

文章编号: 1000- 0615(2000)05- 0442- 06

不同饵料对中华绒螯蟹幼体发育和存活的影响

江洪波¹, 陈立侨¹, 周忠良¹, 陈明¹, 朱钧²

(1. 华东师范大学生物系, 上海 200062; 2. 上海浦东孙桥名特水产开发有限公司, 上海 2001203)

摘要: 采用高度不饱和脂肪酸(HUFA)营养强化的轮虫、轮虫与卤虫组合投喂中华绒螯蟹幼体, 以各期幼体的存活率为评判指标, 对不同饵料及其组合的投喂效果进行了探讨。研究表明: 轮虫是中华绒螯蟹早期幼体(I、II期)的适口饵料, 幼体存活率随轮虫密度的增加而逐渐上升, 但当轮虫数量超过最适密度时, 幼体存活率反而有所下降。其中, 未强化的轮虫最适投喂密度为 $60 \text{ind} \cdot \text{mL}^{-1}$, 强化轮虫最适密度为 $40 \text{ind} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。状I、II期投喂 $40 \text{ind} \cdot \text{mL}^{-1}$ 轮虫, 从III期开始投喂 $10 \text{ind} \cdot \text{mL}^{-1}$ 卤虫无节幼体, 能较好地满足中华绒螯蟹幼体发育的营养需求, 提高大眼幼体的存活率。表明强化幼体饵料 HUFA 特别是 EPA 和 DHA 能有效地促进幼体的发育与存活和脱壳率。

关键词: 中华绒螯蟹; 幼体; 发育; 存活率; 饵料

中图分类号: S96 文献标识码: A

Effects of rotifer and *Artemia* nauplii on larval development and survival of *Eriocheir sinensis*

JIANG Hong-bo¹, CHEN Li-qiao¹, ZHOU Zhong-liang¹, CHEN Min¹, ZHU Jun²

(1. Department of Biology, East China Normal University, Shanghai 200062 China;

2. Pudong Sunqiao Special Aquatic Products Co., Shanghai 201203, China)

Abstract: The effects of rotifer, *Branchionus plicatilis*, and *Artemia* nauplii on the development and survival in the Chinese mitten-handed crab were investigated during the larval developmental stages. The results showed that rotifer is a kind of appropriate feed for the early zoal larval culture (Z_1 and Z_2), their development and survival may be affected by the amount of feed, the survival rate of the crab larvae increased gradually with increasing of amount of the rotifer, but it decreased when exceeding the optimal amount. The highest survival rate of the larva was gained by fed with the rotifers at $40 \text{ind} \cdot \text{mL}^{-1}$ in HUFA-enriched group, and at $60 \text{ind} \cdot \text{mL}^{-1}$ in control group respectively. However, all groups fed on rotifer only showed high mortality in postlarval stages (Z_3 , Z_4 , Z_5 , M). Nevertheless, *Artemia* is a kind of suitable diet for the postlarvae of the crab, when the larvae were fed with *Artemia* at $10 \text{ind} \cdot \text{mL}^{-1}$ instead of the rotifer, higher larval survival rate and normal metamorphosis to megalopa could be expected. The experimental results show that HUFA in feed influence significantly the development and survival of the crab larvae, and the survival and molting rate can be improved by enriching HUFA especially EPA and DHA in feed of larval stage.

Key words: *Eriocheir sinensis*; larvae; development; survival rate; feed;

收稿日期: 1999- 12- 27

基金项目: 国家自然科学基金项目(39770578); 教育部“跨世纪优秀人才培养计划”基金项目; 霍英东青年教师基金资助项目。

作者简介: 江洪波, (1970-), 男, 江西都昌人, 博士生, 主要从事水生动物营养学研究。E-mail: bgjjlb@citiz.net

通讯作者: 陈立侨(1962-), 广东梅县人, 博士, 教授, 主要从事水生动物营养学和种质遗传学方面的研究。E-mail: lqchen@online.

