

侧向流曝气生物滤池的同步硝化反硝化研究

张红晶¹, 龙腾锐², 何强², 曹艳晓²

(1. 重庆大学 化学化工学院, 重庆 400044; 2 重庆大学 城市建设与环境工程学院, 重庆 400045)

摘要: 利用自行研制的侧向流曝气生物滤池处理城市生活污水,考察了同步硝化反硝化现象。试验结果表明,在水力负荷分别为 $0.43, 0.61 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 以及气水比为 10:1, 进水 COD 负荷为 $0.395 \sim 2.523 \text{ kg} / (\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 负荷为 $0.082 \sim 0.486 \text{ kg} / (\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 、TN 负荷为 $0.047 \sim 0.587 \text{ kg} / (\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 的条件下,对氨氮的去除率分别为 78.91% 和 53.33%,对总氮的去除率分别为 52.58% 和 36.85%。对滤池内含氮化合物的空间分布、氧摄取速率以及底物转化速率和微生物数量的监测结果表明,滤池内发生了同步硝化反硝化。

关键词: 侧向流曝气生物滤池; 同步硝化反硝化; 氧摄取速率; 氮化合物空间分布

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2006)09-0034-04

Study on Simultaneous Nitrification and Denitrification in Lateral Flow Biological Aerated Filter

ZHANG Hong-jing¹, LONG Teng-rui², HE Qiang², CAO Yan-xiao²

(1. College of Chemistry and Chemical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China; 2. Faculty of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

Abstract: Lateral Flow Biological Aerated Filter (LBAF) is a new type of equipment for wastewater treatment. Simultaneous nitrification and denitrification was investigated by using LBAF to treat municipal wastewater. The results show that under the conditions of hydraulic loading of $0.43 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{h})$ and $0.61 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{h})$, air/water ratio of 10:1, influent COD loading of $0.395 \sim 2.523 \text{ kg} / (\text{m}^3 \cdot \text{d})$, $\text{NH}_3 - \text{N}$ loading of $0.082 \sim 0.486 \text{ kg} / (\text{m}^3 \cdot \text{d})$, and TN loading of $0.047 \sim 0.587 \text{ kg} / (\text{m}^3 \cdot \text{d})$, the $\text{NH}_3 - \text{N}$ removal efficiencies are 78.91% and 53.33%, respectively, and TN removal efficiencies are 52.58% and 36.85%, respectively. Furthermore, the profiles of inorganic nitrogen compounds, OUR, the substrate transform rate and the microbial population were studied. It is believed that the simultaneous nitrification and denitrification has taken place in LBAF.

Key words: lateral flow biological aerated filter; simultaneous nitrification and denitrification; OUR; profiles of nitrogen compounds

传统生物脱氮理论认为,氨氮的去除是通过两个相互独立的过程实现的,即硝化和反硝化^[1],由于对环境条件的要求不同,这两个过程不能同时发

生,即硝化反应发生在好氧条件下,反硝化反应则发生在严格的缺氧或厌氧条件下。在该理论指导下,传统的生物脱氮工艺都是在不同的反应器中,通过

基金项目: 荷兰政府赠款项目 (NGGP)

好氧和缺氧的交替(时间或空间上)来实现氮的去除,如 A/O、A²/O 等工艺。但是近几年的研究表明,硝化和反硝化可在同一反应器中同时发生,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,这一现象被称为同步硝化反硝化(SND)。

同步硝化反硝化具有以下优点^[2]:所需反应器体积小、曝气量低;硝化过程消耗碱度,而反硝化过程产生碱度,故能有效保持反应器中的 pH 值。基于以上原因,同步硝化反硝化引起了人们极大的兴趣。笔者采用自行研制的侧向流曝气生物滤池(LBAF)处理城市生活污水,考察了有机负荷、氨氮负荷对同步硝化反硝化的影响,以探索 LBAF 的同步硝化反硝化规律及其应用于工程的可行性。

