

DOI: 10.3969/j.issn2095-9869.20250421001

http://www.yykxjz.cn/

朱欣洁, 王秀华, 郑磊, 杨冰, 席瑞, 潘明超, 胡希立. 原位与异位生物絮团养殖凡纳对虾的比较研究. 渔业科学进展, 2026, 47(2): 203–213  
ZHU X J, WANG X H, ZHENG L, YANG B, XI R, PAN M C, HU X L. Comparative study on *in-situ* and *ex-situ* biofloc technology in *Penaeus vannamei* aquaculture. Progress in Fishery Sciences, 2026, 47(2): 203–213

## 原位与异位生物絮团养殖凡纳对虾的比较研究\*

朱欣洁<sup>1,2</sup> 王秀华<sup>2,3①</sup> 郑磊<sup>2</sup> 杨冰<sup>2,3</sup> 席瑞<sup>2</sup> 潘明超<sup>2</sup> 胡希立<sup>2</sup>

(1. 大连海洋大学水产与生命学院 辽宁 大连 116023;

2. 海水养殖生物育种与可持续产出全国重点实验室 中国水产科学研究院黄海水产研究所 山东 青岛 266071;

3. 中国水产科学研究院黄海水产研究所 农业农村部海水养殖病害防治重点实验室  
青岛市海水养殖流行病学与生物安保重点实验室 山东 青岛 266071)

**摘要** 为综合评价原位与异位生物絮团在对虾养殖中的应用效果, 本研究比较了在零换水条件下, 原位生物絮团(IB)与异位生物絮团(EB)养殖系统中, 凡纳对虾(*Penaeus vannamei*)生长性能、血清生理生化及免疫指标的差异, 检测了养殖水体与对虾体内弧菌(*Vibrio*)载量及养殖水体  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  及  $\text{NO}_2^-\text{-N}$  浓度的变化, 同时分析了 2 个培养方式下絮团内细菌群落组成。结果表明, IB 组对虾增重率与特定生长率高于 EB 组( $P<0.05$ ), 饵料系数低于 EB 组( $P<0.05$ ); IB 组对虾血清谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性高于 EB 组( $P<0.05$ ), 总胆固醇(T-CHO)、总蛋白(TP)含量及谷草转氨酶(AST)、谷丙转氨酶(ALT)活性 2 个絮团组之间没有显著差异( $P>0.05$ ); 免疫指标中除 IB 组酚氧化酶(PO)活性显著高于 EB 组外( $P<0.05$ ), 2 个絮团组过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、超氧化物歧化酶(SOD)及溶菌酶(LZ)活性差异不显著( $P>0.05$ )。在第 30、50 天 IB 组水体中弧菌量显著低于 EB 组( $P<0.05$ ), 除第 30 天外, 2 个絮团组对虾体内弧菌差异性不显著( $P>0.05$ )。除在第 50 天时 IB 与 EB 组的  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  浓度差异不显著外, 其他检测时段 IB 组  $\text{NO}_2^-\text{-N}$  与  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  浓度均显著低于 EB 组( $P<0.05$ ), IB 组中细菌的多样性高于 EB 组。综上可知, 原位絮团在促进对虾生长、改善水质及抑制弧菌方面均优于异位絮团。研究结果为生物絮团对虾养殖模式的推广应用提供了理论支持。

**关键词** 原位絮团; 异位絮团; 凡纳对虾; 养殖效果; 综合评价

中图分类号 S968.22 文献标识码 A 文章编号 2095-9869(2026)02-0203-11

凡纳对虾(*Penaeus vannamei*)因其较强的环境适应能力、适合高密度养殖以及较高的养殖效益, 已成为全球对虾养殖的主要品种。随着对虾养殖行业的快速发展, 其养殖模式呈现多样化的发展趋势, 其中高密度的温棚养殖、高位池养殖及循环水养殖成为当前行业发展的主要模式(李健, 2022)。在高密度对虾养

殖的中后期, 饵料投喂量大, 对虾的代谢废物及残饵分解导致水体中氨氮及亚硝氮浓度快速升高, 若未能通过换水或生物降解等方法将其去除, 会造成养殖系统环境恶化, 导致对虾免疫力下降(Zhao *et al*, 2020; 邢逸夫等, 2023), 易受病原菌感染(Li *et al*, 2023), 影响对虾正常生理代谢(Racotta *et al*, 2000),

\* 国家重点研发计划(2023YFD2400705)和中央级公益性科研院所基本科研业务费(20603022023025)共同资助。  
朱欣洁, Email: 2777906761@qq.com

① 通信作者: 王秀华, 研究员, Email: wangxh@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2025-04-21, 收修改稿日期: 2025-05-05

给对虾养殖带来潜在风险。因此,在倡导绿色健康高效养殖背景下,开发能够降解水体有害废物的新型养殖技术,对提高对虾养殖产能具有重要的意义。

生物絮团技术(bioflocs technology, BFT)是近年来水产养殖中开发出的一项新技术,其作用机制是通过向养殖系统中补充碳源,利用养殖水体中的氮源,培养异养硝化细菌及产絮凝剂微生物,实现在养殖水体中原位脱氮,达到降低有害氮浓度的目的(Yang *et al.*, 2019),形成的絮团颗粒也可被养殖对虾摄食,具有提高饲料利用率的效果(Ekasari *et al.*, 2010)。BFT在改良水质、节约养殖用水、促进虾生长及提高免疫力等方面具有较多优势(Addo *et al.*, 2023),而生物絮团中的有益菌还能有效抑制病原菌增殖、降低养殖动物发病率(Guo *et al.*, 2023)。目前, BFT已在温棚、高位池、室内零换水对虾养殖及淡水罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)、鲤(*Cyprinus carpio*)等的养殖中有较多的应用(Azim *et al.*, 2008; Liu *et al.*, 2019; 赵志刚等, 2017)。然而,在 BFT 的应用中,也存在中后期絮团积累过多导致生物耗氧量大、水体 pH 下降(Ulloa Walker *et al.*, 2020)及养殖动物呼吸障碍(Ogello *et al.*, 2021)等问题。

在生物絮团对虾养殖中,传统的絮团培养方式是在对虾养殖水体中添加碳源,调控碳氮比,促进絮团形成,即为原位絮团培养。而近几年来,一种异位生物絮团养殖技术在对虾及鱼类养殖中也有研究报道,该方法是在养殖池外的其他水池或生物反应器中,加入养殖用水及碳氮源等营养物质,模拟原位絮团形成的条件进行絮团培养,之后将形成的生物絮团移植到养殖系统中(Menaga *et al.*, 2019; Situmorang *et al.*, 2022)。原位絮团与异位絮团的培养方式不同,用于对虾养殖的絮团管理措施、养殖空间利用及操作流程存在差异,而目前对 2 个生物絮团养殖的整体效果尚缺少系统研究。为此,本研究比较了 2 个絮团养殖方式下对虾生长性能、免疫力水平、体内外弧菌(*Vibrio*)载量及水体有害氮等指标差异,旨在丰富和完善生物絮团技术在对虾养殖中的应用方法,拓宽生物絮团在对虾养殖中的应用方式,促进对虾养殖业的健康发展。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

实验用 SPF 凡纳对虾,平均体长(5.80±0.13) cm,平均体重(2.72±1.09) g,由中国水产科学研究院黄海水产研究所琅琊基地提供,经检测不携对虾白斑病毒(WSSV)、虾肝肠胞虫(EHP)、十足目虹彩病毒(DIV1)、

传染性皮下及造血组织坏死病毒(IHHNV)及致急性肝胰腺坏死病副溶血弧菌(*VP<sub>AHPND</sub>*)等病原;配合饲料购于通威股份有限公司,粗蛋白≥43.0%、粗脂肪≥6.0%、粗纤维≤5.0%、粗灰分≤16%、总磷≥12.0%、赖氨酸≥2.40%、水分≤12.0%;碳源为纯度 99.45%的蔗糖。规格为 2 m×1 m×1.1 m 的玻璃钢水池作为养殖池和专用絮团培育池,养殖池有效水深 0.8 m。

### 1.2 实验设计及生物絮团培养方法

实验设 4 组,如表 1 所示,处理组为原位絮团组(*in-situ* biofloc, IB)、异位絮团组(*ex-situ* biofloc, EB),空白对照组包括换水组(water exchange, WE)及零换水组(zero-water exchange, ZE),每组 4 个平行,养殖实验期 50 d。其中 1 个平行组的虾用于补足其他 3 个养殖实验池因采样减少的虾数量。

表 1 实验分组及絮团形成方式  
Tab.1 Experimental grouping and ways of biofloc formation

组别 Group	蔗糖与饲料比 Ratio of sucrose to feed/%	日换水率 Rate of water exchange/%	絮团形成方式 Way of biofloc cultivation
零换水组 ZE	0	0	/
换水组 WE	0	25	/
原位絮团组 IB	50	0	原池培养 Cultured in the pond with shrimp
异位絮团组 EB	0	0	外源添加 Cultured outside the shrimp pond

注:“/”指未培养絮团或移入异位絮团。

Note:“/”means no cultivation or importation of biofloc.

