

耐高盐微生物处理海水养殖尾水的实验报告

李静^{1*}, 宋硕², 孙庆兴³, 王新华², 魏南生², 李宝山^{1#}, 许聪¹, 郭鹏¹,
孙海悦¹, 王美琪¹

¹山东省海洋资源与环境研究院, 山东 烟台

²北京美斯顿科技开发有限公司, 北京

³山东东方海洋科技股份有限公司, 山东 烟台

Email: #bsleeyt@126.com

收稿日期: 2020年11月29日; 录用日期: 2020年12月22日; 发布日期: 2020年12月30日

摘要

本实验通过将海水养殖尾水微生物处理工艺细分为好氧硝化阶段、厌氧反硝化阶段和去除COD阶段, 并辅以相应的耐高盐微生物, 进行海水养殖尾水处理, 同时试验了耐高盐微生物对常用渔药抑菌净的耐受度。结果表明, 耐高盐微生物均在5天内完成挂膜, 对环境的适应能力较强; 水流速和溶氧含量是限制厌氧反硝化处理效果的主要因素; 各微生物对正常用量的抑菌净的耐受度较强, 用药量增大会导致菌体迅速脱落; 工艺细化后, 尾水中氨氮、亚硝酸氮、硝酸氮、总氮、COD的去除率均达到85%以上。

关键词

海水养殖, 尾水, 处理

Experimental Report on Treatment of Mariculture Tail Water by High Salt Tolerant Microbes

Jing Li^{1*}, Shuo Song², Qingxing Sun³, Xinhua Wang², Nansheng Wei², Baoshan Li^{1#},
Cong Xu¹, Peng Guo¹, Haiyue Sun¹, Meiqi Wang¹

¹Shandong Marine Resource and Environment Research Institute, Yantai Shandong

²Beijing MSTN technology Co., Ltd., Beijing

³Shandong Oriental Ocean Sci-tech Co., Ltd., Yantai Shandong

Email: #bsleeyt@126.com

*第一作者。

#通讯作者。

Abstract

In this experiment, the microbial process of mariculture tail water was divided into aerobic nitrification stage, anaerobic denitrification stage and COD removal stage, and high salt tolerant microbes selected from saline alkali land were added to treat mariculture tail water. Additionally, the tolerance of microbes to common used fishery medicine Yijunjing was test. The results showed that the film-forming of all microbes were completed within 5 days, and the adaptabilities to the environment were strong. The flow rate and dissolved oxygen content were the main factors limiting the effect of anaerobic denitrification treatment. All microbes had strong tolerance to the normal dosage of Yijunjing, but rapid abscission would occur when the dosage was increased. After refining the process, the removal rates of ammonia nitrogen, nitrite nitrogen, nitrate nitrogen, total nitrogen and COD in the tail water were all above 85%.

Keywords

Mariculture, Tail Water, Treatment

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

随着海水工厂化循环水养殖技术的普及, 养殖密度不断提高, 养殖水体中的残饵粪便、含氮污染物、COD 等有害成分急剧增多。传统的养殖尾水处理工艺仅能通过硝化细菌的作用将尾水中氨氮、亚硝酸氮转化为硝酸氮, 不能有效处理硝酸氮和有机氮, 无法满足《海水养殖水排放标准(SC/T9103)》[1]和《渔业水质标准(GB 11607)》[2]的要求, 限制水的循环利用率, 影响了水产养殖的绿色健康可持续发展。

本实验针对我国海水工厂化循环水养殖系统中存在的上述问题, 借鉴并改良了北京美斯顿科技开发有限公司的 MSTN-BioCleaning® 专利技术, 改进了传统的循环水养殖系统尾水处理工艺, 将养殖尾水微生物处理工艺细分为好氧硝化阶段、厌氧反硝化阶段和去除 COD 阶段, 弥补了传统处理工艺无法处理硝酸氮、COD、有机氮的不足。同时添加了筛选出的耐高盐硝化细菌、反硝化细菌、COD 菌和营养盐, 验证了各生物滤池挂膜速度, 为养殖尾水的高效处理提供了技术支持。

2. 材料与方方法

2.1. 实验设计与装置

实验在山东省海洋资源与环境研究院循环水养殖系统中进行。实验装置由养殖池、微滤机、蛋白质分离器、1#好氧硝化 COD 生物滤池、2#好氧硝化生物滤池、3#厌氧反硝化生物滤池、4#好氧 COD 生物滤池、紫外杀菌器、过滤器、增氧曝气 10 部分组成(图 1)。

过滤掉残饵粪便的养殖尾水提升至微生物处理系统(图 2(a))进行处理, 处理后的尾水经紫外杀菌、过滤器、增氧曝气后回流至养殖池。微生物处理系统由四个生物滤池组成, 其内均放有蜂窝状微生物菌巢(图 2(b))。1#生物滤池培养耐高盐硝化细菌和耐高盐 COD 细菌; 2#生物滤池培养耐高盐硝化细菌; 3#生

