

钝缟锦蛤规模化人工育苗技术研究

张柯馨¹, 罗泽鑫¹, 张元¹, 展建强¹, 卢怡凝¹, 刘志刚^{1,2}

1. 广东海洋大学水产学院, 广东 湛江 524088

2. 广东省海产无脊椎动物科技创新中心, 广东 湛江 524088

摘要: 基于钝缟锦蛤 (*Tapes dorsatus*) 规模化养殖面临的种苗供应问题, 采用单因素对比实验法, 开展了钝缟锦蛤苗种繁育关键技术研究, 为其种苗大规模培育提供参考。结果表明: 1) 在人工控温条件下, 采用虾塘复合藻代替纯种单胞藻对亲本进行促熟, 促熟率比对照组提高了282.6%。2) 通过升温加阴干诱导等一系列措施进行催产, 亲贝催产率比对照组提高了50.9%。3) 通过添加益生菌构建有益微生态系统, 育苗期间不换水, 幼虫浮游期成活率、生长速度和稚贝育成率等指标均显著高于对照组。4) 采用立体采苗器结合池底进行立体附苗, 稚贝育成率和单位面积产量分别提高了76.6%和76.5%。5) 按体质量5%上选的亲贝作为选育组, 稚贝的壳长、体质量和稚贝育成率分别比对照组提高了6.67%、17.03%和8.43%; 壳长和体质量变异系数分别降低了29.13%和55.29%; 稚贝期壳长和体质量的现实遗传力“ h^2 ”分别达到0.65和0.72。采用研究建立的集成创新技术进行钝缟锦蛤人工育苗, 可获得显著的经济效益, 为实现种苗的规模化生产奠定了基础。

关键词: 钝缟锦蛤; 封闭式育苗; 选育; 立体采苗

中图分类号: S 917.4

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Study on large-scale artificial seedling breeding technology of *Tapes dorsatus*

ZHANG Kexin¹, LUO Zexin¹, ZHANG Yuan¹, ZHAN Jianqiang¹, LU Yining¹, LIU Zhigang^{1,2}

1. Fisheries College, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China

2. Guangdong Marine Invertebrate Science and Technology Innovation Center, Zhanjiang 524088, China

Abstract: Based on the problem of seedling supply of *Tapes dorsatus*, we studied the key techniques of seedling breeding of *T. dorsatus* by a single factor comparison test, so as to provide references for its large-scale artificial breeding. The results show that: 1) With artificial temperature control, we used the compound algae in shrimp pond to promote the ripening of the parents instead of the pure monocytic algae, and the ripening rate was 282.6% higher than that of the control group. 2) By means of a series of measures such as warming and drying in shade to induce spawning, the rate of induced spawning increased by 50.9% compared with the control group. 3) In order to establish a closed seedling technology model, we added effective microorganisms to build a beneficial micro-ecosystem, and did not change the water during the seedling breeding period. The results reveal that the survival rate of larvae in pelagic period, juvenile growth rate and juvenile rearing rate were significantly higher than those of the control group. 4) We collected the spats by using vertical seedling collection combined with the bottom of the pool. The juvenile rearing rate and yield per unit area increased by 76.6% and 76.5%, respectively. 5) Taking the parents with body mass above 5% as breeding group, the shell length, body mass of juvenile and juvenile rearing rate increased by 6.67%, 17.03% and 8.43%, respectively compared with the control group. However, the variable coefficients of juvenile shell length and body

收稿日期: 2022-09-30; 修回日期: 2022-12-01

基金项目: 2019 广西创新驱动发展专项资金(桂科 AA19254032-3)

作者简介: 张柯馨(1998—), 女, 硕士研究生, 研究方向为贝类遗传育种与增养殖。E-mail: 2190678425@qq.com

通信作者: 刘志刚(1963—), 男, 教授, 研究方向为贝类遗传育种与增养殖。E-mail: Liuzg919@126.com

mass decreased by 29.13% and 55.29%, respectively. The realized heritability " h^2 " of shell length and body mass at the juvenile stage reached 0.65 and 0.72, respectively. This study designed a new integrated innovative technology for the artificial seedling breeding of *T. dorsatus*, which achieves significant economic benefits and lays a foundation for the realization of its large-scale breeding of seedlings.

Keywords: *Tapes dorsatus*; Closed breeding seedling; Selective breeding; Multilayer seedling collection

钝缀锦蛤 (*Tapes dorsatus*) 俗称“沙包螺”，为软体动物门、瓣鳃纲、帘蛤目、帘蛤科、缀锦蛤属的海洋贝类动物，多生活在潮间带下区和潮下浅水区的泥砂底，广泛分布于西太平洋和印度洋水域。其个体大，足部与软体部肌肉发达，肉质鲜美，是沿海地区居民经常食用的水产品之一，具有极高的经济价值^[1]。迄今为止，国内外关于钝缀锦蛤的研究报道主要集中于苗种孵化生产^[2]、性状关联及遗传力分析^[3-4]、生态习性 (如温度、盐度、氨氮及 pH 等生态环境因子对其生长和存活的影响)^[5-9]、繁殖生物学 (包括繁殖习性和胚胎、幼虫、稚贝的生长发育过程等)^[10-12] 等方面。

目前，钝缀锦蛤几乎全部为天然野生资源，由于近年来海区环境恶化和大肆捕捞，导致其自然资源遭到严重破坏。因此，开展钝缀锦蛤人工育苗技术研究，对实现种苗规模化生产具有重要意义。迄今有关钝缀锦蛤苗种培育的报道仅见于曾志南等^[13] 的苗种繁育技术和彭银辉等^[14] 的人工育苗方法研究。本研究在曾志南等^[13] 的研究基础上进行