IB 组中,每天向养殖系统中添加 1 次蔗糖,用量参照邓应能等(2012),并调整为饲料投喂量的 50%,各实验池中置 4 个曝气石,连续充气,维持溶氧 6.0 mg/L 以上。同时在池底部安装功率 25 W,流量 1 500 L/h 的循环泵,推动底部池水水平旋转。养殖期絮团浓度(V/V)维持在 13.0~15.0 mL/L (Avnimelech *et al.*, 2012),当絮团浓度高于 15.0 mL/L 浓度时,捞出多余絮团;EB 组每天从专用絮团培育池中用 150 目的筛网捞取培育的絮团,添加到养殖池中,使其浓度与 IB 组相同;ZE 组,实验期间不进行换水,不添加碳源。WE 组不添加碳源,每天换水 25%。IB、EB 及 ZE 组,每天补充因水蒸发、采样及絮团移出过程中损失部分的水量。

### 1.3 专用絮团培养方法

取 4 个专用絮团培育池, 分别加养殖用海水 2.0 m<sup>3</sup>, 加红糖 1 400 g 和氯化铵 160 g, 作为营养物质(Uawisetwathana *et al*, 2021; 孙振等, 2013), 混匀后用原位絮团培养方法培养异位生物絮团, 当部分絮团被采集后, 需补加新水及相应浓度的碳氮源, 继续培养。

### 1.4 养殖管理

各实验池放实验虾 200 尾, 每天定时投喂 4 餐, 日投喂量为对虾体重的 3%并精确记录投喂量。实验期间海水盐度为 31.5, 用恒温加热器维持水温在 (28.0±0.5) °C, 养殖后期, 用碳酸钠溶液调节水体 pH 在 7.0 以上。

### 1.5 样品采集

实验结束时, 统计各组的对虾存活数量, 并随机从每个平行组中抽取对虾 10 尾, 吸水纸擦干体表水分, 准确测量其体长、体重; 用 1 mL 的注射器从围心腔等量抽取血淋巴立即置于无菌 EP 管中, 4 °C 过夜后 4 000 × g 离心 5 min, 取上清液存放于 -80 °C 冰箱中, 用于生理生化指标及免疫相关酶活性分析。之后解剖取出每尾虾的肝胰腺及腹部肌肉精确称重, 用于对虾生长性能指标统计。

在第 10、30 和第 50 天各组取水样 500 mL, 用 0.45 μm 孔径的无菌混合纤维素酯滤膜抽滤, 收集水体中絮团置于无菌袋内 -80 °C 保存, 用于絮团中细菌组成分析, 水样滤液用于氨氮(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N)、亚硝态氮(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N)浓度测量, 每组取 3 个平行。

### 1.6 生物絮团体积指数测定

实验开始后, 每隔 5 d, 从各池四角和中央区域的水下 10 cm 处取等量水样混合, 置于英霍夫锥形瓶中, 静置 15 min, 待水样中生物絮团完全沉淀后, 记录絮团沉淀物体积及混合水体的总体积, 计算絮团体积指数(floc volume index, FVI)。

$$FVI = \text{絮团体积(mL)} / \text{水体体积(L)}$$

### 1.7 对虾生长性能指标

实验结束后, 计算各组对虾的存活率、总产量、增重率、体长增长率、特定生长率、肝胰腺指数、出肉率及饵料系数。

$$\text{存活率(survival rate, SR, \%)} = N_t / N_0 \times 100\%$$

$$\text{总产量(total output, TO, kg)} = N_t \times W_t$$

$$\text{增重率(weight gain rate, WGR, \%)} = (W_t - W_0) / W_0 \times 100\%$$

$$\text{体长增长率(body length growth rate, BGR, \%)} = (L_t - L_0) / L_0 \times 100\%$$

$$\text{特定生长率(special growth rate, SGR, \% / d)} = (\ln W_t - \ln W_0) / d$$

$$\text{肝胰腺指数(hepatopancreatic index, HSI, \%)} = W_h / W_t \times 100\%$$

$$\text{出肉率(meat yield, MY, \%)} = M_h / W_t \times 100\%$$

$$\text{饵料系数(feed conversion ratio, FCR)} = FI / (W_t - W_0)$$

式中,  $N_0$  和  $N_t$  分别代表实验初始和结束时对虾尾数,  $W_0$ 、 $W_t$  分别表示实验初始和结束时各组虾的平均体重(g),  $L_0$ 、 $L_t$  分别表示初始时虾平均体长和结束时虾平均体长(cm),  $W_h$ 、 $M_h$  分别代表肝胰腺和腹部肌肉的质量(g),  $d$  表示养殖天数,  $FI$  为实验期间每组虾摄食饵料的总质量(g)。

### 1.8 生化指标及免疫相关酶活性测定

对虾血清生化指标总胆固醇(T-CHO)、总蛋白(TP)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)、谷丙转氨酶(ALT)、谷草转氨酶(AST)及免疫相关指标超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、酚氧化酶(PO)、溶菌酶(LZ)均采用试剂盒测定, 测定方法见说明书。其中, TP 试剂盒购于上海贝博生物科技有限公司, T-CHO、GSH-Px 试剂盒购于北京盒子生工科技有限公司, AST、ALT、SOD 试剂盒购于南京建成生物工程研究所; POD、CAT、PO 及 LZ 试剂盒购于生工生物工程(上海)股份有限公司。

### 1.9 对虾体内及水体中弧菌定量

参照张红芳等(2024)的方法, 于养殖实验的第 10、30、50 天分别取各组平行中的水样及对虾肝胰腺, 用于水体中弧菌浓度及对虾肝胰腺中弧菌载量分析。

### 1.10 水体 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 和 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 浓度测定

养殖水体中 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 和 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 的浓度测定参照海洋监测规范第 4 部分: 海水分析中的靛酚蓝分光光度法和萘乙二胺分光光度法进行。

### 1.11 絮团中细菌组成分析

将收集的各组絮团样品, 送至上海美吉生物技术有限公司进行高通量测序, DNA 提取、PCR 扩增、高通量测序和数据分析参考金若晨等(2020), 样品中检出丰度大于 0.1%的门类计入统计中。

### 1.12 数据统计与分析

实验数据使用 SPSS 19.0 软件进行统计分析, 经单因素方差分析(one-way ANOVA), 采用 Duncan 多

重检验分析差异显著性,  $P < 0.05$  表示差异显著。利用 Origin 2021 软件进行图形绘制。

## 2 结果

### 2.1 各组水体 FVI 变化

养殖到第 3 天时, 各组水体颜色逐渐呈棕黄色, 至第 5 天时, IB 组水中出现微小颗粒, EB 组开始添加外源絮团, 整个养殖期各组水体中 FVI 变化如图 1

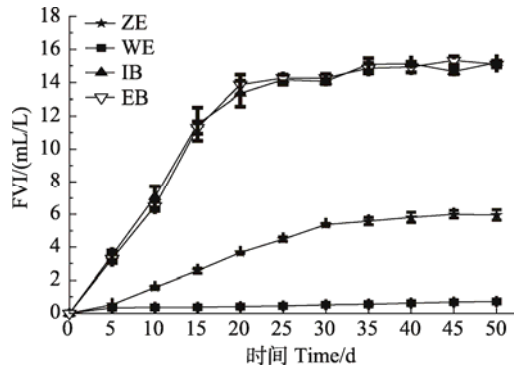


图 1 各组水体 FVI 变化(平均值±标准差,  $n=3$ )  
Fig.1 Variation of FVI in each group (Mean±SD,  $n=3$ )

ZE: 零换水组; WE: 换水组; IB: 原位絮团组;  
EB: 异位絮团组。  
ZE: Zero-water exchange; WE: Water exchange;  
IB: *In-situ* biofloc; EB: *Ex-situ* biofloc.