中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)俗称河蟹,是我国重要的经济蟹类。随着中华绒螯蟹人工增殖集约化和规模化生产的发展,天然蟹苗供不应求,尤其是长江水系的蟹苗更为紧俏,这极大地促进了人工育苗产业的大力发展,同时也加速了对其生理和饲料开发的研究,并取得了一些可喜的进展^[1]。但是,人工育苗实践中仍存在着一系列亟待解决的问题,如适应各期幼体摄食方式和摄食能力、且可满足其营养需要的系列饵料不足,导致人工育苗过程中幼体存活率低、单产极不稳定等。造成亲蟹大量浪费的同时,还激化了蟹苗培育和资源保护之间的矛盾。

国内外研究表明,HUFA能有效地促进十足目虾蟹类幼体的生长、发育和存活^[2-8]。迄今有关不同饵料对中华绒螯蟹幼体生长、发育和存活影响的研究尚不多见。本实验以不同密度的非强化轮虫、强化轮虫、轮虫和卤虫无节幼体的组合,通过对幼体的饲养效果进行比较,探讨中华绒螯蟹幼体发育期间适宜的饵料种类、密度和合理搭配,以及HUFA对幼体发育和存活的影响,以期中华绒螯蟹人工育苗的饵料选择和合理投喂提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验于1998年3月至7月在上海农科院金蟹水产研究所进行。同批实验用的I期幼体由同一个抱卵蟹孵化而来,生物饵料褶皱臂尾轮虫(*Branchionus plicatilis*)用面包酵母培养,卤虫(*Artemia* sp.)无节幼体由休眠卵孵化而来(孵化率85%以上,产于美国大盐湖)。轮虫强化剂(50DE-G型)购自山东海洋水产研究所。

1.2 实验方法

轮虫与卤虫密度的调配 用150目筛绢将培养的轮虫浓缩成高密度轮虫液,然后取1mL稀释计数,重复3~5次,取平均值,再稀释得到实验所需的轮虫密度。轮虫的营养强化方法参见文献[9],强化培养12h。强化轮虫总脂含量为1.42%,较强化前提高2.38倍;强化前轮虫的HUFA(EPA+DHA)未检测到,强化后含量为总脂肪酸的3.25%。

轮虫密度 实验轮虫的投喂密度分别设为5、10、20、40、60、80 ind·mL⁻¹,实验分六组五平行。随机汲取刚孵出的健康、活泼的I期幼体(Z₁、Z₂、Z₃等类推)各50尾,分别置于盛有250mL海水的烧杯中。海水系室内人工配制^[10],pH值为7.5~8.5,盐度为20。水浴控温22~26℃,光照周期L:D=12:12,充气培养,逐日换水、换饵。

轮虫与卤虫组合投喂实验 实验分六组:Z₁A(Z₁起投喂10 ind·mL⁻¹卤虫无节幼体,以下类推),Z₂A,Z₃A,Z₃80R(Z₁、Z₂投喂密度40 ind·mL⁻¹强化轮虫,自Z₃起轮虫投喂密度增至80 ind·mL⁻¹),Z₃A+20R(Z₁、Z₂投喂密度40 ind·mL⁻¹强化轮虫,自Z₃起投喂10 ind·mL⁻¹卤虫无节幼体和20 ind·mL⁻¹强化轮虫,以下类推)和Z₄A+20R;每组设三平行。各组幼体发育至大眼幼体(M)后,卤虫无节幼体的投喂密度均增至15 ind·mL⁻¹。实验开始时Z₁的数量为300尾,分别置于盛有3L海水的三角瓶中,其余操作同前。

