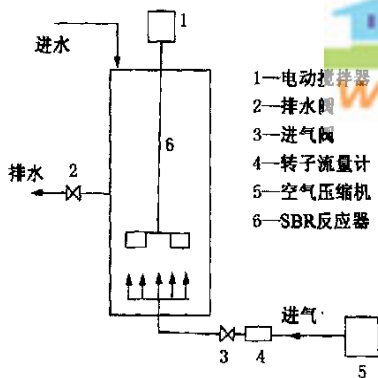


图 1 试验装置示意图

Fig. 1 The schematic experimental equipment

1.2 试验用水

试验用水采用自配的模拟废水,其组成为(每升含质量):350~400 mg COD (CH_3COONa),17~30 mg NH_4^+-N (NH_4Cl),10~20 mg $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ (KH_2PO_4), NaHCO_3 36 mg, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 25 mg, CaCl_2 24 mg 和 1 mL 微量元素。

微量元素母液的基本组成(每升含质量)为 $\text{FeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1.5 mg, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0.03 mg, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.12 mg, $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0.15 mg, $\text{MnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.12 mg, KI 0.18 mg。

1.3 分析项目及方法

NH_4^+-N 采用纳氏试剂光度法; $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 采用钼

锑抗分光光度法; NO_3^--N 、 NO_2^--N 采用 DX-120 型离子色谱仪测定;COD 采用微波消解滴定法;SV,SVI,MLSS,MLVSS 等按标准方法测定^[6];污泥的形态采用普通光学显微镜观察。总无机氮(TIN)浓度采用以下公式计算:

$$(\text{TIN}) = (\text{NH}_4^+-\text{N}) + (\text{NO}_2^--\text{N}) + (\text{NO}_3^--\text{N})$$

2 结果与讨论

本试验以 SBR 系统培养的同步脱氮好氧颗粒污泥为接种污泥。颗粒污泥结构致密,形态完整,外观呈橙黄色,表面光滑,近似圆形或椭圆形小颗粒,粒径一般约为 0.5~1.0 mm,最大达到 3 mm。经过 25 d 的驯化培养及运行调整,颗粒污泥逐渐呈现出良好的除磷脱氮性能并趋于稳定,稳定运行 40 d,此阶段污泥浓度(MLSS)为 8.4 g/L,污泥沉降指数(SVI)为 14.3 mL/g。试验对好氧颗粒污泥除磷脱氮的效果进行了研究,并对其机理进行了初探。

2.1 好氧颗粒污泥对氮、磷及有机物的去除效果

图 2 为高效运行阶段好氧颗粒污泥对 NH_4^+-N 、 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 、COD 及总无机氮(TIN)去除的试验结果。由图 2 看出,对于 NH_4^+-N 、TIN、 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 和 COD 浓度(本文均指质量浓度)分别为 14.1~27.7 mg/L,18.5~31.8 mg/L,13.6~18.2 mg/L 和 350~400 mg/L 的进水,经颗粒污泥反应体系处理后,出水浓度分别为 0~3.0 mg/L,2.4~4.2 mg/L,1.4~3.4 mg/L 和 12~62.5 mg/L;去除率分别达到 89.2%~98.9%,81.3%~89.4%,86.8%~90.0%和 82.7%~96.6%。试验结果表明好氧颗粒污泥对氮、磷及有机物等污染物具有良好的去除效果。

2.2 好氧颗粒污泥脱氮机理探讨

图 3 为颗粒污泥反应体系一个代表性周期 NH_4^+-N 、 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 、COD、 NO_3^--N 、 NO_2^--N 浓度随时间的变化曲线。反应初始 NH_4^+-N 浓度为 25.6 mg/L, $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 浓度为 14.5 mg/L,COD 浓度为 384.1 mg/L。由图 3 看出,在厌氧阶段, NH_4^+-N 浓度变化不大。在好氧曝气阶段(DO 浓度控制在 2 mg/L), NH_4^+-N 浓度呈不断下降的趋势,与此同时出水中 NO_3^--N 、 NO_2^--N 浓度均一直维持在较低的浓度水平内(低于 1 mg/L)。曝气结束时, NH_4^+-N 和 NO_2^--N 均检测不到, NO_3^--N 浓度仅为 2.5 mg/L,此时 TIN 去除率达到 90.3%,这是由于废水中大部分 NH_4^+-N (另外有少部分 NH_4^+-N 发生了同化作用)扩散至颗粒污泥

