

SBR 系统中同步硝化反硝化好氧颗粒污泥的培养

杨麒, 李小明*, 曾光明, 谢珊, 刘精今 (湖南大学环境科学与工程系, 长沙 410082)

摘要: 采用人工配制的模拟生活污水, 研究序批式反应器 (SBR) 中好氧颗粒污泥的培养. 实验结果表明: 通过对进水碳源进行调控, 反应器中形成了高活性具有同步硝化反硝化能力的好氧颗粒污泥, 反应器中 COD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率分别为 74.0% ~ 92.8% 和 82.3% ~ 98.5%. 颗粒污泥的粒径一般为 0.5 ~ 1.0 mm, MLSS 达到 $4.5\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 以上, SVI 值约为 32.5, 其有效生物量及脱氮性能远远高于一般的好氧活性污泥.

关键词: 好氧颗粒污泥; 同步硝化反硝化; SBR 系统

中图分类号: X703.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2003)04-05-0094

Cultivation of Aerobic Granular Sludge for Simultaneous Nitrification and Denitrification in SBR System

Yang Qi, Li Xiaoming, Zeng Guangming, Xie Shan, Liu Jingjin (Department of Environmental Science and Technology, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: The cultivation of aerobic granular sludge used for nitrogen removal in Sequencing Batch Reactor (SBR) fed with a synthetic municipal wastewater was investigated. The results showed that the aerobic granular sludge with the high activity of simultaneous nitrification and denitrification, could form in the reactor by controlling the addition of carbon source, and the removal rates of COD and $\text{NH}_3\text{-N}$ reached 74.0% ~ 92.8% and 82.3% ~ 98.5%, respectively, in the reactor. The granular formed was averagely 0.5 ~ 1.0 mm in diameter, and the Mixed Liquid Suspended Solids (MLSS) and the Sludge Volumetric Index (SVI) in the reactor were above 4.5g/L and about 32.5, respectively. Compared with the normal aerobic activated sludge process, the system with aerobic granular sludge had a higher concentration of effective biomass and a much stronger ability of nitrogen removal.

Keywords: aerobic granular sludge; simultaneous nitrification and denitrification; SBR system

我国的湖泊、水库如云南滇池、江苏太湖、安徽巢湖等, 近年来由于含氮化合物造成的水体富营养化现象日趋严重. 据统计, 我国目前城市污水处理率仅有 5% 左右, 且绝大多数不具备脱氮除磷的能力. 因此, 研究污水脱氮, 探索适合我国国情且经济有效的脱氮工艺和方法, 已成为亟待开展的研究课题.

根据传统的脱氮理论: 氨氮的去除是通过硝化和反硝化 2 个独立的过程实现的, 由于对环境的要求不同, 2 过程不能同时发生. 然而, 近年来同步硝化反硝化 (simultaneous nitrification and denitrification, SND) 生物脱氮现象在国内外文献中广为报道, 尤其是有氧条件下的反硝化现象确实存在于各种不同的生物处理系统中, 如生物转盘、SBR、氧化沟等^[1, 2].

具有一定大小尺寸的颗粒污泥, 由于氧扩散梯度的存在, 其内部形成缺氧或厌氧区域, 在好氧条件下构成了有利于同步硝化反硝化的微环境. 同时, SBR 独特的厌-好氧交替反应, 反应器内气液二相均呈升流状态, 在技术上具有培养出颗粒活性污泥的可行性. 因此, 借鉴厌氧颗粒污泥培养的成功经验, 利用水力筛分的方法, 近几年国内外均有在 SBR 中培养出好氧颗粒污泥的报道^[3~5]. 但在这些研究中, 颗粒污泥

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (70171055, 50179011); 湖南省自然科学基金资助项目 (WJ2002101); 湖南大学科学基金项目 (200219)

作者简介: 杨麒 (1974 ~), 男, 硕士研究生, 主要从事污水生物处理方面的研究.

收稿日期: 2002-08-08; 修订日期: 2002-10-10

* 通讯联系人

只是去除有机物或者磷,没有专门对其用于生物脱氮作进一步的探索.本实验通过对 SBR 反应系统的运行条件进行调控,培养出了具有同步硝化反硝化脱氮,兼有高效去除有机物能力的好氧颗粒污泥,并考察颗粒污泥形成前后对脱氮效果的影响.

