

生物膜法 SBR (BSBR) 在循环养殖水处理中影响因素分析

刘 晃^{1,2}, 管崇武², 倪 琦¹, 宋红桥², 胡伯成¹

(1. 中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所, 上海 200092;

2. 中国水产科学研究院渔业水体净化和系统研究重点开放实验室, 上海 200092)

摘要: 膜法 SBR (sequence batch reactor) 是将 SBR 法与接触氧化法相结合的一种新型生物膜法处理工艺。此研究以总氨氮 (TAN) 及总氮 (TN) 的去除反应速度作为考察指标, 分析生物膜法 SBR (biofilm sequence batch reactor, BSBR) 处理水产循环养殖系统水体中影响 TAN 及 TN 去除效果的主要因素。其中, pH 和碱度对硝化反应有很大的影响, pH 控制在 6.3 以上时 TAN 处理效果较好。溶解氧 (DO) 对反硝化反应也有较大的影响, 同时考虑到水生生物的生长需求, 在此试验系统中进入反应器的水体 DO 最好能控制在 4.5 ~ 6.5 mg·L⁻¹。水温保持在 20℃ 左右, 可以保证有一个较好的脱氮效果。

关键词: 生物膜法 SBR; 循环水养殖系统

中图分类号: X703

文献标识码: A

文章编号: 1673 - 2227 - (2008) 04 - 0055 - 05

Analysis of factors of water treatment with biofilm sequence batch reactor in recirculating aquaculture systems

LIU Huang^{1,2}, GUAN Chongwu², NI Qi¹, SONG Hongqiao², HU Bocheng¹

(1. Fishery Machinery and Instrument Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200092, China;

2. Key Lab. of Fishery Water Treatment, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200092, China)

Abstract: BSBR (biofilm sequence batch reactor) is a treatment technology. It takes advantages of both activated sludge process and SBR. The paper was to analyze factors of BSBR treatment in recirculating aquaculture systems in terms of removal speed of TAN and TN. The pH and alkalinity has big influence on the nitrification reaction, with better removal of TAN and TN under pH > 6.3. Dissolved oxygen has also big influence on denitrification reaction. Considering the growth demand of aquatic organism, it is better to control the influent water dissolved oxygen to be 4.5 ~ 6.5 mg L⁻¹ in the experimental installation. The water temperature is better maintained at about 20℃ so that a good denitrogenation effect can be guaranteed.

Key words: biofilm sequencing batch reactor (BSBR); recirculating aquaculture systems (RAS)

循环水养殖模式在资源消耗、环境保护、生产能力等方面具有明显优势, 已成为越来越多国家实现水产养殖可持续发展的选择。中国的工厂化养殖已遍及除西藏、内蒙和青海之外的全国各地, 内陆工厂化养殖场约有 5 000 家, 海水工厂化养殖场也

有近 2 000 家, 2003 年全国工厂化养殖水体达 3.3 × 10⁶ m³[1]。水处理系统是循环水养殖系统的核心, 水处理技术对整个养殖系统的水质状况和生产能力具有重大的影响[2]。生物膜法(biofilm sequencing batch reactor, BSBR)处理养殖废水具有产生污泥少、抗冲

收稿日期: 2008-04-17; 修回日期: 2008-05-06

资助项目: “十一五” 国家科技支撑计划项目 (2006BAD03B06); 中国水产科学研究院科研基金项目 (2001-8-3)

作者简介: 刘 晃 (1973 -), 男, 工程师, 从事水产养殖工程研究。E-mail: liuhuang@sh163.net

击、负荷能力强、运行消耗少等特点,在循环水养殖水处理系统上得到较为广泛的应用,其工艺方式由早期的滴滤池、生物转盘法发展至最近的流化床。

间歇式生物膜反应器^[3-4],即BSBR,是将传统活性污泥法与接触氧化法有机结合并引入化工流态化技术应用于废水处理的一种新型生化处理装置,具有处理效率高、容积负荷大、抗冲击能力强、设备紧凑、占地少等优点,因而引起了人们的极大兴趣和广泛研究,被认为是未来最具发展前途的一种生物处理技术。目前,BSBR工艺在污水处理方面有许多研究报道和应用,詹伯军和陈国喜^[5]采用弹性立体填料的BSBR处理印染废水,使废水达标排放。王乾扬和陈国喜^[6]用BSBR处理皮革废水,化学需氧量(chemical oxygen demand, COD)去除率达90.1%。张冬梅和王培凤^[7]采用软性梳状纤维填料的BSBR处理生活污水,可使COD达标排放, NH₃-N去除率在50%~70%。尹儿琴等^[8]用BSBR处理生活污水, NH₃-N的去除率达36.43%,去除NH₃-N的能力明显优于生物接触氧化法。NGUYEN和DUFF^[9]研究了应用固定膜SBR技术处理啤酒废水,并应用溶解氧控制反馈系统,可以实现总生化需氧量(total biochemical oxy-

