

文章编号: 1674-5566(2018)06-0894-13

DOI:10.12024/jsou.20180302239

凡纳滨对虾室内养殖密度和简易水质调控措施对水质及养殖效果的影响

戴习林^{1,2}, 杨展昆^{1,2}, 朱其建^{1,2}

(1. 上海海洋大学 水产科学国家级实验教学示范中心, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 水产动物遗传育种中心上海市协同创新中心, 上海 201306)

摘要: 采用正交表 $L_{20}(5^1 \times 2^8)$ 安排 5 种水平放养密度 (50、100、170、260、340 个/ m^2), 与增氧方式、是否换水、是否使用微生物制剂和消毒剂 4 种简易水质调控措施开展室内水泥池凡纳滨对虾养殖实验。通过比较分析水质演变规律、消化酶比活力与养殖效果, 综合探讨凡纳滨对虾室内养殖密度及简易水质调控措施效果。结果显示: 放养密度显著影响温室水泥池养殖水体水质、对虾生长及产量 ($P < 0.05$), 也影响消化酶活性。池水中 pH、非离子氨氮 (NH_3-N_m)、溶解氧 (DO) 随着密度增加而下降, 硝酸氮 ($NO_3^- - N$)、活性磷 ($PO_4^{3-} - P$)、浊度随密度增加而升高。对虾体长与体质量日均增长值、特定生长速率 (SGR) 及成活率随着密度上升而降低。除胰蛋白酶外, 胃蛋白酶、脂肪酶、淀粉酶随密度增加呈下降趋势。低放养密度 (50 ~ 100 个/ m^2) 对虾规格更整齐。持续充气增氧有助于物质转化、改善水环境、提高对虾淀粉酶活力和产量; 换水影响养殖效果, 改善水质效果明显, 可显著降低池水中总氨氮 (TAN)、硝酸氮 ($NO_3^- - N$)、活性磷 ($PO_4^{3-} - P$) 等水化指标含量 ($P < 0.05$), 对虾消化酶比活力高; 定期投放微生态制剂可显著提高胰蛋白酶活性 ($P < 0.05$), 利于对虾的生长, 改善水质不明显; 投放消毒剂可降低对虾消化酶活性。除溶解氧 (DO) 外, 对改善水质和提高养殖效果作用不明显。结果表明在采取连续充气增氧、养殖 60 d 始每 10 天换水 12.5% ~ 25.0%、每 15 天投放微生态制剂等简易水质调控措施下, 50 ~ 100 个/ m^2 是室内水泥池适宜放养密度。研究结果为凡纳滨对虾温室水泥池养殖提供了可靠实践依据。

关键词: 凡纳滨对虾; 温室养殖; 放养密度; 水质演变规律; 消化酶活性

中图分类号: S 966.1 **文献标志码:** A

凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*) 属软甲纲 (Malacostraca), 十足目 (Decapoda), 对虾科 (Penaeidae), 滨对虾属 (*Litopenaeus*)。因生长快, 环境适应能力强, 出肉率高等优点, 现已成为全球三大优质养殖虾类之一^[1]。温室养殖方式克服了传统方式受自然条件制约的缺陷, 温室养殖不仅可以获取更多养殖时间, 扩展养殖区域, 还具有高密度、高产量与可控性强等特点, 其现已发展成我国浙江以北地区凡纳滨对虾的主要养殖方式^[2]。

放养密度是影响养殖与水环境的重要因素^[3], 高密度代谢物与残饵必相应增加, 从而易造成养殖中后期水质恶化、富营养化加剧, 导

致高发病率与倒塘率上升^[4,5]。过高养殖密度不仅影响水质, 而且影响养殖对象生长^[6]、存活率和免疫力^[7]。但提高养殖密度如能辅以有效的水质调控技术, 也可获得良好的水质与养殖效果。有关报道显示生物包和蛋白分离器对青石斑鱼工厂化养殖系统水中氨氮、亚硝基氮和化学需氧量 (COD_{Mn}) 的去除率分别为 40.1%、62.6% 和 51.9%^[8]。也有在池水中加入微生物制剂, 可有效降低池水中的 pH, 氨氮及亚硝氮^[9]。换水以及使用增氧机增氧等简易水质调控措施均可使养殖水体主要水化指标得到一定的改善^[10]。

以往有关温室养殖文献报道多为着重研究

收稿日期: 2018-03-13 修回日期: 2018-06-27

基金项目: 上海市科技兴农重点攻关项目 (沪农科攻字[2014] 第 7-1-11 号)

作者简介: 戴习林 (1969—), 男, 教授, 研究方向为甲壳动物增养殖、虾类育种。E-mail: xldai@shou.edu.cn

采用单一调控水质后的养殖效果,甚少见到虾类温室养殖中关于探讨合适密度同时结合主要水质调控措施效果的综合研究报道。为此实验于 2015 年在上海海洋大学养殖基地温室,以正交实验法设计不同密度开展凡纳滨对虾养殖实验,同时依据实验周期内水质变化规律、虾的养殖效果及消化酶比活力的改变,探讨生产中常见的充气增氧、换水、投放微生物制剂和消毒剂等简易水质调控措施对水质的改进效果,以期通过实践获得室内凡纳滨对虾养殖的适宜密度及相配套的有效的水质调控措施,为凡纳滨对虾室内高密度养殖提供可靠的实践依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验池为底面积 40.27 m² 的水泥池 (5.72 m × 7.04 m),水深 0.8 m。实验用虾为已淡化驯养至比重为 1.005 的凡纳滨对稚虾 [L = (0.65 ± 0.07) cm, W = (0.001 8 ± 0.000 2) g]。实验用水为使用 15 × 10⁻⁶ 强氯精消毒并经曝气沉淀以后的深井水,用浓缩海水将盐度调节至 2。实验用饲料为“大川牌”凡纳滨对虾配合饲料 (80012),微生物制剂为宝利来微生态制剂 (山东宝利来生物工程有限公司,粉剂,主要成分:芽孢杆菌、枯草杆菌、沼泽红假单胞菌、硫化细菌等,活菌总数 > 8 × 10⁹ 个/g),实验使用消毒剂为北京渔经生物技术有限责任公司生产的“聚碘溶液”。

1.2 实验设计

采用正交表 L₂₀ (5¹ × 2⁸) 安排 5 种水平养殖密度 (50、100、170、260、340 个/m²),与增氧方式、是否换水、是否使用微生物制剂和消毒剂等 4 种常见水质改进措施开展正交实验,设 2 个重复,采用完全随机数字表确定所有实验池 (表 1),每口池均布放 8 个具阀门散气石。

增氧方式两种:连续充气增氧方式是指实验期间每日 24 h 沸腾状充气;间断充气增氧方式是指实验前 60 d 每日沸腾状充气 12 h,不充气 12 h (9:00-21:00),60 ~ 100 d 每日充气 16 h,不充气 8 h (9:00-17:00),100 ~ 113 d 每日 24 h 沸腾状充气。

不换水是指实验期间不换水,仅在 80 d 与 100 d 合计补充添加 5 cm 河水以补充因蒸发而减

少的水量,换水是指养殖 60、70、80 d 时各换水 10 cm,90、100、110 d 时各换水 20 cm。是否使用微生物制剂与消毒剂均为 2 个水平,实验全程不使用微生物制剂或消毒剂分别为各自不投放水平,微生物制剂投放水平方式是每 15 天按 3 g/m³ 全池泼洒微生物制剂,消毒剂投放水平方式是养殖 60 d 始每 15 天按 0.2 g/m³ 全池泼洒稀释 1 000 倍的聚碘溶液。

表 1 正交表 L₂₀ (5¹ × 2⁸) 实验方案
Tab. 1 Orthogonal table L₂₀ (5¹ × 2⁸)
experimental scheme