了改进，在亲贝选择、促熟、催产以及稚贝培育、采苗方式上进行了创新。此外，本研究尝试在冬季进行反季节育苗，以解决钝缀锦蛤反季节人工育苗中亲本性腺不成熟、常规育苗单位面积出苗量低、种苗生长慢、耗水量大等问题，弥补冬季市场空缺。通过开展钝缀锦蛤苗种繁育关键技术研究，可为其大规模人工育苗提供参考，并克服规模化养殖面临的种苗供应问题，促进产业发展。

1 材料与方法

1.1 材料

实验于 2020 年 10 月在广东省雷州市覃斗镇贝类苗种培育基地进行，11 月 15 日从广西防城港市购进越南同批人工种苗同一地点养成的钝缀锦蛤群体，其中随机购买 100 kg 未经选择的个体，作为非选育繁育群体；再按 5% 留种率上选最大体质量个体 300 kg，选择强度为 2.06^[15]，作为选育繁育群体，用于群体选育研究。在两个繁育群体中各随机测量 50 个个体的性状参数 (表 1)。

表1 钝缀锦蛤两个发育群体性状参数
Table 1 Traits parameters of two *T. dorsatus* developmental populations

性状参数 Traits parameter	壳长 Shell length/mm	壳高 Shell height/mm	壳宽 Shell width/mm	体质量 Body mass/g
非选育繁育群体 Non-selective breeding population	64.9±3.8 (5.86)	43.6±2.5 (5.73)	26.3±0.22 (8.37)	31.6±4.8 (15.19)
选育繁育群体 Selective breeding population	70.9±1.7 (2.52)	47.6±1.2 (2.52)	28.7±0.7 (2.44)	38.8±3.3 (8.51)
性状选择差 Selection differential of traits (S)	6.0	4.0	2.4	7.2

注：括号里的数值表示繁育群体各性状的变异系数 (%)。
Note: The values in parentheses are the variable coefficients (%) of each trait of breeding population.

1.2 实验设计

本研究钝缀锦蛤人工育苗包括选育、促熟、促产、封闭育苗、采苗和稚贝培养共 6 个关键技术环节，每个环节都在前期育苗实践经验上进行了创新，并将分散独立的技术集成贯穿到整个育苗生产中。同时，为探究每个技术在实际生产中的效果，设置了相应的对照组进行验证，其中促熟和促产两

个技术可通过促熟率与促产率直接验证；选育、封闭育苗、采苗 3 个技术均通过对比最终的育苗效果进行验证，实验方案设计如下：

1) 选育：在同批次、同一地点养成的钝缀锦蛤繁育基础群中，按 5% 留种率上选最大体质量个体建立选育繁育群体，作为实验组，同时将剩余未经选育的个体建立非选育繁育群体，作为对照组

1. 保证其他因素不变, 每组设3个平行进行后续实验。

2) 促熟: 将钝缟锦蛤亲贝吊挂于室内 10 m³ 水泥池, 吊养密度为 150 个·m⁻³, 每池约 1 500 个, 水温从常温逐步升至 26 ℃ 恒温, 每天等温换水 1/2。促熟期间每日定时投饵, 投饵量视水色变化加以调节, 保证亲本充足摄食。为比较不同饵料对促熟效果的影响, 设置不同的实验组别, 其中实验组在促熟期间以虾塘藻为饵料, 虾塘藻按对虾养殖的常规方法进行培育, 包含多种优质复合藻类, 如角毛藻 (*Chaetoceros* sp.)、菱形藻 (*Nitzschia* sp.)、卵形藻 (*Cocconeis* sp.)、舟形藻 (*Navicula* sp.) 等, 为亲本促熟提供大量营养互补的饵料, 以满足其性腺发育的营养需求。对照组促熟期间仅投喂浓缩拟微球藻 (*Nannochloropsis gaditana*), 保证其他因素不变, 每组设3个平行。

3) 促产: 为提高促产率, 比较温度对促产效果的影响, 设立了实验组与对照组。实验组采用升温阴干悬浮静置方法进行促产, 将亲贝从 26 ℃ 水温促熟池中取出, 移入室内 30 ℃ 恒温阴干 6~8 h, 再移入 26 ℃ 水温催产池中的悬浮塑料筛里, 停止充气, 悬浮静置待产。待大部分个体开始产精排卵, 即开始微波状充气, 通过水微循环分散卵子, 当卵子密度达到 3~4 粒·mL⁻¹ 时, 及时将亲贝移入其他催产池继续排精产卵。对照组采用“室内自然温度 (22~26 ℃) 阴干悬浮静置促产”方式进行催产, 亲贝未经升温, 在室内自然温度下阴干, 其他条件与实验组相同, 每组设3个平行。

4) 封闭育苗: 为避免频繁换水导致育苗失败, 本实验采用不换水的封闭育苗法, 育苗期间水温控制在 24~26 ℃。为保证封闭育苗期间的水质, 通过添加微生物制剂的方式提高分解有机物的效率, 消除腐败, 抑制病原菌, 形成适于动植物生长的良好环境。为验证微生物制剂在封闭育苗中的作用, 分3个不同的组别进行实验, 实验组在封闭育苗过程中添加 EM 菌 (Effective microorganisms, 又名“益生菌”), 另设2个对照组, 分别为对照组2和3; 对照组2不添加微生物制剂, 对照组3添加光合细菌。此外, 3组每天均加入适量的维生素B、维生素C和葡萄糖, 以促进水体微生态系统稳定, 保持其他因素不变, 每组设3个平行。

