

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20240119002

http://www.yykxjz.cn/

高弋强, 许星鸿, 张磊, 魏迪, 崔志扬, 刘志鸿, 吴彪, 周丽青, 孙秀俊. 培育密度及饵料种类对菲律宾蛤仔幼虫生长和存活的影响. 渔业科学进展, 2025, 46(3): 90–97

GAO Y Q, XU X H, ZHANG L, WEI D, CUI Z Y, LIU Z H, WU B, ZHOU L Q, SUN X J. Effects of stocking density and diets on growth, survival, settlement and metamorphosis of *Ruditapes philippinarum* larvae. Progress in Fishery Sciences, 2025, 46(3): 90–97

培育密度及饵料种类对菲律宾蛤仔 幼虫生长和存活的影响*

高弋强^{1,2,3} 许星鸿² 张磊^{1,2,3} 魏迪^{1,3,4} 崔志扬^{1,3,4}
刘志鸿^{1,3} 吴彪^{1,3} 周丽青^{1,3} 孙秀俊^{1,3①}

(1. 海水养殖生物育种与可持续产出全国重点实验室(中国水产科学研究院黄海水产研究所) 山东 青岛 266071;
2. 江苏海洋大学海洋科学与水产学院 江苏 连云港 222005; 3. 青岛海洋科技中心海洋渔业科学与食物产出
过程功能实验室 山东 青岛 266237; 4. 中国海洋大学水产学院 山东 青岛 266003)

摘要 为了探究菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)人工苗种规模化繁育的最适条件,本研究分析了不同培育密度及饵料对菲律宾蛤仔幼虫生长、存活和附着变态的影响。本研究设置4个培育密度(5、10、15、20个/mL)、4种饵料[A组金藻(*Isochrysis galbana*)、B组角毛藻(*Chaetoceros* sp.)、C组金藻+角毛藻1:2、D组金藻+角毛藻2:1],分别在第3、9、18、27天测量幼虫壳长并统计存活率,在第27天统计幼虫附着变态率。结果显示,在幼虫生长方面,第3天,饵料A组幼虫壳长 $[(0.968\pm0.002)\text{ mm}]$ 最大,显著高于饵料B组和C组($P<0.05$)。10个/mL密度组的壳长 $[(0.102\pm0.013)\text{ mm}]$ 最大,且显著高于其他密度组($P<0.05$)。在存活率方面,第18天,饵料A组的存活率(26.67%)最低,显著低于其余各组。饵料C组和D组的存活率无显著差异,但两组存活率均显著高于饵料A组和B组。10个/mL密度组前18 d存活率显著高于其他组,第27天与15个/mL密度组差异不显著。在附着变态方面,混合饵料C、D两组均显著高于饵料A组和B组。15个/mL密度组的幼虫附着变态率(17.38%)最高。研究结果表明,幼虫开口(D形幼虫初期)投喂金藻的存活率最高,投喂混合饵料生长快、变态率最高,幼虫密度控制在10~15个/mL为最佳。综上所述,在菲律宾蛤仔人工育苗过程中,幼虫密度控制在10~15个/mL,开口投喂金藻,开口后投喂混合饵料最适宜幼虫的生长发育和附着变态。本研究结果不仅为菲律宾蛤仔幼虫生长发育的影响因子研究提供了科学依据,而且对于提高单位水体出苗量及苗种稳定生产具有重要的指导意义和应用价值。

关键词 菲律宾蛤仔; 幼虫; 密度; 饵料; 生长; 存活; 附着变态

中图分类号 S968.3 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2025)03-0090-08

培育密度及饵料种类是影响贝类幼虫生长、存活、变态的关键因素之一。探究贝类幼虫生长发育适宜的

* 国家自然科学基金(32273107)、崂山实验室科技创新项目(LSKJ202203803)、中国水产科学研究院黄海水产研究所基本科研业务费(20603022022001)、青岛市市南区科技计划(2022-2-026-ZH)和莆田市科技计划(2021NJ002)共同资助。

高弋强, Email: gaoyiqiang8@163.com

① 通信作者: 孙秀俊, 研究员, Email: xjsun@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2024-01-19, 收修改稿日期: 2024-05-05