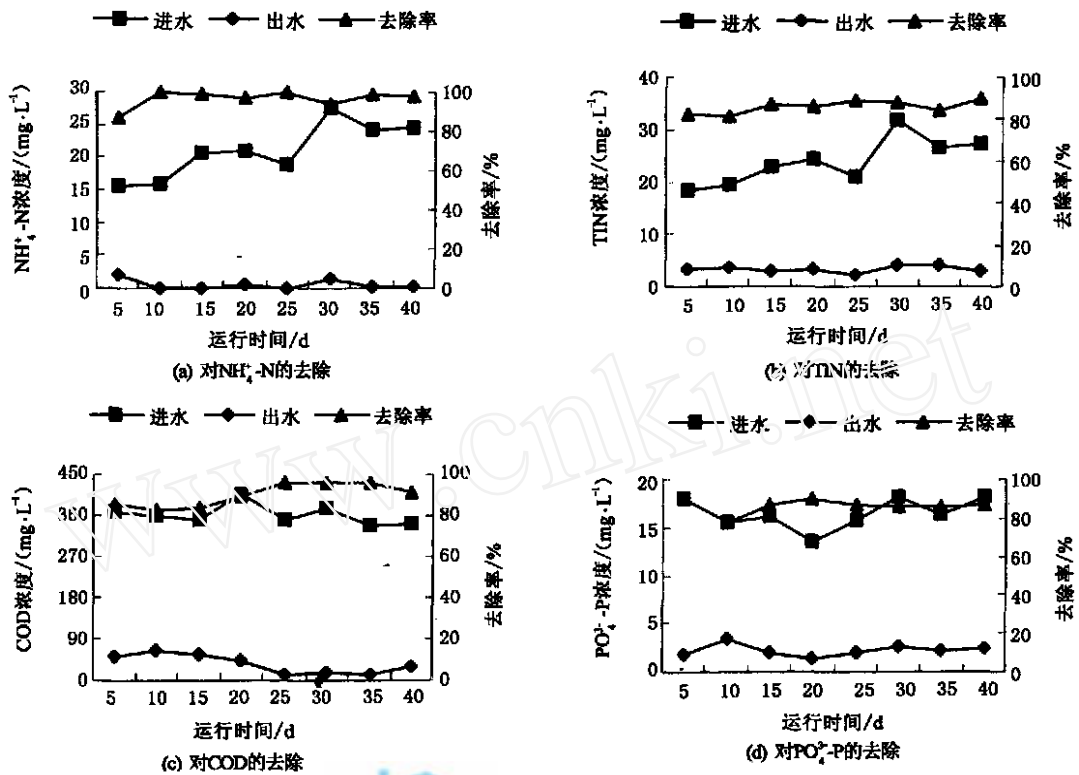


图 2 高效运行阶段 NH₄⁺-N、TIN、COD、PO₄³⁻-P 浓度及去除率

Fig. 2 The concentration and removal rate of NH₄⁺-N, TIN, COD, PO₄³⁻-P in the efficient operation phase