5) 采苗: 为提高采苗效率, 本实验采用“立体采苗器+池底”采苗模式, 每串采苗器长度 110 cm,

由 12 层聚乙烯塑料板构成, 层距 10 cm, 板规格为 30 cm×30 cm, 每串面积为 1.08 m², 投放密度为 3 串·m⁻², 30 m² 的池子投放 90 串, 采苗器总采苗面积为 97.2 m²·池⁻¹; 池底采苗面积为 30 m², 采苗器采苗面积是池底的 3.24 倍, 整池采苗面积为 127.2 m²。采苗前, 采苗器经过消毒清洗, 池底通过虹吸法刮净脏物, 提高池底采苗效果。当幼虫 70% 发育至壳长 220 μm 的成熟期时, 即投放采苗器。为验证立体采苗的效率, 设置对照组4, 不投放采苗器, 仅采用池底采苗法进行采苗, 保证其他因素不变, 每组设3个平行。

6) 稚贝培养: 幼虫附着后会变态成为稚贝, 附着 7 d 后, 稚贝长大, 抗逆性增强, 开始投喂虾塘复合藻。由于投喂虾塘藻时带来大量虾塘水, 水体处于对流状态, 因此不再使用 EM 菌。为使稚贝出池后适宜冬季的低温, 育苗池水温在附着后第 11 至第 20 天降至 24 ℃, 第 21 至第 30 天降至 22 ℃, 30 d 后停止加温, 让池内水温逐渐接近自然水温。附着后经过 30~40 d 的培育, 稚贝壳长达到 2 mm 左右即可出苗, 育苗工作完成。

1.3 数据处理

1) 性状选择差 S = 选择亲本性状 - 非选择亲本性状;

2) 性腺促熟率 = (性腺完全成熟个数/促熟个数) × 100%, 抽测样本数量 100 个;

3) 催产率 = 解剖法检查产卵排精总个数 / (用于催产总数 × 性腺促熟率) × 100%, 抽测样本数量 100 个;

4) 孵化率 = (D 形幼虫数/受精卵数) × 100%;

5) 浮游幼虫期成活率 = (投放采苗器前壳顶后期幼虫数量/D 形幼虫数量) × 100%;

6) 稚贝育成率 = (稚贝出苗量/D 形幼虫数量) × 100%;

7) 稚贝育成提高率 = (立体采苗稚贝育成率 - 平面采苗稚贝育成率) / 平面采苗稚贝育成率 × 100%;

8) 选育稚贝性状提高率 = (选育稚贝性状 - 非选育稚贝性状) / 非选育稚贝性状 × 100%;

$$9) R_L = \frac{L_1 - L_0}{t};$$

$$10) R_H = \frac{H_1 - H_0}{t};$$

式中: R_L 为壳长生长率 (μm·d⁻¹); R_H 为壳高生长率 (μm·d⁻¹); L_0 为各个发育阶段起始时壳长 (μm); L_1 为各个发育阶段结束时壳长 (μm); H_0 为各个发

育阶段起始时壳高 (μm); H_1 为各个发育阶段结束时壳高 (μm); t 为各个发育阶段的发育时间 (d); 幼虫和稚贝的壳长、壳高用目微尺在 10×10 镜头下测量, 每次测量 30 粒随机个体。

11) 选择反应: $SR = \frac{BS - BC}{\sigma_{BC}}$;

12) 现实遗传力: $h^2 = \frac{BS - BC}{i\sigma_{BC}}$;

由于贝类的生长受环境影响很大, 其个体大小会随环境而变化, 故参考 Zheng 等^[16] 的方法计算不同生长期的选择反应和现实遗传力, 消除环境因素对遗传力的影响^[17]。式中: BS 为选育后稚贝的平均壳长; BC 为对照组稚贝的平均壳长; σ_{BC} 为对照组的标准差; i 为选择强度。

实验数据采用“平均值±标准差 ($\bar{X} \pm SD$)”表示, 使用 SPSS 26.0 软件对数据进行单因素方差分析 (One-way ANOVA), 采用 Duncan's 多重比较法来检验处理组间的差异显著性, 用 Origin 2021 软件作图。

2 结果

2.1 不同促熟方式对促熟效果的影响

采用不同的方式进行促熟, 实验组投喂虾塘复合藻, 对照组投喂浓缩拟微球藻, 同时促熟 19 d 后, 实验组亲本的性腺成熟率 [(88.0±2.9)%] 显著高于对照组 [(23.0±1.5)%, $P<0.05$], 前者比后者提高了 282.6%。

2.2 催产方式对催产率的影响

采用不同的方式对亲贝进行催产, 实验组亲本开始排放精卵的时间为 (62±3) min, 对照组亲本为 (78±2) min, 显著慢于实验组 ($P<0.05$), 前者比后者时间缩短了 20.5%。同时实验组的催产率 [(83.6±2.8)%] 显著高于对照组 [(55.4±2.4)%,

$P<0.05$], 比对照组提高了 50.9%。

2.3 微生物制剂对育苗效果的影响

采用 EM 菌的实验组, 浮游期成活率、幼虫生长速度、稚贝育成率、出池稚贝壳长均显著大于不采用微生物制剂的对照组 2 和使用光合细菌的对照组 3 ($P<0.05$, 表 2); 而使用光合细菌的对照组 3, 浮游期成活率、幼虫生长速度、稚贝育成率、出池稚贝壳长均显著大于不采用微生物制剂的对照组 2。