实验号 No.	放养密度/ (个/m ²) Stocking density	增氧方式 Aeration mode	换水 Water change	微生物 制剂 Microorganism preparation	消毒剂 Disinfectant
1	50	持续	是	投放	投放
2	50	持续	是	投放	不投放
3	50	间断	否	不投放	投放
4	50	间断	否	不投放	不投放
5	100	持续	是	不投放	投放
6	100	持续	否	投放	投放
7	100	间断	是	不投放	不投放
8	100	间断	否	投放	不投放
9	170	持续	否	投放	投放
10	170	持续	否	不投放	不投放
11	170	间断	是	不投放	投放
12	170	间断	是	投放	不投放
13	260	持续	否	不投放	投放
14	260	持续	是	不投放	不投放
15	260	间断	否	投放	不投放
16	260	间断	是	投放	投放
17	340	持续	是	不投放	不投放
18	340	持续	否	投放	不投放
19	340	间断	否	不投放	投放
20	340	间断	是	投放	投放

1.3 养殖池日常管理

按实验密度容量计数法投放实验用虾,初始水位 80 cm,每日分别在 08:00、12:00、18:00、23:00 准确称量投喂配合饲料,据餐后观察饵料台残饵状况调节投饵量,分别以 30 d 前 2 h 时、30 ~ 60 d 1.5 h 及 60 d 后 1.0 h 时无残饵视为适宜投饵量。113 d 实验周期内,水温 25 ~ 32 ℃,按实验设计进行各项水质调控措施。实验至 80 d 时,因部分实验池水 pH 已接近 7.5,为确保实验成功,每隔 5 d 向每口实验池分别加入适量氢氧化钠溶液,以维持池水 pH 在 7.5 ~ 8.1 之间。实验期间每隔 15 d 及实验结束时各池随机采取 30 尾以上虾样测量体长和体质量。

1.4 实验池水质指标变化状况测定

每 15 天定时、定点 (距池边 30 cm 及池中央

水面下 10 cm 处)采集水样混匀后测定各实验池主要水质指标,浊度、pH、溶解氧(DO)分别由 Turbiquant 1100IR 型浊度仪、pHB-4 型酸度计、Multi-350i 型水质分析仪现场测定。总氮氮(TAN)、亚硝基氮(NO_2^- -N)、硝基氮(NO_3^- -N)、化学需氧量(COD_{Mn})、活性磷(PO_4^{3-} -P)分别用奈式比色法、重氮-偶氮比色法、锌镉还原-重氮偶氮法、碱性高锰酸钾法^[11-12]、磷钼蓝分光光度法^[13]测定,使用 2216E 培养基培养异养菌并测定总数,使用 TCBS 培养基培养弧菌并测定总数^[14]。各指标在同一个取样地点均取两份样品测量,取平均值。

非离子氨氮(NH_3 - N_m)浓度通过下式计算求得^[15]:

$$C_{\text{NH}_3-\text{N}_m} = C_{\text{NH}_3-\text{N}_t} \times f_{\text{NH}_3-\text{N}_m} \quad (1)$$

$$f_{\text{NH}_3-\text{N}_m} = \frac{1}{[1 + 10^{pK_a - \text{pH} + pr_{\text{H}^+}}]} \quad (2)$$

式中: $f_{\text{NH}_3-\text{N}_m}$ 是 NH_3 - N_m 与 NH_3 - N_t 之比, pK_a 是 NH_4^+ 在水中水解电离反应平衡之后的浓度的负对数, $pr_{\text{H}^+} = -\lg r_{\text{H}^+}$ 表示为求氢离子活度系数的负对数。

1.5 消化酶活性的测定方法

实验结束时随机采集 60 尾虾样,取出中肠腺研磨,离心后取上清液,测定消化酶活性。本实验采用南京建成生物试剂盒对胃蛋白酶、胰蛋白酶、脂肪酶、淀粉酶活性与蛋白含量进行测定。

酶的比活力(U/mg prot)为酶活力与蛋白质含量的比值。

1.6 数据处理

采用 R3.4.3 进行正交实验资料的方差分析,Duncan 氏法进行多重比较, $P < 0.05$ 表示差异显著, $P < 0.01$ 表示极差异显著。饵料系数(FCR)、肥满度(CF)和特定生长速率(SGR)分别用以下公式计算出:

$$F_{\text{CR}} = m/m_1 \quad (4)$$

$$C_{\text{F}} = (W_t/L_t^3) \times 100 \quad (5)$$

$$S_{\text{GR}} = [(\ln W_t - \ln W_1)/t] \times 100 \quad (6)$$

式中: F_{CR} 为饵料系数; C_{F} 为肥满度; S_{GR} 为特定生长速率; m 为饲料投喂总干重(g); m_1 为虾体质量总增加量(g); W_1 和 W_t 分别是实验虾始末体质量(g); t 为养殖时间(d), L_t 为实验末虾体长(cm)。

2 结果与分析

2.1 养殖周期内室内实验池水质演变状况

表 2 是实验全周期内,所测实验池主要水质指标平均值,图 1 为养殖周期内不同密度水平三态氮(TAN、 NO_2^- -N、 NO_3^- -N)、 PO_4^{3-} -P、DO、 COD_{Mn} 及 pH、浊度、异养菌数随养殖时间的变化状况。

2.1.1 不同密度水平 pH、DO 变化范围

表 2 与图 1 表明,随着密度的增加,池水 pH 和 DO 呈波浪式递降,且 50 个/ m^2 低密度组极显著高于其他试验组($P < 0.01$),260 个/ m^2 在高密度水平中(170 ~ 340 个/ m^2)最低。图 1a 显示,实验周期内各组 pH 随时间增减变化状况甚为相似,DO 变化也具类同特点,且在 80 d 后两者均发生较大变化。池水日趋增多的残饵与代谢物等有机物不断氧化分解,导致 pH 与 DO 下降,故池水显示两指标随时间发生应有的相应变化趋势。由图 1a 和 1b 可知,实验期内除 170 与 260 个/ m^2 水平在 110 d 时的 DO [(3.55 ± 1.14) mg/L, (3.90 ± 1.10) mg/L] 偏低外,其余水平 DO 与 pH 均在凡纳滨对虾生长适宜范围^[16-17],这也表明了实验适时添加碱液与适当充气增氧的良好效果。pH 15 d 起始基本表现为各测定时段密度高 pH 则低的特征,而 DO 前 80 d 各密度水平间基本没有差异,80 d 后 DO 随密度增高而降低,可见密度是影响温室池水 pH、DO 的重要因子。

2.1.2 不同密度组营养盐变化趋势

图 1c 显示,养殖周期内,各组 TAN 随时间呈波浪式递增变化, NH_3 - N_m 则反之,但后者的各水平随时间的变化状况较为相似。表 2 与图 1d 显示, NH_3 - N_m (0.012 ~ 0.116 mg/L)均处于对虾生长安全范围^[18],但 NH_3 - N_m 变化规律不同于 TAN,养殖初期因池水 pH 下降幅度不大,随着 TAN 增加而增加。

表 2 与图 1e 显示,在养殖周期内各密度间 NO_2^- -N 均无显著差异($P > 0.05$),各密度水平 NO_2^- -N 随时间呈波浪式递增,初期波动很小,30 ~ 48 d 期间逐步升高,后显著升高,各水平均在 48 ~ 80 d 间呈现急剧增加,其中 100 与 260 个/ m^2 尤为突出,至 60 ~ 80 d 各水平先后达到最高值(0.138 ~ 0.249 mg/L),相继各水平在 80 d 后又剧烈递降,实验结束约降至初始值,80 d 后相应地发生 NO_3^- -N 急剧增加(图 1f)。此变化特

点与虾塘中硝化菌量的增长与作用强度有关^[19],此可能与池水中的活性污泥形成和变化有关^[20]。

表 2 与图 1f、图 1g 显示,在养殖周期内,NO₃⁻-N 与 PO₄³⁻-P 随时间、密度和投饲量递增,各密度水平间 NO₃⁻-N 与 PO₄³⁻-P 浓度间均有显著差异($P < 0.05$)。

2.1.3 不同密度水平化学需氧量、浊度、异养菌数的变化状况

图 1h 显示,养殖初期可能因池水中颗粒有机物絮凝沉降,COD_{Mn}浓度下降 1 倍左右,在 15 ~ 62 d 期间较缓慢波浪式递增,后随着虾生长,投饲量的快速增加而陡增,80 d 后呈波浪式递减趋势,且随密度增高($P < 0.05$)。

