

在 SBBR 中接种硝化菌时 SND 特性及机理

徐伟锋¹, 孙力平², 张芳¹, 顾国维¹

(1. 同济大学环境科学与工程学院污染控制与资源化国家重点实验室, 上海 200092;

2. 天津城市建设学院, 天津 300384)

摘要:通过加硝化菌与未加硝化菌的对比试验,对序批式生物膜法(SBBR)中所表现出来的脱氮特性进行了试验分析,研究探讨生物膜法 SND 脱氮的机理:好氧情况下生物膜的吸附作用为反硝化菌提供碳源和能源;SND反应主要发生在好氧生物膜层和兼性生物膜分界内;在深层的反硝化菌利用生物膜中储存的有机物作为有机碳源,将好氧生物膜中产生的 NO_3^- -N 转化为 N_2 。同时加入一定量的硝化菌能较好地提高硝化、脱氮率。

关键词:同步硝化反硝化(SND);生物脱氮;序批式生物膜反应器(SBBR)

中图分类号:X703.1;TQ085+.413

文献标识码:A

文章编号:1000-3700(2005)04-0021-03

最近几年国内外有不少实验和报道说明有同步硝化反硝化现象 (*Simultaneous Nitrification and Denitrification*, 简称 SND), 尤其是有氧条件下的反硝化现象确实存在于不同的生物处理系统, 如生物转盘、SBR、氧化沟等工艺^[1-3]。与传统生物脱氮技术相比, SND 可在同一反应器中同时实现硝化、反硝化和除碳, 具有许多优点, 同时序批式系统具有一定的优势, 而序批式生物膜法 (*Sequencing Batch Biofilm Reactor*, 简称 SBBR) 则把序批式的优点和生物膜法的优点很好地结合起来, 是一种新型的复合式生物膜反应器^[4], 因此有必要就序批式生物膜法工艺的脱氮特性和机理进行研究。

近年来利用特别分离的生物优势菌种, 降解特殊的污染物质, 在水处理领域已有先河。生物反应器投加优势菌种, 可在反应器内短时期就形成该菌种的优势菌种。本实验在 SBBR 中接种硝化菌和亚硝化菌可形成硝化菌生物优势菌群, 期望有利于反应器中 SND 的进行。

1 试验方法

1.1 试验装置

试验装置如图 1 所示。反应器的材质是有机玻璃, 内径 13 cm, 试验所用反应器容积为 10 L。

由于一般活性污泥中硝化菌的含量太低, 并且 SND 的脱氮率较低, 所以本次试验在进行挂膜时, 反应器加入等体积的活性污泥和硝化菌 (亚硝化菌和硝化菌)。

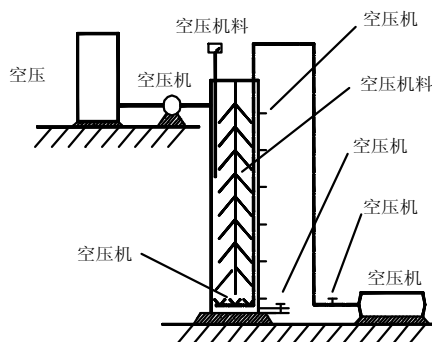


图 1 试验装置图

1.2 模拟生活污水

试验用水采用人工配制。用自来水加葡萄糖、氯化铵、磷酸二氢钾、硫酸镁、碳酸氢钠、氯化钙、硫酸锰、氯化铁等来模拟生活污水水质。

2 试验研究

2.1 溶解氧浓度对 NH_4^+ -N、TN 去除率的影响

DO 浓度对能否实现 SND 至关重要, 生物膜法不同于活性污泥法, 水中营养物质不能直接渗透到

收稿日期:2003-12-15

基金项目:天津市自然科学基金项目(013608211)

作者简介:徐伟锋(1978-)男,在读博士生。

表 1 不同 DO 浓度时加硝化菌反应器中各污染物的变化情况

DO (mg/L)	NH ₄ ⁺ -N			NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	TN(mg/L)	η _{TN} (%)	COD		
	进水(mg/L)	出水(mg/L)	η(%)					进水(mg/L)	出水(mg/L)	η(%)
1.0	42.0	8.7	78.6	1.7	10.6	21.0	50.0	400.0	50.2	87.5
2.0	42.0	5.0	88.0	0.4	7.3	12.7	72.0	400.0	19.0	95.2
3.0	42.0	6.5	84.5	0.4	10.4	17.3	58.8	400.0	20.0	95.5

