

四种填料滤器处理养鱼废水的硝化性能

宋奔奔^{1,2}, 刘 鹰^{1*}, 石芳永³, 傅松哲⁴, 刘志培⁴, 张延青³, 倪琦²

(1. 中国科学院海洋研究所, 青岛 266071; 2. 中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所, 上海 200092;
3. 青岛理工大学环境工程学院, 青岛 266033; 4. 中国科学院微生物研究所, 北京 100101)

摘 要: 为了研究不同填料对海水养殖废水处理的硝化效能, 并为生物滤器硝化动力学模型的构建、生物滤器的设计与运行提供基础数据支持, 本文在 5 个化学耗氧量/总氮比 0、0.8、2、6、12 条件下, 研究了竹制空心生化球、麦饭石、陶粒和生物滤球等 4 种填料的生物滤器去除模拟海水养殖废水中化学需氧量和总氮, 以及生物膜微生物种群结构和数量的变化。结果表明: 在低化学需氧量/总氮 (<6) 条件下麦饭石填料的生物滤器具有最高的化学需氧量和总氮去除效能, 最高分别可达 850 和 21 g/(m³·d) (化学需氧量/总氮=0.8); 竹制空心生化球次之, 其化学需氧量和总氮去除效能最高分别可达 750 和 23 g/(m³·d) (化学需氧量/总氮=6); 陶粒略次于竹制空心生化球, 其化学需氧量和总氮去除效能最高分别可达 650 和 15 g/(m³·d); 而生物滤球效果最差, 其化学需氧量和总氮去除效能最高分别可达 650 和 11 g/(m³·d); 化学需氧量/总氮的升高将抑制总氮去除效能, 但可提高化学需氧量的去除效能。在温度为 15~22℃, 水力停留时间为 0.5 h 的运行条件下, 生物滤器的生物膜成熟需 40~50 d 左右: 竹制空心生化球滤器最慢, 约需 50 d; 其他填料约需 40 d。竹制空心生化球滤器在高化学需氧量/总氮, 较其他试验填料滤器具有更好的总氮去除效能, 在海水养殖生产中有良好的应用前景。

关键词: 硝化, 细菌, 废水处理, 封闭循环水养殖, 载体填料

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2010.11.040

中图分类号: S959, X714

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2010)-11-0231-06

宋奔奔, 刘 鹰, 石芳永, 等. 四种填料滤器处理养鱼废水的硝化性能[J]. 农业工程学报, 2010, 26(11): 231—236.
Song Benben, Liu Ying, Shi Fangyong, et al. Nitrification of biofilters packed with four different substrates for treating mariculture wastewater[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(11): 231—236. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

中国是水产养殖大国, 养殖总产量已占世界养殖总产量的 70% 以上, 但目前存在一些问题严重制约着水产养殖业的健康可持续发展, 主要表现在: 渔业水域环境污染严重; 养殖药物滥用, 药物污染及残留问题越来越严重; 水产养殖及水产品加工操作不规范以及法律法规不完善等^[1]。封闭循环水养殖 (recirculating aquaculture system, RAS) 具有节水、省地、对环境友好、生产可控性强、高密度、产品质量高等优点, 被认为是水产养殖业发展的主导方向之一。封闭循环水养殖模式在国外发达国家得到广泛应用, 当前欧洲绝大多数水产养殖企业的苗种孵化和育成均采用循环水工艺^[2]。

生物滤器在封闭循环水处理中发挥着核心作用, 其主要功能是去除总氮 (TAN)、亚硝酸盐氮 (NO₂⁻-N)、CO₂ 和有机物以及增氧等, 是所有 (海水、淡水) 封闭循环水处理系统成功运行的关键, 同时也是投资和能耗最

大的水处理单元^[2]。国内常用填料是蜂窝填料、软性填料、半软性填料及复合填料等固定型填料, 但常会遇到堵塞、结团、布气布水不均匀等问题。据报道, 通过向水体添加碳水化合物可促进异养细菌对 N 源的吸收利用^[3], 但进水化学耗氧量/总氮 (C/T) 较高会推迟硝化细菌的成功挂膜, 硝化效能减少 70%^[4]。硝化性能随着进水 C/T 的升高呈指数递减关系^[5]。由此可见, 研究不同填料、不同 C/T 对生物滤器中的化学需氧量 (COD)、TAN 去除效能以及生物膜微生物种群和数量的影响具有重要的意义。

本文通过研究竹制空心生化球、麦饭石、陶粒和生物滤球等 4 种填料生物滤器对人工模拟海水养殖废水的 COD、TAN 去除效能, 及生物膜微生物种群和数量; 并在不同的 C/T 条件下, 研究并评价填料和 C/T 对生物滤器硝化效能的影响, 探讨了污染物的去除机理, 从而为建立海水生物滤器硝化动力学模型提供重要参数和理论依据, 并丰富海水封闭循环水养殖理论和技术。

