

# 不同盐度、密度及单胞藻对小刀蛭幼虫生长、存活的影响\*

王永旺, 于瑞海\*\*, 刘洋, 李海昆, 李春华

(海水养殖教育部重点实验室(中国海洋大学), 山东 青岛 266003)

**摘要:** 为确定小刀蛭(*Cultellus attenuatus*) 苗种规模化繁育的最适条件, 本文比较了不同盐度、培育密度和单胞藻对小刀蛭幼虫生长、存活和变态的影响。研究表明: 随着培育盐度的增加, 幼虫的生长速率、存活率及变态率均呈现先升高后降低的趋势, 低盐和高盐条件均不利于幼虫的生长和存活; 幼虫适宜的存活盐度为 15~30, 适宜生长的盐度为 20~25, 均衡存活和生长两个指标, 最适合幼虫的盐度为 20~25。随着培育密度的增加, 幼虫的生长速度、存活率及变态率逐渐下降, D 形幼虫至壳顶幼虫前期的最适培育密度为 5 个/mL, 壳顶幼虫后期至匍匐幼虫的最适培育密度为 1 个/mL。球等鞭金藻(*Isochrysis galbana*) 和小球藻(*Chlorella vulgaris*) 混合投喂对小刀蛭幼虫的生长、存活及变态促进效果最好。实验结果表明, 在盐度 20~25, 前期培育密度 5 个/mL、后期培育密度 1 个/mL, 混合投喂球等鞭金藻和小球藻(1:1) 条件下可以取得较好的培育效果。

**关键词:** 小刀蛭; 幼虫; 盐度; 单胞藻; 培育密度; 生长; 存活; 变态

**中图分类号:** S968.3      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1672-5174(2022)07 II-020-08

**DOI:** 10.16441/j.cnki.hdxh.20190386

**引用格式:** 王永旺, 于瑞海, 刘洋, 等. 不同盐度、密度及单胞藻对小刀蛭幼虫生长、存活的影响[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2022, 52(增 I): 20-27.

Wang Yongwang, Yu Ruihai, Liu Yang, et al. Effects of salinity, breeding density and unicellular algae on growth and survival of razor clam (*Cultellus attenuatus*) larva[J]. Periodical of Ocean University of China, 2022, 52(Sup. I): 20-27.

小刀蛭(*Cultellus attenuatus*) 隶属软体动物门(Mollusca) 双壳纲(Bivalvia) 帘蛤目(Veneroida) 刀蛭科(Cultellidae), 在中国南北海均有分布<sup>[1]</sup>。小刀蛭软体部肉质鲜美、营养价值高, 具有优良的保健功能和营养价值<sup>[2]</sup>, 是消费者喜爱的海产品之一。近年来, 随着海洋物理环境的大幅波动<sup>[3]</sup>、海洋环境污染的加重及渔业捕捞强度的增大, 小刀蛭自然资源量逐渐减少<sup>[4]</sup>, 因此开展人工育苗对于小刀蛭种质资源保护及满足市场需求具有重要意义。

环境因子是影响贝类幼虫生长发育、存活的重要因素。探索幼体生长发育适宜的环境因素对提高贝类苗种产量至关重要。不同贝类对盐度的适应范围不同, 当外界环境不适宜时会导致幼虫生长率和存活率的下降, 例如, 菲律宾蛤仔<sup>[5]</sup>的适宜盐度为 23~35.5, 当盐度低于 23 或高于 35.5 时幼虫生长缓慢, 在 6~8 d 内全部死亡; 青蛤<sup>[6]</sup>在 15~30 的适宜盐度范围内, 生长速度快, 存活率高。培育密度影响着贝类幼虫的摄食、消化、生长和代谢<sup>[7]</sup>, 例如, 四角蛤蜊<sup>[8]</sup>幼虫的生长速度、存活率及变态率随着培育密度的增大而降低, 并

表现出明显的延迟变态。单胞藻是双壳类幼虫最适宜的饵料, 但不同微藻对幼虫的营养价值差异很大, 例如, 金藻较小球藻、塔胞藻和新月菱形藻更适合大竹蛭浮游幼虫<sup>[9]</sup>。

当前, 小刀蛭研究多集中在营养成分分析、遗传多样性、繁殖生物学等方面, 在苗种繁育方面只进行了初步探究<sup>[2, 10-14]</sup>, 对其人工育苗中幼虫适宜环境条件的研究报道较少<sup>[14]</sup>。因此, 本文通过研究不同盐度、培育密度及单胞藻对小刀蛭幼虫生长、存活及变态的影响, 探索了小刀蛭幼虫生长发育的适宜环境条件, 为小刀蛭的规模化人工育苗提供了理论指导与基础资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

1.1.1 实验用水及实验器具 实验于 2019 年 6 月在莱州市长渔水产有限公司进行, 实验用水泥池规格为 5 m×4 m×1.2 m, 实验用容器为 0.5 m×0.3 m×0.4 m 玻璃钢水槽。自然海水经充分沉淀、曝气后, 经 2 次沙滤并用 300 目筛绢过滤, 作为实验用水, 水温 22~

\* 基金项目: 山东省重点研究发展项目(2016GSF115013)资助

Supported by the Research and Development Project of Shandong Province(2016GSF115013)

收稿日期: 2019-11-25; 修订日期: 2020-01-28

作者简介: 王永旺(1994—), 男, 硕士生。E-mail: wangyw3119@163.com

\*\* 通讯作者: E-mail: yuruihai@ouc.edu.cn

23 °C, 盐度 30, pH=8.0。

1.1.2 材料来源 所用小刀蛭为东营市黄河三角洲海区自然采捕的野生贝, 平均壳长(74.23±3.96) mm。小刀蛭育苗时应当天从滩涂选用亲贝, 挑选壳面完整, 足部无损伤, 性腺发育良好的个体作为亲贝。小刀蛭亲贝运抵育苗场后先清洗干净, 利用低温刺激(12~15 °C)、干露及流水刺激相结合的方法诱导产卵、排精, 精、卵在盐度为 30、水温 23 °C 的海水中受精、孵化。24 h 后用 300 目筛绢选幼, 收集 D 形幼虫作为实验材料。