1.3 数据分析

每日换水换饵时,观察、记录幼体的发育进程和存活至下一发育期的数量,以方差分析法,结合多重比较对幼体的存活率进行显著性检验,各期存活率的计算公式为:

$$r(\%) = \frac{\alpha}{N} \times 100$$

其中,r-各期幼体的存活率;α-存活至下一发育期的幼体数;N-实验开始时Z₁的总数。如Z₁幼体的存活率是以存活至Z₂期的幼体数(其余类推)计算而得。

2 结果

2.1 适宜轮虫密度的选择实验

投喂不同密度经HUFA强化和未强化的轮虫后,中华绒螯蟹幼体存活率的统计结果见表1。由表1可看出,不论是对照组还是强化组,早期幼体(Z_1 、 Z_2)的存活率随轮虫密度的增大而提高。当轮虫密度为 $5 \text{ ind}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时, Z_1 发育至 Z_2 的存活率为91.33%,但进一步增大轮虫的密度, Z_1 的存活率并没有较大幅度的提高,而且,各组幼体都能顺利蜕皮发育至 Z_2 。在状II期,当对照组轮虫密度由 $5 \text{ ind}\cdot\text{mL}^{-1}$ 升至 $60 \text{ ind}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时, Z_2 的存活率由61.33%逐渐增加至75.00%,而当密度增加至 $80 \text{ ind}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,其存活率反而降至62.00%;与此同时,强化组也呈现相同的趋势,当轮虫密度高于 $60 \text{ ind}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时, Z_2 的存活率反而会下降。

表1 不同轮虫密度条件下强化组和对照组中华绒螯蟹幼体的存活率

Tab. 1 The survival rate of the crab larvae fed with rotifers at different concentrations in enrichment and control group

| 幼体发育期 | 轮虫投喂密度($\text{ind}\cdot\text{mL}^{-1}$) | | | | | | |
|-------|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 5 | 10 | 20 | 40 | 60 | 80 | |
| 对照组 | Z_1 | 91.33±6.11a | 76.67±6.43a | 88.00±4.58a | 92.67±3.05a | 95.00±3.06a | 80.67±3.06a |
| | Z_2 | 61.33±8.33b | 64.67±8.14b | 72.67±2.31a | 70.00±4.00a | 75.00±5.03a | 62.00±5.29b |
| | Z_3 | 33.33±1.02b | 39.33±5.51b | 51.33±4.16a | 51.00±5.03a | 50.00±2.00a | 47.33±6.11a |
| | Z_4 | 10.67±3.06b | 18.00±2.00b | 13.33±3.02b | 19.00±4.04b | 25.00±1.10a | 15.33±3.06b |
| | Z_5 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | M | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 强化组 | Z_1 | 91.00±1.41a | 92.67±5.03a | 96.00±1.41a | 94.00±4.00a | 98.00±2.83a | 86.00±8.48a |
| | Z_2 | 65.00±4.24b | 72.00±4.42b | 71.00±5.65a | 84.67±4.16a | 75.00±7.07a | 53.00±4.24a |
| | Z_3 | 35.00±5.66b | 50.00±2.78b | 41.00±6.49b | 54.67±3.26a | 52.80±5.90a | 22.00±4.24b |
| | Z_4 | 17.00±4.24b | 22.67±3.06b | 28.00±4.24b | 34.67±1.15a | 36.00±5.65a | 15.00±4.23b |
| | Z_5 | 0.00 | 0.67±0.45b | 2.00±0.00a | 3.33±0.75a | 0.00 | 0.00 |
| | M | 0.00 | 0.67±0.45a | 0.67±0.41a | 0.67±0.15a | 0.00 | 0.00 |

