

添加红糖和芽胞杆菌对日本囊对虾室内 集约化养殖水质的调控作用

孙运忠^{1,2} 赵培^{1,3} 王彦怀⁴ 赵从明⁵
邓应能^{1,3} 杨丛海¹ 黄捷^{1*}

(¹农业部海洋渔业可持续发展重点实验室 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071)

(²青岛农业大学动物科技学院, 266109)

(³上海海洋大学, 201306)

(⁴天津市水产研究所, 300221)

(⁵天津立达海水资源开发有限公司, 300280)

摘 要 在日本囊对虾 *Marsupenaeus japonicus* 室内集约化养殖水体中添加红糖和枯草芽胞杆菌及其强化发酵液, 研究其对养殖水质及日本囊对虾生长与存活的影响。结果表明, 处理组水体在 14 d 时即可形成具生物絮团特征的絮状物, 镜检显示, 该絮状物包含细菌、单胞藻、原生动物和无定形碎屑。对照组水体中的无机氮总产生量为 56.2 g/m², 而处理组水体中的无机氮总产生量为 4.13 g/m²; 与对照组相比, 处理组水体的 COD 和活性磷酸盐含量显著提高; 对照组日本囊对虾产量为 0.55 kg/m², 处理组产量为 0.65 kg/m²; 每千克对虾耗用水量对照组为 28 t, 处理组为 3.4 t。研究结果表明, 在水体中添加红糖和枯草芽胞杆菌不失为一种有效的对虾集约化养殖的水质调控技术。

关键词 红糖 枯草芽胞杆菌 日本囊对虾 室内集约化养殖

中图分类号 S917.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2012)03-0070-07

Effect of brown sugar and *Bacillus* addition on water quality control for indoor intensive culture of *Marsupenaeus japonicus*

SUN Yun-zhong^{1,2} ZHAO Pei^{1,3} WANG Yan-huai⁴ ZHAO Cong-ming⁵
DENG Ying-neng^{1,3} YANG Cong-hai¹ HUANG Jie^{1*}

(¹Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

(²College of Animal Science and Technology, Qingdao Agricultural University, 266109)

(³Shanghai Ocean University, 201306)

(⁴Tianjin Fisheries Research Institute, 300221)

(⁵Tianjin Lida Seawater Resources Development Co., Ltd., 300280)

ABSTRACT Brown sugar, *Bacillus subtilis*, and fermentation solution were added to the in-

公益性行业(农业)科研专项经费项目(201103034)、现代农业产业技术体系(nycytx-46)和公益性科研院所基本科研业务费(2009-cb-01/A)共同资助

* 通讯作者。E-mail: huangjie@ysfri.ac.cn, Tel: (0532)85823062

收稿日期:2011-05-13;接受日期:2011-12-08

作者简介:孙运忠(1983-),男,硕士研究生,主要从事生物絮团技术研究。E-mail: sunyunzhong@yahoo.cn

door intensive culture system of *Marsupenaeus japonicus* to determine the impacts on water quality, shrimp growth and shrimp survival. The results showed that the flocculation with bio-flocs characteristics, consisting of bacteria, microalgae, protozoa, and amorphous organic detritus, was found under microscope in 14 d in the experimental group. The total amount of inorganic nitrogen in the control group was 56.2 g/m², while only 4.13 g/m² in the experimental group. Compared with the control group, the amount of COD and active phosphate increased significantly in the experimental group. The yield of *M. japonicus* was 0.55 kg/m² in the control group and 0.65 kg/m² in the experimental group. The water consumption by 1 kg shrimp production in the control group was 28 t, while only 3.4 t in the experimental group. This study showed that the addition of brown sugar and *B. subtilis* was effective on water quality control in intensive shrimp culture systems.