## 1.2 实验设计

1.2.1 不同盐度实验 实验设计 6 个盐度梯度分别为: 10、15、20、25、30 和 35, 每组设置 3 个平行。低盐海水由自然海水和经过充分曝气(24 h 以上)的自来水配制而成; 高盐(35)海水由自然海水加入海水晶配制而成。实验采用滴注的方式缓慢调整盐度, 变化速率为 2 h<sup>-1</sup>, 培育密度为 1 个/mL。每天换水 2 次, 每次换水 1/2, 每次换水前事先将海水调节至各组预置盐度。每 6 h 投喂一次饵料, 将球等鞭金藻(*Isochrysis galbana*)、小球藻(*Chlorella vulgaris*)、角毛藻(*Chaetoceros muelleri*) 按照等比例混合投喂。投喂前将饵料调整至预置盐度, 投喂量视幼虫摄食情况而定。幼虫在各盐度条件下培育至 240 μm 左右投放海泥附着基, 此时开始计时, 5 d 后测定变态率, 实验结束。

1.2.2 不同培育密度实验 实验设置 5 个密度组, 分别为 1、3、5、8 和 12 个/mL, 每组设置 3 个平行。每 6 h 投喂一次, 使用球等鞭金藻、小球藻、角毛藻按等比例混合进行投喂。1 个/mL 组幼虫日投喂量为 1×10<sup>4</sup> ind./mL, 其余密度组按照比例增加投喂量, 并结合幼虫的摄食情况及水体中的残饵量适当调整投喂量。每日换水 2 次, 每次换水 1/2; 每 2 d 测定一次幼虫密度, 并通过吸底等方式清理死亡幼虫, 通过改变水体体积保证每组幼虫密度与设置密度一致。幼虫在各培育密度下生长至 240 μm 时投放附着基, 于 5 d 后测定变态率并结束实验。

1.2.3 不同单胞藻培育实验 实验用单胞藻为球等鞭金藻(*Isochrysis galbana*)、小球藻(*Chlorella vulgaris*)、角毛藻(*Chaetoceros muelleri*)。实验设置 5 个处理组, 单胞藻组合和投喂比例见表 1。各组培育密度均为 1 个/mL, 每组设置 3 个平行组, 日投喂量均为 1×10<sup>4</sup> ind./mL。每种单胞藻在投喂前摇匀, 吸取 1 mL 用血球计数板计算单胞藻浓度。投喂频率及换水同 1.2.1, 幼虫在各密度条件下生长至 240 μm 时投放附着基, 并于 5 d 后测定变态率, 实验结束。

## 1.3 指标测定

实验期间, 每 2 d 测量一次幼虫的壳长和密度。各

平行组随机选取 30 个幼虫进行测量, 求取平均值得到每个平行组幼虫壳长数据, 再对 3 个平行组的壳长进行平均得到该处理组的平均壳长。存活率为现有幼虫密度与初始幼虫密度的百分比; 变态率为出现次生壳的稚贝数量占匍匐幼虫数量的百分比。

表 1 小刀蛭幼虫的饵料组合及投喂比例  
Table 1 Species and mixing ratios of algae in *Cultellus attenuatus* larvae rearing

组别 Group	单胞藻组合 Species of algae	投喂比例 Mixing ratio
A	球等鞭金藻	—
B	小球藻	—
C	角毛藻	—
D	球等鞭金藻+小球藻	1:1
E	球等鞭金藻+角毛藻	1:1

## 1.4 数据处理

利用单因素方差分析(ANOVA)比较不同盐度、饵料和培育密度对小刀蛭幼虫生长、存活和变态的影响, 利用 LSD 多重比较分别检测各盐度、饵料和培育密度处理组之间的差异。显著水平设置为  $P < 0.05$ 。所有的统计分析均使用软件 SPSS 22.0 进行。

## 2 结果

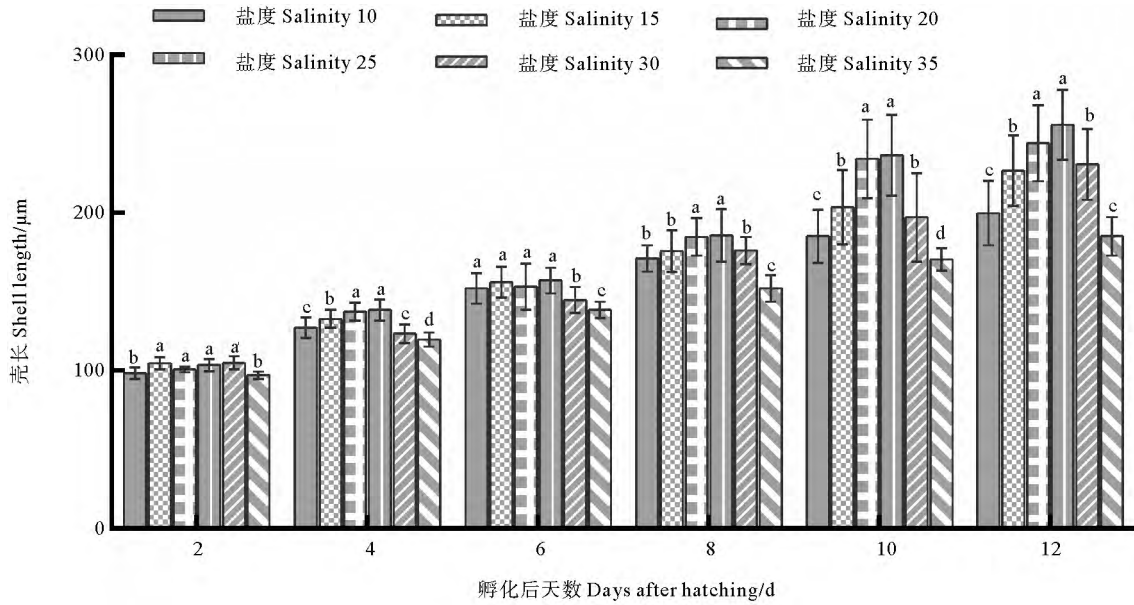
### 2.1 盐度对浮游幼虫生长、存活及变态的影响

2.1.1 盐度对小刀蛭幼虫生长的影响 盐度对小刀蛭幼虫生长的影响结果如图 1 所示。结果显示, 不同盐度对小刀蛭浮游幼虫的生长影响显著( $P < 0.05$ )。第 2 天, 盐度 10 和盐度 35 组幼虫壳长显著小于其他各组, 盐度 15、20、25、30 组之间差异不显著; 第 4 天, 盐度 35 组壳长最小, 且与其他各组差异显著; 从第 8 天开始, 盐度 20 组和盐度 25 组生长最快, 均显著大于其余盐度组。第 12 天, 盐度 25 组壳长最大, 其次为盐度 20, 两者之间差异不显著, 但均显著高于其余各组。