培育密度和饵料种类,对贝类规模化人工苗种繁育尤为重要。目前,国内外关于培育密度、饵料种类影响贝类幼虫生长、存活和变态的研究已有报道。例如,小刀蛭幼虫(*Cultellus attenuatus*)生长发育过程中投喂球等鞭金藻(*Isochrysis galbana*)和小球藻(*Chlorella vulgaris*)的1:1混合藻液,取得了较好的效果(王永旺等, 2022)。长牡蛎(*Crassostrea gigas*)在D形幼虫时期的最适培育密度为15个/mL,而在壳顶幼虫和眼点幼虫时期,其最适培育密度为7个/mL(种金豆等, 2019)。大竹蛭幼虫(*Solen grandis*)浮游前期单独投喂金藻效果最好,后期混合投喂效果较好(闫喜武等, 2010)。通过比较不同饵料种类对泥蚶(*Tegillarca granosa*)、缢蛭(*Sinonovacula constricta*)、青蛤(*Cyclina sinensis*)和彩虹明樱蛤(*Moerella iridescens*)等滩涂贝类稚贝生长和存活的影响,结果发现,投喂角毛藻(*Chaetoceros* sp.)的泥蚶、缢蛭、青蛤和彩虹明樱蛤,其稚贝滤食速度快、生长迅速、成活率高,证实饵料种类对滩涂贝类生长和成活有重要影响(朱雨瑞等, 2010)。因此,研究培育密度、饵料种类对贝类幼虫生长、存活及附着变态的影响,对于贝类苗种培育及规模化生产具有指导意义及应用价值。

菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)是广温、广盐、广分布的海产双壳贝类,主要生活在滩涂、浅海区域,在我国北至辽宁南至南海均有分布,是一种适合于人工高密度养殖的滩涂贝类,也是中国四大养殖贝类之一(林位琅等, 2022)。菲律宾蛤仔肉质细嫩鲜美、营养丰富,是深受国内外消费者喜爱的大宗海产品(梁腾等, 2022; 王松林等, 2023)。近年来,随着菲律宾蛤仔养殖规模的不断扩大,人工苗种的需求也不断增大。与其他双壳贝类幼虫培育过程相似,密度和饵料是影响菲律宾蛤仔幼虫生长、存活及附着变态的关键因素。在菲律宾蛤仔的人工育苗过程中,培育密度过高,会引起培育水体氨氮升高,导致幼虫大规模死亡,而培育密度过低会增加生产成本,降低单位水体的出苗量;不同的饵料种类同样会影响幼虫生长、存活及附着变态过程,与苗种的稳定生产密切相关(齐秋贞, 1987; 江双林等, 2009; 林位琅等, 2022)。目前,关于菲律宾蛤仔幼虫生长发育的环境因子研究主要集中在温度、盐度和低氧等方面(周红等, 2023; 杨东敏等, 2017; 聂鸿涛等, 2017; Liu et al, 2010),而有关培育密度和饵料种类影响幼虫生长、存活及附着变态等方面的研究鲜有报道。因此,获得培育菲律宾蛤仔幼虫最适宜的密度和饵料,对于蛤仔苗种的稳定生产和单位水体出苗量的提高具有重要的应用意义。

本研究以菲律宾蛤仔幼虫为研究对象,通过设置不同的培育密度和饵料种类,分析幼虫在不同发育时期的生长规律,统计幼虫在不同阶段的存活率及附着变态率,确定幼虫生长和存活的最适培育密度和饵料种类,探讨培育密度和饵料种类对幼虫附着变态的影响,以为菲律宾蛤仔的规模化繁育及苗种生产提供理论参考和科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验于2023年5月在福建中灵农业发展有限公司南通基地育苗场进行。实验用水泥池规格为6.0 m×6.0 m×1.2 m,实验用桶规格为50 L。实验用水为海区海水经2次沙滤、曝气、沉淀,并用300目筛绢过滤,盐度为23~28,温度为19~22℃。菲律宾蛤仔亲本从莱州湾海区采集,挑选壳面无损伤、性腺发育良好的个体作为亲贝。亲贝经干露、流水刺激等方法诱导产卵、排精。精、卵在海水中受精,24 h后发育为D形幼虫,用300目筛绢收集D形幼虫作为实验材料。

1.2 实验设计

单胞藻饵料来源于育苗厂的二级藻类培养池,金藻和角毛藻密度均为300万个/mL。饵料实验设置4个实验组,分别为饵料A组金藻、饵料B组角毛藻、饵料C组金藻和角毛藻体积比1:2混合饵料和饵料D组金藻和角毛藻体积比2:1混合饵料,各组均设3个重复组。每天投饵2次,饵料实验组幼虫密度为15个/mL,每次各组投饵量相同。培育密度实验设置4个密度,分别为5、10、15和20个/mL。密度实验组开口投喂金藻,开口后投喂金藻和角毛藻体积比1:2混合饵料,以5个/mL密度组的投饵量为准,其他密度组根据密度倍数,成倍投饵。投饵量根据幼虫摄食情况及时调整。每天换水1次,换水量为1/2,每2 d倒池、消毒1次。

实验过程中,第3、9、18、27天各测量一次幼虫的壳长和存活率,存活率为相同体积内存活幼虫个数与初始幼虫个数的百分比(存活率=存活个数÷初始幼虫数×100%),壳长为每个实验组随机选取30个幼虫壳长的平均值。

