

盐度对牡蛎“华南 1 号”早期发育与生长的影响*

赵乃乾¹, 肖 述², 刘浩翔¹, 潘 英^{1**}, 张跃环², 喻子牛²

(1. 广西大学动物科学技术学院, 广西 南宁 530004; 2. 中国科学院南海海洋研究所, 广东 广州 510301)

摘 要: 为探究牡蛎“华南 1 号”早期发育的盐度适应性, 本研究以目前北部湾海域的香港牡蛎(*Crassostrea hongkongensis*)养殖群体为对照组, 在水温 28~29 °C、pH 为 8.1~8.2 条件下, 分析了不同盐度(3、8、13、15、18、23、28、33)对牡蛎“华南 1 号”的胚胎、幼虫发育和稚贝生长的影响。研究显示, 不同盐度下牡蛎“华南 1 号”的受精率和孵化率均高于对照组, 差异显著($P < 0.05$), 且牡蛎“华南 1 号”的适宜受精盐度为 13~23, 对照组的适宜受精盐度为 13~18。相同盐度条件下, 牡蛎“华南 1 号”与对照组浮游幼虫期的壳高生长指标差异显著($P < 0.05$), 牡蛎“华南 1 号”不同盐度组间差异显著($P < 0.05$)。不同盐度条件下, 牡蛎“华南 1 号”在幼虫发育阶段和早期稚贝的生长速率和存活率均随着盐度的增加“先升后降”, 且不同盐度组间差异显著($P < 0.05$), 高盐 33 和低盐 3 条件下幼虫生长缓慢且存活率较低, 牡蛎“华南 1 号”幼虫的附着率和存活率在盐度 13~23 时较高。研究结果表明, 牡蛎“华南 1 号”在浮游幼虫和早期稚贝阶段生长速度快于对照组群体($P < 0.05$), 且浮游幼虫和稚贝生长的适宜盐度为 8~28, 最适盐度为 13~23; 对照组幼虫和稚贝生长的适宜盐度为 8~23, 最适盐度为 13~18。与对照组群体相比, 牡蛎“华南 1 号”适宜盐度较对照组由 18 提高到 23, 盐度适应范围广, 且具有明显的生长优势。

关键词: 香港牡蛎; 盐度; 华南 1 号; 胚胎发育; 幼虫; 稚贝

中图法分类号: S968

文献标志码: A

文章编号: 1672-5174(2020)08-053-12

DOI: 10.16441/j.cnki.hdxh.20190090

引用格式: 赵乃乾, 肖述, 刘浩翔, 等. 盐度对牡蛎“华南 1 号”早期发育与生长的影响[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2020, 50(8): 53-64.

ZHAO Nai-Qian, XIAO Shu, LIU Hao-Xiang, et al. Effect of salinity on early development and growth of oyster “South China No. 1”[J]. Periodical of Ocean University of China, 2020, 50(8): 53-64.

香港牡蛎(*Crassostrea hongkongensis*)属于软体动物门(Mollusca)瓣鳃纲(Lamellibranchia)翼形亚纲(Pterimorpha)珍珠目(Pterioidea)牡蛎科(Ostreidae)巨蛎属(*Crassostrea*), 俗称大蚝^[1-2]。香港牡蛎之前也称作近江牡蛎(*Crassostrea rivularis*), 中国近江牡蛎的俗称有“红肉牡蛎”、“白肉牡蛎”等^[3-4]。后来香港学者 Lam 等^[5]通过基因遗传学的方法将珠江三角洲养殖的“白肉牡蛎”定为一个新种, 命名为香港牡蛎。该命名也得到国内外学者的认同^[6-9]。中国已有 2000 多年的牡蛎养殖历史, 其中广西的钦州、北海、防城港, 广东的阳江、湛江、珠海等地均是中国传统的牡蛎养殖区^[10]。广西香港牡蛎养殖已有 700 多年的历史^[11], 在香港牡蛎养殖产业中, 经常出现抗病抗逆性差、个体小型化、单位产量降低等不良现象。中科院南海海洋研究所喻子牛等^[12]从 2006 年开始, 对香港牡蛎进行了长达 10

