

序批式膜反应器同步硝化和反硝化的特性

李 军¹, 顾国维¹, 韦 苏², 彭永臻^{3*} (1. 同济大学环境科学与工程学院, 上海 200092; 2. 浙江工业大学建筑工程学院, 浙江 杭州 310014; 3. 北京工业大学能源与环境学院, 北京 100022)

摘要: 为提高污水生物脱氮处理的效率和减少外加碳源, 研究了序批式膜反应器(SBBR)在有氧情况下处理生活污水中同步硝化和反硝化的特性。试验表明, 原水 TN 为 80~110mg/L 和溶解氧浓度为 0.8~4.0mg/L 情况下, 出水 TN 小于 15mg/L, $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率达 100%, TN 去除率 54%~77%, $\text{NH}_3\text{-N}$ 容积负荷率为 47~94mg/(L·d), TN 容积负荷率为 56~113mg/(L·d)。TN 的变化规律为在 $\text{NH}_3\text{-N}$ 降到零或最小之前, TN 持续降低之后, TN 有短时的上升后再缓慢降低。在较大的溶解氧浓度范围内, SBBR 具有同步硝化和反硝化的能力, 建议将 $\text{NH}_3\text{-N}$ 降解到零或最小值的时刻, 作为同步硝化和反硝化的结束点。

关键词: 序批式膜反应器(SBBR); 同步硝化和反硝化; 溶解氧; 生物膜

中图分类号: X703 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2005)06-0646-04

Character of simultaneous nitrification and denitrification in a sequencing batch biofilm reactor. LI Jun¹, GU Guo-wei¹, WEI Su², PENG Yong-zhen^{3*} (1. College of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. College of Civil Engineering, Zhejiang University of Industry, Hangzhou 310014, China; 3. College of Energy Source and Environmental Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China). *China Environmental Science*, 2005, 25(6): 646~649

Abstract: In order to improve the efficiency of sewage biological removal of nitrogen and to reduce the carbon source added from outside, the character of simultaneous nitrification and denitrification of sequencing batch biofilm reactor (SBBR) in treating living sewage under the condition of oxygen existing was studied. Under the situation of TN of raw water with 80~110mg/L and dissolved oxygen concentration with 0.8~4.0mg/L, the effluent TN was below 15mg/L, $\text{NH}_3\text{-N}$ removal rate reached 100%, TN removal rate was 54%~77%, $\text{NH}_3\text{-N}$ volumetric load was 47~94mg/(L·d), TN volumetric load was 56~113mg/(L·d). Before $\text{NH}_3\text{-N}$ reduced to zero or minimum, TN reduced continuously, and after this point raised for short time then reduced slowly. SBBR possessed the capacity of simultaneous nitrification and denitrification in wider range of dissolved oxygen concentration; and when $\text{NH}_3\text{-N}$ reduced to zero or minimum value, the time was suggested to be the end of simultaneous nitrification and denitrification.

Key words: sequencing batch biofilm reactor (SBBR); simultaneous nitrification and denitrification; dissolved oxygen; biofilm

同步硝化和反硝化(SND)是指在好氧情况下, 生物反应器中同时发生了硝化和反硝化过程。溶解氧、有机碳和微环境等是主要影响因素^[1,2]。Hao 等^[3]建议, 在氧化沟中有效地创造缺氧区和添加生物填料等措施来提高 SND 的效果。Helmer 等^[4]认为, SND 还可能是大量自氧微生物在好氧情况下进行的好氧硝化和反硝化。

本研究拟考察序批式膜反应器(SBBR)中, 同步硝化和反硝化在不同溶解氧(DO)情况下的特征及反应器中各种氮的变化规律。

1 材料与方法

1.1 试验装置

SBBR 试验装置处理生活污水已使用了近 5 年^[5], 如图 1 所示。

反应器采用有机玻璃材料, 有效容积为 200L, 尺寸为 80cm×40cm×110cm。底部设有滤板、滤

收稿日期: 2005-01-17

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50138010); 北京市重点实验室开放基金资助

* 责任作者, 教授, pyz@bjut.edu.cn

头,滤头收集出水和反冲洗配水.反应器装有鲍尔环填料,供生物挂膜.供氧采用穿孔曝气器,通过气泵供气.设置循环水泵,完成水流循环作用,在反冲洗阶段执行反冲洗水泵功能.

