

3种载体上生物膜的硝化性能

何洁, 刘长发, 张红霞

(大连水产学院 养殖系, 农业部海洋水产增养殖生态学重点开放实验室, 辽宁 大连 116023)

摘要:通过测定水中氨氮、亚硝酸盐氮和硝酸盐氮的含量变化研究了沙子、活性炭和沸石3种载体上生物膜的生长状况, 比较不同载体上异养菌、亚硝化菌及硝化菌的性能。结果表明, 附着于3种载体上生物膜的熟化过程相似, 熟化时间相近。载体沙子、活性炭和沸石上附着生物膜的氨化作用速率(以N计)分别为 $20.12 \text{ g}/(\text{h}\cdot\text{m}^3)$ 、 $34.49 \text{ g}/(\text{h}\cdot\text{m}^3)$ 和 $42.90 \text{ g}/(\text{h}\cdot\text{m}^3)$, 亚硝化作用速率(以N计)分别为 $5.46 \text{ g}/(\text{h}\cdot\text{m}^3)$ 、 $11.03 \text{ g}/(\text{h}\cdot\text{m}^3)$ 和 $11.65 \text{ g}/(\text{h}\cdot\text{m}^3)$ 。附着于载体沙子上生物膜的硝化作用速率(以N计)为 $43.20 \text{ g}/(\text{h}\cdot\text{m}^3)$, 而附着于活性炭和沸石上的生物膜的硝化作用随时间增加而趋于减缓。显然附着于载体沸石上生物膜的氨化作用和亚硝化作用性能好于活性炭和沙子。

关键词:3种载体; 生物膜; 氨化作用; 亚硝化作用; 硝化作用

中图分类号:X714 **文献标识码:**A

文章编号:1005-8737(2003)01-065-04

生物膜法处理废水具有产生污泥少、抗冲击、负荷能力强、运行管理方便、动力消耗少等特点, 在水产养殖用水处理上得到广泛应用^[1-4]。可用于循环养殖系统废水处理的生物膜滤器种类较多, 而结构简单、运行管理方便的生物膜滤器一般是淹没式滤器和滴滤器^[5]。生物膜附着于载体表面, 载体的材质、结构和比表面积不同时, 生物膜性能亦各不相同。Lekang等^[5]使用一种轻质粘土复合体(LWA)(商品名 Leca)作为载体使其生物膜的性能得到改善; 王晋等^[6]以经过波浪形定型处理的无纺布作为填料制作的新型固定生物膜反应器对氨去除率有了较大提高。山形阳一^[7]利用悬浮载体生物膜反应器去除市政垃圾填埋渗滤液中的氨氮, 取得了较好效果。本实验采用淹没式生物膜滤器研究相同条件下沙子、活性炭和沸石3种常用的载体上生物膜生长熟化情况, 以及熟化后生物膜硝化作用性能, 以期为水产养殖循环系统产生废水的处理提供工艺设计参数。

1 材料和方法

1.1 实验装置

收稿日期: 2002-03-21。

基金项目: 辽宁省教育厅高校科研项目(99B06103G)。

作者简介: 何洁(1966-), 讲师, 硕士, 从事养殖水环境研究。

选取12个规格 $60 \text{ cm} \times 24 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$ 的水族箱盛水40 L, 内装淹没式生物膜滤器(图1)。该装置由粗细2个聚乙烯塑料管组成(粗管直径5 cm, 细管直径3 cm), 粗管内装载体, 距管底3 cm左右由筛绢网托住, 管底部周边锯成齿状, 以保证水流畅通、均匀。细管固定在粗管上, 顶部连1个三通, 管内放有气石, 以气提为动力使水循环流经载体。水族箱内放有气石, 兼充气和混合水双重作用。



图1 淹没式生物膜滤器示意图

Fig. 1 The diagram of submerged biofilter

1.2 实验材料

1.2.1 菌种 取自辽河三角洲河蟹苗培育池底泥, 经富集培养的氨化、亚硝化、硝化菌群。

1.2.2 载体 沙子, 粒径约1.5 mm; 活性炭, 直径2~3 mm, 长5~7 mm; 沸石, 粒径约1 mm。实验前3种载体经水洗、高温高压灭菌, 干燥后装入实验装置。实验装置中所盛载体体积相同, 均为 $4.91 \times$