2.1.2 盐度对小刀蛭幼虫存活的影响 盐度对幼虫存活率的影响如图 2 所示。0~2 d, 当盐度改变时, 盐度 15 组和盐度 30 组存活率急剧下降, 幼虫存活率仅为 42% 和 49%, 若以初始幼虫总量为基准计算存活率容易造成较大误差, 所以存活率的计算以第 2 天幼虫总量为基准。如图 2 所示, 随着培育时间的延长, 各盐度组幼虫存活率逐渐降低; 随着盐度的增加, 幼虫存活率呈现先升高后降低的趋势。第 6 天开始, 盐度 20、25、30 组幼虫存活率逐渐稳定, 三组之间差异不显著。第

12天,幼虫存活率的大小顺序为盐度 20>25>30>15>35>10,多重比较结果表明,盐度 20、25、30 和 15

四组之间差异不显著,盐度 35 和盐度 10 组均与其余各组差异显著。



(同一时间下,标有不同小写字母表示组间差异显著( $P < 0.05$ ),标有相同小写字母表示组间差异不显著( $P > 0.05$ ),下同。The different letters in the same time indicate significant differences ( $P < 0.05$ ), and the same letters in the same time indicate not significant differences ( $P > 0.05$ ), the same below.)

图 1 不同盐度下幼虫的壳长生长情况

Fig. 1 The shell length of larvae at different salinities

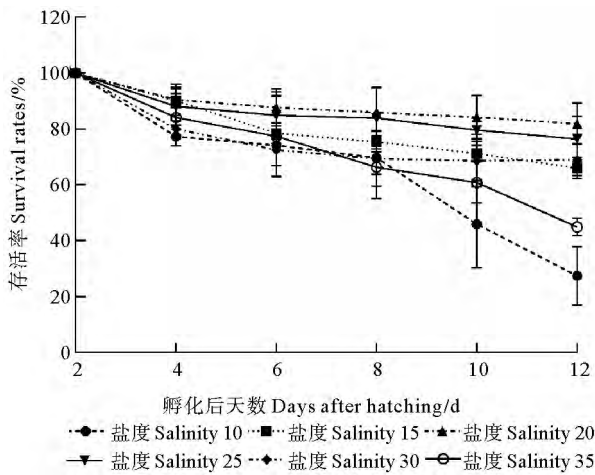


图 2 不同盐度下幼虫的存活率

Fig. 2 The survival of larvae at different salinities

2.1.3 盐度对小刀蛭幼虫变态率的影响 如图 3 所示,幼虫变态率随着盐度增加呈现先升高后降低的趋势。其中,变态率最高的为盐度 20 组,其次为盐度 25 组,两者之间差异不显著,与其余盐度组差异显著;盐度 10 组和盐度 35 组变态率最低,仅为 8.7%和 7%。

2.2 培育密度对小刀蛭幼虫生长、存活及变态的影响

2.2.1 培育密度对小刀蛭幼虫生长影响 单因素方差分析显示,不同培育密度对小刀蛭幼虫生长影响显著

( $P < 0.05$ )。如图 4 所示:第 2 天,密度 3 个/mL 组生长最快,密度 12 个/mL 组生长最慢,两者之间差异显著。第 4 天和第 6 天,密度 1 个/mL 组生长最快,其次为 3 个/mL 组和 5 个/mL 组,三者之间差异不显著,与 8 个/mL 组和 12 个/mL 组差异显著。第 12 天,1 个/mL 组幼虫壳长最大,为 236.67 $\mu\text{m}$ ,与其余各组差异显著;其次为 3 个/mL 组和 5 个/mL 组,两者之间差异不显著;密度 8 个/mL 组和 12 个/mL 组壳长最小,与其余各密度组差异显著。