所示, IB 与 EB 组的絮团占比随养殖时间增加逐渐升高, 两组絮团占比相近, 最高达到 15.20 mL/L。ZE 组的絮团浓度随养殖时间增加出现一定的升高, FVI 最高仅为 5.00 mL/L 左右, WE 组中也有一定的悬浮物, 但其 FVI 未超过 0.50 mL/L。

### 2.2 对虾生长性能比较

实验结束, 统计各组对虾生长性能指标, 结果如表 2 所示。WE 组的对虾养殖成活率最高, 为(94.00±2.00)%, 次高组为 IB (85.75±3.53)%, 最低组为 ZE (79.83±7.02)%, 差异显著性分析显示, WE 组显著高于其他各组( $P < 0.05$ ), IB 与 EB 组差异不显著, 但显著高于 ZE 组( $P < 0.05$ ); 2 个絮团组的对虾总产量差异不显著( $P > 0.05$ ), 但均显著低于 WE 组、高于 ZE 组( $P < 0.05$ )。增重率由高到低依次为 WE、IB、EB 及 ZE 组, 各组差异显著( $P < 0.05$ ); 各组特定生长率从高到低的变化趋势与增重率的变化趋势一致, 各组差异显著( $P < 0.05$ ); 各组肝胰腺指数差异不显著( $P > 0.05$ ), 但各组间出肉率存在差异, 最高组为 WE 组(51.71±0.72)%, 次高组为 IB 组(49.77±0.30)%, 二者差异不显著( $P > 0.05$ ), 而 WE 组显著高于 EB 及 ZE 组( $P < 0.05$ ), IB、EB 及 ZE 组间出肉率没有显著差异。各组饵料系数由高到低依次为 ZE、EB、IB 及 WE, 各组差异显著( $P < 0.05$ )。表明原位絮团在促进对虾生

表 2 不同组对虾生长性能比较(平均值±标准差,  $n=3$ )

Tab.2 Comparison of growth performance of shrimp in different groups (Mean±SD,  $n=3$ )

生长指标 Growth index	组别 Group			
	ZE	WE	IB	EB
初始尾数 Initial shrimp number	200.00±0.00 <sup>a</sup>	200.00±0.00 <sup>a</sup>	200.00±0.00 <sup>a</sup>	200.00±0.00 <sup>a</sup>
结束时尾数 Final shrimp number	160.00±7.02 <sup>b</sup>	188.00±2.00 <sup>a</sup>	165.00±10.97 <sup>b</sup>	167.00±4.36 <sup>b</sup>
初始均重 Initial body weight/g	2.72±1.09 <sup>a</sup>	2.72±1.09 <sup>a</sup>	2.72±1.09 <sup>a</sup>	2.72±1.09 <sup>a</sup>
终末体质量 Final body weight/g	9.33±0.25 <sup>c</sup>	12.29±0.10 <sup>a</sup>	11.29±0.15 <sup>b</sup>	10.74±0.50 <sup>b</sup>
初始体长 Initial body length/cm	5.80±0.13 <sup>a</sup>	5.80±0.13 <sup>a</sup>	5.80±0.13 <sup>a</sup>	5.80±0.13 <sup>a</sup>
终末体长 Final body length/cm	9.27±0.09 <sup>c</sup>	9.87±0.03 <sup>a</sup>	9.67±0.06 <sup>ab</sup>	9.52±0.19 <sup>b</sup>
总产量 Total output/kg	1.49±0.10 <sup>c</sup>	2.31±0.02 <sup>a</sup>	1.86±0.10 <sup>b</sup>	1.79±0.13 <sup>b</sup>
体长增长率 BGR/%	38.12±1.43 <sup>b</sup>	50.52±2.71 <sup>a</sup>	44.59±6.13 <sup>ab</sup>	42.22±7.27 <sup>ab</sup>
存活率 SR/%	79.83±7.02 <sup>c</sup>	94.00±2.00 <sup>a</sup>	85.75±3.53 <sup>b</sup>	83.50±4.35 <sup>bc</sup>
增重率 WGR/%	243.03±9.14 <sup>d</sup>	351.87±3.54 <sup>a</sup>	319.00±7.55 <sup>b</sup>	294.83±18.18 <sup>c</sup>
特定生长率 SGR/(%/d)	2.46±0.05 <sup>d</sup>	3.01±0.02 <sup>a</sup>	2.87±0.04 <sup>b</sup>	2.74±0.09 <sup>c</sup>
肝胰腺指数 HSI	4.43±0.18 <sup>a</sup>	4.64±0.28 <sup>a</sup>	4.62±0.13 <sup>a</sup>	4.53±0.17 <sup>a</sup>
饲料系数 FCR	1.97±0.08 <sup>a</sup>	1.36±0.02 <sup>d</sup>	1.50±0.04 <sup>c</sup>	1.63±0.10 <sup>b</sup>
出肉率 MY/%	49.42±0.69 <sup>b</sup>	51.71±0.72 <sup>a</sup>	49.77±0.30 <sup>ab</sup>	48.48±1.12 <sup>b</sup>

注: “ZE”、“WE”、“IB”和“EB”分别表示零换水组、换水组、原位絮团组和异位絮团组。同行数据上标不同表示组间存在显著差异( $P < 0.05$ )。

Note: “ZE”, “WE”, “IB”, and “EB” mean groups of zero-water exchange, water exchange, *in-situ* biofloc, and *ex-situ* biofloc, respectively. Data in each line with different superscripts are significantly different ( $P < 0.05$ ).

长方面优于异位絮团。

### 2.3 对虾血清生化指标分析

实验结束时,分析各组对虾血清中 5 种生理生化指标结果见图 2。图 2A 显示 WE、IB 和 EB 三个组 T-CHO 含量差异不显著,但均高于 ZE 组( $P<0.05$ );图 2B 显示 IB、EB 及 ZE 组中对虾血清 TP 含量差异不显著,但低于 WE 组( $P<0.05$ );图 2C 显示 EB、WE 及 ZE 组对虾血清 GSH-Px 活性差异不显著( $P>0.05$ ),但均显著低于 IB 组( $P<0.05$ );图 2D 与图 2E 显示 IB、EB 及 ZE 组中对虾血清 AST、ALT 活性差异均不显著( $P>0.05$ ),但均显著低于 WE 组( $P<0.05$ )。

### 2.4 免疫相关酶活性比较

各组对虾血清中 5 种免疫相关的酶活性指标见图 3。IB 和 EB 组的 POD 活性差异不显著,但显著高于 ZE 和 WE 组( $P<0.05$ )(图 3A);WE 组的 CAT 活性显著高于 ZE 和 EB 组( $P<0.05$ ),但 IB 组活性与 WE 及 EB 组差异不显著( $P>0.05$ )(图 3B);各组的 PO 活性差异显著( $P<0.05$ ),由高到低分别为 WE、ZE、IB 及 EB 组(图 3C);各组的 SOD 及 LZ 的活性差异均不显著( $P>0.05$ )(图 3D、3E)。

