

分段养殖模式在凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*)养殖过程中的应用*

李俊伟¹ 颀晓勇¹ 郭永坚¹ 朱长波^{1①}
常 华² 王豪杰² 陈素文¹

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所 农业部南海渔业资源开发利用重点实验室 广州 510300;
2. 海大集团股份有限公司 广州 511400)

摘要 通过测定凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)生长性能和监测池塘水质变化,研究分段养殖模式在对虾养殖过程中的应用价值。养殖实验在 6 口池塘内(0.267 hm²/口)进行,首先在其中 2 口池塘内进行对虾的中间培育,养殖密度为 300×10⁴尾/hm²。经过 36 d 和 48 d 的中间培育后,将对虾先后转移到其他 4 口池塘内,养殖密度为 60×10⁴尾/hm²,分别记为 T₁ 和 T₂ 组。剩余的对虾继续养殖在中间培育池塘内,记为 C 组。结果显示,经过分段养殖的 T₁ 和 T₂ 组对虾,在分池养殖阶段 7 d 内,生长速度均明显增加,其特定生长率(SGR)分别达到 9.36 %/d 和 6.76 %/d;养殖期间,T₁ 组具有最大的 SGR (9.36 %/d)和饲料投喂量,然而其饲料系数(FCR) (1.053)高于 T₂ 组(0.822);经过分段养殖的对虾 FCR 均低于 C 组(1.082)。在分池养殖阶段的大部分时间,T₂ 组对虾的 SGR 高于 T₁ 组;C 组 NH₄⁺-N、NO₂⁻-N 和 Chl-*a* 浓度低于 T₁ 组和 T₂ 组,而颗粒物含量(TPM)和总磷(TP)高于 T₁ 组和 T₂ 组;T₂ 组 Chl-*a* 含量明显高于 T₁ 组和 C 组。结果显示,经过 48 d 中间培育后,即对虾体重约为 2 g 时进行分池养殖仍可保证对虾在较长时间内保持较大的生长速度,对于饲料的节约具有重要意义。由于分池养殖阶段具有较多的饲料投喂,经过 36 d 中间培育后的对虾具有最大产量。分池养殖池塘内饲料投喂少于全期养殖,有利于养殖系统的稳定,然而单位时间内投喂量增加则会影响水质。分段养殖模式在提高分池养殖阶段对虾的生长速度和保持水质稳定方面具有重要的应用价值。

关键词 凡纳滨对虾;生长性能;分段养殖;中间培育阶段;分池养殖阶段

中图分类号 Q967.4 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2016)06-0074-07

凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)是我国重要的对虾养殖品种之一,2014 年其淡水养殖和海水养殖总产量接近 158 万 t,占国内对虾类总产量的 53.9% (渔业统计年鉴,2015)。近年来,凡纳滨对虾养殖规模不断扩大,但是平均产量和养殖成功率仍处于较低水平,主要体现在对虾养殖早期的排塘率较高和养殖后期水质不稳定,成为对虾养殖产业的主要风险来

源。由于幼虾摄食和活动能力较弱,在养殖过程中先将幼虾集中于池塘内进行中间培育(标粗培育),待其摄食和活动能力提高后,再将其分池以降低密度进行养殖,即为分段养殖模式(李金亮等,2010;李卓佳,2012)。分段养殖模式有利于集中管理对虾的早期养殖阶段,有利于提高成活率(麦贤杰等,2009a);可以缩短养殖周期,有效地增加养殖频次,从而提高养殖

* 广东省海洋渔业科技推广项目(B201500B04; B201601-01)、中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(中国水产科学研究院南海水产研究所) (2014ZD01; 2013ZD01)和广东省省级科技计划项目(2013B090500081; 2013B040500020)共同资助。李俊伟, E-mail: lijunwei303@163.com

① 通讯作者: 朱长波, 副研究员, E-mail: changbo@scsfri.ac.cn

收稿日期: 2015-08-18, 收修改稿日期: 2015-11-09

效益(麦贤杰等, 2009a; 李金亮等, 2010)。同时, 经过中间培育阶段后, 分养池塘中的残饵、粪便等有机质积累减少, 有利于后期池塘水质的稳定。然而, 目前有关分段养殖模式对于对虾生长和池塘水质影响的研究鲜有报道(曾祥高等, 2006; 李金亮等, 2010)。

本研究在土塘开展凡纳滨对虾的养殖, 通过监测早期中间培育阶段(标粗阶段)和分池养殖阶段凡纳滨对虾的生长速率和水质指标, 研究分段养殖模式在凡纳滨对虾养殖过程中的作用和影响, 在当前对虾养殖生产风险巨大的背景下, 可为凡纳滨对虾养殖管理和养殖模式的改进提供具有重要应用价值的参考数据。