注: a、b 表示有显著性差异($P < 0.05$)。

统计分析不同密度组间幼体的存活率发现,对照组中, $60 \text{ ind}\cdot\text{mL}^{-1}$ 轮虫密度组与5、10、20和 $40 \text{ ind}\cdot\text{mL}^{-1}$ 三个轮虫密度组之间幼体发育至 Z_3 的存活率存在显著性差异($P < 0.05$),而且 $60 \text{ ind}\cdot\text{mL}^{-1}$ 轮虫密度组与5、10、20、40和 $80 \text{ ind}\cdot\text{mL}^{-1}$ 三个轮虫密度组之间幼体发育至 Z_5 的存活率也存在显著性差异($P < 0.05$);强化组中, $40 \text{ ind}\cdot\text{mL}^{-1}$ 轮虫密度组与5、10、20和 $80 \text{ ind}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的轮虫密度组之间发育至 Z_3 、 Z_4 和 Z_5 的存活率也存在显著性差异($P < 0.05$)。比较各轮虫密度组的幼体存活率后可以看出,对照组中轮虫的最适密度为 $60 \text{ ind}\cdot\text{mL}^{-1}$,强化组中为 $40 \text{ ind}\cdot\text{mL}^{-1}$ 。同一幼体发育期中,强化组幼体的存活率普遍高于对照组,这种趋势在后期状幼体阶段表现更为明显。此外,统计分析表明, $60 \text{ ind}\cdot\text{mL}^{-1}$ 对照组与 $40 \text{ ind}\cdot\text{mL}^{-1}$ 强化组之间发育至 Z_5 的存活率也存在显著性差异($P < 0.05$)。

自 Z_3 开始,无论是对照组还是强化组,投喂不同密度轮虫的幼体死亡率普遍上升,以 Z_4 和 Z_5 尤为明显。对照组 Z_5 的死亡率为88.90%,强化组 Z_5 死亡率为90.40%,表明轮虫已不能很好地满足后期状幼体的营养需要,单一作为其饵料是不适宜的。从表1还可以看出,对照组中, Z_5 不能顺利蜕皮发育成M,但实验过程中发现,随着轮虫密度的递增, Z_5 的存活时间呈现逐渐延长的趋势。在 $80 \text{ ind}\cdot\text{mL}^{-1}$ 对照组中,虽然有1个 Z_5 存活了8d(正常情况下由 Z_5 发育至M需4~6d),但终因不能正常蜕皮而死亡;而强化组中,轮虫密度为10、20、 $40 \text{ ind}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的三个实验组中,均有一定数量的 Z_5 顺利

蜕皮变态至 M, 且均能正常发育至第 I 期幼蟹。

由上述可见, 轮虫是中华绒螯蟹早期幼体(Z_1 、 Z_2 期) 的适口饵料, 投喂适宜密度的轮虫可使早期幼体正常变态发育。若进一步用 HUFA 营养强化轮虫, 则可以明显提高 Z_3 的存活率。

2.2 强化轮虫与卤虫组合对幼体存活和发育的影响

以上实验结果表明, 轮虫是中华绒螯蟹早期 状幼体的适口饵料, 但作为后期 状幼体及大眼幼体的饵料是不适宜的。为此, 进一步设计了单独采用卤虫无节幼体、及强化轮虫与卤虫无节幼体不同组合的投喂实验, 实验结果见表 2。

由表 2 可看出, Z_3A 实验组发育至第 I 期幼蟹的存活率最高, 为 12.33%; Z_3A+20R 、 Z_2A 和 Z_1A 三组次之, 分别为 11.00%、9.33% 和 7.33%, 而 Z_380R 和 Z_4A+20R 二组最低, 仅为 3.00% 和 4.00%。统计分析表明, Z_3A 与 Z_380R 、 Z_4A+20R 二组之间, 发育至 Z_5 、M 和第 I 期幼蟹的存活率存在极显著差异 ($P < 0.01$), 与 Z_2A 、 Z_1A 二组之间也存在显著差异 ($P < 0.05$), 与 Z_3A+20R 实验组无显著性差异 ($P > 0.05$)。此外, 比较各实验组 Z_4 发育至第 I 期幼蟹的死亡率发现, Z_380R 和 Z_4A+20R 二组的死亡率均在 80% 以上, 其余各组均在 50% 左右, 以 Z_3A 为最低。