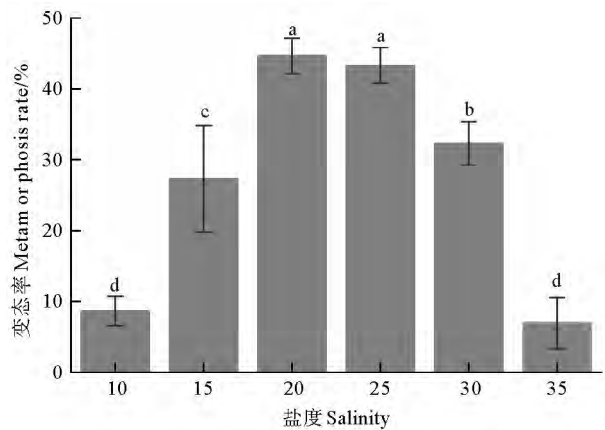


图 3 不同盐度下幼虫的变态率

Fig.3 Larval metamorphosis rates at different salinities

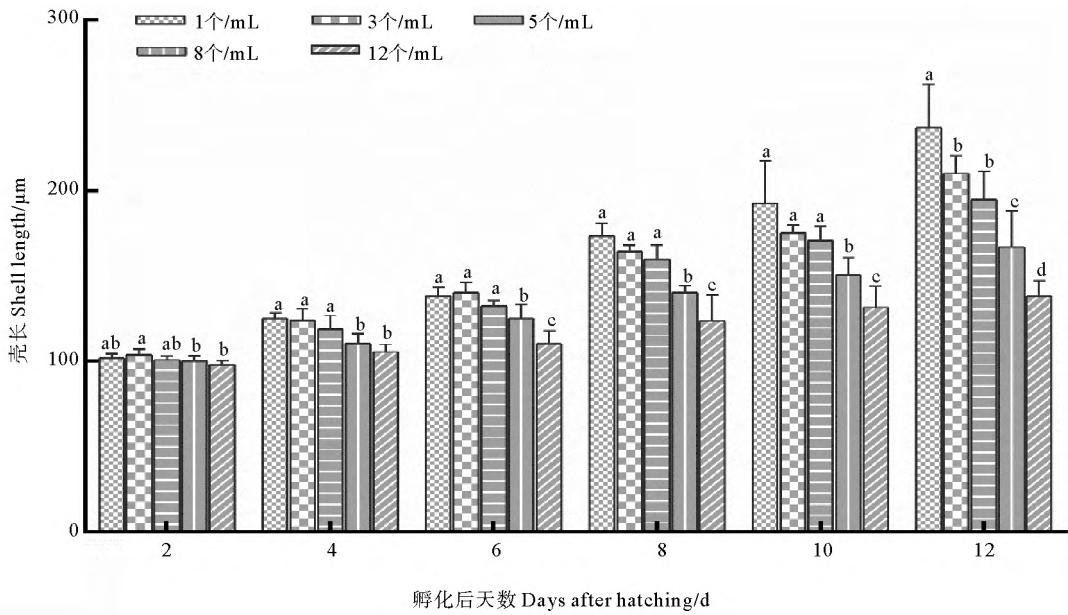


图 4 不同培育密度下幼虫壳长生长情况

Fig.4 The shell length of larvae at different culture densities

2.2.2 培育密度对幼虫存活率的影响 不同培育密度下浮游幼虫的存活率如图 5 所示。第 2 天,各培育密度组之间存活率差异不显著。第 4 天,密度 8 个/mL 组和 12 个/mL 组存活率最低,与其余 3 个密度组差异显著。第 6 天,密度 8 个/mL 组下降幅度最大,与其余各组差异显著。第 8 天,密度 12 个/mL 组幼虫存活率出现明显下降,存活率最低,与密度 1 个/mL 组、3 个/mL 组、5 个/mL 组差异显著,与密度 8 个/mL 组差异不显著。第 12 天,密度 1 个/mL 组存活率最高,其次为密度 3 个/mL 组和 5 个/mL 组,密度 8 个/mL 组和 12 个/mL 组幼虫存活率最差。

密度增加,小刀蛭幼虫变态率不断下降。密度 1 个/mL 组幼虫变态率最高,其次为密度 3 个/mL 组和密度 5 个/mL 组,3 组均与其余各组差异显著;密度 8 个/mL 组和密度 12 个/mL 组变态率最差,两者之间差异不显著。

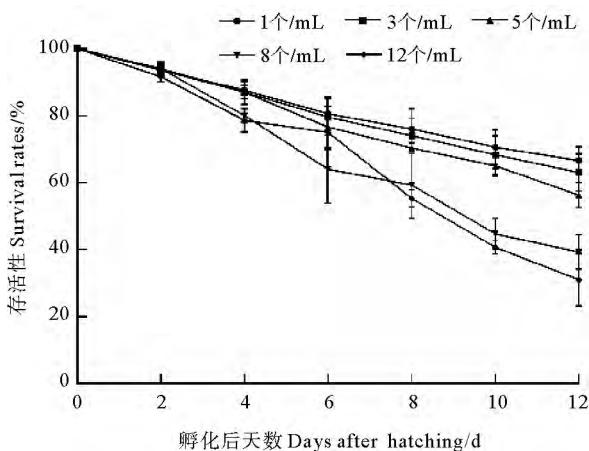


图 5 不同培育密度下浮游幼虫的存活率

Fig.5 The survival rates at different culture densities

2.2.3 培育密度对幼虫变态率的影响 如图 6 所示,不同培育密度对小刀蛭幼虫变态率影响显著。随着培育

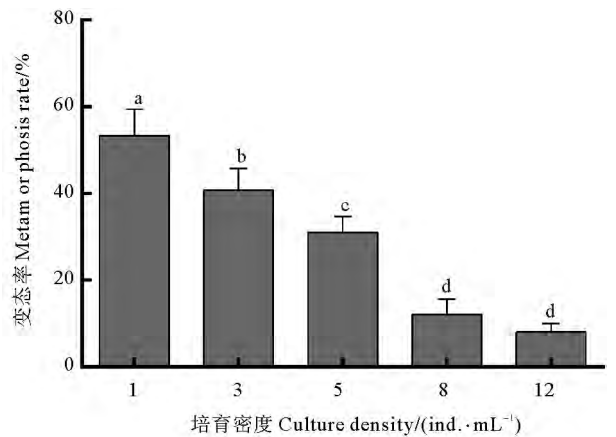


图 6 不同培育密度对幼虫变态率的影响

Fig.6 Effect of different culture densities on the metamorphosis rates of larvae

2.3 单胞藻种类及投喂比例对幼虫生长、存活及变态的影响

2.3.1 不同单胞藻对小刀蛭幼虫生长的影响 由图 7 可以看出:第 2 天,各组之间壳长差异不显著。第 4—8 天,球等鞭金藻组及混合饵料组壳长最大,三组之间差异不显著,但显著大于小球藻组和角毛藻组。第 12 天,各实验组之间差异显著,壳长由大到小依次为:球等鞭金藻+小球藻组>球等鞭金藻+角毛藻组>球等鞭金藻组>角毛藻组>小球藻组。