年的杂交育种研究, 以牡蛎种间杂交(香港牡蛎♀×长牡蛎(*Crassostrea gigas*)♂)个体与香港牡蛎速生品系(F₄)个体回交获得的回交一代为基础群体, 通过表型性状与分子标记协同筛选获得适合在中国华南沿海养殖的牡蛎“华南 1 号”, 具有生长快、产量高、耐高盐等优点, 且遗传稳定性达 96.7%, 并可在盐度 12~30 的沿海河口水域中养殖, 拓宽了盐度适应范围, 适当扩大了现有养殖区域。

近年来, 学者对香港牡蛎的遗传改良^[13]、杂交效应^[14-15]、人工育苗与养殖^[16-17]等方面进行了研究, 而关于盐度对牡蛎“华南 1 号”胚胎发育、幼虫和稚贝生长的研究尚未见报道。本研究对牡蛎“华南 1 号”与香港牡蛎养殖群体在不同盐度下的幼虫发育和稚贝生长进行了比较, 旨在探究牡蛎“华南 1 号”在胚胎发育、幼虫期的盐度适应性及为广西北部湾海域的引进推广养殖

* 基金项目: 国家重点研究发展计划项目(2018YFD0901400); 广西省重点研发计划项目(AB16380154)资助

Supported by the National Key Research and Development Plan Project of China (2018YFD0901400); the Program for the Key Research and Development of Guangxi Province (AB16380154)

收稿日期: 2019-03-07; 修订日期: 2019-04-19

作者简介: 赵乃乾(1992-), 男, 硕士生。E-mail: 707755944@qq.com

** 通讯作者: E-mail: yingpan@gxu.edu.cn

提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验于2017年6~9月在中科院南海海洋研究所湛江市东海岛东南实验场进行。牡蛎“华南1号”为养殖在广西合浦大坡的F₂群体,对照组为目前北部湾海域的香港牡蛎养殖群体。实验所用牡蛎“华南1号”与对照组香港牡蛎的亲贝均为2016年6月实验场同一批次人工育苗所得。

1.2 实验方法

1.2.1 亲贝的处理 挑选性腺发育良好、活力强、贝壳完整的牡蛎“华南1号”与香港牡蛎养殖群体(对照组)亲贝各30个,清除贝壳表面附着物并用过滤海水清洗贝壳,用数显游标卡尺测量每个牡蛎的壳长、壳宽和壳高,精确度为0.01 mm,并用电子天平测量每个牡蛎的个体质量、软体质量等生长指标,精确到0.01 g(见表1)。亲贝按不同群体分别放入浮篮,在水温28~29℃、盐度25的海水中连续充气暂养,每天投喂扁藻(*Platymonas* sp.)3次。

表1 香港牡蛎实验用亲贝的生物学参数
Table 1 The traits of *C. hongkongensis* for spawning

$n=30; \bar{x} \pm SD$

群体 Group	壳高/mm Shell height	壳长/mm Shell length	壳宽/mm Shell width	体质量/g Body weight	软体质量/g Soft tissue weight
华南1号(♀) South China No. 1	79.04±2.16 ^a	55.22±1.89 ^a	32.16±2.10 ^a	79.84±3.42 ^a	9.91±1.05 ^a
对照组(♀) Control group	63.32±2.85 ^b	50.07±1.93 ^b	31.98±2.99 ^b	69.61±0.71 ^b	8.54±0.92 ^b
华南1号(♂) South China No. 1	80.22±3.14 ^a	53.78±2.03 ^a	30.28±1.98 ^a	76.14±2.14 ^a	9.92±1.13 ^a
对照组(♂) Control group	61.38±3.52 ^b	48.94±1.56 ^b	26.14±2.34 ^b	64.02±1.59 ^b	6.35±1.05 ^b

注:同一指标,字母相同表示差异性不显著($P>0.05$);字母不同则表示差异性显著($P<0.05$)。

Note: Same index, same letters mean no significant difference ($P>0.05$); different letters mean significant difference ($P<0.05$).