-gen demand, TBOD)去除率为86%~92%。但是BSBR在循环水养殖中应用的有关研究报道还少见到。此研究主要分析BSBR在循环水养殖水处理中影响总氨氮(TAN)、总氮(TN)处理效果的主要因素。

1 材料与方法

1.1 试验装置

试验装置如图1所示,由鱼池与BSBR形成一个循环水养殖系统,在鱼池(146 cm × 45 cm × 55 cm; 约360 L)中养殖150尾锦鲤*Cyprinus carpio*。BSBR反应器是直径470 mm,高为460 mm,容积70 L的塑料桶,在反应器中使用40只球型的悬浮型生物填料。采用时间控制编程器控制BSBR反应器的进水、搅拌、曝气、出水、闲置。

1.2 菌种培养与挂膜

菌种采用自然培养,直接用养殖循环水来培养菌种和挂膜,经过1个月左右的培养,生物填料上生物膜生长情况良好,出水水质也较为稳定,完成菌种培养与挂膜的过程。

1.3 分析方法

主要检测项目及分析方法见表1。

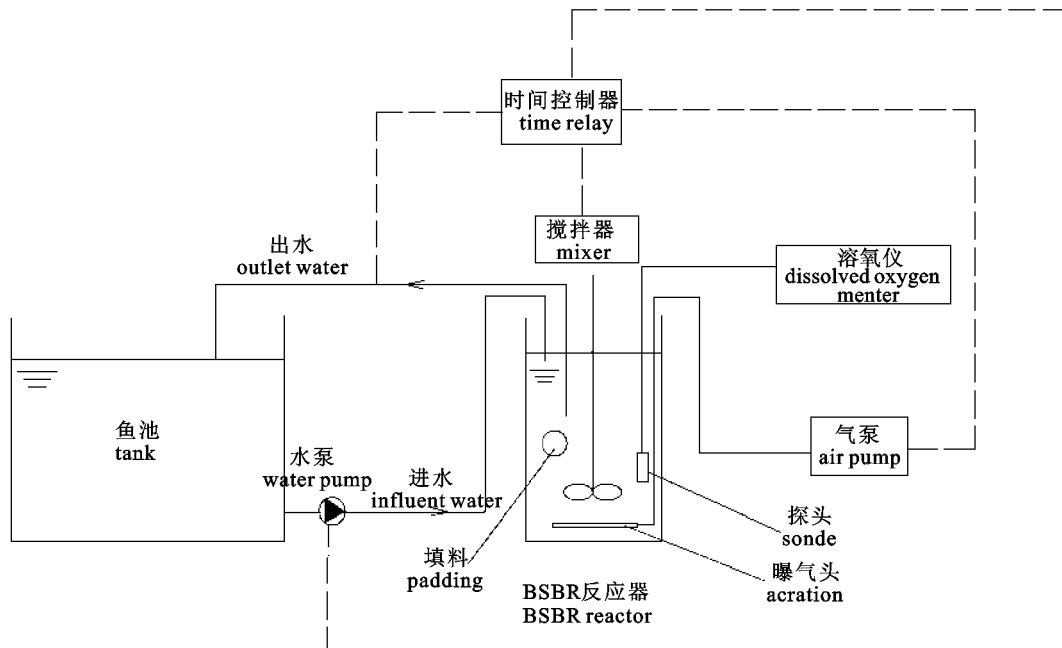


图1 试验装置示意图

Fig. 1 Schematic drawing of experimental installation

表 1 检测项目及分析方法

Tab. 1 Inspection item and analysis method

检测项目 inspection item	分析方法 analysis method
总氨氮 (TAN)	纳氏试剂分光光度法
总氮 (TN)	过硫酸钾氧化-紫外分光光度法
溶解氧 (DO)	膜电极法
pH	玻璃电极法
水温 (T)	温度计法