物滤池培养耐高盐反硝化细菌；4#生物滤池培养耐高盐 COD 细菌。

1#池与 2#池、3#池与 4#池之间底部连通以保证尾水流动，通过计量泵控制 1#池的进水、2#池到 3#池、4#池的出水。

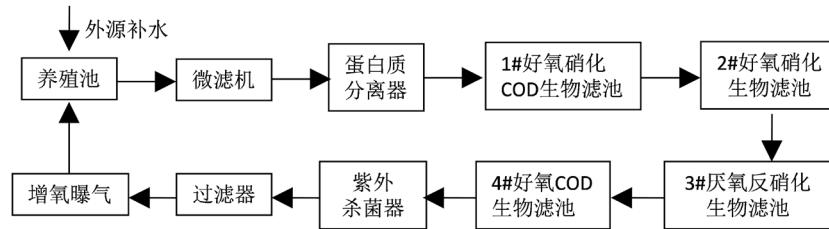


Figure 1. The procedure of experimental device

图 1. 实验装置流程示意图

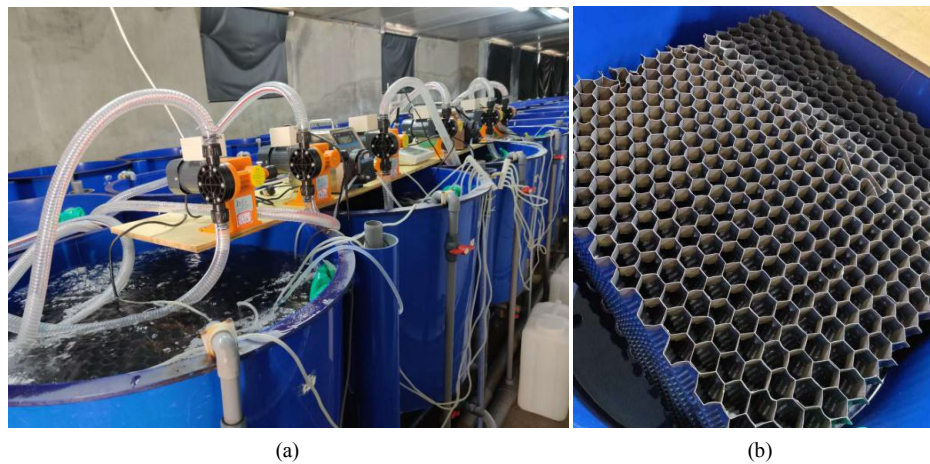


Figure 2. Experimental device (a, left) and honeycombs substrates (b, right)

图 2. 实验装置(a, 左)和蜂窝状菌巢(b, 右)

各生物滤池充水高度及菌巢体积如表 1。

Table 1. Water filling height and substrate colony of each biofilter

表 1. 各生物滤池的充水高度及菌巢体积

项目	1#池	2#池	3#池	4#池	出水池
充水高度(mm)	600	600	600	600	400
有效容积(L)	300	300	300	300	200
菌巢体积(L)	180	160	180	160	-

2.2. 实验流程

实验分为 5 个阶段，分别为挂膜阶段、初期阶段、调整阶段、稳定阶段、耐药阶段。各阶段实验时间、目的、水质条件见表 2。各实验阶段均不主动调整进水 pH 值。

2.2.1. 挂膜阶段

5 月 9 日开始运行生物处理系统，为保证各生物滤池在养殖尾水中快速挂膜，向各生物滤池添加营养盐及耐高盐细菌见表 3。5 月 13 日向各生物滤池内添加耐高盐细菌。

Table 2. Experimental procedure and environmental parameters
表 2. 实验流程及环境参数

时间	目的	温度	溶氧			
			1#池	2#池	3#池	4#池
挂膜阶段 5月9日~5月27日	微生物挂膜; 验证工艺流程	挂膜阶段 25℃~27℃; 验证阶段 19℃~21℃	≤7 mg/L, ≥2 mg/L	≤7 mg/L, ≥2 mg/L	≤0.5 mg/L	≥5 mg/L
初期阶段 5月28日~6月10日	验证出水对鱼影响; 缩短尾水停留时间	验证阶段 20℃~21℃; 缩短阶段 18℃~19℃	≤5.5 mg/L, ≥2 mg/L	≤5 mg/L, ≥2 mg/L	≤0.5 mg/L	≥5 mg/L
调整阶段 6月11日~6月23日	验证调整后的工艺; 确定尾水停留时间	验证调整阶段 20℃~21℃; 确定阶段 17℃~19℃	≤6 mg/L, ≥2 mg/L	≤5 mg/L, ≥2 mg/L	≤0.5 mg/L	≥5 mg/L
稳定阶段 6月24日~7月8日	保证出水水质, 确定反硝 化池的停留时间	1#、2#滤池 21℃~22℃; 3#、4#滤池 23℃~24℃	≤6 mg/L, ≥2 mg/L	≤4 mg/L, ≥2 mg/L	≤0.5 mg/L	≥3 mg/L
耐药阶段 7月9日~7月10日	验证硝化、反硝化、 COD 细菌耐药能力	21℃~22℃	≥2 mg/L	≥2 mg/L	≤0.5 mg/L	≥4 mg/L