1 试验设备与方法

1.1 试验设备

LBAF 试验装置如图 1 所示。

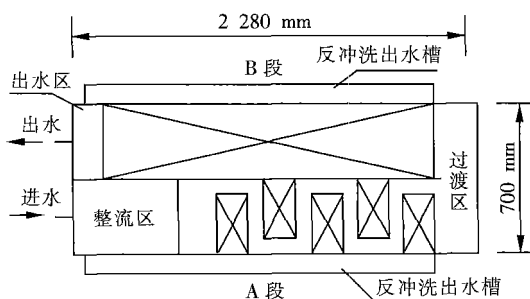


图 1 LBAF 示意图

Fig 1 Schematic diagram of LBAF

LBAF 长为 2.28 m, 宽为 0.70 m, 高为 1.00 m, 由 A、B 两段串联组成。A 段交错填装 5 筐粒径为 10~15 mm 的沸石, 筐内各放置 1 根刚玉微孔曝气器, 大部分污水穿过填料, 小部分污水流经填料筐与池壁间的空隙后与穿过填料筐的污水汇合进入下一个填料筐, 这样就提高了对填料的利用率, 并可适当延长反冲洗周期。B 段间隔 28 cm 放置 1 根刚玉微孔曝气器, 并装填粒径为 3~6 mm 的沸石, 目的是为了增加生物量, 以提高出水水质。填料层自下而上依次为: 沸石填料、反冲洗进水管、曝气器、反冲洗进气管、沸石填料。沿轴向每隔 28 cm 处设一组取样装置, 每组取样装置由上、中、下三个纵向排列的取样口组成。

该滤池的特点是: 侧向进、出水; 能方便地调节滤池内任意段的曝气量, 在同一滤池内实现厌氧和

好氧反应; 污水以推流通过生物滤池, 可保证较高的反应器容积利用率和较好的处理效果; 针对不同的进水水质和处理要求, 可通过改变曝气方式和强度来实现多种运行模式。

1.2 原水水质及分析方法

试验用水为重庆大学学生宿舍的生活污水, 由水泵将污水从初沉池输送到实验室高位水箱, 然后进入反应器。原水水质: SS 为 75~220 mg/L, COD 为 103~596 mg/L, TN 为 40.3~100.6 mg/L, NH₃-N 为 34.7~86.3 mg/L, pH 值为 6.5~7.5, NO₃⁻-N 为 0~0.36 mg/L。

分别在水力负荷为 0.43 m³/(m²·h) 和 0.61 m³/(m²·h) 下进行试验, 气水比均为 10:1, 水温为 20.5~28.5℃, 连续测定滤池沿程的 COD、氨氮、总氮、硝态氮、亚硝态氮, 定时测定溶解氧。采用氧摄取速率(OUR)和底物转化速率作为生物膜活性的指标^[3], 微生物数量采用 MPN 法测定^[4], 其他项目采用标准分析方法分析^[5]。

2 试验结果与分析

2.1 脱氮效果

图 2、3 分别为 LBAF 对总氮和氨氮的去除效果。

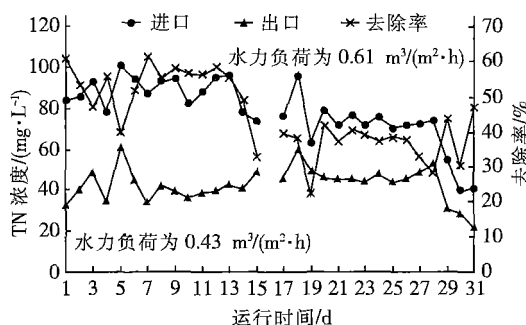


图 2 LBAF 对总氮的去除效果

Fig 2 TN removal by LBAF

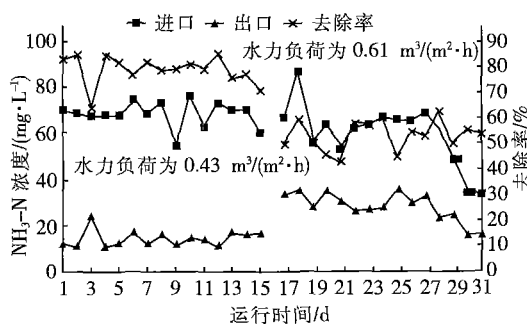


图 3 LBAF 对氨氮的去除效果

Fig 3 Ammonia nitrogen removal by LBAF

由图 2、3 可知,在水力负荷分别为 0.43、0.61 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 以及进水 COD 负荷为 0.395 ~ 2.523 $\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 负荷为 0.082 ~ 0.486 $\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 、TN 负荷为 0.047 ~ 0.587 $\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 的条件下, LBAF 对氨氮的平均去除率分别为 78.91% 和 53.33%, 对总氮的平均去除率分别为 52.58% 和 36.85%。水力负荷对氨氮和总氮的去除率影响较大,一方面是因为水力负荷增加则 HRT 缩短,导致反冲洗频繁,而硝化细菌的比增长速率远低于异养菌,使其在反冲洗过程中更容易被洗脱出去,从而降低了整个反应器的硝化能力。另一方面由于水力负荷的增加,有机负荷也随之增加,在较高的有机物浓度下生物膜更新速度快,使得降解有机物的异养菌处于绝对优势,并抑制了硝化细菌的增殖和活性。

