

# 盐度对可口革囊星虫受精卵孵化、 幼体存活和生长的影响

林向阳<sup>1</sup>, 张齐斌<sup>2</sup>, 李雷斌<sup>1</sup>

(1. 福建省水产研究所, 福建省海洋生物增殖与高值化利用重点实验室, 福建 厦门 361013;  
2. 宁德市蕉城区漳湾镇水产技术推广站, 福建 宁德 352100)

[摘要] 研究了不同盐度对可口革囊星虫(*Phascolosoma esculenta*)孵化、幼体存活和生长的影响。结果表明: 1) 可口革囊星虫孵化适宜盐度范围为15~30, 最适盐度为20~26, 呈现出偏低盐的倾向; 2) 在盐度为10、15、20、25~26、30、35时可口革囊星虫幼虫不投饵存活系数(survival activity index, SAI)分别为9.8、78.3、60.9、12.6、12.2、10.7, 即, 盐度为15、20时幼虫存活时间较长(达7 d), 盐度为10、25~26、30、35时幼虫不投饵存活系数迅速下降; 3) 在盐度为15、20、25~26、30时, 经过9 d的培育, 幼虫体长从251.7  $\mu\text{m}$ 生长至542.9~568.5  $\mu\text{m}$ , 生长速度为60.3~63.2  $\mu\text{m}/\text{d}$ , 其中生长速度最快的是在自然盐度(25~26)条件下, 最慢的是在盐度30条件下。

[关键词] 盐度; 可口革囊星虫; 幼体; 不投饵存活系数; 生长

[中图分类号] S 968.9

## Effects of Salinity on Fertility, Hatching Rate, Survival and Metamorphosis in *Phascolosoma esculenta*

LIN Xiangyang<sup>1</sup>, ZHANG Qibin<sup>2</sup>, LI Lebin<sup>1</sup>

(1. Fisheries Research Institute of Fujian Province, Fujian Key Laboratory of Cultivation and High-Value Utilization of Marine Organisms, Xiamen 361013, China; 2. Aquaculture Technology Extending Stations in Zhang Wan Town of Jiaocheng District, Ningde, 352100, China)

**Abstract:** The hatching rate, larval survival rate and growth of *Phascolosoma esculenta* were studied under different salinities. The results were as follows: 1) The range of suitable salinities was 15–30, and the range of the most optimum salinities was 20–26, showing the tendency of low salinities tolerance. 2) survival activity indices were 9.8, 78.3, 60.9, 12.6, 12.2, and 10.7 respectively for the larvae under salinities of 10, 15, 20, 25–26, 30, 35, while there were significant differences among the groups ( $P < 0.05$ ). The survival time of the larvae was the longest at salinities of 15 and 20, and the survival time was 7 days. The survive days decreased quickly under other salinities. 3) After 9 days of culture, the larvae length grew from 251.7  $\mu\text{m}$  to 542.9–568.5  $\mu\text{m}$  under salinities of 15, 20, 25–26, 30. The growth rate was from 60.3  $\mu\text{m}/\text{d}$  to 63.2  $\mu\text{m}/\text{d}$ . The fastest speed of growth rate was under the natural salinity of 25–26, and the slowest was the group of under the salinity of 30, while there were no significant differences among the groups.

[收稿日期] 2019-12-25

[基金项目] 福建省公益类科研专项(2015R1003-14)

[作者简介] 林向阳(1970—), 男, 副研究员, 从事海洋生物遗传与育种方向研究。E-mail: 646201580@qq.com

**Keywords:** salinity; *Phascolosoma esculenta*; larva; survival activity indices; growth

0 引言

可口革囊星虫 (*Phascolosoma esculenta*) , 隶属于星虫动物门、革囊星虫纲、革囊星虫科, 为我国特有种, 也是我国星虫中产量较大的种类之一<sup>[1-2]</sup>。可口革囊星虫生活在河口滩涂区, 其生活史分为两个阶段——浮游阶段和底栖阶段, 这两个阶段都会受到盐度变化的影响。目前, 国内外学者对星虫早期幼体发育研究主要集中在裸体方格星虫 (*Sipunculus nudus* Linnaeus) 和可口革囊星虫两个种类。例如: 曾志南等<sup>[3]</sup>开展了光裸方格星虫 (现已订名为裸体方格星虫) 初期海球幼体对温度和盐度的耐受实验, 结果表明光裸方格星虫初期海球幼体对低盐度相对敏感, 对高盐度有较强的耐受力, 而对温度特别是低温的耐受能力也较强; 吴洪喜等<sup>[4]</sup>、陈慧等<sup>[5]</sup>先后研究了可口革囊星虫胚胎与幼体的早期发育过程<sup>[4-5]</sup>。迄今为止, 有关盐度对可口革囊星虫受精卵、幼虫生长的影响尚未见报道。基于此, 本研究开展了盐度对可口革囊星虫孵化、幼体存活及生长的影响, 旨在探索可口革囊星虫从浮游生活转变为底栖生活过程中其对盐度变化的适应性, 也为优化可口革囊星虫人工苗种培育技术和合理规划养殖水域提供科学依据。