KEY WORDS Brown sugar *Bacillus subtilis* *Marsupenaeus japonicus*
Indoor intensive culture

Fujinaga 于 1962 年建立日本囊对虾 *Marsupenaeus japonicus* 育苗技术后,该对虾的养殖业开始兴起。日本囊对虾的养殖方式主要包括潮间带池塘养殖、陆地池塘养殖和水泥池高密度养殖(周浩郎 2001)。日本囊对虾具有潜沙的生活习性,但林琼武等(2001)开展日本囊对虾室内高密度精养研究时,铺沙池在存活率、产量、饵料系数、单位水体收益等方面反而不如池底未铺沙的对照组,其原因是池底沙层内污染物蓄积导致日本囊对虾栖息环境的恶化,因此研发日本囊对虾集约化养殖系统的水质调控技术十分必要。

水质调控可以采用物理、化学及生物方法进行调控。物理方法去除污染物主要包括移除、交换、吸附、沉淀等方法,化学方法主要采用化学原料与污染物直接发生化学反应使之转化为无害物质,这两种方法速度快、费用高,且存在二次污染的可能。生物方法主要为利用微生物、藻类以及不同营养层次的动物将养殖环境中的营养性污染物转化为其他无害物质(马文漪等 1998)。相对于物理、化学方法,生物方法通常具有综合利用效率高、操作简单、安全性高等优点。通过微生物转化的生物方法可以通过向养殖系统中定期添加大量微生物(文国樑等 2006;陈素文等 2005;MacDonald *et al.* 1993)来实现,这种方法成本高,微生物作用条件不易得到保障。而以色列学者 Avnimelech(1999)首次提出生物絮团技术,通过调节养殖水体中的 C/N 比促使异养微生物大量繁殖,同化无机氮,降低氨氮和亚硝酸氮水平,为水产养殖提供了一种崭新的微生物水质调控技术途径。自 2001 年起,美国南卡罗来纳州在 高密度对虾养殖系统中应用生物絮团技术,水质调控效果显著(Rosenberry 2006)。2009 年,黄捷等将该技术引入中国,先后应用到日本囊对虾、凡纳滨对虾室内封闭养殖系统中,在水质调控、饵料利用以及对虾防病等方面,均取得显著效果(Zhao *et al.* 2012;邓应能等 2012)。

本研究根据生物絮团技术的原理,在日本囊对虾室内集约化养殖水体中添加红糖和枯草芽胞杆菌及其强化发酵液,研究其对养殖水体的氨氮、亚硝酸氮、硝酸氮、COD 及活性磷酸盐等水质指标的影响,揭示红糖和芽胞杆菌添加在日本囊对虾集约化养殖系统中的水质调控作用,为对虾集约化养殖技术的优化提供参考。

1 材料与方 法

1.1 试验场地

试验于 2010 年 8~10 月在天津立达海水资源开发有限公司进行。试验池为 10 个水泥育苗池(20 m² × 0.7 m),有独立的给排水系统,池底较粗糙,裸露不铺沙,每池垂挂 16 个气石,24 h 连续充气。室内光照强度 800~9 000 lx,光周期(L:D)为 10:14。试验用海水来自蓄水池,盐度 23~31,温度 18~28℃。

1.2 试验材料

日本囊对虾 *Marsupenaeus japonicus* 于 2010 年 7 月 13 日购自河北省黄骅市南排镇坤达育苗场,平均体长 0.80 ± 0.03 cm,平均体重 0.0082 ± 0.0002 g。有机碳源选用市售红糖,购自天津大港农产品市场。对虾饵料 1~55 d 采用新鲜卤虫,55~78 d 采用冰冻卤虫,购自天津大港盐场。

1.3 枯草杆菌产品及其发酵

枯草芽孢杆菌产品购自青岛中仁有限公司,产品为黑色粉末状,标称菌含量为 2×10^8 CFU/g。为了增强芽孢杆菌的使用效果,在 $1 \text{ m} \times 1.5 \text{ m} \times 1.2 \text{ m}$ 的水泥池中,加入 1 m^3 的海水,连续 4 d 每天加入红糖 200 g、稻糠 400 g、豆粕 50 g、枯草芽孢杆菌粉 50 g,在 $23 \sim 33$ °C 下进行持续充气发酵后,直接用于养殖试验水体。