### 2.5 养殖水体及对虾肝胰腺中弧菌载量比较

各组水体中的弧菌载量结果见图 4A,养殖第 10 天时,各组水中弧菌密度在  $3.60\times 10^1\sim 2.10\times 10^2$  CFU/mL 之间,差异不显著( $P>0.05$ )。在第 30 和 50 天时,ZE 组水中弧菌数量均显著高于其他各组,IB 组水中弧菌最低,均显著低于 EB 组( $P<0.05$ )。第 10、30、50 天各组对虾肝胰腺中弧菌数量见图 4B。IB 和 EB 组肝胰腺弧菌数在第 10、50 天时无显著差异( $P>0.05$ ),但在第 30 天,IB 组显著低于 EB 组( $P<0.05$ )。ZE 组肝胰腺中弧菌数始终保持最高,显著高于 2 个絮团组( $P<0.05$ )。

### 2.6 水体 $\text{NO}_2^-$ -N 及 $\text{NH}_4^+$ -N 浓度比较

不同养殖时间段各组水体中  $\text{NO}_2^-$ -N 浓度见图 5A,第 10、30、50 天,IB 组  $\text{NO}_2^-$ -N 浓度均显著低于其他组( $P<0.05$ ),ZE 浓度最高,显著高于其他组( $P<0.05$ )。各组水体中  $\text{NH}_4^+$ -N 浓度见图 5B,第 10、30 天,IB 组  $\text{NH}_4^+$ -N 浓度显著低于其他各组( $P<0.05$ ),第 50 天时与 EB 组差异不显著( $P>0.05$ ),但显著低于 2 个对照组( $P<0.05$ )。

### 2.7 生物絮团菌群分析

高通量分析第 10、30、50 天时各组絮团菌群在

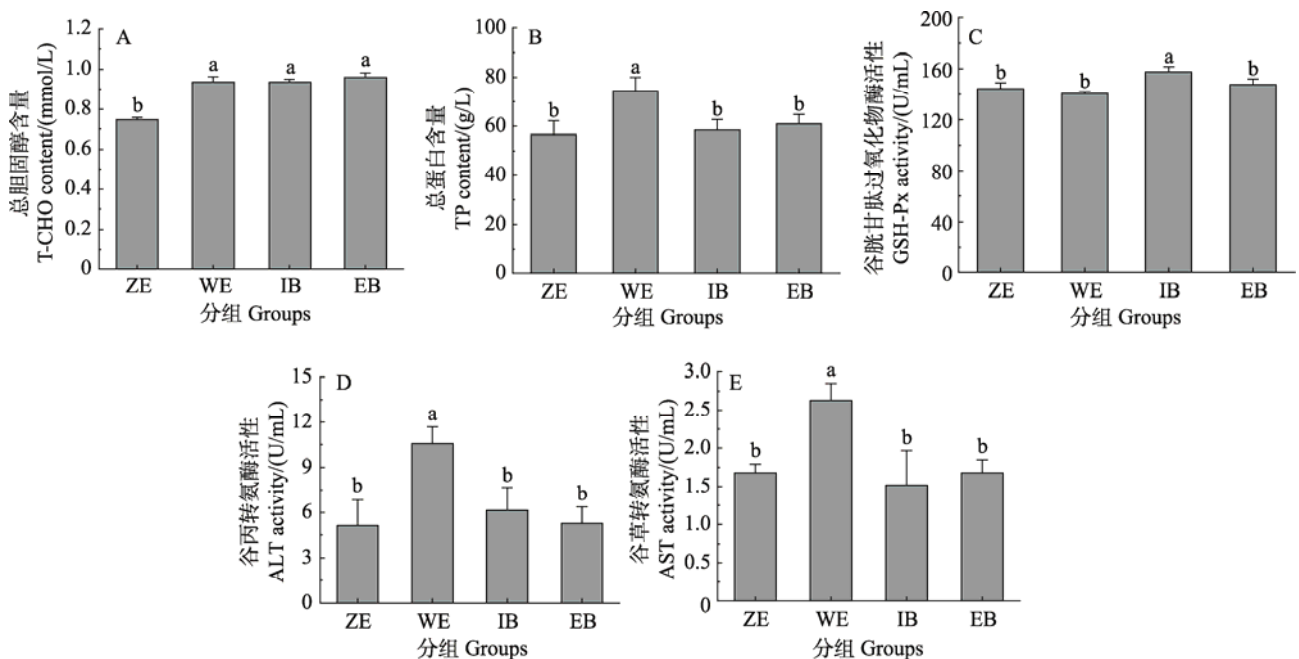


图 2 各组对虾血清生化指标比较(平均值±标准差,  $n=3$ )

Fig.2 Comparison of serum biochemical parameters of shrimp in different groups (Mean±SD,  $n=3$ )

ZE: 零换水组; WE: 换水组; IB: 原位絮团组; EB: 异位絮团组。

柱上的不同小写字母代表各组存在显著差异( $P<0.05$ ), 下同。

ZE: Zero-water exchange; WE: Water exchange; IB: *In-situ* biofloc; EB: *Ex-situ* biofloc.

Columns with different lowercase letters indicate significant difference ( $P<0.05$ ). The same below.

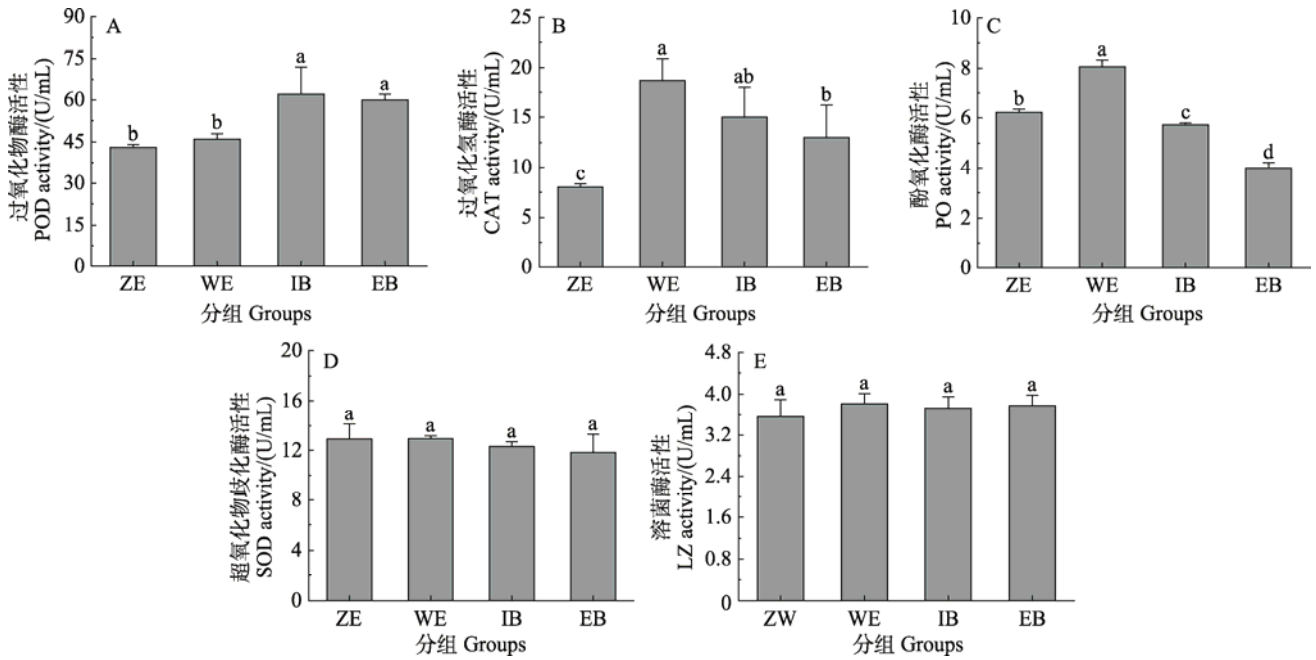


图 3 各组对虾免疫相关酶活性比较(平均值±标准差, n=3)