1.3 数据处理

实验数据采用SPSS 27.0软件进行单因素方差分析(one-way ANOVA)比较培育密度和饵料种类对菲律宾蛤仔幼虫生长、存活和附着变态的影响,利用

LSD 多重比较检测各饵料组之间的差异。显著水平设置为 $P < 0.05$ 。使用 GraphPad Prism (版本 9.5.0) 软件绘图。

2 结果

2.1 不同培育密度对菲律宾蛤仔幼虫生长、存活和附着变态的影响

如图 1 所示, 第 3 天, 10 个/mL 密度组的壳长 $[(0.102 \pm 0.013) \text{ mm}]$ 最大, 且显著高于 5、15、20 个/mL 密度组, 5、15 和 20 个/mL 密度组之间差异不显著 ($P > 0.05$)。第 9 天, 15 个/mL 密度组壳长达到 $(0.128 \pm 0.001) \text{ mm}$, 壳长仅次于 10 个/mL 密度组, 且显著高于 5 个/mL 和 20 个/mL 密度组。第 18 天, 10 个/mL 密度组壳长 $[(0.186 \pm 0.002) \text{ mm}]$ 显著高于其他密度组, 密度 15 个/mL 组壳长 $[(0.172 \pm 0.001) \text{ mm}]$ 显著高于密度 5 个/mL 和 20 个/mL 组, 5 个/mL 和 20 个/mL 密度组壳长差异不显著 ($P > 0.05$)。第 27 天, 10 个/mL 密度组壳长 $[(0.262 \pm 0.001) \text{ mm}]$ 最大, 显著高于其余各组。

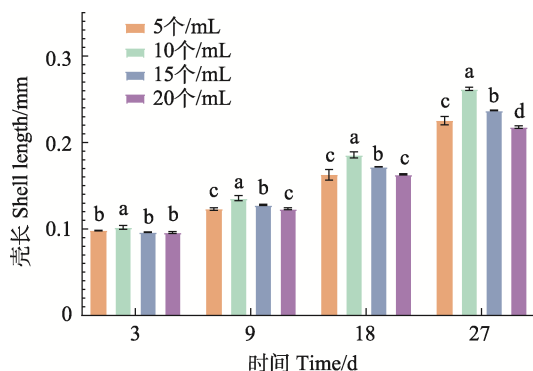


图 1 不同培育密度下菲律宾蛤仔幼虫的平均壳长
Fig.1 The average shell length of *R. philippinarum* larvae at different culture densities

相同字母代表不同组间差异不显著; 不同字母代表不同组间差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

The same letter means that the difference is not significant, and different letters means that the difference is significant ($P < 0.05$). The same below.

密度对菲律宾蛤仔幼虫存活率的影响如图 2 所示, 在第 3 天, 10 个/mL 密度组的存活率 (91.67%) 最高, 且显著高于 5、15 和 20 个/mL 密度组, 20 个/mL 密度组存活率 (70%) 最低, 显著低于其他密度组。第 9 天, 10 个/mL 密度组存活率 (66.67%) 最高, 显著高于其他组, 15 个/mL 密度组存活率 (55.55%) 次之。第 18 天, 10 个/mL 密度组存活率显著高于其余组 ($P <$

0.05)。第 27 天, 10 个/mL 密度组存活率与 15 个/mL 密度组无显著差异 ($P > 0.05$), 且均显著高于 5 个/mL 和 20 个/mL 密度组 ($P < 0.05$)。

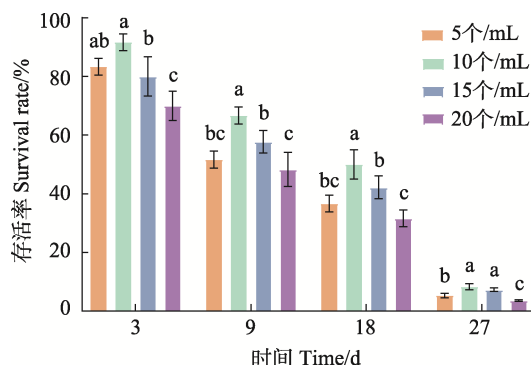


图 2 不同培育密度下菲律宾蛤仔幼虫的存活率
Fig.2 The survival rates of *R. philippinarum* larvae at different culture densities

由图 3 可见, 15 个/mL 密度组附着变态率 (17.38%) 最高。10 个/mL 密度组 (16.65%) 次之, 密度 15 个/mL 和 10 个/mL 组差异不显著 ($P > 0.05$), 但两组均显著高于 5 个/mL 和 20 个/mL 密度组。5 个/mL 密度组附着变态率为 (14.52%), 20 个/mL 密度组附着变态率 (11.59%) 最低, 且显著低于密度 5、10 和 15 个/mL 组。