2.4 立体采苗方式对育苗效果的影响

实验组采用“立体采苗器+池底”采苗模式, 对照组 4 仅采用池底采苗的方法。结果表明: 1) 实验组立体采苗器和池底的采苗密度均小于对照组; 2) 用立体采苗器进行采苗的采苗量显著大于池底采苗量, 实验组的采苗量比对照组提高了 76.5%; 3) 实验组两种采苗方式附着的苗种生长速度均大于对照组, 实验组的稚贝平均壳长比对照组提高了 21.9%; 4) 实验组大部分稚贝附着于采苗器上, 减轻了池底稚贝的生存压力, 稚贝育成率达到 25.6%, 而对照组 4 池底附着密度高、死亡率高, 稚贝育成率仅 14.5%, 前者比后者提高了 76.6% (表 3)。

2.5 选育与否对育苗效果的影响

由表 4 可见, 选育组培育出的稚贝壳长比未选育组提高了 6.67%, 体质量提高了 17.03%, 稚贝育成率提高了 8.43%, 壳长和体质量的变异系数分别降低了 29.13% 和 55.29%, 现实遗传力分别达到 0.65 和 0.72。

2.6 技术集成下幼虫及稚贝生长规律

通过对技术集成方法下培育的钝缀锦蛤胚胎、幼虫及稚贝发育阶段进行连续观察, 发现钝缀锦蛤早期生长发育速度呈现“快-慢-快”的变化趋势 (表 5)。发育各个时期的生长情况如图 1 所示, 最

表2 封闭式育苗采用不同微生物制剂的育苗效果对比
Table 2 Effects of different microbial agents on closed seedling breeding

组别 Group	浮游期成活率 Survival rate in pelagic period/%	幼虫生长速度 Larval growth rate/($\mu\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$)	稚贝育成率 Juvenile rearing rate/%	出池稚贝壳长 Juvenile shell of length out-of-pool spats/mm
实验组 Test group	89.3±2.91 ^a	9.33±0.25 ^a	25.60±1.18 ^a	1.31±0.026 ^a
对照组2 Control group 2	38.6±1.35 ^c (131.3)	7.45±0.21 ^c (25.2)	7.86±0.35 ^c (225.7)	1.03±0.033 ^b (27.2)
对照组3 Control group 3	67.1±2.02 ^b (33.1)	8.05±0.22 ^b (15.9)	10.52±0.42 ^b (143.3)	1.09±0.030 ^b (20.2)

注: 括号里的数值表示实验组相对于对照组的提高率 (%); 同列中不同字母表示存在显著性差异 ($P<0.05$)。

Note: The values in parentheses are the improvement rates (%) of the test group compared to the control group. Values with different letters within the same column indicate significant differences ($P<0.05$).

表3 不同采苗方式的育苗效果对比
Table 3 Seedling breeding effects of different seedling collection methods

指标 Index	采苗方式 Seedling collection method	实验组 Test group	对照组4 Control group 4
采苗密度 Seedling density/(万粒·m ⁻²)	采苗器	18.00±0.81 ^(b)	
	池底	23.58±1.13 ^{a(a)}	46.40±1.51 ^b (-49.2)
采苗量 Seedling quantity/(万粒·池 ⁻¹)	采苗器	1 749.6±78.6 ^(a)	
	池底	707.4±33.9 ^{b(b)}	1 392.0±45.3 ^b (-49.2)
	合计	2 457.0±75.6 ^a	1 392.0±45.3 ^b (76.5)
稚贝壳长 Juvenile shell length/mm	采苗器	1.33±0.09 ^(a)	
	池底	1.16±0.08 ^{a(b)}	1.05±0.03 ^b (10.5)
	加权平均	1.28	1.05±0.03 (21.9)
稚贝育成率 Juvenile rearing rate/%		25.6±1.18 ^a	14.5±0.61 ^b (76.6)

注：上标不同小写字母表示各组之间差异显著 ($P<0.05$)，其中不带括号的为组间分析，带括号的为组内分析；对照组的相应数据后括号内的数值表示实验组相对于对照组的提高率 (%)。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences among the groups ($P<0.05$). Those without parentheses are between-group analyses, and those with parentheses are within-group analyses. The values in parentheses after the control group indicate the improvement rate (%) of the test group compared to the control group.

表4 选育与不选育的育苗效果对比
Table 4 Comparison of seedling breeding effects between selection breeding and non-selection breeding

组别 Group	壳长 Shell length/mm	体质量 Body mass/mg	壳长变异系数 Variable coefficient of shell length/%	体质量变异系数 Variable coefficient of body mass/%	稚贝育成率 Juvenile rearing rate/%
实验组稚贝 Test group juvenile	1.28±0.03 ^a	2.13±0.11 ^a	7.81	5.16	25.60±1.18 ^a
对照组1稚贝 Control group 1 juvenile	1.20±0.06 ^b (6.67)	1.82±0.21 ^b (17.03)	11.02 (-29.13)	11.54 (-55.29)	23.61±1.12 ^a (8.43)
选择反应 Selective reaction	1.33	1.48			
现实遗传力 h^2	0.65	0.72			

注：括号里的数值表示实验组相对于对照组的提高率 (%)；同列中不同字母表示存在显著性差异 ($P<0.05$)。

Note: The values in parentheses are the improvement rates (%) of the test group compared to the control group. Values with different letters within the same column indicate significant differences ($P<0.05$).

