

# HRT 对缺氧-动态膜生物反应器 处理海水养殖废水的影响

林冰, 卢芳芳, 洪俊明

(华侨大学 化工学院, 福建 厦门 361021)

**摘要:** 采用缺氧-动态膜生物反应器处理海水养殖废水,研究不同水力停留时间(HRT)下,其化学需氧量(COD<sub>Mn</sub>)降解和反硝化过程.结果表明:当 HRT 为 4 h,总氮(TN)的去除率为 72%,COD<sub>Mn</sub>的去除率为 71%;当延长 HRT 到 8 h,TN 和 COD<sub>Mn</sub>去除率略有增加;当 HRT 大于 10 h,COD<sub>Mn</sub>的去除率保持稳定在 87%;随着 HRT 的延长,减缓了膜污染的进程,当 HRT 达到 10 h 以上,膜反冲洗周期稳定在 9 d.当 HRT 大于 10 h,所处理的出水水质能够达到国家标准 SC/T 9103—2007《海水养殖水排放要求》的二级排放标准.

**关键词:** 海水养殖废水; 缺氧-动态膜生物反应器; 水力停留时间; 膜污染

**中图分类号:** X 703      **文献标志码:** A

近年来,我国海水养殖业向集约化、高密度、高产出发展,与此同时,海水养殖带来的环境污染日益严重,饲料的投入和残饵的生成致使水中氮、磷含量增加,水域环境的恶化,赤潮频发,生态平衡和生物多样性也遭到破坏<sup>[1-2]</sup>. 因此,去除水体中过量的含氮污染物,对于改善水质、提高成活率和生长率、保护环境具有重要意义.2007 年,中国颁布了国家标准 SC/T 9103—2007《海水养殖水排放要求》,规范了海水养殖废水的排放.动态膜生物反应器是传统膜生物反应器和动态膜技术相结合的污水处理新工艺,采用价格低廉的大孔径滤布材料代替膜生物反应器的微滤膜(或超滤膜)制作膜组件,利用微生物及其代谢产物在膜材料表面形成动态膜,组成动态膜生物反应器(DMBR),在保留 MBR 工艺优点的同时,可以大幅度降低膜组件造价,并具有出水水质好、通量大、污染控制容易和清洗简易等优点<sup>[3-5]</sup>.水力停留时间(HRT)是污水生物处理工艺的一个重要参数<sup>[6-7]</sup>.HRT 过小,污水中污泥停留时间过短,反应时间不够;较长的 HRT,引起反应器的容积也就越大,建造成本也就越高.本文研究不同 HRT 下,对缺氧动态膜生物反应器(anoxic-dynamic membrane bioreactor, A-DMBR)处理海水养殖废水中有机物降解、反硝化过程和动态膜生物反应器运行周期的影响.

## 1 实验方法

### 1.1 试验装置及方法

缺氧动态膜生物反应器试验装置,如图 1 所示.污水从原水桶由蠕动泵提升进入动态膜生物反应器,动态膜生物反应器由生物反应器和浸没式动态膜组件组成.其中生物反应器的有效容积为 17.5 L,反应器中装有 1 个膜组件,动态膜组件是由 PVC 板、滤布自制

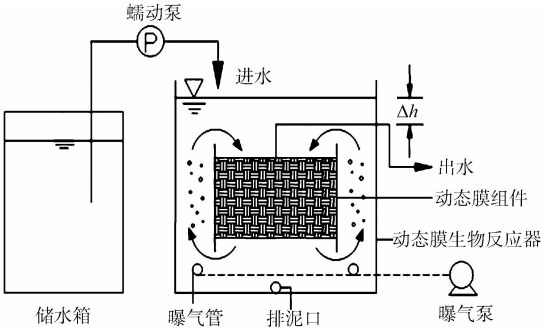


图 1 动态膜生物反应器工艺流程图

Fig. 1 Diagram of submerged dynamic membrane bioreactor

而成,尺寸为 0.17 m×0.25 m,组件内为 PP 填料支撑层,所用膜片为孔径 37 μm 的涤纶滤布,有效膜面积为 0.085 m<sup>2</sup>.

