

技术报告

黄河三角洲近江牡蛎规模化苗种繁育技术研究*

李海昆¹, 王永旺¹, 刘洋¹, 于瑞海^{1**}, 马培振¹, 陈洪彰², 孙长兵²

(1.海水养殖教育部重点实验室(中国海洋大学), 山东 青岛 266003; 2.东营市海盈水产品开发有限公司, 山东 东营 257503)

摘要: 本研究以黄河三角洲近江牡蛎(*Crassostrea ariakensis*)为材料,从亲贝性腺促熟培养条件和幼虫培育的盐度、密度、附着基等方面对近江牡蛎规模化苗种繁育技术进行探索,开展近江牡蛎苗种规模化人工繁育。研究发现:采用升温促熟的方式进行黄河三角洲近江牡蛎亲贝促熟培养,经过 40 d 室内培育,性腺发育成熟;以阴干-升温水刺激方式产卵排精,亲贝精卵排放率达到 80% 以上;盐度 20 时,近江牡蛎的受精率、卵裂率和孵化率均最高,达到(96.96±1.91)%、(95.93±1.97)%和(95.87±0.92)%,幼虫生长速度最快,存活率最高且显著高于 25 和 30 盐度组($P < 0.05$);与初始密度为 10 ind/mL 相比,初始密度为 6 和 3 ind/mL 时幼虫的生长速度和存活率均较高;牡蛎壳稚贝比扇贝壳稚贝的附着密度稍高,但差异不显著($P > 0.05$)。通过幼虫培育,共获得近江牡蛎稚贝 1.98 亿粒;平均每个培育池附着基 12 万片,出苗 650 万粒;单位水体出苗量达到 32.5×10^4 粒/ m^3 ,达到规模化苗种生产的要求。

关键词: 近江牡蛎; 人工繁育; 亲贝培育; 幼虫; 盐度; 培育密度; 附着基

中图分类号: S968.13

文献标志码: A

文章编号: 1672-5174(2020)07 II-048-08

DOI: 10.16441/j.cnki.hdx.20190163

引用格式: 李海昆, 王永旺, 刘洋, 等. 黄河三角洲近江牡蛎规模化苗种繁育技术研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2020, 50(增 I): 48-55.

LI Hai-Kun, WANG Yong-Wang, LIU Yang, et al. Researches on large-scale breeding technology of *Crassostrea ariakensis* from Yellow River estuary[J]. Periodical of Ocean University of China, 2020, 50(Sup.I): 48-55.

近江牡蛎(*Crassostrea ariakensis*)是我国经济价值较大的牡蛎品种之一^[1],自然分布于中国南北沿海以及日本、朝鲜、韩国等地,多栖息在盐度偏低的河口潮下带区域^[2-4]。近江牡蛎具有生长速度较快、抗病能力强、成活率高等优点,具有较大的养殖潜力,已在多地开展养殖试验或小规模养殖^[5-6],并被引进到美国切萨皮克湾,以弥补当地美洲牡蛎产量的不足^[7]。然而,近江牡蛎的人工苗种繁育仅于实验水平开展^[8-11],近江牡蛎养殖苗种依然采用半人工采苗方式获取^[6,12],生产效率低,严重影响着其养殖产业的发展。

在我国,近江牡蛎分布范围较广,遗传变异水平高^[2-3,13]。与南方地理群体相比,黄河三角洲海域的近江牡蛎个体通常较大^[14],最大可达 30 cm 以上(见图 1)。近年来,随着牡蛎产业的飞速发展及捕捞工具的不断改进,黄河三角洲牡蛎及牡蛎礁资源均遭到不同程度的破坏^[15]。开展黄河三角洲近江牡蛎人工繁育研究,修复牡蛎及牡蛎礁资源^[16],以逐步恢复当地海洋生态系统,成为当务之急。为此,作者在 2018 年于山东省省长牡蛎省级良种场-莱州市长渔水产有限公司开展黄

河三角洲近江牡蛎规模化繁育技术的研究,为黄河三角洲牡蛎资源的恢复与建设提供技术支持。



图 1 黄河三角洲近江牡蛎

Fig.1 *Crassostrea ariakensis* from the Yellow River estuary

1 实验材料

实验用亲贝为 2018 年 4 月东营黄河三角洲采捕的野生牡蛎,6~7 龄,壳高(26.72±3.12) cm,共 300 个,于莱州市长渔水产有限公司进行促熟培养。亲贝入池前刷洗干净,清除贝壳表面附着物。每个培育池(孵化

* 基金项目:山东省重点研究发展计划项目(2017GHY15124)资助

Supported by the Key Research and Development Projects in Shandong Province(2017GHY15124)

收稿日期:2019-04-25;修订日期:2019-09-20

作者简介:李海昆(1996-),男,硕士生,从事贝类育种研究。

** 通讯作者;E-mail: yuruihai@ouc.edu.cn

池)水体为 20 m^3 。

2 实验方法

2.1 亲贝促熟

亲贝入池后于自然水温($12\text{ }^\circ\text{C}$)稳定 5 d, 之后每天升温 $0.5\text{ }^\circ\text{C}$, 升温至 $24\text{ }^\circ\text{C}$ 恒温培养待产。培养过程中, 连续充气; 饵料为小新月菱形藻(*Nitzschia closterium*), 每隔 4 h 投喂一次, 日投喂量由 $20 \times 10^4\text{ cell/mL}$ 逐渐增至 $40 \times 10^4\text{ cell/mL}$; 培育前期每日移池 2 次, 后期改为换水, 日换水量为 1/2。亲贝培育盐度为 25。经 40 d 的暂养促熟, 抽样检查发现, 亲贝的性腺基本成熟。