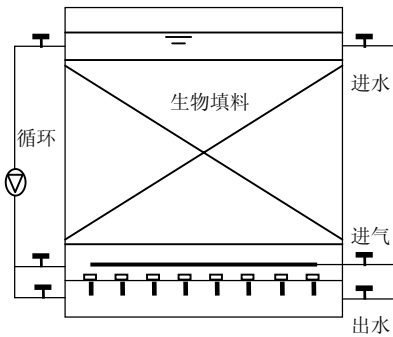


图1 SBBR 试验装置
Fig.1 Experimental equipment for SBBR

1.2 试验用水

原水采用实际生活污水,取自某大楼化粪池,反应进水温度控制在 18~22℃,水质指标为 COD_{Cr} 300~1388mg/L;BOD 150~700mg/L;SS 100~400mg/L; NH₃-N 10~151mg/L; TN 20~180mg/L; TP 4~15mg/L.

1.3 试验方法

传统的 SBR 脱氮工艺的操作步骤一般为进水→缺氧搅拌→曝气反应→沉淀→滗水.而 SBBR 同步硝化和反硝化工艺采用操作步骤为进水→曝气反应→出水.试验过程中,进出水采用了 1/3 换容和全换容 2 种方式.

由于进水水质变化大,选取了 TN 为 80~110mg/L 范围内的进水作为研究对象.考察了不同的溶解氧情况下的出水 TN 浓度、TN 去除率、NH₃-N 容积负荷率、TN 容积负荷率.TN 去除率指的是实际去除率,已扣除由于非全换容引起的原水稀释去除的 TN 部分.TN 容积负荷率指在单位时间内,单位反应器体积能去除的 TN 量,NH₃-N 容积负荷率是指在单位时间内,单位反应器体积能去除的 NH₃-N 量.硝化和反硝化的反应时间为曝气开始至 NH₃-N 降解到零或最低为止.

2 结果与讨论

2.1 溶解氧对 SBBR 中 SND 效果的影响

图 2 和图 3 为 1/3 换容的 SBBR 在控制不同溶解氧情况下同步硝化和反硝化的结果.

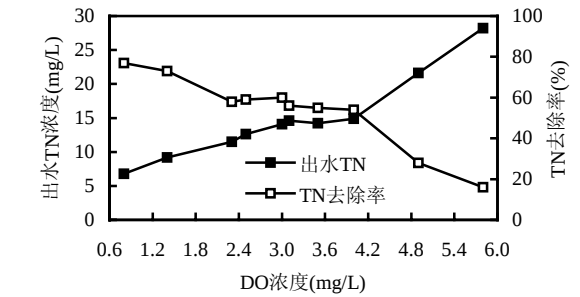


图2 溶解氧对出水 TN 和 TN 去除率的影响
Fig.2 Effects of DO on TN effluent and removal rate

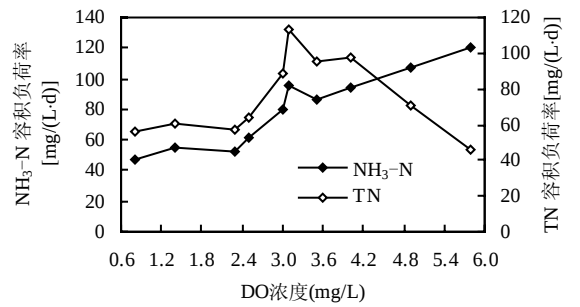


图3 溶解氧对 NH₃-N 和 TN 容积负荷率的影响
Fig.3 Effects of DO on NH₃-N and TN volumetric load

反应器中的溶解氧浓度会影响 SBBR 的出水水质.出水 TN 基本随 DO 浓度增加而增加.在 DO<2.5mg/L 情况下,出水 TN 较低(6.8~12.6mg/L);在 2.5mg/L<DO<4.0mg/L 情况下,出水 TN 基本维持在 15mg/L 左右;而 DO>4.9mg/L 情况下,出水 TN 陡然升高.

在 DO<2.5mg/L 时,TN 的去除率为 58%~75%; 2.5mg/L<DO<4.0mg/L,TN 去除率基本维持在 60%左右;而当 DO>4.9mg/L 情况下,TN 去除率陡然下降到 20%左右.

