

李倩,胡廷尖,刘士力,等. 循环水养殖系统中 3 种生物填料对水质的净化作用[J]. 江苏农业科学,2017,45(1):243-245.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.01.067

循环水养殖系统中 3 种生物填料对水质的净化作用

李倩,胡廷尖,刘士力,辛建美,王雨辰,周志明

(浙江省淡水水产研究所/农业部淡水渔业健康养殖重点实验室,浙江湖州 313001)

摘要:为了研究生物填料在循环水养殖系统中的应用,在室内构建罗氏沼虾循环水养殖系统,研究 3 种类型的生物填料对水质的净化作用。结果表明,3 种生物填料(聚乙烯小球 M_1 、陶瓷环 M_2 、弹性毛刷 M_3)构成的生物滤池对养殖水体总氮(TN)、总磷(TP)、氨氮($\text{NH}_3 - \text{N}$)、亚硝态氮($\text{NO}_2 - \text{N}$)、化学需氧量(COD_{Mn})均有不同程度的去除效果,其中 M_3 对 TN、TP、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的平均清除率分别为 17.81%、17.36%、18.04%,明显高于其他 2 种填料, M_2 对 $\text{NO}_2 - \text{N}$ 的平均清除率为 19.28%,明显高于 M_1 和 M_3 ,3 种填料对 COD_{Mn} 的平均清除率差异不明显。由结果可知,弹性毛刷填料对循环水养殖水质有较好的净化作用,是较为实用的生物填料。

关键词:循环水系统;生物填料;生物膜;水质净化

中图分类号: X52 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)01-0243-03

随着养殖方式的转变和养殖模式的升级,循环水养殖以其节能减排、耗水量少、养殖密度高、资源利用率高等优点逐渐成为养殖业的发展趋势。在循环水养殖系统中,水处理对整个系统的顺畅运行和养殖对象的健康生长有重要的保障作用。在水处理方法中,生物处理法日渐受到人们的关注,特别是生物膜法处理养殖尾水。生物膜由微生物附着于载体上而形成,因产生污泥少、抗冲击、无二次污染、管理方便等特点而广泛应用于循环水养殖系统水处理单元中^[1-4]。填料是生物膜附着生长的载体,其材质、结构、比表面积对生物膜的性能有重要影响,国内外许多学者对生物膜的快速挂膜、污染物去除、硝化性能等方面进行了研究^[5-7]。

本研究选取生产实践中常用的 3 种生物填料作为研究对象,室内模拟构建循环水养殖系统,对不同材质、不同形状的 3 种填料挂膜情况进行研究,评估 3 种填料对水质的净化效果,以期研究不同类型生物填料处理水质效果提供科学依据。同时,也为循环水养殖系统中生物填料的选择及生物膜培养提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

循环水养殖系统由养殖池、沉淀池、生物滤池 3 部分构成,在沉淀池和生物滤池内各安装 1 个小型水泵构成内循环。养殖池、沉淀池、生物滤池分别由有效体积为 150、120、100 L 的聚氯乙烯(PVC)水族箱构成,生物滤池内依次放置 M_1 (聚乙烯球)、 M_2 (陶瓷环)、 M_3 (弹性毛刷)不同类型的生物填料,见图 1。养殖池内放网片,养殖对象为罗氏沼虾,放养密度为 40 尾/箱,平均体质量(28.4 ± 0.89)g。

试验水温(24 ± 1)℃,将外塘养殖水泵入生物滤池内,初始水质指标如下:pH 值 7.4,总氮(TN)含量 3.62 mg/L,总磷(TP)含量 0.084 mg/L,亚硝态氮($\text{NO}_2 - \text{N}$)含量 0.026 mg/L,

收稿日期:2015-11-11

基金项目:浙江省重点科技创新团队计划项目(编号:2011R50029);

浙江省重大科技专项重点农业项目(编号:2013C02009)。

作者简介:李倩(1984—),女,陕西华县人,硕士,工程师,主要从事鱼类繁殖及水处理的研究。E-mail:2008feelkaka@sina.com。

通信作者:周志明,教授级高级工程师,主要从事鱼虾类繁育研发工作。E-mail:zjhzh-zzz@163.com。

[2]仇焕广,廖绍攀,井月,等. 我国畜禽粪便污染的区域差异与发展趋势分析[J]. 环境科学,2013,34(7):2766-2774.

[3]冯磊,李润东. 牛粪单级干发酵产气中试研究[J]. 农业环境科学学报,2011,30(11):2374-2378.

[4]朱圣权,张衍林,张文倩,等. 厌氧干发酵技术研究进展[J]. 可再生能源,2009,27(2):46-51.