微生物内部,必须通过气液相间的水膜,根据有关资料,一般生物膜法在有机物的去除和硝化时,DO 浓度一般为 4.0 mg/L 左右^[5]。而要实现 SND 反应就必须降低 DO 浓度^[6], 所以为了找出本次试验的最佳 DO 浓度, 采用 DO 浓度分别等于 1.0、2.0、3.0 mg/L (误差±0.2 mg/L) 来观察各个污染物浓度的变化情况,其结果如表 1。

由表 1 可以看出,在 DO 为 2.0 和 3.0 mg/L 时,经过 7 h 曝气后,COD 去除率达 95.0 %,NH₄⁺-N 去除率均在 85.0 %左右,而 TN 去除率稍有差别。当 DO 为 1.0 mg/L 时,生物膜上的微生物发黑,出现 NO₂-N 的积累,剩余污泥沉降性能较差。其原因可能为 DO 过低,氧穿透能力减弱,致使膜内出现缺氧状态。

因而,当 DO 为 2.0 mg/L 时脱氮率最佳。投加硝化菌反应器较不投加硝化菌反应器的硝化率和总氮去除率均有提高。

2.2 进水碳氮比(C/N)对 NH₄⁺-N、TN 去除率的影响

试验中,采用 4 种进水 COD 负荷考察 COD 负荷和各种形态氮的变化规律,C/N 分别为 4:1、6:1、8:1 和 10:1,见图 2~图 4。本试验阶段 NO₂-N 的含量相当低,其浓度变化在 0~0.5 mg/L。

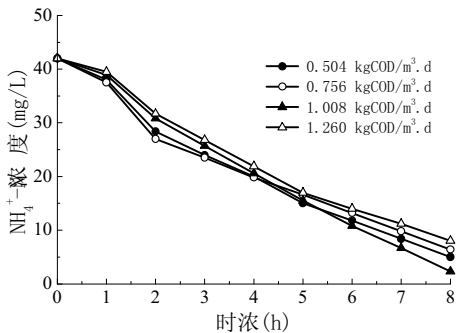


图 2 不同进水 COD 负荷时 NH₄⁺-N 的变化曲线

由图 2 可以看出,由于硝化菌是自养菌,所以随着 COD 负荷的提高,氨的硝化能力逐渐下降,相应的出水 NH₄⁺-N 浓度也较高。同时开始阶段,由于

COD 负荷太高,氨氮去除率较低,所去除的部分也可能只是用于微生物细胞自身的合成。图 3 为进水 COD 负荷时 NO₃-N 变化曲线,在较高 COD 负荷的情况下,氨的硝化能力较低,故相应的出水 NO₃-N 浓度也较低。较特殊的是当进水负荷为 1.008kg-COD/m³·d 时,出水 NH₄⁺-N 为 2.4mg/L (见图 2), NO₃-N 为 6.0mg/L,脱氮效果是这 4 种负荷中最好的。

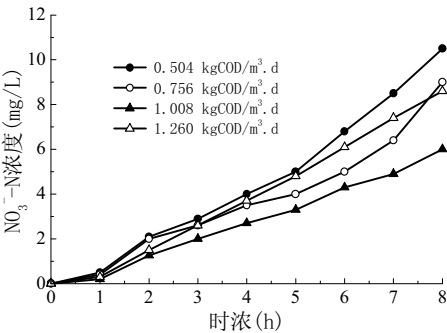


图 3 不同进水 COD 负荷时 NO₃-N 的变化曲线

4 种进水 COD 负荷时对 TN 去除率试验结果列于表 2。表 2 数据表明,以进水负荷为 1.008 kgCOD/m³·d 时脱氮效果最显著。

表 2 不同进水 COD 负荷时 TN 去除率

进水负荷 (kgCOD/m ³ ·d)	0.504	0.756	1.008	1.260
TN 去除率 (%)	62	66	81	60

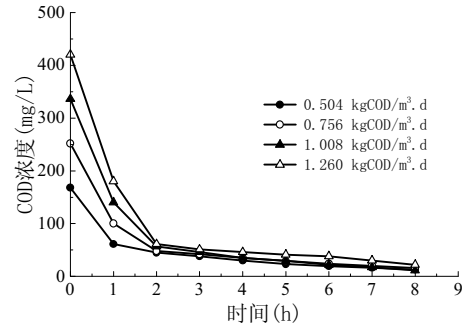


图 4 不同进水 COD 负荷时出水 COD 变化曲线

由图 4 可知, SBBR 可承受较高 COD 负荷的增

长,并且进水 COD 负荷越高,其吸收速率也越高。进水 COD 负荷从 $0.504 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$ 提高至 $1.260 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$ 时,出水 COD 浓度几乎没有什么差别,去除率和去除速率也逐步提高。另外,在开始阶段的 COD 吸收速率远远高于后面阶段的 COD 吸收速率,这是由于生物膜的吸附作用。