表5 钝缟锦蛤幼虫期至稚贝期生长率
Table 5 Growth rate in larval and juvenile stages of *T. dorsatus*

发育阶段 Developmental stage	发育时间 Development time/d	壳长生长率 Shell length growth rate/($\mu\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$)	壳高生长率 Shell height growth rate/($\mu\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$)
D形幼虫—壳顶初期幼虫 D-shape larvae—Early umbo larvae	5.33	9.76	10.38
壳顶初期幼虫—壳顶中期幼虫 Early umbo larvae—Medium term umbo larvae	3	10.63	11.23
壳顶中期幼虫—壳顶后期幼虫 Medium term umbo larvae—Post umbo larvae	4	6.85	7.48
壳顶后期幼虫—变态期幼虫 Post umbo larvae—Metamorphosis larvae	4	3.83	3.93
变态期幼虫—无管稚贝 Metamorphosis larvae—Non siphon juvenile	3	2.03	1.40
无管稚贝—单管稚贝 Non siphon juvenile—Single siphon juvenile	20	12.52	10.99
单管稚贝—双管稚贝 Single siphon juvenile—Double siphon juvenile	10	9.33	9.05
双管稚贝—实验结束 Double siphon juvenile—End of experiment	15	27.10	24.57

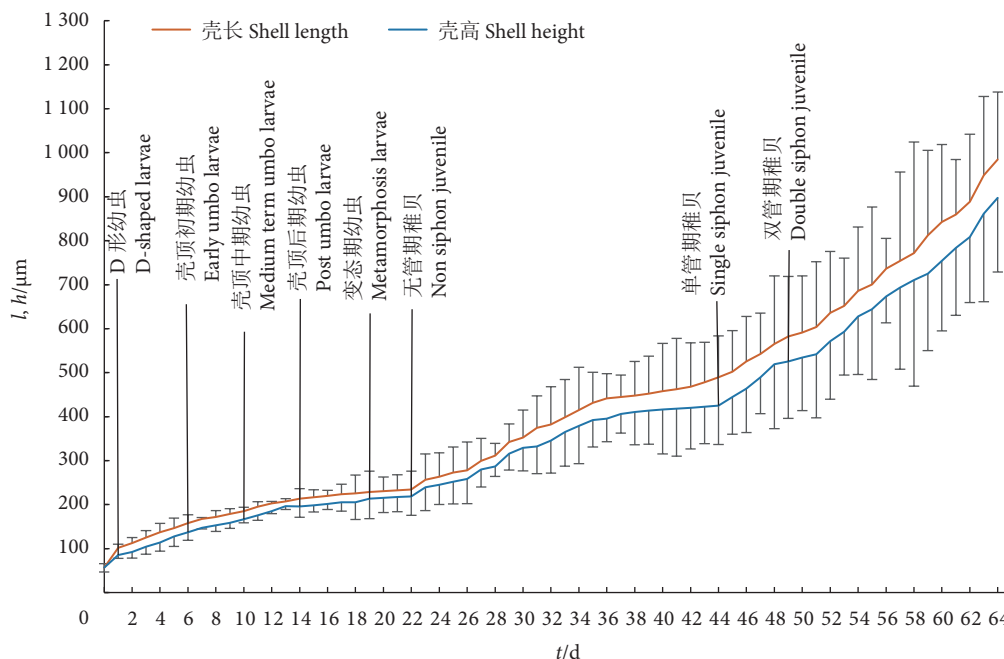


图1 钝缟锦蛤幼虫期至稚贝期生长曲线

Fig. 1 Growth curve of larval and juvenile stages of *T. dorsatus*

慢的阶段在由变态期幼虫发育到无管期稚贝期间, 为期 3 d, 壳长和壳高增长率分别为 2.03 和 1.40 $\mu\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$, 其他阶段的壳长和壳高增长率随个体发育不断增加。

3 讨论

3.1 钝缟锦蛤选择育种中目标性状的选择

与海洋贝类生长相关的性状如壳形态和质量性状等, 被认为是选择育种中重要的经济性状^[18-19]。在选育过程中, 体质量是最直接、最能反映贝类生产性能的测量指标, 但由于贝类的质量性状相对不易测量, 目前主要采用相关性分析和通径分析来确定影响体质量的主要形态性状, 因此可通过壳形态性状的选择达到选择育种的目的^[20-22]。在以往关于钝缟锦蛤的研究中, 巫旗生等^[3]通过对钝缟锦蛤野生群体的形态性状和活体质量进行通径分析, 明确了壳宽为影响其活体质量的主要性状, 得出以壳宽作为首要选育目标的结论。不同月龄的贝, 其大小不同, 生长性状的相关性不同^[23]。聂振平等^[4]的研究表明, 2 龄钝缟锦蛤的壳宽对体质量直接作用最大, 与前述报道一致。因此, 钝缟锦蛤的选育可以考虑以壳宽为首, 预计能取得较大的遗传进展。但本研究以体质量作为首选目标, 主要基于下述考虑: 1) 在追求体质量高产的生产体系中, 育种目标首先是体质量, 体质量可直接测量而无需某一

体尺替代。同时, 体质量受多个体尺的综合影响, 没有哪一个体尺可以 100% 影响体质量。因此, 对体质量直接选育是最有效的。2) 体质量的变化受体尺的影响, 因此体质量的变异系数往往大于其他性状。变异系数是进行品种选育的重要依据, 其数值越大则说明选择潜力越大^[3]。本研究中, 钝缟锦蛤繁育基础群各性状变异系数分别为壳长 5.86%、壳高 5.73%、壳宽 8.37% 和体质量 15.19%, 对体质量进行选育, 稚贝的壳长和体质量明显提高, 现实遗传力 h^2 分别达到 0.65 和 0.72, 因此直接以体质量为目标进行选育可获得较大的遗传进展。

