

# 曝停比对两级 SBBR 处理猪场废水厌氧消化液的影响

杨静超<sup>1,2</sup>, 夏训峰<sup>1</sup>, 席北斗<sup>1</sup>, 邱鸿江<sup>3</sup>, 王雷<sup>1</sup>, 宿毅<sup>2</sup>, 夏天骄<sup>1,2</sup> (1. 中国环境科学研究院, 北京 100012; 2. 中国矿业大学(北京)化学与环境工程学院, 北京 100083; 3. 浙江万里学院, 浙江 宁波 315100)

**摘要:** 采用两级串联序批式生物膜法(SBBR)处理猪场废水厌氧消化液,设置运行模式 a、b 和 c,其曝停比分别为 1.5 h:0.5 h(1 级反应器)—2 h:1 h(2 级反应器)、1 h:1 h—1.5 h:0.5 h 和 1 h:1 h—2 h:1 h,总曝气时间分别为 9.5、9.5 和 8.0 h,考察不同模式对废水处理效果和同步硝化反硝化等氮素转化情况的影响。结果表明,在温度为 24~27 °C、曝气阶段  $\rho(\text{DO})$  控制在 2.5~3.0 mg·L<sup>-1</sup>、进水  $\rho(\text{COD})$  和  $\rho(\text{NH}_3\text{-N})$  分别为 700~800 和 90~100 mg·L<sup>-1</sup> 条件下,各反应器均具有一定的脱氮能力,其中模式 a 效果最好,TN 和 NH<sub>3</sub>-N 去除率分别为 58.5% 和 68.2%。说明在两级串联 SBBR 反应器中,高曝停比—低曝停比的串联方式更有利于猪场废水厌氧消化液污染物的去除。通过调节每级曝气时间可将反应控制在同步硝化反硝化阶段,适当延长 1 级反应的曝气时间以及在 2 级反应初期设置 1 h 厌氧阶段可明显提高废水处理效果。

**关键词:** 两级串联序批式生物膜法(SBBR); 厌氧消化液; 曝停比; 同步硝化反硝化

**中图分类号:** X703      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1673-4831(2013)02-0248-05

**Effect of Aeration/Non-Aeration Ratio on Anaerobically Digested Pig Farm Wastewater Treated in Two-Stage Sequencing Batch Biofilm Reactor.** YANG Jing-chao<sup>1,2</sup>, XIA Xun-feng<sup>1</sup>, XI Bei-dou<sup>1</sup>, QIU Hong-jiang<sup>3</sup>, WANG Lei<sup>1</sup>, SU Yi<sup>2</sup>, XIA Tian-jiao<sup>1,2</sup> (1. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 2. School of Chemical & Environmental Engineering, China University of Mining & Technology, Beijing 100083, China; 3. Zhejiang Wanli University, Ningbo 315100, China)

**Abstract:** Two-stage Sequencing Batch Biofilm Reactors were used to process anaerobically digested pig farm wastewater. The installation was designed to have 3 operation modes, a, b and c, that is, in Mode a, the aeration/non-aeration ratio 1.5 h:0.5 h for the first stage reactor and 2 h:1 h for the second stage reactor, and the total aeration time 9.5 h; in Model b, 1 h:1 h and 1.5 h:0.5 h, and 9.5 h, and in Model c, 1 h:1 h and 2 h:1 h, and 8.0 h, to investigate effect of aeration/non-aeration ratio on treatment of wastewater and simultaneous nitrification and denitrification of nitrogen. Results show that when the operation had the temperature controlled in the range of 24-27 °C,  $\rho(\text{DO})$  at 2.5-3.0 mg·L<sup>-1</sup> during the aeration period,  $\rho(\text{COD})$  and  $\rho(\text{NH}_3\text{-N})$  at 700-800 and 90-100 mg·L<sup>-1</sup>, respectively in the influent, Model a was the highest in efficiency with TN and NH<sub>3</sub>-N removal rate being 58.5% and 68.2%, respectively, indicating that the combination of high aeration/non-aeration ratio with low aeration/non-aeration is more conducive to removal of pollutants in anaerobically digested pig farm wastewater.

