

# 微生物制剂对生物挂膜及牙鲆生长的影响研究

傅雪军<sup>1,2</sup>, 马绍赛<sup>2</sup>, 曲克明<sup>2</sup>, 周勇<sup>1,2</sup>

(1. 上海海洋大学 生命科学与技术学院, 上海 201313; 2. 农业部海洋渔业资源可持续利用重点开放实验室, 中国水产科学研究院 黄海水产研究所, 山东 青岛 266071)

**摘要:** 针对工厂化循环水养殖系统中生物滤池去除有害污染物质的核心问题, 采用单因素梯度设计, 添加 50(1#), 100(2#), 250(3#), 500(4#), 1 000(5#), 1 500(6#)g 微生物制剂辅助自然微生物在生物载体上进行人工挂膜, 挂膜 2 周后, 进行 40 d 循环水养殖牙鲆(*Paralichthys olivaceus*), 培养生物膜去除  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ ,  $\text{NO}_2^- \text{-N}$  模拟实验。结果表明: 不同质量浓度微生物制剂有利于自然微生物挂膜, 与对照组相比, 在进水中较低的  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ ,  $\text{NO}_2^- \text{-N}$  质量浓度下, 生物膜能够显著地降低  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ ,  $\text{NO}_2^- \text{-N}$  质量浓度; 除 1#组  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ ,  $\text{NO}_2^- \text{-N}$  平均去除率分别为 13.0%, 14.4%外, 其余组都在 20%以上, 但去除效果差异不显著( $P>0.05$ ); 实验组牙鲆平均体质量、体长、体质量增长率、饵料系数与对照组相比, 呈显著性差异( $P<0.05$ ), 且 4#组牙鲆体质量增长效果最明显, 与对照组相比, 牙鲆的平均体质量增长量比对照组多增长了 76%, 饵料系数最低, 为 1.16; 对照组牙鲆成活率为 72%, 各实验组在 76%~84%之间。4#生物滤池处理水质效果较好, 能够有效地将养殖水中的  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ ,  $\text{NO}_2^- \text{-N}$  转化为  $\text{NO}_3^- \text{-N}$ , 且养殖效果较好, 可作为工厂化循环水养殖系统生物滤池中添加微生物制剂辅助自然微生物挂膜的参考依据。

**关键词:** 循环水养殖; 生物挂膜; 微生物制剂; 牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)

中图分类号: X714.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2011)04-0015-06

随着水产动物高密度精养体系的出现, 养殖密度过大, 投饵过多使得养殖水体中代谢产物、有机物含量剧增, 导致养殖水体中  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ ,  $\text{NO}_2^- \text{-N}$  等含氮污染物的质量浓度严重超标, 已成为水产养殖业中普遍存在的问题<sup>[1]</sup>。在工厂化循环水高密度集约化养殖系统中, 高效在线去除各种水溶性有害污染物特别是去除对养殖动物有强烈毒性的  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ ,  $\text{NO}_2^- \text{-N}$ <sup>[2]</sup>, 是最重要环节。养殖废水的处理与循环利用是工厂化循环水养殖系统的最主要特点, 通过高效的水处理单元保持养殖用水的循环利用, 是维持生产正常进行的核心技术, 其中生物滤池通过反应器内微生物群体的生物氧化作用和生物絮凝作用、填料的吸附截留过滤作用以及微生物生态系统的食物链分级捕食作用<sup>[3]</sup>, 可以高效去除水体中的  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ ,  $\text{NO}_2^- \text{-N}$ , 有机物和悬浮物(SS)等。生物膜法因具有抗冲击、耐负荷、运行管理方便、能耗少、效率高等特点, 在海水养殖废水处理方面得到了广泛应用<sup>[4-6]</sup>。作者进行了不同质量浓度微生物制剂辅助海水中自然微生物挂膜, 及其牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)养殖与水处理模拟实验, 旨在为工厂化循环水养殖系统生物膜的构建提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验装置

