

文章编号: 1000-0615(2005)04-0574-04

·研究简报·

闭合循环水产养殖系统生产过程中生物过滤器功能的形成

罗国芝^{1,2}, 孙大川², 冯是良², 谭洪新^{1,2}, 朱学宝², 陆雍森¹

(1. 同济大学环境科学与工程学院, 上海 200092;

2. 上海水产大学设施渔业研究所, 上海 200090)

关键词: 闭合循环水产养殖系统; 生物过滤; 硝化能力; 高体革鲷

中图分类号: S969 文献标识码: A

The function establishment of biofilter in recirculating commercial fish culture system

LUO Guo-zhi^{1,2}, SUN Da-chuan², FENG Shi-liang², TAN Hong-xin^{1,2}, ZHU Xue-bao², LU Yong-sen¹

(1. School of Environmental Science and Engineering of Tongji University, Shanghai, 200092 China;

2. Research Institute of Engineering-Aquaculture, Shanghai Fisheries University, Shanghai, 200090 China)

Abstract: Biofilter technology plays a key role in the production process of recirculating system. The establishment of biofilter's full nitrifying function is very important to avoid the aquacultural hazards for producers. There were many reports about the cultivation of the biofilter in the recirculating system. However, almost all of them were carried out in the lab scale and had little meaning to the production scale. This paper compared three methods of cultivating biofilter in the recirculating aquacultural system. The results showed that putting appropriate load fish directly and feed lowly was the best method to establish the nitrification function of the biofilter in the production of the recirculating aquaculture system.

Key words: recirculating aquaculture system; biofilter; nitrifying function; *Scortum barcoo*

生物过滤器对维持闭合循环水产养殖系统水质稳定起着核心的作用^[1]。生物过滤器在使用之前需要对生物膜进行培养、驯化,使生物过滤器有充分的硝化能力。生物过滤器硝化功能的建立一般需要较长的时间,淡水需要 14~20 d 海水需要 40~80 d^[2]。在生产中因会产生较高浓度的氨氮、亚硝酸氮对饲养对象产生不良影响,增加养殖风险。关于生物过滤器功能建立的报道很多,但均是实验性结果,生产性的实验鲜有报道。通过本课题的研究,希望能为生产活动提供参考。

1 材料与方法

1.1 系统构成

试验利用上海水产大学设施渔业及水族馆科学研究

所设计开发的闭合循环水产养殖车间,车间配有良好的控温装置。车间由四个完全相同的子系统组成,每个系统配备单独的水处理装备。每个子系统由 7 个 43 m³(6.0 m × 6.0 m × 1.2 m)养殖池组成,试验用其中的四个池放养高体革鲷(*Scortum barcoo*)。试验期间每个养鱼池水体控制在 35 m³左右。水体水处理部分主要由滴滤式生物过滤器、固液分离装置、流着净化渠、泡沫分离等单元组成(图 1),试验期间水处理各单元正常运转。系统中所用的过滤材料为斜发沸石、麦饭石和贝壳,按 7:2:1 的比例组成,比表面积约为 370 m²·m⁻³。每个生物过滤器装有约 3 m³滤料,每个子系统共有 8 个生物过滤器,通过每个生物过滤器的流量为 0.24 m³·min⁻¹。系统水体日循环 8 次。试验期间系统日换水量低于 2%。每周反冲 2 次生物过滤器。

收稿日期: 2004-06-07

资助项目: 上海市科技兴农重点攻关项目[农科攻字(2000 年)第 6-10 号]和上海市教委水产养殖重点资助项目

作者简介: 罗国芝(1974-),女,湖北襄樊人,讲师,博士研究生,从事设施渔业水处理和环境规划方面的研究。Tel: 021-65710018,

E-mail: gzhuo@shfu.edu.cn.

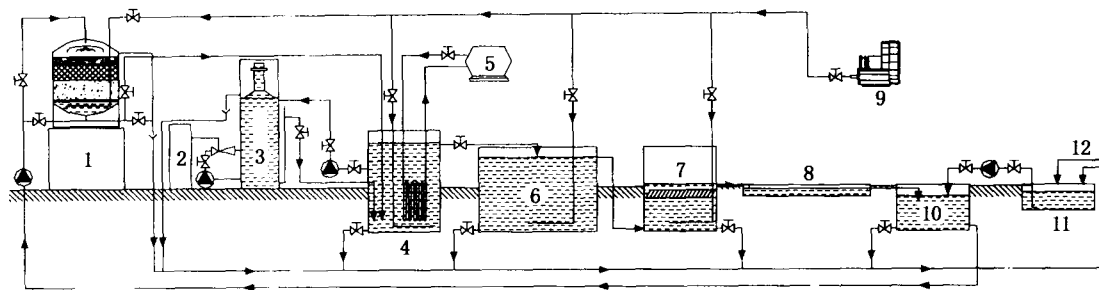


图1 闭合循环水产养殖-植物水栽培综合生产系统配置

Fig.1 Scheme diagram for the integrating system of closed circulating aquaculture and plant hydroponics