**Key words:** two-stage SBBR; digested piggy wastewater; aeration/non-aeration ratio; synchronous nitrification and denitrification

随着集约化养殖方式的逐渐推广,猪场废水因氮、磷含量高,排放量大,已成为迫切需要解决的环境污染问题<sup>[1-4]</sup>。厌氧处理技术因其成本低、抗负荷能力强且能够产生沼气而被广泛应用,但处理后的厌氧消化液污染物浓度仍较高,需要进一步处理后才可达标排放<sup>[5-7]</sup>。好氧处理模式是厌氧消化液后处理的主要途径之一,其中序批式生物膜反应器(SBBR)是在序列间歇式活性污泥法(SBR)基础上发展起来的一种新工艺,它既保留了 SBR 厌氧/好氧交替运行、分别控制的优点,又具有生物膜法可在单一反应器内实现硝化和反硝化的特性<sup>[8-9]</sup>,且

工艺简单,基建和运行费用低,因此在中小型养殖场推广应用该工艺将会产生良好的环境和社会效益。

猪场废水厌氧消化液 NH<sub>3</sub>-N 负荷高,底物降解的难易程度相差较大,采用两级 SBBR 可降低高 COD 浓度废水对系统内硝化菌的抑制作用,并且培养出能进一步降解难降解有机物的异养菌<sup>[10-11]</sup>。

收稿日期: 2012-10-19

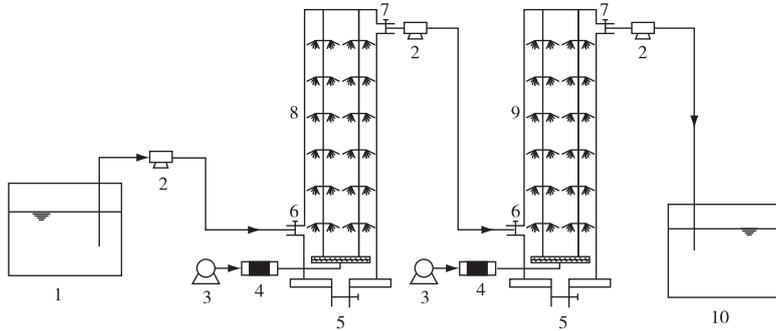
基金项目: 环保公益性行业科研专项(201109024); 北京市科技计划(D101105046210004)

通过分析单周期内各级 SBBR 反应器中的氮形态变化,探讨不同运行模式对猪场废水厌氧消化液的脱氮效果,同时分析不同氧气供给模式下 SBBR 同步硝化反硝化的机理,以期为该工艺的推广应用提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验装置

试验所用装置主体为 2 个单层有机玻璃柱,如图 1 所示。



1—原水池; 2—蠕动泵; 3—气泵; 4—空气流量计; 5—排泥口; 6—进水口; 7—出水口; 8—序批式生物膜反应器(SBBR)1; 9—SBBR2; 10—出水池。

图 1 试验装置示意

Fig. 1 Schematic diagrams of experimental installation

每个反应器的有效容积为 35 L,高 1.0 m,直径 0.24 m,每个周期排水量为 30 L。每级反应器均悬挂 2 根高 50 cm 的组合填料,并在底部设 2 个微孔曝气头,通过微电脑定时自动开关控制曝气时间。两级 SBBR 工艺的单个运行时间为每周期 16 h,每级反应器运行时间为每周期 8 h,包括进水、反应、静置和出水 4 个过程。

### 1.2 试验材料

原水取自北京某种猪养殖场污水处理二次发酵罐的消化液,液体浑浊并有异臭味,有机物、TN 和  $\text{NH}_3\text{-N}$  含量范围分别为 578.80 ~ 1 390.42、457.91 ~ 613.70 和 395.32 ~ 598.00  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,pH 值为 6.53 ~ 7.36。将消化液稀释至  $\rho(\text{NH}_3\text{-N}) = 90 \sim 100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  作为试验用水。

试验采用人工接种挂膜,接种污泥取自北京某污水处理厂。悬挂填料为组合填料的双圈结构,外圈是均匀分布的纤维束,内圈是雪花状塑料枝条,既能挂膜,又能有效切割气泡,以提高氧的转移速率和利用率。纤维束单元直径 100 mm,长 160 mm,束间距 80 mm,相对体积质量为 1.02,单丝抗拉强度为 6.8 ~ 7.1 g,伸长率为 4%,耐酸碱性强。