1 材料与方法

1.1 试验材料与条件

1.1.1 试验材料

试验选用的 4 种填料分别为竹制空心生化球 (为自制的改进型专利产品, 发明专利号: ZL02158870.8, 竹材)、麦饭石 (选自淄博某陶瓷公司, 无机材料)、陶粒 (选自江西萍乡某公司, 无机材料) 和生物滤球 (主要成分是聚乙烯)。填料的主要参数如表 1 所示。

收稿日期: 2010-01-21 修订日期: 2010-09-05

项目基金: 国家 863 计划 (2006AA100305); 中科院科技行动计划项目 (TJ2X2-YW-16); 国家科技支撑计划项目 (2006BAD09A03)

作者简介: 宋奔奔 (1983—), 男, 山西临汾人, 研究方向: 水产养殖工程与生态学。山东省青岛市南海路 7 号 中国科学院海洋研究所, 266071。Email: benpeak@126.com

*通信作者: 刘 鹰 (1969—), 男, 陕西安康人, 研究员, 博士, 研究方向: 养殖环境工程与生态学。山东省青岛市南海路 7 号 中国科学院海洋研究所, 266071。Email: yinliuic@126.com

表 1 4 种填料的物理参数
Table 1 Physical parameters of four substrates

填料	比表面积/ ($\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)	表观密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	真密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	个体表面积/ cm^2	粒径/ mm
竹制空心 生化球	0.90	0.45×10^3	0.71	15.23	18.88 ± 4.39
麦饭石	2.55	2.46×10^3	2.66	0.95	5.51 ± 0.22
陶粒	5.7	1.38×10^3	2.06	8.38	16.33 ± 2.02
生物滤球	—	0.97×10^3	—	—	32.16 ± 0.00

生物滤器系统构造如图 1 所示，其中生物滤器由内径为 90 mm 的白色聚氯乙烯 (PVC) 管制作，高度为 1 200 mm，填料的有效装填高度为 1 000 mm；储水池容积为 1 m^3 ，水位控制池的底部标高较生物滤器顶部高 50 cm，溢流式出水；采用量程为 5~50 L/h 的液体流量计控制水力停留时间 (HRT)。

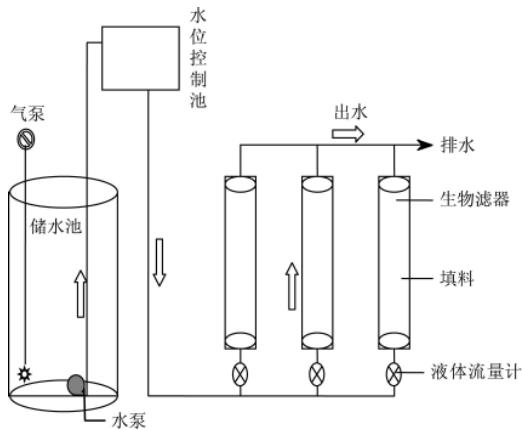


图 1 试验生物滤器系统示意图
Fig.1 Pilot biofilter system

1.1.2 试验条件

试验于 2008 年 4—10 月在室外条件下进行。试验条件为：水温 15~22℃、盐度 27.5~28.5‰、pH 7.80~7.89、HRT 为 30 min、TAN 负荷 0.5 mg/L、C/T (COD/TAN) 为 0、0.8、2、6、12 (通过人工添加葡萄糖和氯化铵进行控制)，试验生物滤器系统黑暗避光。实际运行控制条件为：当 C/T 为 0、0.8、2、6、12 时，其进水 TAN 平均质量浓度分别为 0.497、0.539、0.419、0.126 和 0.929 mg/L。人工模拟海水养殖废水组成如表 2 所示。

表 2 人工养殖废水母液的组成成分^[6]
Table 2 Composition of stock solution in waste water

成分	质量浓度/($\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)	成分	质量浓度/($\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)
NH_4Cl	1377	Na_2HPO_4	159
NaHCO_3	3500	KH_2PO_4	153
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	36	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	5

注：100 g 上述物质的混合物中含有 NH_3 8.64 g，表中数据来源于参考文献[6]。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计

试验滤器分 4 组，每组试验滤器设 3 个重复，每组选用一种填料，共 12 个生物滤器。在不同 C/T 条件下，测定每个滤器处理模拟养殖废水的 COD 和 TAN 去除效

