

## 4组生物饵料对中华绒螯蟹 $Z_4$ 到大眼幼体生长发育和脂肪酸组成的影响

吴旭干<sup>1</sup>, 于智勇<sup>1</sup>, 成永旭<sup>1</sup>, 贺诗水<sup>1</sup>, 杨筱珍<sup>1</sup>, 陆剑峰<sup>2</sup>, 沈竑<sup>3</sup>

(1. 上海水产大学农业部水产种质资源与养殖生态重点开放实验室, 上海 200090; 2. 合肥工业大学 生物与食品工程学院, 安徽 合肥 230009; 3. 上海沐浴生态农业有限公司, 上海 202150)

**摘要:** 采用卤幼 (*Artemia* sp.)、强化卤幼、背刺胸刺水蚤 (*Centropages dorsispinatus*)、背刺胸刺水蚤 + 日本新糠虾 (*Neomysis japonica*) 4组生物饵料投喂4组中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*)  $Z_4$  幼体, 以大眼幼体的成活率、 $Z_4 \rightarrow$  大眼幼体变态时间、头胸甲长度和大眼幼体中脂肪酸组成作为评价指标, 探讨了4种生物饵料对大眼幼体生长发育及其脂类含量和脂肪酸组成的影响。结果表明: (1) 背刺胸刺水蚤 (C组)、背刺胸刺水蚤 + 日本新糠虾 (D组) 投喂组的中华绒螯蟹幼体可以获得较高的成活率 (70%左右), 幼体发育时间缩短 1~2 d, 大眼幼体头胸甲长度显著大于卤幼组 (A组) 和强化卤幼组 (B组) ( $P < 0.01$ ), 各组大眼幼体头胸甲长度由大到小依次为 C组、D组、B组、A组; (2) 强化卤幼可以提高其总脂、磷脂及 DHA 含量, 背刺胸刺水蚤和日本新糠虾具有较高的 AA、DHA 和 HUFA 含量; (3) 各组大眼幼体中脂肪酸组成差异显著 ( $P < 0.05$ ), DHA 和 HUFA 含量随着饵料中含量的上升而上升 ( $n = 9, P < 0.01$ ), 饵料中的 DHA 含量和大眼幼体的头胸甲长度呈显著正相关 ( $n = 9, P < 0.05$ )。由此可见, 背刺胸刺水蚤和日本新糠虾可以作为中华绒螯蟹  $Z_4$  到大眼幼体阶段的优质活饵料, 可以提高其成活率和头胸甲长度。[中国水产科学, 2007, 14 (6): 911-918]

**关键词:** 生物饵料; 中华绒螯蟹; 幼体发育; 脂肪酸组成

中图分类号: S963.21

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737-(2007)06-0911-08

卤虫无节幼体 (以下简称卤幼) 是中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 蟹状幼体的优质活饵料<sup>[1]</sup>, 但其存在价格昂贵、DHA 缺乏等缺点<sup>[2-3]</sup>, 随着中华绒螯蟹大眼幼体价格的不断下跌, 迫切需要寻求优质、廉价的生物饵料来替代或部分替代中华绒螯蟹育苗中的卤虫卵的用量, 以降低育苗成本<sup>[4]</sup>。背刺胸刺水蚤 (*Centropages dorsispinatus*) 和日本新糠虾 (*Neomysis japonica*) 是江浙海区常见的浮游生物, 天然资源丰富, 可在土池中进行规模化培养<sup>[5-6]</sup>, 有研究表明它们可以作为中华绒螯蟹发育后期幼体 ( $Z_4$  以后) 的活饵料, 部分替代卤幼和卤虫成体<sup>[4,7]</sup>, 但这些报道仅停留在经验水平。研究表明饵料中脂肪酸营养对中华绒螯蟹幼体的发育和变态具有重要的影响<sup>[8-10]</sup>, 因此脂肪酸营养是评价中华绒螯蟹幼体饵料营养的重要指标之一<sup>[11-12]</sup>, 但是, 迄今为止尚未见有关背刺胸刺水蚤和日本新糠虾脂肪酸营养的报道, 故无法客观评价它们对于中华绒螯蟹幼体

的营养价值。鉴于此, 本研究分析测定了卤幼 (*Artemia* sp.)、强化卤幼、背刺胸刺水蚤和日本新糠虾 4种饵料的脂类含量和脂肪酸组成, 并比较了它们对中华绒螯蟹幼体成活率 ( $Z_4 \rightarrow$  大眼幼体阶段)、发育时间、头胸甲长度、脂类和脂肪酸组成的影响, 以期中华绒螯蟹育苗中的饵料选择和科学投喂提供理论依据。

### 1 材料和方法

#### 1.1 材料

中华绒螯蟹  $Z_4$  幼体于 2003 年 4 月取自上海瀛生实业有限公司育苗基地, 均来自于同批亲蟹。渤海品系卤虫休眠卵购自上海融科技发展有限公司, 水温 ( $26 \pm 1$ ) °C、盐度 15 条件下充气孵化 36 h 后, 收集足量卤幼供实验用; 强化卤幼采用本实验室配制强化剂 (酵母: 鱼油: 磷脂 = 8:1:1, DHA:EPA = 1:0.8) 进行强化培养 24 h, 强化培养参照文献

收稿日期: 2007-02-20; 修订日期: 2007-06-04.

基金项目: 国家自然科学基金 (399000112; 30471349); 上海金沙投资发展有限公司城市沙滩环境修复项目 (技 06-21); 上海市科委重大科技攻关项目 (013212002); 上海市重点学科项目 (Y1101).