1 材料与方 法

1.1 实验材料

养殖实验所用池塘位于广州市番禺海鸥岛养殖场, 共 6 口池塘, 每口水面积为 0.267 hm²。凡纳滨对虾购自广东省海兴农海洋生物科技有限公司, 其平均规格为(0.94±0.12) cm (31 日龄; 体重约为 0.01 g)。采用其中 2 口池塘进行对虾的中间培育, 养殖密度为 300×10⁴ 尾/hm²。

1.2 实验设计

养殖实验分为中间培育阶段和分池养殖阶段, 实验时间共 83 d。在中间培育阶段第 36 天时, 采用网捕方式将第 1 批对虾转移到 1 号、2 号养成池塘中, 此时, 对虾规格为(1.12±0.13) g, 记为 T₁ 组。在中间培育第 48 天时, 将第 2 批对虾转移到 3 号、4 号养成池塘中, 此时对虾规格为(2.13±0.25) g, 记为 T₂ 组。T₁ 和 T₂ 两个处理组池塘中的对虾放养密度均为 60×10⁴ 尾/hm²。从初始至结束一直处于中间培育池塘中的对虾为 C 组, 其养殖密度由 300×10⁴ 尾/hm² 减少到 124×10⁴ 尾/hm²。

1.3 日常管理

养殖期间, 池塘水体中溶解氧、温度和 pH 采用 YSI 进行现场测定; 池塘水体的透明度采用萨式透明度盘测定。中间培育池塘饲料日投喂量按照对虾存塘量的 5% 投喂, 分池养殖阶段按照对虾存塘量的 5%–7% 进行投喂。每天按一定比例将对虾饲料与乳酸杆菌等复合菌液(海贝生物公司)发酵 24 h 后再进行投喂。

1.4 测定方法和数据计算

1.4.1 水质测定和生物测定 实验期间, 每 7 d 采取水样和生物样品。每个池塘设 3 个取样点, 将 3 个

取样点处的水样进行混合, 所采水样进行氨氮(NH₄⁺-N)、亚硝态氮(NO₂⁻-N)、叶绿素 *a* (Chl-*a*) 及颗粒物质的测定。NH₄⁺-N 含量采用靛酚蓝法测定(雷衍之, 2006), NO₂⁻-N 含量采用重氮-偶氮光度法测定(雷衍之, 2006), Chl-*a* 浓度参照海洋监测规范(2007); 取一定体积的水样过滤到 Whatman 膜上(孔径 0.7 μm, 直径 50 mm), 通过滤膜上的物质重量可得池塘水体中的总颗粒物质质量(TPM)。每 7 d 采集对虾样品, 每口池塘的采捕量为 50 尾, 分别进行体长和体重的测定。

1.4.2 指标计算 实验期间, 对虾的存活率(SR)、特定生长率(SGR)、饲料系数(FCR)分别按照以下公式计算:

$$SR (\%) = 100 \times N_2 / N_1$$

$$SGR (\%/d) = 100 \times (\ln W_2 - \ln W_1) / T$$

$$FCR = F / (W_2 - W_1)$$

体重瞬时生长加速度=(SGR₂-SGR₁)/*t* (张乃禹, 1985)

式中, N₁ 和 N₂ 为实验前后各组池塘中对虾的数量; W₁ 和 W₂ 分别为实验初期和末期对虾湿重(g); T 为实验时间(d); F 为实验期间投喂饲料总量(g); SGR₁、SGR₂ 分别为采样阶段前后的特定生长率, *t* 为采样间隔天数(d)。

1.4.3 数据统计 采用 Excel 和 SPSS 17.0 进行数据统计和分析。数据均表示为平均值±标准差(Mean±SD)。

2 结果

2.1 实验期间不同阶段内对虾的生长性能

在分池养殖阶段, T₁ 组对虾具有最大的平均重量(均重); T₂ 组对虾均重比同期 T₁ 组较小(图 1-a)。3 个处理组对虾体长表现出与体重相近的变化趋势(图 1-b)。

在中间培育阶段, 对虾的 SGR 均处于较高水平; 随着体重增加, 其 SGR 值表现出降低的趋势。在分池养殖阶段第 1 个采样期内, T₁ 组对虾 SGR 具有明显的增加趋势, 随后降低; T₂ 组对虾 SGR 也明显增加, 但其 SGR 值增加量小于 T₁ 组。在分池养殖阶段的大部分时间内, T₂ 组对虾 SGR 大于 T₁ 组, 且 T₁ 和 T₂ 组均高于 C 组(图 2-a)。