图 1i 显示,浊度随着养殖天数增加($P < 0.05$),初期波动很小,约在 110 d 达最高值。最高与最低浊度密度水平(170 与 50 个/m²)至实验末浊度分别是初始时的 19 与 5.5 倍,浊度基本随密度呈增高趋势($P < 0.05$),此主要因高密度组残饵及代谢物量大所致。

2.1.4 充气增氧与换水对池水的改善作用

图 2 是养殖周期内充气增氧方式与是否换水和投放微生物制剂各水平的 TAN、NO₃⁻-N、PO₄³⁻-P 浓度及 pH、浊度随养殖时间的变化状况。

由表 2 可知,实验周期内,除 pH 外,各水质指标值均是持续充气水平高于间断充气,经检验仅浊度与 PO₄³⁻-P 存在显著差异($P < 0.05$),此可能是持续充气延缓了池中颗粒有机物的沉降所致。

表 2 与图 2d ~ h 显示,60 d 始,无论换水与否,各实验水平的水质指标变化趋势一致,但换水对 TAN、NO₃⁻-N、PO₄³⁻-P 的改善显著($P < 0.05$),对浊度也有所改善。至实验末,此 4 个水质指标值换水较不换水分别降低 24.1%、60.5%、19.4%、9.4%,而换水 DO 也显著高于不换水($P < 0.05$)。

2.1.5 投放微生物制剂与消毒剂对池水的改进作用

表 2 表明,投放微生物制剂可显著降低池水 COD_{Mn},改善 NO₃⁻-N 和浊度也较明显,其余水质指标间差异很小,两者间的变化趋势一致(图 2i、图 2j)。而投放消毒剂仅 DO 显著高于不投放($P < 0.05$),其余水质指标间无差异,变化趋势相

同。

2.2 对虾养殖效果

2.2.1 不同密度养殖效果

表 3 表明,体质量与体长日增长值、SGR、成活率均随着放养密度的增加而降低,前 3 个指标,50 个/m² 组极显著高于其他水平($P < 0.01$),100 个/m² 次之,极显著高于其余水平($P < 0.01$),而高密度水平间无显著差异($P > 0.05$)。340 个/m² 的成活率最低仅为 38.9%,是 50 个/m² 的 46% ($P < 0.05$)。前 4 个密度的单位水体产量随密度上升而增加,260 个/m² 的产量显著高于 50、100 个/m² ($P < 0.05$),与 170、340 个/m² 无显著差异($P > 0.05$)。图 3a 与图 3b 显示,实验全周期内,对虾日均增重变化趋势为随密度提高增重幅度减小,生长速度变缓。

2.2.2 不同水质调控措施的养殖效果

表 3 表明,持续充气、换水、投放微生物制剂措施下的对虾体质量日均增加值、SGR、FCR 分别略比间断充气、不换水与不投放微生物制剂措施高。不换水、不使用微生物制剂与消毒剂条件下的对虾成活率高于换水、使用微生物制剂与消毒剂措施。经检验,仅换水条件下对虾肥满度极显著高于不换水方式($P < 0.01$)。

2.3 密度与水质调控技术对虾消化酶活性的影响

表 4 为各实验因素水平的 4 种消化酶活性。表 4 表明,不同密度间除胰蛋白酶比活力未表现出明显变化趋势外,其余酶比活力基本随密度增加而下降,而胰蛋白酶最大比活力值出现在 260 个/m² 水平,100 个/m² 次之。4 种水质调控措施两水平间各消化酶比活力差异表现各异,持续充气下淀粉酶活力更高,但脂肪酶比活力显著小于间断充气措施($P < 0.05$);换水条件下除脂肪酶比活力略低外,其余酶比活力高于不换水;投放微生物制剂措施下胰蛋白酶比活力高($P < 0.05$),淀粉酶次之,剩余 2 个酶比活力基本一致;而投放消毒剂时,除淀粉酶外,对虾的胰蛋白酶($P < 0.05$)、胃蛋白酶、脂肪酶比活力均比不使用消毒剂小。可见,合理的水质调控措施利于较多种酶的活力,即较多种酶易于更佳水环境显示其强活性。