作者简介: 吴旭干 (1978-), 男, 讲师, 硕士, 主要从事水产动物营养繁殖学研究. Tel: 021-65711346; 013371935021; E-mail: xgwu@shfu.edu.cn

通讯作者: 成永旭 (1964-), 男, 教授, 博导, 主要从事水生动物营养繁殖学和养殖学的研究. Tel: 021-65711346; E-mail: yxcheng@shfu.edu.cn

[13]进行。背刺胸刺水蚤和日本新糠虾均取自该公司的生物饵料培育池,主要依靠肥水后接种饵料生物定向培养,培养过程中不投喂人工饵料,筛绢袋采收后剔除杂质再投喂中华绒螯蟹幼体,采用20目和30目筛绢袋过滤去除大规格的背刺胸刺水蚤,从而得到其幼体投喂中华绒螯蟹Z<sub>4</sub>和Z<sub>5</sub>幼体。每种饵料各收集2份,每份湿质量5~6 g,吸干体表水分于-20℃冰箱中保存用于脂类和脂肪酸分析。

### 1.2 实验方法

实验分为4组,分为投喂卤幼、强化卤幼、背刺胸刺水蚤、背刺胸刺水蚤和日本新糠虾,以下分别简

称A、B、C、D组,具体投喂情况见表1。实验用中华绒螯蟹Z<sub>4</sub>幼体饲养于20 L的玻璃水族箱中,每箱中放入1 000只,密度约60只/L,水温17~20℃,盐度14~15,24 h连续增氧,每组设3个重复。每日换水50%左右,每12 h观察和记录一次幼体变态情况,并补充饵料。各箱Z<sub>5</sub>幼体变为大眼幼体后的第4 d,统计存活的大眼幼体数量,计算Z<sub>4</sub>幼体→大眼幼体的累计成活率(%)=100×大眼幼体的数量/1 000。每箱取50只大眼幼体用福尔马林(4%的甲醛溶液)固定后测量头胸甲长度(mm),剩余大眼幼体于-20℃冰箱中保存用于脂类和脂肪酸分析。

表1 4组中华绒螯蟹幼体在不同发育时期所投喂的饵料和密度

Tab.2 Live feeds and their densities for four groups of *Eriocheir sinensis* larva at different developmental stage

| 幼体阶段<br>Larval stage | 饵料 Feed                                         |                                                               |                                                                |                                                                              |
|----------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
|                      | A                                               | B                                                             | C                                                              | D                                                                            |
| Z <sub>4</sub>       | 卤幼<br>Nauplius of <i>Artemia</i> sp.<br>5~8个/mL | 强化卤幼<br>Enriched nauplius<br>of <i>Artemia</i> sp.<br>5~8个/mL | 背刺胸刺水蚤幼体<br><i>C. Dorsispinatus</i><br>(体长0.5~0.8 mm)<br>5个/mL | 背刺胸刺水蚤幼体<br>(体长0.5~0.8 mm)<br>5个/mL                                          |
| Z <sub>5</sub>       | 卤幼<br>8~10个/mL                                  | 强化卤幼<br>8~10个/mL                                              | 背刺胸刺水蚤幼体<br>6~8个/mL<br>(体长0.5~1.0 mm)                          | 背刺胸刺水蚤<br>3~4个/mL<br>(体长0.5~1.0 mm)<br>+<br>日本新糠虾幼体1~2个/mL<br>(体长2.0~3.0 mm) |
| 大眼幼体<br>Megalopa     | 卤幼<br>15个/mL                                    | 强化卤幼<br>15个/mL                                                | 背刺胸刺水蚤<br>8~10个/mL<br>(体长0.5~2.0 mm)                           | 日本新糠虾4~5个/mL<br>(体长3.0~8.0 mm)                                               |

注:A组投喂卤幼;B组投喂强化卤幼;C组投喂背刺胸刺水蚤;D组投喂背刺胸刺水蚤和日本新糠虾。

Note: The larva of group A, B, C and D were fed with nauplius of *Artemia* sp., enriched nauplius of *Artemia* sp., *Centropages dorsispinatus*, *C. Dorsispinatus* + *Neomysis japonica* respectively.

### 1.3 脂类和脂肪酸分析

总脂测定参照Folch法<sup>[14]</sup>,根据成永旭等<sup>[15]</sup>分离中性脂(NL)和磷脂(PL)及脂肪酸测定,取0.5 g左右样品在60℃下烘干到恒重测定水分含量。氢氧化钾-甲醇法对脂肪酸进行甲酯化,采用Agilent-6890气相色谱仪进行脂肪酸分析,毛细管柱型号为Agilent 19091J-413(30.0 m×0.25 mm, USA),混合标准脂(Cat. No. 47085-U,购自Supelco公司)作为脂肪酸定性的依据,脂肪酸的定量分析采用面积百分比法。生物饵料样品重复测定2次,大眼幼体样品均重复测定3次。

### 1.4 数据处理

利用STAT 5.5软件对实验数据进行统计分析,所有数据均采用平均值±标准差( $\bar{X} \pm SD$ )表

示,用Levene's法进行齐性方差检验,当不满足齐性方差时,对脂肪酸百分比数据进行反正弦或者平方根转换,采用Duncan's法进行多重比较,取 $P < 0.05$ 为差异显著, $P < 0.01$ 为差异极显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 4种生物饵料的脂类含量和脂肪酸组成

4种饵料中的脂类含量和脂肪酸组成见表2。卤幼中的 $\sum$  HUFA最低,缺乏DHA,但是 $\sum$  MUFA和总脂含量明显高于背刺胸刺水蚤和日本新糠虾;强化卤幼中的C18:2n6(LA)、DHA、 $\sum$  HUFA、DHA、总脂和磷脂含量均有较明显的提高;除LA、DHA和EPA外,背刺胸刺水蚤和日本新糠虾

的脂肪酸组成相似,前者含有较高的 LA 和 DHA, 后者的 EPA 百分含量是前者的 2.5 倍。背刺胸刺水蚤的水分含量(84.39%)明显高于其他 3 种饵料, 其他 3 种饵料的水分均在 80% 左右。