能以及填料表面的生物膜细菌种群和数量。

1.2.2 指标测定方法

水质测定：TAN、 NO_2^- -N、溶解氧 (DO)、pH 等水质指标根据国家海洋监测规范 GB 17378.4—1998 进行测定。比表面积测定：根据多点 BET (Brunauer、Emmett、Teller) 方法原理，由北京理化检测中心采用仪器 Konta-NOVA 4200e 测定。真密度测定：由北京理化检测中心采用仪器 Konta-Quantachrome Ultrapycnometer 1000 测定。微生物测定：采用最大或然法 (most probable number, MPN) 法检测氨氧化细菌 (ammonium oxidizing bacteria, AOB)、亚硝酸盐氧化细菌 (nitrite oxidizing bacteria, NOB) 数量；采用菌落形成单位 (colony forming unit, cfu) 法 (海洋琼脂 2216 培养基) 检测总异养细菌数量 (heterogeneous bacteria, HB) ^[7]。

1.2.3 数据处理分析

试验数据结果采用 MS-Excel 以及 SPSS 统计软件进行分析。其中 COD 和 TAN 去除效能公式

$$R_{\text{COD}} = (c_1 - c_2) \times v \times 24 \times \frac{1}{V} \quad (1)$$

$$R_{\text{TAN}} = (c'_1 - c'_2) \times v \times 24 \times \frac{1}{V} \quad (2)$$

$$\text{TAN 去除率} = \frac{\text{进水质量浓度} - \text{出水质量浓度}}{\text{进水质量浓度}} \times 100\% \quad (3)$$

式中， c_1 、 c_2 分别为进水、出水 COD 质量浓度，mg/L； c'_1 、 c'_2 分别为进水、出水 TAN 质量浓度，mg/L； v 为水流流量，L/h； V 为填料体积，L/h； R_{COD} 、 R_{TAN} 为去除效能， $\text{g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 。

2 结果与分析

2.1 不同填料生物滤器对 COD 的去除效能

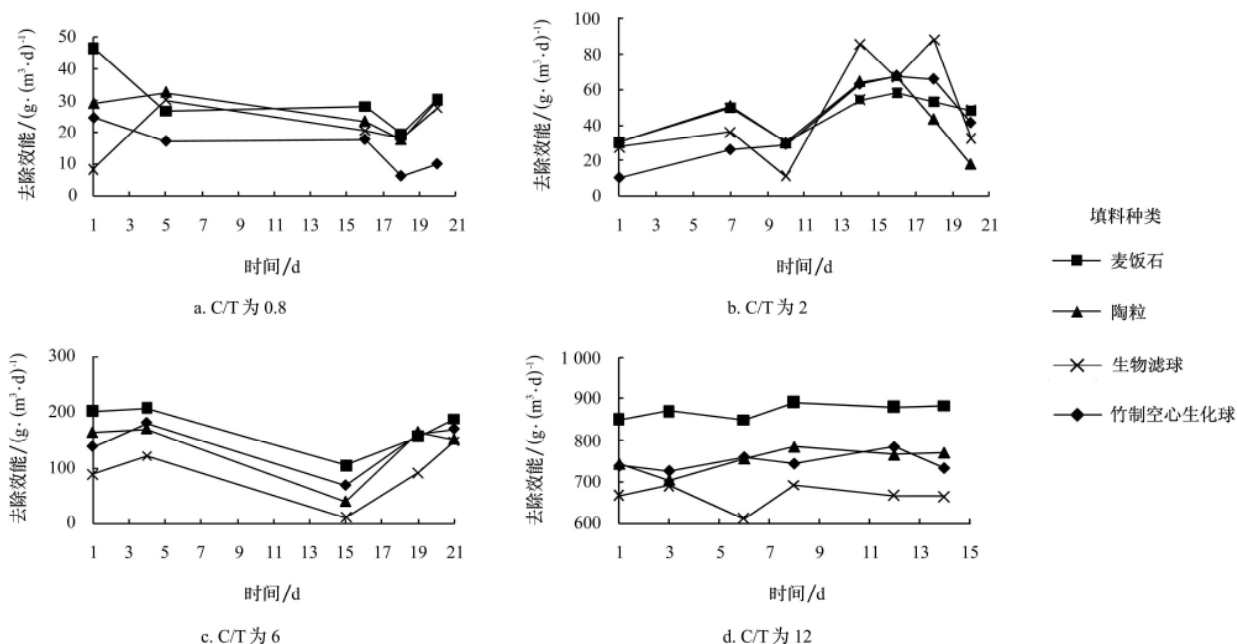
如图 2 所示，当 C/T 为 0.8 时，麦饭石生物滤器对 COD 的去除效能最高，达到 47 $\text{g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ；竹制空心生化球、陶粒和麦饭石填料滤器呈下降趋势，而生物滤球略呈上升趋势。当 C/T 为 2 时，生物滤球滤器的 COD 去除效能最高；竹制空心生化球填料的滤器 COD 去除效能稳定上升；陶粒填料的去除效能前期相对保持稳定，约 60 $\text{g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ，后期下降明显。当 C/T 为 6 时，麦饭石的 COD 去除效能最高，第 4 天时达到 207 $\text{g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ；生物滤球滤器的去除效能最差，且波动较大。当 C/T 为 12 时，麦饭石滤器的 COD 去除效能最高，约为 850 $\text{g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ；而竹制空心生化球和陶粒变化基本一致，约为 750 $\text{g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ；生物滤球滤器的去除效能最低，约为 650 $\text{g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 。