整个实验期间, 对虾体重瞬时生长加速度曲线最高点出现在养殖第 14 天(45 日龄), 负加速最大绝对值出现在第 23 天(54 日龄)。在对虾进入到池塘环境第 1–14 天和第 23–30 天时, 体重瞬时生长加速度增加明显。此后各处理组对虾表现出加速生长和减速生长相互交替的现象。T₁ 和 T₂ 组对虾均在分池养殖阶段的第 1–7 天内, 体重生长加速度高于 C 组(图 2-b)。

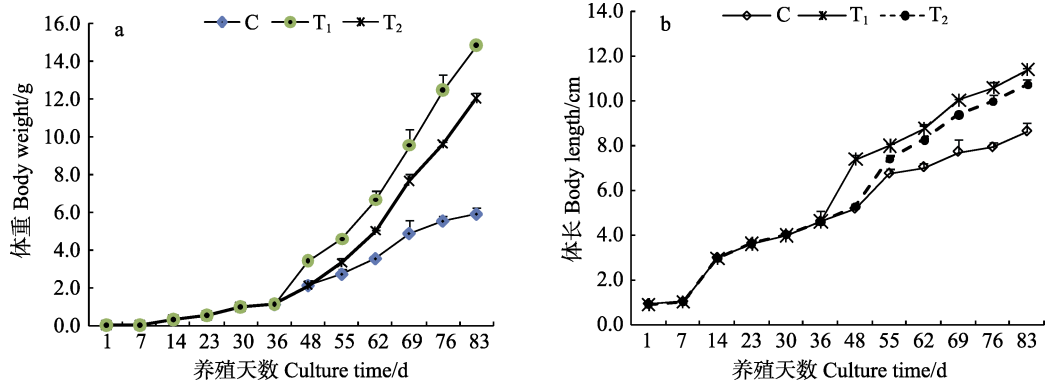


图 1 对虾的体重(a)和体长(b)变化(平均值±标准差)

Fig.1 The variation of body weight (a) and length (b) of shrimp during the experiment (Mean±SD)

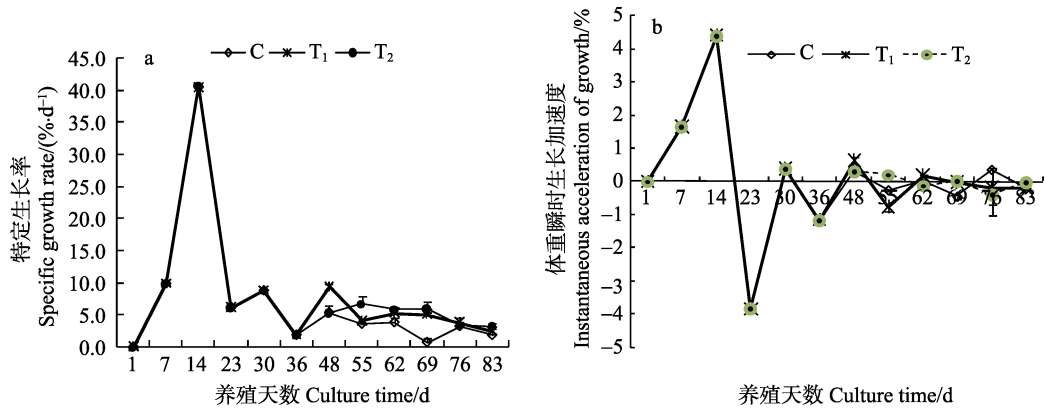


图 2 实验期间不同采样阶段内对虾的特定生长率(a)和瞬时生长加速度(b) (平均值±标准差)

Fig.2 The variation of the SGR (a) and instantaneous growth acceleration (b) during the experiment (Mean±SD)

2.2 实验期间对虾的存活和生长

在中间培育阶段，对虾的成活率为 81.25%。在分池养殖阶段，T₁、T₂ 和 C 组对虾的成活率分别为 96%、98%和 86%。实验结束时，T₁ 组对虾增重最明显，其 SGR 为 8.80 %/d，明显高于 C 组；T₂ 与 T₁ 组对虾 SGR 相差较小。整个实验期间，T₂ 组的 FCR 小于 T₁ 和 C 组，且 C 组对虾的 FCR 为最高(表 1)。

表 1 实验期间不同处理组对虾的生长和饲料利用性能

Tab.1 The growth performance and feed utilization of shrimp in different groups during the experiment (Mean±SD)

组别 Groups	初重 Initial weight (g)	末重 Final weight (g)	特定生长率 Specific growth rate (%/d)	饲料系数 Feed conversion ratio
C	0.010±0.001	5.58±0.23	7.62±0.05	1.08±0.03
T ₁	0.010±0.001	14.88±2.69	8.80±0.02	1.05±0.02
T ₂	0.010±0.001	12.06±0.06	8.55±0.01	0.82±0.01