实验采用圆柱形的玻璃钢水槽作为生物滤池, 其直径为 1.0 m, 高为 1.0 m, 有效体积为 600 L, 共 6 个生物滤池, 均匀悬挂生物载体, 生物载体是利用化学纤维丝条(直径为 0.5 mm, 比表面积约为  $360 \text{ m}^2/\text{m}^3$ )加工而成, 形似毛刷, 具有弹性, 不仅自然微生物能均匀地附着在每一根丝条上, 而且能使气、水、自然微生物之间充分接触, 获得较大的比表面积。

### 1.2 实验用鱼

实验用牙鲆鱼苗取自海阳市黄海水产有限公司, 体色正常, 健康活泼, 全长:  $10.5 \text{ cm} \pm 0.5 \text{ cm}$ , 体质量:  $10.5 \text{ g} \pm 0.5 \text{ g}$ , 实验前先将牙鲆鱼苗经  $20 \text{ mg/L}$

收稿日期: 2009-07-23; 修回日期: 2010-12-06

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2006BAD09A03); 国家 863 计划项目(2006AA100305); 农业科技成果转化资金项目(2007GB23260387)

作者简介: 傅雪军(1984-), 男, 江西吉安人, 硕士研究生, 主要从事渔业环境与生物修复研究, E-mail: fuxuejun721@163.com; 马绍赛, 通信作者, 电话: 0532-85813271, E-mail: mass@ysfri.ac.cn

甲醛溶液浸泡 5 min, 按 50 尾/缸分别放入装有 200 L 海水的 1#, 2#, 3#, 4#, 5#, 6#, 0# 组玻璃钢水槽中, 静养 2 d, 1#, 2#, 3#, 4#, 5#, 6# 为实验组, 0# 为对照组, 并投喂日清丸红配合饲料, 日投饵 2 次(8:00, 17:00), 投饵量为鱼体质量的 2% ~ 3%, 残饵利用虹吸法除去, 记录每天的投喂量及死亡数, 每 0.5 个月称量一次各组鱼的体质量和体长。

实验结束时计算牙鲆体质量增长率, 成活率, 饵料系数。体质量增长率(%)=100×(平均终体质量-平均初体质量)/平均初体质量, 成活率(%)=100×(终尾数/初尾数), 饵料系数=投喂量/鱼体体质量总增长量。

### 1.3 实验设计

设置 6 个实验组和 1 个对照组, 实验组每个生物滤池对应一个养殖池, 利用蠕动泵抽取养殖池养鱼水进入生物滤池, 经处理后, 重新回流养殖池, 进行循环水养殖, 养殖池每隔 5 d 换水一次, 换水量 100%; 对照组无生物滤池, 采用静水养殖牙鲆, 每天下午投饵之前换水一次, 换水量 100%。生物滤池中微生物制剂添加量及悬挂载体质量, 比表面积等参数如表 1 所示。

表 1 实验组参数

Tab. 1 Parameters of the experimental groups

组别	微生物制剂量 (g)	载体质量 (kg)	载体总表面积 (m <sup>2</sup> )
1#	50	2.00	758
2#	100	2.00	758
3#	250	2.20	834
4#	500	2.40	909
5#	1 000	2.60	985
6#	1 500	2.10	796

### 1.4 生物膜培养

利用海水中的自然微生物进行生物挂膜, 实验挂膜用水是利用泵抽取舌鳎养殖池的水。在生物挂膜开始阶段, 为了保证自然微生物能快速扩繁生长和附着在生物载体表面, 添加微生物制剂(含有芽孢杆菌、乳酸菌、酵母菌等有益菌, 有效活菌含量 25 亿/g)和营养物质: C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>, NaNO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, MnSO<sub>4</sub> 等, 使氨氮为 5 mg/L, 亚硝氮为 0.20 mg/L, pH 在 8.0±0.5 之间, DO 5 mg/L, 水温在 18.0 °C±2.0 °C 之间。挂膜 2 周后, 全部换入新水, 进行循环水养殖牙鲆, 每隔 2 d 取生物滤池前及生物滤

池后的水样监测滤池中的 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 质量浓度变化。

### 1.5 水质指标测定及数据处理方法

水质指标的检测依据《海洋监测规范》(GB12763.4-2007), 氨氮采用次溴酸盐氧化法, 亚硝氮采用萘乙二胺分光光度法。

数据处理采用 SPSS16.0 (Statistical Package for Social Sciences) 统计软件进行方差分析(ANOVA), 并用均值多重比较分析法(LSD)检验组内及组间的差异显著性, 所得数据为平均值±标准差(Means ± SD)。