为了降低膜污染反应器缺氧运行,缺氧 10 h,曝气冲刷膜表面 2 h. 缺氧时,控制反应器内氧化还原电位维持在一300 mV 左右;曝气冲刷时,控制反应器内溶解氧维持在 1.0 mg·L<sup>-1</sup>左右. 反应器采用重力流出水,当膜过滤压差高于 4.6 kPa 时用清水反冲洗膜组件. 试验过程中没有进行排泥.

### 1.2 原水水质分析方法

根据福建省厦门市某海水养殖区水质情况,配制海水养殖废水<sup>[8]</sup>,其组成主要包括海水结晶盐、葡萄糖、淀粉、磷酸二氢钾、硝酸钾等,盐度水平在 35 g·L<sup>-1</sup>. 进水水质:COD<sub>Mn</sub>为 87.0~110.9 mg·L<sup>-1</sup>;NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 为 11.00~12.69 mg·L<sup>-1</sup>;TN 为 11.00~12.69 mg·L<sup>-1</sup>;TP 为 2.37~3.28 mg·L<sup>-1</sup>;pH 值为 6.5~7.5.

试验过程中,化学需氧量(COD<sub>Mn</sub>)测定采用碱性高锰酸钾法,氨氮的测定采用次溴酸盐氧化法,硝酸盐氮的测定采用紫外光度法,总氮的测定采用过硫酸钾氧化分光光度法,亚硝酸盐氮的测定采用萘乙二胺分光光度法.

## 2 结果与讨论

### 2.1 HRT 对 COD<sub>Mn</sub> 去除效果的影响

在不同 HRT 下,A-DMBR 进出水 COD<sub>Mn</sub>的质量浓度(ρ<sub>COD<sub>Mn</sub></sub>)和去除率(η<sub>COD<sub>Mn</sub></sub>)的变化情况,如图 2 所示.从图 2 可以看出:随着 HRT 的延长,A-DMBR 对 COD<sub>Mn</sub>平均去除率有一定的增加;当 HRT 从 4 h 延长到 8 h,去除率从 71%增加到 87%,但当 HRT 大于 8 h,A-DMBR 对 COD<sub>Mn</sub>去除趋于稳定,达到 87%.这是由于增加 HRT 延长了有机物降解反应时间,进而提高 COD<sub>Mn</sub>去除率,而但当 HRT 大于 8 h,反应器中耐盐微生物可降解的有机物反应完成,剩余的 COD<sub>Mn</sub>为微生物难以降解的 COD<sub>Mn</sub>,出水的 COD<sub>Mn</sub>去除率趋于稳定.当 HRT 超过 6 h,A-DMBR 出水中的 COD<sub>Mn</sub>低于 20 mg·L<sup>-1</sup>,达到了 SC/T 9103-2007《海水养殖水排放要求》中的二级排放标准.

### 2.2 HRT 对 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 去除效果的影响

在不同 HRT 下,A-DMBR 进出水 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 的质量浓度(ρ<sub>NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N</sub>)和去除率(η<sub>NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N</sub>)变化情况,如图 3 所示.从图 3 可以看出:当 HRT 为 4 h 时,NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 的去除率为 77%;延长 HRT 到 8 h 时,NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 的去除率略有增加,达到 82%;当 HRT 大于 10 h,NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 去除率的增加趋势逐渐减小,并稳定在 88%.这是由于反硝化过程的反应较快,当 HRT 为 4~8 h,在较短的 HRT 下系统对 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 可达到较高的去除率,继续延长 HRT 对 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 去除率的提高不明显.当 HRT 达到 10 h 时,NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 的去除率增加到 88%,再继续提高 HRT,NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 的去除率不再提高.此时,由于系统中的可生物利用的碳源基本消耗完全,反硝化去除率也不再提高<sup>[9]</sup>.当 HRT 超过 10 h,A-DMBR 出水中的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 低于 1 mg·L<sup>-1</sup>,可达到 SC/T9103-2007《海水养殖水排放要求》中的二级排放标准.