2.2 不同填料生物滤器对 TAN 的去除效能

如图 3 所示，不同填料生物滤器在不同 C/T 条件下，具有不同的 TAN 去除效能。当 C/T 为 0 时，各种填料 TAN 去除效能总体呈上升趋势，麦饭石滤器具有最高的去除效能，最高达 18 $\text{g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ；竹制空心生化球与陶粒滤器相近，最高可达 12 $\text{g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 。当 C/T 为 0.8 时，麦饭石滤器的 TAN 去除效能高于其他填料的滤器，为 21 $\text{g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ；陶粒滤器的 TAN 去除效能次之，为 15 $\text{g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ；生物滤

球滤器的 TAN 去除效能最低, 为 $11 \text{ g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$; 在试验期内, 4 种填料的滤器去除 TAN 效能总体波动不大。当 C/T 为 2 时, 麦饭石滤器的去除效能最高, 最高达 $16 \text{ g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$; 竹制空心生化球和陶粒滤器基本一致, 最

高达 $12 \text{ g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$; 生物滤球滤器仅为 $2 \text{ g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 。当 C/T 为 6 时, 竹制空心生化球滤器的 TAN 去除效能最高, 最高达 $23 \text{ g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$; 其他填料均呈下降趋势。当 C/T 为 12 时, 不同填料的滤器 TAN 去除效能均出现下降趋势。



注: C/T 为化学耗氧量/总氮氮, 下同

图 2 不同填料生物滤器的化学需氧量 (COD) 去除效能

Fig.2 COD removal capacity of biofilters charged with different substrates

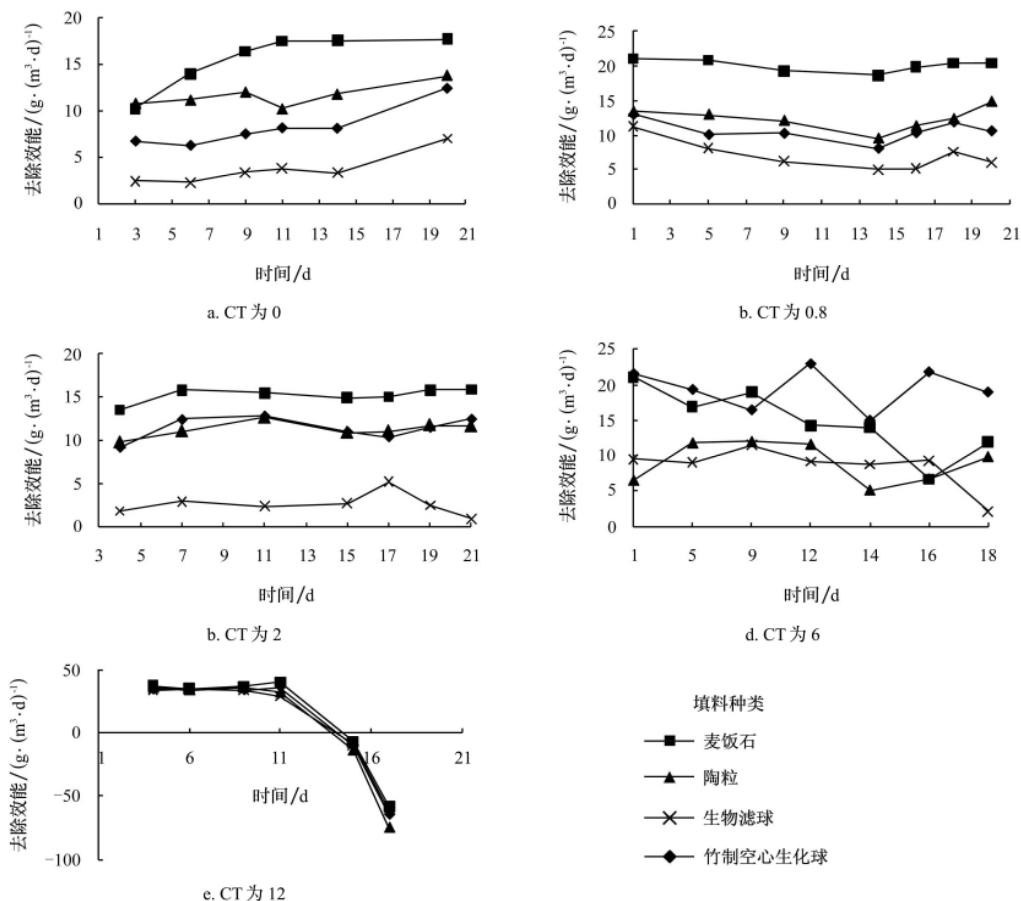
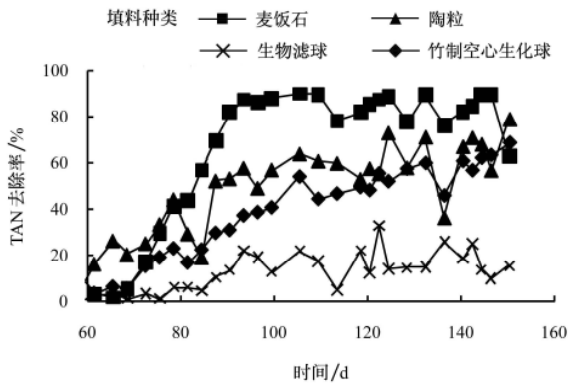