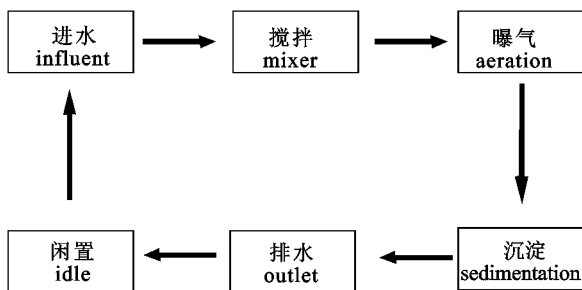


图 2 运行工艺流程图

Fig. 2 The operational flow chart

1.4 试验方法

1.4.1 试验的工艺流程 养殖排出废水的有机物生化需氧量 (biochemical oxygen demand, BOD) 含量较低, 主要的污染源是氮系污染物, 以氨氮为主。试验采取反硝化前置的处理工艺, 即进水后立即进行搅拌, 将反硝化进程前置, 使反硝化脱氮能直接利用进水中的有机碳源, 还可借助反硝化过程中产生的碱度对硝化过程中碱度的消耗进行内部补充。试验中的水温为 16 ~ 25℃; pH 值为 5.0 ~ 7.9。整个运行工艺流程如图 2。采样点分别为 BSBR 的进水与出水。

1.4.2 数据处理方法 将 BSBR 反应器看作一个完全混合的系统。反应速度的计算按公式 (1) 进行^[10-12]。

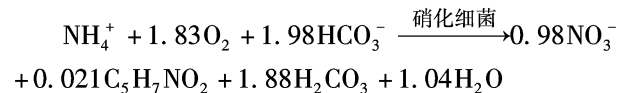
$$V = \frac{S - S_t}{Xt} \quad (1)$$

式中 V 为基质降解的反应速度; S 为反应器进水基质的浓度; S_t 为 t 时间后反应器出水基质的浓度; X 表示 SBR 反应器内微生物浓度, 在此系统中 $X = 1.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; t 表示反应时间。

2 结果与分析

2.1 pH 的影响

硝化反应的化学反应式如下:



根据该式计算, 每去除 1 g NH_4^+-N 约耗去 4.33 g O_2 、生成 0.15 g 新细胞、减少 7.14 g 碱度 (按 CaCO_3 计)、耗去 0.08 g 无机碳^[13]。碱度的产生或消耗, 会引起系统中 pH 的变化, pH 的变化将影响硝化菌和反硝化菌的变化及一些酶的活性。

从图 3 中可以看到, 在 pH 为 6.3 之前, 氨氮的降解反应速度一直维持在很低的水平, 在 6.3 以后, 其反应速度马上快速上升。由于硝化过程需要消耗碱度, 没有充足的碱度, 硝化反应是进行不下去的, 过低的 pH 对系统降解去除氨氮有很大的制约作用, 因此, 反应器中的 pH 应该控制在 6.3 以上比较适宜。

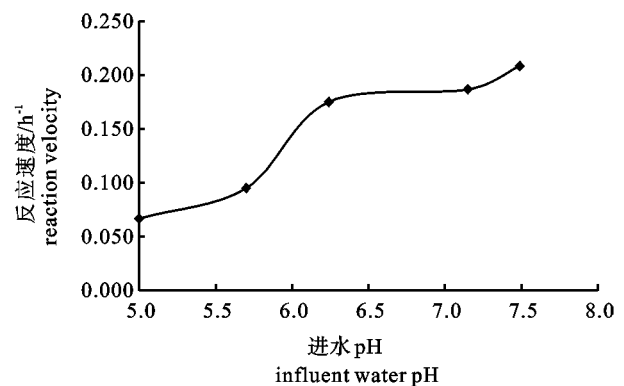


图 3 进水 pH 值与 TAN 去除反应速度的关系

Fig. 3 Relationship between influent water pH and reaction velocity of TAN removal

2.2 溶解氧 (DO) 的影响

从图 4 可以看出 TN 的去除速度随进水 DO 的增大呈一抛物线, DO 在 4.8 ~ 6.0 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间时反应速度较快, 基本都在 1.0 h^{-1} 以上, 当进水 DO 进一步增大时, 其反应速度下降较快。因为反硝化反应是在缺氧条件下进行的, 分子氧的存在会与硝酸盐竞争电子受体, 抑制硝酸盐还原酶的合成及活性, 进水 DO 过高则严重影响反硝化的进行, 影响 TN 的去除效果。