1 材料及方法

1.1 受精卵及幼虫来源

可口革囊星虫亲体采集于宁德市蕉城区三都澳的自然海区。挑选健康、形态正常、体表无破损的约 60 kg (平均个体体重 4.61 g) 亲体, 在福建省海水鱼类苗种繁育科研中试基地培育, 经人工催产后获得受精卵。受精卵在孵化池孵化后, 在解剖镜下挑选发育正常的幼体, 用于下一步实验。实验海水为经沉淀的蓄水池水, 经沙滤后使用。实验期间海水水温为 26~30.5℃、盐度为 25~26、pH 值为 7.6~8.5。

1.2 盐度梯度的设置

不同实验的盐度梯度设置不同: 受精卵孵化实验设置 8 个盐度组, 分别为 5、10、15、20、25~26、30、35、40; 幼虫不投饵实验设置 6 个盐度组, 分别为 10、15、20、25~26、30、35; 幼虫培育设置 4 个盐度组, 分别为 15、20、25~26、30。都以盐度 25~26 的自然海水组作为对照组, 不同盐度组均设置 3 个重复。较高盐度的海水以砂滤海水添加盐卤配制而成, 而低盐度的海水以砂滤海水加一定比例蒸馏水配制而成。研究幼虫不投饵存活系数 (survival activity index, SAI) 的实验海水需经 0.45 μm 的微孔滤膜过滤并经高温消毒后方可使用。

1.3 不同盐度对受精卵孵化的影响

用 50 mL 的培养皿, 各放入 100 粒发育至囊胚期的受精卵, 静水孵化, 不同批次的受精卵重复进行 3 次。在水温 28.5~30.3℃条件下, 受精卵孵化 45~50 h 后, 计算孵化率。孵化率计算公式为:

孵化率 (%) = [孵出海球幼虫数 / 受精卵数] × 100%。(1)

1.4 不同盐度条件下幼虫不投饵存活系数的测定

在水产苗种培养中, 通常以 SAI 为指标衡量幼体的活力<sup>[6]</sup>。本次实验中, 采用 SAI 来判断可口革囊星虫幼虫的活力。待海球幼虫完全孵化后, 在解剖镜下选择活力正常的初孵海球幼体 50 只, 放入装有 30 mL 不同盐度海水的小型培养皿中, 在实验室内静水培养, 不投饵。由于幼虫死亡后不易观察, 需要每天在解剖镜下观察存活数, 待幼虫全部死亡后, 对不同盐度条件下仔鱼的 SAI 值进行方差分析, 对方差分析检验显著的进一步用最小显著差数法 (LSD 法) 进行多重比较。SAI 的计算公式为:

SAI = ∑<sub>i=1</sub><sup>k</sup> (N - h<sub>i</sub>) × (i/N), (2)

其中 N 为起始的幼虫数, k 为幼虫全部死亡所需的天数, h<sub>i</sub> 为第 i 天幼虫的累计死亡数。

1.5 不同盐度对幼虫生长发育的影响

实验采用 3 L 玻璃烧杯放入同批次的初孵海球幼虫, 密度为 0.5 只/mL。用小型增氧泵微充气孵

化，水温控制在 28.2 ~ 30.6 ℃，一般每天换水量约为 30%。培育期间，根据幼虫的胃肠情况适量投喂小球藻，以大部分幼虫胃肠饱满为准。随着幼虫的生长，后期海球幼虫具有运动和摄食功能的口前纤毛环和口后纤毛环摆动频率下降，虫体活动范围小。根据实验过程观察，可口革囊星虫幼虫前期海球幼虫的发育时间一般约为 9 d，因此，本实验时间设定为 9 d。

实验开始后，各组每次取样 20 只幼虫，测量开始时、第 5 天及实验结束时的幼虫体长（以运动时状态的体长为准）。实验结束后，清点存活幼虫数量，并统计不同盐度海水中幼虫的成活率。存活率计算公式为：

$$\text{存活率}(\%) = N_2 / (N_0 - N_1) \times 100\%,$$

(3)

其中  $N_2$  为最终存活数， $N_0$  为起始尾数， $N_1$  为取样标本数。

2 结果

2.1 不同盐度下受精卵的孵化率和胚胎发育比较

在水温 28.5 ~ 30.3 ℃ 条件下，先后测定 3 批受精卵在不同盐度下的孵化率（见表 1）。从孵化率看，在盐度 10 ~ 35 范围内，可口革囊星虫受精卵均可孵化。其中：以盐度 20 组和自然海水（25 ~ 26）组这两组的孵化率较高，孵化率分别为 86.2%、88.1%，但两者之间无明显差异（ $P > 0.05$ ）；其次为高盐度 30 组，孵化率为 71.2%，与盐度 20 组和自然海水组之间差异显著（ $P < 0.05$ ）；低盐度 15 组孵化率下降为 40.1%，与其他组之间存在明显差异（ $P < 0.05$ ）；而高盐度 35 组和低盐度 10 组，孵化率分别降至 26.0% 和 5.8%，与盐度 15、20、25 ~ 26、30 组之间差异显著（ $P < 0.05$ ）；而盐度 0 组和 40 组，受精卵孵化率则为 0。

