

泡沫分离法在罗非鱼半咸水循环水系统中的水质净化效果

单建军, 宋奔奔, 庄保陆, 张宇雷, 陈翔, 吴凡

(农业部渔业装备与工程技术重点实验室, 中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所, 上海 200092)

摘要:机械气浮机通过产生大量丰富细密的雾化气泡,微气泡在垂直上升过程中将水中的悬浮物质粘附去除。通过测定泡沫分离器前后水质指标的变化情况,研究机械气浮装置在半咸水循环水养殖系统中的水质净化效果。结果表明,以机械气浮装置作为主要物理过滤水处理环节,并与鱼池双排水技术结合,在半咸水工况下可以承担主要的物理过滤功能,其总悬浮物(TSS)、化学耗氧量(COD)、总氮(TN)、总磷(TP)和色度的平均去除率分别可达 $(37.19 \pm 12.04)\%$ 、 $(21.89 \pm 6.19)\%$ 、 $(30.56 \pm 3.62)\%$ 、 $(19.38 \pm 5.27)\%$ 和 $(18.66 \pm 5.56)\%$ 。通过淡水鱼咸水化与泡沫分离技术的有机结合,可有效解决淡水鱼封闭循环水养殖中微小颗粒悬浮物的技术难题,是一种行之有效的方法。

关键词:泡沫分离法;机械气浮;循环水养殖;水质净化

doi: 10.3969/j.issn.1007-9580.2013.03.001

中图分类号: S959; X522

文献标识码: A

文章编号: 1007-9580(2013)03-001-05

泡沫分离法(Foam fractionation)又称气浮法(Air stripping)是利用泡沫与水界面的物理吸附作用以表聚物形式去除污染物和净化水质的方法^[1]。其基本原理是:向水体中通入空气,利用微小气泡的表面张力吸附水体中的表面活性物质,并借气泡的浮力上升到水面形成泡沫,从而去除水中溶解物和悬浮物^[1-2]。泡沫分离技术在水处理中的应用始于20世纪70年代^[3],起初用以脱除废水中的表面活性物质和洗涤剂^[2],后来在造纸、食品工业等废水处理及给水净化方面也得到了推广应用^[4]。采用泡沫分离的现代气浮方法有很多种,根据气泡发生方式可将气浮大体分为:溶气气浮法(包括加压溶气气浮、涡凹气浮、浅层气浮、真空气浮)、散气气浮法(包括扩散板曝气气浮、叶轮气浮)、电解气浮法、生物气浮法及化学气浮法等^[5-9]。

近些年随着我国循环水养殖技术的发展,泡沫分离技术在海水循环水养殖系统中逐步得到广泛应用。本试验设计构建一套以机械气浮(以转子碎气式机械气浮机为核心的泡沫分离法)为主要物理过滤环节的半咸水高密度封闭循环水养殖

系统,通过测定泡沫分离前后总悬浮颗粒物(TSS)、化学耗氧量(COD)、总氮(TN)、总磷(TP)等水质指标的变化情况,研究机械气浮机在循环水养殖系统中的水质净化效果,从而为其在封闭循环水养殖系统中的产业应用提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验系统

本试验系统由鱼池(系双排水系统)、竖流沉淀池、机械气浮装置、移动生物床、滴流溶氧装置、砂滤罐、紫外杀菌器等单元组成(图1)。其中机械气浮装置承担主要的物理过滤功能。机械气浮机是利用旋切叶轮在电动机的驱动下高速旋转,离心力将叶轮内空气高速甩出,产生大量丰富细密的雾化气泡,在叶轮内形成负压,从进气管吸入空气,并与提升上来的废水充分混合后,在水的剪切力作用下,气体破碎成微气泡而扩散于水中,在气浮机内平稳地垂直上升,形成气浮;微细气泡将水中的悬浮物质粘附,形成比重小于水的浮体上浮,再从排泡口排出,从而完成水的净化处理过程。

收稿日期: 2013-04-06 修回日期: 2013-05-21

基金项目: 引进国际先进农业科学技术计划项目(2013-S7); 国家科技支撑计划课题(2011BAD13B04); 农业部渔业装备与工程技术重点实验室开放课题(2010A14)

作者简介: 单建军(1986—),男,助理工程师,研究方向:工厂化循环水养殖。E-mail: shanjianjun@fmiri.ac.cn

(图2)。本试验中,自主设计的机械气浮机的电机功率为 1.1 kW,气泡发生器(气浮头)转速为 1 400 r/min,浸没深度 0.8 m,水体处理量为 25 m³/h。