[5]Guendouz J, Buffiere P, Cacho J, et al. Dry anaerobic digestion in batch mode: Design and operation of a laboratory-scale, completely mixed reactor[J]. Waste Management, 2010, 30(10):1768-1771.

[6]Briski F, Vukovic M, Papa K, et al. Modelling of composting of food waste in a column reactor[J]. Chemical Papers, 2007, 61(1):24-29.

[7]刘刚金,邓良伟,陈子爱,等. 常温条件下猪粪干发酵的启动[J].

中国沼气,2013,31(3):18-22.

[8]李想,赵立欣,韩捷,等. 农业废弃物资源化利用新方向——沼气干发酵技术[J]. 中国沼气,2006,24(4):23-27.

[9]赵玲. 生物预处理玉米秸秆厌氧干发酵特性及沼渣基质利用的研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2011.

[10]李裕荣,刘永霞,赵泽英,等. 畜禽粪便厌氧发酵的产气特点及其发酵物养分的变化动态[J]. 西南农业学报,2012,25(6):2305-2310.

[11]张光义,李望良,张聚伟,等. 固态厌氧发酵生产沼气技术基础研发与工程应用进展[J]. 高校化学工程学报,2014,28(1):1-14.

[12]孙绪顺,褚春风,李春杰. 反相高效液相色谱测定厌氧反应上清液中挥发性脂肪酸[J]. 净水技术,2009,28(5):64-66.

M₁—聚乙烯小球填料；M₂—陶瓷环填料；M₃—弹性毛刷填料

图1 3种生物填料实物

氨氮(NH₃-N)含量 0.03 mg/L,溶解氧(DO)7.55 mg/L,化学需氧量(COD_{Mn})2.2 mg/L。生物滤池和养殖池连续曝气,整个试验期间系统溶解氧维持在 8.0 mg/L 以上。将生物填料均匀布置在生物滤池中(M₃用细绳均匀悬挂在滤池中),挂膜期间水体缓慢循环流动,待生物膜成熟后,将水流速度调整到正常值(7.5 L/min),每天 09:00 正常投喂。

1.2 样品采集

生物膜成熟后,分别取生物滤池进出口水样,每 7 d 取样 1 次,分别检测 TN^[8]、TP^[9]、NH₃-N^[10]、NO₂-N^[11]、COD_{Mn}^[12]等指标,所用试剂均购自国药集团化学试剂有限公司。养殖池和生物滤池连续曝气,水中溶解氧含量均保持在 8 mg/L 以上,故不再测定溶解氧指标。

1.3 数据处理

数据和图表采用 Excel 软件处理,SPSS16.0 进行 *t* 检验,当 *P* < 0.05 时为差异显著。

2 结果与分析

2.1 3种填料的挂膜成熟时间

当水体中 NO₂-N 浓度降至最低时,表明生物膜培养成熟,硝化系统完全建立^[13]。在生物膜培养期间,3 种填料构建的生物滤池水体中,亚硝态氮的浓度变化趋势相同,都经历了先上升后降低,最后保持较低水平的趋势。由图 2 可知,不同生物填料构建的生物滤池中,M₁(聚乙烯小球填料)的亚硝态氮浓度在 8 月 14 日检测值最低,为 0.007 mg/L,其成熟时间为 29 d;M₂(陶瓷环填料)的亚硝态氮浓度在 8 月 11 日降到最低值,为 0.008 mg/L,成熟时间为 26 d;M₃(弹性毛刷)的亚硝态氮浓度在 8 月 19 日最低,为 0.013 mg/L,成熟时间为 34 d。因此,在相同的培养条件下,3 种生物填料的成熟时间依次为陶瓷环 < 聚乙烯小球 < 弹性毛刷。

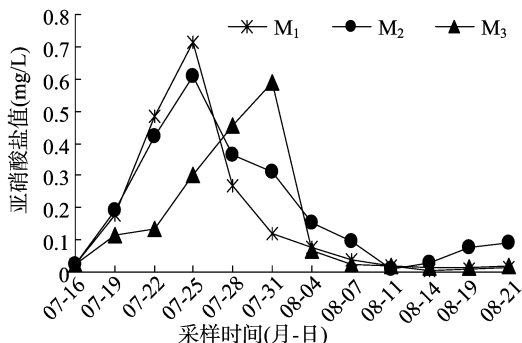


图2 3种填料构建的生物滤池中亚硝态氮含量的变化

2.2 3种生物填料对TN的净化效果

由图 3 可知,在采样周期内,M₁、M₂、M₃ 对 TN 的平均清除率分别为 8.87%、11.10%、17.81%,最高清除率依次为 10.17%、13.02%、17.81%,养殖后期的清除效果优于前期;从平均清除率分析,经 *t* 检验,M₃ 对 TN 的清除率明显高于其他 2 种填料。