表 1 不同盐度条件下可口革囊星虫受精卵的孵化率

Tab.1 Hatching rates of *Phascolosoma esculenta* under different salinity conditions

| 批次<br>Batch | 盐度 Salinity    |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                |
|-------------|----------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------|
|             | 5              | 10                     | 15                      | 20                      | 25.0 ~ 26.0             | 30                      | 35                      | 40             |
| 1           | 0              | 6.3 ± 3.1              | 42.7 ± 6.8              | 85.0 ± 5.6              | 85.3 ± 2.1              | 72.3 ± 6.4              | 24.0 ± 5.6              | 0              |
| 2           | 0              | 7.3 ± 3.2              | 37.0 ± 4.6              | 86.3 ± 4.5              | 88.3 ± 4.7              | 71.0 ± 6.0              | 25.3 ± 4.7              | 0              |
| 3           | 0              | 3.7 ± 3.1              | 40.7 ± 5.1              | 87.3 ± 5.5              | 90.7 ± 3.5              | 70.3 ± 4.2              | 28.7 ± 5.9              | 0              |
| 平均值 Mean    | 0 <sup>f</sup> | 5.8 ± 3.2 <sup>e</sup> | 40.1 ± 5.4 <sup>c</sup> | 86.2 ± 4.6 <sup>a</sup> | 88.1 ± 3.9 <sup>a</sup> | 71.2 ± 5.9 <sup>b</sup> | 26.0 ± 5.1 <sup>d</sup> | 0 <sup>f</sup> |

说明：同一行不同上标字母表示组间差异显著（ $P < 0.05$ ）。

Note: Different superscript letters on the same line indicate significant differences between groups（ $P < 0.05$ ）.

就受精卵的胚胎发育状况而言，在盐度 20、25 ~ 26 和 30 条件下，受精卵发育正常，当发育至担轮幼虫期时，担轮幼虫个体游动快速，且在 48 h 内全部完成孵化，孵出的幼体活力旺盛。然而，盐度 15 组和 35 组的受精卵发育至担轮幼虫期时，担轮幼虫个体转动缓慢，仅部分幼虫完成孵化且幼虫发育延滞。值得注意的是，盐度 35 组孵化出的海球幼虫的活力偏弱，而低盐度 15 组则活力正常。盐度 10 组受精卵的发育状况与盐度 15 组和 35 组相类似，但受精卵的孵化率低，孵出的幼虫活力偏弱。盐度 5 组和 40 组的受精卵孵化至担轮幼虫期时，个体活力明显较差并最终死亡（见表 2）。

由此可见，盐度 15 ~ 30 适宜于可口革囊星虫受精卵孵化，盐度 20 ~ 26 为最适盐度范围，呈现出受精卵发育对低盐度的适应。

2.2 不同盐度下可口革囊星虫幼虫的不投饵存活系数

分别测定了 6 个不同盐度条件下，3 批次可口革囊星虫幼虫的不投饵存活系数（SAI），结果（见表 3）表明：在盐度 10、15、20、25 ~ 26、30、35 条件下，可口革囊星虫幼虫的 SAI 依次分别为 9.8、78.3、60.9、12.6、12.2、10.7。其中低盐度 15 组的 SAI 最高，为 78.3；其次是盐度 20 组，为 60.9，盐度 15 组和 20 组之间差异显著（ $P < 0.05$ ）；盐度 25 ~ 26 组、30 组、35 组的 SAI 值分别为 12.6、12.2

和 10.7, 三组间无明显差异 ( $P > 0.05$ ), 但与盐度 15 组、20 组相比, 均存在显著差异 ( $P < 0.05$ ); 盐度 10 组和盐度 35 组的 SAI 值分别为 9.8 和 10.7, 两组间不存在明显差异 ( $P > 0.05$ )。