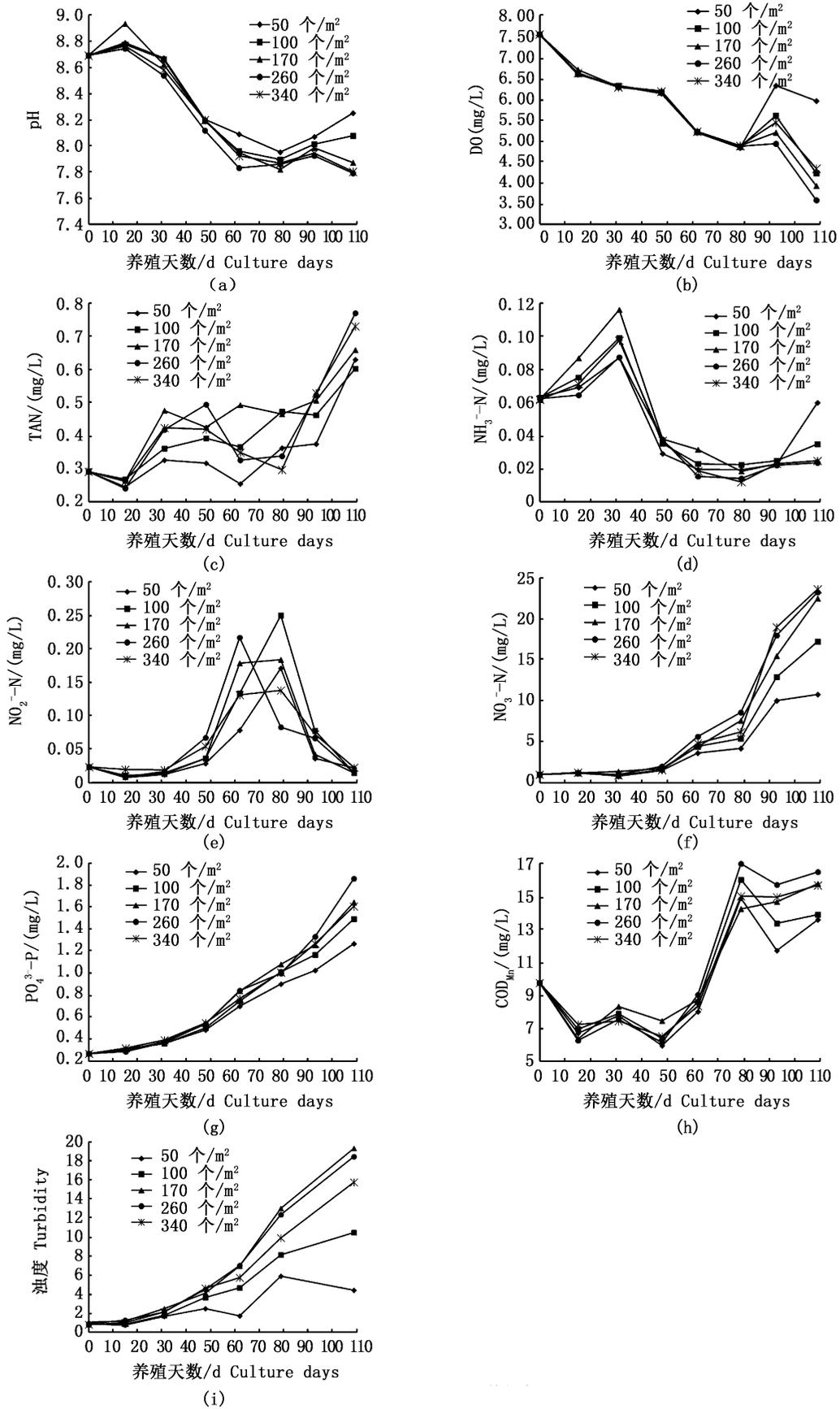
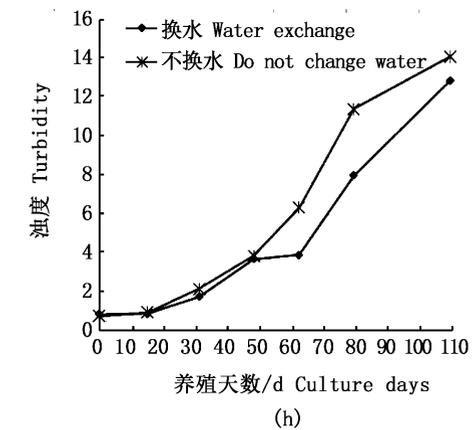
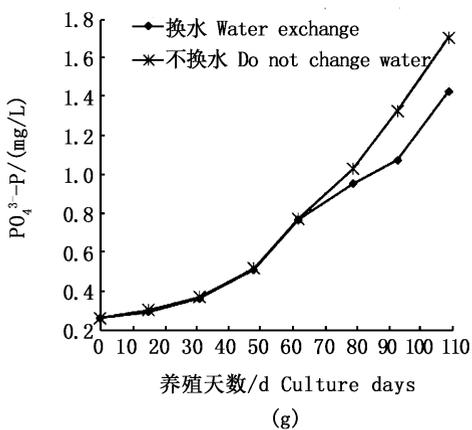
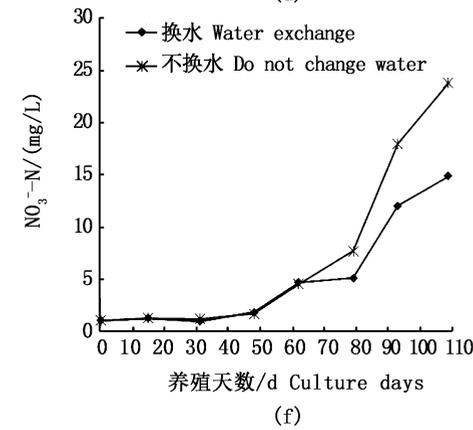
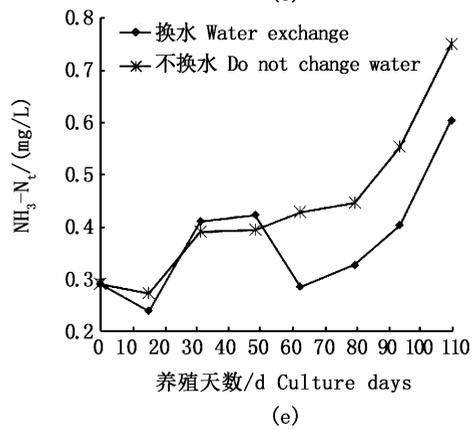
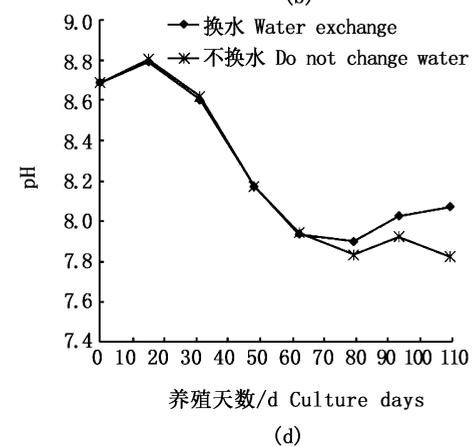
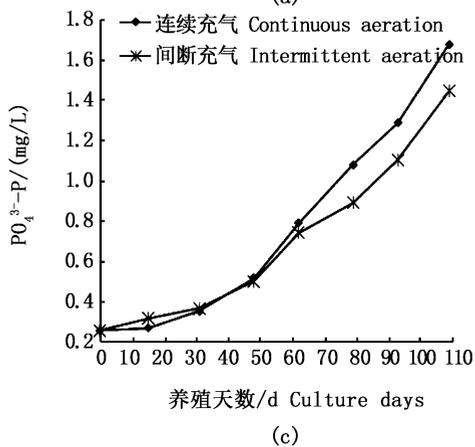
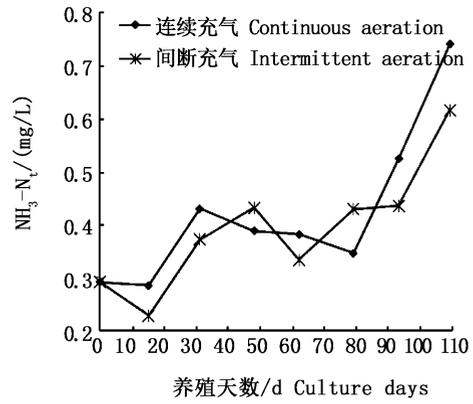
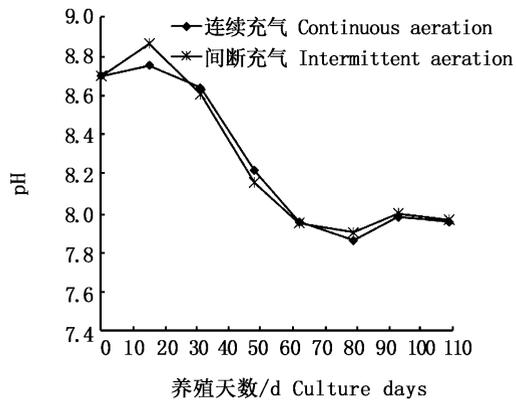


图 1 5 种养殖密度实验组水质随养殖天数的变化

Fig. 1 Changes of water quality with the number of breeding days in 5 experimental groups