Fig.3 Comparison of activities of immune-related enzymes of shrimp in different groups (Mean±SD, n=3)

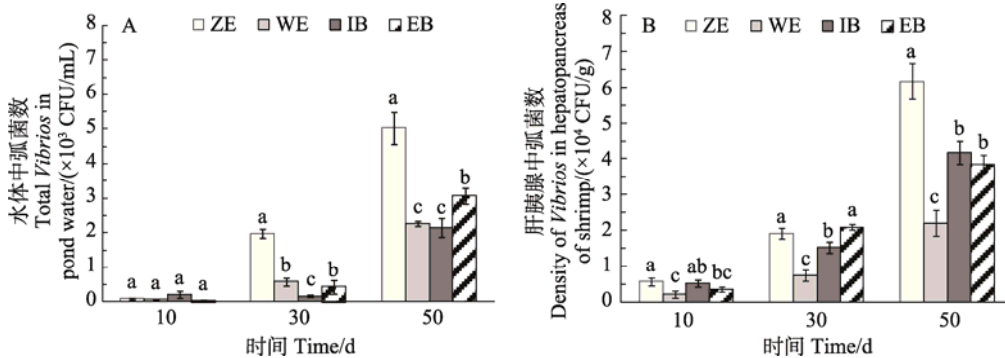


图 4 各组养殖水体及对虾肝胰腺中弧菌量比较(平均值±标准差, n=3)

Fig.4 Comparison of *Vibrios* density in pond water and hepatopancreas of shrimp in each group (Mean±SD, n=3)

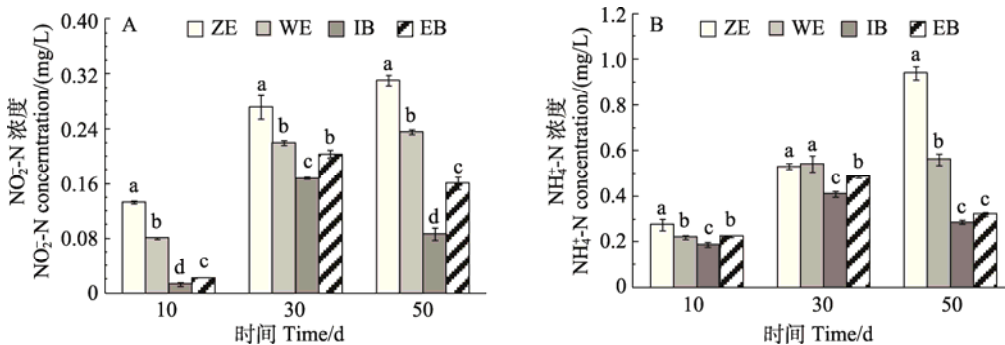


图 5 各组水体中亚硝态氮和氨氮浓度比较(平均值±标准差, n=3)

Fig.5 Comparison of the concentration of NO<sub>2</sub>-N and NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N in the pond water in each group (Mean±SD, n=3)

门水平上差异, 结果见图 6。可以看出, 各组门类主要以变形菌门(Proteobacteria)、拟杆菌门(Bacteroidota)及绿弯菌门(Chloroflexi)为主。IB 与 EB 两个组的菌群在门水平上有较大差别, IB 组第 10 天

与第 30 天时优势菌均为变形菌门, 到第 50 天时拟杆菌门成为优势菌群, 丰度达到 74.2%。而 EB 组的第 10 天的优势菌为绿弯菌、变形菌门, 第 30 天时拟杆菌门占比增大, 绿弯菌门占比减小, 到结束时

放线菌门(Actinobacteria)占比增大。对照组 ZE 在第 10 和 30 天时的优势门均为拟杆菌门, 到结束时, 拟杆菌门的占比降低, 变形菌门占比增大; WE 组第 10 和 30 天时优势菌均为变形菌, 第 30 天时疣微菌门占比增大, 结束时厚壁菌门(Firmicutes)出现了较大的占比为 23.5%。

分析第 10、30、50 天各组絮团中微生物在属水平上数量, 结果见图 7。可知不同阶段絮团中菌群变化较大, 随养殖时间增长, IB 组细菌属数量呈现逐

渐增加的趋势, 由第 10 天时的 345 个, 增加到第 30 天时的 523 个, 实验结束时达到 625 个。类似的 EB 组细菌属数量也呈上升趋势, 由第 10 天时的 395 个上升到第 30 天时的 505 个, 结束时为 525 个。ZE 水组细菌属的数量, 由第 10 天时的 488 个逐渐减少到第 30 天时的 316 个, 到第 50 天时恢复到 469 个; WE 组的细菌属数量呈现先升高后降低趋势, 由第 10 天时的 373 个增加到第 30 天时的 549 个, 第 50 天时降为 494 个。

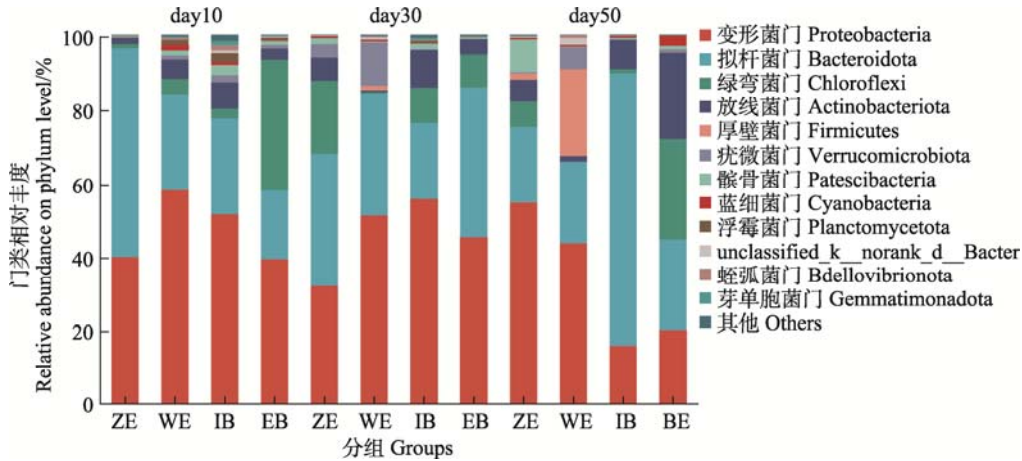


图 6 各组水体絮凝物中主要细菌门水平上的占比

Fig.6 The proportion of bacteria at the phylum level in the biofloc of each group

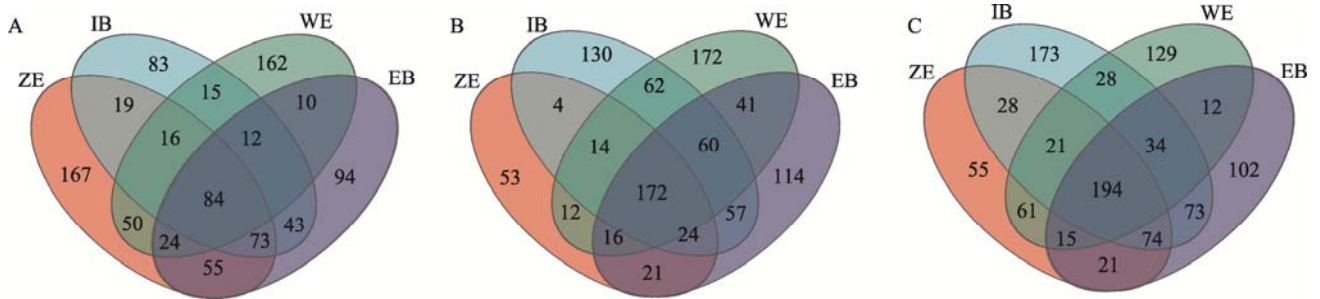


图 7 各组生物絮团中细菌在属水平检出数量 Venn 图

Fig.7 Venn diagram of bacteria detected in biofloc at the level of genus in each group

A: 第 10 天; B: 第 30 天; C: 第 50 天。

A: day 10; B: day 30; C: day 50.