表 2 盐度对可口革囊星虫胚胎发育的影响  
Tab. 2 Effects of salinity on embryonic development of *Phascolosoma esculenta*

| 盐度<br>Salinity | 孵化时间 Hatch time/h |                              |   |  |
|----------------|-------------------|------------------------------|---|--|
|                | 24                | 40                           | 48  | 60   |
| 5              | 转动慢 Moving slowly | 不动 Moveless                  | 死亡 Death  | —  |
| 10             | 转动 Moving         | 微动 Moving slightly           | 呈幼虫状态, 未孵化出<br>Larval state, not hatched out    | 少量幼虫孵化出, 活力弱<br>A few hatched out, vitality weak   |
| 15             | 转动 Moving         | 微动 Moving slightly           | 呈幼虫状态, 未孵化出<br>Larval state, not hatched out    | 部分幼虫孵化出, 游泳正常<br>Part hatched out, swimming normal |
| 20             | 转动 Moving         | 少量幼虫孵化出<br>A few hatched out | 全部孵化出, 游泳正常<br>All hatched out, swimming normal | 正常 Normal  |
| 25             | 转动 Moving         | 少量幼虫孵化出<br>A few hatched out | 全部孵化出, 游泳正常<br>All hatched out, swimming normal | 正常 Normal  |
| 30             | 转动 Moving         | 少量幼虫孵化出<br>A few hatched out | 全部孵化出, 游泳正常<br>All hatched out, swimming normal | 正常 Normal  |
| 35             | 转动 Moving         | 微动 Moving slightly           | 呈幼虫状态, 未孵化出<br>Larval state, not hatched out    | 部分幼虫孵化出, 活力偏弱<br>Part hatched out, vitality weak   |
| 40             | 转动慢 Moving slowly | 不动 Moveless                  | 死亡 Death  | —  |

表 3 不同盐度下可口革囊星虫幼虫不投饵存活系数  
Tab.3 Survival activity index of *Phascolosoma esculenta* larvae under different salinity

| 批次<br>Batch | 盐度 Salinity            |                         |                         |                         |                         |                         |
|-------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|             | 10                     | 15                      | 20                      | 25 ~ 26.0               | 30                      | 35                      |
| 1           | 10.4                   | 73.2                    | 63.5                    | 13.3                    | 13.1                    | 11.9                    |
| 2           | 9.4                    | 89.2                    | 72.1                    | 12.8                    | 12.1                    | 10.1                    |
| 3           | 9.5                    | 72.6                    | 47.0                    | 11.8                    | 11.5                    | 10.1                    |
| 平均值 Mean    | 9.8 ± 0.3 <sup>c</sup> | 78.3 ± 5.4 <sup>a</sup> | 60.9 ± 7.4 <sup>b</sup> | 12.6 ± 0.4 <sup>c</sup> | 12.2 ± 0.5 <sup>c</sup> | 10.7 ± 0.6 <sup>c</sup> |

说明: 同一行不同上标字母表示组间差异显著 ( $P < 0.05$ )。  
Note: Different superscript letters on the same line indicate significant differences between groups ( $P < 0.05$ ).

比较了各盐度组幼虫的存活状态, 结果 (见表 4) 表明, 盐度 15 组、20 组的幼虫存活时间最长, 为 7 d, 其余各组存活时间均低于 7 d。其中: 盐度 10 组第 1 天幼体收缩成一团, 沉于底部, 几乎不游动, 口前纤毛环和口后纤毛环摆动频率偏低; 第 2 天出现个别幼虫死亡; 第 3 天少量幼虫死亡; 第 4 天出现大量个体死亡; 第 6 天全部死亡。盐度 15 组, 第 1 天幼虫游动缓慢; 第 2 天恢复正常; 第 3 天大多数幼虫沉底且游动缓慢; 第 4 天出现个别幼虫死亡; 第 6 天大多数幼虫出现死亡; 第 7 天全部死亡。盐度 20 组和盐度 15 组较类似, 也是至第 4 天才出现个体死亡现象, 与盐度 15 组有所差异的是第 1 天幼虫活动正常。自然海水组和盐度 30 组的幼虫存活情况基本类似, 第 1 ~ 2 天活动正常; 第 3 天少量幼虫沉底且游动缓慢; 第 4 天出现少量幼虫死亡; 第 6 天全部死亡。高盐度 35 组的幼虫明显不适应高盐度环境, 前两天表现出游动缓慢; 第 3 天大部分沉底; 第 4 天开始少量幼虫死亡, 存活的幼虫也几乎不动, 仅纤毛可以缓慢摆动。

从幼虫的不投饵系数及幼虫的活动状况, 可以发现适宜于幼虫生存的盐度范围为 15 ~ 30, 最适范围为 15 ~ 20, 也呈现出对低盐度的适应性。

表 4 不同盐度下可口革囊星虫幼虫不投饵存活情况  
Tab.4 The survival activity situation of *Phascolosoma esculenta* larvae under different salinity