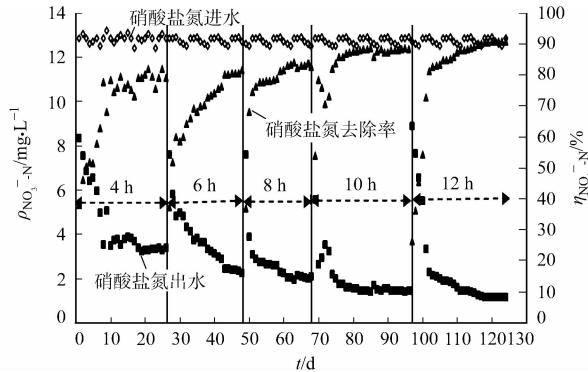
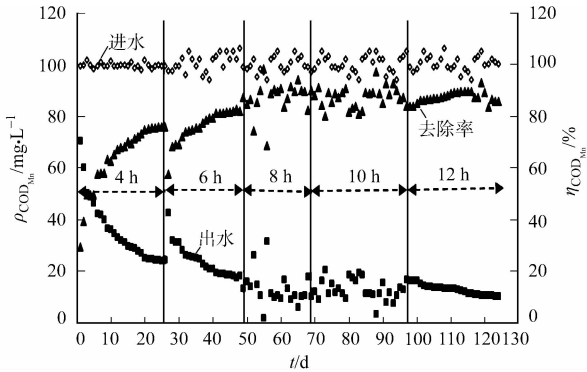


图 2 进出水 COD<sub>Mn</sub>质量浓度和去除率随时间的变化

图 3 进出水 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 质量浓度和去除率随时间的变化

Fig. 2 Variation of COD<sub>Mn</sub> influent/effluent concentration and removal rate

Fig. 3 Variation of NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N influent/effluent concentration and removal rate

2.3 HRT 对 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 和 NH<sub>3</sub>-N 浓度的影响

不同 HRT 下,A-DMBR 出水 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 和 NH<sub>3</sub>-N 的质量浓度( $\rho_{\text{NO}_2^--\text{N}}$ ,  $\rho_{\text{NH}_3-\text{N}}$ )变化情况,如图 4 所示.从图 4 可以看出:在改变 HRT 初期的驯化过程中,DMBR 出水出现一定浓度的氨氮和亚硝氮.这是由于在 HRT 延长的驯化过程中,系统的微生物组成出现了一定的变化,部分微生物因不适应新的环境而发生死亡裂解,释放出有机氮,有机氮氨化成 NH<sub>3</sub>-N,引起出水中含有 NH<sub>3</sub>-N.另外,硝酸盐在硝酸盐还原酶的作用下被还原成亚硝酸盐后,由于亚硝酸盐还原酶受到抑制,引起出水中含有亚硝氮<sup>[10-11]</sup>.当系统运行稳定后,微生物相趋于稳定,氨化现象消失,亚硝酸盐还原菌产生的亚硝酸盐还原酶适应了环境变化,A-DMBR 出水中基本不存在亚硝酸盐、NH<sub>3</sub>-N.

2.4 HRT 对 TN 去除效果的影响

不同 HRT 下,A-DMBR 进出水 TN 的质量浓度( $\rho_{\text{TN}}$ )和去除率( $\eta_{\text{TN}}$ )变化情况,如图 5 所示.从图 5 可以看出:随着 HRT 的延长,A-DMBR 的 TN 平均去除率有一定的增加,从 4 h 延长到 12 h,去除率从 72%增加到 79%.改变 HRT 后,经过 15 d 左右的驯化过程,A-DMBR 工艺运行稳定后,反应器内无氨氮、亚硝酸盐积累,反硝化过程适应了环境变化,TN 去除率的变化趋势取决于 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 的反硝化过程.因此,随着 HRT 的增加,TN 去除率略有提高.