2.2 苗种繁育技术因素探讨

2.2.1 盐度对受精、孵化的影响 探究不同盐度(15、20、25 和 30)的海水对近江牡蛎受精、孵化的影响。不同盐度的孵化海水使用曝气 24 h 后的自来水与过滤海水按照一定的比例混合而得到, 每个盐度组重复 3 次。

亲贝促熟培育后, 以解剖的方式获取精卵。用 500 目的筛绢洗卵后, 将卵子置于不同盐度的 60 L 塑料桶中, 微调盐度使其分别为 15、20、25 和 30。加入精子, 不断搅动海水使精卵充分混合, 显微镜下观察每个卵子周围 4~5 个精子即可。孵化密度 20 ind/mL ; 水温 $26\text{ }^\circ\text{C}$; 微量充气。统计各组受精率、孵化率。

2.2.2 盐度对幼虫生长的影响 各盐度组均发育至 D 形幼虫后选幼, 并分别于 15、20、25、30 盐度的海水中进行幼虫培育。起始培育密度 6 ind/mL ; 培育水体 60 L。每天换水 2 次, 每次换水量为 1/3~1/2 的水体; 每 7 天移桶一次。幼虫培育水温 $26\text{ }^\circ\text{C}$ ~ $28\text{ }^\circ\text{C}$; 连续微量充气。幼虫培育前期投喂球等鞭金藻(*Isochrysis galbana*), 日投喂量为 $0.5 \times 10^4\text{ } \sim 4 \times 10^4\text{ cell/mL}$; 幼虫生长到壳顶中期后开始增喂角毛藻(*Chaetoceros calcitrans*)和亚心形扁藻(*Platymonas subcordiformis*), 并逐渐增加投喂量, 日投喂量为 $4 \times 10^4\text{ } \sim 8 \times 10^4\text{ cell/mL}$ 。每个盐度重复 3 次; 每 3 天记录壳高(随机 30 个体)及密度, 以评估生长速度与存活率。

2.2.3 密度对幼虫生长的影响 在 2.2.1 和 2.2.2 的最佳盐度下, 得到 D 形幼虫, 并分别以 10、6 和 3 ind/mL 的初始幼虫密度进行培育。培育方法同 2.2.2。

2.2.4 不同附着基附着效果的比较 幼虫壳高超过 $330\text{ }\mu\text{m}$ 时开始出现眼点。当 50%~60% 的幼虫开始出现眼点时, 分别用栉孔扇贝壳、牡蛎壳作为附着基进行采苗, 投放 7 d 后观察采苗效果。投放附着基之后立即换水。之后保持温度 $26\text{ }^\circ\text{C}$ ~ $28\text{ }^\circ\text{C}$; 每天换水 2 次, 每次 1/2 水体; 每天投喂 6~8 次, 日投喂量增加至 $30 \times 10^4\text{ cell/mL}$ 。每个实验组设置 3 个重复。

2.3 规模化苗种繁育

2.3.1 受精及孵化 亲贝促熟培育后, 阴干 5~7 h

后, 将其放入提前配置好的 $26\text{ }^\circ\text{C}$ 过滤海水中, 盐度为 2.2.1 的最佳盐度 20。大量充气, 1~2 h 后精卵逐渐排放。雄贝大量排精时要及时挑出, 以免精子数量过多影响孵化、破坏水质。如精子较多则需要洗卵, 即: 雌贝停止排卵后, 停气 0.5~1 h, 待受精卵沉降到孵化池底部时, 将中上层的水用 300 目的滤鼓虹吸排出, 然后加入过滤海水, 以此方式洗卵重复 2 次。

2.3.2 幼虫培育 在水温 $26\text{ }^\circ\text{C}$ 、盐度 20 条件下, 受精卵经过 21 h 即发育到 D 形幼虫, 稳定 3~6 h 后选幼分池培育。选幼后, 幼虫入池时水深 100 cm, 第二天加水至满池。之后, 换水、移池、投饵等日常管理同 2.2.2。

2.3.3 采苗 当培育池中 50%~60% 的幼虫开始出现眼点时, 调整幼虫密度为 3~4 ind/mL , 用栉孔扇贝壳作为附着基进行采苗。附着基投放前后操作同 2.2.4。

2.4 数据分析

实验数据采用平均值 \pm 标准差 (Mean \pm SD) 的形式表示, 并用 SPSS16.0 进行单因素方差分析 (One-way ANOVA), 差异显著性水平阈值均设为 0.05。

3 结果

3.1 亲贝促熟培育

采用升温促熟的方式进行黄河三角洲近江牡蛎亲贝促熟培养, 经过 40 d 室内培育, 观察到有个别的雄贝流产; 随机取样解剖, 发现牡蛎性腺饱满; 显微镜下观察, 精子活力良好、卵子卵质充盈、呈圆形或梨形, 即判定性腺发育成熟。稳定培育 4~5 d, 以阴干、升温水刺激, 亲贝精卵排放率达到 80% 以上。亲贝培育情况如表 1 所示。

表 1 亲贝的蓄养培育情况
Table 1 Result of parent oysters culture

亲贝入池 时间 Start date	亲贝数量 Parent oyster count	蓄养水体 Cultivation scale	蓄养天数 Cultivation duration	成活率 Survival rate
2018-04-25	300 个	20 m^3	40 d	86%

3.2 苗种繁育技术因素探讨

3.2.1 盐度 在水温 $26\text{ }^\circ\text{C}$ 时, 采用不同盐度(15、20、25 和 30)的海水进行黄河三角洲近江牡蛎受精、孵化研究, 结果如表 2 所示。研究发现, 盐度 20 时, 近江牡蛎受精率、卵裂率和孵化率均最高, 且都超过 95%, 其次是盐度 15 组, 两组差异不显著 ($P > 0.05$)。盐度 25 和 30 实验组的受精、孵化情况较差, 受精率、卵裂率、孵化率均不到 90%, 两组之间差异不显著 ($P > 0.05$), 但显著低于盐度 15 和 20 实验组 ($P < 0.05$)。