3.2 投喂虾塘复合藻及升温对亲贝促熟效果的影响

亲贝的促熟技术关系到生殖腺的发育程度, 直接影响最终的育苗效果, 是虾夷扇贝 (*Patinopecten yessoensis*) 人工育苗的基础^[24]。本研究表明, 在室内水池池人工控温条件下, 采用室外虾塘复合藻作为饵料, 其促熟效果显著好于采用纯种单胞藻。尤颖哲^[25]的研究证实, 用室外土池人工促熟法, 波纹巴非蛤 (*Paphiaun dulata*) 亲贝性腺发育的成熟情况好、死亡率低, 且孵化率得到有效提高。其原理在于贝类促熟需要两个基本要素, 即积温和营养, 只有两个要素都满足了才能完成性腺的成熟发育^[26]。其中, 温度是影响海洋生物生殖最重要的因素, 合适的温度对贝类的性腺发育与繁殖有积极作用^[27-28]。本研究采用室内逐渐升温至 26 $^{\circ}\text{C}$ 恒

温, 能保证亲贝促熟期间获得有效积温, 与巫旗生等^[10]报道的钝缀锦蛤的性腺增殖最适温度为 24~28 ℃ 的结论相一致。饵料是亲贝性腺发育的物质基础, 饵料的种类和数量对亲贝的性腺发育起着至关重要的作用^[29]。研究表明, 亲贝促熟期的食性越杂, 育苗效果越好^[24,30]。传统的促熟方法采用纯种单胞藻, 由于品种少, 营养互补水平低, 促熟效果差。张红云^[31]研究发现在栉江姚 (*Atrina pectinata*) 亲贝繁育期间以混合藻为饲料促熟效果最好; 虾夷扇贝^[24]、波纹巴非蛤^[25]、长牡蛎 (*Crassostrea gigas*)^[32] 及香港巨牡蛎 (*C. hongkongensis*)^[33] 促熟培育过程中均以多种藻类作为饵料。本研究采用的虾塘复合藻, 包含各种浮游单胞藻, 如角毛藻、菱形藻、卵形藻、舟形藻等硅藻和各种绿藻等, 饵料生物密度高且品种多、质量好, 营养互补效果好, 极大地满足了亲贝性腺发育所需的营养, 亲贝肥满快, 性腺促熟率相比于投喂单一纯种单胞藻提高了 269.7%。这与常亚青^[34]认为饵料的质量和数量直接影响贝类繁殖的结论一致。

3.3 实施封闭式育苗的关键措施

EM 菌是一种新型复合微生物活性菌剂^[35], 由 5 大类微生物——光合菌群、酵母菌群、乳酸菌群、放线菌群及发酵系的丝状菌群组成。其主要功能是高效分解有机物、消除腐败和抑制病原菌, 形成适于动植物生长的良好环境。在水产养殖中, EM 菌对改善水质、提高成活率和相对生长率及增强水产动物免疫力有重要作用^[36]。在养殖过程中添加 EM 菌可起到净化水质的作用^[37]; 在凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*) 养殖池中添加 EM 菌后可显著降低水中氮和磷的浓度^[38]; EM 菌可显著提升尼罗罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*) 的生长性能和营养利用率^[39]; EM 菌可显著提高凡纳滨对虾幼体的成活率和体内消化酶活性^[40]; 水体中添加 EM 菌有助于提高中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 抵抗氧化应激的能力, 调控其免疫基因的表达和相关酶活性, 增强其非特异性免疫力^[41]。此外, 有些 EM 菌可以改变甲壳动物的消化道菌群, 增强其对病原体的抵抗力^[42-43]。本研究在使用 EM 菌的同时添加了维生素 B、维生素 C 和葡萄糖等, 目的在于为 EM 菌提供营养补充, 促进水体微生态系统稳定, 使其真正发挥作用。但须注意的是, 由于 EM 菌菌种的变异和退化, 应每 3~4 d 补充 1 次以维持其菌种优势。本研究结果显示, EM 菌实验组稚贝育成率为

不添加微生物制剂组的 3.26 倍, 为单投光合细菌组的 2.43 倍。EM 菌实验组的效果好于单投光合细菌组的原因在于前者含有 5 大功能不同的菌种, 净化水质和抑制病原菌的功能更加强大。由于使用 EM 菌, 在不换水的条件下仍能保持良好的水质, 避免了频繁换水对幼体的损伤, 进而提高了幼体成活率, 这是“封闭育苗法”的关键之一; 其次, 幼虫密度控制在 3 个·mL⁻¹, 可减少对水体的污染物负荷, 使水体微生态平衡更易控制; 再者, 采用浓缩拟微球藻投喂, 可大大减少藻类培养液带来的原生动物、藻类排泄物和病原细菌等的污染。在雷州半岛, 因换水导致育苗失败的较为常见, 因此, 采用封闭育苗法育苗既可节约人力、物力和电力, 也可显著提高育苗成功率, 大幅提升经济效益。