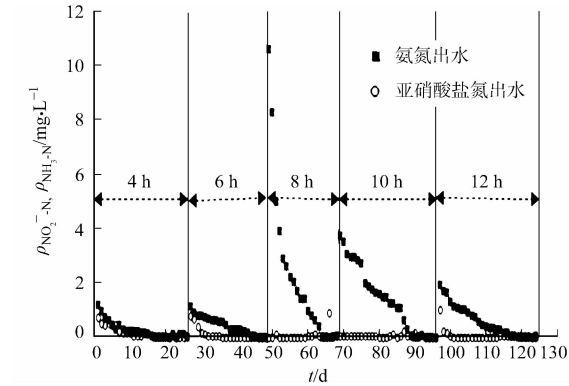


图 4 出水 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 和 NH<sub>3</sub>-N 质量浓度随时间的变化  
Fig. 4 Variation of NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N and NH<sub>3</sub>-N effluent concentrations

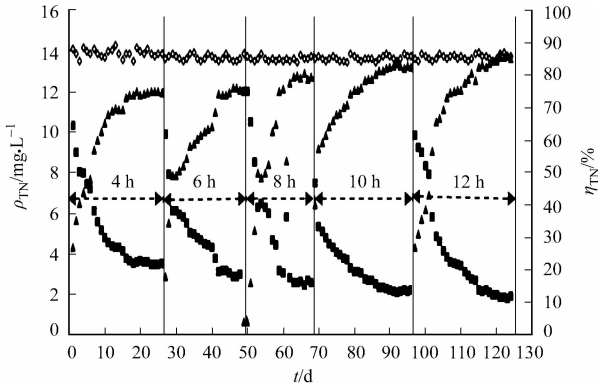


图 5 进出水 TN 质量浓度和去除率随时间的变化  
Fig. 5 Variation of TN influent/effluent concentration and removal rate

2.5 HRT 对膜污染的影响

不同 HRT 下,A-DMBR 反冲洗周期( $t$ )的变化情况,如图 6 所示.从图 6 可以看出:随着 HRT 从 4 h 延长到 10 h,动态膜的反冲洗周期从 6 d 延长到 9.3 d;当 HRT 从 10 h 延长到 12 h,动态膜的反冲洗周期稳定在 9 d.随着 HRT 的增加,反冲洗周期开始不断延长,这是因为随着 HRT 的增加,膜通量负荷降低,降低系统的水力负荷,从而减缓膜污染的进程,延长膜的运行周期. HRT 达到 10 h 后,膜反冲洗周期稳定,这是由于较长的 HRT 保证了系统营养物质反应的完全,由于活性污泥内的内源呼吸,部分污泥解体,胞外聚合物聚集造成膜污染<sup>[12-13]</sup>.

此外,A-DMBR 工艺为了维持缺氧状态采用间歇曝气,曝气时间较短对组件表面的冲刷作用主要去除污泥絮体,不能去除动态膜表面的胞外聚合物,反冲洗周期趋于稳定.因此,水力停留时间控制在 10 h,既能得到较高的 TN,COD<sub>Mn</sub> 去除率,也能减缓膜污染进程.

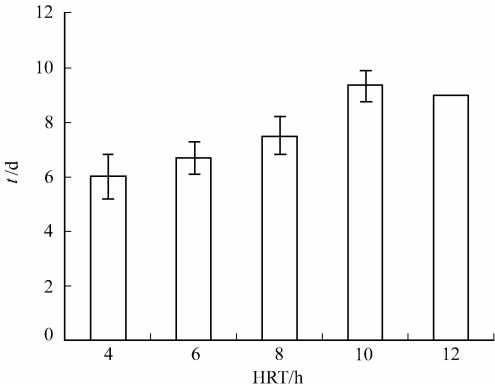


图 6 反冲洗周期的变化情况

Fig. 6 Variation of the backwashing cycle

3 结论

1) A-DMBR 工艺对海水养殖废水的 COD<sub>Mn</sub> 和反硝化过程均具有较高的去除率.当 HRT 为 4 h 时,TN 的去除率为 72%,COD<sub>Mn</sub> 的去除率为 71%;当延长 HRT 到 8 h 时,TN 和 COD<sub>Mn</sub> 去除率略有增

加;当 HRT 大于 10 h 后,COD<sub>Mn</sub> 的去除率保持稳定.