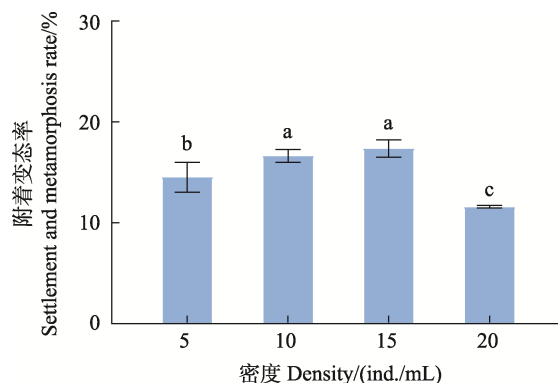


图 3 不同培育密度下菲律宾蛤仔幼虫的附着变态率
Fig.3 The settlement and metamorphosis rates of *R. philippinarum* larvae at different culture densities

2.2 不同饵料种类对菲律宾蛤仔幼虫生长、存活和附着变态的影响

饵料实验表明, 第 3 天, 饵料 A (金藻) 组壳长 $[(0.968 \pm 0.002) \text{ mm}]$ 最大, 与饵料 D (金藻+角毛藻比例 2 : 1) 组之间壳长差异不显著 ($P > 0.05$), 但与饵料 B (角毛藻) 组、饵料 C (金藻+角毛藻比例 1 : 2) 组壳长差异显著 ($P < 0.05$)。第 9 天, 饵料 C 和 D 组之间壳长差异不显著 ($P > 0.05$), 其中, D 组壳长 $[(0.110 \pm 0.017) \text{ mm}]$ 最大, A 组壳长 $[(0.104 \pm 0.001) \text{ mm}]$ 最小。第 18 天, 饵料 C

组壳长最大, 显著高于其余各组, 壳长达到 (0.181 ± 0.007) mm。饵料 D 组壳长 $[(0.174 \pm 0.004)$ mm] 次之, 且显著高于饵料 A 和 B 组。第 27 天, 饵料 C 组壳长显著高于其他饵料组, 壳长达到 (0.281 ± 0.007) mm (图 4)。

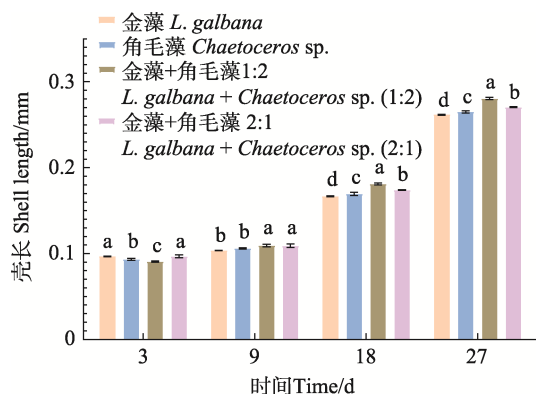


图 4 不同饵料组菲律宾蛤仔幼虫的壳长

Fig.4 The average shell length of *R. philippinarum* larvae fed with different diets

饵料对菲律宾蛤仔幼虫存活率的影响如图 5 所示, 在第 3 天, 饵料 B 组存活率(71.11%)最低, 显著低于饵料 A 组、C 组和 D 组。第 9 天, 饵料 C 组和 D 组存活率无显著差异($P > 0.05$), 但显著高于饵料 A 组和 B 组。第 18 天, 饵料 A 组存活率(26.67%)最低, 饵料 C 组和 D 组存活率无显著差异($P > 0.05$)。第 27 天, 饵料 C 组存活率(8.11%)最高, 与 D 组(7.89%)无差异, 但均高于 A 组和 B 组, 且有显著差异($P < 0.05$)。

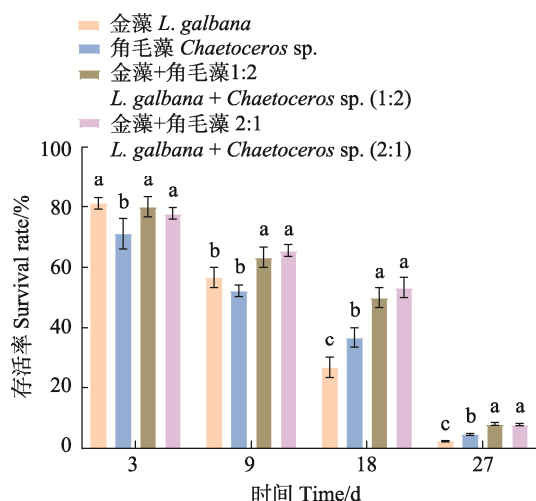


图 5 不同饵料下菲律宾蛤仔幼虫的存活率

Fig.5 The survival rates of *R. philippinarum* larvae fed with different diets

由图 6 可见, 饵料 C 组附着变态率最高, 达到 16.22%, 显著高于饵料 A 组和 B 组($P < 0.05$), 但与饵

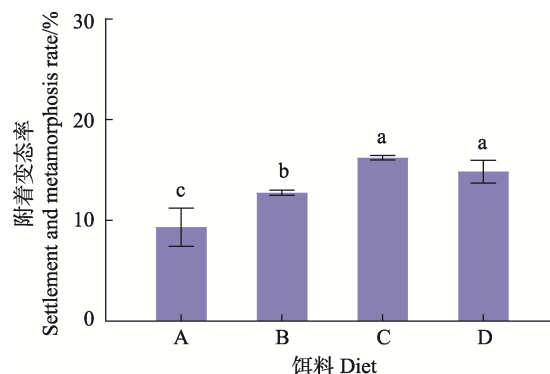


图 6 不同饵料下菲律宾蛤仔幼虫的附着变态率

Fig.6 The settlement and metamorphosis rates of *R. philippinarum* larvae fed with different diets