3.4 立体采苗的效果

钝缀锦蛤生活在潮间带中、低潮区至潮下带沙、淤泥和泥沙底质中, 营埋栖生活, 且对底质有较强的适应能力^[5]。营底栖潜居生活的双壳贝类采用立体采苗法进行采苗, 能提高稚贝的附着量, 有利于稚贝的生长, 也方便对其筛选、冲洗和移植, 有效地减轻了稚贝移植过程中的机械损伤^[44]。张晓燕等^[45]研究发现, 在泥蚶 (*Tegillarca granosa*) 人工育苗中, 采用立体附着的效果明显好于池底平面附着, 单位水体出苗量可提高 3.4~5.3 倍; 刘德经等^[44]研究指出, 西施舌 (*Coelomactra antiquata*) 人工立体采苗的采苗量为传统池底采苗量的 1.6 倍, 且具有成活率高、生长速度快等优势。本研究采用立体采苗方法, 出苗量比平面采苗提高了 76.5%, 与前人的研究一致, 但与前两项研究相比, 本研究中立体采苗法的出苗量相对对照组的提升率较小, 这可能与品种、浮游幼虫投放密度和稚贝收获规格不同有关。本研究立体采苗的稚贝育成率为 25.6%, 平面采苗的对照组仅为 14.5%, 其原因主要是对照组池底因高密度附着带来的饵料、空间、溶解氧的竞争导致稚贝大量死亡, 而实验组大部分稚贝附着于附着板上, 减轻了池底稚贝的生存压力, 从而提高了成活率。由此可见, 立体采苗法能显著提升稚贝的数量和质量, 更适合应用于生产实践。

4 结论

本研究在室内水池人工控温促熟条件下, 采用虾塘复合藻代替纯种单胞藻对亲本进行促熟, 解决

了亲本高效促熟的问题。采用空气升温加阴干诱导及控制产卵环境等一系列措施,可显著提高亲本催产率。通过添加EM复合菌,育苗期间不换水,可显著提高幼虫浮游期成活率、生长速度和稚贝育成率。采用立体采苗器结合池底进行立体附苗,可提高稚贝的育成率及单位面积产量,同时提高稚贝的生长速度。对体质量进行选育,稚贝的壳长和体质量明显提高,现实遗传力 h^2 分别达0.65和0.72。采用本研究的集成创新技术进行钝缀锦蛤人工育苗,可获得显著的经济效益,为实现种苗的规模化生产奠定了基础。

参考文献:

- [1] 庄启谦. 中国动物志软体动物门双壳纲帘蛤科 [M]. 北京: 科学出版社, 2001: 63-64.
- [2] NELL J A, O'CONNOR W A, HAND R E, et al. Hatchery production of diploid and triploid clams, *Tapes dorsatus* (Lamarck 1818): a potential new species for aquaculture[J]. Aquaculture, 1995, 130(4): 389-394.
- [3] 巫旗生, 曾志南, 宁岳, 等. 钝缀锦蛤形态性状对活体质量的影响 [J]. 水产科学, 2018, 37(1): 110-114.
- [4] 聂振平, 彭慧婧, 邹杰, 等. 钝缀锦蛤选育群体 F_2 生长性状相关性遗传力分析 [J]. 广西科学, 2020, 27(3): 241-247.
- [5] 黄洋, 杜涛, 杨世平. 钝缀锦蛤生态习性的初步研究 [J]. 水产科学, 2008, 27(4): 175-178.
- [6] 杨家林, 邹杰, 彭慧婧. 温度、盐度和体质量对钝缀锦蛤滤食率和同化率的影响 [J]. 水产科学, 2019, 38(1): 104-108.
- [7] NELL J A, PATERSON K J. Salinity studies on the clams *Katelysia rhytiphora* (Lamy) and *Tapes dorsatus* (Lamarck)[J]. Aquac Res, 1997, 28(2): 115-119.
- [8] 张柯馨, 曹楚烟, 刘志刚, 等. 钝缀锦蛤 (*Tapes dorsatus*) 稚贝的温度和盐度耐受性研究 [J]. 海洋学报, 2022, 44(4): 57-64.
- [9] 巫旗生, 祁剑飞, 宁岳, 等. 盐度、pH、氨氮对钝缀锦蛤稚贝生长及存活的影响 [J]. 渔业研究, 2021, 43(6): 621-627.
- [10] 巫旗生, 文宇, 曾志南, 等. 钝缀锦蛤繁殖周期和胚胎发育 [J]. 中国水产科学, 2017, 24(3): 488-496.
- [11] 张柯馨, 杨尚松, 罗泽鑫, 等. 钝缀锦蛤胚胎、幼虫及稚贝发育观察 [J/OL]. 水产科学: 1-12[2022-09-23]. DOI: 10.16378/j.cnki.1003-1111.21125.
- [12] 连昌朋, 吴韬, 王超奇, 等. 广西北海营盘海域钝缀锦蛤 (*Tapes conspersus*) 卵巢发育、卵子和卵黄发生的研究 [J]. 热带海洋学报, 2022, 41(5): 170-179.
- [13] 曾志南, 巫旗生, 文宇, 等. 一种钝缀锦蛤的种苗规模化培育方法: 105075938A[P]. 2015-11-25.
- [14] 彭银辉, 陈瑞芳, 王志成, 等. 钝缀锦蛤的人工育苗方法: 103125415A[P]. 2013-06-05.
- [15] 盛志廉, 陈瑶生. 数量遗传学 [M]. 北京: 科学出版社, 2001: 165-169.
- [16] ZHENG H P, ZHANG G F, LIU X, et al. Sustained response to selection in an introduced population of the hermaphroditic bay scallop *Argopecten irradians irradians* Lamarck (1819)[J]. Aquaculture, 2006, 255(1/2/3/4): 579-585.
- [17] 闫喜武, 张跃环, 霍忠明, 等. 不同地理群体菲律宾蛤仔的选择反应及现实遗传力 [J]. 水产学报, 2010, 34(5): 704-710.
- [18] WANG H X, CHAI X L, LIU B Z. Estimation of genetic parameters for growth traits in cultured clam *Meretrix meretrix* (Bivalvia: Veneridae) using the Bayesian method based on Gibbs sampling[J]. Aquac Res, 2011, 42(2): 240-247.
- [19] 王成东, 聂鸿涛, 鹿瑶, 等. 薄片镜蛤野生群体主要经济性性状的相关性及通径分析 [J]. 大连海洋大学学报, 2015, 30(4): 380-385.
- [20] 孙静, 陈明强, 魏海军, 等. 不同地理群体合浦珠母贝双列杂交子代数量性状比较及其相关和通径分析 [J]. 南方农业学报, 2020, 51(6): 1451-1461.
- [21] AHMED M, ABBAS G. Growth parameters of the finfish and shellfish juveniles in the tidal waters of Bhanbhore, Korangi Creek and Miani Hor Lagoon[J]. Pak J Zool, 2000, 32(1): 21-26.
- [22] 魏海军, 邓正华, 陈明强, 等. 棕带仙女蛤数量性状的相关与通径分析 [J]. 南方水产科学, 2019, 15(6): 34-40.
- [23] 杜美荣, 方建光, 高亚平, 等. 不同贝龄栉孔扇贝数量性状的相关性和通径分析 [J]. 水产学报, 2017, 41(4): 580-587.
- [24] 姜成嘉. 虾夷扇贝人工育苗中亲贝促熟技术 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2009: 18-23.
- [25] 尤颖哲. 波纹巴非蛤亲贝两种促熟方法比较试验 [J]. 渔业研究, 2016, 38(6): 481-485.
- [26] MARTINEZ G, PEREZ H. Effect of different temperature regimes on reproductive conditioning in the scallop *Argopecten purpuratus*[J]. Aquaculture, 2003, 228(1): 153-167.
- [27] 金井丈夫. 浅海完全养殖 [M]. 东京: 恒星社厚生阁版, 1976: 117-124.
- [28] KEEMBIYEHETTY C N, WILSON R P. Effect of water temperature on growth and nutrient utilization of sunshine bass (*Morone chrysops* ♀ × *Morone saxatilis* ♂) fed diets containing different energy/protein ratios[J]. Aquaculture, 1998, 166(1): 151-162.
- [29] 谭杰, 李凤辉, 陈四清, 等. 不同培育水温 and 饲料对刺参人工促熟效果的影响 [J]. 渔业科学进展, 2020, 41(1): 96-103.
- [30] 毛江静, 童巧琼, 曹潇, 等. 厚壳贻贝人工促熟与自然成熟亲贝的肥满度与营养成分比较 [J]. 生物学杂志, 2017, 34(5): 53-56.
- [31] 张红云. 栉江珧繁殖生物学及人工苗种繁育技术研究 [D]. 厦门: 集美大学, 2010: 16-27.
- [32] 李玲蔚, 张哲, 马培振, 等. “海大1号”长牡蛎规模化人工育苗技术的研究 [J]. 海洋湖沼通报, 2017(4): 139-144.
- [33] 官俊良. 香港巨牡蛎人工育苗及其两个群体双列杂交的初步研究 [D]. 南宁: 广西大学, 2015: 15-23.
- [34] 常亚青. 贝类增养殖学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2007: 45.
- [35] 张卫芳. EM菌和酵母细胞壁多糖对淇河鲫养殖及水质的影响 [D]. 新乡: 河南师范大学, 2015: 17-23.
- [36] 邓茹, 孟顺龙, 陈家长, 等. EM菌在水产养殖中的应用概述 [J].