### 3 讨论

#### 3.1 原位与异位絮团对对虾生长性能的影响

原位絮团对虾养殖为传统的生物絮团养殖技术, 不需要额外的絮团培育池及絮团移植过程, 且易于构建, 近年来在国内外水产业中得到较多的推广, 在凡纳对虾及日本对虾(*Penaeus japonicus*)养殖中, 能够提高对虾的生长率及存活率(范鹏程等, 2019)。异位

絮团在对虾养殖产业中尚没有规模化应用, 但实验表明该技术也可取得相似应用效果(Uawisetwathana *et al*, 2021)。本研究比较了原位与异位絮团在凡纳对虾养殖中的效果, 发现二者的养殖对虾存活率及特定生长率均高于零换水对照组, 与前人研究结果一致(范鹏程等, 2019; Uawisetwathana *et al*, 2021), 而原位絮团在提高对虾增重率、特定生长率及饵料利用率方面优于异位絮团。分析絮团的菌群组成、水质有害氮浓度及弧菌载量等指标的差异, 可以发现 2 个絮团模式均

在脱氮及抑制弧菌方面具有积极效果,但原位絮团中微生物多样性高于异位絮团,脱氮性能及抑制弧菌方面也优于异位絮团。分析其差异的可能机制,认为与2种絮团的菌群组成有关,尽管2种絮团的培育条件相近,可在原位絮团养殖系统中,存在养殖对虾产生的残饵及粪便,能作为絮团细菌的营养物质被利用,异位絮团的培养仅依靠外源添加的碳氮源,营养成分相对单一,水体营养成分的差异能影响絮团菌群种类及丰度(Wei *et al.*, 2020)。再者,异位絮团的移植过程也是异位絮团中菌群对新环境的再适应过程,絮团中的细菌群落会随环境的变化产生更替,温度、DO及pH等均可影响絮团稳定性及功能(Yu *et al.*, 2023)。

### 3.2 原位与异位絮团对对虾生化及免疫指标的影响

虾类血清生化指标的变化是评估其健康状况的重要手段(张雪梅等, 2023), T-CHO 是动物组织细胞必需的营养物质,可以促进细胞生长和增殖(Fernández *et al.*, 2005)。在甲壳类动物中, T-CHO 约占总甾醇的90%,参与调节甲壳动物的蜕皮和繁殖,甲壳动物不能自身合成胆固醇,需要从外源获得(Duerr *et al.*, 1996)。本研究显示,原位絮团、异位絮团及换水组中的对虾体内 T-CHO 含量相近,说明2个絮团组中的对虾 T-CHO 生理代谢无差异,且处于相近水平,表明2种絮团养殖模式并未对对虾的 T-CHO 生理代谢产生显著影响。彭强(2015)研究表明,血清 TP 和 ALB 含量是衡量动物营养和健康的基本指标,其水平的改变可反映鱼类营养及肝功能状况。陈鑫等(2024)研究表明,对虾受到环境胁迫,会导致 TP 含量下降。Ma 等(2024)研究表明,凡纳对虾摄食微生物生态制剂后,机体状态良好时,其血清中的 TP 和 ALB 含量会升高。本研究结果显示,2个絮团组中对虾血清 TP 无差异,但低于换水组,可能与营养物质的可利用性、肠道微生物群落的稳定性以及环境胁迫等因素有关。ALT 和 AST 主要参与动物体内氨基酸的代谢,是评判动物肝脏健康的重要指标。张雪梅等(2023)研究表明,当虾类受到细菌感染后,血清中 AST 和 ALT 升高;本研究结果显示,换水组中对虾的血清 ALT 和 AST 较高,可能与每日的换水导致对虾池内温度变化引起温度应激有关(徐德峰等, 2022)。Xia 等(2013)研究表明, GSH-Px 可以消除机体内的过氧化氢及脂质过氧化物,在病原体感染期间,参与清除过量的活性氧并将有毒过氧化物还原为无毒羟基化合物来保护细胞。本研究中,原位絮团组 GSH-Px 活性高于其他实验组,表明原位生物絮团可提高凡纳对虾血清抗氧化能力。

生物絮团中富含多种氨基酸、糖类及脂肪酸等营养物质(谭竟宏等, 2022)。Guo 等(2023)研究显示,生物絮团中微生物群落定植在对虾肠道中能够提高对虾 CAT 及 SOD 的活性,增强对虾的免疫力。孙振等(2013)研究显示,对虾摄食絮团数量多寡影响对虾 PO 原免疫系统及 LZ 活性。Situmorang 等(2022)研究显示,絮团中含有较多的益生菌对提升养殖生物的免疫力效果更佳。本研究表明,原位絮团组对虾血清 PO 活性高于异位絮团组,表明原位与异位絮团在提升对虾非特异免疫力方面存在差异。而 IB 组及 EB 组的对虾血清中的 POD、CAT、SOD 及 LZ 的活性均无显著差异,推测其原因可能与本实验养殖时间较短、对虾摄食絮团量有限或絮团的组成成分有关。

### 3.3 原位与异位絮团对养殖对虾体内及水体中弧菌密度的影响

弧菌在对虾体内及养殖系统中广泛存在,给对虾养殖带来了潜在风险(武和英等, 2019),特别是近年来对虾急性肝胰腺坏死病及玻璃苗疾病的暴发,严重影响了对虾养殖产业的发展。Guo 等(2023)研究发现,采用生物絮团养殖对虾,弧菌病的发生率显著低于传统对虾养殖模式。本研究结果表明,各检测时间点原位絮团组水体中弧菌载量均显著低于其他组,且在前期及中期对虾肝胰腺中弧菌载量也低于各组。有关生物絮团养殖对虾的抑菌机制,目前认为生物絮团中可能含有干扰弧菌群体密度感应的物质,养殖生物摄食生物絮团后弧菌间的信号传递受到影响,导致弧菌的毒素分泌受阻(Crab *et al.*, 2010)。Nhan 等(2010)研究表明,絮团中的微生物能积累聚β-羟基丁酸酯(PHB),PHB 具有保护水生动物免受细菌感染的功效,而在生物絮团中自身的菌群对弧菌也有一定的抑制效果。

### 3.4 原位与异位絮团对养殖水体 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 及菌群结构的影响

对虾养殖中,残饵、粪便分解会导致水体中 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 和 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 浓度上升,引起水质恶化并给养殖生物带来危害(Zhao *et al.*, 2020),影响对虾存活、生理代谢和免疫功能(Wang *et al.*, 2021)。生物絮团对降低水体中的 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 和 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 等具有积极的效果(邓应能等, 2012; 张许光, 2012)。本研究也显示,无论是原位絮团组还是异位絮团组,其水体中的 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 和 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 浓度均明显低于零换水组和换水组,随着养殖时间的增长,其浓度与零换水和换水组差别更加明显,且在脱 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 方面,原位絮团组优于异位絮团组,该现象可能与原位、异位絮团组中脱氮菌种类或密度方面

存在差异有关(Qiu *et al.*, 2021), 本研究结果(图 6、图 7)表明, 原位絮团中微生物群多样性较异位絮团丰富, 功能菌群更加稳定。未来的研究可以进一步探索优化异位絮团的培养条件以提高其脱氮效率。

生物絮团对虾养殖系统中, 絮团功能决定于组成絮团的微生物种类及数量, 优良的菌群结构不但对养殖系统中的物质循环、病原拮抗、水质调节发挥积极作用, 而且直接影响对虾的生长性能(刘瑞娟等, 2014)。本研究表明, 不同检测时段中 IB 及 EB 的菌群组成在门水平上差别较大, 表明 2 种絮团类型的功能存在差异, 进而影响对虾的生长性能。Sun 等(2024)研究表明, 健康生物絮团养殖系统中, 优势菌多以变形菌门和拟杆菌门为主。本研究显示, 在养殖过程中, IB 组优势菌由变形菌门向拟杆菌门转变, 而 EB 组的优势菌逐步由变形菌、拟杆菌转向变形菌、拟杆菌、放线菌及绿弯菌门, 表明原位絮团的功能稳定性优于异位絮团。