注: 1. 生化反应器, 2. 臭氧发生器, 3. 泡沫分离器, 4. 调配池, 5. 供热锅炉, 6. 鱼类养殖池, 7. 一级净化池, 8. 植物水栽培渠, 9. 漩涡鼓风机, 10. 集水池, 11. 人工湿地, 12. 进水

Notes: 1. bioreactor, 2. ozone generator, 3. foam separator, 4. control pond, 5. boiler, 6. farming fish pond, 7. primary purification, 8. plant hydroponics trench, 9. vortex blower, 10. collect water pond, 11. constructed wetland, 12. inlet

1.2 实验方法

各取一个子系统进行三种方法的对比实验, 整个实验过程中水温控制在 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 范围, 溶解氧浓度保持在 $(5 \pm 1) \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 左右, pH 保持在 (7.5 ± 0.5) (用 NaOH 调控)。试验期间每天上午 8:00~9:00 分别在养殖池, 取样测定。每项指标每次测试 30 个水样, 取算数平均值。

添加营养物培养生物膜 系统运行 24 h 后添加人工营养负荷, 配方为: 葡萄糖: 谷氨酸: 氯化铵: 氯化钙: 硫酸镁: 氯化钾 = $\text{KH}_2\text{PO}_4 : \text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O} : \text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 150 : 150 : 50 : 7.5 : 7.11 : 29.1$ (单位: $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)。水体氨氮设计初始浓度为 $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。本子系统编号为 I。

低投饵方式培养生物膜 系统中放养约 28 000 尾高体革鲮[每尾 $(9.3 \pm 0.5) \text{ g}$], 整个培养期间日投饵量控制在鱼体重的 1% 以内。所用饵料为高体革鲮专用配合饲料, 蛋白质含量 40%。本子系统编号为 II。

正常投饵方式培养生物膜 系统中放养约 28 000 尾高体革鲮[每尾 $(9.3 \pm 0.5) \text{ g}$], 整个培养期间系统中日均投饵量为鱼体重的 5% 左右。所用饲料同 1.2.2。本系统编号为 III。

1.3 净化效能的比较

各系统生物过滤器功能形成后, 每日对生物过滤器进出口进行总氨氮、亚硝酸氮、化学耗氧量的去除效果的测定, 连续测定一周。

1.4 测定指标及测试方法

pH: PHs-3D 多功能 pH 计(上海三信仪表厂); 氨氮 ($\text{NH}_4 - \text{N}$): 纳氏试剂比色法; 亚硝酸氮 ($\text{NO}_2 - \text{N}$): 磺胺-萘乙二胺比色法; 硝酸氮 ($\text{NO}_3 - \text{N}$): 硫酸肼还原法; 溶氧量 (DO): 碘量法; 化学耗氧量 (COD): 高锰酸钾氧化法^[3]。

2 结果

2.1 生物过滤器功能的建立

添加营养物培养生物膜 由图 2 可知, 在系统中直接添加人工合成污水, 生物过滤器功能的形成时间为 8~9 d。在此过程中 $\text{NH}_4 - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2 - \text{N}$ 的浓度变化非常明显, 没有出现高浓度积累状况。

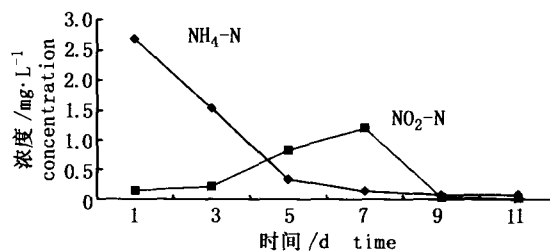


图2 直接添加生活污水的系统中生物过滤器功能建立

Fig.2 The establishment of nitrifying function of biofilter in system added artificial waste water

正常投饵方式培养生物膜 在大量投饵的情况下, 系统中出现明显的 $\text{NH}_4 - \text{N}$ 和 $\text{NO}_2 - \text{N}$ 的积累(图 3)。高浓度 $\text{NH}_4 - \text{N}$ ($> 1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 及 $\text{NO}_2 - \text{N}$ ($> 1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 的高浓度持续时间分别为 7 d 和 30 d。在生物过滤器硝化功能建立过程中, $\text{NO}_2 - \text{N}$ 浓度出现明显的波动, 最高浓度值高达 $23.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 远远超出了渔业生产的正常要求范围。 $\text{NH}_4 - \text{N}$ 最高浓度值为 $8.69 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (NH_3 浓度为 $0.16 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$), 比生产要求的 NH_3 范围 ($< 0.02 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)^[4] 高出近 7 倍。这种情况下生物过滤器功能的建立成熟需要 37~38 d。实验期间本系统的高体革鲮的成活率为 99%。