10^{-4}m^3 。

1.2.3 实验用水 大连市黑石礁海滨沙滤海水,盐度 30, pH 8.0~8.1。

1.2.4 实验用药 蛋白胨、丙烯基硫脲(ATU)、 NH_4Cl 、 KClO_3 、 NaNO_2 、 KNO_3 均为分析纯。

1.3 实验方法

总氨态氮(TAN)、亚硝酸盐氮和硝酸盐氮分别用萘氏试剂比色法、萘乙二胺分光光度法及镉柱还原法测定。721 型分光光度计测定吸光度。

1.3.1 生物膜的培养、熟化过程 在每个水族箱中分别接种 500 mL 菌种液,加入 36 mg/L 蛋白胨。实验温度(28 ± 2) $^{\circ}\text{C}$,水流速度为 1.6 L/min。每 2 天测定水族箱水中的 TAN、亚硝酸盐氮和硝酸盐氮含量。

1.3.2 生物膜氨化和硝化作用性能 生物膜熟化后,清洗水族箱并换水。然后于各水族箱中加入 ATU 10 mg/L,以阻断亚硝化作用^[8],1.5 h 后,加入 36 mg/L 蛋白胨、30 mg/L NaNO_2 。待混匀后取样测定各水族箱水中 TAN、硝酸盐态氮的含量,每隔 3 h 取样测定 1 次。最后 1 次的取样时间间隔为 9 h。实验结束后,清洗水族箱并换水,向各水族箱中加入 NH_4Cl ,充气循环,以恢复生物膜的亚硝化作用功能。

1.3.3 生物膜亚硝化作用性能 待生物膜功能恢复后,换水,并向各水族箱中加入 KClO_3 10 mmol/L 阻断硝化作用^[8]。1.5 h 后,加入 NH_4Cl 30 mg/L,立即取样测定各水族箱水中亚硝酸盐态氮的含量,并每隔 3 h 取样测定 1 次。实验结束后,清洗水族箱并换水,向各水族箱中加入蛋白胨、 NH_4Cl 、 NaNO_2 ,充气循环,以恢复生物膜的硝化作用功能。

1.4 计算方法

氨化、亚硝化及硝化作用的平均速率以单位载体体积单位时间的产物浓度增加量表示。

2 结果与讨论

2.1 生物膜的熟化

图 2~4 分别为 3 种载体上生物膜熟化过程中氨态氮、亚硝酸盐和硝酸盐含量的变化。

从图 2~4 可知,3 种载体上生物膜熟化过程中 3 种形态氮含量变化趋势基本一致。这与山形阳一^[7]和菊池弘太郎^[9]报道的养殖水体中生物膜熟化过程类似。即因水中投放了蛋白胨,为氨化细菌生长繁殖提供了营养条件,有机物氧化产生的 TAN 积累、含量升高。随着亚硝化细菌繁殖、生长,TAN 含

量下降、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 上升,并在培养开始后第 11~15 天达最高值;此时硝化细菌也开始发挥作用,水中 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 含量下降、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量上升,并且水中一直保持较低的 TAN 和 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 含量。从 3 种生物膜熟化时间看,在本实验条件下,生物膜在载体沙子、活性炭和沸石上的熟化时间相差无几,但因 3 种材质的载体表面积不同,不能认为 3 种载体上单位