表2 不同盐度条件下黄河三角洲近江牡蛎的受精、孵化情况比较

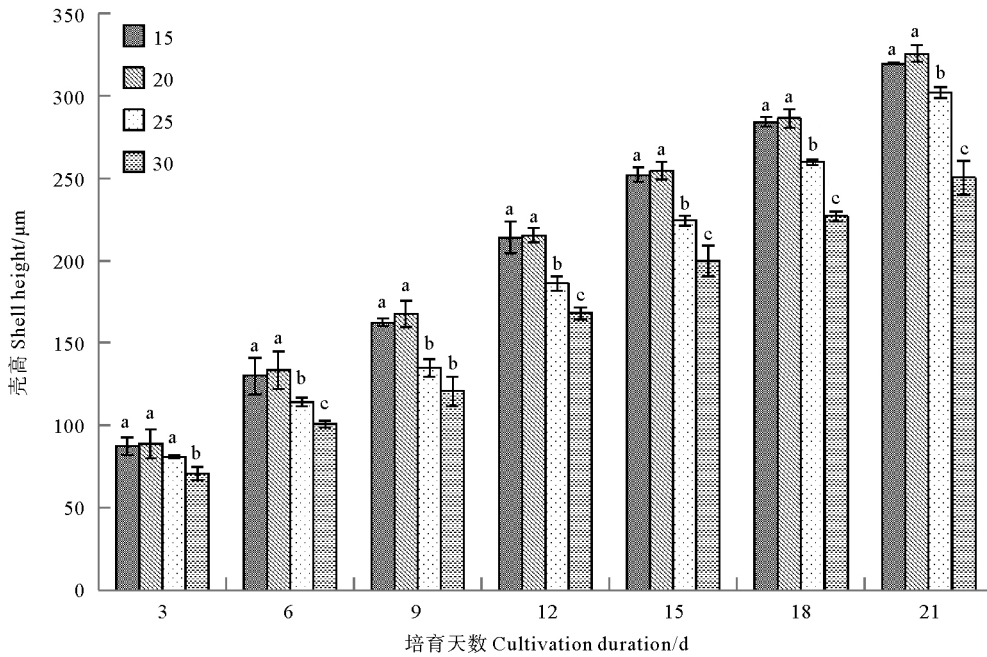
Table 2 Comparison of fertilization and hatchery under different salinities /%

盐度 Salinity	受精率 Fertilization rate	卵裂率 Cleavage rate	孵化率 Hatchery rate
15	95.96±1.97 ^a	95.87±0.65 ^a	95.04±2.80 ^a
20	96.96±1.91 ^a	95.93±1.97 ^a	95.87±0.92 ^a
25	89.01±3.36 ^b	87.94±3.28 ^b	87.93±5.24 ^b
30	87.88±2.22 ^b	86.71±2.41 ^b	86.00±2.31 ^b

注:同一列数据标注不同上标字母代表差异显著(P<0.05)。

Note: Values in the same column with different superscript letters are significantly different (P<0.05).

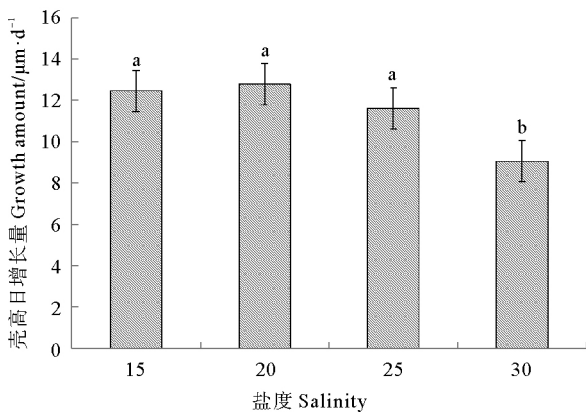
在15、20、25、30四个盐度条件下进行幼虫培育,幼虫生长情况如图2所示。结果显示,盐度为15、20时的幼虫壳高始终较大,两者之间差异不显著(P>0.05)。除第3天外,盐度15、20实验组幼虫壳高显著大于盐度25、30实验组(P<0.05)。培育21天幼虫的平均生长速度如图3所示,盐度为20时幼虫平均壳高增长量最大,达到(12.78±1.96)μm/d,但与盐度15和盐度25组相比没有显著差异(P>0.05)。而盐度为30时,近江牡蛎幼虫日平均增长量只有(9.06±3.51)μm/d,显著低于另外3个低盐度组幼虫的生长速度(P<0.05)。



(相同培育天数下,各盐度组不同字母表示差异显著(P<0.05)。Different letters above the column of the same cultivation duration indicate a significant difference (P<0.05).)

图2 近江牡蛎幼虫在不同盐度下生长情况

Fig.2 Shell height of Crassostrea ariakensis larvae cultured at different salinity



(各盐度组不同字母表示差异显著(P<0.05)。Different letters above the column indicate a significant difference (P<0.05).)