## 2.2 4 组饵料对中华绒螯蟹 $Z_4$ 到大眼幼体的成活率、变态时间和生长的影响

如表 3 所示,不同饵料对  $Z_4 \rightarrow$  大眼幼体的成活率无显著影响 ( $F = 1.762, P > 0.05$ ), 尽管 C 组和

D 组的平均成活率比 A 组和 B 组高 10%~15%, 但是统计学上并无显著差异;就  $Z_4 \rightarrow$  大眼幼体的累计变态时间而言,C 组和 D 组最短,B 组次之,A 组最长,由于没有能够精确统计各个幼体的准确变态时间,所以无法进行统计学上的分析;C 组和 D 组的大眼幼体头胸甲长度极显著大于 A 组和 B 组 ( $F = 41.99, P < 0.01$ ), 其中 B 组头胸甲长度略大于 A 组。

表 2 4 种生物饵料的脂肪酸组成和脂类含量

Tab.2 Fatty acid composition and lipid content of four kinds of live feeds

$n = 2; \%$

| 脂肪酸<br>Fatty acids             | 卤幼<br>Nauplius of<br><i>Artemia</i> sp. | 强化卤幼<br>Enriched nauplius<br>of <i>Artemia</i> sp. | 背刺胸刺水蚤<br><i>Centropages</i><br><i>dorsispinatus</i> | 日本新糠虾<br><i>Neomysis japonica</i> |
|--------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| C14:0                          | 1.23                                    | 0.99                                               | 7.35                                                 | 2.57                              |
| C16:0                          | 12.17                                   | 11.53                                              | 23.25                                                | 24.56                             |
| C16:1n7                        | 19.21                                   | 13.23                                              | 3.94                                                 | 5.8                               |
| C17:0                          | 0.56                                    | 0.80                                               | 1.34                                                 | 1.23                              |
| C18:0                          | 5.23                                    | 8.71                                               | 4.84                                                 | 5.36                              |
| C18:1n9                        | 28.03                                   | 22.73                                              | 14.45                                                | 11.87                             |
| C18:1n7                        | 10.13                                   | 11.32                                              | 2.28                                                 | 3.54                              |
| C18:2n6 (LA)                   | 3.52                                    | 5.62                                               | 5.84                                                 | 3.73                              |
| C18:3n3 (LNA)                  | 1.83                                    | 2.53                                               | 2.32                                                 | 1.74                              |
| C20:4n6 (AA)                   | 0.94                                    | 1.23                                               | 1.55                                                 | 2.62                              |
| C20:5n3 (EPA)                  | 13.19                                   | 14.32                                              | 8.21                                                 | 20.16                             |
| C22:6n3 (DHA)                  | 0.21                                    | 3.52                                               | 19.26                                                | 13.19                             |
| $\sum$ SFA                     | 19.19                                   | 22.03                                              | 36.78                                                | 33.72                             |
| $\sum$ MUFA                    | 57.37                                   | 47.28                                              | 20.67                                                | 21.21                             |
| $\sum$ PUFA ( $\geq 18:2n$ )   | 19.69                                   | 27.22                                              | 37.18                                                | 41.44                             |
| $\sum$ n3PUFA                  | 15.23                                   | 20.37                                              | 29.79                                                | 35.09                             |
| $\sum$ n6PUFA                  | 4.46                                    | 6.85                                               | 7.39                                                 | 6.35                              |
| n3/n6                          | 3.41                                    | 2.97                                               | 4.03                                                 | 5.52                              |
| DHA/EPA                        | 0.02                                    | 0.25                                               | 2.35                                                 | 0.65                              |
| $\sum$ HUFA ( $\geq 20:3n$ ) * | 14.34                                   | 19.07                                              | 29.02                                                | 35.97                             |
| 总脂 Total lipid/DW              | 15.79                                   | 18.35                                              | 11.53                                                | 12.09                             |
| 磷脂 Phospholipids/DW            | 5.83                                    | 7.60                                               | 5.11                                                 | 5.32                              |
| 水分 Moisture                    | 80.83                                   | 79.32                                              | 84.39                                                | 79.39                             |

\*  $\sum$  HUFA = ARA + EPA + DHA

### 2.3 4组饵料对中华绒螯蟹大眼幼体体内水分、脂类含量和脂肪酸组成的影响

由表4可见,4组大眼幼体的水分、总脂和磷脂含量均不存在显著差异( $P>0.05$ ),大眼幼体的水分含量均在82%左右,总脂占大眼幼体湿质量的2.2%~2.5%之间,磷脂占大眼幼体干质量的4.6%~5.0%。

各组大眼幼体中性脂中的脂肪酸组成见表5,就饱和脂肪酸(SFA)而言,A、B两组大眼幼体中的C16:0和 $\sum$  SFA显著低于C、D两组( $P<0.05$ );就单不饱和脂肪酸(MUFA)而言,A、B两组大眼幼体中的C16:1n7、C18:1n9和C18:1n7含量均显著高于C、D两组( $P<0.05$ ),其 $\sum$  MUFA高达45%

~50%,而C、D两组中的 $\sum$  MUFA含量仅为29%~31%;而中性脂中的DHA、 $\sum$  PUFA和 $\sum$  HUFA的含量由小到大依次为A、B、C、D,此外,A组大眼幼体中性脂中的C18:2n6(LA)也显著低于其他各组,C、D两组幼体中性脂中的脂肪酸组成几乎一致,但D组的 $\sum$  PUFA和 $\sum$  HUFA均高于C组。由表6可见,各组大眼幼体磷脂中的脂肪酸组成也存在显著差异,其变化规律与中性脂中的脂肪酸组成变化类似,但是各组幼体磷脂中的DHA、EPA、 $\sum$  PUFA和 $\sum$  HUFA均要高于对于中性脂中含量,如C、D两组大眼幼体中磷脂中 $\sum$  HUFA含量高达40%以上。