1.2 试验材料与日常管理

试验对象为吉富罗非鱼(*Tilapia sp.*, GIFT Strain)。试验开始时,养殖系统总水体为 30 m³,罗非鱼 800 kg。养殖期间,每日补充排污和蒸发而损失的水分,日换水率(补水量)约 10%。试验期间,投饵量为鱼体重的 3%,每天 9:00 和 15:00 各投喂 1.5%。配合饲料的营养成分为:粗蛋白 ≥28.0% 粗脂肪 ≤4.0% 粗纤维 ≤8.0% 粗灰分 ≤18.0% 总磷 ≥0.8%。试验期间,水温 25 ~ 27 °C,溶解氧(DO) 5.5 ~ 7.2 mg/L,盐度 7 pH

7.5(使用碳酸氢钠调节),总碱度(以碳酸钙计) 150 ~ 186 mg/L。气浮装置水力停留时间约 3.83 min。

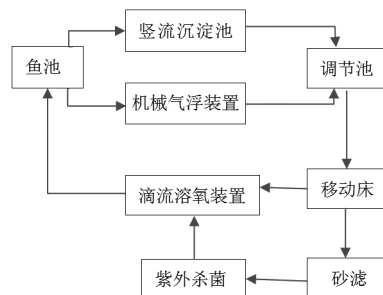


图1 循环水养殖试验系统流程示意图

Fig.1 Sketch map of the experiment recirculating aquaculture system

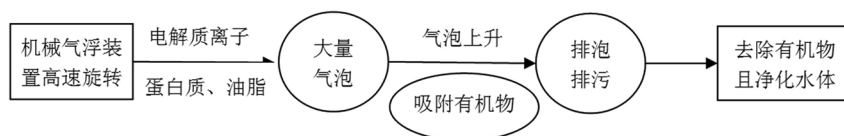


图2 机械气浮泡沫分离原理示意图

Fig.2 Sketch map of mechanical floatation

1.3 水质采样与分析

每天 9:30 分别在气浮装置的进出水口取样。pH、DO 采用 YSI 水质多参数分析仪测定; COD 采用重铬酸钾法测定(Hatch 试剂盒); TSS 采用称重法测定; TN 采用过硫酸钾消解法测定(Hatch 试剂盒); TP 采用钼酸铵法测定(Hatch 试剂盒); 色度采用铂钴比色法测定(Hatch 试剂盒)。数据采用 Excel 整理分析。

2 试验结果

2.1 对 TSS 的处理效果

本试验中,机械气浮装置进水 TSS 平均浓度为(94.48 ± 42.70) mg/L,出水 TSS 平均浓度为(59.62 ± 28.32) mg/L。机械气浮装置 TSS 平均去除率为(37.19 ± 12.04) % ,最高去除率为 54.54%(图3)。在本试验中,TSS 去除率与 TSS 进水浓度之间不存在显著的正相关关系。

2.2 对 COD 的处理效果

本试验中,机械气浮装置进水 COD 平均浓度为(137.90 ± 31.70) mg/L,出水 COD 平均浓度为

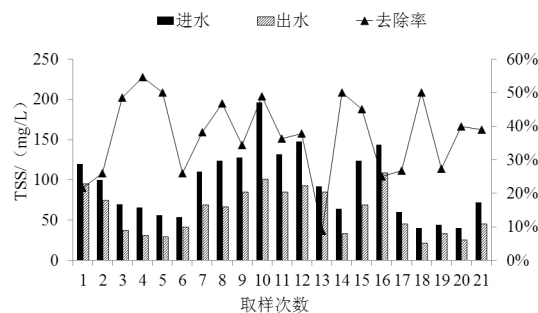


图3 TSS 去除效果

Fig.3 TSS removal efficiency

(108.14 ± 28.78) mg/L; 机械气浮装置 COD 平均去除率为(21.89 ± 6.19) % ,最高去除率为 33.77%(图4)。

2.3 对 TN 的处理效果

本试验中,机械气浮装置进水 TN 平均浓度为(103.19 ± 23.60) mg/L,出水 TN 平均浓度为(71.40 ± 15.62) mg/L; 机械气浮装置 TN 平均去除率为(30.56 ± 3.62) % ,最高去除率为 38.77%(图5)。