同时,对未加硝化菌反应器进行了上述相同的试验,发现不论是何种负荷,加硝化菌反应器的脱氮率均优于未加硝化菌反应器,当有机负荷为 $1.008 \text{ kgCOD/m}^3 \cdot \text{d}$ 时脱氮效果最好,但两者 COD 去除率相差不多。这说明虽然加硝化菌反应器中的硝化菌比例较大,但大部分仍是异养菌为主。另外,两个反应器中各种形态氮浓度相差较大(除亚硝酸根外),导致了两者脱氮率相差较大,具体见表 3。

表 3 两个反应器各形态氮浓度的比较

项 目	NH_4^+-N (mg/L)	NO_2^--N (mg/L)	NO_3^--N (mg/L)	TN (mg/L)	$\eta_{\text{N}}(\%)$
未加硝化菌反应器	6.6	0.4	10.3	17.3	58.7
加硝化菌反应器	2.4	0.3	6.0	8.7	79.3

3 好氧情况下 SBBR 的 SND 脱氮机理探讨

通过本实验证明在 SBBR 中确实存在 SND 的现象。这种现象的产生归结于以下几点。

3.1 生物膜的吸附作用

生物膜的表面具有高度的活性和巨大截留吸附能力,可吸附混合液中的颗粒、胶体物质和溶解性物质,同时可通过浓度梯度扩散进入生物膜内部,然后被反硝化菌所吸附。许多低分子溶解态有机物可被微生物细胞通过主动运输、辅助运输、单纯扩散机制直接吸收;大分子有机物难以直接进入细胞内,但可以吸附在细胞表面经胞外酶水解作用转化为可传递到胞内的溶解性有机物,因而生物膜的吸附作用为反硝化贮存了能源和碳源。

3.2 生物膜中存在好氧和兼性生物膜的联合作用

当有机物负荷较低时 ($0.504 \sim 0.756 \text{ kgCOD/m}^3 \cdot \text{d}$),异养菌和硝化菌在载体表面相互竞争生长,生物膜较薄,氧的穿透能力相对较强,难以形成缺氧生物膜层,即使氨的硝化进行较好,脱氮率也较低。当进水有机负荷较高 ($\geq 1.260 \text{ kgCOD/m}^3 \cdot \text{d}$) 时,由于硝化菌是自养菌,难以与异养菌在载体表面竞争生长,在生物膜逐渐变厚的同时,氧穿透能力相对变弱,易形成缺氧生物膜层。但由于硝化菌处于生物膜内部,使氨的硝化率降低,同样会降低脱氮率。当进水有

机负荷适中(本实验在 $1.008 \text{ kgCOD/m}^3 \cdot \text{d}$ 左右)时,控制 DO 浓度,能形成好氧生物膜层和兼性生物膜层的联合作用,可实现 SND 反应。

因而认为生物膜中存在好氧生物膜层和兼性生物膜层时,SND 反应主要发生在好氧生物膜层和兼性生物膜之间。在深层的兼性生物膜中存在反硝化菌,这些细菌利用生物膜中储存的有机物作为有机碳源,将好氧生物膜中产生的 NO_3^--N 转化为 N_2 。

3.3 SND 的脱氮率与碳氮比和溶解氧等因素有关

SBBR 中 SND 产生的脱氮率随碳氮比的增加而增加,但过高的进水 C/N 将使生物膜变厚,也会影响 SND 的脱氮效果。因而控制合适的 C/N 将是 SBBR 中实现 SND 关键的问题之一。

要实现 SND,必须控制 DO 浓度,使生物膜内层出现缺氧区,而有机物和生成的 NO_3^--N 通过浓度梯度的扩散作用进入缺氧区,为反硝化菌提供电子受体和碳源,实现 SND。

4 结 论

序批式生物膜反应器(SBBR)中的 SND 反应主要发生在好氧生物膜层和兼性生物膜分界区内。与生物膜的厚度有关的因素是影响 SND 的脱氮效率的关键因素,如 C/N、DO 等。

在 SBBR 中生物膜的吸附作用为反硝化菌提供碳源和能源。

在本实验中,在 C/N 为 8 (进水 COD 负荷为 $1.008 \text{ kgCOD/m}^3 \cdot \text{d}$),DO 为 2.0 mg/L 的工艺参数下,SBBR 的 SND 脱氮率接近 80.0 %。