表3 4组幼体的成活率、发育时间和大眼幼体头胸甲长度

Tab.3 Survival rate, developing time from Z<sub>4</sub> to megalopa and carapace length of four groups of *E. sinensis* larva

| 项目 Item                                                                | <i>n</i> | A                      | B                      | C                      | D                      |
|------------------------------------------------------------------------|----------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 成活率(Z <sub>4</sub> →大眼幼体)/%<br>Survival rate(Z <sub>4</sub> →megalops) | 3        | 55.82±12.71            | 56.26±11.10            | 66.81±7.18             | 70.48±6.27             |
| 发育时间(Z <sub>4</sub> →大眼幼体)/d<br>Period(Z <sub>4</sub> →megalops)       | 3        | 12~13                  | 11~12                  | 10~11                  | 10~11                  |
| 大眼幼体头胸甲长度/mm<br>Carapace length of megalops                            | 150      | 2.18±0.08 <sup>a</sup> | 2.25±0.09 <sup>a</sup> | 2.40±0.12 <sup>b</sup> | 2.36±0.09 <sup>b</sup> |

注:同行数据肩标中不含有相同字母的两项间差异显著( $P<0.05$ )。A组投喂卤虫;B组投喂强化卤虫;C组投喂背刺胸刺水蚤;D组投喂背刺胸刺水蚤+日本新糠虾。

Note: Values in the same line without the same superscript letters are significantly different. The larva of group A, B, C and D were fed with nauplius of *Artemia* sp., enriched nauplius of *Artemia* sp., *C. Dorsispinatus*, *C. Dorsispinatus* + *N. japonica* respectively.

表4 4组大眼幼体水分、总脂和磷脂含量的比较

Tab.4 Moisture content, total lipid and phospholipids content in four groups' megalopa of *E. sinensis*

$n=3$ ;  $\bar{X} \pm SD$ ; %

| 项目 Item                         | A          | B          | C          | D          |
|---------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| 水分含量 Moisture                   | 82.54±0.95 | 82.62±0.82 | 82.29±1.59 | 81.74±0.86 |
| 总脂/湿质量 Total lipid/WW           | 2.33±0.27  | 2.52±0.27  | 2.26±0.37  | 2.28±0.36  |
| 总脂/干质量 Total lipid/DW           | 13.30±0.82 | 14.47±1.10 | 12.71±1.19 | 13.18±0.79 |
| 磷脂/总脂 Phospholipids/Total lipid | 36.40±2.02 | 37.51±2.71 | 39.51±4.16 | 37.42±5.03 |
| 磷脂/干质量 Phospholipids/DW         | 4.84±0.38  | 5.23±0.37  | 5.00±0.39  | 4.62±0.57  |

注:A组投喂卤虫;B组投喂强化卤虫;C组投喂背刺胸刺水蚤;D组投喂背刺胸刺水蚤+日本新糠虾。

Note: The larva of group A, B, C and D were fed with nauplius of *Artemia* sp., enriched nauplius of *Artemia* sp., *C. Dorsispinatus*, *C. Dorsispinatus* + *N. japonica* respectively.

表5 4组中华绒螯蟹大眼幼体中性脂的脂肪酸组成

Tab.5 Fatty acid composition of neutral lipids (NL) in four groups of megalopa of *E. sinensis* $n=3; \bar{X} \pm SD; \%$ 

| 脂肪酸种类 fatty acids | A                       | B                         | C                        | D                        |
|-------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| C14:0             | 1.40±0.19 <sup>a</sup>  | 1.41±0.53 <sup>ab</sup>   | 1.88±0.18 <sup>b</sup>   | 2.09±0.13 <sup>bc</sup>  |
| C16:0             | 11.53±1.09 <sup>a</sup> | 12.78±0.76 <sup>a</sup>   | 20.52±1.3 <sup>b</sup>   | 19.78±2.22 <sup>b</sup>  |
| C16:1n7           | 12.83±0.63 <sup>c</sup> | 10.19±2.58 <sup>bc</sup>  | 6.62±0.23 <sup>a</sup>   | 9.03±1.57 <sup>b</sup>   |
| C17:0             | 0.77±0.10 <sup>a</sup>  | 0.75±0.15 <sup>a</sup>    | 0.98±0.12 <sup>ab</sup>  | 1.06±0.07 <sup>b</sup>   |
| C18:0             | 5.77±0.36               | 6.44±1.72                 | 5.69±0.35                | 5.83±0.50                |
| C18:1n9           | 28.93±1.53 <sup>c</sup> | 26.02±3.40 <sup>b</sup>   | 19.70±4.07 <sup>a</sup>  | 15.84±1.71 <sup>a</sup>  |
| C18:1n7           | 10.28±0.32 <sup>b</sup> | 10.29±1.18 <sup>b</sup>   | 5.53±0.89 <sup>a</sup>   | 4.82±0.34 <sup>a</sup>   |
| C18:2n6 (LA)      | 1.80±0.45 <sup>a</sup>  | 3.09±0.74 <sup>b</sup>    | 5.35±0.86 <sup>c</sup>   | 4.54±0.18 <sup>c</sup>   |
| C18:3n3 (LNA)     | 1.74±0.14 <sup>c</sup>  | 1.71±0.27 <sup>c</sup>    | 0.98±0.10 <sup>b</sup>   | 0.77±0.08 <sup>a</sup>   |
| C20:4n6 (AA)      | 2.84±0.39 <sup>a</sup>  | 2.94±0.23 <sup>a</sup>    | 3.93±0.85 <sup>bc</sup>  | 4.84±0.37 <sup>c</sup>   |
| C20:5n3 (EPA)     | 15.57±1.88              | 17.77±3.12                | 12.86±2.35               | 15.78±1.38               |
| C22:6n3 (DHA)     | 2.85±0.33 <sup>a</sup>  | 4.86±1.41 <sup>b</sup>    | 10.89±1.28 <sup>c</sup>  | 12.75±2.55 <sup>c</sup>  |
| ∑ SFA             | 19.48±1.28 <sup>a</sup> | 21.36±2.06 <sup>a</sup>   | 29.09±1.03 <sup>b</sup>  | 28.76±2.68 <sup>b</sup>  |
| ∑ MUFA            | 53.04±1.17 <sup>d</sup> | 46.25±3.89 <sup>c</sup>   | 31.85±3.81 <sup>b</sup>  | 29.69±2.06 <sup>a</sup>  |
| ∑ PUFA (≥18:2n)   | 24.79±1.28 <sup>a</sup> | 30.38±3.05 <sup>b</sup>   | 34.29±2.42 <sup>bc</sup> | 38.68±2.86 <sup>cd</sup> |
| ∑ n3PUFA          | 20.16±1.01 <sup>a</sup> | 24.34±3.70 <sup>abc</sup> | 24.83±2.23 <sup>b</sup>  | 29.032±2.49 <sup>c</sup> |
| ∑ n6PUFA          | 4.63±0.52 <sup>a</sup>  | 6.04±1.18 <sup>b</sup>    | 9.31±1.09 <sup>c</sup>   | 9.38±0.44 <sup>c</sup>   |
| ∑ n3/n6           | 4.35                    | 4.03                      | 2.66                     | 3.13                     |
| DHA/EPA           | 0.18                    | 0.27                      | 0.85                     | 0.81                     |
| ∑ HUFA (≥20:3n)   | 21.26±1.47 <sup>a</sup> | 25.58±3.22 <sup>ab</sup>  | 27.68±3.56 <sup>bc</sup> | 33.37±2.69 <sup>c</sup>  |