| 时间<br>Time       | 盐度 Salinity   |  |   |  |   |   |
|------------------|---|--|---|--|---|---|
|                  | 10  | 15   | 20  | 25 ~ 26  | 30  | 35  |
| 第 1 天<br>1st day | 一团、微动<br>A ball, moving slightly  | 游动缓慢<br>Swimming slowly  | 活动正常<br>Normal activity   | 活动正常<br>Normal activity  | 活动正常<br>Normal activity   | 游动缓慢<br>Swimming slowly   |
| 第 2 天<br>2nd day | 微动, 个别幼虫死亡<br>Moving slightly, part of larvae were dead                   | 活动正常<br>Normal activity  | 活动正常<br>Normal activity   | 活动正常<br>Normal activity  | 活动正常<br>Normal activity   | 游动缓慢<br>Swimming slowly   |
| 第 3 天<br>3rd day | 沉底微动, 少量幼虫死亡<br>Moving slightly on bottom, a few larvae were dead         | 大多数幼虫沉底慢动<br>Most larvae sank to the bottom and moved slowly                       | 少量幼虫沉底, 游动缓慢<br>A few larvae sank to the bottom and swam slowly                 | 少量幼虫沉底, 游动缓慢<br>A few larvae sank to the bottom and swam slowly                    | 少量幼虫沉底, 游动缓慢<br>A few larvae sank to the bottom and swam slowly                   | 大部分幼虫沉底, 游动缓慢<br>Most larvae sank to the bottom and swam slowly                   |
| 第 4 天<br>4th day | 沉底微动, 部分幼虫死亡<br>Moving slightly on bottom, part of larvae were dead       | 沉底慢动, 个别幼虫死亡<br>Sinking to the bottom and moving slowly, very few larvae were dead | 少量幼虫沉底, 游动缓慢<br>A few larvae sank to the bottom and swam slowly                 | 沉底慢动, 个别幼虫死亡<br>Sinking to the bottom and moving slowly, very few larvae were dead | 沉底慢动, 少量幼虫死亡<br>Sinking to the bottom and moving slowly, a few larvae were dead   | 沉底慢动, 少量幼虫死亡<br>Sinking to the bottom and moving slowly, a few larvae were dead   |
| 第 5 天<br>5th day | 沉底微动, 大部分幼虫死亡<br>Moving lightly on bottom, large part of larvae were dead | 沉底慢动, 少量幼虫死亡<br>Sinking to the bottom and moving slowly, a few larvae were dead    | 沉底慢动, 少量幼虫死亡<br>Sinking to the bottom and moving slowly, a few larvae were dead | 沉底慢动, 部分幼虫死亡<br>Sinking to the bottom and moving slowly, part of larvae were dead  | 沉底慢动, 部分幼虫死亡<br>Sinking to the bottom and moving slowly, part of larvae were dead | 沉底慢动, 部分幼虫死亡<br>Sinking to the bottom and moving slowly, part of larvae were dead |
| 第 6 天<br>6th day | 全部死亡<br>All dead  | 沉底慢动, 多数幼虫死亡<br>Sinking to the bottom and moving slowly, most larvae were dead     | 沉底慢动, 多数幼虫死亡<br>Sinking to the bottom and moving slowly, most larvae were dead  | 全部死亡<br>All dead   | 全部死亡<br>All dead  | 全部死亡<br>All dead  |
| 第 7 天<br>7th day | —   | 全部死亡<br>All dead   | 全部死亡<br>All dead  | —  | —   | —   |

2.3 不同盐度下幼虫的生长指标比较

在水温 28.5 ~ 30.5 ℃ 的情况下, 测定了各盐度组幼虫的生长速度, 具体如表 5 所示。

表 5 不同盐度条件下海球幼虫生长速度的比较  
Tab.5 The growth comparison of *PelagospHERE* under different salinity conditions

| 盐度<br>Salinity | 起始体长/ $\mu\text{m}$<br>Initial body length | 第 5 天体长/ $\mu\text{m}$<br>5th day body length | 第 9 天体长/ $\mu\text{m}$<br>9th day body length | 9 d 生长速度/ $(\mu\text{m} \cdot \text{d}^{-1})$<br>Growth rate of 9 d |
|----------------|--|---|---|---|
| 15             | 251.7 ± 12.4                               | 421.1 ± 18.6 <sup>a</sup>                     | 549.4 ± 27.9 <sup>a</sup>                     | 61.0  |
| 20             | 251.7 ± 12.4                               | 422.9 ± 24.0 <sup>a</sup>                     | 568.5 ± 28.3 <sup>a</sup>                     | 63.2  |
| 25 ~ 26        | 251.7 ± 12.4                               | 426.1 ± 20.3 <sup>a</sup>                     | 551.7 ± 25.3 <sup>a</sup>                     | 61.3  |
| 30             | 251.7 ± 12.4                               | 412.0 ± 17.3 <sup>a</sup>                     | 542.9 ± 27.7 <sup>b</sup>                     | 60.3  |

说明: 同一列不同上标字母表示组间差异显著 ( $P < 0.05$ )。  
Note: Different superscript letters on the same line indicate significant differences between groups ( $P < 0.05$ ).