1.4 养殖试验分组与主要日常管理

在放苗密度约为 300 尾/ m^2 的日本囊对虾集约化养殖试验池中,研究红糖添加对养殖水体各项水质指标的影响。试验分对照组和处理组,每组分别设 4 和 6 个平行池,对照组为常规换水养殖模式。前 24 d,每 3 d 换水 30 cm。24~40 d,每 3 d 换水 50 cm。40 d 后,每 2 d 换水 50 cm。处理组添加红糖和枯草芽孢杆菌,放苗后前 7 d,红糖添加量为 $20 \text{ g}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$,枯草芽孢杆菌菌粉添加量为 $7 \text{ g}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$,7 d 后每天按照投饵量的 20% 添加红糖,水体中的无机氮异常升高时,红糖添加量增加到 200 g/池,并一直维持直到水质改善或下一次换水。与此同时,在处理组水体中按 $3.6 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot 4\text{d}$ 添加简易强化发酵菌液。根据水质监测情况,处理组在 33 d、46 d 和 76 d 共换水 3 次,每次 50 cm。对照组和处理组投饵量均根据估计的存活虾数量维持在相同水平。每 7 d 吸底 1 次以观察池底淤积情况和是否有死虾存在。

1.5 水质指标监测

实验开始后每 4~5 d 从每个实验池的 4 个边角和池中央的中层水各取 1 000 ml,以及出水口水样 1 000 ml,混匀,再从中取 1 000 ml 于量筒中静置 30 min,用生物显微镜(Olympus)观察絮状沉淀物的形态,上清液经 $0.45 \mu\text{m}$ 微孔滤膜过滤,滤液用于水质指标测定。滤液中的氨氮($\text{NH}_3\text{-N}$)含量测定采用次溴酸盐氧化法(国家海洋局 2007),亚硝酸氮($\text{NO}_2\text{-N}$)含量测定采用盐酸萘乙二胺分光光度法(国家海洋局 1991),硝酸氮($\text{NO}_3\text{-N}$)含量测定采用锌-镉还原法(国家海洋局 1991),COD 测定采用碱式高锰酸钾法(国家海洋局 1991),磷酸盐($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)含量测定采用磷钼蓝分光光度法(国家海洋局 1991)。

1.6 数据统计分析

采用 SPSS 13.0 对数据进行单因素方差分析、Turkey 多重检验,以 $P < 0.05$ 作为差异显著水平判定条件。

2 结果

2.1 生物絮团形成现象观察和管理调控情况

添加红糖和芽孢杆菌处理组的池塘在养殖第 7 天开始水体透明度就明显下降。在第 14 天时处理组水体透明度降低到 20 cm,水色呈现土黄色,而对照组水体透明度为 30 cm,水色呈现淡绿色。用量筒取水样,可观察到处理组水中有不大于 5 mm 的絮状物漂浮,用显微镜观察这些漂浮的絮状物,可见到其中包含大量微生物、单细胞藻类、原生动物、水丝蚓等,表明生物絮团已经形成。夜晚手电筒照射时,处理组中大量对虾在池面上跳跃,而对照组仅有少量对虾有这种现象。

本研究为日本囊对虾生产性中试,所采取的管理调控措施以维持生产为主。在养殖 26 d 时,处理组生物絮团形态构成主要为细菌、单胞藻,丝状蓝藻和轮虫,养殖 32 d 时,水体中氨氮含量激增,于第 33 天应急换水