Table 3. Nutrients and high salt tolerant bacteria added in each biofilter
表 3. 各生物滤池中添加的营养盐及接种耐高盐菌

生物滤池	物料种类
1#	硫酸铵 42.4 g, 碳酸氢钠 37 g, COD 菌 600 ml, 耐高盐氨氮细菌 1000 ml
2#	硫酸铵 42.4 g, 碳酸氢钠 37 g, 耐高盐氨氮细菌 1000 ml
3#	硝酸钠 91.1 g, 醋酸钠 78 g, 耐高盐反硝化细菌 600 g
4#	醋酸钠 19.5 g, 耐高盐 COD 细菌 600 ml

2.2.2. 初期阶段

5月28日将40尾大菱鲆鱼苗放入微生物处理后的出水桶, 每天投喂三次, 出水桶排出的养殖尾水经过滤后提升至微生物处理系统进水端进行处理, 初始阶段尾水停留时间(HRT)设定为12h。

2.2.3. 调整阶段

为解决受3#反硝化生物滤池影响难以进一步缩短尾水停留时间和出水澄清度较差的问题, 对工艺流程进行调整(图3)。

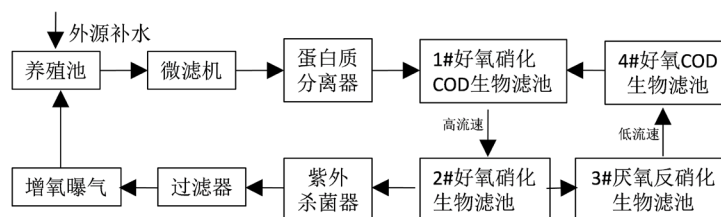


Figure 3. Adjusted experimental process
图 3. 调整后的工艺处理流程

调整后的微生物处理系统包括两个部分: 第一部分由1#好氧硝化 COD 生物滤池和2#好氧硝化生物滤池组成硝化系统, 该系统与养殖池、微滤机、蛋白质分离器、紫外杀菌器、过滤器、增氧曝气装置串联, 该系统维持较高水流速; 第二部分由3#厌氧反硝化生物滤池和4#好氧 COD 生物滤池组成反硝化 COD 系统, 该系统进水端为2#生物滤池出水, 经3#、4#生物滤池处理后回流至1#生物滤池, 该系统流速相对较慢。

6月11日启动内部自循环,硝化系统尾水停留时间设定为1.5 h,反硝化COD处理系统尾水停留时间设定为6 h。6月18日硝化系统尾水停留时间为1.5 h,反硝化COD处理系统尾水停留时间调整为9 h。6月19日硝化系统尾水停留时间提高至3 h,反硝化COD处理系统尾水停留时间维持9 h。6月23日工艺流程恢复为初始工艺流程。

2.2.4. 稳定阶段

6月24日工艺流程恢复为初始阶段工艺流程,尾水停留时间为9 h,6月29日尾水停留时间调整为6 h,7月4日尾水停留时间调整为4 h。

2.2.5. 耐药阶段

7月8日向1#、2#生物滤池补充硫酸铵7 g,3#生物滤池补充硝酸钠18.2 g、醋酸钠15.6 g,4#生物滤池补充醋酸钠4 g,启动内循环后,向生物滤池中添加40 ppm的抑菌净,观察菌巢表面微生物膜状况。

7月9日向1#、2#生物滤池补充硫酸铵7 g,3#生物滤池补充硝酸钠18.2 g、醋酸钠15.6 g,4#生物滤池补充醋酸钠4 g,向生物滤池中添加20 ppm的抑菌净,观察菌巢表面微生物膜状况。

2.3. 样品测定与数据分析

实验过程中每天上午分别从各生物滤池进出水口取样,检测氨氮、亚硝酸氮、硝酸氮、COD,氨氮检测采用次溴酸钠氧化法(GB/T12763.4-2007) [3]、亚硝酸氮检测采用重氮-偶氮法(GB/T12763.4-2007) [3]、硝酸氮检测采用锌镉还原法(GB/T12763.4-2007) [3]、COD检测采用碱性高锰酸钾法(GB/T12763.4-2007) [3]。