2) HRT 的延长能减缓了膜污染的进程当 HRT 达到 10 h 以上,膜反冲洗周期稳定在 9 d;当 HRT 超过 10 h,A-DMBR 出水指标达到 SC/T 9103—2007《海水养殖废水排放要求》中的二级排放标准.说明,A-DMBR 是一种有效的处理含盐养殖废水工艺.

参考文献:

[1] 宋志文,王玮,赵丙. 海水养殖废水的生物处理技术研究进展[J]. 青岛理工大学学报,2006,27(1):13-17.

[2] ZHENG Wei,SHI Hong-hua,CHEN Shang,et al. Benefit and cost analysis of mariculture based on ecosystem services[J]. Ecological Economics,2009,68(6):1626-1632.

[3] 黄霞,曹斌,文湘华,等. 膜-生物反应器在我国的研究与应用新进展[J]. 环境科学学报,2008,28(3):416-432.

[4] 欧阳科,刘俊新. 膜生物反应器与传统活性污泥反应器内生物群落特征[J]. 环境科学,2009,30(2):499-503.

[5] CHU Li-bing,LI Shu-ping. Filtration capability and operational characteristics of dynamic membrane bioreactor for municipal wastewater treatment[J]. Separation and Purification Technology,2006,51(2):173-179.

[6] 彭小明,卢龙,张文龙. 水力停留时间对聚乙烯醇膜生物反应器污水处理特性的影响[J]. 水处理技术,2009,35(7):88-91.

[7] GAO Da-wen,TAO Yu,AN Rui. Digested sewage treatment using membrane-based process at different hydraulic retention times[J]. Desalination,2012,286(1):187-192.

[8] 卢芳芳,洪俊明,尹娟,等. 盐度对 DMBR 处理养殖废水脱氮效能的影响[J]. 华侨大学学报:自然科学版,2012,33(3):300-303.

[9] 熊小京,简海霞,洪育. 厌氧/缺氧/好氧-膜生物反应器组合工艺处理垃圾渗滤液中操作参数对降解特性的影响[J]. 现代化工,2006,26(S2):85-87.

[10] 王淑莹,孙洪伟,杨庆,等. 传统生物脱氮反硝化过程的生化机理及动力学[J]. 应用与环境生物学报,2008,14(5):732-736.

[11] TALLEC G,GARNIER J,BILLEN G,et al. Nitrous oxide emissions from denitrifying activated sludge of urban wastewater treatment plants under an oxia and low oxygenation[J]. Bioresource Technology,2008,99(7):2200-2209.

[12] 张聚成,张劲松,金若非. 基因工程菌厌氧膜生物反应器中膜污染的研究[J]. 污染防治技术,2011,24(8):18-23.

[13] WANG Zhi-wei,WU Zhi-chao,TANG Shu-juan. Extracellular polymeric substances (EPS) properties and their effects on membrane fouling in a submerged membrane bioreactor[J]. Water Research,2009,43(9):2504-2512.

Effect of HRT on the Anoxic-Dynamic Membrane Bioreactor  
for Mariculture Wastewater Treatment

LIN Bing, LU Fang-fang, HONG Jun-ming

(College of Chemical Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

**Abstract:** An anoxic dynamic membrane bioreactor (anoxic-DMBR) was used to treat mariculture wastewater. The chemical oxygen demand chemical oxygen demand (COD<sub>Mn</sub>) degradation and denitrifying process of anoxic-DMBR at different hydraulic retention time (HRT) were studied. The results showed that the removal rate of total nitrogen (TN) and COD<sub>Mn</sub> were 72% and 71% respectively when the HRT was 4 h. The removal rate of TN and COD<sub>Mn</sub> increased slightly with the increasing of HRT to 8 h. When the HRT was greater than 10 h, the removal rate of COD<sub>Mn</sub> kept stable at 87%. An increase of HRT would reduce the phenomena of membrane fouling. When the HRT was greater than 10 h, the backwashing cycle kept stable at 9 d and the effluent quality of A-DMBR reached the second grade discharge standard of Requirement for Water Drainage Standard for Sea Water Mariculture (SC/T9103—2007).

**Keywords:** mariculture wastewater; anoxic-dynamic membrane bioreactor; hydraulic retention time; membrane fouling