A: 金藻; B: 角毛藻; C: 金藻+角毛藻 1:2;

D: 金藻+角毛藻 2:1。

A: *L. galbana*; B: *Chaetoceros* sp.; C: *L. galbana* + *Chaetoceros* sp. (1:2); D: *L. galbana* + *Chaetoceros* sp. (2:1).

料 D 组间差异不显著($P > 0.05$)。D 组次之, 变态率为 14.83%。B 组变态率为 12.74%。A 组变态率最低, 仅为 9.32%, 变态率显著低于其余各组($P < 0.05$)。

3 讨论

3.1 培育密度对菲律宾蛤仔幼虫生长、存活和附着变态的影响

幼虫培育密度是影响双壳贝类人工育苗的重要因素之一。幼虫培育密度低会造成水体利用率低、单位水体出苗量低等, 直接影响育苗场的经济效益; 培育密度过高又会导致水体中代谢物增加, 贝类幼虫个体间竞争加剧, 导致幼虫生长发育、存活和附着变态受到一定程度的负面影响(MacDonald *et al*, 1988; Marshall *et al*, 2014)。因此, 适宜的培育密度对提高贝类苗种生产的稳定性和单位水体的出苗量都至关重要。大量研究结果显示, 培育密度对贝类幼虫的生长、存活和附着变态都具有显著的影响。例如, 小刀蛭幼虫的最适密度为 5 个/mL, 当培育密度达到 8 个/mL 或 12 个/mL 时, 幼虫生长缓慢, 死亡率上升(王永旺等, 2022)。偏顶蛤稚贝(*Modiolus modiolus*)不同密度实验中, 高培育密度组(40 万枚/ m^2)平均日生长最低仅有 3.8 μm , 培育密度越大, 存活率越低(王超等, 2016)。在文蛤(*Meretrix petechialis*)的培育密度实验研究中发现, 随着文蛤幼虫培育密度的增加, 幼虫的附着变态会出现明显的延迟现象(Marshall *et al*, 2014)。另外, 毛蚶(*Scapharca subcrenata*)幼虫培育密度研究发现, 增加幼虫培育密度会直接导致毛蚶幼虫的变态延迟、变态率下降(高霄龙等, 2016)。大珠母贝

(*Pinctada maxima*)幼虫生长率与成活率随着密度增加而降低,培育密度对变态率和幼苗生长存在显著影响(梁飞龙等, 2017)。这种现象的主要原因可能是幼虫对饵料和水体空间的竞争。随着幼虫密度的增加,幼虫摄食竞争加剧,进而导致生长速率下降、死亡率上升(Avila *et al*, 1997)。有研究表明,过高的培育密度会造成水体中代谢废物和氨氮含量增高,导致贝类幼虫培育水体的水质恶化,进而导致幼虫大规模死亡(Doroudi *et al*, 2000)。例如,长牡蛎在高培育密度(15 个/mL)下的幼虫存活率最低(11.43%);珠母贝幼虫的适宜培育密度为 10~20 个/mL,密度过高会导致死亡率明显升高(Liu *et al*, 2006)。相似的研究结论在象拔蚌(*Panopea generosa*)(Wang *et al*, 1991)、毛蚶(Doroudi *et al*, 2000)等贝类中也有报道。本研究结果表明,菲律宾蛤仔幼虫培育密度为 10 个/mL 时,幼虫生长最快、存活率最高,15 个/mL 密度组幼虫附着变态率最高,而高密度(20 个/mL)会导致菲律宾蛤仔幼虫生长缓慢,存活率和附着变态率显著下降。这可能是由于幼虫培育密度过高,摄食竞争加剧,代谢废物和氨氮含量增高。因此,在幼虫培育过程中,幼虫密度控制在 10~15 个/mL 之间,对于菲律宾蛤仔苗种稳定生产及提高单位水体出苗量具有重要的应用意义。