图3 不同盐度下近江牡蛎幼虫壳高平均日增长量

Fig.3 The daily growth amount of Crassostrea ariakensis larvae at different salinities

在15、20、25、30四个盐度下进行幼虫培育,幼虫存活情况如图4所示,盐度为15、20时近江牡蛎幼虫的存活率较高,二者之间幼虫的存活率差异不显著(P>0.05),但始终显著大于盐度25和盐度30实验组(P<0.05)。4个盐度组中,幼虫的存活率在前9d均急剧下降,之后则趋于稳定。从12d之后两个较低盐度条件下的幼虫没有出现大批量死亡,而两高盐(盐度25和盐度30)组幼虫的存活率仍逐渐降低,与低盐组差距逐渐加大。

3.2.2 培育密度 选幼后,以不同的初始密度(10、6和3 ind/mL)在盐度20条件下培养近江牡蛎幼虫,观察幼虫的生长情况,结果如图5所示。在前6d,3个密度条件下幼虫的壳高大小无显著差异(P>0.05),其中,起始密度为3 ind/mL时幼虫的壳高最大。培育6d以后,起始密度为10 ind/mL的实验组幼虫壳高最

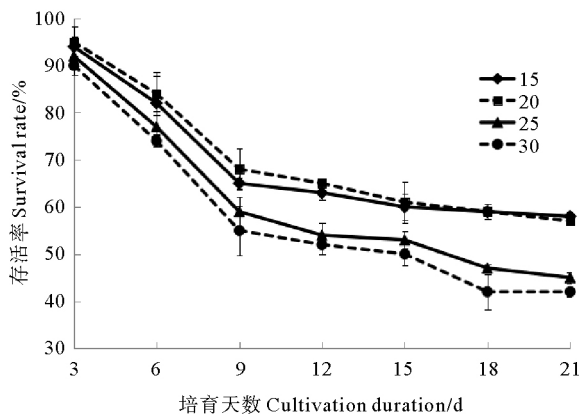
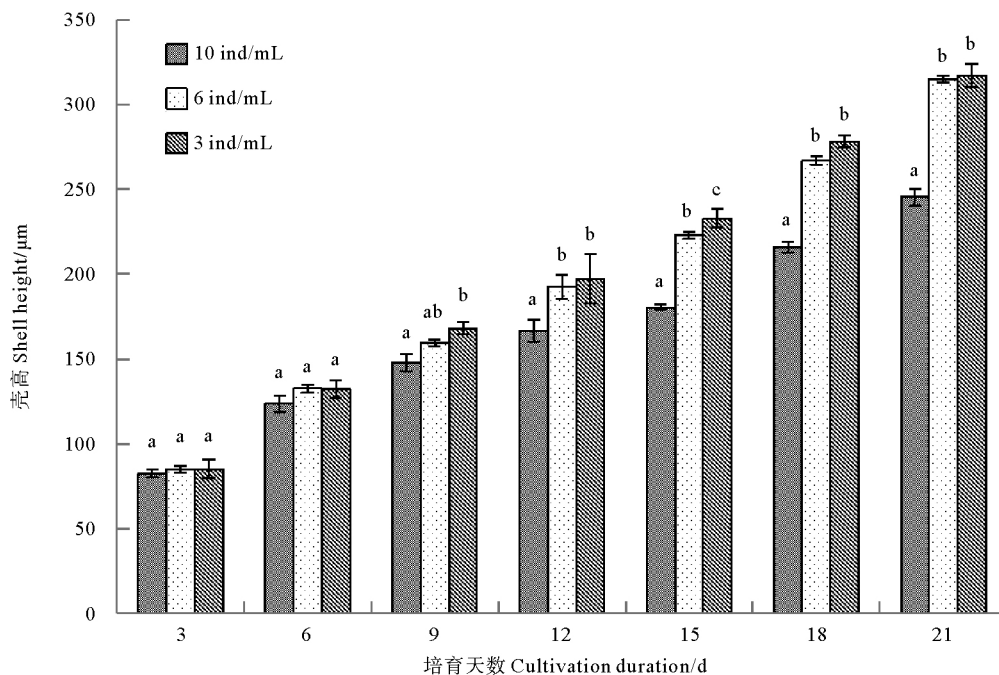


图4 近江牡蛎幼虫在不同盐度条件下培养的存活情况
Fig.4 Survival rate of *Crassostrea ariakensis* larvae at different salinities



(相同培育天数下,各初始密度组不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。Different letters above the column of the same cultivation duration indicate a significant difference ($P < 0.05$))

图5 近江牡蛎幼虫在不同初始培养密度下的生长情况

Fig.5 Shell height of *Crassostrea ariakensis* larvae cultured with different initial densities

最高。在第9天之前,各组幼虫存活率差异均不显著($P > 0.05$)。第9天之后,初始密度为10 ind/mL的实验组幼虫存活率下降严重,显著低于初始密度为6和3 ind/mL两个实验组($P < 0.05$),而初始密度为3 ind/mL的低初始密度实验组幼虫存活率趋于稳定,至21 d存活率为(60.70±1.45)%。

3.2.3 附着基 当50%~60%的幼虫开始出现眼点时,分别用栉孔扇贝壳、牡蛎壳作为附着基进行采苗,投放7 d后,幼虫附着情况如图8所示。结果显示,使用牡蛎壳做附着基时幼虫的附着效果好,附着密度(单位面积内幼虫的附着个数)高,平均达到(1.34±0.29)

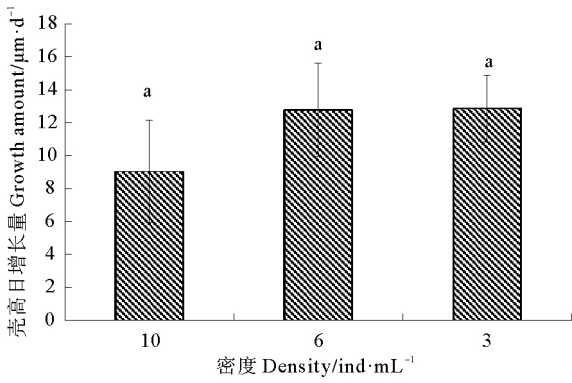
小,显著低于起始密度为6和3 ind/mL实验组($P < 0.05$)。除15天外,初始密度3和6 ind/mL实验组幼虫的壳高差异不显著($P > 0.05$),而又以3 ind/mL实验组为大。幼虫的平均日增长量如图6所示,初始培育密度为10个/mL时幼虫的平均壳高日增长量最低,只有(9.04±3.12)μm/d,显著低于另外两个密度组幼虫的日平均增长量($P < 0.05$)。密度为3 ind/mL时幼虫的日平均增长量最高,达到(12.87±2.02)μm/d,而初始培育密度6 ind/mL时为(12.78±2.85)μm/d,两组之间无显著差异($P > 0.05$)。