NH₃-N 容积负荷率与 DO 浓度呈正比例关系.溶解氧浓度越高,NH₃-N 的去除效率就越高,硝化所需的时间就越短,其容积负荷率也越高.

0.8mg/L<DO<5.8mg/L 时,NH₃-N 容积负荷率为 47~121mg/(L·d).

TN 容积负荷率变化可以分成 3 个部分.DO<2.5mg/L 时,TN 容积负荷率保持在 60mg/(L·d)左右;2.5mg/L<DO<3.1mg/L 时,TN 容积负荷率随 DO 上升而增加,且效率达到最大值,变化范围为 64~113mg/(L·d);而 DO>4.9mg/L 情况下,TN 容积负荷率随 DO 浓度上升而下降,且效率降到最低,为 46mg/(L·d).

保证出水水质符合排放要求和经济可行是污水处理的主要目的.对于除氮,硝化和反硝化反应过程缺一不可.溶解氧浓度低,会造成硝化的程度和效率降低,而以硝化产物为底物的反硝化则无法进行或低效进行;溶解氧浓度高,会使硝化的程度和效率提高,但可能造成反应器的环境不利于反硝化的进行.

当溶解氧浓度增加到一定程度时,一方面增加了有机物的降解速度,使得反硝化的碳源减少;另一方面,增加了溶解氧转移到生物膜内的深度,使得反硝化所依赖的缺氧环境消失.因此,溶解氧浓度过高将使反硝化不能发生或发生的程度很低.DO>4.9mg/L 时,出水 TN 过高,且 TN 去除率和效率均较低,因此建议不采用.

低氧情况下,出水水质最好.虽然反应时间长,但由于所需的供氧量低,总的能耗未必高,建议适当采用 DO<2.5mg/L.

在 2.5mg/L<DO<4.0mg/L 时,出水水质好且稳定,TN 去除率和容积负荷率在这个浓度范围内均有好的表现.建议采用此范围内的 DO 浓度作为 SBBR 的 SND 控制参数.

2.2 SND 过程中不同形态氮在 SBBR 内的变化

图 4 和图 5 显示了 SBBR 的 SND 过程中不同形态氮连续变化的情况.

图 4 还反映了 COD 在反应器中的变化,COD 在反应初期迅速降低,并很快达到平衡.

反应器 1/3 换容情况下,由于存在上周期反应结束留下的 NO₂⁻-N 和 NO₃⁻-N,会造成出水 TN 增高和去除率的下降.另外,在低 DO 浓度情

况下,当 NH₃-N 降到零或最小时,出水中具有相对较高的 NO₂⁻-N 浓度,但绝对值很小.

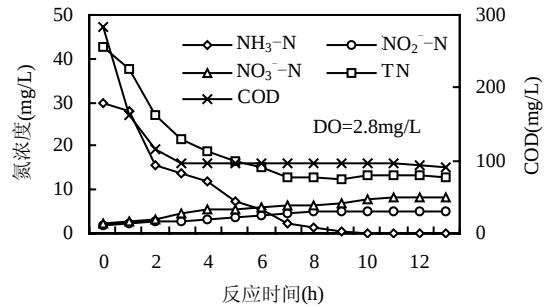


图 4 1/3 换容 SND 过程中不同形态氮随时间的变化
Fig.4 Variations of nitrogen with time in SBBR with one thirds volume influent for simultaneous nitrification and denitrification

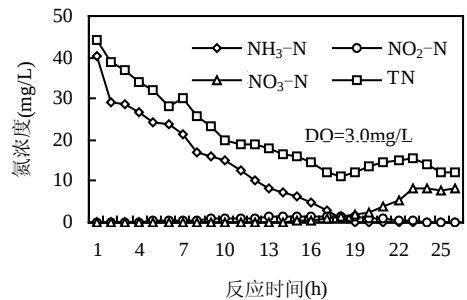


图 5 全换容 SND 过程中不同形态氮随时间的变化
Fig.5 Variations of nitrogen with time in SBBR with full volume influent for simultaneous nitrification and denitrification

无论部分换容还是全换容,SBBR 的 SND 过程中不同形态氮的变化表现出很好的规律性. NH₃-N 随曝气反应的进行逐渐减少,最后降至零或最小.NO₂⁻-N 在 NH₃-N 降到零之前随时间逐渐升高,随后逐渐降低.如果后续的曝气时间足够长,NO₂⁻-N 会降至零.NO₃⁻-N 在 NH₃-N 降到零之前随时间逐渐升高,随后快速增加后达到一个最大值或平衡点,并保持在这个水平.TN 在 NH₃-N 降到零之前随时间逐渐降低,随后有一个短时并少量的升高.最后对应 NO₃⁻-N 平衡点以后,TN 又缓慢的下降.

