

# 净化育苗循环水生物流化床特性的研究

战培荣 刘 伟 卢 玲 唐玉顺

(中国水产科学研究院黑龙江水产研究所, 哈尔滨 150070)

**摘 要** 比较了生物流化床与生物固定床的水净化特性, 生物流化床氨氮负荷和硝化率提高3倍。用电子显微镜和营养琼脂培养法观察了流化床中生物粒子表面的细菌分布与生长情况, 生物粒子表面生物膜丰富, 均匀, 生长繁殖快, 活性好。在15万尾/ $m^3$ 的密度下, 循环水培育鲤鱼苗, 15天体重达21.2mg, 体长达 $12.58 \pm 0.94mm$ , 成活率90%。

**关键词** 生物流化床, 集约化育苗, 循环水净化

研究高效率的水净化技术, 对循环水养鱼来说, 具有重要的实用价值。因为, 水净化效率高可以减少资金投入, 节省用地, 增加饲养量和产量, 进而提高经济效益。此外, 由于名、特、优鱼类养殖业的发展, 特别是对苗种需求量的日益增加, 采用传统的方法高密度培育鱼苗, 在自然环境改变或水质遭到污染的情况下, 高产、高效目标将受到一定的影响, 甚至完全失败, 人们也期待着使用一种, 水质保证, 效益稳定, 鱼苗质量高的饲养工艺, 并为此进行着积极的探索研究。

封闭式循环水集约化养鱼, 是在保证水环境质量和生长所需最佳条件下, 发掘鱼类最大生长潜力的养殖方式。在饲养鲑[ Meade 1974], 鲑[ Bovendur 等 1987], 鳟[ Heinsbock 和 Kamstra 1990], 鲟[ 清野 通康 1992], 鳊[ 望月英藏 1995] 等都有应用, 长期以来, 为了去除水中对鱼体有害的氨氮和亚硝酸氮等物质, 多采用生物固定床和接触氧化法等技术, Luojies[ 1985] 认为生物转盘, 生物滚筒的去氨氮效果好于普通生物滤器, 淹没式滤器; 但这两种方法自身需要新增加动力, 生物附着的表面积也受限制。总之, 这些方法效率仍较低, 成本较高。近年来 Paller 和 Lewis[ 1988], 对生物流化床的氨氮去除率和鱼载力进行了试验, 战培荣[ 1991] 进行了封闭式集约化育苗生物流化床净化效果的初步研究, 均取得一定成绩, 认为生物流化床净化养鱼水质更具优点, 本文对有关净化集约式育苗循环水生物流化床特性进行了研究报道。

## 1 材料与方 法

### 1.1 流化床试验装置

选择比重为2.4, 粒径为0.5~1.0mm砂粒子装入由铁板制成的平均直径为60cm, 高为350cm柱体内, 装载床层高( $L_0$ )为110cm(床层体积约为 $0.08m^3$ ), 构成流化床本体, 水由底部进入, 通过调整进水流量等, 使得粒子在固定(粒子保持静止称固定床)与流化(粒子运动称流化床)状态间转化。

## 1.2 生物流化床培养与性能分析

使用鱼池底泥浸透液,经强化培养后,作为种子,通过水流直接接种在砂粒子上,然后加入经选择培养的光合细菌和硝化细菌,并且每天按 5:1 添加一定量的氮、磷素,进行曝气循环封闭式再培养,生物膜成熟后,测定温度变化对硝化率的影响,并结合育苗时分析的相关数据得出在一定范围内与氨氮负荷率的关系。

水质分析按张曾惠等[1978]提出的方法,COD 用高锰酸钾法测定,MLVSS(挥发性悬浮物)测定是采取流化床中少量的生物粒子,放在 103℃ 的箱内烘干 1 小时后称重,然后放在 550℃ 炉内灼烧 15 分钟再称重,失重即为挥发性悬浮物,最后折算成床体体积所含重量,用 mg/L 表示;氨氮的去除率,是用通过生物流化床进出水中含氨氮量平均值的差乘上流量,将所得值转换成床层的每平方米表面积或每立方米容积的去氨氮率(硝化率),公式:  $(N_{\text{进水}} - N_{\text{出水}}) \times Q(\text{流量}) \times K(\text{单位床层面积或体积})$ ;氨氮负荷率用进水氨氮含量乘流量,其转换方法同去除率,公式:  $N_{\text{进水}} \times Q \times K$ ;固定床的计算方法同流化床;生物流化床中粒子表面的生物膜,使用电子显微镜扫描观察,细菌采用肉汤琼脂平板表面培养法。非离子氨用下列公式计算:

$$\text{非离子氨}(\text{NH}_3^+ - \text{N}) = \frac{\text{总氨}}{1 + \text{arclog}(\text{PK}_a - \text{PH})}$$

## 1.3 鱼苗饲养与工艺

采用经曝气的地下水 and  $50 \times 100 \times 35 \text{cm}^3$  10 个并列水槽,有效容水 1.5 吨,鲤苗放养密度为 15 万尾/ $\text{m}^3$ ,水槽进水采用上部喷淋式底部推式同时注入,水槽中始终保持一定的水位,排水靠溢流排出,并与水净化装置等构成循环系统,工艺流程为:养鱼槽出水→沉淀池→物理过滤→增氧→生物流化床净化→紫外线杀菌→储水槽→再用,系统总用水量约 3.5 吨,鱼苗池水交换 1.5 次/h,水温控制在 25~27℃,出水溶解氧保持在 4mg/L,以配合饲料投喂,辅以少量生物饲料(裸腹蚤和卤虫),每日 7~9 次,投喂量初期占鱼体重的 100%,后期递减至 50%,每日清污一次。另设一对照水槽充气,槽内循环进行简单的物理过滤,其它方面与试验组一致。

## 2 结果

### 2.1 生物流化床及性质

流化床中的粒子流化后,要保持稳定状态,就要确定适宜的流速和相应的粒子膨胀高度( $L_f$ )或膨胀率( $L_f/L_0$ ),水流速小,粒子不膨胀,过大浪费动力,甚至还会把粒子冲出容器之外,图 1 是水流速度与粒子膨胀率之间的关系,膨胀率为 1.0~1.5,利于保持流化的稳定性,水流速度的选择范围也较大。

流化粒子经培养,生物膜逐渐生长、增厚、成熟,粒子表面滑润,15 天后生物流化床出水中出现原生动物和轮虫,氨氮去除明显,效果稳定,

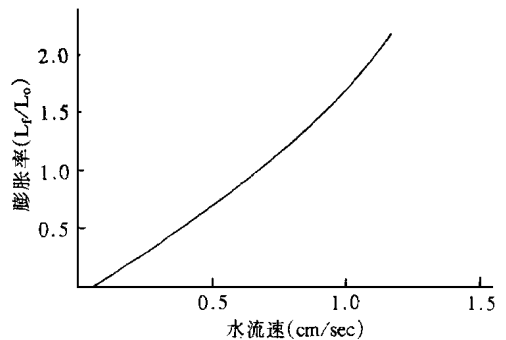


图 1 流化速度与膨胀率

Fig. 1 Upflow velocity and expansion rate

图2是生物粒子流化(水流速 26m/h)和固定(水流速 21m/h)两种状态,不同温度下的氨氮去除率(硝化率)。从图2中可见,随着温度的升高,生物流化床的氨氮去除率也明显升高,这点与其它生物净化法相同,但固定状态下生物粒子氨氮的去除率和负荷率只是约流化状态下的1/3(见图3),水的循环量也相对减少,图4是出水氨氮小于 0.5mg/L 时,生物流化床,在不同氨氮负荷下的硝化率。