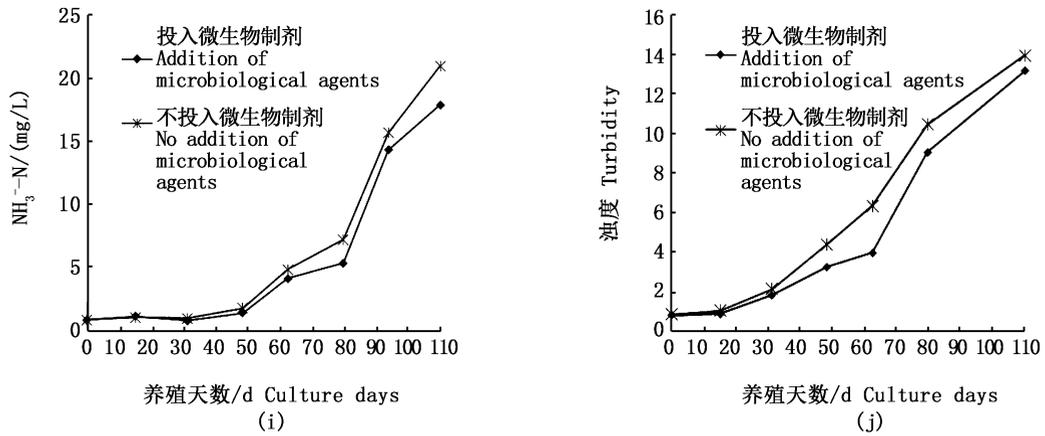


图2 调控措施实验池部分水质的变化

Fig.2 Change of water quality in the experimental pool of control measures

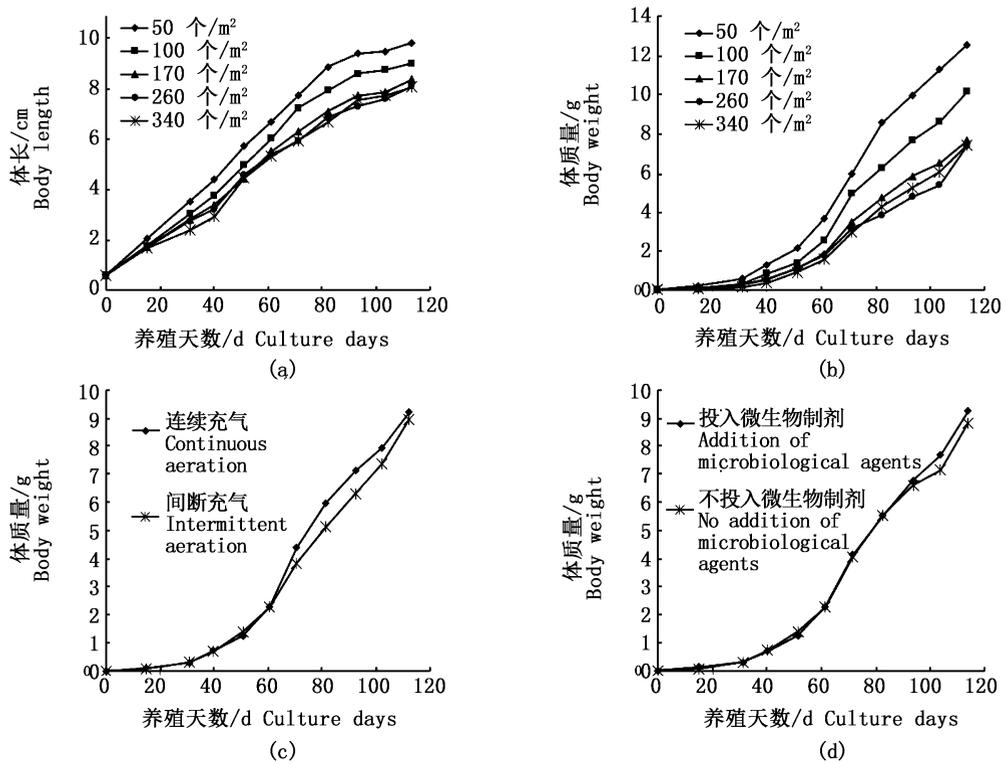


图3 不同条件下对虾生长随养殖天数的变化状况

Fig.3 The change of the growth of prawns with the number of days under different conditions

表 2 养殖周期内实验组水质指标平均值

Tab. 2 The average water quality indexes of the experimental group during the culture period

因素 Factor	水平 Level	pH	TAN /(mg/L)	NH ₃ -N _m /(mg/L)	NO ₂ ⁻ -N /(mg/L)	NO ₃ ⁻ -N /(mg/L)	PO ₄ ³⁻ -P /(mg/L)
放养密度/ (个/m ²) Stocking density	50	8.24 ± 0.05 ^A	0.358 ± 0.090	0.044 ± 0.014	0.051 ± 0.016	4.54 ± 0.91 ^c	0.713 ± 0.048 ^c
	100	8.14 ± 0.05 ^B	0.417 ± 0.080	0.045 ± 0.009	0.076 ± 0.027	6.18 ± 1.42 ^{bc}	0.789 ± 0.081 ^b
	170	8.11 ± 0.09 ^{BC}	0.469 ± 0.100	0.048 ± 0.012	0.068 ± 0.025	7.69 ± 2.71 ^{ab}	0.853 ± 0.094 ^{ab}
	260	8.04 ± 0.04 ^D	0.444 ± 0.063	0.038 ± 0.005	0.067 ± 0.016	8.47 ± 1.90 ^a	0.880 ± 0.080 ^a
	340	8.09 ± 0.08 ^{CD}	0.429 ± 0.091	0.041 ± 0.007	0.065 ± 0.027	8.14 ± 3.71 ^{ab}	0.835 ± 0.122 ^{ab}
充气 Aeration	持续	8.11 ± 0.08	0.441 ± 0.099	0.046 ± 0.012	0.067 ± 0.020	7.28 ± 2.73	0.857 ± 0.095 ^A
	间断	8.14 ± 0.09	0.405 ± 0.076	0.040 ± 0.006	0.064 ± 0.026	6.73 ± 2.65	0.771 ± 0.093 ^B
换水 Water change	是	8.14 ± 0.09 ^A	0.384 ± 0.069 ^B	0.042 ± 0.009	0.068 ± 0.026	5.75 ± 1.98 ^B	0.769 ± 0.076 ^B
	否	8.08 ± 0.09 ^B	0.462 ± 0.092 ^A	0.044 ± 0.011	0.062 ± 0.020	8.26 ± 2.72 ^A	0.859 ± 0.107 ^A
微生物制剂 Microorganism preparation	投放	8.14 ± 0.08	0.430 ± 0.100	0.045 ± 0.013	0.069 ± 0.021	6.48 ± 2.22	0.810 ± 0.090
	不投放	8.13 ± 0.09	0.417 ± 0.079	0.041 ± 0.007	0.062 ± 0.025	7.53 ± 3.02	0.818 ± 0.116
消毒剂 Disinfectant	投放	8.12 ± 0.09	0.424 ± 0.108	0.044 ± 0.010	0.059 ± 0.019	6.99 ± 3.07	0.815 ± 0.106
	不投放	8.10 ± 0.09	0.423 ± 0.068	0.042 ± 0.010	0.071 ± 0.026	7.02 ± 2.28	0.813 ± 0.101

因素 Factor	水平 Level	COD /(mg/L)	DO /(mg/L)	T/°C	浊度 (NTU) Turbidity	弧菌数/ (cfu/mL) Number of vibrio	异养菌数/ (×10 ³ cfu/mL) Number of heterotrophic bacteria
放养密度/ (个/m ²) Stocking density	50	9.79 ± 0.72 ^b	5.89 ± 0.17 ^A	27.9 ± 0.4	2.74 ± 1.25 ^b	147 ± 129	14.2 ± 9.3
	100	10.42 ± 0.66 ^{ab}	5.55 ± 0.33 ^B	27.8 ± 0.4	4.85 ± 3.02 ^{ab}	176 ± 205	11.1 ± 5.3
	170	10.76 ± 0.79 ^{ab}	5.47 ± 0.20 ^B	27.4 ± 0.4	7.76 ± 4.28 ^a	84 ± 92	11.0 ± 4.8
	260	11.13 ± 0.82 ^a	5.36 ± 0.19 ^B	27.6 ± 0.5	7.54 ± 3.60 ^a	21 ± 14	10.7 ± 8.4
	340	10.71 ± 1.55 ^{ab}	5.55 ± 0.31 ^B	27.5 ± 0.5	6.44 ± 3.51 ^a	175 ± 245	17.5 ± 9.3
充气 Aeration	持续	10.65 ± 1.03	5.57 ± 0.32	27.5 ± 0.4	7.02 ± 3.97 ^a	155 ± 182	15.0 ± 8.8
	间断	10.48 ± 1.03	5.55 ± 0.27	27.7 ± 0.4	4.72 ± 2.97 ^b	87 ± 138	10.9 ± 6.0
换水 Water change	是	10.33 ± 1.04	5.63 ± 0.28 ^a	27.6 ± 0.3	5.22 ± 3.01	157 ± 194	13.0 ± 9.3
	否	10.80 ± 0.97	5.50 ± 0.31 ^b	27.6 ± 0.5	6.51 ± 4.18	85 ± 119	12.8 ± 6.1
微生物制剂 Microorganism preparation	投放	10.28 ± 0.80 ^b	5.61 ± 0.32	27.5 ± 0.4	5.35 ± 3.92	135 ± 134	13.6 ± 7.8
	不投放	10.85 ± 1.15 ^a	5.52 ± 0.28	27.7 ± 0.5	6.38 ± 3.38	107 ± 190	12.2 ± 7.8
消毒剂 Disinfectant	投放	10.46 ± 1.08	5.64 ± 0.32 ^a	27.7 ± 0.4	5.83 ± 3.90	108 ± 104	13.4 ± 6.7
	不投放	10.67 ± 0.98	5.48 ± 0.26 ^b	27.6 ± 0.4	5.91 ± 3.49	134 ± 209	12.5 ± 8.8

注: 同列同因素各水平数据上标中不含有相同大写字母表示相互之间存在极显著差异 ($P < 0.01$), 不含有相同小写字母表示相互之间存在显著差异 ($P < 0.05$), 表 3-4 同

Notes: The data in the same line with different capital English letters mean very significant differences ($P < 0.01$), with different superscript lower-case English letters mean significant differences ($P < 0.05$), the same in fig. 3-4