## 2 实验结果与分析

### 2.1 生物滤池中氨氮的降解效果

不同质量浓度微生物制剂辅助自然微生物挂膜 2 周后, 生物载体表面有浅褐色成团状物质附着, 水体中也有浅褐色物质, 表明生物膜已开始形成, 进行循环水养殖牙鲆, 利用生物膜处理养殖用水同时促进自然微生物扩繁与生长。经过 40 d 的实验, 不同质量浓度微生物制剂能够较好地辅助自然微生物挂膜, 对照组 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 质量浓度为 0.17 mg/L, 实验组进水中 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 质量浓度为 0.1 mg/L 左右, 经生物膜降解后, 除 1#, 2# 组外, 3#, 4#, 5#, 6# 组均降低到 0.08 mg/L 以下; 除 1# 组外, 各实验组进出水中 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 质量浓度存在显著差异( $P < 0.01$ ), 且进出水中 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 质量浓度显著低于对照组( $P < 0.05$ )。生物滤池中微生物制剂添加量越大自然微生物挂膜效果越好, 对 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 的去除效率越高, 其去除率大小为  $R_{5\#} > R_{4\#} > R_{6\#} > R_{3\#} > R_{2\#} > R_{1\#}$ , 实验组 2#, 3#, 4#, 5#, 6# 对 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 去除率不存在显著差异( $P > 0.05$ ), 但均与 1# 组存在显著差异( $P > 0.05$ ), 由于进水中 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 质量浓度很低, 导致 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 平均去除率较低, 均低于 30%(表 2)。

### 2.2 生物滤池中亚硝氮的降解效果

实验组进出水中 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 质量浓度都十分低(表 3), 除 1# 组进出水中 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 质量浓度高于 0.06 mg/L 外, 其余组进出水中 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 质量浓度均低于 0.028 mg/L, 与对照组相比, 不存在显著性差异( $P > 0.05$ ); 除 4# 和 6# 组外, 其余组进出水中 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 质量浓度差异不显著( $P > 0.05$ )。生物膜对 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 的平均去除率随着微生物制剂质量浓度的增大而增大, 除 1# 组外, 其余组之间平均去除率差异不显著( $P > 0.05$ ); 5# 组

NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 平均去除率最大为 28.65%，1#组 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 平均去除率最低为 14.43%，其余组 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 平均去除率在 23% ~ 28% 之间，其平均去除率大小为 R<sub>5#</sub> > R<sub>6#</sub> > R<sub>4#</sub> > R<sub>3#</sub> > R<sub>2#</sub> > R<sub>1#</sub>。

表 2 对照组和实验组进出水中 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 质量浓度变化(平均值±标准差)

Tab. 2 Ammonia-nitrogen concentration changes in the influent and effluent water between experimental groups and the control group (Means ± SD)

组别	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N 质量浓度(mg/L)		R(%)	P
	进水中	出水中		
1#	0.121±0.044 <sup>a</sup>	0.105±0.034 <sup>a</sup>	13.0±9.6 <sup>a</sup>	0.175 8
2#	0.115±0.041 <sup>ab</sup>	0.087±0.026 <sup>b</sup>	22.7±8.8 <sup>b</sup>	0.007 8**
3#	0.104±0.032 <sup>ab</sup>	0.077±0.018 <sup>bc</sup>	23.9±9.3 <sup>b</sup>	0.000 9**
4#	0.105±0.033 <sup>ab</sup>	0.074±0.022 <sup>bc</sup>	27.7±13.8 <sup>b</sup>	0.000 5**
5#	0.097±0.032 <sup>b</sup>	0.067±0.019 <sup>c</sup>	28.8±13.2 <sup>b</sup>	0.000 5**
6#	0.102±0.037 <sup>ab</sup>	0.073±0.02 <sup>c</sup>	26.1±11.7 <sup>b</sup>	0.001 4**
0#	0.170±0.057 <sup>c</sup>			