采用Microsoft Excel 2007进行数据处理及图形绘制。

3. 实验结果及分析

3.1. 挂膜阶段

3.1.1. 各生物滤池微生物挂膜

加入耐高盐微生物后,1#、2#硝化反应池氨氮去除效率较高,2 d后氨氮指标下降34.41%,但未观察到明显菌落,5 d后,使用接种环刮抹菌巢表面可观察到淡黄色菌膜,表明硝化细菌已完成初步挂膜;3#反硝化生物滤池在厌氧环境下反应1 d后,滤池表面出现大量气泡,表明养殖尾水中的硝酸氮被转化为氮气(图4),2 d后养殖尾水中的硝酸氮全部被转化为氮气,气泡逐渐消失,此时硝酸氮含量小于0.007 mg/L,低于《渔业水质标准》中对硝酸氮的要求,4 d后菌巢表面可观察到淡黄色菌膜;4#COD生物滤池反应4 d后,采用碱性高锰酸钾法对养殖尾水中COD进行检测结果为3.764 mg/L,菌巢表面可观察到明显菌丝。

3.1.2. 工艺流程的验证

5月18日系统启动内部自循环,初始阶段单个生物滤池的尾水停留时间设定为18 h,该阶段微生物处理系统运行情况良好,各生物滤池pH均稳定维持在8.3~8.6,3#反硝化滤池溶氧维持在0.35 mg/L以下;5月21日单个生物滤池的尾水停留时间调整为12 h,3#反硝化滤池溶氧有所上升但仍控制在0.6 mg/L以下,未检测到亚硝酸氮、硝酸氮。

3.2. 初期阶段

3.2.1. 硝化结果及分析

5月28日养殖尾水以25 L/h(HRT 12 h)的流速进入微生物处理系统,进水氨氮最终稳定在0.06 mg/L

左右,出水氨氮呈上升趋势,进水3 d后迅速下降,氨氮平均去除率为52.97%;6月1日将进水流速提升至33.3 L (HRT 9 h),进水氨氮波动相对较大,出水氨氮先升高后降低,缩短停留时间未对出水氨氮情况造成明显影响,氨氮平均去除率为87.21%;6月6日将进水流速提升至50 L (HRT 6 h),进水氨氮逐渐降低,出水氨氮逐渐降低至检测不出,氨氮平均去除率为97.95% (图5)。

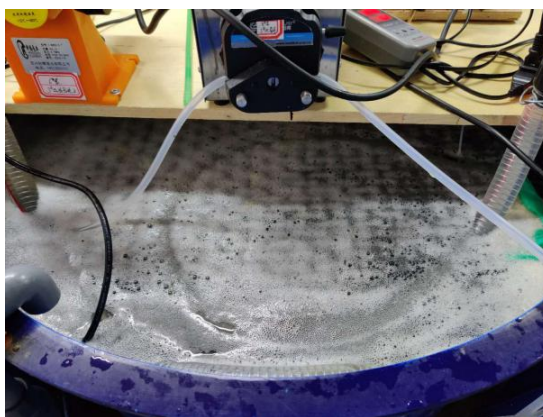


Figure 4. Denitrifying biofilter after 1 day reaction

图4. 挂膜1 d后反硝化生物滤池

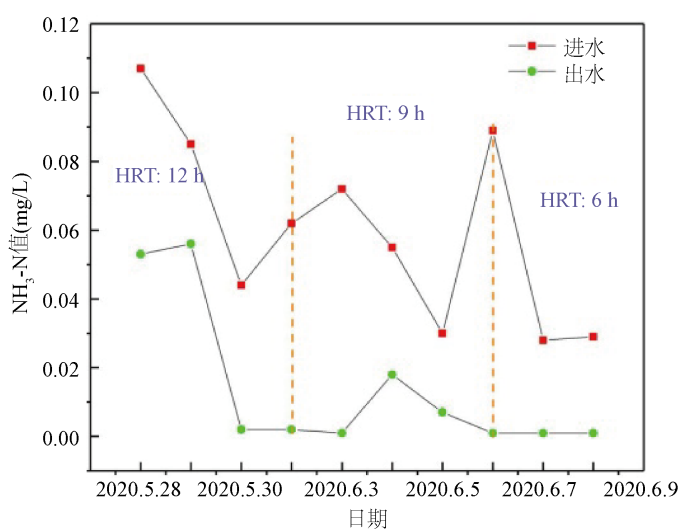


Figure 5. Ammonia nitrogen treatments in initial stage

图5. 初期阶段氨氮处理情况

3.2.2. 反硝化结果及分析

5月28日尾水停留时间设定为12 h,反硝化生物滤池溶氧维持在0.5 mg/L以下,出水中亚硝酸氮、硝酸氮均未检出。

6月1日将尾水停留时间降低至9 h,反硝化生物滤池溶氧达到0.9 mg/L。调整进水口位置,避免因进水流速过快造成气泡较多、溶氧难以降低,同时关闭2#硝化生物滤池内的曝气装置,仅保持2#生物滤池溶氧在2 mg/L以上。6月2日反硝化生物滤池溶氧降至0.3 mg/L以下。6月6日将尾水停留时间降低至6 h,反硝化生物滤池溶氧仍维持在0.3 mg/L以下。6月1日到6日期间出水中均未检测到亚硝酸氮、硝酸氮。