注:同行数据肩标中不含有相同字母的两项间差异显著 ( $P < 0.05$ )。A组投喂卤幼;B组投喂强化卤幼;C组投喂背刺胸刺水蚤;D组投喂背刺胸刺水蚤和日本糠虾。

Note: Values in the same line without the same superscript letters are significantly different. The larva of group A, B, C and D were fed with nauplius of *Artemia* sp., enriched nauplius of *Artemia* sp., *C. Dorsispinatus*, *C. Dorsispinatus* and *N. japonica* respectively.

表6 4组中华绒螯蟹大眼幼体极性脂的脂肪酸组成

Tab.6 Fatty acid composition of phospholipids (PL) in four groups of megalopa of *E. sinensis* $n=3; \bar{X} \pm SD; \%$ 

| 脂肪酸种类 fatty acids | A                       | B                       | C                       | D                       |
|-------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| C14:0             | 0.73±0.17               | 1.12±0.51               | 0.71±0.11               | 0.82±0.02               |
| C16:0             | 12.11±1.14 <sup>a</sup> | 11.02±0.75 <sup>a</sup> | 18.62±1.59 <sup>b</sup> | 18.83±2.14 <sup>b</sup> |
| C16:1n7           | 7.14±0.17 <sup>c</sup>  | 8.48±2.06 <sup>c</sup>  | 2.95±0.31 <sup>a</sup>  | 3.99±0.14 <sup>b</sup>  |
| C17:0             | 0.81±0.26 <sup>a</sup>  | 0.80±0.08 <sup>a</sup>  | 1.27±0.06 <sup>b</sup>  | 1.41±0.05 <sup>c</sup>  |
| C18:0             | 8.18±0.13 <sup>a</sup>  | 7.63±1.87               | 8.01±0.20               | 8.21±0.21               |
| C18:1n9           | 19.90±2.37 <sup>c</sup> | 20.87±4.19 <sup>c</sup> | 15.50±1.65 <sup>b</sup> | 12.04±1.22 <sup>a</sup> |
| C18:1n7           | 12.32±0.30 <sup>a</sup> | 9.05±0.85 <sup>b</sup>  | 6.25±0.49 <sup>c</sup>  | 5.69±0.31 <sup>c</sup>  |
| C18:2n6 (LA)      | 2.85±0.15 <sup>a</sup>  | 4.39±0.31 <sup>d</sup>  | 3.67±0.03 <sup>c</sup>  | 3.29±0.16 <sup>b</sup>  |
| C18:3n3 (LNA)     | 0.74±0.06 <sup>c</sup>  | 1.34±0.55 <sup>c</sup>  | 0.55±0.08 <sup>b</sup>  | 0.38±0.14 <sup>a</sup>  |
| C20:4n6 (AA)      | 2.65±0.42               | 2.89±0.17               | 3.21±0.41               | 3.25±0.54               |
| C20:5n3 (EPA)     | 23.33±1.35              | 22.75±3.98              | 19.58±2.50              | 23.42±1.57              |
| C22:6n3 (DHA)     | 4.73±0.36 <sup>a</sup>  | 6.42±1.12 <sup>b</sup>  | 17.71±1.61 <sup>c</sup> | 14.68±2.06 <sup>c</sup> |
| ∑ SFA             | 21.82±1.27 <sup>a</sup> | 20.57±2.14 <sup>a</sup> | 28.68±2.40 <sup>b</sup> | 29.28±2.34 <sup>b</sup> |
| ∑ MUFA            | 39.36±0.41 <sup>c</sup> | 38.40±5.81 <sup>c</sup> | 24.75±1.54 <sup>b</sup> | 21.72±0.83 <sup>a</sup> |
| ∑ PUFA (≥18:2n)   | 34.31±1.32 <sup>a</sup> | 37.78±4.05 <sup>a</sup> | 44.72±3.42 <sup>b</sup> | 45.02±2.38 <sup>b</sup> |
| ∑ n3PUFA          | 28.80±0.94 <sup>a</sup> | 30.51±3.56 <sup>a</sup> | 37.84±3.35 <sup>b</sup> | 38.48±2.89 <sup>b</sup> |
| ∑ n6PUFA          | 5.50±0.43 <sup>a</sup>  | 7.28±0.45 <sup>b</sup>  | 6.88±0.44 <sup>b</sup>  | 6.54±0.82 <sup>ab</sup> |
| n3/n6             | 5.52                    | 4.20                    | 5.50                    | 5.88                    |
| DHA/EPA           | 0.20                    | 0.28                    | 0.90                    | 0.63                    |
| ∑ HUFA (≥20:3n)   | 30.71±0.87 <sup>a</sup> | 32.06±3.82 <sup>a</sup> | 40.5±3.06 <sup>b</sup>  | 41.35±2.41 <sup>b</sup> |