2.3 不同阶段各处理组池塘内的饲料投喂量

整个实验期间，随着对虾体重的增加，各处理组

池塘中饲料投喂量逐渐增加。分池养殖阶段，T₁ 和 T₂ 组池塘中的饲料投入增加量均高于 C 组。实验结束时，C、T₁ 和 T₂ 组池塘内的投喂量分别接近 6.11、8.69 和 5.13 t/hm²。分池养殖阶段，由于 T₂ 组对虾分池较晚，该组池塘内的饲料投喂量一直低于其他 2 组(图 3)。

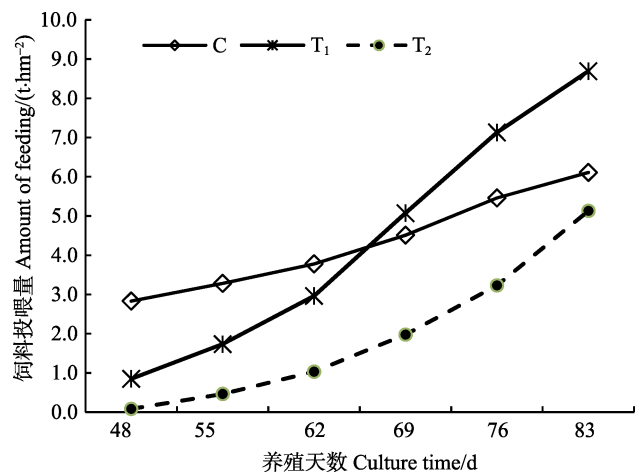


图 3 分池养殖阶段不同采样时间的饲料投喂量

Fig.3 Amounts of feeding in different ponds during the experiment

整个实验期间, T_1 组的饲料投喂量最大, 而 T_2 和 C 组投喂量相近; 实验结束时, T_1 组具有最大的对虾存塘生物量, 明显高于 C 和 T_2 组, C 组具有最小存塘生物量; C、 T_1 和 T_2 组对虾存塘生物量分别为 5045、8571 和 6647 kg/hm^2 (表 2)。

表 2 不同处理组生物量和投喂量分析
Tab.2 The biomass and economic analysis in different groups

组别 Group	投喂量 Feed (kg/hm^2)	生物量 Biomass(kg/hm^2)
C	6111	5045
T_1	8695	8571
T_2	5132	6647

2.4 实验期间水质变化

整个实验期间, 3 个处理组池塘水体温度变化趋势一致, 其变化范围为 $24.5\text{--}35.5^\circ\text{C}$, 盐度为 3–5。C、 T_1 和 T_2 组溶解氧变化范围分别为 $4.5\text{--}11.8$ 、 $5.28\text{--}12.6$

和 $5.3\text{--}11.7$ mg/L ; pH 变化范围分别为 $7.7\text{--}8.7$ 、 $7.9\text{--}8.9$ 和 $7.5\text{--}9.0$ 。C 组池塘水体透明度在放苗后 7 d 内变化范围为 $28.0\text{--}71.0$ cm, 后期透明度较低, 其变化范围为 $7.3\text{--}18.5$ cm; 而 T_1 和 T_2 组池塘透明度的变化范围分别为 $15.9\text{--}27.5$ cm 和 $8.5\text{--}25.3$ cm。

在中间培育阶段, 池塘水体中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量在中期出现最大值, 随后表现出下降的趋势(图 4-a); 而 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 含量表现出逐渐增加的趋势, 在养殖第 36 天出现最高值(图 4-b)。分池养殖阶段的大部分时间内, C 组 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 含量处于较低水平; 在实验后期, T_1 和 T_2 组 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 浓度高于 C 组, 并且 T_1 组高于 T_2 组。在分池养殖阶段, T_1 组池塘水体具有最大的总氮(TN)浓度; C 组池塘中总磷(TP)浓度明显高于其他 2 组(图 4c–d)。

分池养殖阶段内, C 组池塘水体 TPM 一直处于较高水平(图 5-a), 而该组池塘水体中 Chl-*a* 含量处于较低水平(图 5-b)。 T_2 组池塘水体具有最低的 TPM 含量(图 5-a)和最高的 Chl-*a* 含量(图 5-b)。