3.2 不同饵料对菲律宾蛤仔幼虫生长、存活和附着变态的影响

不论是贝类的自然分布海域,还是贝类的人工苗种培育,饵料都是影响贝类幼虫生长发育的重要环境因子。在海洋生态系统中,单胞藻是海洋贝类幼虫的主要天然饵料,金藻和角毛藻等单胞藻是广泛用于贝类人工苗种培育的主要饵料(严俊贤等, 2018)。本研究结果表明,金藻适宜作为菲律宾蛤仔幼虫的开口饵料,这一结果与小刀蛭幼虫培育的适宜开口饵料为金藻的结果一致(王永旺等, 2022)。从国内外的研究来看,对于许多双壳贝类的发育早期,投喂金藻比小球藻和角毛藻的效果更好。例如,研究发现,在魁蚶(*Scapharca broughtonii*) (王庆志等, 2013)、珠母贝(Martínez-Fernández *et al*, 2006)和太平洋牡蛎(*Crassostrea gigas*) (楼宝, 2002)等贝类幼虫早期阶段,投喂金藻的幼虫生长快、发育良好,这也与本研究结果一致。因此,在贝类幼虫发育早期,最宜用金藻作为开口饵料。

本研究发现,菲律宾蛤仔幼虫培育过程中,投喂金藻和角毛藻混合饵料,与单一藻投喂组相比,幼虫的生长发育更快、变态率更高,在幼虫发育后期具有明显的生长优势。研究表明,造成这种现象的原因可

能是各种单胞藻的营养成分不同,投喂单一饵料导致营养缺乏,造成幼虫营养不良,而投喂混合饵料时,各种饵料营养成分可以互补,使幼虫获得更全面的营养,满足其生长发育的需要,更有利于贝类幼虫的附着变态(种金豆等, 2019)。赵越等(2011)研究表明,在培育四角蛤蜊(*Macra veneriformis*)幼虫期间,投喂金藻和小球藻混合饵料较单一饵料的效果更好。在对大竹蛭幼虫饵料实验的研究中发现,投喂混合饵料相较于其他单一饵料,幼虫具有生长快、存活率高和附着变态率高等方面的显著优势(闫喜武等, 2010)。这与本研究中菲律宾蛤仔幼虫饵料实验的结果一致,表明幼虫开口后投喂混合饵料对其后期的生长发育效果更好,尤其是有助于提高幼虫附着变态的成功率。

4 结 论

本研究分析了不同饵料和培育密度对菲律宾蛤仔幼虫生长、存活及附着变态的影响。结果显示,金藻投喂组在第 3 天幼虫存活率最高,但后期混合饵料投喂组的幼虫存活率更高、生长速度更快。在培育密度为 10~15 个/mL 时,幼虫生长速度最快、成活率和附着变态率最高。因此,在菲律宾蛤仔幼虫培育过程中,开口投喂金藻,开口后投混合饵料,幼虫密度控制在 10~15 个/mL,是幼虫最适宜的培育条件。本研究结果不仅为选择菲律宾蛤仔幼虫生长发育适宜的环境因子提供了必要的科学依据,而且对于提高单位水体出苗量及苗种稳定生产具有重要的指导意义和应用价值。

参 考 文 献

- AVILA C, GRENIER S, TAMSE C T, *et al*. Biological factors affecting larval growth in the nudibranch mollusc *Hermisenda crassicornis* (Eschscholtz, 1831). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1997, 218(2): 243–262
- DOROUDI M S, SOUTHGATE P C. The influence of algal ration and larval density on growth and survival of blacklip pearl oyster *Pinctada margaritifera* (L.) larvae. *Aquaculture Research*, 2000, 31(8/9): 621–626
- GAO X L, LI L, KONG L F, *et al*. Effect of stocking density on growth and survival of bloody clam (*Scapharca subcrenata*) larvae. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2016, 23(1): 233–240 [高霄龙, 李莉, 孔令锋, 等. 养殖密度对毛蚶幼虫生长及存活的影响. *中国水产科学*, 2016, 23(1): 233–240]
- JIANG S L, ZHAO C M, WANG Y H, *et al*. Effects of water temperature, shell length and the concentration of algae