表 2 轮虫与卤虫不同组合对中华绒螯蟹幼体存活率的影响

Tab. 2 The survival rate of the crab larvae fed with various amount of *Artemia* mixed with rotifer

| 幼体发育期 | 轮虫和卤虫不同的组合 | | | | | |
|-------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|
| | Z_1A | Z_2A | Z_3A | Z_380R | Z_3A+20R | Z_4A+20R |
| Z_1 | 32.33±5.18 | 40.33±5.49 | | | | |
| Z_2 | 17.67±3.77a | 25.37±6.43a | 29.33±6.33a | | | |
| Z_3 | 17.00±3.06a | 22.00±6.08a | 25.33±5.36a | 19.67±1.53a | 23.67±2.84a | 19.33±0.67a |
| Z_4 | 16.00±2.83a | 22.00±6.08a | 24.33±5.18a | 15.33±2.19b | 22.00±2.41a | 15.67±2.33b |
| Z_5 | 14.00±2.83b | 19.33±4.33b | 23.67±5.17aA | 8.33±2.97aB | 21.33±3.98a | 10.00±4.16aB |
| M | 7.33±1.77b | 9.33±2.27b | 12.33±2.97aA | 3.00±0.88aB | 11.00±1.86a | 4.00±1.00aB |

注: a, b 表示有显著性差异 ($P < 0.05$), A, B 有极显著性差异 ($P < 0.01$)。

可见, 卤虫无节幼体是中华绒螯蟹后期幼体生长发育的适宜饵料, 对于保持中华绒螯蟹后期幼体较高的存活率起着十分重要的作用。

3 讨论

3.1 轮虫和卤虫无节幼体对中华绒螯蟹早期 状幼体发育和存活的影响

轮虫是中华绒螯蟹早期幼体的适口饵料, 且投喂效果与其密度密切相关。Heasman 等^[11] 认为锯缘青蟹早期 状幼体是随机地获取卤虫无节幼体, 因此早期 状幼体的摄食是一种相对被动的行为。蟹苗早期培育中, 增加轮虫密度意味着幼体增大了获得食物的机率, 更易满足幼体摄饵量的需求, 从而提高了幼体的存活率。本实验结果表明, 轮虫密度在 20~60 ind·mL⁻¹ 的适宜范围内, 中华绒螯蟹早期 状幼体的存活率相对较高, 而当密度达 80 ind·mL⁻¹ 时, 早期 状幼体存活率反而有所下降。究其原因, 可能是: 轮虫数量过多时, 导致幼体与轮虫争夺生存空间; 同时密度过高时轮虫所产生的代谢终产物(如氨氮等)影响了水质, 从而降低了早期 状幼体的存活率。

轮虫密度对早期 状幼体存活和发育的影响还与亲体及幼体的营养状况有关。早期 状幼体处于由内源性营养向外源性营养过渡的时期, 如果幼体从母体所获得的内源性营养相对丰富, 即使 Z_1 期的轮虫投喂密度较低, 幼体的存活率仍可保持较高的水平, 且能顺利蜕皮变态至 Z_2 。曾朝曙等^[12] 认为, 轮虫密度较低 (< 10 ind·mL⁻¹) 时, 锯缘青蟹 Z_1 很难蜕皮发育至 Z_2 , 而堵南山等^[13] 根据对中华绒螯蟹幼体消化道发育过程的研究结果推断, 早期 状幼体即使不摄食, 也能借助于卵黄所携

带的一部分能量发育至 Z_3 , 本研究恰好证实了这一推断。锯缘青蟹幼体的孵化时间(大约在6月上旬)比中华绒螯蟹幼体的孵化时间(大约于4月下旬到5月上旬)要晚二十余天至一个月左右。可见这种差异可能是因亲蟹的种类、营养状况或者遗传等方面的差异所造成的。