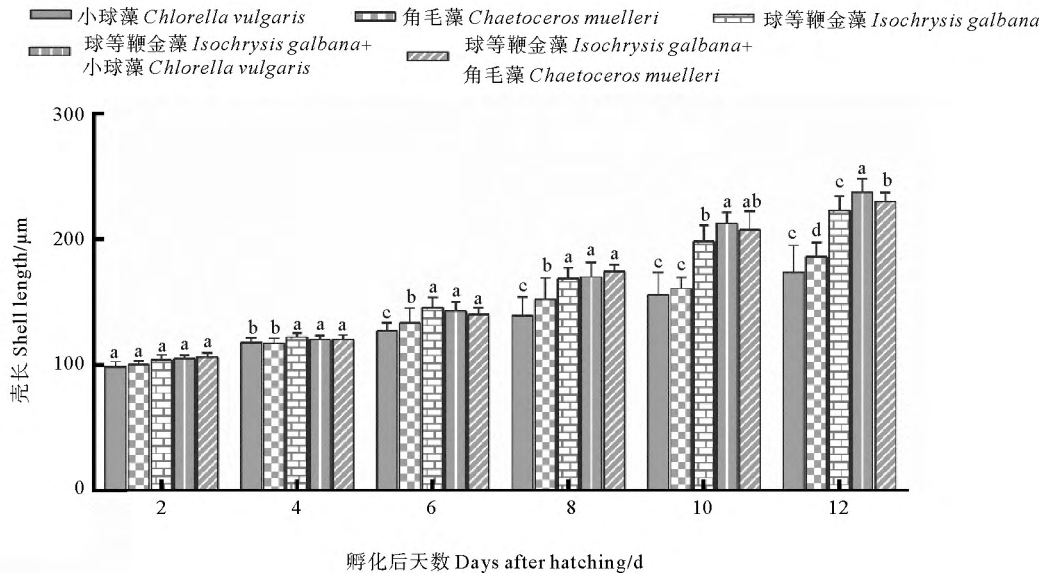


图7 不同单胞藻及其组合对幼虫壳生长情况影响

Fig.7 Effect of the species and mixing ratios of algae on the shell growth

2.3.2 不同单胞藻对小刀蛭幼虫存活率的影响 单因素方差分析结果显示(见图8),单胞藻种类及投喂比例对幼虫存活率具有显著影响( $P < 0.05$ )。第4天,小球藻组和角毛藻组成活率显著下降,与球等鞭金藻组和混合饵料组差异显著。第6天,混合饵料组和球等鞭金藻组大部分幼虫度过壳顶前期,成活率逐渐稳定。第12天,球等鞭金藻+小球藻组存活率最高,其次为球等鞭金藻+角毛藻组和球等鞭金藻组,三组之间差异不显著。

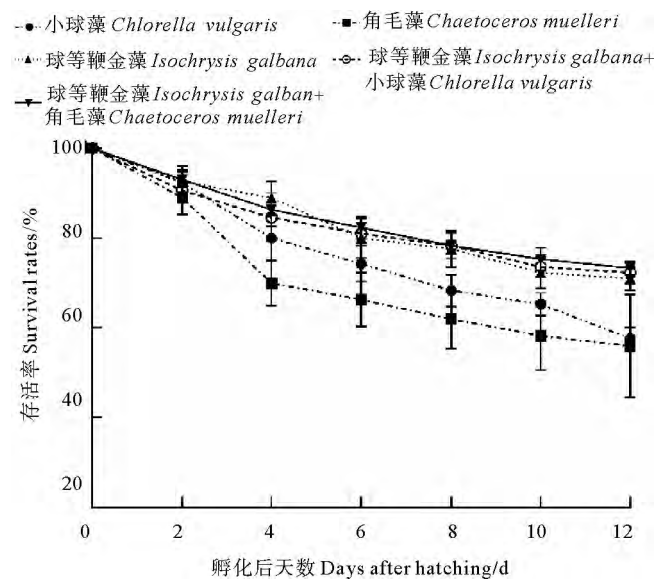
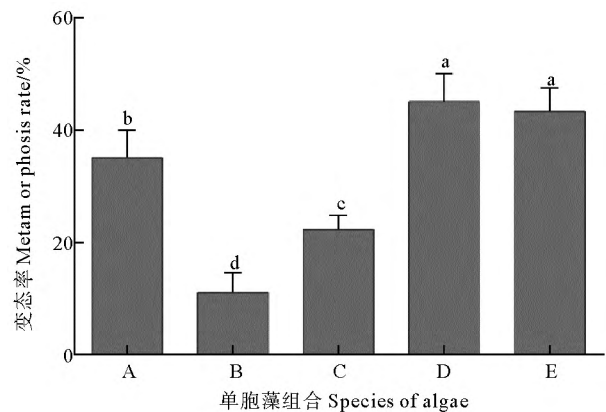


图8 不同单胞藻及其组合对幼虫存活率影响

Fig.8 Effect of the species and mixing ratios of algae on the survival rates

2.3.3 不同单胞藻对小刀蛭幼虫变态率的影响 实验结果显示(见图9),不同单胞藻对小刀蛭幼虫变态率影响显著( $P < 0.05$ )。混合投喂单胞藻组幼虫变态率最

高,但组间差异不显著;单独投喂组中,球等鞭金藻组变态率最高,其次是角毛藻组,小球藻组变态率最低。



(A:球等鞭金藻 *Isochrysis galbana*; B:小球藻 *Chlorella vulgaris*; C:角毛藻 *Chaetoceros muelleri*; D:球等鞭金藻 *Isochrysis galbana*+小球藻 *Chlorella vulgaris*; E:球等鞭金藻 *Isochrysis galbana*+角毛藻 *Chaetoceros muelleri*。)

图9 不同单胞藻及其组合对幼虫变态率的影响  
Fig.9 Effect of the species and mixing ratios of algae on the metamorphosis rates of larvae

### 3 讨论

#### 3.1 盐度对小刀蛭幼虫生长、存活和变态的影响

盐度是影响海洋生物最为重要环境因子之一,对贝类幼虫的存活、生长发育、附着变态的影响十分显著<sup>[15-16]</sup>。许多研究发现,不同的海洋贝类对盐度的适应范围不同<sup>[17]</sup>,贝类对盐度的耐受力与自身渗透压调节能力、营养状况和遗传变异有关,渗透压的调节能力直接决定了贝类适宜的生长和存活环境<sup>[18]</sup>。本实验条