50 cm,并采取每池每天红糖投入量增加到200 g的措施,随后水体中氨氮逐渐下降,生物絮团中的原生动物和水丝蚓等数量增加。养殖45 d时,在显微镜下观察到处理组生物絮团中的轮虫数量又有猛增的趋势,46 d时再次换水50 cm。养殖72 d时处理组透明度突然升高到50 cm,第76天,第3次换水50 cm。统计对照组和处理组的用水总量,对照组用水总量为312 t/池,其中换水298 t/池;处理组用水总量为44 t/池,其中换水30 t/池。到养殖74 d时,合计直接投入的红糖、枯草芽胞杆菌菌粉,并折算枯草芽胞杆菌发酵物原料等的总量,处理组累计投入红糖18 kg/池,枯草芽胞杆菌菌粉2 kg/池,稻糠10 kg/池,豆粕1.5 kg/池。

2.2 红糖和芽胞杆菌添加对养殖水体氨氮含量变化的影响

养殖过程中水体氨氮含量测定结果表明,养殖期1~15 d内各组的氨氮含量平稳地保持在0.002~0.15 mg/L的极低水平;养殖期15~28 d,随着对虾生长加快,投饵量加大,对照组虽然每3 d换水1次,其氨氮的含量仍然不断上升,平均达到1.9 mg/L水平,而此时处理组氨氮含量一直保持在0.08~0.15 mg/L的低水平,与对照组差异显著;随着投饵量进一步增加和水温升高,处理组和对照组氨氮均出现显著上升,第32天监测时发现处理组氨氮突然显著增高到平均3.77 mg/L水平,为维持中试生产,于33 d时处理组换水50 cm,并将红糖添加量增加到200 g/池·d,该措施平抑了氨氮浓度上升趋势。随着对照组在40 d后将换水频率由3 d缩短到2 d,44 d时处理组氨氮出现显著高于对照组的情况,因此46 d时处理组再次换水50 cm,并保持高红糖添加量,到第48 d测定时平均氨氮水平已降至0.55 mg/L,并在随后的养殖中一直保持在0.60 mg/L以下的很低水平(图1)。

2.3 红糖和芽胞杆菌添加对养殖水体亚硝酸氮含量变化的影响

养殖水体亚硝酸氮含量测定结果表明,养殖1~15 d,两组亚硝酸氮含量均维持在0.3 mg/L以下;养殖15~36 d,对照组的亚硝酸氮含量急剧升高到1.6 mg/L,随着换水量加大,再缓慢下降到1.0 mg/L左右,这一时期处理组的亚硝酸氮含量呈现缓慢上升的趋势,且显著低于对照组;36 d时处理组红糖添加量增加到200 g/池·d,并换水50 cm,亚硝酸氮开始逐渐下降;养殖40 d以后,处理组和对照组平均含量均在1 mg/L以下波动,差异不显著(图2)。

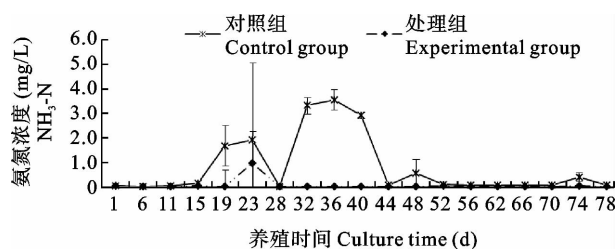


图1 室内集约化养殖日本囊对虾水体中氨氮含量变化
Fig. 1 The concentration of ammonia-N in the water of indoor intensive *M. japonicus* farming

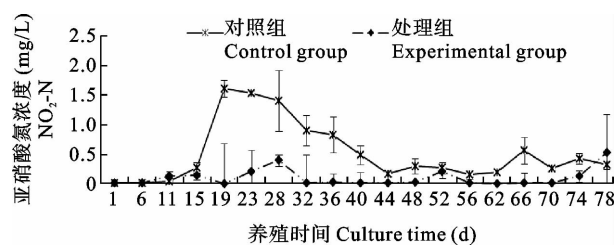


图2 室内集约化养殖日本囊对虾水体中亚硝酸氮含量变化
Fig. 2 The concentration of nitrite-N in the water of indoor intensive *M. japonicus* farming