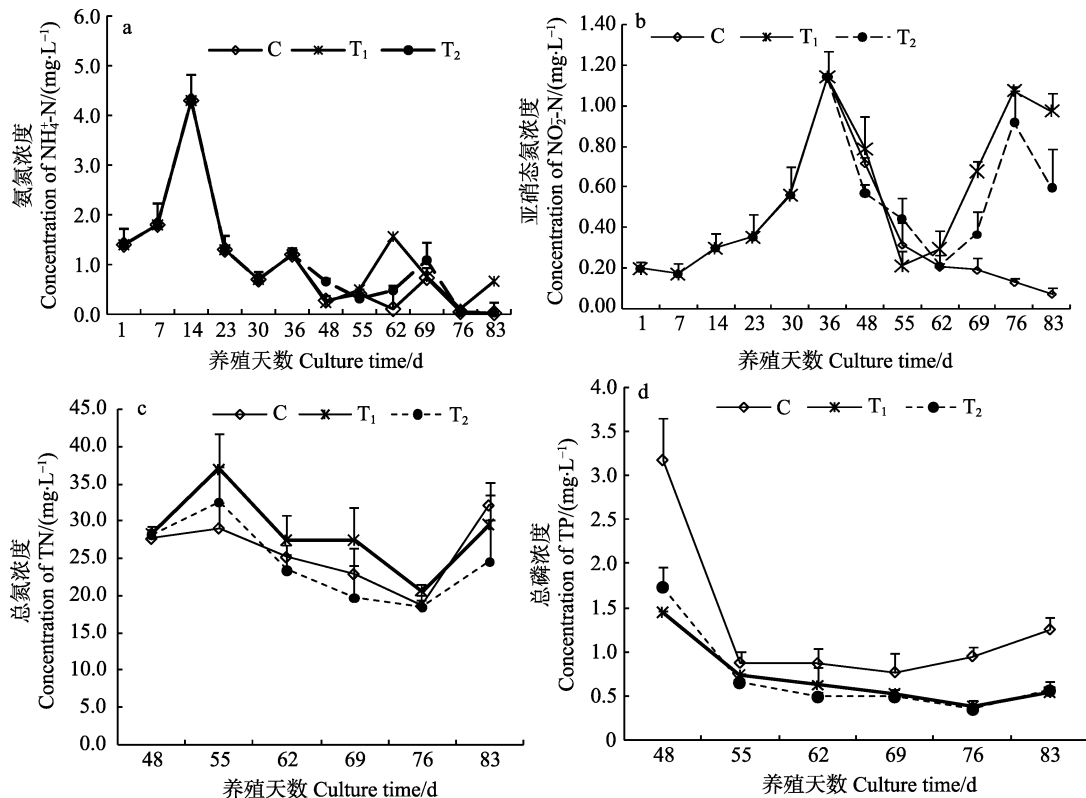


图 4 实验期间不同处理组水体 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ (a)、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ (b)、TN(c) 和 TP(d) 浓度变化(平均值 \pm 标准差)

Fig.4 The variation of $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$, TN and TP in the water in different groups during the experiment (Mean \pm SD)

3 讨论

3.1 中间培育在对虾养殖过程中的效果

在养殖实践中, 将对虾暂养于水质稳定、饵料充

足和管理良好的养殖水体中, 可以提高对虾的适应能力, 从而提高其成活率(文国樑等, 2007; 麦贤杰等, 2009a)。曾祥高等(2006)研究表明, 凡纳滨对虾经过中间培育后分池养殖可以取得较好的养殖效果。采用

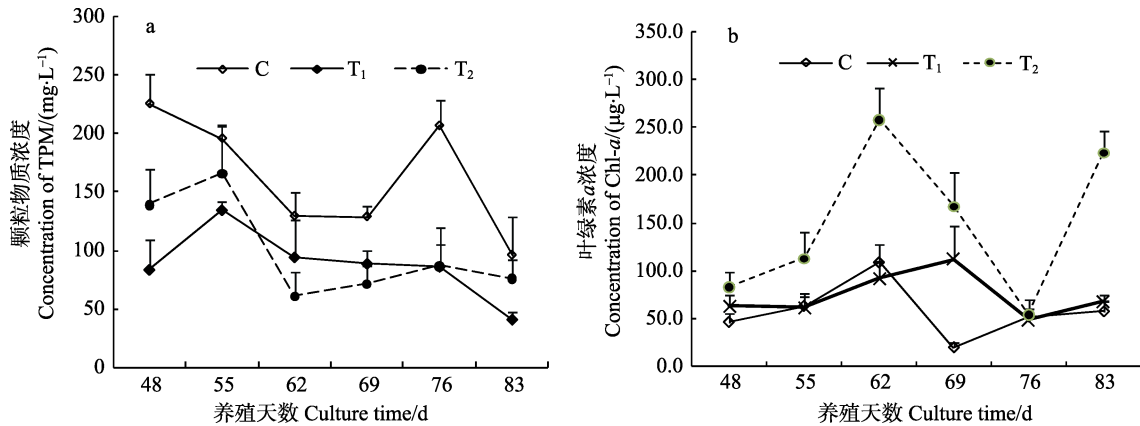


图5 实验期间不同处理组池塘水体中总颗粒物(a)和叶绿素 *a* 浓度(b)变化(平均值±标准差)