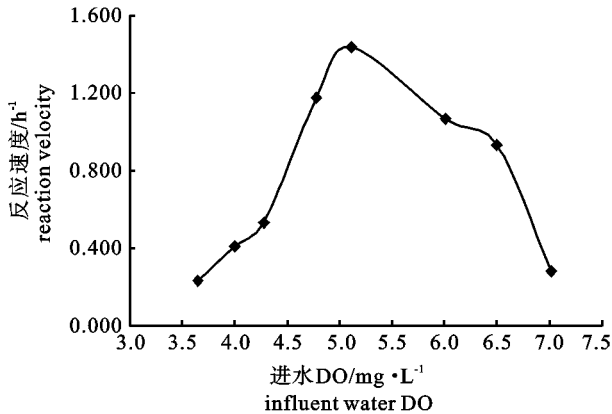


图4 进水 DO 与 TN 去除反应速度的关系

Fig. 4 Relationship between influent water DO and reaction velocity of TAN removal

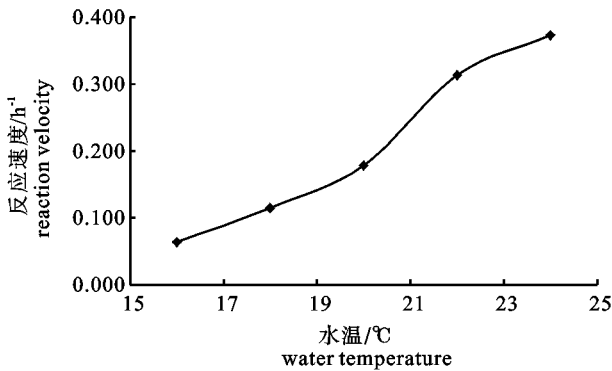


图5 不同水温与 TAN 去除反应速度的关系

Fig. 5 Relationship between water temperature and reaction velocity of TAN removal

2.3 水温的影响

硝化菌受温度的影响非常明显, 硝化反应的最适温度范围为 30 ~ 35℃, 当温度在 5 ~ 35℃ 之间由低至高逐渐过渡时, 硝化反应的速率将随温度的增高而加快, 低温对硝化菌有强烈的抑制作用。反硝化作用可在温度范围为 15 ~ 35℃ 之间进行, 在此范围内反硝化速率的变化规律遵守 Archeryies 方程, 温度系数为 1.06 ~ 1.08, 当温度低于 3℃ 时, 反硝化反应将完全停止^[13]。从图 5 可以看出, 随着温度的升高, 氨氮降解的反应速度呈快速上升的趋势, 说明温度对硝化作用影响很大, 硝化速率与温度几乎呈线性关系。

从图 6 可以看出, TN 的去除速率与温度也有很大的关系, 在 20℃ 前, 随着温度的升高, 其反

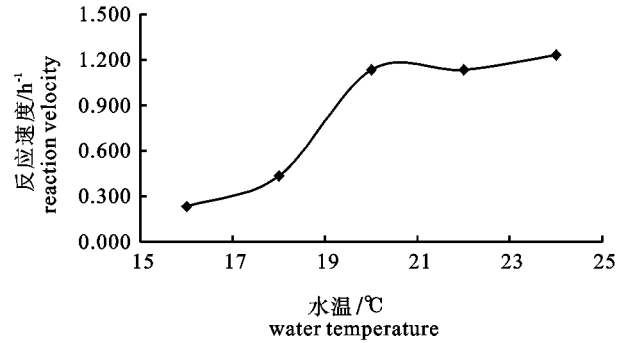


图6 不同水温与 TN 去除反应速度的关系

Fig. 6 Relationship between water temperature and reaction velocity of TN removal

应速度也呈上升趋势, 20℃ 以后, 其变化幅度变缓, 保持在 1.1 h⁻¹ 左右。说明在 20℃ 以上, 温度对脱氮作用的影响不明显。

3 讨论

3.1 pH 和碱度对硝化反应的制约

pH 和碱度对硝化反应有很大的影响, 反应器中的 pH 值最好控制在 6.3 以上, 这样才能保证良好的处理效果。此套工艺将厌氧反硝化前置, 利用反硝化产生的碱度补充系统中的碱度, 一定程度上缓解了硝化作用对碱度的需求。但是反硝化过程中, 每反硝化 1 g NO₃-N 将产生 3.57 g 碱度 (按 CaCO₃ 计), 而每氧化 1 g NH₄⁺-N 将消耗 7.14 g 碱度 (按 CaCO₃ 计)^[14], 由此可以看出硝化反应所消耗的碱量远大于反硝化反应产生的碱量。整个系统在运行过程中, pH 不断下降, 严重影响反应器的氨氮去除效果和系统的稳定运行, 应该考虑在反应器上增设个加碱装置, 定时定量的补充反应器硝化反应所需要的碱量。