在 NH₃-N 降到零后,考虑到 TN 的变化,

SBBR 的 SND 过程结束点的选择关系到出水水质和能耗的不同.总的来看,以 $\text{NH}_3\text{-N}$ 降解到零或最小值的时刻作为 SBBR 的 SND 过程的结束点较为合理.这保证了出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度最小、TN 浓度为最小;曝气时间短,相对节能.但这个时刻的出水会含有少量浓度的 $\text{NO}_2^-\text{-N}$.

反硝化需要碳源,而反应器中的 COD 较快地被氧化而降到了最小值.此后,TN 仍然有较大的降低,可能是进水中的一部分有机物被生物膜吸附并转移在生物膜中作为反硝化的碳源.生物自身提供内碳源,这有待于进一步的研究.

3 结语

通过处理实际生活污水的 SBBR 试验表明,反应器中溶解氧浓度的大小对出水 TN 浓度、TN 去除率、以及 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 容积负荷率均有影响.SBBR 中溶解氧浓度小于 4.0mg/L 情况下具有很好的同步硝化反硝化效果,当进水 TN 为 $80\sim 110\text{mg/L}$ 时,出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 可降至零,而 TN 可控制在 15mg/L 以下;溶解氧浓度大于 4.9mg/L 时,反硝化的作用大幅下降.从 SBBR 的 SND 过程中

各种氮连续变化的规律来看,建议将 $\text{NH}_3\text{-N}$ 降解到零或最小值的时刻作为 SBBR 的 SND 过程的结束点较为合理.

参考文献:

- [1] Pochana K, Keller J. Study of factors affecting simultaneous nitrification and denitrification [J]. Wat. Sci. Tech., 1999,39(6): 61-68.
- [2] Pochana K, Keller J, Lant P. Model development for simultaneous nitrification and denitrification [J]. Wat. Sci. Tech., 1999,39(1):235-243.
- [3] Hao X, Doddema H J, Groenestijn W. Conditions and mechanisms affecting simultaneous nitrification and denitrification in a Pasveer oxidation ditch [J]. Bioresource Technology, 1997,58:207-215.
- [4] Helmer C, Kunst S. Simultaneous nitrification/denitrification in an aerobic biofilm system [J]. Wat. Sci. Tech., 1998,37(4-5):183-187.
- [5] Li T W (Li Jun), Peng Y Z, Wang Y Y, *et al.* Experimental study on sequencing batch biofilm reactor with biological filtration (SBBR-BF) for wastewater treatment [J]. Wat. Sci. Tech., 2003, 48(11-12):299-307.

作者简介: 李 军(1969-),男,江西遂川人,副教授,博士,主要从事污水生物处理及控制研究.发表论文 40 余篇.

碳粒子在气候变化中的作用

全球气候模式是了解气候变化原因和趋势的有力工具,并且随着更多因素的考虑而更接近于实际观测结果.模式研究的结果表明过去 100 年全球气候变暖是由于大气中温室气体浓度增加,另外硫酸盐气溶胶则主要起冷却效应,因为它将太阳辐射反射到太空中.但是在模式模拟中没有明确考虑碳粒子气溶胶的作用,而它对全球辐射能量平衡可能会有重要作用,甚至会抵消硫酸盐气溶胶的冷却作用,因为它能吸收太阳辐射,从而使大气变热.

最近发表在 *Geophys. Res. Lett* 杂志上的 Jones 等人的论文报道了他们对碳气溶胶、硫酸盐气溶胶和温室气体作用分析的结果.他们发现碳粒子的作用不如硫酸盐重要,在模式中考虑碳气溶胶后不会改变 20 世纪气候变暖主要由温室气体增加所致的结论.然而,现在还不能精确评估黑碳粒子气溶胶的影响,而且黑碳粒子也可能以其他方式影响辐射性质,例如它能减少雪层对太阳辐射的反射.

江 年 摘自《Science》, August 5, 852(2005)