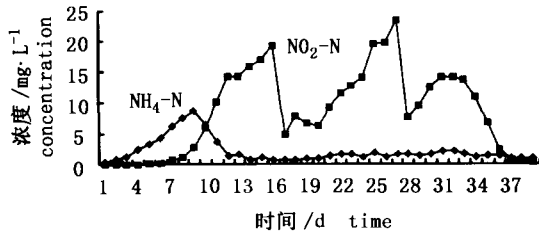


图3 正常投饵方式系统中生物滤器功能建立

Fig.3 The establishment of nitrifying function of biofilter in system added high-loaded food

低投饵方式培养生物膜 由图4可知,在适量投饵的情况下,系统中也出现较明显的NH₄-N和NO₂-N的积累,浓度较低。NH₄-N和NO₂-N的最高浓度分别为0.89 mg·L⁻¹和0.71 mg·L⁻¹,基本上符合渔业水质标准^[4]。这种情况下生物滤器功能的建立需要18 d。本系统高体革鲷的成活率为90%。

2.2 生物过滤器的净化效能

对三种培养方式下生物过滤器对NH₄-N、NO₂-N和COD的一次性净化效率监测表明,在系统中适当降低投饵量的方法培养生物过滤器,生物过滤器的净化效能优于其他方式。

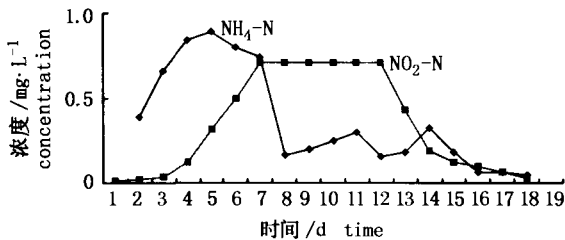


图4 低投饵方式系统中生物过滤器功能建立

Fig.4 The establishment of nitrifying function of biofilter in system added low-loaded food

表1 三种培养方式生物过滤器平均净化效能比较

Tab.1 The removal effects of biofilters in three experimental systems

培养方式 cultivation methods	R _{NH₄-N} (±)	R _{NO₂-N} (±)	R _{COD} (±)
直接添加人工污水 added artificial waste water	44.8(±1.2)	20.5(±0.5)	20.1(±3.2)
高投饵方式 high-loaded food	33.2(±0.8)	20.0(±0.9)	31.2(±2.9)
低投饵方式 low-loaded food	50.4(±1.9)	43.8(±2.0)	34(±4.0)

注:R = (Ce - Ci)/Ce × 100%, Ce为进口浓度, Ci为出口浓度

Notes: R = (Ce - Ci)/Ce × 100%, Ce is the inlet concentrations,

Ci is the outlet concentrations

2.3 两种不同投饵条件下生长情况比较

表2为两种培养方式的系统内高体革鲷养殖的效果

的比较。可以看出,系统II、III内高体革鲷的养殖效果并未有明显差异(P > 0.05)。

表2 两种投饵方式养殖效果的比较

Tab.2 The aquacultural results of experimental systems

指标 parameter	系统II system unit II	系统III system unit III
实验开始 stocking		
总鱼数 total fish number	28000	28000
鱼均重(g) mean weight	9.3g	9.3g
共投饵量(kg) total food	3201	5121
试验结束 harvesting		
持续时间(d) duration	60	60
存活率(%) survival rate	90 ± 1.0	99 ± 0.0
鱼均重(g) mean weight	112 ± 1.5	113 ± 2.0
日增重(每条鱼平均日增重) daily growth rate	1.867 ± 0.3	1.883 ± 0.2
饲料转化率 feed conversion rate(FCR)	1.23 ± 0.01	1.78 ± 0.06

注:上述资料为四平行 ± SEM

Notes: The numbers in the table were averages of four ± SEM

3 讨论

粗放经营性、资源依赖型水产生产方式导致的生态失衡、环境恶化、资源萎缩的状况已十分明显,因此,高效、节水、不污染环境的闭合循环水产养殖模式日益引起关注^[5]。水处理技术是维持这种养殖方式正常生产的关键。而生物过滤技术是闭合循环水处理技术的核心单元。养殖密度越高,系统对生物过滤器的依赖性越大。