Fig.5 The variation of TPM and Chl-*a* in the water in different groups during the experiment (Mean±SD)

中间培育阶段和分池养殖阶段相结合的分段养殖模式, 可以提高对虾的成活率和养殖频次(李金亮等, 2010)。对虾养殖过程中的中间培育阶段一般在 20–30 d (麦贤杰等, 2009b)。该养殖实验的中间培育阶段为 36 d 和 48 d, 两组池塘的对虾成活率均超过 80%, 表明凡纳滨对虾经过较长阶段的中间培育仍然有利于保持较高的成活率。对虾早期对饵料、空间的需求较小, 并且相互捕食能力较弱, 因此可以进行高密度养殖。养殖密度是影响对虾生长的重要因素之一(张许光等, 2013), 密度胁迫会造成对虾生长速度的降低(侯文杰等, 2010; 衣萌萌等, 2012)。由于 T₁ 和 T₂ 组的对虾进行分池养殖, C 组对虾的养殖密度由 300×10^4 尾/hm² 降至 124×10^4 尾/hm², 其生长性能明显低于 T₁ 和 T₂ 组, 说明 C 组养殖密度仍高于生长适宜密度。该研究表明, 适宜阶段的中间培育有利于提高早期对虾的成活率, 在对虾生长到一定规格及时进行分池养殖有利于对虾养殖后期的生长和存活。

3.2 分池养殖阶段对虾的生长性能

分池养殖阶段, T₁ 和 T₂ 组对虾的生长数据表明, 经过中间培育后, 对虾表现出较快的生长速度, 尤其在分池养殖阶段第 1 周内生长加速较为明显(图 2)。该实验分池养殖后对虾的生长速度大于其他研究中沙质池塘和铺膜池塘内高密度养殖的对虾生长性能(李卓佳等, 2005)。在分池养殖阶段, 由于养殖密度、饵料和水质等处于更为适宜的状态, 对虾在中间培育阶段由于空间和食物竞争形成的摄食和生长特性可能在一定程度上促进了对虾补偿生长现象的发生。目前, 有关对虾的补偿生长实验多在实验室内进行, 主要通过食物、营养等限制和再补充的方式引起对虾不同程度的补偿生长现象(吴立新等, 2001; 林小涛等, 2004、2008; 杨其彬等, 2013)。本养殖实验中, 由于对

虾在中间培育池塘中存在空间和饵料的竞争, 对虾对该环境产生了摄食和生理方面的适应, 因此, 获得较优环境后可能出现一定程度的补偿生长现象。分池养殖阶段 T₁ 组在分池后第 1 周内较为明显的生长加速, 而 T₂ 组对虾在养殖后期保持着生长优势(图 2-a), 该结果表明, 经过较长时间的中间培育(48 d), 可能更有利于对虾在后期的生长。本实验中经过中间培育阶段的对虾在 107 日龄时, 平均体重和体长分别接近 13 g 和 11 cm, 其生长速度快于其他研究中的 140 日龄(李玉虎等, 2015), 这可能与对虾经过高密度的中间培育或其他养殖条件有一定关系。

以往研究表明, 中间培育可提高对虾的成活率, 但高密度养殖会造成对虾失去在早期高速生长的时机, 不利于养殖后期对虾规格和产量的提高(张乃禹, 1985)。该研究通过监测对虾的体重和体长生长数据, 发现中间培育阶段的凡纳滨对虾仍然具有较高的生长速度, 且在分池养殖阶段其体重和体长均表现出较大的增长速度。该实验中体长快速生长阶段为 1–14 d 和 36–55 d, 与查广才等(2006)研究中表明的 40–60 d 具有较为接近的范围。本研究中, 经过 48 d 中间培育的对虾在分池养殖阶段内的大部分时间内, 其特定生长率大于 T₁ 组, 表明经过较长阶段的中间培育可能更能够激发对虾在后期的生长速度。

3.3 分段养殖的经济效益分析

养殖实验结束时(83 d), T₁ 和 T₂ 组对虾体重均生长至商品规格。同时, C、T₁ 和 T₂ 组池塘内的饲料投喂量分别为 6111、8695 和 5132 kg/hm² (图 3), 各组池塘中的对虾生物量分别为 5045、8571 和 6647 kg/hm²。T₂ 组对虾具有最低的饲料系数(表 1), 表明经过 48 d 中间培育的对虾具有最高的饲料利用率, 对于节省饲料成本具有重要意义。通过经济效益分析, 由于养殖