污泥驯化和培养过程:先在反应器内加入填料,再投入 250 g 含水率  $w$  为 65% 的活性污泥,同时加入  $\rho(\text{COD})$  和  $\rho(\text{NH}_3\text{-N})$  分别为 300 和 75  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  的稀释厌氧消化液,闷曝 24 h,并将  $\rho(\text{DO})$  控制在 2  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  左右,以便生物膜附着。将上清液排出后逐步提高进水负荷至  $\rho(\text{COD})$  和  $\rho(\text{NH}_3\text{-N})$  分

别为 600 和 100  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。当消化液稀释倍数较高时向进水中补加葡萄糖,以保证微生物所需碳源。每天定时取样测定进、出水 COD 及  $\text{NH}_3\text{-N}$  浓度,2 周后其去除率分别达 80% 和 60%。同时通过光学显微镜观察填料表面生物相,发现生物膜中有大量的丝状菌、钟虫、线虫及轮虫等微型生物。从 COD 的去除情况及生物膜生长状况来看,反应器挂膜成功。

### 1.3 测定方法

COD 含量采用 HATO CTL-12 化学需氧量速测仪(承德华通环保仪器有限公司生产)测定; $\text{NH}_3\text{-N}$  含量采用纳氏试剂分光光度法测定;TN 含量采用碱性过硫酸钾消解-紫外分光光度法测定; $\text{NO}_3^- \text{-N}$  含量采用酚二磺酸分光光度法测定; $\text{NO}_2^- \text{-N}$  含量采用 N-1-萘基-乙二胺比色法测定;DO 含量采用 DO200 便携式溶解氧仪(北京艾诺威公司生产)测定;pH 值采用 METTLER TOLEDO pH 计(上海梅特勒-托利多仪器有限公司生产)测定;温度采用电子温度计测定。

### 1.4 试验设计

每级反应器均采用间歇式进、出水方式,每天换水 3 次,每次 30 L,水温控制为 24 ~ 27  $^{\circ}\text{C}$ ,好氧阶段  $\rho(\text{DO})$  控制在 2.5 ~ 3.0  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。共设置 3 个运行模式<sup>[12]</sup>:模式 a,曝停比 1.5 h : 0.5 h (SBBR1)—2 h : 1 h (SBBR2),总曝气时间 9.5 h;模式 b,曝停比 1 h : 1 h—1.5 h : 0.5 h,总曝气时间 9.5 h;模式 c,曝停比 1 h : 1 h—2 h : 1 h,总曝气时

间 8.0 h(图 2)。

试验分 2 个阶段:第 1 阶段,3 个反应器采用不同的供氧策略,保持相同的运行参数稳定运行 1 周,对接种污泥中的微生物进行增殖和驯化,每天监测进、出水中 TN、NH<sub>3</sub>-N 和 COD 浓度;第 2 阶段,当各模式反应器运行稳定后,选取其中 1 个污水处理周期,取样测定水体各形态氮含量,每个样品重复测定 3 次,分析其周期性变化情况,以研究不同运行模式对反应器实现同步硝化反硝化及脱氮效率的影响。

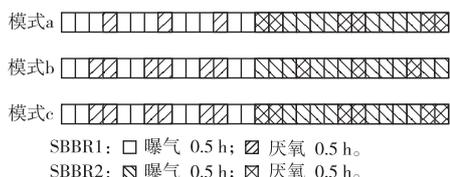


图 2 各反应器单周期内曝气时间分布

Fig. 2 Temporal distribution of aeration in a single operation cycle of the reactors

## 2 结果与分析

### 2.1 不同运行模式下总氮和氨氮去除效果比较

在两级 SBBR 反应系统中,SBBR1 可有效降低废水中 COD 浓度,从而减少 SBBR2 中高浓度有机物对硝化反应的抑制作用,同时可提高废水中难降解物质的去除效果。为分析不同曝停比模式下两级串联 SBBR 反应系统中各级反应器对污染物的去除情况,分别对各模式下 SBBR1 和 SBBR2 反应器中 TN 和 NH<sub>3</sub>-N 的去除率进行比较,结果如表 1 所示。