图 3 不同填料生物滤器的总氮氮 (TAN) 去除效能

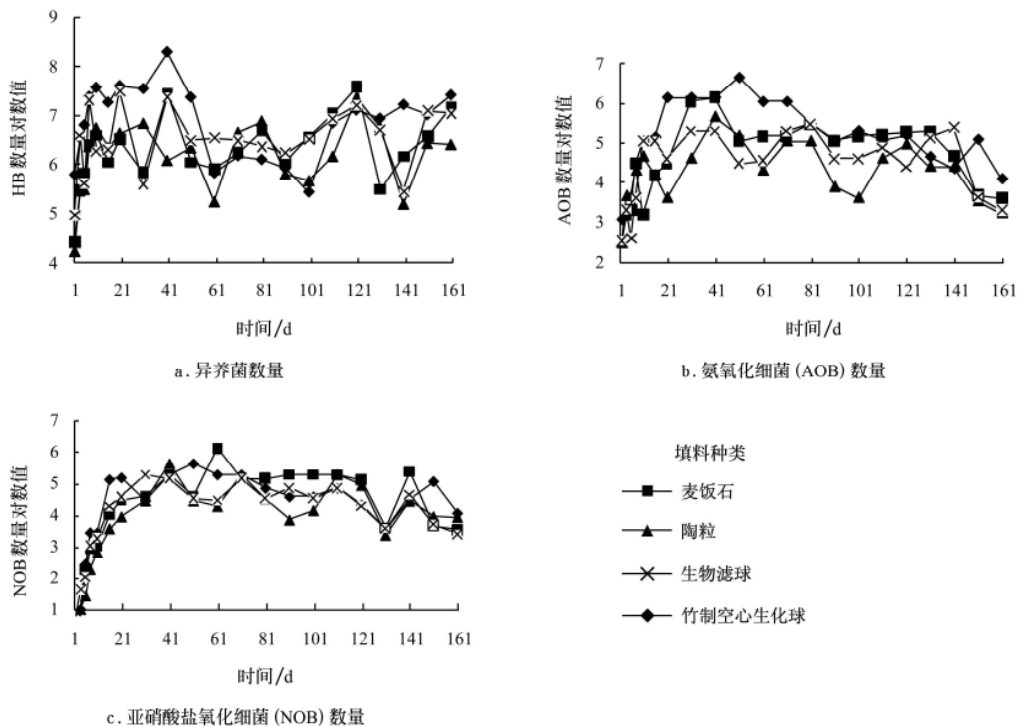
Fig.3 TAN removal capacity of biofilters charged with different substrates

如图 4 所示, 麦饭石生物滤器的 TAN 去除率最高, 在第 96 d 稳定后, 约 80%~90%; 陶粒生物滤器的 TAN 去除百分比在第 90 d 稳定后, 约 50%~70%; 生物滤球生物滤器的 TAN 去除百分比最低, 在第 96 d 稳定后约 8%~30%。与其他滤料不同, 竹制空心生化球的 TAN 去除率随时间呈直线上升, 其拟合曲线为: $y = 0.0066x + 0.085$ (式中 x 为时间, d; y 为 TAN 去除率; $R^2 = 0.92$), 并在第 159 d 到达 70% 的最高值。其他填料在第 96 d 后维持相对稳定。



注: 化学耗氧量/总氮 (C/T) 为 6

图 4 4 种填料生物滤器的总氮 (TAN) 去除率
Fig.4 TAN removal ratio of biofilters charged with different substrates



注: 化学耗氧量/总氮 (C/T) 为 6

图 5 4 种填料生物滤器的异养菌数量与硝化细菌数量

Fig.5 Heterogeneous bacteria (HB), ammonium oxidizing bacteria (AOB), and nitrite oxidizing bacteria (NOB) number of biofilters charged with different substrates