1 实验材料与方法

1.1 实验装置

实验采用 30cm×30cm×75cm 有机玻璃方桶作为反应器,总体积约 64L,有效容积 50L.反应器由时间程序控制器实现对运行程序的自动控制,根据试验的需要对进水、曝气、沉淀、厌氧和排水过程的启动、关闭时间进行调整.整个实验过程均在室温(20~30℃)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,必要时用电动搅拌机搅拌以提高溶解氧浓度及液固混合程度.实验装置见图 1.

实验每天循环 2 次,其余时间闲置,运行状态为曝气 4h,厌氧 2.5h,二次曝气 5 min,二次沉淀 5 min,出水 10 min,进水 10 min,运行周期为 7h.每次进水控制在约 30L,定期测定混合液中的 DO、SV、SVI、MLSS、MLVSS、NH₃-N、NO₃⁻-N、NO₂⁻-N、COD 和 pH 等运行参数,对其进行分析,判断反应器的运行状况,并及时作相应调整.

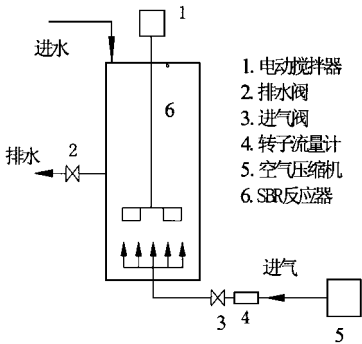


图 1 实验装置示意图

Fig.1 The schematic experimental equipments

1.2 实验用水

实验研究以动态连续实验室小试为主,采用自配的模拟生活污水,配水水质见表 1.

表 1 模拟生活污水组成

Table 1 The component of synthetic municipal wastewater

成分	浓度/ mg·L ⁻¹
COD	100~400
NH ₃ ⁻ -N	10~40
P	10
NaHCO ₃	120
MgSO ₄ ·7H ₂ O	124
CaCl ₂	22
FeCl ₃ ·7H ₂ O	1.5
CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.03
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0.12

1.3 分析项目及方法

进水和出水水样的分析项目中 NH₃-N 采用纳氏试剂光度法;NO₃⁻-N 采用酚二磺酸光度法;NO₂⁻-N 采用 N-(1-萘基)-乙二胺光度法;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.

2 实验结果与讨论

2.1 污泥驯化阶段

本阶段实验以长沙市第二污水处理厂二沉池的活性污泥作为接种污泥,进行驯化培养,历时 44d,运行结果见图 2.

驯化开始阶段(1~7d),污泥形态为絮状,基本没有颗粒性污泥存在,沉降性能很差,此时污泥浓度(MLSS)约为 3.5 g/L 左右,沉降指数(SVI)约为 100.当进水中 COD、NH₃-N 浓度分别为 213.2~390.9 mg/L 和 12.3~29.0 mg/L 时,出水分别为 25.7~78.7 mg/L 和 0.17~8.57 mg/L,最高去除率分别达到了 92.94%和 97.97%.系统处理效率的显著增加,主要是由于活性污泥本身所具有的吸附能力,将大量的污染物质富集在污泥中间而造成的.

经过约 40d 的驯化,接种污泥逐渐变成浅黄色的絮状体,污泥中已形成极少量的颗粒状物质.从图 2 可以看出,当进水 COD 浓度在 200~300 mg/L,NH₃-N 浓度在 20~30 mg/L 之间变动时,出水的 COD、NH₃-N 浓度分别小于 90 mg/L 和 15 mg/L,去除率也分别稳定在 70%和 60%左右,此时可以认为污泥的驯化阶段已