表 3 不同养殖条件下的养殖效果

Tab. 3 The effect of culture under different culture conditions

因素 Factor	水平 Level	体质量日均净 增重/mg Daily net weight gain of body weight	体长日均净 增长/mm Daily net growth of body length	SGR	成活率/% Survival rate	肥满度 Fullness	FCR	单位产量/(g/m ³) Specific yield
放养密度/ (个/m ²) Stocking density	50	110 ± 12 ^A	0.85 ± 0.04 ^A	8.09 ± 0.08 ^A	84.4 ± 13.5 ^a	1.33 ± 0.08	1.23 ± 0.12	672 ± 94 ^c
	100	92 ± 11 ^B	0.76 ± 0.04 ^B	7.88 ± 0.11 ^B	77.3 ± 13.2 ^{ab}	1.36 ± 0.08	1.18 ± 0.08	993 ± 187 ^b
	170	67 ± 11 ^C	0.70 ± 0.05 ^C	7.65 ± 0.12 ^C	76.9 ± 20.0 ^{ab}	1.30 ± 0.14	1.13 ± 0.09	1235 ± 251 ^a
	260	65 ± 13 ^C	0.68 ± 0.04 ^C	7.61 ± 0.16 ^C	59.2 ± 16.6 ^b	1.34 ± 0.13	1.17 ± 0.15	1383 ± 171 ^a
	340	65 ± 13 ^C	0.67 ± 0.05 ^C	7.62 ± 0.15 ^C	38.8 ± 14.8 ^c	1.36 ± 0.08	1.17 ± 0.14	1174 ± 320 ^{ab}
充气 Aeration	持续	81 ± 22	0.73 ± 0.05	7.79 ± 0.24	67.4 ± 20.1	1.35 ± 0.11	1.20 ± 0.11	1133 ± 358
	间断	78 ± 21	0.74 ± 0.07	7.76 ± 0.26	67.5 ± 25.3	1.36 ± 0.11	1.15 ± 0.12	1052 ± 288
换水 Water change	是	80 ± 21	0.72 ± 0.06	7.78 ± 0.21	65.8 ± 24.6	1.41 ± 0.08 ^A	1.19 ± 0.12	1049 ± 309
	否	81 ± 22	0.74 ± 0.07	7.77 ± 0.24	69.1 ± 20.9	1.31 ± 0.13 ^B	1.16 ± 0.08	1137 ± 341
微生物制剂 Microorganism preparation	投放	82 ± 18	0.73 ± 0.05	7.78 ± 0.22	64.2 ± 25.4	1.37 ± 0.13	1.19 ± 0.12	1039 ± 319
	不投放	78 ± 24	0.72 ± 0.07	7.75 ± 0.25	70.7 ± 19.3	1.36 ± 0.11	1.16 ± 0.10	1146 ± 329
消毒剂 Disinfectant	投放	80 ± 22	0.73 ± 0.07	7.77 ± 0.24	65.8 ± 22.8	1.36 ± 0.14	1.18 ± 0.13	1057 ± 329
	不投放	82 ± 20	0.73 ± 0.06	7.78 ± 0.23	68.7 ± 22.4	1.35 ± 0.08	1.16 ± 0.11	1128 ± 323

表 4 不同养殖条件下的消化酶活性

Tab. 4 Digestive enzyme activity under different culture conditions

因素 Factor	水平 Level	胃蛋白酶 /(U/mg prot) Pepsin	胰蛋白酶 /(U/mg prot) Trypsin	脂肪酶 /(U/mg prot) Lipase	淀粉酶 /(U/mg prot) Amylase
放养密度/ (个/m ²) Stocking density	50	0.313 ± 0.076	0.744 ± 0.173	1.059 ± 0.338	0.845 ± 0.915
	100	0.314 ± 0.048	0.784 ± 0.135	1.025 ± 0.272	0.551 ± 0.155
	170	0.265 ± 0.084	0.752 ± 0.168	1.063 ± 0.132	0.523 ± 0.284
	260	0.288 ± 0.077	0.837 ± 0.144	0.892 ± 0.271	0.486 ± 0.258
	340	0.248 ± 0.113	0.765 ± 0.168	0.883 ± 0.195	0.627 ± 0.518
充气 Aeration	持续	0.284 ± 0.083	0.747 ± 0.138	0.903 ± 0.210 ^b	0.696 ± 0.664
	间断	0.289 ± 0.085	0.808 ± 0.166	1.067 ± 0.267 ^a	0.517 ± 0.222
换水 Water change	是	0.304 ± 0.084	0.805 ± 0.187	0.959 ± 0.221	0.708 ± 0.634
	否	0.269 ± 0.078	0.748 ± 0.112	1.010 ± 0.285	0.509 ± 0.286
微生物制剂 Microorganism preparation	投放	0.285 ± 0.093	0.821 ± 0.162 ^a	0.969 ± 0.252	0.716 ± 0.594
	不投放	0.287 ± 0.073	0.730 ± 0.130 ^b	1.003 ± 0.259	0.498 ± 0.361
消毒剂 Disinfectant	投放	0.268 ± 0.078	0.731 ± 0.152 ^b	0.935 ± 0.190	0.688 ± 0.587
	不投放	0.302 ± 0.087	0.823 ± 0.144 ^a	1.036 ± 0.296	0.523 ± 0.384

3 讨论

3.1 合适放养密度

高密度养殖会降低水中溶解氧与增加残饵、代谢物等含量,引起水质恶化,从而增加养殖风险^[21]。水质指标与对虾疾病爆发的相关性研究常见于报道,JIMENEZ 等^[22]发现水质理化指标的变化与对虾的疾病之间很大程度上存在着相关性。王年斌等^[23]指出氨氮、NO₂⁻-N、DO、pH 等因子与虾病爆发相关性显著。说明良好的水质状况是减少养殖风险的重要条件,对养殖效果具

有重要作用。实验结果表明,pH、NH₃-N_m、DO 随放养密度的增加而下降,NO₃⁻-N、PO₄³⁻-P、浊度随密度增加而升高,COD 随密度无明显变化趋势。王秋实等^[24]得出的随养殖密度增加,水中 TN、TP、NH₃-N_m、NO₃⁻-N 含量逐渐增加,COD 无明显的变化规律,此与实验结果基本一致,但本实验中 NH₃-N_m 随放养密度的增加而降低与王秋实的实验结果不同,此可能是养殖池水 pH 较低原因,因此池水 pH 控制在可适范围的下限可降低 NH₃-N_m 浓度及其毒性。50、100 个/m² 放养密度下池水的 pH、DO 高,而其余水化学指标均较低,可看

出实验中 50、100 个/m² 放养密度在养殖期间保持着较好的水质。

高放养密度虽可提高水体利用率,更好的发挥其生产力,但高密度养殖对虾的生长具明显抑制作用,加剧个体对空间和资源的竞争,从而增加活动耗能降低对生长能的利用^[25-26]。实验显示,对虾体质量与体长日均增长值、SGR、成活率随着放养密度的增加而降低,低放养密度(50、100 个/m²)显著高于高放养密度,且对虾规格更整齐,50 个/m² 的体质量与体长的变异系数为 10.4%、10.0%,低于 340 个/m² 的 17.6% 与 17.8%。这与刘永士等对罗氏沼虾的研究结果一致^[27]。

放养密度对凡纳滨对虾消化酶活性也存在影响,实验中,除胰蛋白酶外,胃蛋白酶、脂肪酶、淀粉酶随放养密度增加,呈下降趋势,此与肖鸣鹤等^[28]报道的密度对克氏原螯虾幼虾消化酶活性影响的实验结果一致。综合实验结果表明 50~100 个/m² 放养密度为实验条件下的温室水泥池最适放养密度。这与李倩等^[29]报道的养殖密度为 105~150 万尾/hm² 的小规模养殖模式效益最高的研究结果相似。

综合各实验密度下各实验组的水质演变规律、对虾消化活性、饵料系数、生长效果等实验结果,实验密度范围内,50 与 100 个/m² 是较为合适的养殖密度,在此密度下,换水、持续增氧等水质调控措施能更好的调控水质,对虾生长表现更佳,饵料利用率更高。