表 1 单周期内各级 SBBR 反应器对总氮和氨氮的去除率

Table 1 TN and NH<sub>3</sub>-N removal rates of the reactors of the SBBR installation in a single operation cycle %

模式	总去除率		SBBR1		SBBR2	
	TN	NH <sub>3</sub> -N	TN	NH <sub>3</sub> -N	TN	NH <sub>3</sub> -N
a	58.5	68.2	34.8	39.0	33.0	33.5
b	47.3	61.2	28.0	35.8	20.0	19.3
c	45.8	46.2	27.7	28.8	21.0	22.5

模式 a、b 和 c 曝停比分别为 1.5 h:0.5 h—2 h:1 h、1 h:1 h—1.5 h:0.5 h 和 1 h:1 h—2 h:1 h,总曝气时间分别为 9.5、9.5 和 8.0 h。

由表 1 可见,系统对 TN 和 NH<sub>3</sub>-N 的总去除率由高到低依次为模式 a、b 和 c。各组 SBBR1 反应器中,模式 a 对 NH<sub>3</sub>-N 的去除率最高,达 39.0%。由于 SBBR1 反应器对废水中易降解有机物和 NH<sub>3</sub>-N 的去除,进入 SBBR2 反应器的废水 C/N 比值为

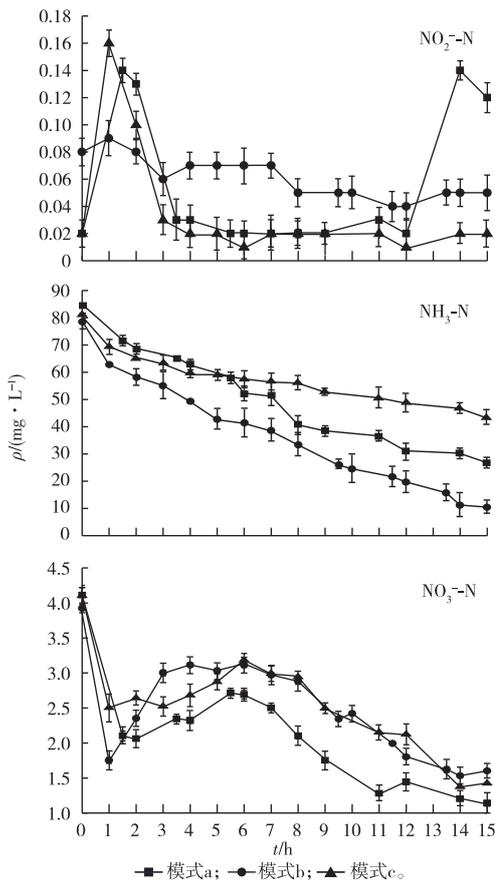
3.21~4.09,此 C/N 比值范围不利于 NH<sub>3</sub>-N 的去除<sup>[13]</sup>,最终导致各组 SBBR2 反应器对 NH<sub>3</sub>-N 的去除率均有所降低,但模式 a 仍保持较高的 NH<sub>3</sub>-N 去除率,达 33.5%。模式 a 对 NH<sub>3</sub>-N 的去除率始终较高,主要是因为该模式 SBBR1 反应器中较长的曝气时间和 SBBR2 反应器中较低的曝停比均有利于废水中氮的去除,这与朱春兰等<sup>[14]</sup>和方芳等<sup>[15]</sup>的研究结果一致。在 SBBR1 反应器中,模式 a 与 c 的 TN 去除率变化情况与 NH<sub>3</sub>-N 大致相同,而模式 b 的 TN 去除率与 NH<sub>3</sub>-N 去除率相差较大,这是因为该阶段出现大量的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 积累。SBBR2 反应器中模式 a 脱氮效果最好,这是因为频繁的好氧/厌氧交替可有效降低 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 积累,从而提高脱氮效率。模式 a 的废水处理效果优于其他 2 种模式,这说明增加 SBBR1 反应器中的好氧时间有利于 SBBR2 反应器中氮的去除。