实验结果还表明, 强化组中轮虫的最适密度为 $40 \text{ ind} \cdot \text{mL}^{-1}$, 而对照组为 $60 \text{ ind} \cdot \text{mL}^{-1}$, 这主要是因为采用 HUFA 营养强化后, 轮虫的总脂含量和 HUFA 含量均高于酵母喂养的轮虫, 营养价值明显优于未强化组。周洪琪等^[14]认为, 中国对虾早期幼体正处于由利用蛋白质营养转化为利用脂类营养的过渡时期。本实验中, 中华绒螯蟹早期幼体在强化轮虫密度相对较低($40 \text{ ind} \cdot \text{mL}^{-1}$)的情况下, 同样能获得机体所需的脂类营养物质以供应能量, 而且 HUFA(主要是 EPA 和 DHA)含量较高^[15], 可更好地满足幼体的正常发育、蜕皮和生长所需。可见轮虫经 HUFA 营养强化后, 投喂密度可以适当降低, 而且仍可获得较高的存活率。

轮虫与卤虫无节幼体的组合实验结果表明, 对于中华绒螯蟹早期 状幼体而言, 投喂卤虫无节幼体是不合适的。 状 I、II 期发育过程中, 投喂卤虫无节幼体与投喂强化轮虫相比较, 幼体存活率之间虽然没有显著性差异, 但卤虫无节幼体的投喂效果不及轮虫。而且, 在中华绒螯蟹人工育苗生产中, 投喂营养强化的轮虫相对于投喂卤虫无节幼体来说, 成本要低得多。提示在中华绒螯蟹早期幼体发育期, 可不投喂或少投喂卤虫无节幼体。

3.2 轮虫和卤虫无节幼体对中华绒螯蟹后期幼体发育和存活的影响

轮虫适宜密度筛选的试验结果表明, 对于后期 状幼体, 单一投喂轮虫时 状幼体死亡率普遍上升。对照组中幼体均不能顺利蜕皮至 M 和第 I 期幼蟹, 即使用 HUFA 强化或是成倍地提高轮虫密度的条件下, 也只有少数幼体能顺利发育至第 I 期幼蟹, 说明轮虫作为后期 状幼体的饵料, 效果明显下降, 而且与其投喂密度关系不大。这与轮虫个体相对太小(约 $150 \mu\text{m}$ 左右)有关。龚孟忠等^[16]认为, Z_2 以后的幼体越来越大, 轮虫的个体则相对显得过小, 造成捕食率降低, 因而不利于摄饵的能量收支, 摄饵管理的目的是尽量使幼体能以较小的代价摄取较多的能量; 除此之外, 还可能与轮虫体内的总脂含量偏低, HUFA 含量特别是 $\omega-3$ 系列 HUFA, 如二十碳五烯酸(EPA)、二十二碳六烯酸(DHA)等的含量不足有关。Levine 和 Sulkin^[2]用轮虫来喂养短尾蟹(*Eurypanopeus depressus*)时发现, 由于轮虫体内 HUFA 含量低而直接影响了幼体的发育和存活。Montaño 和 Navarro^[17]分析比较野生和养殖的南美白对虾(*Penaeus vannamei*)体内脂肪酸组成和含量的差异, 认为野生对虾较养殖对虾之所以具有更强的抵抗外界不良环境的能力, 且具有较高的存活率, 主要是因为体内 $\omega-3$ 系列 HUFA(主要是 EPA 和 DHA)含量较高; Rees 等^[4]。也发现强化斑节对虾(*Penaeus monodon*)饵料中的 $\omega-3$ HUFA 营养成分, 能有效地提高幼体的存活率。