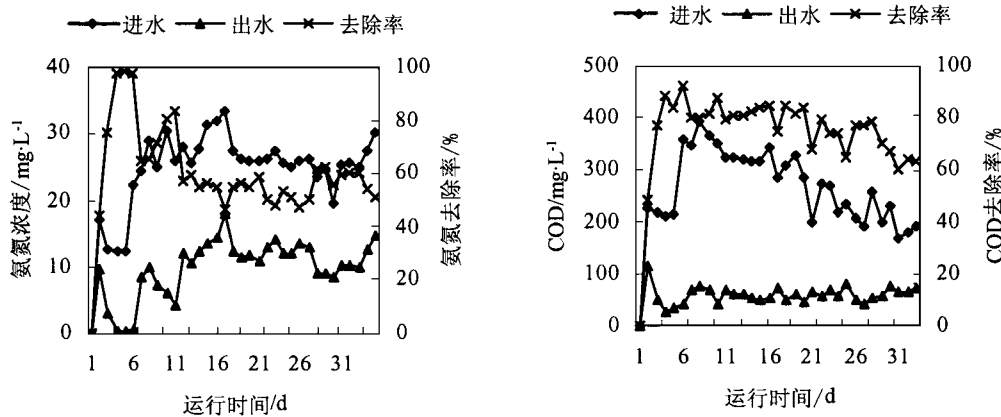


图2 污泥驯化阶段 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、COD 浓度及去除率

Fig. 2 The concentration and removal rate of $\text{NH}_3\text{-N}$ 、COD in the phase of sludge domestication

经完成。

2.2 颗粒污泥形成阶段

鉴于污泥的脱氮性能不佳以及颗粒化程度不够,笔者在参考相关资料^[7,8]的基础上,采取各种方法对系统的运行进行调控,如改变进水的营养物质浓度以及配比、增加排泥周期等。经过大量的试验摸索,最为有效的调控方法是:一方面在每天的2个周期中,一个周期的进水中加入碳源,另一周期则不加,通过减少碳源的投加,抑制非脱氮菌(如产甲烷菌、产酸菌等)的生长,为脱氮菌(硝化菌和反硝化菌)提供了合适的生长条件;另一方面,在正常的SBR运行程序后增加二次曝气和沉淀过程,通过较短的污泥沉降时间将沉降性较差的颗粒如悬浮污泥和丝状菌等随出水排出,从而为沉降性良好的颗粒污泥的形成、生长提供了充足的营养。

本阶段试验将已驯化好的污泥均分成2部分,一部分保持进水成分不变,另一部分则对进水进行调控,考察两者的脱氮性能,历时约18d,结果如图3所示。

对比试验一段时间后,从污泥的形态可看出,正常进水的反应器内污泥状态基本还是以絮状污泥为主,污泥的沉降性能较以前变化不大;进水进行调控的反应器内絮状污泥逐渐减少,运行约10d后反应器内颗粒状污泥占绝大多数,污泥的沉降性能较絮状污泥明显增强。

图3的对比实验结果表明,当对进水碳源

进行调控时,初期污泥处于对进水变化的适应和颗粒污泥形成阶段,脱氮能力较以前变差, $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率由75%以上减小到约20%,经过约2周的适应期后,由于部分颗粒污泥的形成,去除率迅速增加到95%以上。与此同时,正常进水的反应器内 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率基本保持在50%左右,变化不明显。

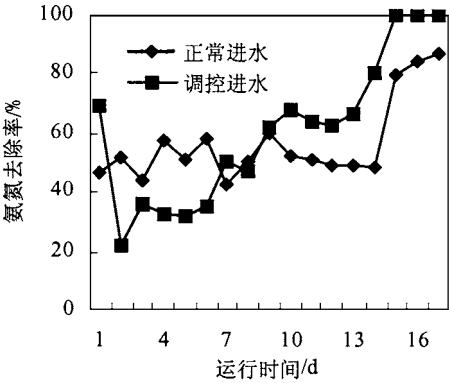


图3 对比试验结果比较

Fig. 3 The comparison of the contrastive experimental results

2.3 颗粒污泥生长阶段

颗粒污泥形成后,反应器开始正常配水,通过调整 COD/ N 比、提高负荷,污泥的颗粒化程度进一步增加,泥量增长迅速,泥层高度由5cm上升到7cm,定期排泥以保持反应器内污泥的浓度及活性。实验中观察到好氧颗粒污泥在高负荷运行阶段表现得极为明显,用肉眼可观察到,颗粒污泥外观呈橙黄色,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,最大达到约 3 mm.