注: R 为平均去除率,  $R = [(C_i - C_e)/C_i] \times 100\%$  式中, C<sub>i</sub> 为进水中某项指标的质量浓度, C<sub>e</sub> 为出水中某项指标的质量浓度, 同列数据标有不同字母表示差异显著, \*\*表示差异极显著(P<0.01), 下同

表 3 对照组和不同实验组进出水中 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 质量浓度变化(平均值 ± 标准差)

Tab. 3 Nitrite-nitrogen concentration changes in the influent and effluent water between experimental groups and the control group (Means ± SD)

组别	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N 质量浓度(mg/L)		R(%)	P
	进水中	出水中		
1#	0.067±0.038 <sup>a</sup>	0.060±0.039 <sup>a</sup>	14.4±0.2 <sup>a</sup>	0.726
2#	0.028±0.025 <sup>b</sup>	0.023±0.020 <sup>b</sup>	23.4±17.8 <sup>b</sup>	0.465
3#	0.016±0.015 <sup>c</sup>	0.011±0.010 <sup>c</sup>	25.2±13.4 <sup>b</sup>	0.377
4#	0.010±0.003 <sup>c</sup>	0.007±0.002 <sup>c</sup>	25.4±11.5 <sup>b</sup>	0.019*
5#	0.010±0.005 <sup>c</sup>	0.007±0.004 <sup>c</sup>	28.7±13.7 <sup>b</sup>	0.153
6#	0.012±0.011 <sup>c</sup>	0.008±0.003 <sup>c</sup>	27.4±12.8 <sup>b</sup>	0.039*
0#	0.014±0.003 <sup>c</sup>			

注: \* 表示差异显著(P<0.05)

### 2.3 养殖鱼类的生长

经过 40 d 养殖模拟实验, 牙鲆获得了较好的生长效果(图 1), 实验组牙鲆平均体质量、体长变化趋势基本相一致, 与对照组相比, 呈显著性差异(P<0.05), 且各实验组间牙鲆体质量、体长变化均呈极显著差异(P<0.01), 养殖期间牙鲆体质量、体长的增长速度分别是: W<sub>4#</sub>>W<sub>6#</sub>>W<sub>3#</sub>>W<sub>5#</sub>>W<sub>2#</sub>>W<sub>1#</sub>>W<sub>0#</sub>, L<sub>4#</sub>>L<sub>6#</sub>>L<sub>5#</sub>>L<sub>3#</sub>>L<sub>2#</sub>>L<sub>1#</sub>>L<sub>0#</sub>。

由表 4 可以看出, 实验组牙鲆平均体质量增长量及体质量增长率与对照组相比, 呈极显著差异(P<0.01), 且 4#组与 1#, 2#, 3#, 5#, 6#组之间存在显著差异(P<0.05), 4#组牙鲆的平均体质量增长量和体质量增长率最大, 与对照组相比, 牙鲆的体质量增加量比对照组多增加了 76%。整个实验期间, 各实验组牙鲆成活率较对照组显著差异(P<0.05), 实验组牙

鲆成活率在 76% ~ 84% 之间, 而对照组 72%。

牙鲆饵料系数: 对照组饵料系数最大, 为 1.74; 而实验组饵料系数极显著低于对照组(P<0.01), 1#, 2#, 3#, 5#, 6#组饵料系数分别为 1.55, 1.37, 1.28, 1.34 和 1.26; 4#组饵料系数最小, 为 1.16(表 4)。

### 3 讨论

工厂化循环水养殖系统的核心是循环水处理技术<sup>[7]</sup>, 其中生物滤池对控制整个系统中的 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 质量浓度起着关键作用。目前关于生物滤池的作用机理、影响因素、设计参数、水处理效果<sup>[8-9]</sup>及生物膜培养方法有较多的报道。常用的生物膜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<sup>[10-11]</sup>, 但关于利用微生物制剂辅助海水中