件下,小刀蛭幼虫适宜存活的盐度范围为 15~30,适宜的生长盐度范围为 20~25,结合生长和存活两个指标,小刀蛭幼虫最适培育盐度为 20~25。可见,小刀蛭是一种广盐性贝类。实验开始阶段(0~2 d),当盐度发生变化时,盐度 15~25 组幼虫均有较高的存活率(大于 75%),而盐度 35 组幼虫存活率显著下降(小于 50%),说明小刀蛭幼虫对环境盐度降低的适应能力大于对环境盐度升高的适应能力。小刀蛭长期生活在有淡水注入的河口附近,加之北方小刀蛭繁殖季节为 6 月—7 月,此时正值北方汛期,大量淡水注入河口附近海域,海水盐度变动较大,小刀蛭在长期的自然进化中形成了对盐度的广泛适应性,并且对盐度降低的适应性较强。但过大的盐度变动也会造成幼虫的大量死亡,这主要是因为海水渗透压的变化超出了自身调节能力<sup>[19]</sup>。此外血淋巴细胞是双壳贝类的主要免疫细胞,对盐度的变动十分敏感<sup>[20]</sup>,盐度不适造成血淋巴细胞的大量死亡从而致使贝类免疫能力降低也可能是造成幼虫死亡的另一原因。在适宜盐度范围内小刀蛭幼虫的生长速度、存活率及变态率均较高,超过适宜盐度幼虫的生长速度、存活率及变态率受到不同程度的抑制,主要原因为盐度不适造成的渗透压改变会降低动物的代谢速率,同时也会影响代谢过程中的效率<sup>[17]</sup>,从而导致机体的能量利用效率降低。

### 3.2 培育密度对幼虫生长、存活和变态的影响

幼虫培育密度是影响贝类人工育苗效果的重要因素之一。适当的提高培育密度可以大幅度提高单位水体出苗量,节约生产成本。但是过高的培养密度,幼虫之间竞争加剧,同时水体中代谢废物和氨氮含量增高,易造成水质恶化,对幼虫产生不良影响,造成生长率的降低和死亡率的升高<sup>[21-22]</sup>;培育密度增加时,投喂量也相应增加,但过高的培育密度下增加投喂量幼虫会因摄食效率的提高更容易达到过饱状态,不利于幼虫的生长发育<sup>[23]</sup>。从实验结果来看,8 个/mL 组和 12 个/mL 组生长速度、存活率及变态率均较低,显著低于密度较低的培养组(1~5 个/mL);D 形幼虫到壳顶幼虫后期(0~8 d),5 个/mL 组幼虫与 1 个/mL 组和 3 个/mL 组幼虫在生长速度和存活率上没有显著差异,因此综合来看,小刀蛭前期的适宜培育密度为 5 个/mL。当小刀蛭幼虫生长至 240  $\mu\text{m}$  左右开始转入匍匐幼虫阶段,幼虫面盘逐渐萎缩退化,足逐渐取代面盘成为运动器官,开始进入底栖生活<sup>[12]</sup>,此时应及时投放附着基采苗。目前小刀蛭人工育苗中主要是采用水泥池底部铺设海泥附着基进行人工采苗,此种采苗方式对水体的利用率较低,幼虫多聚集于水体底部,培养密度超过 1 个/mL 时底层水体幼虫密度过大,不利于幼虫的呼吸和摄食,易造成幼虫缺氧,饵料不足<sup>[22]</sup>,导致了较高的

死亡率和较低的变态率。因此,当幼虫生长至壳顶幼虫后期,应适时疏苗。由此可见,小刀蛭幼虫的培养可采取前期采用较高密度(5 个/mL)培养,后期通过分池疏苗而转为低密度(1 个/mL)培养的方式进行。这一结果比杨智鹏等<sup>[24]</sup>对脉红螺(*Rapana venosa*)的研究结果(0.1~0.5 个/mL)要高,这主要是因为脉红螺浮游幼虫个体较大(320~1 500  $\mu\text{m}$ ),需要更大的空间进行运动与摄食。

### 3.3 不同单胞藻对小刀蛭幼虫生长发育和变态的影响

当贝类发育至面盘幼虫时开始摄食外源性饵料,此时幼虫的能量需求主要来源于单胞藻的外源性营养<sup>[25]</sup>,因此单胞藻饵料是幼虫生长发育的能量来源和物质基础。不同单胞藻的营养成分组成和含量不同<sup>[26]</sup>,同时受单胞藻大小、细胞壁薄厚和运动状态等因素的影响,贝类幼虫对它们的摄食和消化能力也不同,因此单胞藻的种类和投喂比例对贝类幼虫的生长发育的影响也不同。本研究结果表明,不同单胞藻对小刀蛭幼虫生长、存活和变态具有显著影响。第 2 天,各饵料组壳长差异不显著,主要是因为早期面盘幼虫仍可以依靠卵黄营养和摄食的溶解有机物维持营养需求,饵料对该阶段幼虫生长发育的影响较小<sup>[27]</sup>。第 4 天,金藻组壳长显著高于其余各组,且存活率也较好,说明金藻是小刀蛭幼虫的适宜开口饵料。总体来看,单一饵料投喂组中,投喂金藻组的生长速度、存活率和变态率均显著高于小球藻组和角毛藻组( $P < 0.05$ )。从国内外的研究来看,对于许多双壳贝类的早期幼体,金藻比小球藻和角毛藻的效果更好,例如金藻在魁蚶<sup>[28]</sup>、珠母贝<sup>[29]</sup>、太平洋牡蛎<sup>[30]</sup>的幼虫阶段都有着更好的培育效果。这是因为金藻的总脂含量远高于绿藻和硅藻(均高于 25%);并且相对于绿藻和硅藻,双壳贝类幼虫更易消化金藻纲的微藻<sup>[31]</sup>。因此,金藻是小刀蛭幼虫阶段的适宜饵料。混合投喂组幼虫在后期(第 8 天以后)具有明显的生长优势,并且变态率较单一投喂组高。一部分学者指出造成这种现象的原因为:各种微藻的营养成分不同,投喂单一饵料时,营养成分单一,而混合投喂时,各种饵料之间营养成分可以互补,使幼虫获得全面的营养,更有利于贝类幼虫的生长<sup>[31]</sup>。