从实验结果还可以看出, 若全部投喂营养强化的轮虫, 而不补充卤虫无节幼体, 最终仍有少数 Z_5 能蜕皮发育为 M, 且能进一步正常变态至第 I 期幼蟹, 而对照组的 Z_5 均不能顺利蜕皮变态至 M, 这提示早期 状幼体所积累的营养物质能改善后期 状幼体和大眼幼体的营养状况, 促使幼体的正常蜕皮和发育。Léger 等^[3]也发现蓝对虾(*Penaeus stylirostris*)早期幼体摄取的 HUFA 对后期幼体的营养状况有明显的影响。对照组中, 投喂密度为 $80 \text{ ind} \cdot \text{mL}^{-1}$ 轮虫的 Z_5 幼体虽然存活了 8d, 但由于其体内缺乏正常蜕皮所需的 HUFA, 终因不能顺利蜕皮而死亡。由此可见, HUFA 对中华绒螯蟹幼体的蜕皮与变态有良好的促进作用。曾朝曙等^[12]单喂轮虫发现有少数锯缘青蟹幼体变态为大眼幼体, 这是由于所投喂的轮虫由室内小球藻培育而成, 而小球藻的 EPA 含量较高。Kanazawa 等^[18]对日本对虾(*Penaeus japonicus*)幼体的研究也得到了类似的结果, 在饵料中添加含丰富 HUFA 的鳕鱼肝油(pollack liver oil)和豆油(soybean oil)能有效地促进幼体的生长、变态和发育。虾蟹类中, 机体吸收的部分 HUFA 用于合成磷脂, 磷脂能促进胆固醇(合成蜕皮激素的前体物质)的吸收和利用。因此 HUFA 能间接影响虾蟹类幼体的蜕皮与变态。

强化轮虫与卤虫的组合实验表明, 卤虫无节幼体和成虫是中华绒螯蟹后期 状幼体和大眼幼体

的适宜饵料。随着幼体个体的迅速增大,中华绒螯蟹后期幼体能摄取比自身个体大几倍的卤虫无节幼体或成虫为食。曾朝曙等^[12]认为,对于青蟹早期 状幼体而言,卤虫无节幼体个体太大,游动太快,不利于幼体捕获,但随着 状幼体不断蜕皮长大,游泳及捕食能力相应增强,能有效地捕食卤虫无节幼体和成虫;刚孵化出的卤虫无节幼体,体内携带的蛋白质、脂类含量较高,特别是富含 EPA,能较好地满足后期幼体对营养的需要,从而促进了后期幼体的蜕皮、发育和生长,有利于提高幼体的存活率。

尽管卤虫无节幼体作为中华绒螯蟹后期幼体的饵料效果较好,但有必要弄清哪个时期为最适的换饵时间。本次实验结果表明,从 Z₃ 期开始投喂刚孵出的卤虫无节幼体效果最佳,若推迟至 Z₄ 期,则发育至大眼幼体的存活率明显降低。此外,各组中由 Z₅ 变态至大眼幼体的存活率都偏低,这可能与卤虫无节幼体 ω -3HUFA(如 DHA)的含量偏低有关。朱小明等^[8]认为后期幼体是虾蟹育苗的关键环节,必须采取有效的手段强化卤虫,增加其体内 ω -3HUFA 含量,特别是强化卤虫的 DHA 营养,促进幼体的存活与变态。Léger 等^[3]和 Millamena 等^[19]通过一定的强化方法提高卤虫的 ω -3HUFA 含量,取得了良好的效果。

综上所述,在中华绒螯蟹人工育苗过程中,以强化了 EPA、DHA 等 ω -3HUFA 成分、密度为 40 ind·mL⁻¹的轮虫作为 状 Z₁ 的开口饵料,至 状 II 期开始投喂 10 ind·mL⁻¹的卤虫无节幼体,可满足中华绒螯蟹后期幼体的营养需要,取得良好的育苗效果。

值得一提的是,不同批次的亲蟹及不同季节孵化来的 Z₁,其营养状况的差异对幼体生长、发育和存活有明显的影响。一般而言,健壮的亲蟹经越冬后抱卵,所孵化的幼体因内源性营养相对较为丰富,在补充适宜生物饵料(如藻类或轮虫)的情况下,早期 状幼体的存活率则较高;相反,内源性营养相对不足的幼体,早期发育阶段若未能摄取到适宜的开口饵料,则存活率较低。在中华绒螯蟹的人工育苗过程中,以富含 HUFA 的单胞藻类或营养强化剂强化轮虫,弥补内源性营养不足的幼体,促使幼体顺利地变态、发育,从而提高中华绒螯蟹人工育苗的产量和质量。