3.2 DO 对反硝化反应的影响

DO 对反硝化反应的影响很大, 进水的 DO 浓度越低越有利于反硝化反应进行, 控制进水的 DO 浓度是十分重要的。一般对于生物膜系统, DO 需保持在 1.5 mg·L⁻¹ 以下, 才能取得比较好的反硝化效果^[14]。但是在养殖鱼池中的 DO 一般要求大于 4.0 mg·L⁻¹, 以满足水生生物的生长需要。如何使得进水后反应器中的 DO 浓度能快速降低到 1.5 mg·L⁻¹ 以下, 是保证反硝化效果的关键因素。此试验中是在进水的同时采用部分的污泥回流来保证反

反应器中的 DO 浓度能被控制在 $1.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下。另外, 也可以考虑在 BSBR 反应器之前串联一个普通的生物膜反应器, 在该反应器中不用曝气, 并保持一定的停留时间, 可以先将 DO 浓度降到 $1.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下后再进入 BSBR 反应器中。此试验系统中进入反应器的水体的 DO 最好能控制在 $4.5 \sim 6.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 既能保证良好的脱氮效果, 又满足水生生物的生长需要。

3.3 水温对 BSBR 反应器脱氮效果的影响

水温对 BSBR 反应器中填料上生物膜的增长及微生物的活性有很大关系, 在温度低于一定值时, 细胞膜呈凝胶状态, 营养物质的运输受阻, 细胞会因缺乏营养而停止生长; 但是当温度高于一定值时, 细胞的有些组分 (如蛋白质和核酸) 开始变性, 细胞也就难以生长甚至导致死亡^[15]。根据试验的结果, 并考虑到水生生物生长的需要, 水温最好能保持在 20°C 左右, 可以取得比较明显的脱氮效果。

参考文献:

- [1] 樊祥国. 我国工厂化养殖现状和发展前景 [J]. 中国水产, 2004 (8): 11-12.
- [2] 马文林. 封闭式循环流水养鱼系统水质循环过滤单元概述 [J]. 渔业现代化, 2004 (4): 26-28.
- [3] 岳强, 邹小玲, 缪应祺. SBR 技术的发展及应用 [J]. 污染

防治技术, 2003, 16 (4): 35-38.

- [4] 杨云龙, 陈启斌. SBR 工艺的现状与发展 [J]. 工业用水与废水, 2002, 33 (2): 1-3.
- [5] 詹伯君, 陈国喜. 膜法 SBR 工艺处理印染废水工程设计 [J]. 给水排水, 1997 (7): 25-28.
- [6] 王乾扬, 陈国喜. 膜法 SBR 工艺处理皮革废水研究 [J]. 中国给水排水, 1999 (3): 54-56.
- [7] 张冬梅, 王培凤. 膜法 SBR 工艺对生活污水 N、P 降解的研究 [J]. 茂名学院学报, 2002 (1): 37-40.
- [8] 尹儿琴, 肖昕, 张家华. BSBR 工艺处理生活污水的试验研究 [J]. 能源环境保护, 2004 (1): 31-33; 36.
- [9] NGUYEN Aah-Long, DUFF S J B. Application of feedback control based on dissolved oxygen to a fixed-film sequencing batch reactor for treatment of brewery waste water [J]. Water Environ Res, 2000, 72 (1): 75-83.
- [10] 顾夏声. 废水生物处理数学模式 [M]. 台北: 晓园出版社, 1990.
- [11] 张自杰, 周帆. 活性污泥生物学与反应动力学 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1989.
- [12] 宋兴志. 活性污泥数学模型的研究 [D]. 上海: 同济大学, 2001.
- [13] 章非娟. 生物脱氮技术 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1992.
- [14] 叶建峰. 废水生物脱氮处理新技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [15] 郑平, 徐向阳, 胡宝兰. 新型生物脱氮理论与技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.