1.2.2 盐度调节 通过混合淡水和海水调节盐度,使用手动折光仪(型号K52-100)、TY10便携式pH计(型号PHB-4ZX21)和水温计(型号MITIR系列TP377)测量盐度、pH和水温。

1.2.3 产卵、受精与孵化 本实验所用育苗桶的规格为容积60 L的蓝色塑料桶。盐度设置8个梯度(3、8、13、15、18、23、28和33),其中盐度15作为对照,为香港牡蛎常规人工育苗的盐度。每个梯度均设3个重复组,水温保持在28~29℃,pH为8.1~8.2。

解剖暂养的牡蛎“华南1号”与对照组,挑选性腺较好的雌贝各6个,雄贝各3个。将解剖获取的精子 and 卵子分别放置于装有海水盐度为15的1 000 mL烧杯中,待精子、卵子取完后,将卵子分别加入到调节好盐度梯度的桶中进行体外促熟,卵子密度控制在30~50个/mL。体外促熟后,将精子溶液加入到每个盐度梯度的桶中,每个桶中通过每10 min添加10 mL精子溶液,共添加3次,持续时间30 min,使精卵混合均匀,每个卵子周围有4~6个精子。从第一次添加精子溶液开始计算受精,每5 min取样在Olympus光学显微镜下观察不同盐度组的

受精情况。连续观察并拍照记录牡蛎“华南1号”与对照组的胚胎和幼虫发育情况。每次随机取样观察30个。受精后24 h,通过计数每个实验桶中1 mL的样品来定量孵化的D形幼虫、畸形幼虫和未受精卵的数量。孵化期间保持微充气。

1.2.4 浮游幼虫的培育 在水温28~29℃、pH为8.1~8.2条件下,不同盐度组的牡蛎“华南1号”与对照组受精卵经过13~16 h发育,约有30%的受精卵达到D形幼虫。受精后24 h,每个盐度组进行选优,选优后每个桶D形幼虫以8~15个/mL为宜,每桶投喂湛江等鞭金藻(*Isochrysis zhanjiangensis*)100 mL。之后每天上午07:00~09:00换水1次,前期换水量为原桶的1/3,后期逐渐增加到1/2,每隔5 d将桶中的水全换。每天投喂人工培育的单细胞藻类3次,主要以湛江等鞭金藻、云微藻(*Nannochloropsis* sp.)和角毛藻(*Chaetoceros calcitrans*)为主。在每次换水后每桶投放约5 mg/L EDTA以螯合水中重金属。在浮游幼虫培育阶段,每3 d用带目微尺的Olympus光学显微镜测量每个盐度组30个幼虫的壳高数据,直到变态附着

期。

1.2.5 变态附着及稚贝培育 经过 18~27 d 培育出现眼点,到达附着期。当幼虫 30 %左右出现眼点即向每个育苗桶中悬挂 2 吊蚝壳附着基。本实验所用的蚝壳附着基,蚝壳壳高约为 15 cm、壳长约为 10 cm,用细线将 60 片蚝壳叠串吊挂桶中。附着基预先用 50 mg/L KMnO₄ 溶液浸泡消毒 10 h 并用淡水清洗干净使用。变态附着后的贝苗前期投喂角毛藻,投喂 3 次/d。

在此期间,持续测量不同盐度组的牡蛎“华南 1 号”与对照组早期稚贝的生长情况,每 4 d 用带目微尺的 Olympus 光学显微镜和数显游标卡尺各测量 30 个个体的壳长和壳高等数据,直至稚贝出池。

1.3 数据处理

牡蛎胚胎和幼虫发育时期以培育桶中有 30%的受

精卵发育至该阶段时开始记录。数据经 Excel 2010 软件作初步处理,利用 SPSS 21.0 统计软件分别对壳长、壳高等生物指标数据进行统计分析,数值以平均值±标准差($\bar{x} \pm SD$)表示,并采用 t 检验法检查二者的组间差异显著性,显著水平设为 $P < 0.05$ 。

2 结果

2.1 不同盐度条件对牡蛎“华南 1 号”与对照组的胚胎发育速度影响

在水温 28~29 ℃、pH 为 8.1~8.2 条件下,不同盐度条件下牡蛎“华南 1 号”从受精卵发育至早期稚贝历时 21~23 d,对照组为 28~30 d。不同盐度梯度组中,牡蛎“华南 1 号”与对照组的胚胎发育过程及各时期特征见表 2、3、4 和图 1。

表 2 牡蛎“华南 1 号”与对照组的胚胎和幼虫发育时期特征(盐度 15、水温 28~29 ℃)
Table 2 Characteristics of embryonic and larval development stages of oyster
“South China No.1” and control group (salinity 15, temperature 28~29 ℃)