### 2.2 单周期内各形态氮浓度变化

为进一步分析不同曝停比模式下两级串联 SBBR 反应系统内部的脱氮过程,在各模式运行稳定期,于进水、曝气和厌氧结束时取样测定各形态氮浓度,各模式单周期内的 NH<sub>3</sub>-N、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 和 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 浓度变化见图 3。由图 3 可见,模式 b 在 SBBR1 反应器中因溶解氧充足,硝化反应较强,NH<sub>3</sub>-N 浓度持续降低,NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 浓度变化曲线在反应 1.0 h 时出现低值,随后含量呈增加趋势,在 2.0~8.0 h 时  $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$  平均为 2.92 mg·L<sup>-1</sup>,这说明高曝停比容易导致 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 富集;在 SBBR2 反应器中,随着进水理化性质的改变以及反应器曝气时间的减少,NH<sub>3</sub>-N 浓度下降趋势变缓,而 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 含量明显下降,其去除率为 44.5%,这是系统内发生反硝化作用的结果。整个运行周期内  $\rho(\text{NO}_2^- \text{-N})$  平均为 0.07 mg·L<sup>-1</sup>。

模式 a 和 b 总曝气时间相同,均为 9.5 h,因此将这两个模式进行对比研究,主要考察不同曝停比对废水处理效果的影响。模式 a 的 SBBR1 反应器中 NH<sub>3</sub>-N 去除率高于模式 b,这是因为硝化细菌生长于生物膜表面的好氧区内,较长的曝气时间有利于 SBBR1 反应器中 NH<sub>3</sub>-N 的去除,而在 SBBR2 反应器中模式 b 曝气时间虽大于模式 a,但 NH<sub>3</sub>-N 去除率却低于模式 a,分析原因有二,其一是 SBBR2 反应前段缺少厌氧段设计使得反应过程中碳源储备不足,通过比较模式 a 和 c 的 SBBR2 反应器去除效果也可以得出这个结论;其二是 SBBR1 反应过程中曝气时间较短,通过比较 SBBR2 反应器曝停比均为

2:1的模式a和c,发现模式a的TN和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率明显高于模式c,这也表明在整个反应过程中,适当增加1级反应的曝气时间可提高2级反应的处理效果。模式a的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 浓度变化曲线与模式b相似,在反应0~1.5h时下降,之后表现为增加趋势,在1.5~8.0h时 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 平均为 $2.37 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ;但废水进入SBBR2反应器后,模式a表现出更强的反硝化能力, $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 去除率为46.0%。可见,高频率的交替好氧/厌氧有利于系统中硝化反硝化的进行,模式a整个运行周期内 $\rho(\text{NO}_2^- \text{-N})$ 平均为 $0.06 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,较少的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 和 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 残留使模式a的TN及 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除效果最好。



模式a、b和c曝停比分别为1.5h:0.5h—2h:1h、1h:1h—1.5h:0.5h和1h:1h—2h:1h,总曝气时间分别为9.5、9.5和8.0h。0h为1级反应器进水点;1—7h为1级反应器反应时间;8h为2级反应器进水点;9—15h为2级反应器反应时间。

图3 各模式单周期内的 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 浓度变化曲线

Fig. 3 Variation curves of  $\text{NO}_2^- \text{-N}$ ,  $\text{NH}_3\text{-N}$  and  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  concentrations in a single operation cycle relative to operation mode

SBBR1反应器的曝停比与模式b相同,SBBR2反应器的曝停比与模式a相同。模式c的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 总去除率最低,仅为46.2%,主要是因为总曝气时间较短。SBBR1反应器中,反应2~8h时 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 平均为 $2.83 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,而整个运行过程中 $\rho(\text{NO}_2^- \text{-N})$ 仅为 $0.03 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,这可能是因为在SBBR1反应器内硝化作用较弱,多余的溶解氧会将 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 硝化为 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 。废水进入SBBR2反应器后,模式c的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 浓度呈明显降低趋势,去除率较高,达51.7%,与模式a的SBBR2反应结果相类似。这是因为两种模式在SBBR2反应前均设置了1h的厌氧时间,这为生物膜吸附碳源营造了有利环境,从而改善了同步硝化反硝化效果。