注:同行数据肩标中不含有相同字母的两项间差异显著 ( $P < 0.05$ )。A组投喂卤幼;B组投喂强化卤幼;C组投喂背刺胸刺水蚤;D组投喂背刺胸刺水蚤和日本糠虾。

Note: Values in the same line without the same superscript letters are significantly different. The larva of group A, B, C and D were fed with nauplius of *Artemia* sp., enriched nauplius of *Artemia* sp., *C. Dorsispinatus*, *C. Dorsispinatus* and *N. japonica* respectively.

由于A、B、C 3组整个实验过程中分别投喂卤幼、强化卤幼、背刺胸刺水蚤3种单一的生物饵料,所以可对其中的脂肪酸含量与大眼幼体脂肪酸含量及头胸甲长度等进行相关性分析。相关性分析结果表明,饵料中DHA和大眼幼体DHA呈极显著正相关( $n=9, P<0.01$ ),而且大眼幼体磷脂中的DHA

含量显著高于中性脂中的DHA含量( $P<0.05$ ),回归方程为:磷脂:  $y = 0.6930x + 4.3058$ ,  $R^2 = 0.9982$ , 中性脂:  $y = 0.4098x + 3.0597$ ,  $R^2 = 0.9937$ (图1)。大眼幼体头胸甲的长度和饵料中的DHA含量也呈正相关( $n=9, P<0.05$ )(图2)。

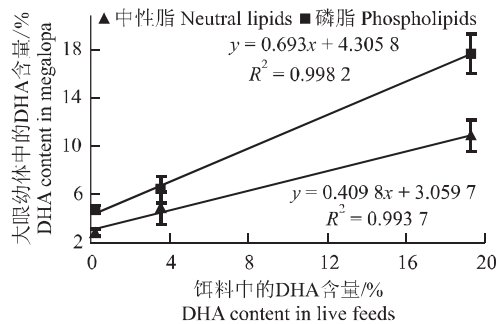


图1 饵料中的DHA含量与大眼幼体中DHA含量的相关性

Fig.1 Correlation of DHA content in live feeds and it in megalops of *E. sinensis*

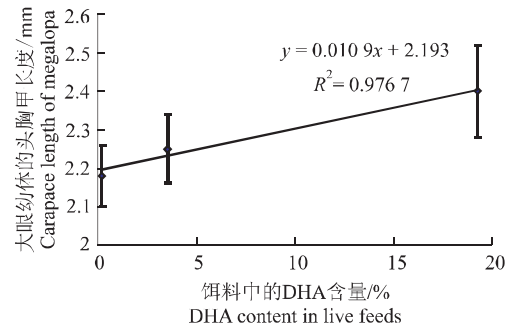


图2 饵料中的DHA含量与大眼幼体头胸甲长度的相关性

Fig.2 Correlation of DHA content in live foods and carapace length of megalops of *E. sinensis*

### 3 讨论

#### 3.1 4种生物饵料的脂类营养评价

20世纪80年代以来,国内外学者对于卤虫和桡足类的脂类营养评价及其强化做了大量的研究工作,结果表明卤虫无节幼体缺乏DHA,需要强化后才能满足大多数海产动物幼体的脂类营养需求<sup>[2-3]</sup>,而海洋桡足类的AA、DHA和 $\sum$ HUFA含量均显著高于轮虫和卤虫,无论何种培养条件下DHA/EPA比值始终大于2<sup>[3,6,16]</sup>,是绝大多数海水鱼幼体的优质饵料<sup>[18-19]</sup>,但是有关糠虾类的脂类营养评价极少<sup>[19]</sup>。本文首次报道了育苗中常用的背刺胸刺水蚤和日本新糠虾的脂类营养组成,结果表明其DHA和 $\sum$ HUFA含量均显著高于卤幼及强化卤幼,前者的DHA/EPA值在2.2~2.6之间,后者为0.64~0.79,均具有极高的脂类营养价值。此外,强化卤幼可以显著提高其DHA、总脂和磷脂含量,从而可以提高其脂类营养价值。

#### 3.2 4种生物饵料对中华绒螯蟹幼体发育、存活和脂肪酸组成的影响

卤幼是中华绒螯蟹育苗中最常用的活饵料,用来投喂中华绒螯蟹幼体通常可以取得较好的育苗效果<sup>[1]</sup>。张列士等<sup>[1]</sup>研究认为桡足类和糠虾及其幼体

是长江口野生中华绒螯蟹幼体的主要饵料之一,故近年来已开始被用于中华绒螯蟹育苗生产中替代部分卤虫,但是有关桡足类和糠虾对中华绒螯蟹幼体发育和变态研究极少<sup>[20]</sup>,这非常不利于中华绒螯蟹育苗中活饵料的选择和科学投喂。本研究发现背刺胸刺水蚤体长0.5~2 mm,其幼体适合于中华绒螯蟹Z<sub>4</sub>和Z<sub>5</sub>摄食,成体适合大眼幼体。但是,由于桡足类游泳速度较快、个体偏大,很难被中华绒螯蟹Z<sub>1</sub>~Z<sub>3</sub>阶段的幼体捕食,而且会严重影响其变态和成活,因此中华绒螯蟹土池育苗早期(Z<sub>1</sub>~Z<sub>3</sub>阶段)需要严格控制其数量<sup>[20-21]</sup>。日本新糠虾个体较大(初孵幼体体长约2 mm,成体8~10 mm),且游泳速度较快,中华绒螯蟹Z<sub>5</sub>幼体仅能捕食其幼体(2~3 mm),所以日本新糠虾只适合从大眼幼体阶段开始使用。