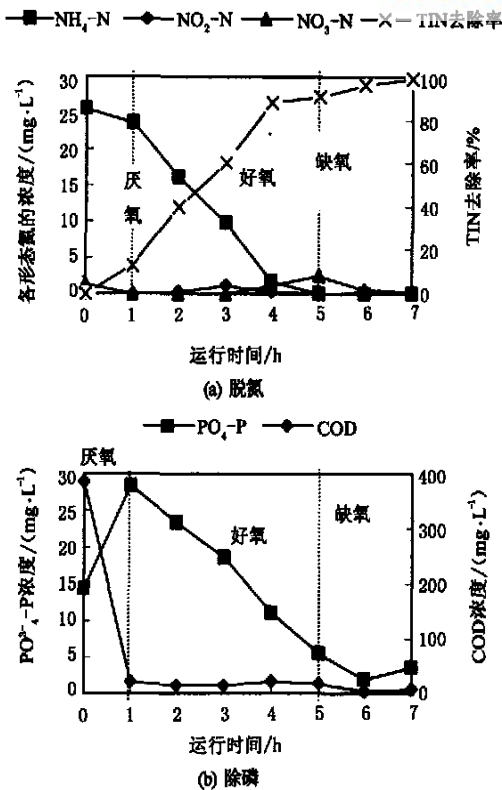


图 3 SBR 反应器内一个代表性周期各参数浓度随时间变化曲线

Fig. 3 The concentration profiles in a representative cycle of the SBR

内,首先被外侧的硝化细菌氧化成 NO₂⁻-N 和 NO₃⁻-N,随即位于颗粒污泥厌氧区内的反硝化细菌将 NO₃⁻-N 和 NO₂⁻-N 还原,最终以氮气形式去除,实现了同步硝化反硝化生物脱氮。

2.3 好氧颗粒污泥除磷机理探讨

传统的生物除磷是由聚磷细菌 (PAO, Polyphosphate-Accumulating Organisms) 利用厌氧/好氧交替环境,来实现放磷和过量吸磷的。

反硝化除磷是由反硝化聚磷菌 (Denitrifying Phosphorus Removing Bacteria,简称 DPB) 在厌氧/缺氧交替环境中,通过它们的代谢作用来同时完成过量吸磷和反硝化过程而达到除磷脱氮的双重目的。在缺氧(无氧但存在硝酸氮)条件下,DPB 能够利用 NO₃⁻-N(而不是 O₂) 充当电子受体,产生同样的生物摄磷作用。在生物摄磷的同时,硝酸氮被还原为氮气,从而使生物除磷与反硝化脱氮有机地合二为一^[7-9]。

由图 3 看出,在厌氧过程,COD 浓度迅速下降,PO₄³⁻-P 浓度不断增大。厌氧结束时,COD 浓度由 384.1 mg/L 降为 22.1 mg/L,PO₄³⁻-P 浓度由 14.5 mg/L 上升至 28.3 mg/L,这是由于颗粒污泥中的聚磷菌在厌氧条件下将其细胞内聚磷转化为无机磷并加以释放,厌氧释磷过程产生的能量被用来摄取

废水中的溶解性有机基质(有机碳),并将其转化为高能内聚物 PHB(聚-羟基丁酸)所造成的.经过 4 h 的好氧曝气后 $PO_4^{3-}-P$ 的浓度降至 5.6 mg/L,这主要是聚磷菌在好氧条件下过量吸磷的结果.进入缺氧阶段后,由图 3 可以看出,在缺氧 1 h 内, $PO_4^{3-}-P$ 的浓度在 $NO_3^- -N$ 浓度降低的同时呈不断下降的趋势($PO_4^{3-}-P$ 浓度由 5.6 mg/L 降为 2 mg/L),这是由于颗粒污泥中一些兼性反硝化菌(DPB)能够利用 $NO_3^- -N$ 作电子受体从而发生反硝化聚磷所造成的.而在缺氧第 2 h 内 $PO_4^{3-}-P$ 的浓度又呈现上升的趋势($PO_4^{3-}-P$ 浓度由 2 mg/L 上升为 3.6 mg/L),这是因为此时体系中的 $NO_3^- -N$ 已基本被消耗完,DPB 没有足够的 $NO_3^- -N$ 电子受体可以利用,聚磷菌又重新回到厌氧的环境,从而释磷造成 $PO_4^{3-}-P$ 浓度的回升.这一观点通过对比试验得到了验证:保持其它条件不变,在缺氧阶段开始时向系统外加适量 KNO_3 ,以保持体系中 $NO_3^- -N$ 的浓度.图 4 为缺氧段外加 KNO_3 时各参数浓度随时间变化曲线.由图 4 看出当体系中有充足的 $NO_3^- -N$ 时,整个缺氧段, $PO_4^{3-}-P$ 的浓度始终随着 $NO_3^- -N$ 浓度的降低而降低($PO_4^{3-}-P$ 浓度由 6.3 mg/L 下降为 1.8 mg/L),没有出现回升,这也进一步说明好氧颗粒污泥中存在一些能够利用 $NO_3^- -N$ 作电子受体的兼性反硝化菌(DPB),使好氧颗粒污泥能够实现反硝化除磷.