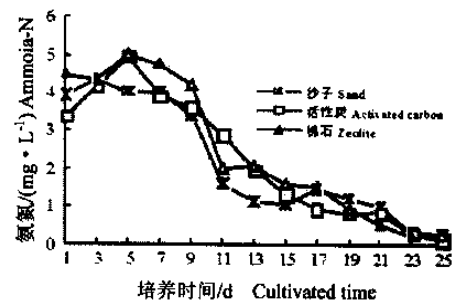


图 2 3 种载体上氨化菌成熟曲线

Fig. 2 Maturation processes of ammonifiers on filter media

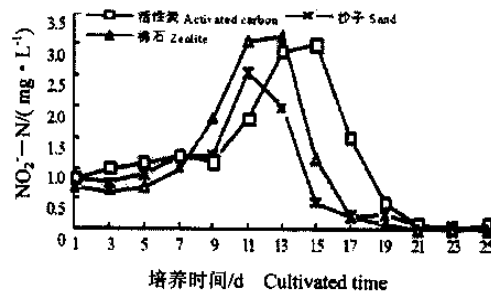


图 3 3 种载体上亚硝化菌成熟曲线

Fig. 3 Maturation nitrosobacteria on filter media

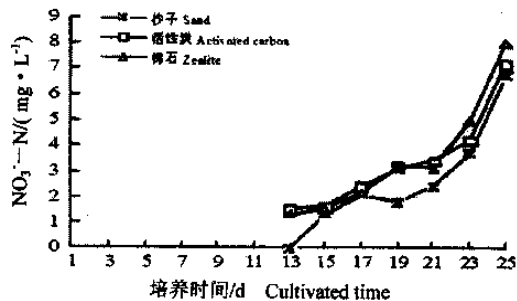


图 4 3 种载体上硝化菌成熟曲线

Fig. 4 Maturation nitrosobacteria of nitrobacteria on filter media

面积载体上生物膜繁殖附着速度相同,但可以认为这3种载体均适合于硝化作用生物膜生长。从图2~4中还可以看出,以沙子为载体的3种形态氮的浓度略低于活性炭和沸石,这可能是载体活性炭和沸石多孔,孔内生物膜微生物类群的硝化作用性能与孔外生物膜硝化作用性能可能存在差异。从而使整个载体上附着生物膜的硝化作用性能产生差异。

2.2 3种载体上生物膜性能的比较

在实验的前12 h,沙子、活性炭和沸石3种载体上生物膜的氨化作用性能(TAN质量浓度 ρ , mg/L)随时间 t (3 h)呈直线增强(见图5)。回归方程为:

沙子, $\rho = 0.741t - 0.194$ ($R^2 = 0.986, n = 5$)

活性炭, $\rho = 1.270t - 1.260$ ($R^2 = 0.984, n = 5$)

沸石, $\rho = 1.581t - 1.705$ ($R^2 = 0.993, n = 5$)

经计算,附着于沙子表面的氨化细菌氨化作用速率为 $20.12 \text{ g}/(\text{h} \cdot \text{m}^3)$,活性炭为 $34.49 \text{ g}/(\text{h} \cdot \text{m}^3)$,沸石为 $42.90 \text{ g}/(\text{h} \cdot \text{m}^3)$ 。附着于活性炭和沸石的氨化菌的性能好于沙子。

在实验的前15 h,附着于3种载体上生物膜的亚硝化作用性能(亚硝酸盐氮质量浓度 ρ , mg/L)亦随时间 t (3 h)呈线性增强(见图6):

沙子, $\rho = 0.741t - 0.194$ ($R^2 = 0.996, n = 6$)

活性炭, $\rho = 0.406t - 0.495$ ($R^2 = 0.987, n = 6$)

6)

沸石, $\rho = 0.492t - 0.451$ ($R^2 = 0.992, n = 6$)

经计算,附着于沙子上的生物膜的亚硝化作用速率为 $5.46 \text{ g}/(\text{h} \cdot \text{m}^3)$,活性炭上的为 $11.03 \text{ g}/(\text{h} \cdot \text{m}^3)$,沸石上的为 $11.65 \text{ g}/(\text{h} \cdot \text{m}^3)$ 。与氨化作用一样,附着于活性炭和沸石上的生物膜的亚硝化性能好于沙子。

在实验前12 h,只有以沙子为载体生物膜的硝化作用性能(硝酸盐氮质量浓度 ρ , mg/L)随时间 t (3 h)呈线性增强(见图7),回归方程为:

$\rho = 1.591t - 0.469$ ($R^2 = 0.992, n = 5$)

经计算,硝化作用速率为 $43.20 \text{ g}/(\text{h} \cdot \text{m}^3)$ 。而附着于活性炭和沸石上的生物膜的硝化作用则不能观测到随时间呈线性增加,而是随着时间的增加,硝化作用趋于减缓。这可能是因为载体活性炭和沸石内部存在孔隙,有可能造成局部缺氧环境,有利于发生反硝化作用,硝酸盐含量不能随时间线性增加。比较沙子、活性炭和沸石3种载体上生物膜的氨化作用、亚硝化作用及硝化作用性能,可以发现沸石略强于活性炭,但均明显好于沙子。研究表明,基质的