6月8日将微生物处理系统接入循环水养殖主系统,尾水停留时间维持6 h,反硝化生物滤池溶氧控制在1 mg/L以下,随着养殖尾水进水亚硝酸氮、硝酸氮含量的大幅提高,出水中逐渐检测到亚硝酸氮、硝酸氮,将碳源添加量从按照总氮20 mg/L计算提升至按照总氮35 mg/L计算,出水亚硝酸氮、硝酸氮含量明显变少。

3.2.3. COD 反应结果及分析

由图6可见:本阶段微生物处理系统进出水COD均稳定维持在6 mg/L以下;反硝化滤池补充的过量碳源经COD生物滤池处理后能够达到要求。尾水停留时间未达到COD生物滤池处理能力的极限,可以进一步提高流速或适当减小COD生物滤池的体积。

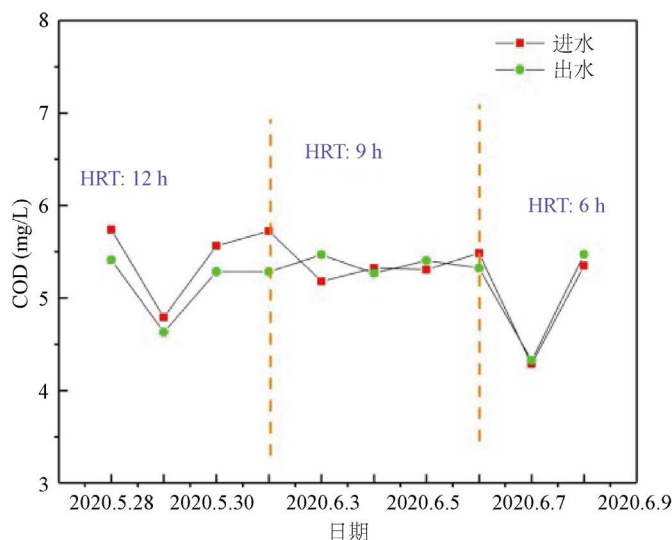


Figure 6. COD treatments in initial stage
图6. 初期阶段 COD 处理情况

3.3. 调整阶段

3.3.1. 硝化系统处理结果及分析

如图7、图8所示:6月11日硝化处理系统按照尾水停留时间1.5 h启动内部自循环,养殖尾水中的氨氮和亚硝酸氮均迅速被分解,氨氮去除率为96.97%,亚硝酸氮的去除率为93.96%,表明硝化处理系统可以有效处理养殖尾水中的氨氮和亚硝酸氮;6月16日微生物处理系统接入主循环系统开始稳定进水,但出水中的氨氮和亚硝酸氮较进水有所上升,出水中氨氮较进水上升了35.14%,亚硝酸氮较进水上升了167.47%,初步判断为进水流速过快停留时间不足所致;6月20日延长硝化处理系统尾水停留时间至3 h,出水情况并未有所改善,出水中氨氮较进水增加了115.57%,亚硝酸氮较进水增加了653.89%。缩短尾水停留时间反而导致出水数据指标变差,证明该情况并非尾水停留时间不足所致。

以上问题说明存在其他形态的氮转化为氨氮和亚硝酸氮,硝化反应系统进出水中硝酸氮的量未发生明显变化,说明存在有机氮转化为氨氮和亚硝酸氮的问题,初步判断为1#硝化COD生物滤池中的COD菌将有机氮分解为无机氮。

3.3.2. 反硝化 COD 系统处理结果及分析

如图9所示:6月12日反硝化COD系统按照尾水停留时间6 h启动内部自循环,养殖尾水中的硝酸氮迅速降低;6月16日微生物处理系统接入主循环系统开始稳定进水,进水硝酸氮从0.3 mg/L升至