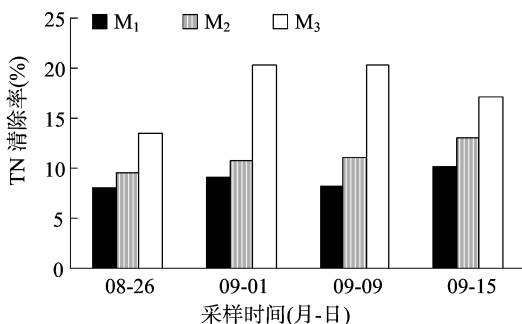


图3 3种填料对总氮(TN)的清除率

2.3 3种生物填料对TP的净化效果

由图 4 可知,待生物膜成熟后,在处理前期(8 月 26 日),3 种填料对 TP 的清除率差异并不明显,随着养殖时间的延长,不同的生物滤池对水体 TP 的清除效果出现差异。从最高清除率分析,M₁、M₃ 的最高清除率出现在采样后期,分别为 11.40%、20.06%,而 M₂ 对 TP 的最高清除率出现在养殖中期,为 13.27%,在整个采样周期内,M₂ 的清除率变化不大。在平均清除率方面,M₃ (17.36%) > M₂ (11.73%) > M₁ (10.39%),M₃ 对 TP 的平均清除率明显高于其他 2 种填料。

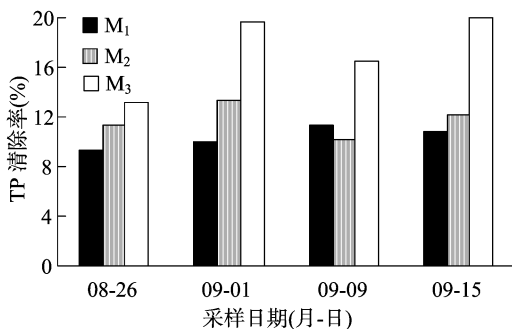


图4 3种填料对总磷(TP)的清除率

2.4 3种生物填料对NH₃-N的净化效果

由图 5 可知,M₁、M₂、M₃ 3 种填料对 NH₃-N 的平均清除率分别为 9.45%、10.20%、18.04%,M₃ 平均清除率最高,M₁ 最低;在养殖后期,M₃ 对 NH₃-N 的清除率达到最高值,为

24.53%。经 t 检验, M_3 对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的平均清除率明显高于其他 2 种生物填料。

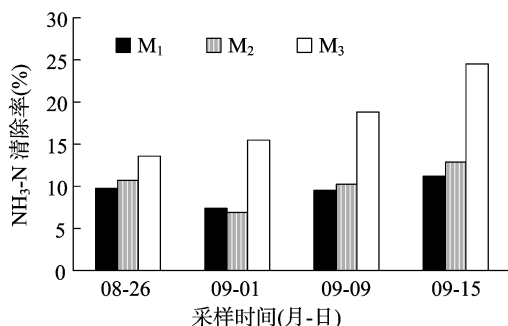


图5 3种填料对总氮($\text{NH}_3 - \text{N}$)的清除率

2.5 3种生物填料对 $\text{NO}_2 - \text{N}$ 的净化效果

由图 6 可知,在采样期间各填料对 $\text{NO}_2 - \text{N}$ 净化趋势相同,呈先升高后降低的趋势。最高清除率出现在 9 月 9 日, M_2 对 $\text{NO}_2 - \text{N}$ 的清除率达 24.00%, 最低值出现在试验初期, M_1 对 $\text{NO}_2 - \text{N}$ 的清除率最低(7.41%)。从平均清除率分析, M_2 最高(19.28%), 其次为 M_3 (12.17%), 最低为 M_1 , 其平均清除率为 11.20%, M_2 对 $\text{NO}_2 - \text{N}$ 的平均清除率明显高于其他 2 种填料。

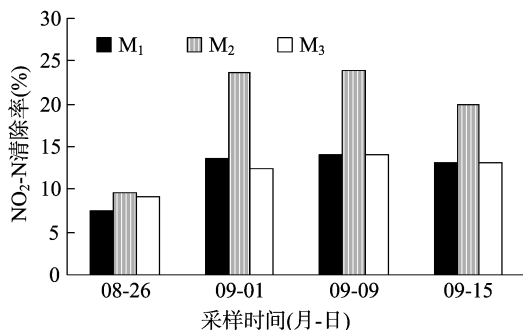


图6 3种填料对亚硝酸盐氮($\text{NO}_2 - \text{N}$)的清除率

2.6 3种生物填料对 COD_{Mn} 的净化效果

COD_{Mn} 反映水体中有机物污染的程度,是衡量有机质含量的重要指标^[14]。由于初始水质指标较好,在整个养殖试验期间, COD_{Mn} 维持在较低水平,生物膜处理前后水体中的 COD_{Mn} 含量差异不大。 M_1 、 M_2 、 M_3 3 种填料对 COD_{Mn} 的平均清除率分别为 8.57%、7.26%、11.19%, 无明显差异(图 7)。