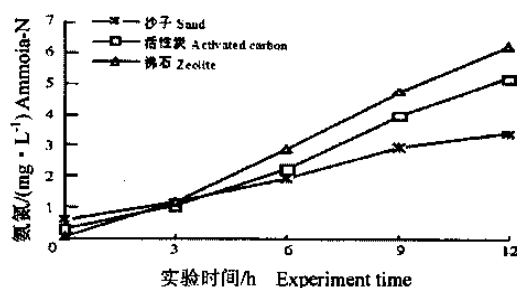


图5 3种载体上生物膜氨化作用性能比较

Fig.5 Ammonification performances of biofilm on filter media

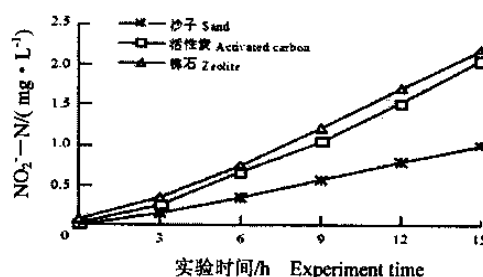


图6 3种载体上生物膜亚硝化性能作用比较

Fig.6 Nitrosification performances of biofilm of filter media

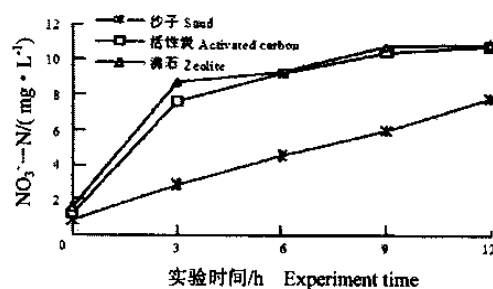


图7 3种载体上生物膜硝化作用性能的比较

Fig.7 Nitrification performances of biofilm on filter media

粗糙度是生物膜形成的最主要影响因素之一^[10]。沙子表面光滑,生物膜不易附着。而沸石和活性炭表面粗糙,易于附着生物膜,并且沸石和活性炭内部有孔隙,与沙子相比,比表面积可能大得多,附着于

表面的氨化菌和硝化菌数量可能较多,所以氨化作用、亚硝化作用和硝化作用更强。

参考文献:

- [1] 战培荣,刘伟,卢玲,等.净化育苗循环水生物流化床特性的研究[J].水产学报,1998,22(4):328-333.
- [2] 王磊,烂淑澄.固定化硝化菌去除氨氮的研究[J].环境科学,1997,18(2):18-20.
- [3] 罗杰斯 G L,克莱门松 S L.四种水产养殖循环水生物滤器的去氨效果[J].水产科技情报,1987,14(4):23-27.
- [4] Bovendeur J, Eding E H, Henken A M. Design and performance of water recirculation systems for high-density culture of the American catfish[J]. Aquaculture, 1987, 63:329-353.
- [5] Lekang O-I, Kleppe H. Efficiency of nitrification in trickling filters using different filter media[J]. Aquacultural Engineering, 2000, 21: 181-199.
- [6] 王晋,马文林,齐嵘,等.新型固定床生物膜反应器硝化性能的研究[J].环境污染治理技术与设备,2001,2(1):90-92.
- [7] 山形阳一.循环过滤设备的维护和管理[J].水产科技情报,1991,18(2):58-60.
- [8] Bianchi M, Marty D, Teyssie J-L, et al. Strictly aerobic and anaerobic associated with sinking particulate matter and zooplankton fecal pellets[J]. Mar Ecol Prog Ser, 1992, 88:55-60.
- [9] 菊池弘太郎.高效率鱼类生产的水质净化技术——利用微生物净化氨[J].国外水产,1990,(4):33-37.
- [10] Welander U. Biological nitrogen removal from municipal landfill leachate in a pilot scale suspended carrier biofilm process[J]. Water Research, 1998,32(5):1564-1570.

Nitrification performances of biofilm on three types of filter media

HE Jie, LIU Chang-fa, ZHANG Hong-xia

(Department of Aquaculture, Dalian Fisheries College, Dalian 116023, China)

Abstract: Three materials (sand, activated carbon granule and zeolite) were used to be the filtermedia to purify aquaculture water. By testing the concentration changes of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, $\text{NO}_2^- - \text{N}$ and $\text{NO}_3^- - \text{N}$ in water the performances of the three materials were determined that the biofilms adhering to the three materials had the similar maturation process and maturation time, and the ammonification rates of the biofilms on the three media were 20.12, 34.49 and 42.90 $\text{g}/(\text{h} \cdot \text{m}^3)$ (on N basis), respectively, and the nitroization rates were (on N basis) 5.46, 11.03 and 11.65 $\text{g}/(\text{h} \cdot \text{m}^3)$. The results show that the performances of zeolite are the best in terms of ammonification and nitroization among the three materials.

Key words: filter media; biofilm; ammonification; nitroization; nitrification

中国水产科学研究院首席科学家简介

杨健,男,1964年11月出生,博士,生态环境专家。现工作单位为中国科学院水生生物研究所。长期从事珍稀动物白暨豚、江豚的保护生物学及行为生态学研究,鲸类动物微量元素环境毒理学和营养化学的研究。曾负责国家自然科学基金项目1项,其他项目3项;是1项国家自然科学基金重点项目和1项中国科学院“九五”重大项目(A)的主要参加者及生态工作负责人之一。在国内外学术论著或期刊上发表论文25篇(包括4篇SCI刊源杂志论文)。