表5表明, 经过9 d的培育, 幼虫体长从251.7 μm长至542.9 ~ 568.5 μm, 日生长速度为60.3 ~ 63.2 μm/d。从初孵海球幼虫培育至第5天, 盐度15组、20组、25~26组和30组的体长分别为(421.1 ± 18.6) μm、(422.9 ± 24.0) μm、(426.1 ± 20.3) μm和(412.0 ± 17.3) μm, 生长速度是自然盐度组(25~26)最快, 盐度30组最慢, 但这4个实验组之间差异不显著( $P > 0.05$ )。培育至第9天时, 4组体长分别为(549.4 ± 27.9) μm、(568.5 ± 28.3) μm、(551.7 ± 25.3) μm、(542.9 ± 27.7) μm, 盐度20组生长最快, 盐度30组最慢, 其中盐度20组与15组、25~26组间无显著差异( $P > 0.05$ ), 而与盐度30组之间差异显著( $P < 0.05$ )。比较了幼虫的成活率, 结果(见表6)表明, 幼虫在盐度15、20、25~26和30条件下培育9 d后, 其成活率分别为63.4%、75.9%、72.8%和60.2%, 以盐度20时的成活率最高。

表6 不同海水盐度条件下海球幼虫存活率  
Tab.6 The survival rates of *Pelagosphere* under different salinity conditions

| 盐度 Salinity | 起始幼虫数 Number of initial larvae/只 ind | 存活数 Survival number/只 ind | 平均存活率 Survival rate/% |
|-------------|--------------------------------------|---------------------------|-----------------------|
| 15          | 1500                                 | 950.7 ± 62.0              | 63.4                  |
| 20          | 1500                                 | 1138.0 ± 51.6             | 75.9                  |
| 25 ~ 26     | 1500                                 | 1092.3 ± 36.5             | 72.8                  |
| 30          | 1500                                 | 902.3 ± 64.3              | 60.2                  |

### 3 讨论

#### 3.1 盐度对孵化率的影响

本研究结果显示, 可口革囊星虫的受精卵在较大的海水盐度范围(10~35)内均可孵化, 其中盐度20~30较适宜受精卵的孵化, 但最适的盐度范围为20~26。方文珊等<sup>[7]</sup>对裸体方格星虫的研究表明, 方格星虫受精卵的最适、较适、适宜、临界孵化盐度分别是21.72~26.94、20.04~28.90、17.48~31.26、16.5~34.14。本研究结果与之相似, 但与之不同的是, 可口革囊星虫最低临界孵化盐度为10, 低于裸体方格星虫的最低临界孵化盐度。这可能与可口革囊星虫生长在河口区的海域滩涂有很大的关系。河口区海域盐度变化幅度较大, 可口革囊星虫对低盐环境具长期适应性。许多海水鱼类的受精卵能够在较大的海水盐度范围内正常孵化与发育, 可能与受精卵发育至神经胚时期后, 与外界的物质交换降低, 以及卵黄栓关闭后的受精卵已经建立起较为完善的盐度控制系统有关<sup>[8-9]</sup>。

#### 3.2 盐度对孵化时间的影响

有关盐度对孵化时间的影响, 在鱼类上已有较多研究。在点带石斑鱼(*Epinephelus malabaricus*)、鲤鱼(*Cyprinus carpio*)、半滑舌鲷(*Cynoglossus semilaevis* Gunther)的研究中, 认为不同盐度对孵化时间的影响不显著<sup>[10-12]</sup>。关于鲩状黄姑鱼(*Nibea miichthioides*)<sup>[13]</sup>、尖鳍鲤(*Cyprinus acutidorsalis*)<sup>[14]</sup>、七带石斑鱼(*E. septemfasciatus*)<sup>[15]</sup>的研究表明盐度越高, 仔鱼孵化时间越短。而奥尼罗非鱼(*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)<sup>[16]</sup>、大银鱼(*Protosalanx hyalocranius*)<sup>[17]</sup>的研究表明, 孵化周期随盐度的增加而增加。徐永江等<sup>[18]</sup>在条石鲷(*Oplegnathus fasciatus*)研究中发现, 盐度过高或过低, 会引起受精卵孵化时间的延长。可见, 不同种类受精卵的孵化时间与盐度的关系有所不同。

本研究中, 在盐度20、25~26、30条件下, 48 h内均能正常孵出海球幼虫; 而在盐度10、15、35时, 受精卵孵化时间明显比正常孵化的时间延后, 超过48 h, 除盐度15组孵出的幼虫游动正常外, 盐度10组、35组的幼虫表现出对环境不适应, 游动偏弱。从孵化进程也可看出盐度20~30为可口革囊星虫受精卵较适宜的孵化盐度。

#### 3.3 盐度对幼虫活力的影响

不投饵存活系数(SAI)通常用于判断初孵幼体的活力。对大多数鱼类来说, 在无投饵条件下, 观察仔鱼耐受能力和存活天数, SAI值越高, 代表仔鱼的活力就越好<sup>[6]</sup>。在适宜盐度下, 不同种类的