参考文献:

- [1] 陈立桥,周忠良.中华绒螯蟹的摄食与营养生理研究[J].上海水产大学学报.1998,7(增刊):24-31.
- [2] Levine D M, Sulkin S D. Nutritional signification of long chain polyunsaturated fatty acids to the zoeal development of brachyuran crab, *Eurypanopeus depressus*[J]. J Exp Biol, 1984, 81: 211- 223.
- [3] Léger P, Beiber G F, Soregloos P. International study on *Artemia* XXXIII Promising results in larval rearing of *Penaeus stylirostris* using a prepared diet as algal substitute and for *Artemia enrichment*[J]. J World Aquac Soc, 1985, 16: 354- 367.
- [4] Rees J F, Curé K, Piyatiratitvorakul S. Highly unsaturated fatty acids requirements of *Penaeus monodon* postlarvae: an experimental approach based on *Artemia enrichment*[J]. Aquac, 1994, 122: 193- 207.
- [5] Mourente G, Medina A, González S. Variation in lipid content and nutritional status during development of the marine shrimp *Penaeus kerathurus*[J]. Aquac, 1995, 130: 187- 199.
- [6] 王渊源,蒋绍霞,陈桥.长毛对虾对不饱和脂肪酸需求量的初步研究[J].水产学报,1997,21(4):380-385.
- [7] 成永旭,严生良,王武,等.饲料中磷脂和多不饱和脂肪酸对中华绒螯蟹大眼幼体育成仔蟹的成活率和生长的影响[J].水产学报,1998,22(1):9-15.
- [8] 朱小明,李少菁.生态能学与虾蟹幼体培育[J].中国水产科学,1998,5(3):104-107.
- [9] 张利民,常建波,张秀珍等. n-3 多价不饱和脂肪酸营养强化轮虫技术研究[J].水产学报,1997,21(4):415-210.
- [10] 朱钧,赵本进,苏宇,等.用深层地下水调配育苗用水进行中华绒螯蟹育苗的研究[J].水产学报,1997,21(4):462-464.
- [11] Heasman M P, Fikildeer D R. Laboratory spawning and mass rearing of the mangrove crab *Scylla serrata* from first zoea to first crab stage [J]. Aquac, 1983, 34:301-316.
- [12] 曾朝曙,李少菁.锯缘青蟹幼体实验生态研究[A].甲壳动物论文集(第三辑)[C].青岛:青岛海洋大学出版社,1992.85-93.
- [13] 堵南山,陈炳良,赖伟.中华绒螯蟹幼体消化道发育的研究[J].海洋与湖沼,1992,23(1):79-83.
- [14] 周洪琪,顾功超.中国对虾幼体的能量代谢[J].水产学报,1992,16(2):167-170.
- [15] 陈立桥,江洪波,周忠良,等. ω -3HUFA 对中华绒螯蟹幼体存活率及体脂脂肪酸组成的影响[J].水产学报,2000,24(5)448-452.
- [16] 龚孟忠.锯缘青蟹和三疣梭子蟹幼体饵料的研究[J].水产科技情报,1994,21(5):207-210.
- [17] Montaño M, Navarro J C. Fatty acid of wild and cultured *Penaeus vannamei* larvae from Ecuador[J]. Aquac, 1996, 142: 259-268.
- [18] Kanazawa A, Teshima S I, Sakamoto M. Effects of dietary lipids, fatty acid and phospholipids on growth and survival of prawn (*Penaeus japonicus*) larvae[J]. Aquac, 1985,50:39-49.
- [19] Millamena O M, Bombo R F, Jumalon N A. Effect of various diets on the nutritional value of *Artemia* sp. as food for the prawn *Penaeus monodon*[J]. Mar Biol, 1988, 98: 217-221.