本研究结果表明,投喂背刺胸刺水蚤(C组)、背刺胸刺水蚤和日本新糠虾(D组)的两组大眼幼体具有较高的成活率,幼体发育变态时间缩短,而且其头胸甲的长度显著大于投喂卤幼及强化卤幼组(表2),相关性分析表明饵料中的DHA含量和中华绒螯蟹大眼幼体的体长呈显著正相关性(图2),这与三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)<sup>[22]</sup>和锯缘青蟹(*Scylla serrata*)<sup>[23]</sup>研究结果基本一致,即饵料中

高含量的 DHA 有利于促进蟹类幼体的生长和发育<sup>[23]</sup>。本研究还发现,中华绒螯蟹大眼幼体中性脂和磷脂中的脂肪酸组成均与所投饵料的脂肪酸组成相关,大眼幼体中的 C<sub>16:0</sub>、C<sub>18:1n7</sub>、DHA 和 EPA 均随着饵料中对应脂肪酸含量的升高而增加,特别是饵料中 DHA 含量与大眼幼体中的 DHA 含量显著相关(图 1),但是无论何种饵料组,大眼幼体磷脂和中性脂中的 EPA 含量均高于 DHA。有研究表明体内高含量的 EPA 有利提高甲壳动物渗透压的调节能力和维持细胞膜的流动性<sup>[24-25]</sup>,中华绒螯蟹在大眼幼体期即将由河口区咸淡水进入淡水江湖<sup>[1]</sup>,可能需要在体内积累较多的 EPA 来提高其渗透压调节能力。尽管卤幼中的 DHA 含量极低(0.21%),但是该组大眼幼体中性脂和磷脂中均含有相当数量的 DHA(分别为 2.85% 和 4.73%),这说明 DHA 对于中华绒螯蟹大眼幼体也十分重要,大眼幼体可以选择性将饵料中有限的 DHA 吸收而保留在体内,或者大眼幼体可能具备一定的 DHA 合成能力。

值得注意的是 DHA 和 EPA 对不同蟹类幼体发育、变态和成活的作用有所不同,Takeuchi 等<sup>[22]</sup>研究表明饵料中的 DHA 主要与三疣梭子蟹<sup>♀</sup>状幼体变态速度和生长有关,而 EPA 主要与成活率有关,Levine 等<sup>[26]</sup>对地蟹(*Eurypanopeus depressus*)的研究结果与此类似;Suprayudi 等<sup>[23]</sup>发现饵料中高含量的 EPA 同样可以提高锯缘青蟹<sup>♀</sup>状幼体的成活率,由于本实验中 4 种饵料中均含有较高的 EPA 含量(大于 8%),所以不能确定 EPA 对于中华绒螯蟹<sup>♀</sup>状幼体变态和发育的影响,有关饵料中 EPA 对于中华绒螯蟹幼体发育和存活的影响有待于进一步深入研究。

#### 4 小结

背刺胸刺水蚤和日本新糠虾的具有较高的脂类营养价值,特别是 DHA 和 EPA 含量均较高,用来投喂中华绒螯蟹 Z<sub>4</sub>幼体可以获得较高的成活率,缩短幼体发育时间,增加大眼幼体头胸甲长度,在中华绒螯蟹育苗生产上,完全可以代替卤幼投喂 Z<sub>4</sub>以后的中华绒螯蟹幼体,以降低育苗成本。

致谢:东海水产研究所陈亚瞿教授和徐兆礼研究员帮助鉴定桡足类和糠虾种类,上海水产大学 2005 届研究生南天佐同学协助进行部分实验工作,在此表示感谢!

#### 参考文献:

- [1] 张列士,李军.中华绒螯蟹增殖技术[M].北京:金盾出版社,2002:124-208.
- [2] 曾庆华,周洪祺,黄旭雄,等.我国六个产地卤虫初孵无节幼体的营养价值[J].上海水产大学学报,2001,10(3):213-217.
- [3] Stottrup J G, McEvoy L A. Live feeds in Marine Aquaculture [M]. Oxford: Blackwell Science Ltd, 2003: 17-195.
- [4] 肖国华,宫春光,李孟田,等.枝角类和桡足类在河蟹育苗中的应用试验[J].水利渔业,2004,24(1):35.
- [5] 赵青松,金珊.海水土池育苗适口饵料生物培育技术[J].海洋渔业,2002,24(4):185-186.
- [6] 成永旭.生物饵料培养学[M].北京:中国农业出版社,2005:133-240.
- [7] 毕加宁,陈伯林.糠虾作为河蟹人工育苗饵料的应用[J].河北渔业,2001,(5):27-28.
- [8] 成永旭,严生良,王武,等.饵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.
- [9] Xin N H. The effect of Artemia sources on growth, survival and salinity of crab *Eriocheir sinensis* larvae [J]. Asian Fisher Sci, 1999,12: 201-205.
- [10] 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,2001,24(5):448-452.
- [11] 成永旭,王武,吴嘉敏,等.虾蟹类幼体的脂类需求及储存与发育的关系[J].中国水产科学,2000,7(3):42-45.
- [12] Rodriguez C, Perez J A, Izquierdo M S, et al. Improvement of the nutritional value of rotifers by varying the type and concentration of oil and the enrichment period [J]. Aquaculture, 1996, 147: 93-105.
- [13] 贺诗水.中华绒螯蟹幼体的脂类营养研究[D].上海:上海水产大学硕士论文,2003,44-57.
- [14] Folch J, Lees M, Stanley G H S. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues [J]. J Biol Chem, 1957, 226: 497-509.
- [15] 成永旭,堵南山,赖伟.不同阶段中华绒螯蟹肝胰腺的脂类及脂肪酸组成[J].动物学报,1998,44(4):420-429.
- [16] Payne M F, Rippingale R J, Cleary J J. Cultured copepods as food for west Australian dhufish (*Glaucosoma hebraicum*) and pink snapper (*Pagrus auratus*) larvae [J]. Aquaculture, 2001, 194: 137-150.
- [17] Sargent J R, McEvoy L A, Bell J G. Requirement, presentation and sources of PUFA in marine larval feeds [J]. Aquaculture, 1997, 155: 117-127.
- [18] Næss T, Lieø. A sensitive period during the first feeding for the determination of pigmentation pattern in Atlantic halibut, *Hippoglossus hippoglossus* L., juveniles: the role of diet [J]. Aquac Res, 1998, 29: 925-934.
- [19] Domingues P M, Sykes A, Sommerfield A, et al. Growth and sur-