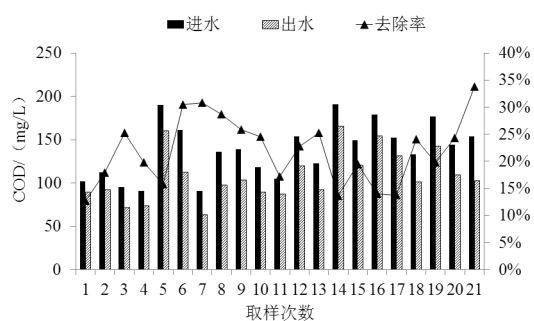


图4 COD 去除效果

Fig. 4 COD removal efficiency

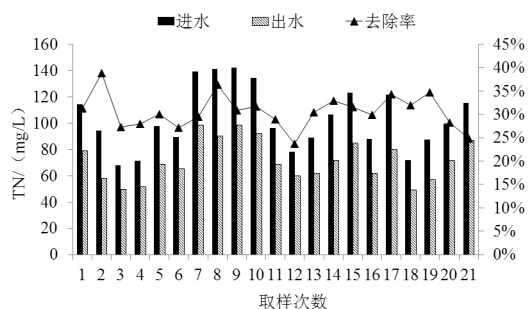


图5 TN 去除效果

Fig. 5 TN removal efficiency

2.4 对 TP 的处理效果

本试验中机械气浮装置进水 TP 平均浓度为 (49.06 ± 17.47) mg/L, 出水 TP 平均浓度为 (39.64 ± 11.84) mg/L; 机械气浮装置 TP 平均去除率为 $(19.38 \pm 5.27)\%$, 最高去除率为 30.27% (图 6)。

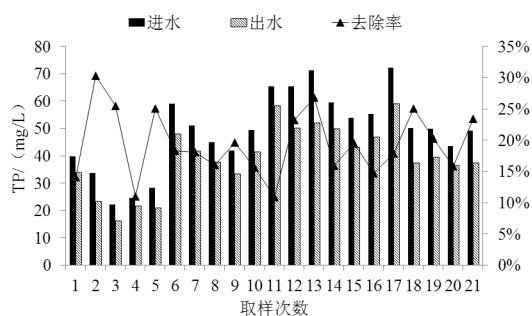


图6 TP 去除效果

Fig. 6 TP removal efficiency

2.5 对色度的处理效果

本试验中,机械气浮装置进水色度平均 199.48 ± 19.40 , 出水色度平均 161.62 ± 11.80 ; 机械气浮装置色度平均去除率为 $(18.66 \pm 5.56)\%$, 最高去除率为 27.96% (图 7)。

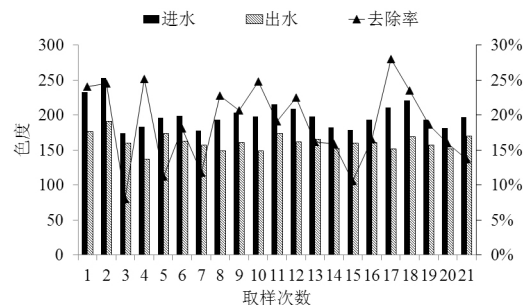


图7 色度去除效果

Fig. 7 Color removal efficiency

3 讨论

TSS、COD、TN、TP 和色度是封闭循环水养殖系统中反映物理过滤性能的主要水质指标,是机械气浮装置的主要处理对象。泡沫分离必须具备两个基本条件:其一,目标溶质是表面活性物质或者是可以和某些活性物质相络合的物质,即可以吸附在气液界面上;其二,富集质在分离过程中借助气泡与液相主体分离,并在塔顶富集^[2,10]。

一般认为,淡水养殖中采用泡沫分离法效果不佳,主要是由于泡沫的产生受所含油脂、蛋白质等物质以及电解质(盐度)的影响。淡水中缺少电解质,有机物分子与水分子直接的极性作用小,气泡形成的几率低,稳定性差,故在淡水高密度封闭循环水养殖系统中,微小颗粒悬浮物的高效去除是目前普遍难以突破的技术难题^[11]。谭洪新等^[12]在淡水养殖系统中发现,泡沫分离法对 COD 去除效果不明显。而大多数淡水鱼都对盐度具有一定的适应能力,可以忍受低盐度水质。

本试验证明,在低盐度的罗非鱼高密度封闭循环水养殖系统中,罗非鱼生长状况良好;采用机械气浮式泡沫分离法对 TSS、COD 等反映有机物浓度的水质指标具有显著的去除效果,去除率分别达到 $(37.19 \pm 12.04)\%$ 与 $(21.89 \pm 6.19)\%$ 。郑瑞东等^[11]采用曝气式泡沫分离器处理海水养殖废水(盐度 31)的 TSS 去除率为 36.24% ~ 67.05%;李法松等^[13]采用溶气气浮系统处理海水养殖废水(盐度 31)时 COD 去除率达到 70%。本试验结果与此相比,TSS 去除效果略差,主要是由于本试验中水的盐度仅为 7,盐度低使得电解质浓度较低,气泡形成数量少,从而导致去除效果差异。