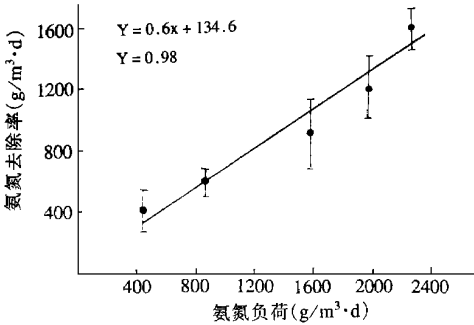


图2 温度与氨氮负荷率

Fig.2 Temperature and amm N load

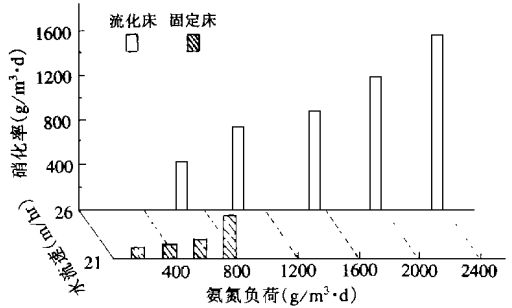


图3 氨氮负荷与硝化率比较

Fig.3 Comparison of amm N load and nitrification rate

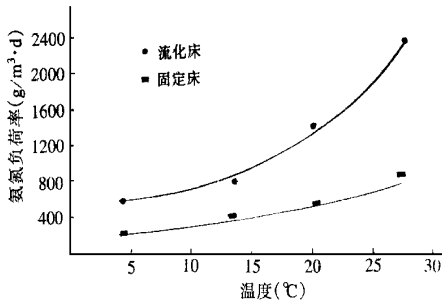


图4 生物流化床氨氮负荷与氨氮去除率

Fig.4 Amm N load and amm N removal rate of biofluidized bed

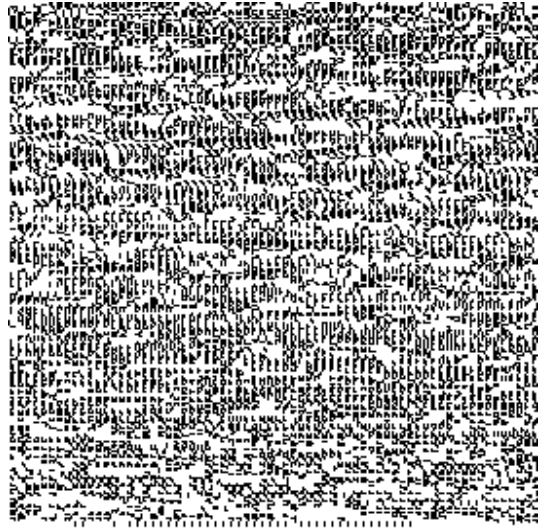


图5 粒子表面扫描电镜和培养的生物膜照片

Fig.5 Electronic scanning micrographs and rearing biofilm of the surface of particle

1. 表面无生物膜粒子; 2. 表面有生物膜粒子 3. 生物粒子; 4. 生物粒子培养情况

图5a, b, c 是流化床中粒子表面的电子显微镜扫描图片,在电子显微镜扫描图片 b, c 中,可清晰地看到粒子表面存在的生物膜薄而均匀;d 是生物粒子经培养后的照片,周围生长的细菌清晰可见,菌落致密、丰厚,具有光泽。表1是生物流化床性质试验分析的有关参数。

## 2.2 鱼苗培育结果与水质

鲤苗经 15 天精心饲养, 其结果见表 2, 期间的水质分析结果见表 3。

表 1 生物流化床的性质

Tab. 1 Function of biofluidized bed

流化水速 m/h	膨胀率 $L_f/L_0$	MLVSSmg/l	生物膜厚 mm	硝化率 $g/m^3 \cdot d$	氨氮负荷 $g/m^3 \cdot d$	表面积 $m^2/m^3$
26.0	1.3	8000	0.25	1600	2300	2000

表 2 鱼苗培育期间的结果

Tab. 2 Results of common carp fry rearing in the period

项目	饲养前		饲养后		绝对增长		成活率%
	平均体重(mg)	平均体长(mm)	平均体重(mg)	平均体长(mm)	体重(mg)	体长(mm)	
试验组	2.0	6.21±0.37	21.2	12.58±0.94	19.2	6.37±0.57	90
对照组	2.0	6.21±0.37	4.8*	7.82±0.38*	0.8	1.61±0.01	5*

注: \* 第六天的数据, 水槽中  $NH_3^+-N$  = 3.4mg/L,  $NO_2^- - N$  = 0.28mg/L。试验 15 天。

表 3 鱼苗培育期间生物流化床的净化效果(mg/L)