SAI 有一定的差异。如黄鳍东方鲀 (*Takifugu xanthopterus*)<sup>[19]</sup> 在盐度 5 和 15 时, 其 SAI 值达 78.37 和 85.38, 在盐度 10 和 20 时也有 70.1 和 70.63, 而菊黄东方鲀 (*Fugu flavidus*)<sup>[20]</sup> 的 SAI 最高值为 30.10; 赤点石斑鱼 (*E. akaara*)<sup>[6]</sup> 的 SAI 值明显比斜带石斑鱼 (*E. coioides*)<sup>[21]</sup>、云纹石斑鱼 (*E. moara*)<sup>[22]</sup> 及七带石斑鱼 (*E. septemfasciatus*)<sup>[23]</sup> 要低; 黄姑鱼类中的双棘黄姑鱼 (*N. diacanthus*)<sup>[24]</sup> 的 SAI 值最大为 7.13, 与大黄鱼 (*Larimichthys crocea*)<sup>[25]</sup> 差异较大; 鲷科鱼类的黄鲷 (*Dentex tumifrons*)<sup>[26]</sup> 的 SAI 值较大, 为 47.53。

本研究中, 在盐度 10~35 范围内, 可口革囊星虫幼虫在盐度 15、20 时 SAI 值较高, 分别为 78.3、60.9, 而在其他盐度时则明显较低, 为 9.86~12.6。表现出对低盐度较高的忍受力。

### 3.4 盐度对幼虫生长的影响

本研究表明, 在 9 d 的培育期间, 海球幼虫培育的生长速度和成活率, 盐度 20 组均为最高, 分别为 63.2  $\mu\text{m}/\text{d}$ 、75.9%; 其次为自然海水(25~26)组, 分别为 61.3  $\mu\text{m}/\text{d}$ 、72.8%; 盐度 15 组的幼虫生长速度为 61.0  $\mu\text{m}/\text{d}$ , 与自然海水组相差不大, 但成活率为 63.4%, 略低于自然海水组; 高盐度 30 组, 幼虫的生长速度最慢且平均成活率也最低。与 9 d 生长速度比较, 幼虫的 5 d 生长速度是自然海水组最快, 平均达 85.2  $\mu\text{m}/\text{d}$ ; 其次为盐度 20 组, 达 84.6  $\mu\text{m}/\text{d}$ ; 再次为盐度 15 组, 达 84.2  $\mu\text{m}/\text{d}$ ; 最慢的是盐度 30 组, 平均达 82.4  $\mu\text{m}/\text{d}$ 。可见, 低盐度组幼虫在前期生长速度比正常盐度组慢, 但在培育后期, 生长速度却比自然盐度组快。

这种现象与王丽华等<sup>[27]</sup>的报道结果类似。在其实验中褐牙鲆 (*Paralichthys olivaceus*)<sup>[27]</sup> 幼鱼在低盐(盐度 5)胁迫 10 d 后, 特定生长率为  $0.79\% \cdot \text{d}^{-1}$ , 小于盐度 19 组的  $2.20\% \cdot \text{d}^{-1}$ , 但经过 10 d 的培育, 盐度 5 组的特定生长率增加为  $1.96\% \cdot \text{d}^{-1}$ , 大于盐度 19 组的  $1.52\% \cdot \text{d}^{-1}$ , 幼鱼引起的生长阻滞在 30 d 内得到补偿。因而认为补偿生长的机制与营养胁迫和其他环境因子胁迫后的补偿生长机制类似, 依靠恢复最佳条件后摄食量的提高而获得, 但在高盐度胁迫下未观察到褐斑牙鲆获得补偿生长。本研究也发现, 可口革囊星虫更适合在稍低盐度的海水中生长, 可能与可口革囊星虫成体长期生活在河口区的滩涂中, 从幼虫阶段就对低盐环境具备一定的适应能力, 有利于向低盐滩涂穴栖生活过渡有关。