试验结果表明,通过将淡水鱼咸水化与泡沫分离技术的有机结合,可有效解决淡水鱼封闭循环水养殖中微小颗粒悬浮物的技术难题,是一种行之有效的去除 TSS 方法。其原理可能是:通过向养殖系统添加电解质(如添加粗盐)可以增大溶液的离子强度,提高泡沫的稳定性,并增加表面活性剂的表面吸附量,降低动态表面张力^[2],最终提高淡水养殖系统的泡沫分离效果。罗非鱼为广盐性鱼类,本试验中,淡水鱼的咸水化对罗非鱼的存活率无明显影响,淡水鱼咸水化在其他淡水鱼养殖中的影响需进一步研究。

相关研究表明,泡沫分离器在海水循环水养殖系统中具有良好的水质净化效果,对微小颗粒悬浮物和溶解有机物有很好的去除效果。泡沫上聚集的大部分是悬浮有机物和粒径 $< 30\ \mu\text{m}$ 的微小颗粒物^[14-15]。循环水养殖系统水体中 90% 的固体颗粒物都是粒径 $< 30\ \mu\text{m}$ 的微小颗粒^[10],这些固体颗粒物中携带的营养物质包括 7% ~ 32% 的 TN, 30% ~ 84% 的 TP^[16]。本试验结果表明,以机械气浮装置作为主要物理过滤水处理环节,在去除颗粒有机物的同时将水体中 TN 与 TP 也同时去除,其平均去除率分别为 $(30.56 \pm 3.62)\%$ 和 $(19.38 \pm 5.27)\%$ 。

综上所述,机械气浮装置作为主要物理过滤水处理环节,并与鱼池双排水技术结合,在半咸水工况下可以承担主要的物理过滤功能,对 TSS、COD、TN、TP 和色度等水质指标去除效果明显,应用效果良好。泡沫分离法具有工艺简单、操作简便、运行稳定、处理效果好、能耗低、投资少等优点,在去除 TSS 的同时还能不同程度的改善 COD、TN、TP、色度等水质指标,尤其适用于污染物浓度较低的封闭循环水养殖系统的废水处理。在当前封闭循环水养殖水处理能耗偏高的情况下^[17],泡沫分离法无疑具有巨大的吸引力和广阔的发展前景。

4 结论

本试验结果表明,以机械气浮装置作为主要物理过滤水处理环节,并与鱼池双排水技术结合,在半咸水工况下可以承担主要的物理过滤功能。其 TSS、COD、TN、TP 和色度的平均去除率分别可

达 $(37.19 \pm 12.04)\%$ 、 $(21.89 \pm 6.19)\%$ 、 $(30.56 \pm 3.62)\%$ 、 $(19.38 \pm 5.27)\%$ 和 $(18.66 \pm 5.56)\%$ 。通过淡水鱼咸水化与泡沫分离技术的有机结合可有效解决淡水鱼封闭循环水养殖中微小颗粒悬浮物的技术难题,是一种行之有效的方法。□