2.4 红糖和芽胞杆菌添加对养殖水体硝酸氮含量变化的影响

养殖水体硝酸氮含量测定结果表明,养殖期1~15 d,各组硝酸氮含量水平很低,变化较小;养殖期15~36 d,对照组的硝酸氮平均含量迅速升高到3.04~4.68 mg/L的范围,而处理组在28 d后才开始上升,在32~36 d达到整个养殖期的最高点,平均2.88 mg/L;养殖36 d以后,对照组硝酸氮多数时间在1.15~5.20 mg/L范围起伏变动,而处理组硝酸氮平均含量一直低于1.35 mg/L(图3)。

2.5 红糖和芽孢杆菌添加对养殖水体中无机氮含量变化的影响

整合氨氮、亚硝酸氮和硝酸氮的监测结果,可以看到,对照组在1~15 d无机氮水平保持低位,从第15天开始无机氮水平开始上升,并分别在19~23 d、32~36 d和62~66 d分别出现3次高峰;而处理组在1~28 d无机氮水平一直保持低位,从第28天开始无机氮水平开始上升,在32~36 d到达高峰,其后随着管理措施的调整逐渐下降,并在48 d后维持在较低的水平(图4)。根据整个养殖过程中的用水量,计算可得单位养殖面积无机氮产生量对照组为56.2 g/m²,处理组为4.13 g/m²。

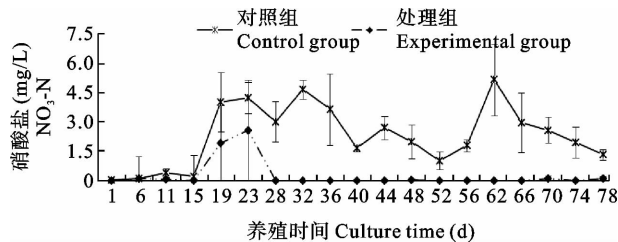


图3 室内集约化养殖日本囊对虾水体中硝酸氮含量变化
Fig. 3 The concentration of nitrate-N in the water of indoor intensive *M. japonicus* farming

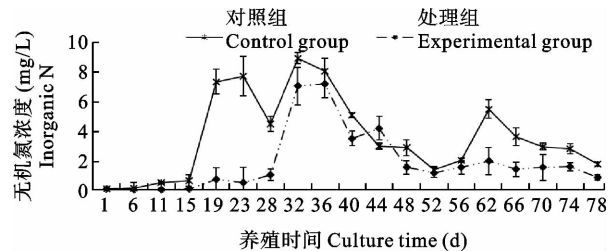


图4 室内集约化养殖日本囊对虾水体中无机氮的变化
Fig. 4 The concentration of inorganic N in the water of indoor intensive *M. japonicus* farming

2.6 红糖和芽孢杆菌添加对养殖水体 COD 变化的影响

养殖水体 COD 测定结果表明,在养殖28 d内,各组 COD 浓度均呈上升趋势,但差异不显著;养殖期28~70 d,处理组的 COD 显著高于对照组;对照组在56 d前维持平稳状态,在62~66 d出现突然升高,而处理组一直保持较平稳,但在70 d后出现突然的大幅下降,与处理组在72 d时水体突然变清的情况相符(图5)。根据整个养殖过程中的用水量,计算可得单位养殖面积 COD 产生量在对照组为141.3 g/m²,处理组为29.5 g/m²。

2.7 红糖和芽孢杆菌添加对养殖水体磷酸盐含量变化的影响

养殖水体磷酸盐含量测定结果表明,各组活性磷酸盐的含量在整个养殖过程中维持在较低的水平,其中处理组在养殖15~66 d时磷酸盐平均含量呈先上升后下降的趋势,在36 d时达到最高的0.068 mg/L;而对照组的磷酸盐平均含量多数时间在极低的0.007 mg/L水平,只在19 d和62~70 d时达到过0.015 mg/L的低水平(图6)。