## [ 参 考 文 献 ]

- [1] 李凤鲁, 周红, 王玮. 中国沿海星虫动物门名录 [J]. 青岛海洋大学学报, 1992, 22(2): 72-87.
- [2] 吴雅清, 许瑞安. 可口革囊星虫研究进展 [J]. 水产科学, 2018, 37(6): 137-143.
- [3] 曾志南, 刘伟斌, 林向阳, 等. 光裸方格星虫初期海球幼体对温度和盐度的耐受试验 [J]. 福建水产, 2010(1): 14-18.
- [4] 吴洪喜, 应雪萍, 陈琛, 等. 可口革囊星虫胚胎与幼体的发育 [J]. 动物学报, 2006, 52(4): 765-773.
- [5] 陈慧, 林国文, 陈武, 等. 可口革囊星虫早期形态及发育特征 [J]. 台湾海峡. 2007, 26(3): 395-403.
- [6] 王涵生, 方琼珊, 郑乐云. 盐度对赤点石斑鱼受精卵发育的影响及仔鱼活力的判断 [J]. 水产学报, 2002, 36(4): 344-350.
- [7] 方文珊, 刘志刚, 孙小真. 不同盐度对光裸方格星虫孵化率及幼虫生长与存活的影响 [C] //中国水产学会学术年会论文摘要集. 北京: 海洋出版社, 2011: 306.
- [8] SUTAN N H, ROMEO D, FORTES B, et al. Effect of pH and ammonia on survival and growth of the early larval stages of *Penaeus monodon* Fabricius [J]. Aquaculture, 1994, 125(1/2): 67-72.
- [9] LUIS ER, MARIA T V. Effect of pH, water stability and toughness of artificial diets on the palatability for juvenile abalone *Haliotis fulgens* [J]. Aquaculture, 1996, 144(4): 353-362.
- [10] 施兆鸿, 陈波, 彭士明, 等. 盐度胁迫下点带石斑鱼 (*Epinephelus malabaricus*) 胚胎及卵黄囊仔鱼的形态变化 [J]. 海洋与湖沼, 2008, 39(3): 222-226.
- [11] 郭永军, 陈成勋, 李占军. 水温和盐度对鲤鱼 (*Cyprinus carpio* L.) 胚胎和前期仔鱼发育的影响 [J]. 天津农学院学报, 2004, 11(3): 5-9.

- [12] 张鑫磊,陈四清,刘寿堂,等. 温度、盐度对半滑舌鳎胚胎发育的影响 [J]. 海洋科学进展, 2006, 24(3): 342-348.
- [13] 黄永春,郑建辉,周泽斌. 盐度对鲩状黄姑鱼 (*Nibea miichthioides*) 胚胎发育和仔鱼成活的影响 [J]. 福建水产, 1997(1): 34-37.
- [14] 易祖盛,陈湘. 盐度对尖鳍鲤 (*Cyprinus acutidorsalis*) 早期发育的影响 [J]. 广州师院学报 (自然科学版), 1998, 20(5): 61-64.
- [15] 赵明,陈超,杨柳学,等. 盐度对七带石斑鱼胚胎发育和卵黄囊仔鱼生长的影响 [J]. 渔业科学进展, 2011, 32(2): 16-21.
- [16] 强俊,王辉,李瑞伟,等. 盐度对奥尼罗非鱼仔、稚鱼生长、存活及其消化酶活力的影响 [J]. 水产科学, 2009, 28(6): 329-332.
- [17] 刘锡胤,李龙,周晓群,等. 盐度对大银鱼受精卵孵化率的影响 [J]. 齐鲁渔业, 2000, 17(4): 34-35.
- [18] 徐永江,柳学周,王妍妍. 温度、盐度对条石鲷胚胎发育影响及初孵仔鱼饥饿耐受力 [J]. 渔业科学进展, 2009, 30(3): 25-31.
- [19] 张海发,舒璇,王云新,等. 盐度及 pH 对黄鳍东方纯受精卵孵化和仔鱼活力的影响 [J]. 广东海洋大学学报, 2007, 27(3): 28-32.
- [20] 陈林,周文玉,潘桂平. 盐度对菊黄东方鲀受精卵孵化和仔鱼生长的影响 [J]. 广东海洋大学学报, 2012, 32(4): 73-77.
- [21] 张海发,刘晓春,王云新,等. 温度、盐度及 pH 对斜带石斑鱼受精卵孵化和仔鱼活力的影响 [J]. 热带海洋学报, 2006, 25(2): 31-36.
- [22] 宋振鑫,陈超,吴雷明,等. 盐度与 pH 对云纹石斑鱼胚胎发育和仔鱼活力的影响 [J]. 渔业科学进展, 2013, 34(6): 52-58.
- [23] 赵明,陈超,柳学周,等. 盐度对七带石斑鱼胚胎发育和卵黄囊仔鱼生长的影响 [J]. 渔业科学进展, 2011, 32(2): 16-21.
- [24] 林向阳,刘伟斌,方民杰. 盐度对双棘黄姑鱼受精卵发育及早期仔鱼生长的影响 [J]. 海洋科学, 2006, 30(7): 1-4.
- [25] 隋班良,刘贤德,王志勇. 盐度对大黄鱼孵化率及初孵仔鱼活力影响的初步研究 [C] //渔业科技创新与发展方式转变: 2011 年中国水产学会学术年会论文摘要集. 北京: 海洋出版社, 2011: 185.
- [26] 施兆鸿,夏连军,王建钢,等. 盐度对黄鲷胚胎发育及早期仔鱼生长的影响 [J]. 水产学报, 2004, 28(5): 599-602.
- [27] 王丽华,黄国强,田思娟,等. 盐度对褐牙鲆幼鱼生长的影响及其在盐度胁迫后的补偿生长 [J]. 中国水产科学, 2008, 15(4): 615-621.

(责任编辑 朱雪莲 黄文审校 黄力行)