图 4 为颗粒污泥生长阶段,数码相机拍摄到的同步硝化反硝化好氧颗粒污泥形态,可以清楚地看到污泥颗粒的结构致密,形态完整.在光学显微镜下放大 200 倍可观察到,颗粒周围聚集着数量庞大的微生物种群,如原生动物.后生物.丝状菌.真菌等.

运行结果表明,颗粒化生长阶段,污泥浓度达到 4.5 g/L 以上,SVI 值在 32.5 左右.由图 5 可见,反应器对于 COD、NH₃-N 浓度分别为 172.9 ~ 381.8 mg/L 和 14.22 ~ 33.50 mg/L 的进水,出水浓度分别为 27.13 ~ 72.47 mg/L 和

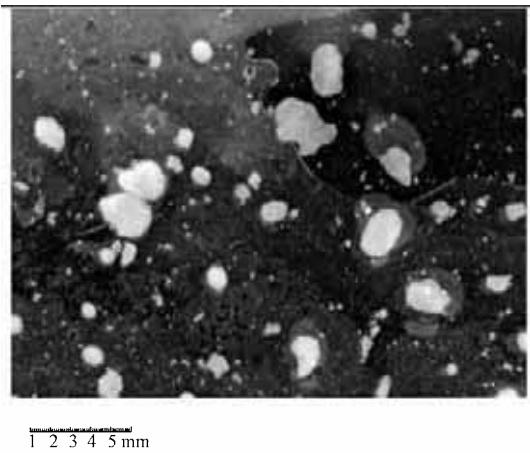


图 4 好氧颗粒污泥形态

Fig. 4 Configuration of aerobic granular sludge

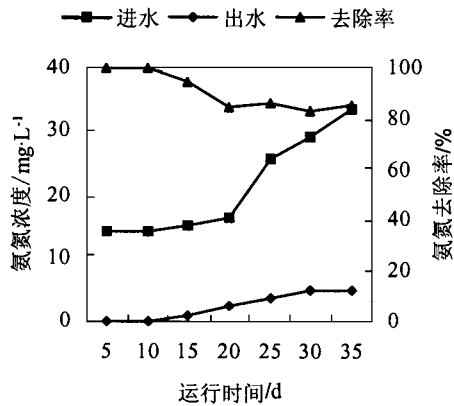
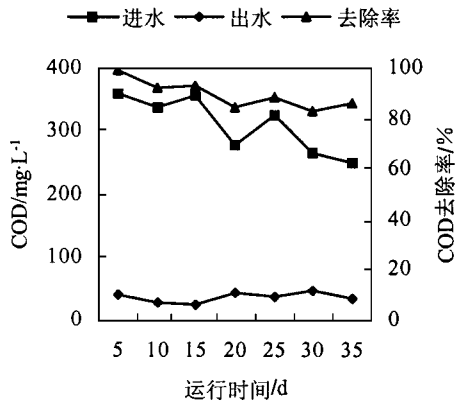


图 5 颗粒污泥阶段 NH₃-N 和 COD 浓度及去除率

Fig. 5 The concentration and removal rate of NH₃-N and COD in the phase of granular sludge



0.57 ~ 8.36 mg/L,去除率在 83.6 % ~ 92.8 %和 82.3 % ~ 98.5 %之间,脱氮能力较絮状污泥阶段大为提高.

但颗粒污泥运行约 25 d 后,其活性随着运行时间的增加而有所减小,COD、NH₃-N 的去除率均有不同程度的下降,可能是颗粒污泥频繁受浓度冲击,有部分解体所致.

2.4 颗粒污泥实现同步硝化反硝化

为了考察颗粒污泥实现同步硝化反硝化的效果,在保持进水中碳氮比稳定的条件下,在每个运行周期内,隔 1 h 取样一次,检测其中 NH₃-N、NO₃⁻-N、NO₂⁻-N 浓度,一个代表性周期内的变化结果如图 6 所示.