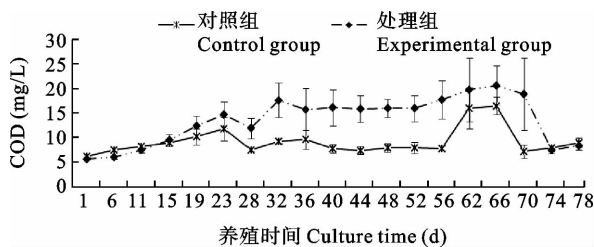


图5 室内集约化养殖日本囊对虾水体中 COD 变化
Fig. 5 The concentration of COD in the water of indoor intensive *M. japonicus* farming

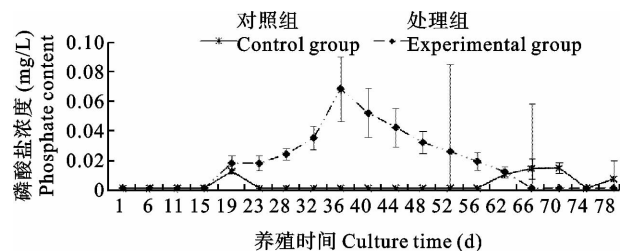


图6 室内集约化养殖日本囊对虾水体中磷酸盐含量变化
Fig. 6 The concentration of phosphate in the water of indoor intensive *M. japonicus* farming

2.8 日本囊对虾室内集约化中试养殖的生长及存活情况

本研究中集约化养殖的日本囊对虾在放苗时平均体长为0.80±0.03 cm,养殖37 d时测定各组生物学体

长,对照组对虾平均生长了 3.5 cm,生长速率为 0.09 cm/d;处理组对虾平均生长了 3.7 cm,生长速率为 0.1 cm/d。养殖 37~78 d 期间,对照组对虾平均生长了 3.1 cm,处理组对虾平均生长了 3.3 cm。处理组日本囊对虾在生物学体长和体重上均高于对照组(表 1)。由于对虾附肢磨损,加之水温不断下降以及鲜活饲料供应困难,此后的对虾生长陷入基本停滞状态,而存活率却不断下降,在养殖 113 d(2010 年 11 月 7 日)后决定终止养殖,收获时,红糖和芽胞杆菌添加组的平均产量为 0.65 kg/m²,对照组的平均产量为 0.55 kg/m²,处理组的对虾存活率约为 39.0%,略高于对照组的 36.6%。因池底未铺沙,日本囊对虾附肢出现严重的磨损现象,对照组和处理组的日本囊对虾 90%以上出现附肢磨损,磨损严重的对虾个体可见步足几乎完全丧失功能,附肢磨损导致日本囊对虾无法正常活动及抓取饲料进食,从而影响了日本囊对虾生长速度和存活率。

表 1 室内集约化养殖的日本囊对虾的生长情况和存活率

Table 1 The growth and survival of the indoor intensive farmed *M. japonicus*

组别 Group	生物学体长 (cm) Biological body length	生物学体重 (g) Biological weight	存活率 (%) Survival rate
对照组 Control group	7.4±0.5	5.0±0.5	36.6
处理组 Experimental group	7.8±0.5	5.56±0.7	39.0

3 讨论

日本囊对虾通常采用室外土池低密度粗放式养殖模式,产量多在 0.030~0.045 kg/m²,很少达到 0.075 kg/m²的水平(牟乃海等 2008)。周晨光等(2008)利用塑料大棚的 300 m²池开展日本囊对虾精养高产试验,放养 0.8 cm 的仔虾 120 尾/m²,养殖 132 d 取得 0.55 kg/m²的高产;林琼武等(2001)利用闲置的 21 m²育苗池开展日本囊对虾室内高密度精养研究,放养 1.6 cm 左右的仔虾 294 尾/m²,养殖 87 d 取得 0.62~1.0 kg/m²产量。本研究采用池底不铺沙的闲置育苗池,放养 0.8 cm 的仔虾 300 尾/m²,养殖期 113 d,用常规换水方式养殖的对照组,产量为 0.55 kg/m²;采用添加红糖和芽胞杆菌的方法控制水质,产量达 0.65 kg/m²,由于最后 30d 对虾个头几乎不长而数量不断减少,如果养殖期在 80 d 左右终止,实际产量应该还会显著提高。从产量上来看,本研究的日本囊对虾中试达到了精养高产的水平。