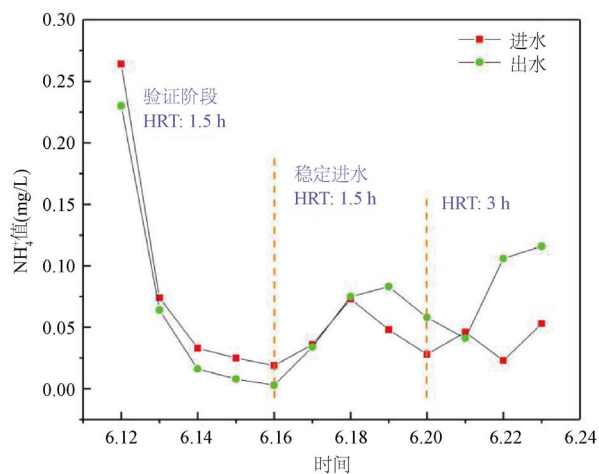


Figure 7. Ammonia nitrogen treatments in adjust stage

图 7. 调整阶段氨氮处理情况

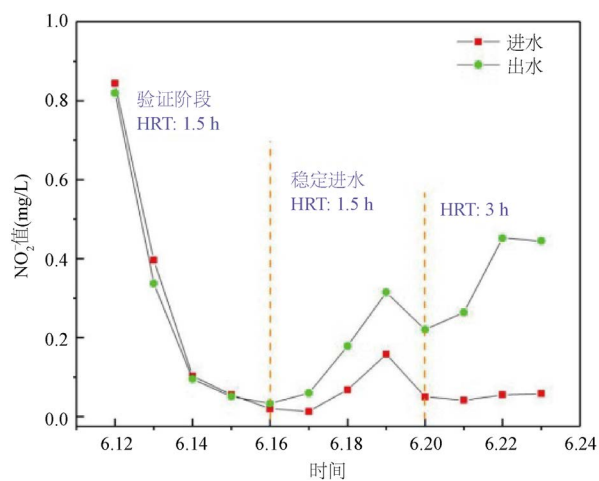


Figure 8. Nitrite nitrogen treatments in adjust stage

图 8. 调整阶段亚硝酸氮处理情况

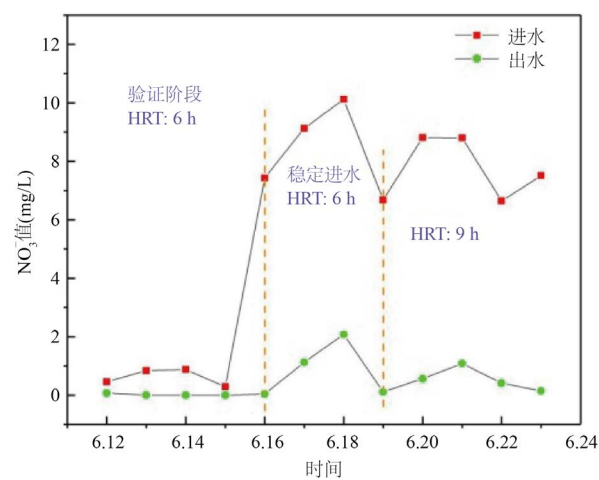


Figure 9. Nitrate nitrogen treatments in adjust stage

图 9. 调整阶段硝酸氮处理情况

8.8 mg/L, 出水中出现少量硝酸氮, 调整 3#反硝化滤池碳源添加量, 出水中硝酸氮迅速恢复到正常范围, 6月19日将反硝化 COD 系统尾水停留时间调整为 9 h, 出水中硝酸氮并未受到明显影响。

如图 10 所示: 本阶段 COD 生物滤池进出水 COD 均小于 6 mg/L, 后续工程应用可考虑减小 COD 生物滤池体积。

如图 11 所示: 6月12日反硝化 COD 系统养殖尾水中的亚硝酸氮被完全分解; 6月16日接入主循环系统开始稳定进水, 反硝化生物滤池进水硝酸氮从 0.3 mg/L 升至 8.8 mg/L 导致出水中亚硝酸氮升至 0.369 mg/L, 调整 3#反硝化滤池碳源添加量后, 出水亚硝酸氮逐渐恢复正常; 6月19日调整反硝化 COD 系统尾水停留时间为 9 h, 调整后 COD 生物滤池出现出水亚硝酸氮含量高于进水现象, 经过硝化、反硝化反应的养殖尾水中能够导致亚硝酸氮升高的含氮污染物只有有机氮, 因此确定导致 4#生物滤池亚硝酸氮出水大于进水的原因因为 COD 细菌将养殖尾水中残饵、粪便产生的溶解性有机氮分解为氨氮和亚硝酸氮。