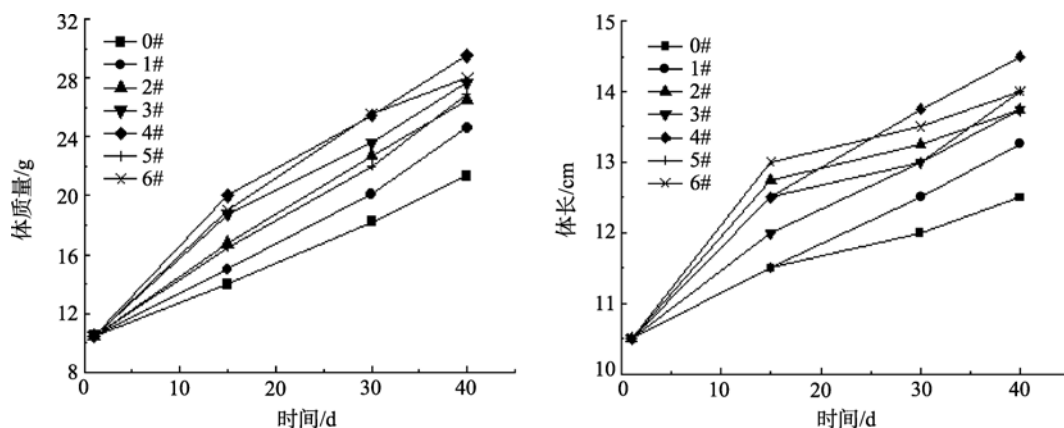


图 1 养殖期间牙鲆体质量、体长的变化

Fig. 1 Changes in body weight and body length of cultured *Paralichthys olivaceus*

表 4 实验组和对照组牙鲆养殖效果的比较(平均值 ± 标准差)

Tab. 4 Comparison of the effects of culture between experimental groups and the control group of *Paralichthys olivaceus* (Means ± SD)

组别	体质量增长量(g/尾)			体质量增长率(%)	成活率(%)	饵料系数
	初均质量	终均质量	均增长量			
0#	10.5 ± 0.5 <sup>a</sup>	21.3 ± 1.2 <sup>a</sup>	10.6 ± 1.2 <sup>a</sup>	104 ± 12 <sup>a</sup>	72	1.74
1#	10.5 ± 0.5 <sup>a</sup>	24.6 ± 0.9 <sup>b</sup>	14.2 ± 0.9 <sup>b</sup>	135 ± 9 <sup>b</sup>	78	1.55
2#	10.5 ± 0.5 <sup>a</sup>	26.5 ± 0.5 <sup>c</sup>	16.0 ± 0.5 <sup>c</sup>	153 ± 5 <sup>c</sup>	83	1.37
3#	10.5 ± 0.5 <sup>a</sup>	27.7 ± 0.4 <sup>cd</sup>	17.2 ± 0.4 <sup>cd</sup>	164 ± 4 <sup>cd</sup>	80	1.28
4#	10.5 ± 0.5 <sup>a</sup>	29.5 ± 0.6 <sup>e</sup>	19.0 ± 0.6 <sup>e</sup>	182 ± 5 <sup>e</sup>	80	1.16
5#	10.5 ± 0.5 <sup>a</sup>	26.9 ± 0.3 <sup>cd</sup>	16.4 ± 0.3 <sup>cd</sup>	156 ± 3 <sup>cd</sup>	76	1.34
6#	10.5 ± 0.5 <sup>a</sup>	28.0 ± 0.5 <sup>d</sup>	17.5 ± 0.5 <sup>d</sup>	167 ± 5 <sup>d</sup>	84	1.26

注: 同列数据肩标中含有不同字母的两项间差异显著( $P < 0.05$ )

的自然微生物挂膜报道较少,且利用饲养鱼类增加负载的方法促进微生物挂膜就更少。利用饲养鱼类的排泄物、分泌物及残饵来培养生物膜的方法比较适合生产系统,这种方法以负载量不引起水质恶化为前提。罗国芝<sup>[12]</sup>等利用正常及低投饵方式培养生物膜,发现低投饵方式可以缩短生物膜建立成熟硝化功能的时间。王志敏<sup>[13]</sup>等在循环养殖系统中添加微生物制剂去除  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  和  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  实验,其  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  去除率在 20% ~ 40%,  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  去除率在 40% 以上,且养殖的点带石斑鱼(*Epinephelus malabaricus*)体质量日增长达 5.0 g/(尾 · d) 以上。