- on the ingestion rate of *Ruditapes philippinarum*. Progress in Fishery Sciences, 2009, 30(4): 78–83 [江双林, 赵从明, 王彦怀, 等. 菲律宾蛤仔摄食率与温度、壳长和饵料浓度的关系. 渔业科学进展, 2009, 30(4): 78–83]
- LIANG F L, WANG Q G, DENG Y W, *et al.* Effects of stocking density on hatching, growth, survival and metamorphosis at larval stages of pearl oyster *Pinctada maxima*. Transactions of Oceanology and Limnology, 2017, 39(6): 75–81 [梁飞龙, 王钦贵, 邓岳文, 等. 培育密度对大珠母贝受精卵的孵化率及不同期幼虫生长率、成活率与变态率的影响. 海洋湖沼通报, 2017, 39(6): 75–81]
- LIANG T, LI J L, MA B, *et al.* Family establishment and estimation of genetic parameters of growth traits of “Laizhou Red” strain in Manila clam *Ruditapes philippinarum*. Journal of Dalian Ocean University, 2022, 37(2): 258–267 [梁腾, 李金龙, 马斌, 等. “莱州红”菲律宾蛤仔家系建立及生长性状遗传参数估计. 大连海洋大学学报, 2022, 37(2): 258–267]
- LIN W L, LIAN C Y, CHEN Z, *et al.* Report on the development of *Ruditapes philippinarum* industry in Fujian. China Fisheries, 2022(11): 50–53 [林位琅, 连晨阳, 陈志, 等. 福建菲律宾蛤仔产业发展报告. 中国水产, 2022(11): 50–53]
- LIU B Z, DONG B, TANG B J, *et al.* Effect of stocking density on growth, settlement and survival of clam larvae, *Meretrix meretrix*. Aquaculture, 2006, 258(1/2/3/4): 344–349
- LIU W, GURNEY-SMITH H, BEERENS A, *et al.* Effects of stocking density, algal density, and temperature on growth and survival of larvae of the basket cockle, *Clinocardium nuttallii*. Aquaculture, 2010, 299(1/2/3/4): 99–105
- LOU B. Different bait feeding comparison for *Crassostrea gigas* larvae. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2002, 21(4): 374–377, 381 [楼宝. 太平洋牡蛎面盘幼虫不同饵料的投喂比较. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2002, 21(4): 374–377, 381]
- MACDONALD B A. Physiological energetics of Japanese scallop *Patinopecten yessoensis* larvae. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1988, 120(2): 155–170
- 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. North American Journal of Aquaculture, 2014, 76(3): 265–274
- 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. Aquaculture, 2006, 257(1/2/3/4): 491–503
- NIE H T, HUO Z M, HOU X L, *et al.* Comparison study on the effect of temperature and salinity on oxygen consumption and ammonia excretion in zebra strain and wild *Ruditapes philippinarum*. Acta Hydrobiologica Sinica, 2017, 41(1): 121–126 [聂鸿涛, 霍忠明, 侯晓琳, 等. 温度和盐度突变对菲律宾蛤仔斑马蛤耗氧率和排氨率的影响. 水生生物学报, 2017, 41(1): 121–126]
- WANG C, LI S L, LIU Z Y, *et al.* Effect of stocking density on the growth and survival of clam larvae *Modiolus modiolus*. Hebei Fisheries, 2016(5): 12–13, 57 [王超, 李石磊, 刘忠颖, 等. 偏顶蛤稚贝期不同培育密度对生长与成活率的影响. 河北渔业, 2016(5): 12–13, 57]
- WANG Q Z, ZHANG M, FU C D, *et al.* Effects of diet and starvation on growth and survival of *Scapharca broughtonii* larvae. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(13): 3963–3969 [王庆志, 张明, 付成东, 等. 不同饵料和饥饿对魁蚶幼虫生长和存活的影响. 生态学报, 2013, 33(13): 3963–3969]
- WANG S L, XU X H, TU K, *et al.* Effects of shell morphology on the weight traits of Manila clam (*Ruditapes philippinarum*) from different geographical populations. Progress in Fishery Sciences, 2023, 44(6): 142–154 [王松林, 许星鸿, 涂康, 等. 不同地理群体菲律宾蛤仔壳形态对体重性状的影响研究. 渔业科学进展, 2023, 44(6): 142–154]
- WANG W X, WIDDOWS J. Physiological responses of mussel larvae *Mytilus edulis* to environmental hypoxia and anoxia. Marine Ecology Progress Series, 1991, 70: 223–236
- WANG Y W, YU R H, LIU Y, *et al.* Effects of salinity, breeding density and unicellular algae on growth and survival of razor clam (*Cultellus attenuatus*) larva. Periodical of Ocean University of China, 2022, 52(S1): 20–27 [王永旺, 于瑞海, 刘洋, 等. 不同盐度、密度及单胞藻对小刀蛸幼虫生长、存活的影响. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2022, 52(S1): 20–27]
- YAN J X, WU K C, DENG Z H, *et al.* Effects of alone and combined microalgae and marine yeasts on growth and survival of larval long rib solar moon shell *Amusium pleuronectes*. Fisheries Science, 2018, 37(6): 756–761 [严俊贤, 吴开畅, 邓正华, 等. 单胞藻与酵母单独或搭配投喂对长肋日月贝浮游幼虫的生长和成活影响. 水产科学, 2018, 37(6): 756–761]
- 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*. Journal of Dalian Ocean University, 2010, 25(5): 386–390 [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. 大连海洋大学学报, 2010, 25(5): 386–390]
- YANG D M, ZHANG Y L, DING J F, *et al.* Synergistic