Tab. 3 Results of purification of biofluidized bed during fry rearing

项 目	$NH_3^+-N$	$NO_2^- - N$	BOD <sub>5</sub>	COD	SS
进 水	1.48±0.71	0.14±0.06	2.85±1.04	11.8±3.15	27.4±4.60
出 水	0.51±0.30*	0.06±0.03	0.68±0.20	5.80±2.03	12.4±0.85
去除率(%)	75	60	80	55	50

注: \* 温度 25℃, PH<8, 非离子氨计算值低于 0.02mg/L。

## 3 讨论

循环水育苗, 能够保持水温和提高水的利用率, 但由于重复使用同一水体, 饵料成份分解和鱼的自身排泄物会在水中积累[ Millamena1990, Herman1995], 在 25℃水温, 既使投喂不含氮饲料, 每 100g 鲤鱼, 每天排泄的氨氮也达 14mg/L, 投喂较高含氮饲料, 排氨氮量增加一倍以上[ 陈国明 1988 年中译本]。据 Smart[ 1976], 周永欣[ 1986] 报道, 氨和亚硝酸氮浓度过高对鱼鳃和肝组织有明显的损伤作用, 多数国家规定养鱼水中非离子氨浓度在 0.02mg/L 以下, 因而追求集约式经营, 水净化技术已成为水产工作者关注的焦点。本试验研究, 在生物流化床去氨氮能力, 负载力方面与 Paller 的研究结果相近, 但饲养的是对氨和亚硝酸氮更敏感的鱼苗, 而不是 Paller 试验中使用的鲤成鱼, 在粒子生物膜, 集约化育苗效果方面进行了更深入的研究, 进一步证明了生物粒子在流化状态下, 净化水的优点。

使用微小粒子增加了细菌附着的表面积与生物量, 但在固定状态下, 由于粒径和空隙率的减小, 水流阻力增加, 流量相对减少, 阻塞效应加剧, 导致水流通过不畅, 易造成厌氧环境, 产生嫌气分解, 失去正常的净化功能。流化状态下, 水流量加大, 生物粒子膨胀, 反应条件改善, 促进了水和粒子表面的接触, 粒子与流体之间界面不断更新, 加之粒子之间相互碰撞, 摩擦, 致使生物膜较薄, 均匀, 活性好, 物质传递速率增加, 本试验在保证出水氨氮值为 0.5mg/L 以下时(温度 25℃, PH<8, 非离子氨浓度的计算值低于 0.02mg/L), 氨氮的去除率为 1600g/m<sup>3</sup>·d,

而固定状态下只为  $420\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{d}$ , 由此可见, 创造有利于生物膜酶促反应的环境是提高效率的一个重要方面。流化作用显著地增加了生物粒子净化水的能力, 并且效果稳定, 这对通过生物工程手段, 有目标的开发使用高效菌株或菌群[战培荣等 1997], 在选择反应方式和提高反应速率时, 具有重要的参考价值。

对几种生物净化法比较可知(见表 4), 生物流化床的表面积和 MLVSS 显著提高, 表现出具有高效率, 高负荷特性的内在因素, 虽然生物粒子流化时需要动力, 但这一问题在提水循环过程中即可予以解决, 不需要新的资金投入, 因而, 从成本角度考虑, 也是比较理想的。

表 4 几种生物净化法表面积和 MLVSS 比较

Tab. 4 Comparison of media surface areas and MLVSS concentration

表 面 积 ( $\text{m}^2/\text{m}^3$ )			MLVSS 浓度 ( $\text{mg}/\text{L}$ )		
普通滤池	生物转盘	生物流化床	纯氧活性污泥	普通活性污泥	生物流化床
39.36~98.4	131~164	2000~3000	3000~5000	2000~3000	8000~20000

电子显微镜扫描观察, 选择的流化粒子不仅比重适宜, 而且表面微孔较多, 有明显的细菌生长和分布, 平板培养的粒子表面细菌生长繁殖快, 分布均匀, 进一步表明流化作用有利于保持粒子表面细菌的活性。