## 4 结语

小刀蛭幼虫培育的最适盐度为 20~25,在 D 形幼虫至壳顶幼虫前期适宜的培育密度为 5 个/mL,在壳顶幼虫后期至匍匐幼虫适宜的培育密度为 1 个/mL;球等鞭金藻和小球藻 1:1 混合投喂能取得较好的效果。本研究初步确定了小刀蛭幼虫生长发育的适宜条件,为小刀蛭规模化人工育苗和增养殖提供了基础资料和理论指导。

## 参考文献:

- [1] 徐凤山. 中国海双壳类软体动物[M]. 北京: 科学出版社, 1997: 188.  
Xu F S. The Bivalvia Mollusca in China Seas [M]. Beijing: Science Press, 1997: 188.
- [2] 徐加涛, 徐国成, 许星鸿, 等. 小刀蛸软体部营养成分分析及评价[J]. 食品科学, 2013, 34(17): 263-267.  
Xu J T, Xu G C, Xu X H, et al. Analysis of nutritional composition of edible parts of *Cultellus attenuatus* Dunker[J]. Food Science, 2013, 34(17): 263-267.
- [3] Cui B L, Li X Y. Coastline change of the Yellow River estuary and its response to the sediment and runoff (1976—2005)[J]. Geomorphology, 2010, 127(1-2): 32-40.
- [4] Zhou H, Zhang Z N, Liu X S, et al. Decadal change in sublittoral macrofaunal biodiversity in the Bohai Sea, China[J]. Marine Pollution Bulletin, 2012, 64(11): 2364-2373.
- [5] 王志松, 董颖, 周泓, 等. 盐度对菲律宾蛤仔浮游幼体存活和生长的影响[J]. 水产科学, 2003(2): 12-14.  
Wang Z S, Dong Y, Zhou H, et al. The effect of salinity on growth and survival of (*Ruditapes philippinarum*) floating larva [J]. Fisheries Science, 2003(2): 12-14.
- [6] 王丹丽, 徐善良, 尤仲杰, 等. 温度和盐度对青蛤孵化及幼虫、稚贝存活与生长变态的影响[J]. 水生生物学报, 2005(5): 495-501.  
Wang D L, Xu S L, You Z J, et al. The effects of temperature and salinity on the incubation of *Cyclina sinensis* and survival, growth and metamorphosis of *C. Sinensis* larvae and juveniles[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2005(5): 495-501.
- [7] Mac Donald B A. Physiological energetics of Japanese scallop *Patinopecten yessoensis* larvae[J]. Journal of Experimental Marine Biology & Ecology, 120(2): 1-170.
- [8] 赵越, 王金海, 张丛尧, 等. 培育密度及饵料种类对四角蛤蜊幼虫生长、存活及变态的影响[J]. 水产科学, 2011, 30(3): 160-163.  
Zhao Y, Wang J H, Zhang C R, et al. Effects of stocking density and alga species on larval growth, survival and metamorphosis in sur clam *Mactra veneriformis*[J]. Fisheries Science, 2011, 30(3): 160-163.
- [9] 闫喜武, 赵生旭, 张澎, 等. 培育密度及饵料种类对大竹蛸幼虫生长、存活及变态的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2010, 25(5): 386-390.  
Yan X W, Zhao S X, Zhang P, et al. Effects of stocking density and alga species on larval growth, survival and metamorphosis in bamboo clam *Solen grandis*[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2010, 25(5): 386-390.
- [10] 曾国权, 方军, 贾守菊, 等. 小刀蛸群体内同工酶的生化遗传分析[J]. 水产科学, 2010, 29(11): 669-673.  
Zeng G Q, Fang J, Jia S J, et al. Biochemical genetic analysis of eight isozymes in intra-populations of razor clam *Cultellus attenuatus*[J]. Fisheries Science, 2010, 29(11): 669-673.
- [11] 王中霞, 孟晶, 陈树荣. 小刀蛸壳性状与活体质量、软体部重的相关分析[J]. 水产养殖, 2017, 38(10): 28-33.  
Wang Z X, Meng J, Chen S R. The correlation analysis of the morphological traits, the live body weight, and edible tissue weight of the *Cultellus attenuatus* [J]. Journal of Aquaculture, 2017, 38(10): 28-33.
- [12] 王亚. 小刀蛸性腺、胚胎及幼体发育研究[D]. 宁波: 宁波大学, 2012.  
Wang Y. Studies on Development of Gonads, Embryos and Youngs of *Phaxas attenuatus* (Bivalvia, Mollusca)[D]. Ningbo: Ningbo University, 2012.
- [13] 姜绪, 韦秀梅, 冯艳微, 等. 莱州湾海域小刀蛸(*Cultellus attenuatus*)繁殖生物学研究[J]. 渔业科学进展, 2017, 38(6): 107-111.  
Jang X, Wei X M, Feng Y W, et al. The reproductive biology of *Cultellus attenuatus* in the Laizhou Bay[J]. Progress in Fishery Sciences, 2017, 38(6): 107-111.
- [14] 于瑞海, 王永旺, 张哲, 等. 小刀蛸室内人工育苗技术研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2019, 49(9): 42-49.  
Yu R H, Wang Y W, Zhang Z, et al. Studies on artificial indoor breeding technique of *Cultellus attenuatus*[J]. Periodical of Ocean University of China, 2019, 49(9): 42-49.
- [15] De Bravo M I S, Chung K S, Perez J E. Salinity and temperature tolerances of the green and brown mussels, *Perna viridis* and *Perna perna* (Bivalvia: Mytilidae) [J]. Revista De Biología Tropical, 1998: 121-125.
- [16] O'Connor W A, Lawler N F. Salinity and temperature tolerance of embryos and juveniles of the pearl oyster, *Pinctada imbricata* Röding[J]. Aquaculture, 2004, 229(1): 493-506.
- [17] 包永波, 尤仲杰. 几种环境因子对海洋贝类幼虫生长的影响[J]. 水产科学, 2004(12): 39-41.  
Bao Y B, You Z J. Influence of several environmental factors on growth in marine shellfish larvae[J]. Fisheries Science, 2004(12): 39-41.
- [18] Verbrugge L N H, Schipper A M, Huijbregts M A J, et al. Sensitivity of native and non-native mollusc species to changing river water temperature and salinity[J]. Biological Invasions, 2012, 14(6): 1187-1199.
- [19] 刘志刚, 刘建勇, 王辉, 等. 墨西哥湾扇贝稚贝盐度适应性的研究[J]. 湛江海洋大学学报(自然科学), 2006(6): 12-16.  
Liu Z G, Liu J Y, Wang H, et al. Study on adaptability of juveniles of *Argopecten irradians concentricus* Say to salinity[J]. Journal of Zhanjiang Ocean University, 2006(6): 12-16.
- [20] 许岚, 李琪, 孔令锋, 等. 温度和盐度对壳黑长牡蛎幼虫生长和存活的影响[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2017, 47(8): 44-50.  
Xu L, Li Q, Kong L F, et al. Effects of temperature and salinity on growth and survival of larvae of black-shell pacific oyster (*Crassostrea gigas*)[J]. Periodical of Ocean University of China, 2017, 47(8): 44-50.
- [21] MacDonald B A. Physiological energetics of Japanese scallop *Patinopecten yessoensis* larvae[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1988, 120(2): 155-170.
- [22] Liu B Z, Dong B, Tang B J, et al. Effect of stocking density on growth, settlement and survival of clam larvae, *Meretrix meretrix*[J]. Aquaculture, 2006, 258(1-4): 344-349.
- [23] Marshall R, Pearce C M, McKinley R S. Interactive effects of stocking density and algal feed ration on growth, survival, and ingestion rate of larval geoduck clams[J]. North American Journal of Aquaculture, 2014, 76(3): 265-274.
- [24] 杨智鹏, 于红, 于瑞海, 等. 不同温度、盐度和培育密度对脉红螺浮游幼虫生长存活的影响[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2015, 45(11): 15-19.