参考文献

- [1] 郑瑞东,刘鹰.泡沫分离法的研究进展.现代渔业信息[J]. 2005, 20(9): 3-7.
- [2] 齐荣,余兆祥,李佟茗.泡沫分离技术及其发展现状[J]. 中国化工文摘, 2004, 5: 46-49.
- [3] 杜守恩.两项新技术及其在海水苗种生产中的应用[J]. 海洋湖沼通报, 1995(3): 59-66.
- [4] 罗国芝,谭洪新,施正峰,等.泡沫分离技术在水产养殖水处理中的应用[J]. 水产科技情况, 1999, 26(5): 202-206.
- [5] 朱兆亮,曹相生,孟雪征,等.气浮净水工艺述评[J]. 环境科学与技术, 2008, 31(8): 55-59.
- [6] 吕玉娟,张雪利.气浮分离法的研究现状和发展方向[J]. 工业水处理, 2007, 27(1): 58-61.
- [7] 吕玉娟,张雪利.气浮分离法的研究现状和发展方向(续)[J]. 工业水处理, 2007, 27(2): 88-91.
- [8] 吕玉娟,张雪利.气浮分离法的研究现状和发展方向(续)[J]. 工业水处理, 2007, 27(3): 89-92.
- [9] 王端洋,刘丹,赵可卉,等.典型气浮净水设备评述[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(9): 1-3.
- [10] 李秀辰,刘洋.气浮分离技术在渔业生产中的应用与展望[J]. 大连水产学院学报, 2005, 20(3): 249-253.
- [11] 郑瑞东,李田,刘鹰.泡沫分离法在工厂化养殖废水处理中的应用研究[J]. 渔业现代化, 2005(2): 33-35.
- [12] 谭洪新,周琪,朱学宝.泡沫分离—臭氧消毒装置的水处理效果研究[J]. 上海环境科学, 2003, 22(12): 987-990.
- [13] 李法松,路扬,陈书琴.溶气气浮系统用于去除养鱼水体中微型固体颗粒物的试验研究[J]. 安庆师范学院学报: 自然科学版, 2007, 13(8): 48-51.
- [14] LAWSON B T. Fundamentals of aquacultural engineering [M]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1995: 192-24.
- [15] BRAMBILLA F, ANTONINI M, CECCUZZI P, et al. Foam fractionation efficiency in particulate matter and heterotrophic bacteria removal from a recirculating sea bass (*Dicentrarchus labrax*) system[J]. Aquacultural Engineering, 2008, 39(1): 37-42.
- [16] FOY R H, ROSELL R. Fractionation of phosphorus and nitrogen loadings from a Northern Ireland fish farm [J]. Aquaculture, 1991, 96(1): 31-42.
- [17] 徐皓,张祝利,张建华,等.我国渔业节能减排研究与发展建议[J]. 水产学报, 2011, 35(3): 472-480.

(下转第 24 页)

Effect of the adding of carbon resource on water quality of pond aquaculture in bio-flocs technology

LUO Liang¹, XU Qiyou¹, ZHAO Zhigang¹, ZU Xiujie², YAN Youli³, JIAO Jianhua⁴

(1 Heilongjiang River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Harbin 150070, China; 2 Fisheries Science Research Institute of Jilin Province, Changchun 130033, China; 3 Freshwater Fisheries Science Institute of Liaoning Province, Liaoyang 111000, China; 4 Tianjin Fisheries Research Institute, Tianjin 300221, China)

Abstract: The higher concentration of ammonia nitrogen and nitrite nitrogen water of aquaculture ponds were selected to evaluate its effect on the pond aquaculture water quality by adding carbon resource in bio-flocs technology aquaculture system. The results found that with the carbon source added, in the Changchun experimental station, experimental group ammonia nitrogen significantly declined, while the control group increased; in the Shenyang experimental station, experimental group nitrite nitrogen and COD had a downward trend, but the control group increased slowly, while, the control group COD began to rise on August 17; in the Tianjin experimental station, test group had a obvious downward trend, but the control group increased constantly. The results showed that the adding of carbon resource can significantly reduce the high levels of ammonia nitrogen in the pond, and had a certain effect on reducing the concentration of nitrite nitrogen and COD.

Key words: bio-flocs; carbon resource; pond aquaculture; water quality

(上接第 4 页)

Water purification effect of foam fraction method in a brackish recirculating aquaculture system

SHAN Jianjun, SONG Benben, ZHUANG Baolu, ZHANG Yulei, CHEN Xiang, WU Fan

(Key Laboratory of Fishery Equipment and Engineering, Ministry of Agriculture; Fishery Machinery and Instrument Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200092, China)

Abstract: With the rapid development of recirculating aquaculture system (RAS) technology, foam fractionation (also called air stripping) was used widely in sea water aquaculture water treatment, but in fresh water rarely, because of salinity. The changing of water quality for foam fractionation inlet and outlet was measured to study the water purification effect of mechanical air flotation foam fractionation methodology in a brackish RAS. The study results showed that, the combination of mechanical air flotation foam fractionation and dual-drain designing technology could undertake the main physical filtration task in a brackish RAS. The removal efficiencies of TSS, COD, TN, TP and color in mechanical air flotation could reach $(37.19 \pm 12.04)\%$, $(21.89 \pm 6.19)\%$, $(30.56 \pm 3.62)\%$, $(19.38 \pm 5.27)\%$ and $(18.66 \pm 5.56)\%$, respectively. Integration of freshwater fish cultured in brackish water and foam fractionation technology is a practical and novel way to resolve the technical problem of removing micro suspended solids in freshwater RAS.

Key words: foam fraction method; mechanical air flotation; recirculating aquaculture system; water purification