产量的增加带来的收益高于养殖成本, T₁ 组具有最大的平均生物量, 与 C、T₂ 组相比, 分别具有 70650 和 38475 元/hm² 的增收效益(按 40 元/kg)。因此, 经过 36 d 中间培育后饲料投喂量较大的处理组具有最大净收益(表 2)。

3.4 分池养殖阶段池塘水质的变化

由于经过中间培育阶段, 分池养殖阶段的池塘内残饵和排泄物质积累量减少, 有利于养殖水体的稳定。在分池养殖阶段, C 组池塘水体中 TPM 含量高于 T₁ 和 T₂ 组, 而 Chl-*a* 含量低于 T₁ 和 T₂ 组(图 4-a, b), 原因可能是对虾生物量较大, 并且其生物扰动效应明显(Zhong *et al.*, 2015), 可能在一定程度上促进了底质表层颗粒物质的上浮, 导致水体透明度降低, 从而限制了水体中浮游植物的生长。

实验后期, C 组 NH₄⁺-N、NO₂⁻-N 含量低于 T₁ 和 T₂ 组(图 3), 且 T₁ 组最高, 这与池塘单位时间内饲料投喂量具有一定关系。实验结束时, C、T₁ 和 T₂ 组池塘中日平均饲料投喂量分别为 73.5、184.95 和 146.55 kg/d·hm², 该数据也表明池塘单位时间内投喂量增加会造成养殖系统内反硝化速率一定程度的升高(张立通等, 2011)。一般情况下, 磷是凡纳滨对虾池塘内初级生产力的限制性因子(江敏等, 2010; 韦璐等, 2012), 本实验也表明, 养殖后期水体中 TP 含量具有下降趋势, 并且 Chl-*a* 含量也表现出随 TP 浓度下降而在一定阶段内降低的现象, 表明对虾养殖池塘中后期可利用磷的补充可能会有利于维持池塘内生态系统的稳定。

实际养殖过程中, 由于养殖后期大幅度增加饲料投喂量, 从而导致养殖水体中有机碳的积累以及氮、磷元素的不平衡, 易造成养殖系统的不稳定, 而影响收获时间和产量, 因此, 有关养殖后期饲料投喂量对池塘水质和氮、磷元素影响的定量研究还需要进一步深入开展。

4 结论

与经过 36 d 中间培育阶段的对虾相比, 经过 48 d 中间培育的对虾更易在分池养殖阶段维持较长时间的快速生长, 即在对虾约 2 g 时再进行分池养殖仍可以保证对虾较大的生长速率。经过 48 d 中间培育阶段, 由于投喂量减少, 养殖后期 T₂ 组具有较优的水质指标。本研究中, 分池养殖阶段的养殖密度为 60×10⁴ 尾/hm², 对虾生长和池塘水质均具有较优表现。因此, 在养殖过程中适度延长中间培育阶段再分

池养殖, 可以提高对虾的生长性能和水质稳定。然而, 分池养殖阶段更加适宜的养殖密度、投饵量等仍需要进一步研究。

参 考 文 献

- 韦璐, 江敏, 余根鼎, 等. 凡纳滨对虾养殖塘叶绿素 *a* 与水质因子主成分多元线性回归分析. 中国水产科学, 2012, 19(4): 620-625
- 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB12763.6-2007 海洋监测规范. 北京: 中国标准出版社, 2008, 3-10
- 文国樑, 曹煜成, 李卓佳, 等. 广东汕尾 1 年 3 茬池塘凡纳滨对虾健康养殖技术. 浙江海洋学院学报, 2007, 26(2): 173-178
- 衣萌萌, 于赫男, 林小涛, 等. 密度胁迫下凡纳滨对虾的行为与生理变化. 暨南大学学报, 2012, 33(1): 81-86
- 江敏, 余根鼎, 戴习林, 等. 凡纳滨对虾养殖塘叶绿素 *a* 与水质因子的多元回归分析. 水产学报, 2010, 34(11): 1712-1718.
- 农业部渔业局. 中国渔业统计年鉴. 北京: 中国农业出版社, 2014
- 麦贤杰, 黄伟健, 叶富良, 等. 对虾健康养殖学. 北京: 海洋出版社, 2009a, 265
- 麦贤杰, 黄伟健, 叶富良, 等. 对虾健康养殖学. 北京: 海洋出版社, 2009b, 276
- 李玉虎, 宋芹芹, 张志怀, 等. 凡纳滨对虾生长发育规律及生长曲线拟合研究. 南方水产科学, 2015, 11(1): 89-95
- 李卓佳, 曹煜成, 文国樑, 等. 集约式养殖凡纳滨对虾体长与体重的关系. 热带海洋学报, 2005, 24(6): 67-71
- 李卓佳. 南美白对虾高效生态养殖新技术. 北京: 海洋出版社, 2012, 84
- 李金亮, 陈雪芬, 赖秋明, 等. 凡纳滨对虾高位池养殖氮、磷收支研究及养殖效果分析. 南方水产, 2010, 6(5): 13-20
- 杨其彬, 姜松, 黄建华, 等. 斑节对虾的饥饿试验和补偿生长. 南方水产科学, 2013, 9(5): 25-31
- 吴立新, 董双林, 田相利. 中国对虾继饥饿后的补偿生长研究. 生态学报, 2001, 21(3): 452-457
- 张乃禹. 中国对虾生长的数理分析. 海洋科学, 1985, 9(4): 1-6
- 张立通, 孙耀, 陈爱玲, 等. 对虾养殖中后期虾塘沉积物的硝化与反硝化作用. 渔业科学进展, 2011, 32(1): 67-74
- 张许光, 赵培, 王国成, 等. 不同放苗密度凡纳滨对虾生物絮团养殖的环境和产出效应. 渔业科学进展, 2013, 34(3): 111-119
- 林小涛, 周小壮, 于赫男, 等. 饥饿对南美白对虾生化组成及补偿生长的影响. 水产学报, 2004, 28(1): 47-53
- 林小涛, 潘剑雄, 许忠能, 等. 周期性断食对凡纳滨对虾摄食、生长和排粪的影响. 水生生物学报, 2008, 32(3): 403-407
- 查广才, 周昌清, 黄建荣, 等. 低盐度养殖的凡纳滨对虾体长