3 结 论

1) 在厌氧/好氧/缺氧 SBR 系统中,利用好氧颗粒污泥实现了高效、稳定的除磷脱氮效果,颗粒污泥对氨氮、总无机氮、磷和有机物(COD)的去除率分别达到 89.2%~98.9%,81.3%~89.4%,86.8%~90.0%和 82.7%~96.6%.

2) 本试验只是对好氧颗粒污泥同步除磷脱氮的机理作了初步研究,对于颗粒污泥的理化特性和微生物学组成以及在连续限制供氧条件下除磷脱氮的工艺优化等,还有待作进一步的深入研究.

参考文献

- [1] 陈坚,王强,堵国成.好氧颗粒污泥的形成及其性质[J].无锡轻工大学学报,2002,21(3):317-321.
- [2] BEUN J J, VAN LOOSDRECHT M C M. Aerobic granulation[J]. Wat Sci Tech, 2000, 41(4): 41-48.
- [3] BEUN J J, HENDRIKS A. Aerobic granulation in a sequencing batch reactor[J]. Wat Res, 1999, 33(10): 2283-2290.
- [4] MORGENROTH E, SHEDENENT T. Aerobic granulation in a sequencing batch reactor[J]. Wat Res, 1997, 31(12): 3191-3194.
- [5] 杨麒,李小明,曾光明,等. SBR 系统中同步硝化反硝化好氧颗粒污泥的培养[J]. 环境科学, 2003, 24(4): 94-98.
- [6] 国家环保局编委会.水和废水监测分析方法[M].北京:中国环境科学出版社,1997.
- [7] 郝晓地,汪慧贞,钱易,等.欧洲城市污水处理技术新概念—可持续生物除磷脱氮工艺(上)[J]. 给水排水, 2002, 28(6): 6-11.
- [8] MINO T. Microbiology and biochemistry of the enhanced biological phosphate removal process [J]. Wat Res, 1998, 32(11): 3193-3207.
- [9] VAN LOOSDRECHT M C M. Biological phosphorus removal processes[J]. Microbiol Biotech Nol, 1997, 48(2): 289-296.

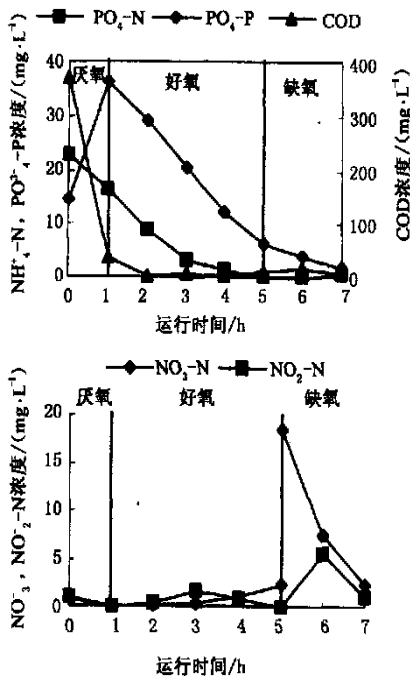


图 4 缺氧段外加 KNO_3 时各参数浓度随时间变化曲线

Fig. 4 The concentration profiles adding KNO_3 in the anoxic phase