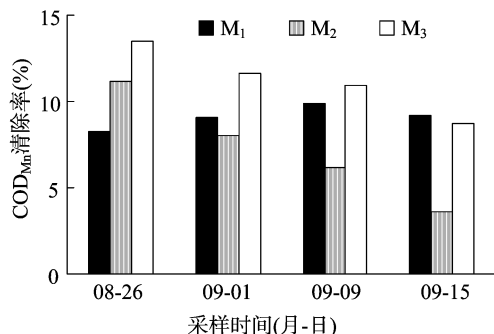


图7 3种填料对高锰酸盐指数(COD_{Mn})的清除率

3 结论

填料的物理性质、水体初始污染物浓度、水流速度等因素对填料净化水体的效果有重要影响。比表面积越大、挂膜越容易、细菌组成越丰富的填料净化水体效果越好。本试验选择的 3 种生物填料中,弹性毛刷比表面积最大,最有利于细菌的生长,结合细菌 16S rRNA 基因扩增结果(结果未列出),弹性毛刷生物膜上细菌种类最多,由变形菌门 26 个属细菌组成。而硝化螺旋菌是陶瓷环填料中可鉴别细菌中的优势菌,这与陶瓷环填料对水体中 $\text{NO}_2 - \text{N}$ 的清除率最高的结果一致。

本试验选取生产中常用的 3 种生物填料作为研究对象,对其水质净化能力进行了分析,其中弹性毛刷填料在本试验条件下对水体中 TN、TP、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的平均清除率明显高于其他 2 种填料,而陶瓷环填料对水体中 $\text{NO}_2 - \text{N}$ 的清除率最高。在自然挂膜条件下,虽然弹性毛刷填料对水体中大部分污染物有较高的清除率,但从挂膜时间分析,弹性毛刷需要的时间最长,这对其生产实践中的应用有一定的限制,如何优化挂膜方法,缩短挂膜时间,实现其快速稳定挂膜是今后值得研究的方向。

参考文献:

- [1] Jeong S, Bae H, Naidu G, et al. Bacterial community structure in a biofilter used as a pretreatment for seawater desalination [J]. *Ecological Engineering*, 2013, 60: 370–381.
- [2] Liu H, Che X, Zhang Y L. Performance of sequencing microbead biofilters in a recirculating aquaculture system [J]. *Aquacultural Engineering*, 2013, 52: 80–86.
- [3] 傅雪军, 马绍策, 曲克明, 等. 循环水养殖系统中自然微生物生物膜形成过程实验[J]. *海洋环境科学*, 2010, 29(5): 713–717.
- [4] Prehn J, Waul C K, Pedersen L. Impact of water boundary layer diffusion on the nitrification rate of submerged biofilter elements from a recirculating aquaculture system[J]. *Water Research*, 2012, 46(11): 3516–3524.
- [5] 张正, 王印庚, 曹磊, 等. 海水循环水养殖系统生物膜快速挂膜试验[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(15): 158–163.
- [6] 周律, 李贺, Hangsik S, 等. 污水生物处理中生物膜传质特性的研究进展[J]. *环境科学学报*, 2011, 31(8): 1580–1586.
- [7] 张明华, 杨菁, 王秉心, 等. 工厂化海水养鱼循环系统的工艺流程研究[J]. *海洋水产研究*, 2004, 25(4): 65–70.
- [8] 水质总氮的测定碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法: HJ 636—2012[S].
- [9] 水质单质磷的测定磷钼蓝分光光度法(暂行): HJ 593—2010[S].
- [10] 水质氨氮的测定纳氏试剂分光光度法: HJ 535—2009[S].
- [11] 水质亚硝酸盐氮的测定分光光度法: GB/T 7493—1987[S].
- [12] 工业循环冷却水中化学需氧量(COD)的测定——高锰酸钾法: GB/T 15456—2008[S].
- [13] 王威. 海水循环水养殖系统中生物滤料的微生物挂膜与水处理效果研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012: 22.
- [14] 马建新, 刘爱英, 宋爱芹. 对虾病毒病与化学需氧量相关关系研究[J]. *海洋科学*, 2002, 26(3): 68–71.