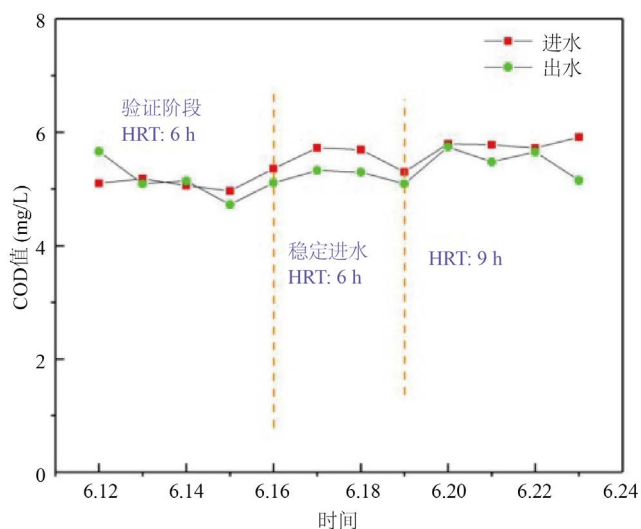


Figure 10. COD treatments in adjust stage

图 10. 调整阶段 COD 处理情况

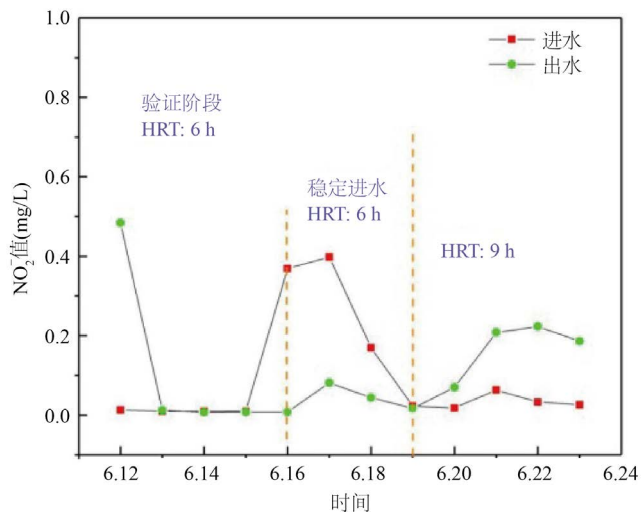


Figure 11. Nitrite nitrogen treatments of denitrification system in adjust stage

图 11. 调整阶段反硝化系统亚硝酸氮处理情况

3.4. 稳定阶段

3.4.1. 氨氮处理结果及分析

如图 12 所示：6 月 24 日将工艺流程恢复传统工艺流程，养殖尾水中的氨氮被迅速分解，出水氨氮维持在 0.01 mg/L 左右；6 月 29 日将尾水停留时间调整为 6 h，出水中氨氮含量较为稳定，去除率达到了 76.55%；7 月 4 日将尾水停留时间调整为 4 h，出水中氨氮有所升高但迅速恢复正常。

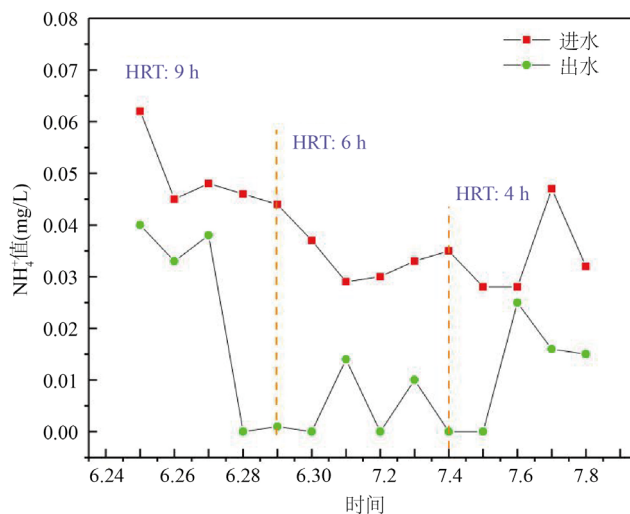


Figure 12. Ammonia nitrogen treatments in stable stage

图 12. 稳定阶段氨氮处理情况

3.4.2. 亚硝酸氮、硝酸氮处理结果及分析

如图 13 所示：尾水停留时间从 9 h 降至 6 h 再降至 4 h，进水硝酸氮从 13 mg/L 逐步降低至 8 mg/L，在尾水停留时间 9 h 和 6 h 时出水硝酸氮较为稳定，当尾水停留时间降至 4 h 时，出水硝酸氮升高至 1.2 mg/L 左右。

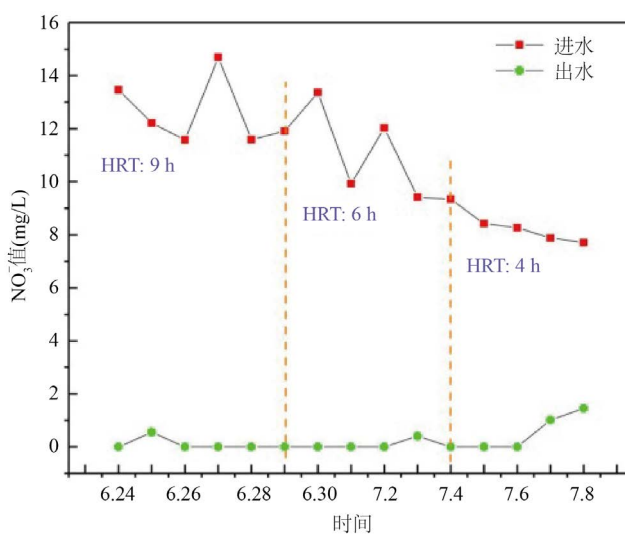


Figure 13. Nitrate nitrogen treatments in stable stage

图 13. 稳定阶段硝酸氮处理情况

如图 14 所示：启动流程后进水亚硝酸氮迅速降低最终稳定在 0.2 mg/L 左右，出水亚硝酸氮含量受进水影响，先有所升高然后迅速恢复到正常范围。尾水停留时间降至 4 h 后，出水亚硝酸氮逐步提高。尾水在反硝化生物滤池中停留 6 h 时，处理能力较为稳定。