- vival of cuttlefish (*Sepia officinalis*) of different ages fed crustaceans and fish. Effects of frozen and live prey[J]. *Aquaculture*, 2004, 229: 239 – 254.
- [20] 张清靖, 李晓东, 朱华, 等. 生态育苗池中的桡足类与河蟹产量的关系[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(1): 174 – 178.
- [21] 陆开宏, 周洪, 茅树杰. 河蟹土池育苗阶段性养水给饵技术的探索[J]. *浙江海洋学院学报: 自然科学版*, 2000, 19(3): 225 – 229.
- [22] Takeuchi T, Satoh N, Sekiya S, et al. The effect of EPA and DHA on the molting rate of larval swimming crab *Portunus trituberculatus* [J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1999, 65(6): 998 – 1004.
- [23] Suprayudi M A, Takeuchi T, Hamasaki K, et al. Essential fatty acids for larval mud crab *Scylla serrata*: implication of lack of the ability to bioconvert C18 unsaturated fatty acids to highly unsaturated fatty acids[J]. *Aquaculture*, 2004, 231: 403 – 416.
- [24] Rees J F, Cure K, Piyatiratitivorakul S, et al. Highly unsaturated fatty acid requirements of *Penaeus monodon* postlarvae: an experimental approach based on *Artemia* enrichment[J]. *Aquaculture*, 1994, 122: 193 – 207.
- [25] 孔祥会, 王桂忠, 李少菁. 低温适应下锯缘青蟹肌肉及其细胞膜脂肪酸组成的变化[J]. *水产学报*, 2006, 30(5): 603 – 610.
- [26] Levine D M, Sulkin S D. Nutritional significance of long-chain polyunsaturated fatty acids to the zoeal development of the brachyuran crab, *Eurypanopeus depressus* [J]. *J Exp Mar Biol Ecol*, 1984, 81: 211 – 223.

## Effect of four groups of live feeds on larval development, growth (from Z<sub>4</sub> to Megalopa) and fatty acid composition of *Eriocheir sinensis*

WU Xu-gan<sup>1</sup>, YU Zhi-yong<sup>1</sup>, CHENG Yong-xu<sup>1</sup>, HE Shi-shui<sup>1</sup>, YANG Xiao-zhen<sup>1</sup>, LU Jian-feng<sup>2</sup>, SHENG Hong<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory of Aquatic Genetic Resources and Aquaculture Ecosystem Certificated by the Ministry of Agriculture, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China; 2. School of Biotechnology and Food Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China; 3. Shanghai Muyu Ecological Agriculture Ltd. Co., Shanghai 202150, China)

**Abstract:** Nauplius of *Artemia* sp. has been used as good live feed for breeding of *Eriocheir sinensis* larva in China since 1980's. However this live feed has some disadvantages, such as high price, deficiency in DHA. With decreasing price of larval *E. sinensis* in recent years, it is very necessary to look for high nutritional, cost-effective live feeds to replace *Artemia* sp. in larval breeding of *E. sinensis*. On the other hand, *Centropages dorsispinatus* and *Neomysis japonica* are two kinds of zooplanktons in the sea near the East China, which have been considered as live prey for larva of *E. sinensis*. So the study was conducted to investigate the effect of nauplius of *Artemia* sp. (group A), enriched nauplius of *Artemia* sp. (group B), *Centropages dorsispinatus* (group C), *C. dorsispinatus* and *Neomysis japonica* (group D) on survival rate of larvae (from Z<sub>4</sub> to Megalopa), larval development and Carapace length of megalops of *E. sinensis*. The moisture content, total lipid content, phospholipids content and fatty acids composition of four live feeds and megalopa were also analyzed and compared. The results showed that: (1) The larvae of group C and group D had higher survival rate (70%), shorter metamorphosis period and longer carapace of megalopa ( $F=41.99$ ,  $P<0.01$ ) than those of group A and group B. Based on the carapace length of megalopa, it could be ranked with the order of group C, group D, group B, group A; (2) The enriched nauplius of *Artemia* sp. had higher total lipid, phospholipids and DHA content than nauplius of *Artemia* sp., while the higher content of AA, DHA and HUFA could be found in *C. dorsispinatus* and *N. japonica*; (3) Fatty acid composition of megalopa was significantly affected by their feeds ( $P<0.05$ ), the DHA and HUFA content of megalopa improved with the increasing content in their feeds ( $n=9$ ,  $P<0.01$ ). Significant positive correlation could be found between the DHA content of live foods and carapace length of megalopa ( $n=9$ ,  $P<0.05$ ). In conclusion, these results suggested that *C. dorsispinatus* and *N. japonica* can be used to replace nauplius of *Artemia* sp in larval breeding of *E. sinensis* during the developing period from Z<sub>4</sub> to Megalopa. [Journal of Fishery Sciences of China, 2007, 14(6): 911 – 918]

**Key words:** live foods; *Eriocheir sinensis*; larval development; fatty acid composition

**Corresponding author:** CHENG Yong-xu. E-mail: yxcheng@shfu.edu.cn