#### 4 结论

本研究表明, 在原位絮团对虾养殖系统中, 对虾增重率、饵料利用率优于异位絮团; 原位絮团养殖水体中弧菌密度、氨氮及亚硝氮浓度均低于异位絮团; 原位絮团对虾养殖系统中菌群多样性高于异位生物絮团。综合分析可知, 采用原位絮团技术养殖对虾优于异位絮团。

#### 参 考 文 献

- 陈鑫, 何杰, 张东旭, 等. 盐度渐变对日本囊对虾非特异性免疫酶、ATPase 酶和抗氧化酶活力的影响. 浙江海洋大学学报(自然科学版), 2024, 43(1): 1-10 [CHEN X, HE J, ZHANG D X, *et al.* Effects of salinity gradient on the activities of non-specific immune enzymes, ATPase enzymes and antioxidant enzymes in *Penaeus japonicus*. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2024, 43(1): 1-10]
- 邓应能, 赵培, 孙运忠, 等. 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, 2012, 33(2): 69-75 [DENG Y N, ZHAO P, SUN Y Z, *et al.* Conditions for bio-floc formation and its effects in closed culture system of *Litopenaeus vannamei*. Progress in Fishery Sciences, 2012, 33(2): 69-75]
- 范鹏程, 徐武杰, 文国樑, 等. 基于生物絮团技术构建的零换水养殖系统对凡纳滨对虾高密度养殖效果分析. 南方农业学报, 2019, 50(12): 2833-2840 [FAN P C, XU W J, WEN G L, *et al.* Production trial and analysis of *Litopenaeus vannamei* based on biofloc technology at a high density in zero-water exchange systems. Journal of Southern Agriculture, 2019, 50(12): 2833-2840]
- 金若晨, 江敏, 孙世玉, 等. 凡纳滨对虾养殖环境及肠道微生物群落特征分析. 水产学报, 2020, 44(12): 2037-2054 [JIN R C, JIANG M, SUN S Y, *et al.* Microbial community in *Litopenaeus vannamei* intestine and its aquaculture environment. Journal of Fisheries of China, 2020, 44(12): 2037-2054]
- 李健. 中国海水养殖模式. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2020: 76-93 [LI J. Mariculture modes in China. Qingdao: China Ocean University Press, 2020: 76-93]
- 刘瑞娟. 蟹虾贝混养系统细菌群落结构与功能多样性初步研究. 中国海洋大学硕士研究生学位论文, 2014 [LIU R J. Preliminary study on variation of microbe quantity and community composition in polyculture ecosystem of crab, shrimp and clam. Master's Thesis of Ocean University of China, 2014]
- 彭强. 昆虫蛋白和复合植物蛋白替代大菱鲆(*Scophthalmus maximus* L.)幼鱼饲料中鱼粉的研究. 中国海洋大学硕士研究生学位论文, 2015 [PENG Q. Studies on the replacement of fish meal in turbot (*Scophthalmus maximus* L.) by mixed plant protein/insect protein. Master's Thesis of Ocean University of China, 2015]
- 孙振, 王秀华, 黄健. 一种微生物絮团的生化分析及其对凡纳滨对虾免疫力的影响. 水产学报, 2013, 37(3): 473-480 [SUN Z, WANG X H, HUANG J. The biochemical analysis of a microbial floc and its effect on the immunity of *Litopenaeus vannamei*. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(3): 473-480]
- 谭竟宏, 陆泳因, 罗国芝, 等. 浮性与沉性生物絮团氨氮处理能力与营养组成的比较研究. 渔业现代化, 2022, 49(3): 16-26 [TAN J H, LU Y Y, LUO G Z, *et al.* Comparative study on ammonia nitrogen treatment capacity and nutrient composition of floating and sinking bioflocs. Fishery Modernization, 2022, 49(3): 16-26]
- 武和英, 王秀华, 杨冰, 等. 一对虾养殖场的多病原跟踪. 渔业科学进展, 2019, 40(4): 104-114 [WU H Y, WANG X H, YANG B, *et al.* Tracking of shrimp multiple pathogens in a shrimp farm. Progress in Fishery Sciences, 2019, 40(4): 104-114]
- 邢逸夫, 段亚飞, 韦政坤, 等. 亚硝酸盐和微塑料胁迫对凡纳滨对虾鳃中免疫、解毒代谢和渗透调节相关指标的影响. 南方水产科学, 2023, 19(2): 70-77 [XING Y F, DUAN Y F, WEI Z K, *et al.* Effects of nitrite and microplastic stress on immune, detoxification metabolism and osmoregulation-related indicators in gills of *Litopenaeus vannamei*. South China Fisheries Science, 2023, 19(2): 70-77]
- 徐德峰, 吴嘉鑫, 孙力军, 等. 急冷与空气暴露联合胁迫对凡纳滨对虾生理代谢影响. 广东海洋大学学报, 2022, 42(1): 20-28 [XU D F, WU J X, SUN L J, *et al.* Physiological response and metabolic regulation of *Litopenaeus vannamei* exposed to combination stress of acute cold exposure and chronic waterless duration. Journal of Guangdong Ocean University, 2022, 42(1): 20-28]
- 张红芳, 王秀华, 朱娜, 等. 芽孢杆菌、酵母菌及乳杆菌发酵饲料养殖凡纳对虾效果比较. 渔业科学进展, 2024, 45(4): 135-145 [ZHANG H F, WANG X H, ZHU N, *et al.* Comparison of the effects of shrimp feed fermented by