本实验利用不同质量浓度微生物制剂辅助,通过牙鲆养殖增加负载方法促进自然微生物挂膜,从实验结果可以看出,经过 40 d 的养殖模拟实验,除 1# 组进出水  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  质量浓度差异不显著( $P > 0.05$ )外,其余实验组进出水  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  质量浓度显著低于对照组( $P < 0.05$ );除 4# 和 6# 组外,其余组进出水  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  质

量浓度差异不显著 ( $P > 0.05$ ),且均与对照组差异不显著( $P > 0.05$ ),这由于流水养殖水体中主要以氨氮的形式存在,所以流水养殖亚硝氮质量浓度很低,故不存在显著差异;  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ,  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  的平均去除率随着微生物制剂添加量的增大而增大,4#, 5#, 6# 实验组对氨氮,亚硝氮的平均去除率效果较好,表明微生物制剂作为促进海水中自然微生物扩繁与生长的因子具有一个适量范围,但平均去除率均低于相关的报道<sup>[14-16]</sup>,一方面是由于上述研究的本底值较高,容易得到较高的去除率;另一方面,本实验所用的日清丸红饵料易于牙鲆消化吸收,牙鲆摄食量大、饵料利用率高、排泄物少,故生物滤池进水中  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ,  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  质量浓度十分低,导致其去除率较低。养殖水经生物膜处理后,生物滤池中出水  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  质量浓度在 0.07 mg/L 左右,  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  质量浓度低于 0.022 mg/L,表明自然微生物已挂膜成功( $\text{NH}_4^+ - \text{N} < 0.05$  mg/L,  $\text{NO}_2^- - \text{N} < 0.02$  mg/L)<sup>[17-18]</sup>,建立成熟的硝化功能,

能够有效地将养殖水中的  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2^-\text{-N}$  最终转化为  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 。

实验期间, 养殖牙鲆获得较好的生长效果, 牙鲆体质量、体长、体质量增长率、饵料系数与对照组相比, 均呈显著性差异( $P < 0.05$ ), 其中 4#养殖牙鲆体质量平均增长量和体质量增长率最大, 与对照组相比, 牙鲆的体质量增加量比对照组多增加了 76%, 表明添加微生态制剂不仅能够较好地辅助自然微生物挂膜, 生产性养鱼水经生物膜处理之后, 达到养殖水质标准, 而且对养殖鱼类的生长具有促进效果, 但牙鲆并没有随着微生态制剂添加量增大而表现出更好的生长效果, 这可能与微生态制剂中有益菌及其代谢产物消化酶、氨基酸、维生素、未知生长因子等对养殖鱼类的生长有一个适量范围有关。

本实验利用微生态制剂辅助自然微生物挂膜, 通过牙鲆养殖增加负载的方法培养生物膜, 经过 40 d 养殖模拟实验, 生物膜培养成熟, 能够较好的处理养殖用水, 且获得较好的效果。从降低养殖成本和养殖风险角度出发, 生物膜培养期间, 适当降低投饵量是最安全的培养方法。