由图 6 可以看出在 SBR 反应器中,一个循环周期内 NH₃-N 浓度随运行时间呈明显的下降趋势,其中 70 %以上 NH₃-N 的去除发生在好氧曝气阶段;与此同时出水中的 NO₃⁻-N、NO₂⁻-N 浓度均一直维持在低于 1 mg/L 的较低范围内,并没有随 NH₃-N 的减少而呈先增加再减少的趋势.这表明在 SBR 反应器中由于颗粒污泥的存在,模拟废水中的 NH₄⁺-N 扩散到颗粒污泥内,首先被外侧的硝化细菌氧化成 NO₃⁻-N 和 NO₂⁻-N,随即位于同一颗粒污泥厌氧区内的反硝化细菌利用从废水中扩散至颗粒内的碳源将 NO₃⁻-N 和 NO₂⁻-N 还原,直接以气态最终

产物形式去除,实现了同步硝化反硝化生物脱氮.

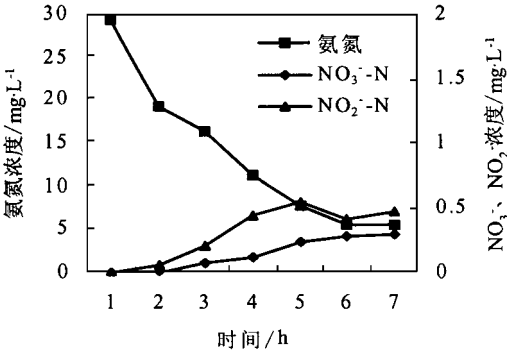


图 6 SBR 反应器内一个代表性周期氮形态随时间变化曲线

Fig. 6 NH₃⁻ N、NO₃⁻ N and NO₂⁻ N profiles in a representative cycle of the SBR

以上分析表明,存在颗粒污泥的 SBR 反应器内发生的是同步硝化反硝化反应,而不是通常所认为的顺序式硝化反硝化(sequential nitrification and denitrification, SQND)反应.

3 结论

(1) 在 SBR 反应器中,采用自配的模拟生活污水,通过对进水碳源的添加与否加以调控,观察到反应器中形成了高活性具有同步硝化反硝化能力的好氧颗粒污泥.好氧颗粒污泥外观呈橙黄色,表面光滑,近似圆形或椭圆形小颗粒,粒径一般为 0.5 ~ 1.0 mm, MLSS 达到 4.5 g/L 以上,SVI 为 32.5 mL/g 左右,沉降性能较好,其有效生物量及脱氮性能远远高于一般的好氧活性污泥.

(2) 颗粒污泥生长阶段 COD 和 NH₃-N 的去除率分别为 83.6 % ~ 92.8 % 和 82.3 % ~ 98.5 %,出水中 NO₃⁻ - N、NO₂⁻ - N 浓度均维持在低于 1 mg/L 的范围内,这些说明该颗粒污泥对于生活污水的脱氮以及 COD 去除均有较为良好的应用前景.

(3) 本试验只是对好氧颗粒污泥的培养和形成条件作了初步研究,对于颗粒污泥的形成机理,微生物学特征,脱氮性能,是否能与除磷工艺结合起来等,还有待作进一步的深入研究.

参考文献:

- 1 Masuda S, Watanable Y et al. Bio-film properties and simultaneous nitrification and denitrification in aerobic rotating biological contactors. Water Science and Technology, 1991, 23 (9) : 1355 ~ 1363 .
- 2 Elisabeth V M et al. Simultaneous nitrification and denitrification in bench-scale sequencing batch reactors. Water Research, 1996, 30(2) : 277 ~ 284 .
- 3 Beun J J, van Loosdrecht M C M et al. Aerobic granulation. Water Science and Technology, 2000, 41(4) : 41 ~ 48 .
- 4 Beun J J, Hendriks A et al. Aerobic granulation in a sequencing batch reactor. Water Research, 1999, 33(10) : 2283 ~ 2290 .
- 5 Morgenroth E, Shedenent T et al. Aerobic granulation in a sequencing batch reactor. Water Research, 1997, 31(12) : 3191 ~ 3194 .
- 6 国家环保局编委会.水和废水监测分析方法.北京:中国环境科学出版社,1997.
- 7 卢然超,竺建荣等. SBR 工艺运行条件对好氧污泥颗粒化和除磷效果的影响.环境科学, 2001, 22(2) : 87 ~ 90 .
- 8 竺建荣,刘纯新.好氧颗粒污泥的培养及理化特性的研究.环境科学, 1999, 20(2) : 38 ~ 41 .