- Bacillus subtilis*, *Saccharomyces cerevisiae*, and *Lactobacillus acidophilus* on the culture of *Penaeus vannamei*. *Progress in Fishery Sciences*, 2024, 45(4): 135–145]
- 张许光. 生物絮团技术在凡纳滨对虾工厂化养殖中的应用与研究. 中国海洋大学硕士研究生学位论文, 2012 [ZHANG X G. The application and research of bio-floc technology in factory farming systems of *Litopenaeus vannamei*. Master's Thesis of Ocean University of China, 2012]
- 张雪梅, 王秀华, 杨冰, 等. 克氏原螯虾病原菌感染发病标志性免疫及生理生化指标的筛选. *中国水产科学*, 2023, 30(6): 786–798 [ZHANG X M, WANG X H, YANG B, *et al.* Screening of immunological, physiological and biochemical indices of *Procambarus clarkia* indicating disease caused by bacterial infection. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2023, 30(6): 786–798]
- 赵志刚, 罗亮, 王常安, 等. 不同鲤养殖模式生物絮团系统中鱼体的生长及水质. *水产学报*, 2017, 41(1): 99–108 [ZHAO Z G, LUO L, WANG C A, *et al.* Fish growth performance and water quality in different carp stocking modes biofloc systems. *Journal of Fisheries of China*, 2017, 41(1): 99–108]
- ADDO F G, ZHANG S H, MANIRAKIZA B, *et al.* Brown sugar addition enhanced nutrient removal rates, growth performance, and bacterial community in a rice straw-based biofloc shrimp culture system. *Aquaculture*, 2023, 567: 739274
- AVNIMELECH Y. *Biofloc technology - A practical guide book*. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, United States, 2012: 143–154
- AZIM M E, LITTLE D C. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: Water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 2008, 283(1/2/3/4): 29–35
- CRAB R, LAMBERT A, DEFOIRD T, *et al.* The application of bioflocs technology to protect brine shrimp (*Artemia franciscana*) from pathogenic *Vibrio harveyi*. *Journal of Applied Microbiology*, 2010, 109(5): 1643–1649
- DUERR E O, WALSH W A. Evaluation of cholesterol additions to a soyabean meal-based diet for juvenile Pacific white shrimp, *Penaeus vannamei* (Boone), in an outdoor growth trial. *Aquaculture Nutrition*, 1996, 2(2): 111–116
- EKASARI J, CRAB R, VERSTRAETE W. Primary nutritional content of bio-flocs cultured with different organic carbon sources and salinity. *HAYATI Journal of Biosciences*, 2010, 17(3): 125–130
- FERNÁNDEZ C, MARTÍN M, GÓMEZ-CORONADO D, *et al.* Effects of distal cholesterol biosynthesis inhibitors on cell proliferation and cell cycle progression. *Journal of Lipid Research*, 2005, 46(5): 920–929
- GUO H P, FU X Z, HE J K, *et al.* Gut bacterial consortium enriched in a biofloc system protects shrimp against *Vibrio parahaemolyticus* infection. *Microbiome*, 2023, 11(1): 230
- LI H Y, LI Q Y, WANG S, *et al.* Ammonia nitrogen stress increases susceptibility to bacterial infection via blocking IL-1R–Relish axis mediated antimicrobial peptides expression in shrimp. *Aquaculture*, 2023, 563: 738934
- LIU H K, LI H D, WEI H, *et al.* Biofloc formation improves water quality and fish yield in a freshwater pond aquaculture system. *Aquaculture*, 2019, 506: 256–269
- MA Q, ZHAO G P, LIU J H, *et al.* Effects of a phytobiotic-based additive on the growth, hepatopancreas health, intestinal microbiota, and *Vibrio parahaemolyticus* resistance of Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Frontiers in Immunology*, 2024, 15: 1368444
- MENAGA M, FELIX S, CHARULATHA M, *et al.* Effect of *in-situ* and *ex-situ* biofloc on immune response of genetically improved farmed tilapia. *Fish & Shellfish Immunology*, 2019, 92: 698–705
- NHAN D T, WILLE M, DE SCHRYVER P, *et al.* The effect of poly  $\beta$ -hydroxybutyrate on larviculture of the giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*. *Aquaculture*, 2010, 302(1/2): 76–81
- OGELLO E O, OUTA N O, OBIERO K O, *et al.* The prospects of biofloc technology (BFT) for sustainable aquaculture development. *Scientific African*, 2021, 14: e01053
- QIU M, LIAO S A, WANG B, *et al.* Effect of carbon source and C/N ratio on microbial community and function in *ex situ* biofloc system with inoculation of nitrifiers and aerobic denitrifying bacteria. *Aquaculture Research*, 2021, 52(9): 4498–4511
- RACOTTA I S, HERNÁNDEZ-HERRERA R. Metabolic responses of the white shrimp, *Penaeus vannamei*, to ambient ammonia. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A, Molecular & Integrative Physiology*, 2000, 125(4): 437–443
- SITUMORANG M L, UAWISETWATHANA U, ARAYAMETHAKORN S, *et al.* Supplementation of *ex situ* produced bioflocs improves immune response against AHPND in Pacific whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) postlarvae. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2022, 106(9): 3751–3764
- SUN Y, ZHANG J S, DONG D P, *et al.* Effects of carbon source addition strategies on water quality, growth performance, and microbial community in shrimp BFT aquaculture systems. *Aquaculture*, 2024, 578: 740027
- UAWISETWATHANA U, SITUMORANG M L, ARAYAMETHAKORN S, *et al.* Supplementation of *ex-situ* biofloc to improve growth performance and enhance nutritional values of the Pacific white shrimp rearing at low salinity conditions. *Applied Sciences*, 2021, 11(10): 4598
- ULLOA WALKER D A, MORALES SUAZO M C, EMERENCIANO M G C. Biofloc technology: Principles focused on potential species and the case study of Chilean river shrimp *Cryphiops caementarius*. *Reviews in Aquaculture*, 2020, 12(3): 1759–1782
- WANG T, LI W H, SHAN H W, *et al.* Responses of energy homeostasis and lipid metabolism in *Penaeus vannamei* exposed to ammonia stress. *Aquaculture*, 2021, 544: 737092
- WEI Y F, WANG A L, LIAO S A. Effect of different carbon sources on microbial community structure and composition of *ex-situ* biofloc formation. *Aquaculture*, 2020, 515: 734492

- XIA X F, ZHENG J J, SHAO G M, *et al.* Cloning and functional analysis of glutathione peroxidase gene in red swamp crayfish *Procambarus clarkii*. *Fish & Shellfish Immunology*, 2013, 34(6): 1587–1595
- YANG M, LU D W, YANG J X, *et al.* Carbon and nitrogen metabolic pathways and interaction of cold-resistant heterotrophic nitrifying bacteria under aerobic and anaerobic conditions. *Chemosphere*, 2019, 234: 162–170
- YU Y B, LEE J H, CHOI J H, *et al.* The application and future of biofloc technology (BFT) in aquaculture industry: A review. *Journal of Environmental Management*, 2023, 342: 118237
- ZHAO M M, YAO D F, LI S K, *et al.* Effects of ammonia on shrimp physiology and immunity: A review. *Reviews in Aquaculture*, 2020, 12(4): 2194–2211

(编辑 马璀璨)

## Comparative Study on *in-situ* and *ex-situ* Biofloc Technology in *Penaeus vannamei* Aquaculture

ZHU Xinjie<sup>1,2</sup>, WANG Xiuhua<sup>2,3</sup>①, ZHENG Lei<sup>2</sup>, YANG Bing<sup>2,3</sup>, XI Rui<sup>2</sup>, PAN Mingchao<sup>2</sup>, HU Xili<sup>2</sup>

(1. College of Fisheries and Life Sciences, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China; 2. State Key Laboratory of Mariculture Biobreeding and Sustainable Goods, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China; 3. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences; Key Laboratory of Maricultural Organism Disease Control, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; Qingdao Key Laboratory of Mariculture Epidemiology and Biosecurity, Qingdao 266071, China)

**Abstract** In order to comprehensively evaluate the application effects of *in-situ* and *ex-situ* biofloc technology for shrimp culture, growth performance, parameters of shrimp serum physiological, biochemical, and immunological of shrimp cultured in *in-situ* biofloc (IB) and *ex-situ* biofloc (EB) systems were investigated. A load of *Vibrios* in the water body and hepatopancreas of shrimp, concentrations of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  and  $\text{NO}_2^-\text{-N}$  in aquaculture water, as well as the bacterial community composition in flocs in IB and EB systems were monitored. The results indicated that the weight gain and specific growth rates of shrimp in group IB were significantly higher than those in group EB, feed conversion ratio in group IB was lower than that in group EB. Analysis of physiological and biochemical indicators showed that the activity of serum glutathione peroxidase (GSH-Px) in IB was significantly higher than that in EB ( $P < 0.05$ ). Conversely, content of total cholesterol (T-CHO), total protein (TP), activities of aspartate aminotransferase (AST) and alanine aminotransferase (ALT) showed no significant differences between group IB and EB ( $P > 0.05$ ). Activity of phenoloxidase (PO) in shrimp of group IB was higher than that in EB ( $P < 0.05$ ). However, the activities of peroxidase (POD), catalase (CAT), superoxide dismutase (SOD), and lysozyme (LZ) showed no significant differences between group IB and EB ( $P > 0.05$ ). *Vibrios* load in water of group IB was significantly lower than that in group EB on days 30 and 50 ( $P < 0.05$ ), However, the difference in *Vibrios* load in hepatopancreas of shrimp between group IB and EB was not statistically significant in all detection dates except on day 30 ( $P > 0.05$ ). Concentration of  $\text{NO}_2^-\text{-N}$  and  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  in group IB were significantly lower than those in group EB, respectively, at all sampling times ( $P < 0.05$ ), except for no significant difference of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  between IB and EB on day 50. Moreover, the bacterial diversity of group IB was significantly higher than that of the EB. Taken together, *in-situ* bioflocs demonstrated superior performance over *ex-situ* bioflocs in promoting shrimp growth, improving water quality, and reducing *Vibrio* density. These findings could provide theoretical support for the wider application of biofloc technology in shrimp aquaculture systems.

**Key words** *In-situ* biofloc; *Ex-situ* biofloc; *Penaeus vannamei*; Aquaculture performance; Integrated assessment

① Corresponding author: WANG Xiuhua, Email: wangxh@ysfri.ac.cn