3.2 水质调控措施对水质与养殖效果的作用

实验发现,持续充气条件下,除池水浊度和 PO₄³⁻-P 显著高于间断充气措施($P < 0.05$),对虾脂肪酶比活力比间断充气措施低 18% ($P < 0.05$)外,其余水质指标、养殖效果、酶比活力均无差异,但池水中 NO₃⁻-N 含量比间断充气增高 8.1%,对虾淀粉酶活力提高了 35%,对虾体质量日均增长值高 3.8%,单位水体产量提高了 7.7%,说明持续充气有效延缓了颗粒有机物的沉降,有机物的有氧分解相对充分,对处于中间形态的水质指标值改善不明显,但水环境更适宜对虾生长,利于产量的提高。换水措施下池水水质指标中 TAN、NO₃⁻-N、PO₄³⁻-P 均极显著低于不换水($P < 0.01$),pH 极显著高于不换水($P < 0.01$),同时 NH₃-N_m、COD、浊度都低于不换水,

仅 NO₂⁻-N、弧菌数和异养菌数略高于不换水,且对虾肥满度极显著高于不换水组($P < 0.01$),消化酶比活力比不换水高,说明换水影响对虾消化酶活力和养殖效果,显示很好的改善水质效果。王光玉等^[30]也发现,在换水率 15% 的养殖条件下,可以保证水体水质稳定,刺参生长良好。定期投放微生态制剂可以改善水质,提高饲料利用率是目前对虾养殖重要的水质调控措施^[31],实验发现,投放微生态制剂显著提高了胰蛋白酶活性($P < 0.05$),也有助于提高淀粉酶活性,有利于虾的生长,PAN 等对鲤(*Cyprinus carpio*)^[32]的研究中也有类似结果;投放微生态制剂除显著降低池水中 COD 外,对其他水质指标的影响不显著,改进不明显,此与黄建华等^[33]研究结果相反,这可能是由于实验是在室内进行,光线等环境与室外池塘不同,也有可能是在充气状态下,养殖水体中较早生产了水质净化能力比较强的活性污泥有关^[20],投放于池水中微生态制剂效果未能有效体现。投放消毒剂常用于对虾养殖池水的消毒杀菌^[34]。实验结果表明,除 DO 外,投放消毒剂没有体现改善其他水质指标,提高养殖效果的作用,反而降低了对虾消化酶活性,不利于对虾摄食消化,有可能与实验是在室内水泥池内进行,池中甚少有浮游动植物有关。建议温室养殖过程中谨慎使用消毒剂。

参考文献:

- [1] 张伟权. 世界重要养殖品种——南美白对虾生物学简介[J]. 海洋科学, 1990, 14(3): 69-73.
ZHANG W Q. A brief introduction to the biologic introduction of the world's important breed of *Penaeus vannamei*[J]. Marine Sciences, 1990, 14(3): 69-73.
- [2] 黄薇, 张根玉, 骆志强, 等. 南美白对虾池塘温室二茬养殖水质动态对比[J]. 水产科技情报, 2016, 43(1): 23-27.
HUANG W, ZHANG G Y, LUO Z Q, et al. Dynamic comparison of water quality of two cropping in the greenhouse of *Penaeus* prawns [J]. Fisheries Science & Technology Information, 2016, 43(1): 23-27.
- [3] 陈亚坤, 郭冉, 夏辉, 等. 密度胁迫对凡纳滨对虾生长、水质因子及免疫力的影响[J]. 江苏农业科学, 2011, 39(3): 292-294.
CHEN Y K, GUO R, XIA H, et al. Effects of density stress on growth, water quality and immunity of *Litopenaeus vannamei*[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2011, 39(3): 292-294.

- [4] 冯东岳, 钱冬. 2005~2009年凡纳滨对虾白斑综合征和桃拉综合征的流行情况分析[J]. 南方水产科学, 2011, 7(1): 78-83.
FENG D Y, QIAN D. Prevalence study on *Penaeus vannamei* infected with WSD and TS during 2005—2009 [J]. South China Fisheries Science, 2011, 7(1): 78-83.
- [5] 马真. 凡纳滨对虾集约化养殖水质管理决策支持系统的构建[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.
MA Z. The construction of DSS in water quality management of intensive *Litopenaeus vannamei* shrimp tanks [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013.
- [6] 戴习林, 周梦颖, 鞠波, 等. 养殖密度对罗氏沼虾生长、性别分化与性腺发育的影响[J]. 水产学报, 2016, 40(12): 1874-1882.
DAI X L, ZHOU M Y, JU B, et al. Effects of stocking density on growth, sexual differentiation and gonad development of *Macrobrachium rosenbergii* [J]. Journal of Fisheries of China, 2016, 40(12): 1874-1882.
- [7] 曹阳, 李二超, 陈立侨, 等. 养殖密度对俄罗斯鲟幼鱼的生长、生理和免疫指标的影响[J]. 水生生物学报, 2014, 38(5): 968-974.
CAO Y, LI E C, CHEN L Q, et al. Effects of stocking density on growth, physiological and immune responses in juvenile Russian sturgeon [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2014, 38(5): 968-974.
- [8] 穆珂馨, 赵振良, 马海军. 全封闭循环水工厂化养殖青石斑鱼水质效果研究[J]. 河北渔业, 2010(6): 4-7.
MU K X, ZHAO Z L, MA H J. The study of water quality for breeding *Epinephelus awoara* with the industrial full-closed recirculating water system [J]. Hebei Fisheries, 2010(6): 4-7.
- [9] 朱学芝, 郑石轩, 潘庆军, 等. 微生态制剂对凡纳滨对虾生长及水质的影响[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2008, 47(s1): 58-62.
ZHU X Z, ZHENG S X, PAN Q J, et al. Effect of probiotics on growth performance and water quality for *Litopenaeus vannamei* [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2008, 47(s1): 58-62.
- [10] 刘军, 戴习林, 臧维玲. 凡纳滨对虾温棚高位池养殖密度及简易水质调控措施效果研究[J]. 上海海洋大学学报, 2016, 25(2): 189-197.
LIU J, DAI X L, ZANG W L. Research of breeding density and water quality control measures in *Litopenaeus vannamei* greenhouse high-intensive ponds [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2016, 25(2): 189-197.
- [11] 陈佳荣. 水化学试验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996: 5-30.
CHEN J R. Directing the hydrochemistry test [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1996: 5-30.
- [12] 雷衍之. 养殖水环境化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004: 45-78.
LEI Y Z. Aquaculture environment hydrochemistry [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2004: 45-78.
- [13] 国家质检总局. GB/T 17378.4—1998 海洋监测规范 第4部分: 海水分析[S]. 北京: 中国标准出版社, 1998, 6: 176-178.
General Administration of Quality Supervision (SBTS). GB/T 17378.4—1998 The specification for marine monitoring part 4: seawater analysis [S]. Beijing: Standards Press of China, 1998, 6: 176-178.
- [14] DI PINTO A, TERIO V, NOVELLO L, et al. Comparison between thiosulphate-citrate-bile salt sucrose (TCBS) agar and CHROMagar Vibrio for isolating *Vibrio parahaemolyticus* [J]. Food Control, 2011, 22(1): 124-127.
- [15] ALABASTER J S, LLOYD R. Water quality criteria for freshwater fish [M]. 2nd ed. London: Butterworth, 1982: 85-87.
- [16] SEIDMAN E R, LAWRENCE A L. Growth, feed digestibility, and proximate body composition of juvenile *Penaeus vannamei* and *Penaeus monodon* grown at different dissolved oxygen levels [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 1985, 16(1/4): 333-346.
- [17] 么宗利, 王慧, 周凯, 等. 碳酸盐碱度和pH值对凡纳滨对虾仔虾存活率的影响[J]. 生态学杂志, 2010, 29(5): 945-950.
YAO Z L, WANG H, ZHOU K, et al. Effects of water carbonate alkalinity and pH on survival rate of post-larval *Litopenaeus vannamei* [J]. Chinese Journal of Ecology, 2010, 29(5): 945-950.
- [18] JAFARI M T, KHAYAMIAN T. Direct determination of ammoniacal nitrogen in water samples using corona discharge ion mobility spectrometry [J]. Talanta, 2008, 76(5): 1189-1193.
- [19] 臧维玲, 张煜, 戴习林, 等. 人工湿地联合塘内设施调控生产性虾塘水环境的效果与技术[J]. 水产学报, 2012, 36(4): 568-575.
ZANG W L, ZHANG Y, DAI X L, et al. The effect and application of treatment for wastewater of productive shrimp aquaculture by constructed wetlands combined with pond facilities [J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(4): 568-575.
- [20] 方秀珍, 郭贤桢, 郁桐炳, 等. 鱼池淤泥中参与氮循环的细菌和淤泥活性[J]. 水产学报, 1993, 17(2): 137-145.
FANG X Z, GUO X Z, YU T B, et al. Bacteria involved innycle in fish pond sediment and sediment activity [J]. Journal of Fisheries of China, 1993, 17(2): 137-145.
- [21] 陈金玲, 赖秋明, 苏树叶, 等. 精养虾池主要生态因子变化特点与相关性分析[J]. 南方水产科学, 2012, 8(4): 49-56.
CHEN J L, LAI Q M, SU S Y, et al. Study on variation characteristics and correlation analysis of major ecological factors in intensive shrimp ponds [J]. South China Fisheries Science, 2012, 8(4): 49-56.
- [22] JIMENEZ R, BARNIOL R, DE BARNIOL L, et al. Periodic occurrence of epithelial viral necrosis outbreaks in *Penaeus vannamei* in ecuador [J]. Diseases of Aquatic Organisms, 2000, 42(2): 91-99.