3 讨论

随着 C/T 的增加, 4 种填料滤器的 COD 去除效能均

2.3 不同填料生物滤器的异养菌与硝化细菌数量变化

如图 5 所示, 陶粒滤器生物膜上的异养细菌 (heterogeneous bacteria, HB) 数量大约在第 30 和 120 d 出现最高值; 其它填料滤器的异养菌数量分别在第 40 d 和 120 d 达到峰值, 超过 10^7 cfu/mL。生物滤球滤器的异养菌数量波动范围最大。

如图 5b 所示, 各种填料滤器的 AOB 数量变化趋势较一致: 从 10^3 cfu/mL 开始, 在第 40 d 左右升高到 10^6 cfu/mL 左右, 而后基本维持在 10^5 cfu/mL 左右。说明 AOB 数量增长并达到稳定状态约需 40 d。竹制空心生化球滤器的 AOB 数量最高, 在第 50 d 达到 4.47×10^6 cfu/mL; 麦饭石、陶粒和生物滤球滤器的 AOB 数量在第 40 d 达到最高, 分别为 1.38×10^6 、 4.47×10^5 和 1.00×10^5 cfu/mL。

如图 5c 所示, 不同填料滤器的 NOB 数量到达稳定状态约需 40 d 左右。麦饭石滤器的 NOB 数量最高, 并在第 60 d 达到峰值, 达到 1.41×10^6 cfu/mL; 竹制空心生化球次之, 竹制空心生化球滤器的 NOB 数量在第 40 d 达到峰值, 达到 4.47×10^5 cfu/mL; 生物滤球滤器的 NOB 数量再次之, 在第 30 d 即达到峰值, 达到 2.00×10^5 cfu/mL; 陶粒滤器的 NOB 数量总体水平最低, 在第 40 d 达到峰值, 达到 4.47×10^5 cfu/mL。

出现升高的趋势。生物滤球滤器的去除效能出现波动式上升, 波动较大反映填料的微生物附着性较差。麦饭石具最高去除效能的可能原因是: 有良好的吸附作用, 且

粒径最小及具最大的总表面积。而竹制空心生化球滤器的 TAN 去除效能 C/T 为 6 时较其它填料高。在养殖生产中, 养殖水体的 C/T 约为 6~10^[8], 可见竹制空心生化球较适合应用于水产养殖生产实践。何洁等^[9]发现 3 种载体(沙子、活性炭、沸石)对养殖废水(TAN 为 3 mg/L)的 TAN 去除效能分别为 34.79、35.60 和 36.17 g/(m³·d)。本试验进水 TAN 较低可能是本试验 TAN 去除效能与之相比较低的原因。

当 C/T 为 0.8 时, 4 种填料滤器的 TAN 去除效能最高。随着 COD 浓度的升高对 TAN 去除效能有一定的抑制作用, 当 C/T 为 12, 生物膜硝化系统遭受严重破坏, 导致硝化效能异常。氨氮去除效能出现负值的原因可能为: 过高的 COD 浓度导致生物膜结构剧变, 抑制硝化过程; 且细菌死亡后分解产生大量氨氮。Zhu 等^[10]也认为硝化性能随着有机物质量浓度的升高而降低。填料的选择影响到生物滤器去除 TAN 的抗负荷、抗冲击能力及运行稳定性。麦饭石的 TAN 去除率波动较小, 约在 80%~90% 之间, 说明其去除 TAN 性能稳定和抗冲击能力较好; 而生物滤球滤器的 TAN 去除率波动最大(约 8%~30%), 说明抗负荷能力较差。

4 种填料滤器生物膜上的异养菌数量在 40 d 左右达到相对稳定状态。竹制空心生化球滤器的异养菌数量是最高的, 而生物滤球滤器的波动最大。麦饭石和陶粒滤器的异养菌数量变化规律非常相近; 这是由于两者均为无机填料, 采用相近的制造工艺、性质相近的缘故。Michaud 等^[11]证明 C/T 与生物滤器中的异养菌数量有很强的相关性, 与本试验结果一致。

通过生物滤器来去除水产养殖微污染水中的 TAN 是循环水养殖系统设计的首要目标^[6]。生物滤器去除 TAN 主要是通过 AOB 和 NOB 进行硝化作用而实现。由于 AOB 催化的亚硝化过程为硝化作用的限速步骤, 故 AOB 的数量是硝化过程建立的指标之一^[12]。本试验硝化作用建立、系统稳定成熟的判断标准为硝化细菌的数量增长到相对稳定状态所在的转折点处。竹制空心生化球滤器的硝化过程建立约需 50 d。麦饭石、陶粒以及生物滤球滤器硝化过程的建立约需 40 d。这与罗国芝等^[13]和 Nijhof 等^[14]的报道较为一致。在淡水封闭循环水系统中生物滤器硝化功能的完全建立需要 37~38 d^[13], 而海水生物滤器需 40~80 d^[14]。本试验中, 异养菌的数量在第 40~50 d 出现急剧的下降, 与刘艳红等^[15]报道在第 35~42 d 生物膜出现大面积脱落的状态相似, 但时间滞后。