在不同起始培育密度下,幼虫的存活率如图7所示。在整个培养过程中,各组幼虫密度均逐渐降低,其中,初始培育密度为3 ind/mL时,幼虫的存活率始终

ind/cm²,而用栉孔扇贝壳做附着基时幼虫附着密度达(1.07±0.39)ind/cm²,但两种附着基的平均幼虫附着密度差异不显著($P > 0.05$)。考虑到制作工艺及牡蛎筏式养殖过程中夹绳(穿绳)操作的便捷性,决定以栉孔扇贝壳作为附着基进行黄河三角洲近江牡蛎采苗。

3.3 规模化苗种繁育

黄河三角洲近江牡蛎亲贝经充分升温促熟培育,以阴干-升温水刺激方式产卵排精,配子数量多、质量好,受精率和孵化率也都较高,可以满足生产需求(见表3)。在水温26℃、盐度20情况下,产卵之后21 h,大部分受精卵发育至D形幼虫阶段。



(各密度组不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。Different letters above the column indicate a significant difference ($P < 0.05$.)

图6 近江牡蛎幼虫在不同初始培养密度下的日增长量
Fig.6 The daily growth amount of *Crassostrea ariakensis* larvae with different initial densities

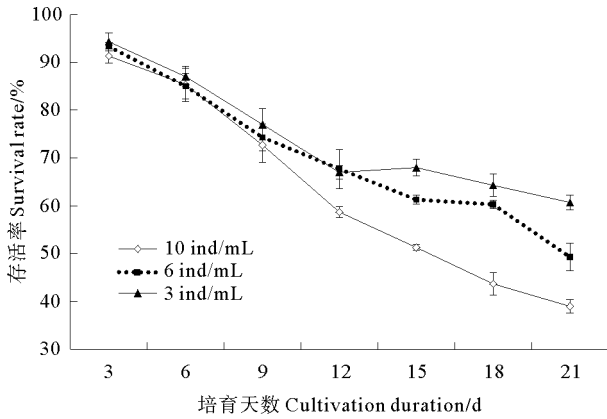


图7 不同密度条件下的近江牡蛎幼虫的存活情况
Fig.7 Survival rate of *Crassostrea ariakensis* larvae with different initial densities

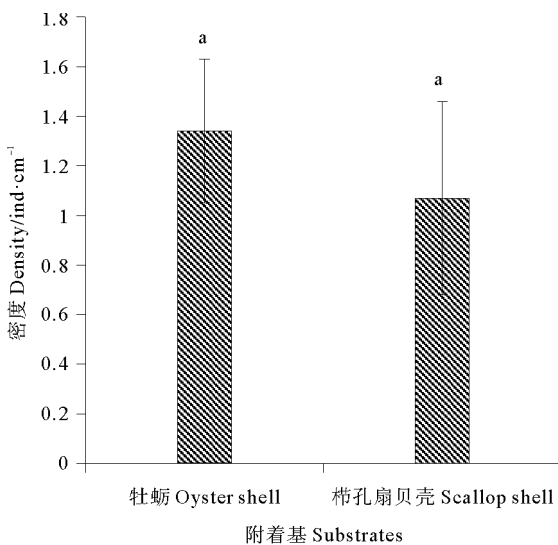


图8 不同的附着基下近江牡蛎幼虫的附着情况
Fig.8 Settlement of *Crassostrea ariakensis* larvae with two substrates

表3 黄河三角洲近江牡蛎产卵、受精、孵化情况

Table 3 Spawning, fertilization and hatchery of *Crassostrea ariakensis*

时间 Date	亲贝数量 Parent oyster count	产卵总量 Egg count	受精率 Fertilization rate	孵化率 Hatchery rate	选优量 D-larvae count
2018-06-04	258 个	23 亿粒	92%	83%	18 亿粒

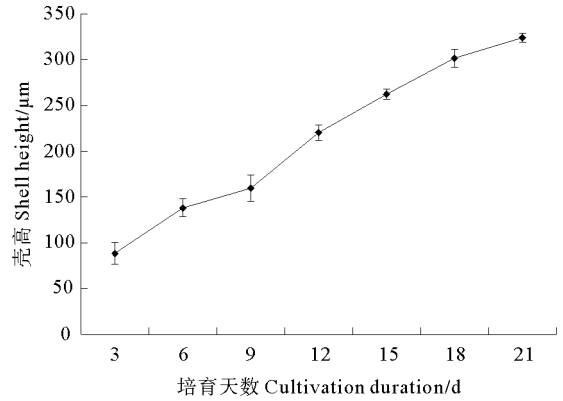


图9 规模化近江牡蛎幼虫培育中幼虫生长情况
Fig.9 Growth of *Crassostrea ariakensis* larvae in large-scale breeding

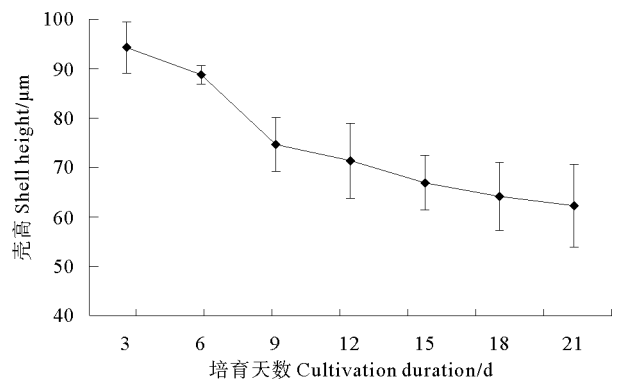


图10 规模化近江牡蛎幼虫培育中幼虫存活情况
Fig.10 Survival of *Crassostrea ariakensis* larvae in large-scale breeding