- effects of high temperature and low salinity on immunity of Manila clam *Ruditapes philippinarum*. Journal of Dalian Ocean University, 2017, 32(3): 302–309 [杨东敏, 张艳丽, 丁鉴锋, 等. 高温、低盐对菲律宾蛤仔免疫能力的影响. 大连海洋大学学报, 2017, 32(3): 302–309]
- ZHAO Y, WANG J H, ZHANG C Y, *et al.* Effects of stocking density and *Alga* species on larval growth, survival and metamorphosis in surf clam *Macra veneriformis*. Fisheries Science, 2011, 30(3): 160–163 [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. 水产科学, 2011, 30(3): 160–163]
- CHONG J D, LI Q, WANG T. Effects of stocking density and algal ration on growth, survival and settlement of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) black shell line larvae. Periodical of Ocean University of China, 2019, 49(2): 21–29 [种金豆, 李琪, 王涛. 培育密度和投饵量对长牡蛎壳黑选育品系幼虫生长存活及附着变态的影响. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2019, 49(2): 21–29]
- ZHOU H, GU J, ZHU X Y, *et al.* Synergistic stress of salinity and nitrite on metabolism of “Zebra 2” and Putian population of Manila clam (*Ruditapes philippinarum*). Journal of Dalian Ocean University, 2023, 38(4): 630–636 [周红, 谷晶, 朱弦一, 等. 盐度和亚硝酸盐氮胁迫对菲律宾蛤仔“斑马蛤 2 号”和莆田群体代谢的影响. 大连海洋大学学报, 2023, 38(4): 630–636]
- ZHU Y R, XU J L, YAN X J. Effects of five marine microalgae on the growth of four juvenile intertidal shellfishes. Journal of Marine Sciences, 2010, 28(3): 60–66 [朱雨瑞, 徐继林, 严小军. 5 种微藻对 4 种滩涂贝类稚贝生长的影响. 海洋学研究, 2010, 28(3): 60–66]

(编辑 马瑾艳)

Effects of Stocking Density and Diets on Growth, Survival, Settlement and Metamorphosis of *Ruditapes philippinarum* Larvae

GAO Yiqiang^{1,2,3}, XU Xinghong², ZHANG Lei^{1,2,3}, WEI Di^{1,3,4}, CUI Zhiyang^{1,3,4},
LIU Zhihong^{1,3}, WU Biao^{1,3}, ZHOU Liqing^{1,3}, SUN Xiujun^{1,3①}

(1. State Key Laboratory of Mariculture Biobreeding and Sustainable Goods, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Marine Science and Fisheries College, Jiangsu Ocean University, Lianyungang 222005, China; 3. Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Qingdao Marine Science and Technology Center, Qingdao 266237, China; 4. Fisheries College, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Abstract To explore optimal large-scale breeding conditions of artificial Manila clam (*Ruditapes philippinarum*) seedlings, the effects of different stocking density and diet species on the growth, survival, and attachment metamorphosis of *R. philippinarum* larvae were investigated. Four cultivation density gradients (5, 10, 15 and 20 ind./mL) and four groups of diets (Group A *Lsochrysis galbana*, Group B *Chaetoceros* sp., Group C *Lsochrysis galbana* + *Chaetoceros* sp. 1:2, Group D *Lsochrysis galbana* + *Chaetoceros* sp. 2:1) were set up. The larval shell length and survival rates were measured on the 3rd, 9th, 18th, and 27th days. The larval settlement and metamorphosis rates were evaluated on the 27th day. The results indicated that the larval shell length of (0.968±0.002) mm in diet group A was the largest on day 3. The shell length of (0.102±0.013) mm in the medium density group (10 ind./mL) was the largest, which was significantly higher than that of other density groups ($P<0.05$). The survival rate of bait group A (26.67%) on the 18th day was the lowest, which was significantly lower than that of the other groups. There was no significant difference in the survival rates between group C and group D, but the survival rates of group C and group B were significantly higher than those of group A and group B. There was no significant difference in the survival rate between the density groups of 5 ind./mL and 20 ind./mL; however, they were significantly lower than those of density groups of 10 and 15 ind./mL. In terms of

① Corresponding author: SUN Xiujun, Email: xjsun@ysfri.ac.cn

settlement and metamorphosis, the mixed diets groups of C and D were significantly higher than those of diet groups of A and B. The density group of 15 ind./mL had the highest settlement and metamorphosis rate (17.38%), followed by 16.65% in density group of 10 ind./mL. For larval settlement and metamorphosis rates, there was no significant difference between density groups of 15 and 10 ind./mL, but significantly higher than those in density groups of 5 and 20 ind./mL. The results showed that larvae fed at early opening with *Lsochrysis galbana* had the highest survival rate, and larvae fed with the mixed diets showed the highest growth and metamorphosis rates. Therefore, the culture density of larvae should be maintained between 10–15 ind./mL. In summary, artificial seedling rearing of *R. philippinarum*, larval density should be maintained at 10–15 ind./mL. To obtain the most suitable condition for larval growth and survival, a *Lsochrysis galbana* diet should be selected for the early development stage and mixed diets should be adopted for the late development stage. These results provide the necessary scientific basis for the environmental factors of *R. philippinarum* larval growth and development and have important guiding significance and application value for improving the seed yield per water unit and stable production of seedlings of clams.

Key words *Ruditapes philippinarum*; Larva; Stocking density; Algal diets; Growth; Survival; Settlement and metamorphosis