本研究表明, 细菌数量的变化以及 TAN 的去除效能受细菌膜生长周期及其进水稳定性的影响。Tseng 等^[16]使用浸没式生物滤器得到的结论与本试验相一致。Douglas G 等认为硝化细菌生长较慢, 仅为异养细菌的 10%; 且硝化效率是生物滤器中有机物含量的函数^[17]。本试验亦证明硝化细菌的数量低于异养细菌的数量。

4 结 论

本研究表明, 在低 C/T 下(<6)麦饭石滤器具有最高的化学耗氧量(COD)去除效能, 竹制空心生化球次

之, 而生物滤球滤器的去除效能最低。麦饭石滤器的 COD 和 TAN 去除速效能最高分别可达 850 (C/T 为 12) 和 21 g/(m³·d) (C/T 为 0.8); 竹制空心生化球滤器的 COD 去除效能, 最高分别达 750 (C/T 为 12) 和 23 g/(m³·d) (C/T 为 6); 陶粒略次于竹制空心生化球, 其化学耗氧量和总氨氮去除效能最高分别可达 650 和 15 g/(m³·d); 而生物滤球滤器的去除效能最低, 最高分别达 650 (C/T 为 12) 和 11 g/(m³·d) (C/T 为 0.8)。但是竹制空心生化球滤器在较高 C/T 下(6 以上)具较高的 TAN 去除效能, 在水产养殖实际生产中有一定的应用前景。化学耗氧量/总氨氮的提高可提高化学耗氧量的去除效能, 但抑制总氨氮的去除效能。

与其他 3 种填料不同, 竹制空心生化球滤器的 TAN 去除率的变化呈直线上升趋势。硝化细菌的数量低于异养细菌的数量。在温度为 15~22 ℃, 水力停留时间为 0.5 h 的运行条件下, 本试验各生物滤器的硝化细菌生物膜成熟需 40~50 d 左右, 竹制空心生化球滤器最慢, 需要 50 d; 其他填料约需 40 d。竹制空心生化球滤器的氨氧化细菌数量最高, 可达 4.47×10⁶ cfu/mL。

【参 考 文 献】

- [1] 罗国芝, 吴红星, 谭洪新, 等. 闭合循环养殖车间 HACCP 体系的建立[J]. 上海水产大学学报, 2005, 14(2): 143—148.
Luo Guozhi, Wu Hongxing, Tan Hongxin, et al. Establishment of HACCP system in the recirculating aquaculture workshop[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2005, 14(2): 143—148. (in Chinese with English abstract)
- [2] 刘鹰. 欧洲循环水养殖技术综述[J]. 渔业现代化, 2006, 6(6): 47—49, 38.
Liu Ying. European recirculating aquaculture system-A review[J]. Fishery Modernization, 2006, 6(6): 47—49, 38. (in Chinese with English abstract)
- [3] Avnimelech Y. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems [J]. Aquaculture, 1999, 176(3/4): 227—235.
- [4] Okabe S, Oozawa Y, Hirata K, et al. Relationship between population dynamics of nitrifiers in biofilms and reactor performance at various C/N ratios[J]. Water Resources, 1996, 30(7): 1563—1572.
- [5] Carrera J, Vicent T, Lafuente J. Effect of influent COD/N ratio on biological nitrogen removal (BNR) from high-strength ammonia industrial wastewater[J]. Process Biochem, 2004, 39(12): 2035—2041.
- [6] Zhu Songming, Chen Shulin. An experimental study on nitrification biofilm performances using a series reactor system[J]. Aquacultural Engineering, 1999, 20(4): 245—259.
- [7] 徐金森, 郑天凌, 郭清华, 等. 两种海洋细菌对赤潮藻的细胞生物量的影响研究[J]. 海洋科学, 2002, 26(12): 57—67.
Xu Jinsen, Zheng Tianling, Guo Qinghua, et al. Influence on the cell biomass of red tide AL GA alexandrium tamarens (Lebour) balach cultured with two marine bacteria[J]. Marine Sciences, 2002, 26(12): 57—67. (in Chinese with English abstract)
- [8] 陈祖峰, 郑爱榕. 海水养殖自身污染及污染负荷估算[J]. 厦