加硝化菌反应器的脱氮率明显地高于未加硝化菌的反应器(高出 20%左右)。但对有机物的去除却没有丝毫的影响,这对工程应用中有着实际的指导意义。

本实验存在的问题是原水采用人工配水,进水中成份较简单,水中不存在抑制剂,因而可维持硝化菌为优势菌种。而实际工程中原水成分相当复杂,维持硝化菌为优势菌种的条件可能困难一些,这有待于下一步进行研究。

参考文献:

- [1] Masuda S, Watanabe Y, Ishiguro M. Bio-film properties and simultaneous nitrification and denitrification in aerobic rotating biological contactor[J]. Wat Sci Tech., 1991, 23 (2): 1355-1363.
- [2] Munch E V, Lant P A, Keller J. Simultaneous nitrification and denitrification in bench-scale sequencing batch reactor[J]. Wat Res., 1996, 30 (2): 277-284.

(下转第 34 页)

放电时间增加,活性炭纤维的吸附能力增强。

参考文献:

- [1] T Belmonte, T Czerwicz, H Michel. Fundamentals and applications of late post-discharge processes[J]. Surface and Coatings Technology, 2001, 142: 306-313.
- [2] 罗宗铭, 张琨, 崔英德, 黄飞燕. 蛋白质与酸性染料相互作用的分光光度研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2001, 21(2): 251-253.
- [3] 刘振宇, 郑经堂, 王茂章. 活性炭纤维孔结构控制和表面改性[J]. 离子交换与吸附, 1997, 13(4): 353-358.
- [4] Ta-Chin Wei, Lance R Collins, Jonathan Phillips. Dynamics of charged species in the afterglow region of a low-pressure microwave plasma[J]. APPL. Phys., 1995, 28: 295-304.
- [5] Ta-Chin Wei, Lance R Collins, Jonathan Phillips. Measurement and Modeling of N-Atom Behavior in the Afterglow of a Microwave Plasma[J]. AIChE, 1996, 42(5): 1361-1370.

RESEARCHES ON ACTIVATED CARBON FIBRE TREATED BY LONG-RANGE PLASMA AND ITS HIGH FUNCTIONALIZATION

Chen Jie-rong, Li Xiao-jing, Li Ying

(Department of Environmental Science and Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: The adsorption performance of activated carbon fibre (ACF) is closely related to its surface functional group. The treatment with long-range plasma is a new method to acquire better surface modification for ACF. In order to improve the adsorption efficiency against the organic pollutions in water, the surface modification for the viscose ACF was carried out with long-range plasma; the effects of treating time with plasma and long-range distance on weight decreasing rate of ACF and adsorption performance were investigated. The results showed that, in long-range area, the etching action of electrons and ions to sample was inhibited; meanwhile, the removal effect of the adsorbent treated with plasma in long-range area on organic pollutants in water was superior to the sample without any treatment

Key words: Activated carbon fibre; long-range plasma; absorption

~~~~~  
(上接第 23 页)

- [3] Bruce E Rittmann, Wayne E Langeland. Simultaneous denitrification with nitrification in single-channel oxidation ditch. WPCE1985, 57(4): 66-74.
- [4] 刘雨, 赵庆良, 郑兴灿. 生物膜法污水处理技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000: 11-13.
- [5] Helmer C, Kunst S. Simultaneous Nitrification/ Denitrification in an aerobic biofilm system[J]. Wat Sci Tech., 1998, 37(4-5): 183-187.
- [6] Garrido J M, Campos J L, Mendez R. Nitrous oxide production by nitrifying biofilm in a biofilm airlift suspension reactor[J]. Wat Sci Tech., 1997, 36(1): 157-163.

## TENTATIVE RESEARCH ON SIMULTANEOUS NITRIFICATION AND DENITRIFICATION(SND) IN SBBR WITH INOCULATING NITROBACTERIA

Xu Wei-feng<sup>1</sup>, Sun Li-ping<sup>2</sup>, Zhang Fang<sup>1</sup>, Gu Guo-wei<sup>1</sup>

(State Key Lab of Pollution Control and Resource Reuse, Tongji University, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** Through comparative experiment with and without adding nitrobacteria, the nitrogen removal characteristics of the sequencing batch biofilm reactor(SBBR) were studied. The results indicated that, under the conditions of ratio of carbon to nitrogen being eight the COD loading of influent water was 1.008kg COD/m<sup>3</sup>·d, DO being 2.0mg/L, the nitrogen removal rate caused by simultaneous nitrification and denitrification in SBBR was approximate to 80%. And the nitrogen removal rate in the reactor with adding nitrobacteria was 20% higher than that in the reactor without adding the same. These results possess the practical guiding significance for engineering application of this process

**Key words:** simultaneous nitrification and denitrification(SND); biological nitrogen removal; sequencing batch biofilm