- 中国农学通报, 2020, 36(11): 142-148.
- [37] 武鹏, 赵大千, 蔡欢欢, 等. 3 种微生态制剂对水质及刺参幼参生长的影响 [J]. 大连海洋大学学报, 2013, 28(1): 21-26.
- [38] WANG Y B, XU Z R, XIA M S. The effectiveness of commercial probiotics in northern white shrimp *Penaeus vannamei* ponds[J]. Fish Sci, 2005, 71(5): 1036-1041.
- [39] EL-HAROUN E R, GODA A S, CHOWDHURY M A K. Effect of dietary probiotic Biogen supplementation as a growth promoter on growth performance and feed utilization of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) (L.) [J]. Aquac Res, 2010, 37(14): 1473-1480.
- [40] ZHOU X X, WANG Y B, LI W F. Effect of probiotic on larvae shrimp (*Penaeus vannamei*) based on water quality, survival rate and digestive enzyme activities[J]. Aquaculture, 2009, 287(3/4): 349-353.
- [41] 储兰璐, 高建操, 宋黎黎, 等. EM 菌对中华绒螯蟹抗氧化性能及非特异性免疫的影响 [J]. 淡水渔业, 2021, 51(5): 91-99.
- [42] JAYAPRAKASH N S, PAI S S, ANAS A, et al. A marine bacterium, *Micrococcus* MCCB 104, antagonistic to vibrios in prawn larval rearing systems[J]. Dis Aquat Org, 2005, 68(1): 39.
- [43] VIEIRA F N, BUGLIONE C C, MOURINO J P L, et al. Effect of probiotic supplemented diet on marine shrimp survival after challenge with *Vibrio harveyi* [J]. Arq Bras Med Vet Zootec, 2010, 62(3): 631-638.
- [44] 刘德经, 王家滂, 谢开恩, 等. 西施舌盘架式人工立体采苗 [J]. 中国水产科学, 2002, 9(1): 39-42.
- [45] 张晓燕, 郑永允, 戚以满, 等. 泥蚶人工育苗立体附苗技术的研究 [J]. 齐鲁渔业, 1998(2): 16-19.