#### 参考文献:

- [1] Chen Jiann chu, Kou Chutau. Nitrogenous excretion in macrobrachium rosenbergii at different pH levels[J]. Aquaculture, 1996, 144: 155-164.
- [2] 丁爱中, 陈繁忠, 雷剑全, 等. 光合细菌调控水产养殖业水质的研究[J]. 农业环境保护, 2000, 19(6): 339-341.
- [3] 杜茂安, 邱立平. 曝气生物滤池处理生活污水的实验研究[J]. 哈尔滨建筑大学学报, 2001, 34(4): 34-36.
- [4] 宋协法, 宋伟华, 田树川, 等. 集约化养殖水处理系统研究[J]. 浙江海洋学院学报, 2003, 22(1): 35-39.
- [5] 陈学锋. 工厂化养鱼基础设施的配置[J]. 北京水产, 2003, 4: 33-35.
- [6] Huguenin J E, Colt J. Design and operating guide for aquaculture seawater systems [M]. Amsterdam: Elsevier Amsterdam, 1989: 168-170.
- [7] 梁宁, 潘伟斌. 工厂化养殖循环水处理工艺探讨[J]. 水产科报, 2004, 31(6): 255-258.
- [8] 朱学宝, 谭洪新, 罗国芝. 封闭循环工厂化水产养殖——水质净化系统的技术构成[J]. 内陆水产, 2000, 25 (10): 24-25.
- [9] Bower C E, Turner D T. Effects of seven chemo therapeutic agents on nitrification in closed seawater culture systems [J]. Aquaculture, 1982, 29: 331-345.
- [10] 罗国芝, 刘艳红, 谭洪新, 等. 新建海水生物滤器接种培养的研究[J]. 农业环境保护, 2001, 6: 443-445.
- [11] Carmignani G M, Bennett J P. Rapid start up of a biological filter in a closed aquaculture system [J]. Aquaculture, 1977, 11: 85-88.
- [12] 罗国芝, 孙大川, 冯士良, 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.
- [13] 王志敏, 张文香, 张卫国, 等. 在循环养殖系统中添加微生态制剂去除氨氮和亚硝氮的实验[J]. 水产科学, 2006, 25(4): 171-174.
- [14] Wortman B, Wheaton F. Temperature effects on bio-drum nitrification [J]. Aquaculture Engineering, 1991, 10: 183-205.
- [15] Rogers G L, Klemeston S L. Ammonia removal in selected aquaculture water reusing bio-filter [J]. Aquaculture Engineering, 1985, 4: 135-154.
- [16] Spotte S. Sea Water Aquariums, the Captive Environment [M]. New York: Wiley Inter science, 1979: 450-490.
- [17] 山形阳一, 梅志平译. 循环过滤装置的维护和管理[J]. 水产科技情报, 1991, 18(2): 58-60.
- [18] 徐元勤, 韩月玲. 好氧生物膜滤床去除 COD 及  $\text{NH}_3\text{-N}$  的研究[J]. 大连水产学院学报, 1997, 12(1): 43-50.

# The effect of microbial ecological agent assisted bio-film formation and the growth of *Paralichthys olivaceus*

FU Xue-jun<sup>1,2</sup>, MA Shao-sai<sup>2</sup>, QU Ke-ming<sup>2</sup>, ZHOU Yong<sup>1,2</sup>

(1. College of Aqua-life Science & Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201313, China; 2. Key Laboratory for Sustainable Utilization of Marine Fisheries Resources, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Science, Qingdao 266071, China)

**Received:** Jul., 23, 2009

**Key words:** re-circulating aquaculture; bio-film formation; microbial ecological agent; *Paralichthys olivaceus*

**Abstract:** To solve the core issue of removal of harmful pollutants in bio-filter of industrial re-circulating aquaculture system, by a single factor gradient design, artificially bio-film formation was conducted on the biological carrier packing by adding 50(1#), 100(2#), 250(3#), 500(4#), 1000(5#) and 1500(6#) g microbial ecological agent to assist natural microbe. After two weeks bio-film formation, simulation experiment that *Paralichthys olivaceus* were reared in re-circulating water to examine the removal of ammonia-nitrogen and nitrite-nitrogen by culturing bio-film were carried out for forty days. The results showed that different concentrations of microbial ecological agent were beneficial to the bio-film formed by natural microbes, leading to more efficient removal of ammonia-nitrogen and nitrite-nitrogen concentrations; except that the mean removal rates of ammonia-nitrogen and nitrite-nitrogen in group 1# were 13.0% and 14.4%, respectively, the other experimental groups were more than 20%, but no significant difference between their removal effect being seen ( $P > 0.05$ ); compared with control group, the mean body weight, body length, weight gain rate, and feed conversion rate of *P. olivaceus* were significantly difference in experimental groups, the effect of weight gain being obviously significant ( $P < 0.05$ ) for group 4#, with the mean body weight of *P. olivaceus* increased by 76% over than control group, and the lowest feed conversion rate being 1.16 in experimental groups; the control group's survival rate of *P. olivaceus* was 72%, and the experimental groups were between 76% and 84%. The better water quality was associated with 4# bio-filter, which effectively converted ammonia-nitrogen and nitrite-nitrogen into nitrate-nitrogen, leading to better farming. The 4# system can be used as a reference of bio-film formation aided the addition of microbial ecological agent in industrial re-circulating aquaculture system.

(本文编辑: 刘珊珊)