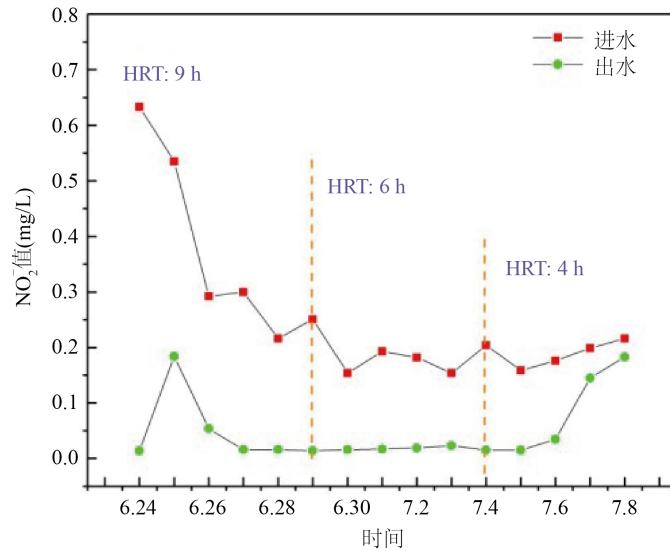


Figure 14. Nitrite nitrogen treatments in stable stage
图 14. 稳定阶段亚硝酸氮处理情况

经硝化反应和反硝化反应处理后的养殖尾水进入 COD 反应滤池，出水中氨氮、亚硝酸氮、硝酸氮均较进水指标有所上涨，再次证明存在 COD 细菌将养殖尾水中的有机氮转化为无机氮的情况。

3.5. 耐药阶段

实验情况

7月10日，反硝化生物滤池菌巢表面开始出现菌膜脱落的情况，COD生物滤池、硝化生物滤池菌膜并未脱落(图15)。



Figure 15. Comparison of bacterial membrane state in denitrification tank before and after drug adding

图 15. 耐药性实验前后反硝化池菌膜状态对比

如表 4 所示，添加 40 ppm 抑菌净后 1#、2#生物滤池氨氮的去除率分别为 96.93%和 96.80%，补充 20 ppm 抑菌净后氨氮的去除率降低至 69.12%和 37.11%，菌膜未发生明显脱落。

Table 4. Water treatment in drug resistance stage
表 4. 耐药性阶段水质处理情况

生物滤池	指标	2020.7.8		2020.7.9		2020.7.10	
		添加后	处理后	添加后	处理后	添加后	处理后
1#硝化 COD 生物滤池	氨氮	5.382	0.165	5.347	1.651		
2#硝化生物滤池	氨氮	5.246	0.168	5.292	3.328		
3#反硝化生物滤池	硝氮	11.455	0	10.471	4.766		
4#COD 生物滤池	COD	12.388	6.076	15.364	9.156		

添加 40 ppm 抑菌净后 3#反硝化生物滤池硝酸氮的去除率为 100%，补充 20 ppm 抑菌净后硝酸氮的去除率降低至 54.48%，反硝化细菌菌膜开始脱落。

添加 40 ppm 抑菌净后 4#COD 生物滤池中 COD 的去除率为 50.95%，补充 20 ppm 抑菌净后 COD 的去除率降低至 40.41%，菌膜未发生明显脱落。

4. 结论

1、硝化生物滤池、反硝化生物滤池、COD 生物滤池五天内均完成挂膜，反硝化生物滤池挂膜效率最高，48 h 可将尾水中的硝酸氮全部转化为氮气；蜂窝状菌巢具有较好的固定微生物作用。

2、传统处理工艺存在较高水流速与反硝化厌氧环境之间的矛盾，导致尾水停留时间难以进一步降低。

3、结合以上两种工艺路线特点，对工艺流程进行进一步改良，可有效提高尾水处理效率。

4、耐高盐硝化细菌、反硝化细菌、COD 细菌在抑菌净常规用量 40 ppm 时均具有较好的耐药性，当抑菌净添加量进一步提高时各微生物活性受到抑制。

5. 后续研究方向

5.1. 主系统与辅系统的最佳流速比

分析养殖尾水中氨氮的产生速率与反硝化反应硝酸氮的处理速率，确定主辅系统的最佳流速比。

5.2. 不同微生物反应生物滤池最佳体积比

根据主辅系统的最佳流速比以及反硝化反应最佳尾水停留时间，确定各生物滤池的最佳体积。

基金项目

山东省农业重大应用技术创新项目(2018-03-003)，烟台市重点研发计划(2020MSGY067)。

参考文献

- [1] 中华人民共和国农业部. 中华人民共和国水产行业标准, 海水养殖水排放要求(SC/T 9103-2007) [S]. 2007.
- [2] 国家环境保护局. 中华人民共和国国家标准, 中华人民共和国渔业水质标准(GB11607-1989) [S]. 1990.
- [3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 中华人民共和国国家标准, 海洋调查规范, 第 4 部分: 海水化学要素调查(GB/T 12763.4-2007) [S]. 2008.