- 和体重的增长规律. 水产学报, 2006, 30(4): 489-494
- 侯文杰, 臧维玲, 刘永士, 等. 室内凡纳滨对虾养殖密度对水质与生长的影响. 安徽农业大学学报, 2010, 37(2): 284-289
- 曾祥高, 张东霞, 刘宗理. 南美白对虾虾苗暂养技术. 齐鲁渔业, 2006, 25(7): 40
- 雷衍之. 养殖水环境化学实验. 北京: 中国农业出版社, 2006, 80-85
- Zhong DS, Wang F, Dong SL, *et al.* Impact of *Litopenaeus vannamei* bioturbation on nitrogen dynamics and benthic fluxes at the sediment-water interface in pond aquaculture. *Aquacult Int*, 2015, 23(4): 967-980

(编辑 冯小花)

Application of Culturing in Stages in the Shrimp Culturing Pond

LI Junwei¹, XIE Xiaoyong¹, GUO Yongjian¹, ZHU Changbo^{1①},
CHANG Hua², WANG Haojie², CHEN Suwen¹

(1. Key Laboratory of South China Sea Fishery Resources Exploitation & Utilization, Ministry of Agriculture, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300;
2. Haida Group Co., Ltd, Guangzhou 511400)

Abstract The effects of culturing in stages on the growth of shrimp *Litopenaeus vannamei* and the water quality were investigated from April to July in 2015. Experiments were conducted in 6 shrimp culturing ponds (2650 m², 53 m × 50 m each). The shrimp was first cultured in 2 ponds with a density of about 300 × 10⁴ ind/hm² for early cultivation. The subjects were stocked at 3 culturing time points, 36, 48 and 83 days, and were referred to as T₁, T₂, and C groups respectively. After early cultivation, the shrimp in the T₁ and T₂ groups were divided into two ponds with a suitable density (60 × 10⁴ ind/hm²). The survival rate, the growth of shrimp, and the water quality were evaluated during the experimental period. The growth increment of weight and length during the first week was significantly boosted and the specific growth rate (SGR) for T₁ and T₂ reached 9.36 %/d and 6.36 %/d respectively. The T₁ group showed the highest SGR and food consumption during the experiment, and the feed conversion ratio (FCR) was higher in T₁ (1.053) than in T₂ (0.822). In most of the divided culturing periods, the T₂ group maintained a higher SGR. Compared to the T₁ and T₂ groups, the C group had lower concentrations of NH₄⁺-N and NO₂⁻-N, a higher level of total particle matter (TPM), and a lower content of Chl-*a*. The T₂ group had the highest Chl-*a* content. These results indicated that the shrimp might achieve rapid growth later if divided into different ponds after a proper cultivation period (48 days). The organic matter accumulation in the pond decreased in the early cultivation, which helped improve the water quality of the pond. However, the water quality may worsen when the feed consumption in the pond reached a certain level in unit time. In conclusion, divided culturing in the different ponds could improve both the growth of shrimp and the water quality.

Key words *Litopenaeus vannamei*; Growth performance; Culturing in stages; Early-high density culturing; Later-low density culturing

① Corresponding author: ZHU Changbo, E-mail: changbo@scsfri.ac.cn