以盐度 20、水温 26~28 °C、幼虫初始密度为 3 ind/mL 的标准,进行近江牡蛎规模化苗种培育,共使用 30 个培育池,600 m³ 水体。在规模化培育过程中,幼虫的生长、存活情况如图 9、10 所示,幼虫经培育 21 d 后,50%(随机取 30 粒幼虫,其中 15 粒为眼点幼虫期,且 5 个眼点较大,即将附着)出现眼点,平均生长速度与 3.2.1 中 60 L 塑料桶培养结果相同。培育 21 d 时,幼虫成活率降至(62.25±8.33)%,略高于塑料桶培养结果,显示出培育池中水体培育的优势。

用栉孔扇贝壳作为附着基,投放附着基 7 d 之后具体的幼虫附着情况如表 4 所示。幼苗的附着变态率达

到 17.5%, 总共获得牡蛎稚贝 1.98 亿粒; 平均每个培育池附着基 12 万片, 出苗 650 万; 单位水体出苗量达到 32.5×10^4 粒/ m^3 。

表 4 眼点幼虫附着情况

Table 4 Adherence and metamorphosis of eye-spot larvae

时间 Date	附着基 投放量 Substrates amount	附着 变态率 Metamorphose rate	每壳附苗数 Juvenile amount per shell	出苗量 Yield
2018-06-26— 2018-07-02	360 万片	17.5%	55 个	1.98 亿粒

4 讨论

黄河口近江牡蛎壳较厚, 体型多变, 一般呈现圆形、长卵圆形、三角形; 左壳凹, 右壳平; 生长速度较快, 通常 5 年能达到 20 cm 左右^[14]; 肉质鲜美, 营养丰富, 经济价值较高^[17]。然而, 近江牡蛎苗种人工繁育所依赖的亲贝性腺促熟培育技术始终没有突破^[6, 11-12]。研究发现, 近江牡蛎自然产卵季水温范围为 22~26 °C^[6, 12, 18-19], 而温度(积温)是贝类人工育苗过程中亲贝性腺促熟的最重要因素^[20-21]。在本研究中, 作者采用升温促熟法, 从自然海水温度 12 °C 开始培育近江牡蛎亲贝, 升至 24 °C 后稳定培养至个别个体开始流产, 共用时 40 d。该方法得到的近江牡蛎亲贝性腺发育良好, 人工诱导后能够自然产卵、排精, 且精、卵的质量好, 孵化率较已有研究均高^[11, 22], 说明本促熟培育方法下, 近江牡蛎性腺可以成熟。Joo 认为近江牡蛎亲贝自然产卵不仅与温度有关, 也与盐度有关, 盐度范围为 20~25^[18]。本研究中, 亲贝培育盐度为 25, 与 Joo 的观察结果相符。而近江牡蛎亲贝培育盐度与其性腺发育成熟期^[6]的相关性尚需进一步验证。

在本研究中, 盐度较低(盐度 15、20)时, 近江牡蛎受精和胚胎发育、幼虫生长和存活效果较好, 与薛凌展等^[23]、Huo 等^[11]的研究结果相同。Huo 等^[11]认为近江牡蛎对盐度适应范围较广, 但胚胎发育和幼虫阶段更适宜低盐环境, 同本研究发现相一致。这种情况可能是由于近江牡蛎栖息于河口附近^[3, 6, 13], 而水温达到 22~26 °C 时往往正值河流汛期或雨水增多时期^[15, 25], 因此幼虫适应低盐能力强, 这也为近江牡蛎的半人工采苗提供了技术指导^[12]。高盐组(盐度 25、30)近江牡蛎的受精率、卵裂率和孵化率均显著低于低盐组(盐度 15、20)($P < 0.05$), 证实了黄河三角洲近江牡蛎在受精和胚胎发育阶段的喜低盐特性。幼虫生长方面, 低盐组(盐度 15、20)近江牡蛎幼虫在壳高、存活率方面均显著高于高盐组(盐度 25、30)($P < 0.05$), 这种现象在薛

凌展等^[23]、Huo 等^[11]的研究中均有发现, 可能与高盐下近江牡蛎免疫力较低有关。研究发现, 与高盐环境相比, 低盐能够激发近江牡蛎免疫活力, 在一定范围内增强其免疫力^[26]。

幼虫培育密度方面, 本研究实验发现, 密度越小, 幼虫生长速度越快、存活率越高, 但 6 和 3 ind/mL 密度组之间始终无显著差异($P > 0.05$)。在其他双壳贝类的相关研究中发现, 随着个体的增大, 幼虫生长的活动空间受限, 密度过高可使水质恶化, 使得幼虫生长状况逐渐下降^[27-30]。因此, 从规模化繁育的角度考虑, 选择 6 ind/mL 的初始培育密度, 既能保持较高的产量, 又能保证幼虫的正常生长速度, 是比较适合的幼虫生产密度。

附着基材料的选择方面, 以牡蛎壳作为附着基时幼虫附着密度稍高, 但牡蛎壳厚重且不易掰离成多片, 若在规模化繁育过程中用牡蛎壳做附着基, 实际操作既耗时又耗力, 成本会大大提高, 不适合用作北方牡蛎养殖的附着基。而栉孔扇贝壳较轻, 在生产上投放附着基时操作较轻便, 且幼虫的附着效果也很好, 因此栉孔扇贝壳是近江牡蛎规模化繁育中使用的附着基的最佳选择。