2.2 滤池内的同步硝化反硝化现象

2.2.1 沿程含氮化合物的变化

试验结果表明,氨氮浓度随滤池长度的增加而逐渐下降,在超过 2.1 m 后其下降速度越来越快,而硝态氮和亚硝态氮浓度则开始上升,但亚硝态氮浓度远低于硝态氮浓度,说明滤池内硝化反应强烈,没有出现亚硝酸盐积累。这是因为进水端的 DO 浓度较低,而有机物浓度较高,抑制了硝化细菌的增殖和活性,随着滤池长度的增加则 DO 浓度越来越高,有机物浓度下降,硝化细菌的增殖速度迅速加快,活性增强,对氨氮的去除率也就迅速增加了。总氮浓度的沿程变化与氨氮的相似。根据传统生物脱氮理论,1 mol 氨氮可转化为 1 mol 亚硝态氮,而 1 mol 亚硝态氮又可转化为 1 mol 硝态氮。在水力负荷分别为 0.43、0.61 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 时,氨氮分别转化了 40.49 mg/L 和 23.41 mg/L,而亚硝态氮与硝态氮的总和分别为 17.36 mg/L 和 12.94 mg/L,很明显氨氮的转化量大于亚硝态氮与硝态氮的生成量,故可推知滤池内发生了同步硝化反硝化。这是因为:生物膜具有一定的厚度,水中的溶解氧从生物膜表层穿透到深层需要很大的传质推动力,所以即使溶解氧浓度很高,但生物膜深层仍处于缺氧状态,具备了进行反硝化反应的基本条件;在侧向流曝气生物滤池内,曝气装置的分布是不均匀的,容易出现较大比例的局部缺氧微环境。

2.2.2 沿程的微生物活性变化

好氧微生物的生命活动以及降解污染物都需要消耗氧气,填料上的活性微生物越多,则其耗氧速率

就越大。为了进一步研究滤池内的同步硝化反硝化情况,在反冲洗 3 d 后测定了沿程生物膜的氧摄取速率及 COD 和 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的转化速率,结果见图 4。

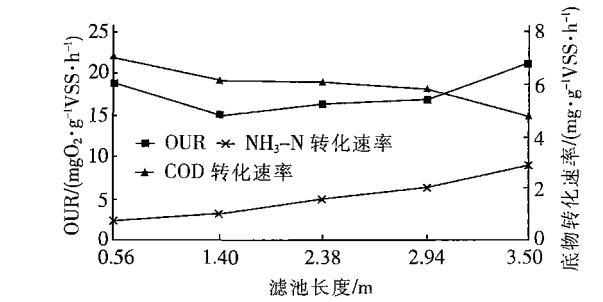


图 4 OUR 及 COD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 转化速率的沿程变化

Fig 4 Variation of OUR and COD, $\text{NH}_3 - \text{N}$ transform rate in LBAF

由图 4 可知, COD 转化速率沿滤池长度逐渐减小, $\text{NH}_3 - \text{N}$ 转化速率沿滤池长度逐渐增加, OUR 值沿滤池长度先下降后上升。这是因为从 A 段到 B 段有机负荷逐渐降低,异养菌数量逐渐减少,故 COD 转化速率沿滤池长度逐渐减小, OUR 值也逐渐降低,但到一定程度后异养菌不再占优势,此时起硝化作用的自养微生物逐渐增多,因此 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的转化速率沿滤池长度逐渐增加, OUR 值又逐渐上升。对沿程细菌数量的监测结果(见表 1)显示,硝化菌和亚硝化菌数量逐渐增加,而反硝化菌数量尽管逐渐减少,但也维持在较高值,因此可认为 LBAF 内发生了同步硝化反硝化。

表 1 硝化菌、亚硝化菌、反硝化菌数量的沿程变化

Tab 1 Variation of number of nitrobacteria, nitrosobacteria and denitrifying bacteria in LBAF

项目	$10^4 \text{ 个} \cdot \text{cm}^{-3}$		
	$L = 2.38 \text{ m}$	$L = 2.94 \text{ m}$	$L = 3.50 \text{ m}$
硝化菌	1.2	7.2	25
亚硝化菌	12	53	200
反硝化菌	27	6.8	1.4