在养殖水体中添加碳水化合物,能促进异养微生物的繁殖(Schneider *et al.* 2006),并带动以异养微生物为食物的原生动物群落增加,多种微小生物经生物絮凝会逐渐形成絮状集落,异养微生物消耗养殖水体的无机氮作为其生长繁殖所需氮源,有效稳定了水质,同时为原生动物、微小浮游动物及养殖动物增加了微生物蛋白源(Avnimelech 1999;Crab *et al.* 2009)。本研究在日本囊对虾集约化养殖中试中,采用添加红糖和芽胞杆菌的方法培育生物絮团,起到了有效的水质调控作用,大大减少了水耗,折算 1 kg 虾用水总量仅 3.4 t,而采用常规方法进行换水方式养殖的对照组中,折算 1 kg 虾用水量约 28.4 t。在周晨光等(2008)报道的塑料大棚日本囊对虾精养高产试验中,日换水量为 10%左右,估算其 1 kg 虾的换水量约 35~40 t;林琼武等(2001)在利用闲置育苗池的日本囊对虾室内高密度精养研究中,日换水量 40%,估算其 1 kg 虾的换水量在 57~93 t,折算下来,这些传统的精养高产方式的实际水消耗量(0.030~0.045 kg/m²)是粗放式养殖的 1~3 倍。本研究采用红糖和芽胞杆菌添加方法使日本囊对虾集约化养殖的用水量降低到常规换水(对照组)的 12%以内,仅为其他报道的精养高产试验用水量的 3.7%~8.5%,用水的大量减少能极大地节省抽水的能源成本,还大大减轻了养殖活动对水资源的压力,降低了对水资源的依赖。实验结果还反映出,采用添加红糖和芽胞杆菌的处理组不仅可有效调控养殖水体的无机氮浓度,而且对 COD 产生总量的控制也起到了显著作用,处理组的无机氮产生总量仅仅是对照组的 7.3%,处理组产生的非沉淀性 COD 总量是对照组的 19%,这些作用效果远优于小球藻-芽胞杆菌联合应用对凡纳滨对虾养殖的水质调控作用(沈南南等 2008)。对照组通过常规换水,使养殖过程所产生的大部分无机氮和 COD 被排放到环境之中,加剧了环境富营养化问题,而生物絮团技术则可有效降低养殖废水排放,是一种集约化养殖水质调控及节能减排的有效手段。

日本囊对虾有潜伏沙层的习性,传统的养殖方式多采用池底铺沙(洪小括 1993),然而铺沙在集约化养殖中存在沙底更易淤积污染而导致日本囊对虾栖息环境恶化的问题(林琼武等 2001),且池底铺沙需要消耗大量的人力物力,因此本实验在利用水泥育苗池(由于老化,池底较粗糙)进行室内日本囊对虾集约化养殖中试尝试时,未进行池底铺沙处理,但113 d养殖结束后对虾产量仅为 0.65 kg/m^2 ,存活率仅为39.0%,推测原因可能是池底未铺沙导致日本囊对虾附肢磨损严重,对虾无法正常抓取饲料,到后期加上水温下降和饲料不理想,影响了对虾产量(高锡伦等 2006)。此外,在无底质环境下,幼虾退壳后无隐蔽之处,易被残食,影响了对虾成活率(藏维玲等 2003)。2009年,作者在山东胶州用生物絮团技术开展日本囊对虾室内集约化养殖时,采用了铺沙的池底在养殖密度为 200 尾/m^2 的条件下,经106 d养殖,对虾生物学体长达到11.33 cm,产量为 1.29 kg/m^2 养殖结束时,对虾附肢完整,完全无磨损(Zhao *et al.* 2012)。2010年作者在河北唐山还尝试了用稻壳代替沙粒铺底进行高密度集约化日本囊对虾生物絮团养殖,但由于苗种带毒严重和稻壳可能存在农药残留而导致试验失败(结果未发表),这些研究说明不采用铺沙的方法在水泥池进行日本囊对虾的集约化养殖还存在一定问题,相关技术仍有待开发。