5 结语

本文从亲贝促熟、受精、胚胎发育盐度、幼虫培育盐度、幼虫密度以及附着基材料等方面对黄河口近江牡蛎规模化苗种繁育条件进行了研究。总结出黄河三角洲近江牡蛎亲贝性腺促熟培育方法, 发现规模化繁育过程中受精、胚胎发育以及幼虫培育最佳盐度为 15~20; 幼虫培育起始密度为 6 ind/mL 时, 既能保持较高的产量又能保证幼虫快速生长; 采用栉孔扇贝壳为附着基, 成本低且能保证较好的幼虫附着效果。通过升温促熟亲贝、控制孵化盐度、合理投喂单胞藻、控制幼虫培育密度等科学管理措施开展的黄河三角洲近江牡蛎规模化苗种繁育, 幼苗的附着变态率达到 17.5%, 总共获得牡蛎稚贝 1.98 亿粒; 平均每个培育池附着基 12 万片, 出苗 650 万粒; 单位水体出苗量达到 32.5×10^4 粒/ m^3 , 达到规模化苗种生产的要求。

参考文献:

- [1] 王如才, 王昭萍. 海水贝类养殖学[M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2008.
Wang R C, Wang Z P. Science of Marine Shellfish Culture[M]. Qingdao: China Ocean University Press, 2008.
- [2] Wang H Y, Guo X M, Zhang G F, et al. Classification of jinjiang oysters *Crassostrea rivularis* (Gould, 1861) from China, based on morphology and phylogenetic analysis [J]. Aquaculture, 2004, 242: 137-155.
- [3] Wang H Y, Qian L M, Zhang G F, et al. Distribution of *Cras-*

- sostrea ariakensis* in China[J]. Journal of Shellfish Research, 2006, 25(2): 789-790.
- [4] Xiao J, Cordes J F, Wang H Y, et al. Population genetics of *Crassostrea ariakensis* in Asia inferred from microsatellite markers[J]. Marine Biology, 2010, 157: 1767-1781.
- [5] Langdon C J, Robinson A M. Aquaculture potential of the Suminoe oyster (*Crassostrea ariakensis* Fugita 1913)[J]. Aquaculture, 1996, 144: 321-338.
- [6] Yoon H S, Jung H T, Choi S D. Suminoe oyster (*Crassostrea ariakensis*) culture in Korea[J]. Journal of Shellfish Research, 2008, 27(3): 505-508.
- [7] Calvo G W, Luckenbach M W, Allen S K, et al. A comparative field study of *Crassostrea ariakensis* (Fujita 1913) and *Crassostrea virginica* (Gmelin 1791) in relation to salinity in Virginia[J]. Journal of Shellfish Research, 2001, 20: 221-229.
- [8] 蔡英亚, 刘志刚, 何水养. 近江牡蛎的人工育苗[J]. 海洋科学, 1989(1): 53-56.
- Cai Y Y, Liu Z G, He S Y. A Study on the artificial rearing of spat of *Ostrea rivularis* Gould[J]. Marine Science, 1989(1): 53-56.
- [9] 张跃环, 王昭萍, 闫喜武, 等. 太平洋牡蛎与近江牡蛎的种间杂交[J]. 水产学报, 2012, 36(8): 1215-1224.
- Zhang Y H, Wang Z P, Yan X W, et al. Interspecific hybridization between two oysters *Crassostrea gigas* and *C. ariakensis*[J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(8): 1215-1224.
- [10] Yao T, Zhang Y H, Yan X W, et al. Interspecific hybridization between *Crassostrea angulata* and *C. ariakensis*[J]. Journal of Ocean University of China, 2015, 14(4): 710-716.
- [11] Huo Z M, Wang Z P. Hybridization between *Crassostrea hongkongensis* and *Crassostrea ariakensis* at different salinities[J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2014, 45(2): 226-232.
- [12] 胡家财, 钟幼平, 林育庆. 近江牡蛎采苗技术及采苗预报[J]. 厦门水产学院学报, 1994(2): 28-33.
- Hu J C, Zhong Y P, Lin Y Q. Spat collection technique and spat collection forecast of *Ostrea rivularis* Gould[J]. Journal of Xiamen Fisheries College, 1994(2): 28-33.
- [13] 徐学锋, 刘丽, 杨慧荣, 等. 杭州湾大金山岛潮间带近江牡蛎 (*Crassostrea ariakensis*) 的种群鉴定及分布动态[J]. 广东农业科学, 2013, 40(10): 131-133.
- Xu X F, Liu L, Yang H R, et al. Population and distribution of *Crassostrea ariakensis* in the intertidal zone of the Dajinshan island in Hangzhou bay[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2013, 40(10): 131-133.
- [14] Harding J M, Mann R. Age and growth of wild suminoe (*Crassostrea ariakensis*, Fugita 1913) and Pacific (*C. gigas*, Thunberg 1793) oysters from Laizhou Bay, China [J]. Journal of Shellfish Research, 2006, 25(1): 73-82.
- [15] 王志忠, 张金路, 顾汉东, 等. 黄河口牡蛎产卵场及邻近海域水质现状评价[J]. 水产学杂志, 2017, 30(3): 29-34.
- Wang Z Z, Zhang J L, Gu H D, et al. Assessment of water quality in oyster spawning ground in Yellow River estuary and adjacent waters [J]. Chinese Journal of Fisheries, 2017, 30(3): 29-34.
- [16] Quan W M, Zhu J X, Ni Y, et al. Faunal utilization of constructed intertidal oyster (*Crassostrea rivularis*) reef in the Yangtze River estuary, China[J]. Ecological Engineering, 2009, 35(10): 1466-1475.
- [17] 于瑞海, 曲学存, 马培振. 食用贝类与营养[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2015.
- Yu R H, Qu X C, Ma P Z. Edible Shellfish and Nutrition[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2015.
- [18] Joo H S. Studies on the Reproductive Cycle of Asian Oyster, *Crassostrea ariakensis* in Seomjin River[D]. Korea: Yosu National University, 2006.
- [19] An Y K, Yoon H S, Choi S D. Effects of temperature, salinity on the growth of *Crassostrea ariakensis* in Seomjin River[J]. Korean Journal of Environmental Biology, 2006, 24: 60-66.
- [20] 吕豪, 李大成, 宫晓君, 等. 太平洋牡蛎控温条件下的性腺发育、条件指数与积温的关系[J]. 中国水产科学, 1998, 5(1): 19-25.
- Lu H, Li D C, Gong X J, et al. Gonadal development of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) and the relationship between condition index and accumulative temperature[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 1998, 5(1): 19-25.
- [21] 田斌, 王璐. 虾夷扇贝性腺发育的生物学零度与有效积温研究[J]. 中国水产, 2018(5): 93-96.
- Tian B, Wang L. Biological zeros of gonadal development and effective accumulated temperature in *Patinopecten yessoensis* [J]. China Fisheries, 2018(5): 93-96.
- [22] Xu F, Zhang G F, Liu X, et al. Laboratory hybridization between *Crassostrea ariakensis* and *C. sikamea* [J]. Journal of Shellfish Research, 2009, 28(3): 453-458.
- [23] 薛凌展, 阙华勇, 张国范, 等. 盐度对近江牡蛎幼虫生长及存活的影响[J]. 海洋科学, 2007, 31(9): 73-77.
- Xue L Z, Que H Y, Zhang G F, et al. The effect of salinity on growth and survival of *Crassostrea rivularis* larvae[J]. Marine Sciences, 2007, 31(9): 73-77.
- [24] Allen S K, Gaffney P M. Genetic confirmation of hybridization between *Crassostrea gigas* (Thunberg) and *Crassostrea rivularis* (Gould) [J]. Aquaculture, 1993, 113(4): 291-300.
- [25] 程义吉, 高菁. 莱州湾海域水文特征及冲淤变化分析[J]. 海岸工程, 2006(3): 1-6.
- Cheng Y J, Gao J. Analysis of hydrographic characteristics and changes in scour and silting in the Laizhou Bay area[J]. Coastal Engineering, 2006(3): 1-6.
- [26] 时少坤, 王瑞旋, 王江勇, 等. 盐度胁迫对近江牡蛎几种免疫因子的影响[J]. 南方水产科学, 2013, 9(3): 26-30.
- Shi S K, Wang R X, Wang J Y, et al. Effects of salinity stress on immune factors of *Crassostrea hongkongensis* [J]. South China Fisheries Science, 2013, 9(3): 26-30.
- [27] 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[J]. Aquaculture Research, 2000, 31: 621-626.
- [28] Wang W X, Widdows J. Physiological responses of mussel larvae *Mytilus edulis* to environmental hypoxia and anoxia[J]. Marine Ecology Progress Series, 1991, 70(3): 223-236.
- [29] 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: 265-274.