鱼苗培育时期对水质要求较高,  $15\text{万尾}/\text{m}^3$  的密度是一般池塘饲养密度的几百倍, 试验组鱼苗普遍增重, 生长正常, 在培育时即能够驯化, 集中管理效率高, 经 15 天的饲养后以能够主动摄食, 各器官已明显分化, 成活率约 90%, 驯化的鱼苗, 对分池后继续培养十分有利; 而对照组鱼苗生长慢, 水中氨氮和亚硝酸氮浓度明显升高, 在第 6 天成活率已降至 5%, 这充分表明净化水的必要性, 同时也证实了生物流化床水质净化的高效性。

封闭式循环水集约化育苗是人工模拟“生态系统”, 涉及到多学科知识, 研究和完善此种优质, 高效的养殖方式, 是加速发展鱼苗生产的重要途径之一, 对我国苗种培育技术的提高也将起到积极的推动作用。

本文为农业部重点项目(渔 95-B-96-09-03-05)部分内容。

## 参 考 文 献

- 张曾惠, 顾泽南, 王维一等. 1978. 水与废水标准检验方法. 北京: 中国建筑工业出版社, 318~409.
- 周永欣, 张甫英, 周仁珍. 1986. 氨对草鱼的急性和亚急性毒性, 水生生物学报 10(1): 32~38.
- 战培荣. 1991. 封闭式集约化育苗生物流化床净化效果的初步研究, 高新技术农业应用研究. 北京: 中国科学技术出版社 318~323.
- 战培荣, 王丽华, 于沛芬等. 1997. 光合细菌固定化及其净化养鱼水质的研究, 水产学报 21(1): 97~100.
- 陈国铭译. 1988. 鱼类的营养和饲料, 台北, 五洲出版社, 142.
- 望月英藏. 1995. ニジマス循环ろ过饲育システムを半额で作る法, 养殖(12): 112.
- 清野通康. 1992. 循环滤过方式によるヒラメの効率的生产技术, 养殖(9): 34~38.
- Bovendeur J, Eding E. H, Henken A. M. 1987. Design and performance of water recirculation systems for high-density culture of the merica catfish. Aquaculture, 63: 329~353.
- Heinsbroek L, Kamstra A. 1990. Design and performance of water recirculation systems for eel culture. Aquacultural Engineering, 9: 187~207.

- Herman H. 1995. Diel dissolved oxygen consumption and total ammonia nitrogen production by fingerling channel Catfish following feeding at different times. *The Progressive Fish-Culturist*, 57(2): 156~160.
- Luo Jies G L. 1985. *Aquaculture Engineering*, 4: 41~48.
- Meade T L. 1974. The technology of closed system culture of salmonids. University of Rhode Island. Marine Technical Report 30. Kingston.
- Millamena O. 1990. Organic pollution resulting from excess feed and metabolite build-up: Effect on *Penaeus monodon* post-larvae. *Aquacultural Engineering* 9: 143~150.
- Paller M H, Lewis W M. 1988. Use of ozone and fluidized bed biofilter for increased ammonia removal and fish loading rates. *The Progressive Fish-Culturist*, 50: 141~147.
- Smart G. 1976. The effect of ammonia exposure on gill structure of the rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *J Fish Biol*, 8: 471~475.

## PERFORMANCE OF BIOFLUIDIZED BED IN RECIRCULATING WATER PURIFICATION FOR INTENSIVE CULTURE

ZHAN Pei-Rong, LIU Wei, LU Ling, TANG Yu-Sun  
(Heilongjiang River Fisheries Research Institute, CAFS, Harbin 150070)

**ABSTRACT** Two water purification methods were compared. The biofluidized bed was 3 times higher than biofixed bed in ammonia N loading and ammonia N removal rate. Distribution and growth of bacteria on the fluidized bio-particle surface was observed by electronic microscope and nutritive agar culture method. On the particle surface the biofilm was rich and well distributed. At the densities of 150 000 larvae/m<sup>3</sup>, in fifteen days, the common carp fry grew to 12.58±0.94mm in length and 21.2mg in weight in the biofluidized bed system, and the survival rate of larvae was 90%.

**KEYWORDS** Biofluidized bed, Intensive culture, Recirculating water purification