2.3 影响运行的因素分析

有机负荷

试验结果表明, LBAF 对氨氮的去除率随 COD 容积负荷的增大呈明显的下降趋势,当 COD 容积负荷 $< 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 时对氨氮的去除率基本在 70% 以上;当 COD 容积负荷增至 $0.5 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 以上后,对氨氮的去除率下降到 40% ~ 70%。LBAF 对氨氮的去除率随 COD 容积负荷的变化而波动较大,经分析原因是提高 COD 容积负荷会使异养

菌大量繁殖,从而抑制了硝化菌的生长,硝化效果自然变差。

对总氮的去除率随 COD 容积负荷的变化趋势与氨氮的类似,但数据的离散程度较氨氮的明显,这主要是由于 LBAF 对总氮的去除效能不如对氨氮的稳定,并且 LBAF 中存在同步硝化反硝化, COD 负荷的增加在一定程度上有益于反硝化的进行。

氨氮负荷

$\text{NH}_3\text{-N}$ 容积负荷对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 及 TN 去除率的影响分别如图 5、6 所示。

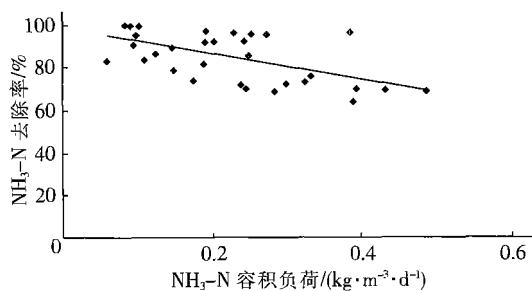


图 5 氨氮容积负荷对氨氮去除率的影响

Fig 5 Influence of $\text{NH}_3\text{-N}$ volumetric load on $\text{NH}_3\text{-N}$ removal rate

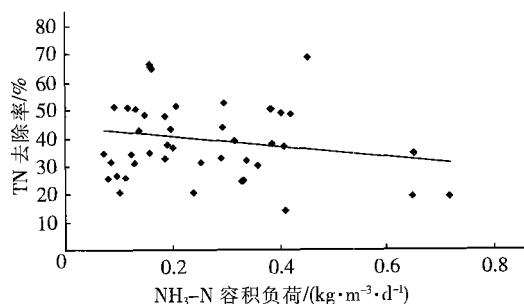


图 6 氨氮容积负荷对总氮去除率的影响

Fig 6 Influence of $\text{NH}_3\text{-N}$ volumetric load on TN removal rate

从图 5、6 可以看出, LBAF 对氨氮和总氮的去除率随进水氨氮容积负荷的增大而降低,但总氮的去除率数据较离散。试验中氨氮负荷的增加是通过提高水力负荷来实现的,但这同时也增加了有机物

负荷,势必会对硝化反硝化过程产生影响。

3 结论

在水力负荷分别为 0.43 、 $0.61 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 以及气水比为 $10:1$ 、进水 COD 负荷为 $0.395 \sim 2.523 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 负荷为 $0.082 \sim 0.486 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 、TN 负荷为 $0.047 \sim 0.587 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 时,对氨氮的去除率分别为 78.91% 和 53.33% ,对总氮的去除率分别为 52.58% 和 36.85% 。

对滤池内含氮化合物的空间分布、氧摄取速率以及底物转化速率和微生物数量的监测结果表明,侧向流曝气生物滤池内发生了同步硝化反硝化反应。

侧向流曝气生物滤池对氨氮和总氮的去除率随进水有机负荷和氨氮容积负荷的增大而降低,但总氮去除率数据较离散。

参考文献:

- [1] 张自杰. 排水工程 (第 3 版) [M]. 北京:中国建筑工业出版社, 1996
- [2] Collvignarelli C, Bertanza G. Simultaneous nitrification denitrification process in activated sludge plant performance and applicability [J]. Water Sci Technol, 1999, 40 (4 - 5): 187 - 194
- [3] Urfer D, Huck P M. Measurement of biomass activity in drinking water biofilters using a respirometric method [J]. Water Sci Technol, 2001, 35 (6): 1469 - 1477.
- [4] 马放,任南琪. 污染控制微生物学实验 [M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社, 2002
- [5] 国家环保局. 水和废水监测分析方法 (第 4 版) [M]. 北京:中国环境科学出版社, 2002

作者简介:张红晶 (1967 -), 女, 重庆人, 讲师、博士研究生, 研究方向为水处理技术。

电话: (023) 65316430

E-mail: zhhj0101@tom.com

收稿日期: 2006 - 02 - 08

加强节约和保护,实现水资源的可持续利用