[30] 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[J]. 中国水产科学, 2016, 23(1): 233-240.
Gao X L, Li L, Kong L F, et al. Effect of stocking density on

growth and survival of bloody clam (*Scapharca subcrenata*) larvae[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2016, 23(1): 233-240.

Researches on Large-Scale Breeding Technology of *Crassostrea ariakensis* from Yellow River Estuary

LI Hai-Kun¹, WANG Yong-Wang¹, LIU Yang¹, YU Rui-Hai¹,
MA Pei-Zhen¹, CHEN Hong-Zhang², SUN Chang-Bing²

(1. The Key Laboratory of Mariculture (Ocean University of China), Ministry of Education, Qingdao 266003, China;
2. Dongying Haiying Aquatic Product Limited Liability Company, Dongying 257503, China)

Abstract: *Crassostrea ariakensis* from the Yellow River estuary was used as the experimental material to explore the large-scale breeding technology of *C. ariakensis*. The studied included the condition of gonadal maturation culture, salinity, density, and the attachment of larvae. At the same time, large-scale artificial breeding of *C. ariakensis* was carried out. Results showed that the gonad of parent *C. ariakensis* developed well after 40 days indoor culture with the method of temperature-rise culture. Sperms and eggs liberation rate of parent shellfish may reach more than 80% through air-dried and warmed water stimulation. Fertilization rate, cleavage rate and hatching rate of *C. ariakensis* were the highest when the salinity was 20, reaching $(96.96 \pm 1.91)\%$, $(95.93 \pm 1.97)\%$ and $(95.87 \pm 0.92)\%$, respectively. In addition, the growth rate and survival rate of larvae at salinity 20 were significantly higher than those at salinity 25 and 30 ($P < 0.05$). The initial density was 6 inds/mL and 3 inds/mL. Compared to the initial density of 10 inds/mL, growth speed and survival rate of larvae were higher. There was no significant difference in the adhering substrate between scallop shell and oyster shell though the latter one owns a higher juvenile density of (1.34 ± 0.17) inds \cdot cm⁻² ($P > 0.05$). In this study, with the large-scale breeding technology of *C. ariakensis*, a total of 198 million juveniles were obtained, with an average of 120 000 pieces of attached base and 6.5 million seedlings each cultivation tank. The yield per unit water volume reached 32.5×10^4 juveniles \cdot m⁻³ which has reached the requirements of large-scale seedling production.

Key words: *Crassostrea ariakensis*; artificial breeding; broodstock cultivation; larvae; salinity; cultivation density; substrate

责任编辑 朱宝象