- Yang Z P, Yu H, Yu R H, et al. Effects of temperature, salinity and stocking density on the growth and survival of veined rapa whelk (*Rapana venosa*) pelagic larvae[J]. Periodical of Ocean University of China, 2015, 45(11): 15-19.
- [25] Rico-Villa B, Pouvreau S, Robert R. Influence of food density and temperature on ingestion, growth and settlement of Pacific oyster larvae, *Crassostrea gigas*[J]. Aquaculture, 2009, 287(3): 395-401.
- [26] 蒋霞敏, 郑亦周. 14 种微藻总脂含量和脂肪酸组成研究[J]. 水生生物学报, 2003(3): 243-247.
- Jiang X M, Zheng Y Z. Total lipid and fatty acid composition of 14 species of microalgae[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2003(3): 243-247.
- [27] Marshall R, McKinley S, Pearce C M. Effects of nutrition on larval growth and survival in bivalves[J]. Reviews in Aquaculture, 2010, 2(1): 33-55.
- [28] 王庆志, 张明, 付成东, 等. 不同饲料和饥饿对魁蚶幼虫生长和存活的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(13): 3963-3969.
- Wang Q Z, Zhang M, Fu C D, et al. Effects of diet and starvation on growth and survival of *Scapharca broughtonii* larvae [J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(13): 3963-3969.
- [29] Martínez-Fernández E, Acosta-Salmón H, Southgate P C. The nutritional value of seven species of tropical microalgae for black-lip pearl oyster (*Pinctada margaritifera* L.) larvae[J]. Aquaculture, 2006, 257(1-4): 491-503.
- [30] 楼宝. 太平洋牡蛎面盘幼虫不同饲料的投喂比较[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2002(4): 374-377, 381.
- Lou B. Different bait feeding comparison for *Crassostrea gigas* Larvae [J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2002(4): 374-377, 381.
- [31] 陈自强, 寿鹿, 廖一波, 等. 微藻饵料对双壳贝类幼体生长影响的研究进展[J]. 科技通报, 2013, 29(7): 46-55, 67.
- Chen Z Q, Shou L, Liao Y B, et al. Advance in the effect of microalgal diets and nutritional value on the growth of early life stages of bivalves[J]. Bulletin of Science and Technology, 2013, 29(7): 46-55, 67.

## Effects of Salinity, Breeding Density and Unicellular Algae on Growth and Survival of Razor Clam (*Cultellus attenuatus*) Larva

Wang Yongwang, Yu Ruihai, Liu Yang, Li Haikun, Li Chunhua

(The Key Laboratory of Mariculture(Ocean University of China), Ministry of Education, Qingdao 266003, China)

**Abstract:** In this study, the effects of different salinities, breeding densities and unicellular algae on the growth, survival and metamorphosis of razor clam (*Cultellus attenuatus*) larvae were investigated. Results demonstrated that the larvae of *C. attenuatus* are tolerant to a wide range of salinities (15~30). However, their growth and survival were consistently inhibited by relatively low (10) and high (36) salinities. The salinities between 15 and 30 were suitable for the survival of *C. attenuatus* larvae, and salinities between 20 and 25 were suitable for the growth of *C. attenuatus* larvae, and the optimum salinity for growth ranged from 20 to 25. The larvae fed with mixed algae (*Isochrysis galbana* and *Chlorella vulgaris* at a ratio of 1 : 1) showed better performance than the larvae fed with single alga. The appropriate breeding density from D-shaped larvae to early umbo larvae was proved to be 5 ind./mL, and was 1 ind./mL for the larvae from the late umbo stage to the creeping stage. The results showed that the larvae had the best rearing effect when the salinity was 20 and 25; the cultivation density was 5 ind./mL in the early stage and 1 ind./mL in the late stage and feed was mixed algae.

**Key words:** *Cultellus attenuatus*; larva; salinity; unicellular alga; stocking density; growth; survival; metamorphosis

责任编辑 朱宝象