### 3 讨论

#### 3.1 脱氮机理分析

由图3可知,单周期运行期间,3种模式的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 浓度变化曲线大致相同。反应初始,硝化作用较强,导致溶解氧消耗较多,位于生物膜内部兼性厌氧区的反硝化菌将硝态氮还原为 $\text{N}_2$ 逸出,使 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 曲线出现一个低谷,随后在SBBR1反应器中各模式均出现 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 累积现象,主要是由于有机物的降解导致异养菌对溶解氧的需求变少,硝化菌占优势地位,将 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 进一步氧化为 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 。而进入SBBR2反应器后 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量逐渐降低,且反应过程中废水 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 浓度始终较低,这种现象表明反应器内发生了以 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 为电子受体的反硝化作用,使系统处于全程硝化反硝化(SND)状态<sup>[16]</sup>。

猪场废水厌氧消化液有机负荷高,系统对有机物的去除主要集中在SBBR1反应的前半程,此时反应器内的有机物丰富且多为易降解物质,为同步硝化反硝化提供了物质基础,所以在反应1h内表现出较高的SND能力。随着反应的继续进行,废水中剩余的有机物大多为易溶难降解物质,反硝化作用因缺乏碳源而变弱, $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 开始富集,因此在SBBR1反应的后半程碳源成为制约SND的瓶颈。SBBR2反应器内的微生物经过驯化可以有效去除难降解有机物,当废水进入SBBR2反应器内,系统可以通过好氧和厌氧阶段吸附大量的有机质,而此时异氧的反硝化菌能优先利用废水中的有机碳源,使反硝化作用得以顺利进行。

#### 3.2 不同运行模式对反应器性能的影响

3种运行模式均在两级SBBR反应器内成功启动了全程硝化反硝化,并在SBBR1反应前期和SB-

模式c总曝气时间少于模式a和b,仅8.0h,其

BR2 反应后期发生了同步硝化反硝化。由 2.1 节分析可知,各模式反应器内的微生物经过增殖与培养,取得了不同的  $\text{NH}_3\text{-N}$  去除效果,模式 a 去除效果最好,模式 c 最差。不同的曝停比导致各模式反应器中的 SND 水平存在差异,模式 a 在两级反应器中的 SND 能力最强,模式 b 与 c 相差不大。

模式 a 的 SBBR1 反应为交替曝气 1.5 h—厌氧 0.5 h, SBBR2 反应为交替厌氧 1 h—曝气 2 h,前半程较长的曝气时间(5.5 h)使  $\text{NH}_3\text{-N}$  能较好地被转化和去除,至 SBBR1 反应结束时  $\text{NH}_3\text{-N}$  和 TN 去除率分别达 39.0% 和 34.8%,说明在生物膜的好氧区硝化菌可将  $\text{NO}_2^- \text{-N}$  氧化为  $\text{NO}_3^- \text{-N}$ <sup>[14]</sup>; SBBR2 反应器中反硝化现象明显,这是因为低曝停比有利于系统储存反硝化碳源。此时反硝化碳源主要由两个部分构成:一部分为外碳源,是好氧段吸附的有机质;另一部分为内碳源,是厌氧段某些兼性菌吸收的易降解有机物被转化为胞内存储物质,这样可以有效弥补 SBBR2 反应进水碳源不足的缺陷,提高 SND 效率<sup>[16]</sup>,故模式 a 脱氮效率最高。

模式 b 总曝气时间与模式 a 相同,但 SBBR1 反应器曝气 1 h—厌氧 1 h 的交替曝气模式导致其曝气时间少于模式 a,故 SBBR1 反应的  $\text{NH}_3\text{-N}$  去除率低于模式 a,为 35.8%。而 SBBR2 反应中,交替曝气 1.5 h—厌氧 0.5 h 使反应器内溶解氧含量与模式 a 相比偏高,反硝化作用受到抑制,致使脱氮效果稍差。由此可以得出,在 SBBR2 反应器中较长的曝气时间内低曝停比有利于  $\text{NH}_3\text{-N}$  的去除。总曝气时间为 8.0 h 的模式 c 脱氮效果最差,虽然 SBBR2 反应器采用与模式 a 相同的曝停比,但因其总供氧时间不足,导致脱氮效果不理想。通过分析模式 a 与 c 可知,前半周期的好氧时间长短将直接影响系统的脱氮效果,若好氧时间长,则脱氮效果好。