- 门大学学报: 自然科学版, 2004, 43(B8): 258—262.
- Chen Zunfeng, Zheng Airong. Mariculture self-pollution and estimation of pollutant load[J]. Journal of Xiamen University: Natural Science, 2004, 43(B8): 258—262. (in Chinese with English abstract)
- [9] 何洁, 刘长发, 王海, 等. 3 种载体生物滤器对养殖废水处理效果[J]. 中国水产科学, 2003, 10(3): 242—245.
- He Jie, Liu Changfa, Wang Hai, et al. Treatment of cultivating wastewater by three types of filter media[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2003, 10(3): 242—245. (in Chinese with English abstract)
- [10] Zhu Songming, Chen Shulin. Effects of organic carbon on nitrification rate in fixed film biofilters[J]. Aquacultural Engineering, 2001, 25 (1): 1—11.
- [11] Michaud L, Blancheton J P, Bruni V, et al. Effect of particulate organic carbon on heterotrophic bacterial populations and nitrification efficiency in biological filters[J]. Aquacultural Engineering, 2006, 34(3): 224—233.
- [12] 郝永俊, 吴松维, 吴伟祥, 等. 好氧氨氧化菌的种群生态学研究进展[J]. 生态学报, 2007, 27(4): 1573—1582.
- Hao Yongjun, Wu Songwei, Wu Weixiang, et al. Research progress on the microbial ecology of aerobic ammonia-oxidizing bacteria[J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(4): 1573—1582. (in Chinese with English abstract)
- [13] 罗国芝, 孙大川, 冯是良, 等. 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[J]. 水产学报, 2005, 29(4): 574—577.
- Luo Guozhi, Sun Dachuan, Feng Shiliang, et al. The function establishment of biofilter in recirculating commercial fish culture system[J]. Journal of Fisheries of China, 2005, 29(4): 574—577. (in Chinese with English abstract)
- [14] Nijhof M B. Fixed film nitrification characteristics in sea-water recirculation fish culture systems[J]. Aquaculture, 1990, 87(2): 133—143.
- [15] 刘艳红, 罗国芝, 朱学宝. 海水闭合循环系统生物滤器微生物特性研究[J]. 农业环境科学学报, 2004, 23(3): 540—544.
- Liu Yanhong, Luo Guozhi, Zhu Xuebao. Microbial characteristics of biofilter in a closed marine system[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2004, 23(3): 540—544. (in Chinese with English abstract)
- [16] Tseng Kuofeng, Wu Kuolin. The ammonia removal cycle for a submerged biofilter used in a recirculating eel culture system[J]. Aquacultural Engineering, 2004, 31(1/2): 17—30.
- [17] Douglas G, Drennan II, K C Hosler, et al. Standardized evaluation and rating of biofilters: II. Manufacturer's and user's perspective[J]. Aquacultural Engineering, 2006, 34(3): 403—416.

Nitrification of biofilters packed with four different substrates for treating mariculture wastewater

Song Benben^{1,2}, Liu Ying^{1*}, Shi Fangyong³, Fu Songzhe³, Liu Zhipei⁴, Zhang Yanqing³, Ni Qi²

(1. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China;

2. Fishery Mechanical and Instrument Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200092, China;

3. Environment Engineering School, Qingdao Technological University, Qingdao 266033, China

4. Institute of Microbiology, Chinese Academy of sciences, Beijing 100101, China;)

Abstract: To explore mariculture wastewater removal capacity by biofilter and to acquire the parameters of nitrification kinetics in biofilter for promoting RAS applied study and extensive application, Bamboo Ring, Maifan Stone, Ceramic Pellet and Plastic Ball (PE) substrates were packed into different biofilters. The physical chemistry characters of substrates, COD and ammonia nitrogen removal capacity were investigated and evaluated by simulated mariculture wastewater under five C/T ratio (COD/TA N=0, 0.8, 2, 6, 12). The results showed that 1) COD and TAN removal capacities of biofilter packed with Maifan Stone substrate were the highest under low C/T (<6), with the highest rate of 850 and 21 g/(m³·d) (C/T=0.8) respectively. The second was the Bamboo Ring substrate, with the highest rate of 750 and 23 g/(m³·d) (C/T=6) respectively. As carbon concentration improving, the TAN removal rate decreased and COD removal rate increased. 2) Under the condition of 15–22°C and HRT 0.5 h, nitrobacteria number for different substrates reached a plateau and matured in 40–50 d, Bamboo Ring in 50 d, others in 40 d. Choosing different substrate can impact the running stability of biofilter. Substrate is closely related with biofilm maturation duration and nitrification process, and affects nitrifying capacity obviously. Bamboo Ring substrate can remove TAN with the highest rate under higher C/T (>6) ratio condition and has a potential in RAS production.

Key words: nitrification, bacteria, wastewater treatment, marine recirculation aquaculture system, substrate