生物过滤器硝化功能的快速建立可以明显降低企业运营成本、规避养殖初期生产风险。目前常用的生物过滤器的培养方法包括添加外来商业化细菌、移植成熟过滤器的生物滤料、添加表层花园土提取液、添加活性污泥等方法^[4,6]。其实这些已经报道的生物过滤器的培养方法只完成了向生物过滤器中引入外来硝化菌源的过程,还需要使这些外来菌和土著菌尽快适应养殖环境,正常繁殖和生长,建立稳定的种群结构,生物过滤器才能构建良好的硝化功能。实际生产中因需避免外来病原微生物,对额外添加菌源的方法使用得并不普遍。最稳妥的方法就是对经过处理的闭合循环养殖系统,利用生物过滤器表面的土著菌进行自然培养。但这种培养方法往往需要一定的时间^[7],对生产计划造成影响。

直接饲养水生动物、利用饲养鱼的排泄废物和投饵散失的有机物来培养生物过滤器的方法比较适合生产车间。

这种方法以负载量不会引起水质恶化为前提。本实验放养的高体革鲮对水质的适应范围较宽, 所以因正常生产而向系统投喂的大量饵料造成的持续较长时间的高浓度的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 未对养殖活动未产生明显的不良影响。但如果饲养的对象对水质较敏感, 则需谨慎。由表 2 可以看出, 低投饵方式的生长情况与高投饵方式有相近的增长率。高投饵方式并未造成饲养对象较好的增长情况原因可能是因为期间的水质情况影响了鱼类的生长。低投饵方式的成活率较低的主要原因是期间系统中暴发了小瓜虫病, 造成饲养对象的明显死亡。从降低养殖成本和养殖风险角度出发, 生物过滤器功能培养期间, 适当降低投饵量是最安全的培养方法。

直接添加营养物的方式进行生物膜的培养比较安全, 不必担心风险问题。但是因成本较高, 而且需占用额外的时间培养系统, 所以在实际生产应用中有一定的限制。

参考文献:

- [1] Huguenin J E, Colt J. Design and operating guide for aquaculture seawater systems[M]. Elsevier Amsterdam, 1989, 168 - 170.
- [2] Nijhof M B. Fixed film nitrification characteristics in sea-water recirculation fish culture systems[J]. Aquac, 1990, 87(2): 133 - 143.
- [3] Parsons T R. A manual of chemical and biological methods for seawater analyses[M]. Pergamon press, Oxford, 1984. 60 - 65.
- [4] 罗国芝, 刘艳红, 谭洪新, 等. 新建海水生物过滤器接种培养的研究[J]. 农业环境保护, 2001, 6: 443 - 445.
- [5] Jean P B. Development in recirculation systems for Mediterranean fish species[J]. Aquacultural Engineering, 2000, 22, 17 - 31.
- [6] Carmignani G M, Bennett J P. Rapid start-up of a biological filter in a closed aquaculture system[J]. Aquac, 1977, 11: 85 - 88.
- [7] 刘艳红, 罗国芝, 朱学宝. 海水闭合循环系统生物过滤器微生物特性研究[J]. 农业环境科学学报, 2004, 23(3): 443 - 445.

欢迎订阅 2006 年《大连水产学院学报》

《大连水产学院学报》是由大连水产学院主办的以水产科学为主的综合性学术刊物。主要刊登水生生物学、水产增养殖、水生生物病害及其防治、水生生物营养及其饲料、水产捕捞、水产品保鲜与加工、渔船设计与制造等方面的研究论文、综述及研究简报。可供水产、生物、海洋渔业等专业的科研技术人员和大专院校的师生参考。

本刊为中文核心期刊。现已被美国《化学文摘》和 ASFA《水科学和渔业文摘》以及俄罗斯的《文摘杂志》等近 20 种国内外检索刊物、数据库列为收录刊源。1999 年荣获全国优秀高校自然科学学报三等奖; 2004 年荣获全国高校科技期刊优秀编辑出版质量奖。

本刊为国内外公开发行人。A4 开本, 季刊, 每期 10.00 元, 全年 50.00 元(包括 10 元邮包费)。另外, 本刊编辑部尚有部分过期期刊, 每期 2.00 元。欢迎各有关单位、个人订阅。

汇款地址: 大连市黑石礁街 52 号 大连水产学院学报编辑部; 邮政编码: 116023; 联系电话: 0411 - 84762672; E-mail: dlsyxb@dlfu.edu.cn

本刊已参加“全国非邮报刊联合征订”, 订户可直接汇款向半导体杂志社联订服务部订阅。

户头全称: 联订服务部

账号: 605248 - 1 - 003734

开户银行: 工商银行天津市尖山分理处

邮政编码: 300380

汇款地址: 天津市大寺泉集北里别墅 17 号