- [23] 王年斌,韩家波,周遵春,等. 虾池水环境因子与虾病爆发的相关性分析[J]. 水产科学, 2004, 23(12): 5-8.
WANG N B, HAN J B, ZHOU Z C, et al. Environmental factors in shrimp culture ponds related with diseases outbreaks [J]. Fisheries Science, 2004, 23(12): 5-8.
- [24] 王秋实,张镜群. 放养密度和微生态制剂对施氏鲟养殖水质的影响[J]. 水产学杂志, 2017, 30(5): 39-42.
WANG Q S, ZHANG J Q. Effects of probiotics on water quality in Amur sturgeon *Acipenser schrenckii* culture exposures at different stocking densities [J]. Chinese Journal of Fisheries, 2017, 30(5): 39-42.
- [25] 王兴强,曹梅,马姓,等. 密度对凡纳滨对虾存活、生长和能量收支的影响[J]. 中国农学通报, 2005, 21(8): 409-412.
WANG X Q, CAO M, MA S, et al. Effects of stocking densities on survival, growth and energy budget of juvenile *Litopenaeus vannamei*[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(8): 409-412.
- [26] 严维辉,唐建清,史克荣,等. 不同放养密度下龙虾残杀情况的试验性研究[J]. 齐鲁渔业, 2008, 25(8): 28-29.
YAN W H, TANG J Q, SHI K R, et al. Experimental research on the killing of lobster under different stocking densities [J]. Shandong Fisheries, 2008, 25(8): 28-29.
- [27] 刘永士,臧维玲,侯文杰,等. 室内罗氏沼虾幼虾养殖密度对水质与生长的影响[J]. 上海海洋大学学报, 2010, 19(2): 184-189.
LIU Y S, ZANG W L, HOU W J, et al. The effect of the stocking densities of indoor juvenile shrimps *Macrobrachium rosenbergii* culture on water quality and growth [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2010, 19(2): 184-189.
- [28] 肖鸣鹤,肖英平,吴志强,等. 养殖密度对克氏原螯虾幼虾生长、消化酶活力和生理生化指标的影响[J]. 水产学报, 2012, 36(7): 1088-1093.
XIAO M H, XIAO Y P, WU Z Q, et al. Effects of stocking density on growth, digestive enzyme activities and biochemical indices of juvenile *Procambarus clarkii*[J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(7): 1088-1093.
- [29] 李倩,周志明,杭小英,等. 南美白对虾不同养殖密度水质变化规律与养殖效益的分析[J]. 中国农学通报, 2014, 30(2): 100-104.
LI Q, ZHOU Z M, HANG X Y, et al. Analysis of water quality changes under different breeding density and breeding benefit of *Penaeus vannamei* [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(2): 100-104.
- [30] 王光玉,姜佳惠,祝楠,等. 换水率和密度对刺参生长和水质的影响[J]. 渔业现代化, 2017, 44(6): 55-61.
WANG G Y, JIANG J H, ZHU N, et al. Effects of water exchange rate and stocking density on growth of *Apostichopus japonicus* and water quality [J]. Fishery Modernization, 2017, 44(6): 55-61.
- [31] VERSCHUERE L, ROMBAUT G, SORGELOOS P, et al. Probiotic bacteria as biological control agents in aquaculture [J]. Microbiology and Molecular Biology Reviews, 2000, 64(4): 655-671.
- [32] PAN K C, YANG H B. Progress in study of mechanism of bacillus [J]. Feed Industry, 1997, 18(9): 32-34.
- [33] 黄建华,周发林,马之明,等. 微生物制剂对斑节对虾亲虾池异养细菌的影响[J]. 生态学杂志, 2007, 26(6): 826-830.
HUANG J H, ZHOU F L, MA Z M, et al. Effects of microbial preparations on heterotrophic bacteria in *Penaeus monodon* Fabricius broodstock culturing tank [J]. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26(6): 826-830.
- [34] DE OLIVEIRA T M L, REHFELD I S, GUEDES M I M C, et al. Susceptibility of vaccinia virus to chemical disinfectants [J]. American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, 2011, 85(1): 152-157.

Effects of indoor aquaculture density and simple water quality control measures on water quality and culture efficiency of *Litopenaeus vannamei*

DAI Xilin^{1,2}, YANG Zhankun^{1,2}, ZHU Qijian^{1,2}

(1. National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Shanghai Collaborative Innovation for Aquatic Animal Genetics and Breeding, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Using orthogonal table $L_{20}(5^1 \times 2^8)$ to arrange 5 kinds of horizontal stocking density (50, 100, 170, 260, 340 ind/m²), and 4 simple water quality control measures, including aeration mode, whether to change water, whether to use microbial agents or disinfectants, to carry out indoor aquaculture experiment of *Litopenaeus vannamei*. By comparing and analyzing the evolution rule of water quality, the specific activity of digestive enzymes and the effect of aquaculture, the effects of indoor aquaculture density and simple water quality control measures of *Litopenaeus vannamei* were comprehensively explored. The results showed that the stocking density significantly affected the water quality of the aquaculture water, the growth and yield of prawns ($P < 0.05$), and also the activity of digestive enzymes. The pH, nonionic ammonia nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}_m$) and dissolved oxygen (DO) in the pool water decreased with the increase of density, and the nitrogen nitrate ($\text{NO}_3^- \text{-N}$), active phosphorus ($\text{PO}_4^{3-} \text{-P}$) and turbidity increased with the increase of density. The daily average growth value, specific growth rate (SGR) and survival rate of *Litopenaeus vannamei* decreased with the increase of density. Except trypsin, the activity of pepsin, lipase and amylase decreased with the increase of density. The low stocking density (50-100 ind/m²) was more neat. Continuous aeration can help the transformation of material, improve the water environment and increase the activity and yield of amylase in prawn. The effect of water exchange on aquaculture and water quality is obvious, it can significantly reduce the content of total ammonia nitrogen (TAN), nitrogen nitrate ($\text{NO}_3^- \text{-N}$) and active phosphorus ($\text{PO}_4^{3-} \text{-P}$) and other hydration indexes ($P < 0.05$), and the activity of digestive enzyme in prawns was increased; The regular release of microecological agents significantly increased the activity of trypsin ($P < 0.05$), which is beneficial to the growth of shrimp, but not obvious in improving water quality. The application of disinfectant can reduce the activity of digestive enzymes in shrimp. Besides dissolved oxygen (DO), it has no obvious effect on improving water quality and raising aquaculture effect. The results showed that under the simple water quality control measures such as continuous aeration, aquaculture 60 d began to exchange 12.5%-25.0% water for every 10d and the release of microecologic agents per 15 d, 50-100 ind/m² is the appropriate stocking density for indoor cement tanks. The results provide a reliable basis for the cultivation of *Litopenaeus vannamei* in greenhouse cement pond.

Key words: *Litopenaeus vannamei*; greenhouse culture; stocking density; water quality variation; digestive enzyme activity