## 4 结论

(1) 模式 a 的 TN 和  $\text{NH}_3\text{-N}$  去除效果优于模式 b 和 c,说明在两级串联 SBBR 反应器中高曝停比—低曝停比的串联方式有利于猪场废水厌氧消化液中 TN 和  $\text{NH}_3\text{-N}$  的去除。具体模式为: SBBR1 反应器采取曝气 1.5 h—厌氧 0.5 h 的交替曝气方式, SBBR2 反应器采取厌氧 1 h—曝气 2 h 的交替曝气方式,总曝气时间为 9.5 h。

(2) 通过调节每级曝气时间可将反应控制在同步硝化反硝化阶段。适当延长 SBBR1 反应中的曝气时间和在 SBBR2 反应前设置 1 h 厌氧阶段有利于生物膜对碳源的吸附,可改善同步硝化反硝化的

效果。

(3) 两级 SBBR 可有效缓解有机负荷对硝化过程的冲击,在进水 COD 浓度较高的情况下, SBBR2 反应器仍具有稳定的硝化速率。在 SBBR2 反应器中除具有硝化菌外,还能培养出适合降解难降解有机物的异养菌,避免反应后期出现因有机碳源不足导致反硝化反应无法进行的情况。因此,在处理水质较复杂,尤其是底物降解难易程度相差较大的猪场废水厌氧消化液时,两级 SBBR 工艺具有广阔的应用前景。

## 参考文献:

- [1] 赵素芬,汪开英.集约化养猪场  $\text{NH}_3$  的排放及控制研究进展[J]. 农机化研究,2004(1):88-90.
- [2] 徐谦,余桂珍,向俐云.北京市规模化畜禽养殖场污染调查与防治对策研究[J]. 农村生态环境,2002,18(2):24-28.
- [3] 张颖,邓良伟.猪场废水厌氧消化过程中的除磷效果[J]. 生态与农村环境学报,2012,28(1):93-97.
- [4] 田宁宁,王凯军,李宝林,等.畜禽养殖场粪污的治理技术[J]. 中国给水排水,2002,18(2):71-73.
- [5] 孟海玲,董红敏,朱志平,等.运行条件对膜生物反应器处理猪场厌氧消化液效果的影响[J]. 农业工程学报,2008,24(9):179-183.
- [6] 王欢,裴伟征,李旭东,等.低碳氮比猪场废水短程硝化反硝化-厌氧氨氧化脱氮[J]. 环境科学,2009,30(3):815-820.
- [7] 曹玉成,张妙仙,单胜道. MBBR 处理猪场废水厌氧消化液的研究[J]. 环境工程学报,2008,2(5):591-594.
- [8] 段焱,邓仕槐,朱春兰,等.悬浮填料 SBR 处理畜禽废水效果研究[J]. 安全与环境工程,2010,17(4):9-12.
- [9] 马文静. SBBR 工艺及影响因素探讨[J]. 科技情报开发与经济,2010,20(10):148-149.
- [10] 龙北生,刘红,肖国拾,等.两级 SBR 工艺去除磷、氮及有机物效能分析[J]. 环境科学,2009,30(9):2609-2614.
- [11] 元新艳,沈恒根,孙磊,等.两级序批式膜生物反应器处理生活污水的研究[J]. 中国给水排水,2010,26(15):95-98.
- [12] 王荣娟,杨朝晖,曾光明,等.不同供氧策略对 SBBR 反应器实现短程硝化厌氧氨氧化的影响分析[J]. 环境科学学报,2007,27(11):1809-1817.
- [13] 吴长航,金云霄,冯传平,等. SBBR 处理不同 C/N 值城市污水的脱氮除磷性能[J]. 中国给水排水,2010,26(23):105-108.
- [14] 朱春兰,邓仕槐,肖鸿,等.新型 SBBR 处理畜禽废水脱氮实验研究[J]. 环境工程学报,2010,4(7):1525-1528.
- [15] 方芳,杨国红,郭劲松,等. DO 和曝停比对单级自养脱氮工艺影响试验研究[J]. 环境科学,2007,28(9):1976-1980.
- [16] 蒋山泉,郑泽根,肖海文,等.序批式生物膜(SBBR)同步硝化反硝化特性研究[J]. 安全与环境学报,2008,8(4):68-72.

作者简介:杨静超(1987—),女,满族,北京市人,工程师,硕士,主要研究方向为有机废水生物处理。E-mail: jingchaoyang2011@163.com