致谢:天津立达海水资源有限公司王 军和马 艳分别为日本囊对虾养殖技术和水质测定提供帮助,谨致衷心感谢。

参 考 文 献

- 马文漪,扬柳燕. 1998. 环境微生物工程. 南京:南京大学出版社,154~165
- 文国樑,曹煜成,李卓佳,李色东,陈康德,陈永青. 2006. 芽孢杆菌合生素在对虾集约化养殖中的应用. 海洋水产研究,27(1):54~58
- 邓应能,赵 培,孙运忠,杨丛海,黄 捷. 2012. 生物絮团在凡纳滨对虾封闭养殖试验中的形成条件及作用效果. 渔业科学进展,33(2):69~75
- 牟乃海,汉景明,牟郭英,焦 伟,侯要和. 2008. 日本对虾高效养殖新技术. 科学养鱼,11:38~38
- 沈南南,李纯厚,贾晓平,李卓佳. 2008. 小球藻与芽孢杆菌对对虾养殖水质调控作用的研究. 海洋水产研究,29(2):48~52
- 陈素文,陈利雄,吴进锋. 2005. 光合细菌和复合微生物制剂在西施舌幼虫培育的应用. 南方水产,1(2):26~30
- 国家海洋局. 1991. 海洋监测规范(中华人民共和国行业标准). 北京:海洋出版社
- 国家海洋局. 2007. 海洋监测规范(中华人民共和国行业标准). 北京:海洋出版社
- 周浩郎. 2001. 高密度养殖条件下土池中日本对虾体长的增长. 广西科学院学报,17(2):91~95
- 周晨光,陈佳颖,黄秀葵. 2008. 日本对虾精养高产技术初探. 齐鲁渔业,25(2):27~27
- 林琼武,单保党,刘立东,黄加祺. 2001. 北方地区秋季日本对虾室内高密度精养的试验. 台湾海峡,20(4):510~513
- 洪小括. 1993. 日本对虾养殖技术简介. 中国水产,(4):32~33
- 高锡伦,陈兆芳,张庆起,彭官强,胡娅娅. 2006. 池养日本对虾越冬与交配技术的研究. 水产养殖,27(6):35~38
- 藏维玲,戴习林,姚庆楨,刘旭初,万利勤,崔 莹,徐桂荣,丁福江. 2003. 底质对日本对虾幼虾生长的影响. 上海水产大学学报,12(1):72~75
- Avnimelech, Y. 1999. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. Aquaculture, 176: 227~235
- Crab, R., Kochva, M., Verstraete, W., and Avnimelech, Y. 2009. Bio-flocs technology application in over-wintering of tilapia. Aquacultural Engineering, 40: 105~112
- MacDonald, J. A., and Rittmann, B. E. 1993. Performance standards for in situ bioremediation. Environ. Sci. Technol. 27(10): 1974~1979
- Schneider, O., Sereti, V., Machiels, M. A. M., Eding, E. H., and Verreth, J. A. J. 2006. The potential of producing heterotrophic bacteria biomass on aquaculture waste. Water Research, 40(14): 2684~2694
- Zhao, P., Huang, J., Wang, X. H., Song, X. L., Yang, C. H., Zhang, X. G., and Wang, G. C. 2012. The application of bioflocs technology in high-intensive, zero exchange farming systems of *Marsupenaeus japonicus*. Aquaculture. doi:10.1016/j.aquaculture.2012.03.034