发育时期 Developmental stage	特征 Characters	图版编号 No. of plate
卵 Egg	成熟卵子呈球形,牡蛎“华南 1 号”卵径为(60.0±2.1)μm;对照组卵径为(58.0±3.4)μm	图 1-1
第一极体 First polar body	牡蛎“华南 1 号”与对照组均在受精后 25 min,受精卵释放出第一极体	图 1-3
第二极体 Second polar body	牡蛎“华南 1 号”受精后 40 min 受精卵释放出第二极体;对照组受精后 40 min 受精卵释放出第二极体	图 1-4
第 1 次卵裂 First cleavage	牡蛎“华南 1 号”与对照组受精卵分别在受精后 1 h 5 min 和 55 min 开始第一次卵裂,第一极叶伸出	图 1-5
4 细胞期 Four-cell stage	均在受精后 1 h 15 min 受精卵第 2 次卵裂	图 1-6
8 细胞期 Eight-cell stage	均在受精后 1 h 45 min 受精卵卵裂至 8 细胞期	图 1-7
16 细胞期 Sixteen-cell stage	均在受精后 2 h 5 min 受精卵卵裂至 16 细胞期	图 1-8
囊胚期 Blastula stage	牡蛎“华南 1 号”与对照组受精卵分别在受精后 3 h 10 min 和 3 h 20 min 发育至囊胚期,胚胎周身密生短小的纤毛,胚胎开始转动	图 1-9
原肠期 Primal period	植物极部分细胞内陷形成原肠腔,内陷凹口形成内胚层	图 1-10
担轮幼虫 Trochophore	牡蛎“华南 1 号”与对照组分别在受精后 8 h 10 min 和 8 h 55 min 发育至担轮幼虫,此阶段内陷的壳腺再翻出,并开始分泌贝壳	图 1-11
D 形幼虫 D-shaped larvae	牡蛎“华南 1 号”受精卵经过 13 h 50 min 发育为 D 形幼虫,幼虫壳高为(61.67±3.26)μm;对照组受精卵经过 15 h 15 min 发育为 D 形幼虫,幼虫壳高为(59.29±2.89)μm	图 1-12
壳顶幼虫 Umbo-larvae	均在受精后 6 d,随着幼虫的发育,壳顶突出,左壳比右壳壳顶大,形成壳顶幼虫初期;左壳生长较快,右壳生长较慢,使左右两壳呈现不对称的状态,牡蛎“华南 1 号”与对照组分别经过 9 和 12 d 的发育进入壳顶幼虫中期;在壳顶幼虫后期,足、足丝腺和鳃等器官出现。牡蛎“华南 1 号”经约 18 d 的发育,对照组经约 25 d 的发育,幼体出现足和眼点,并转入变态附着阶段	图 1-13, 1-14,1-15, 1-16

续表 2

发育时期 Developmental stage	特征 Characters	图版编号 No. of plate
匍匐幼虫 Creeping larva	牡蛎“华南 1 号”经过 18~19 d 的发育,对照组经过 25~27 d 的发育,在幼虫鳃的基部出现一对黑色的眼点,鳃丝增加至数对,足发达,具有自由伸缩能力,可借助足匍匐运动,消化腺分化更完全。此时运动器官为面盘和足,幼虫时而借助面盘游动,时而又可利用足匍匐。后期面盘逐渐退化,最终幼虫失去游动能力,只能匍匐运动	图 1-17, 1-18, 1-19
稚贝 Early spat	眼点幼虫经过 3~4 d 的匍匐生活后,开始变态附着为早期稚贝。面盘萎缩,其上的纤毛开始脱落。当幼虫出现眼点后,幼虫用足部在附着基上爬行,足丝腺分泌足丝开始附着生活,鳃发达,用以呼吸和滤食。第 5 天左右贝壳颜色加深,壳体表面出现纹路,生长线明显,形成外形与成贝相似的稚贝	图 1-20

表 3 不同盐度下牡蛎“华南 1 号”的胚胎和幼虫发育进程(28~29 °C)

Table 3 Embryonic and larval development of oyster “South China No.1” under different salinity(28~29 °C)

 $n=30; \bar{x} \pm SD$

发育阶段 Developmental stage	受精后时间 Time after fertilization							
	盐度 3 Salinity 3	盐度 8 Salinity 8	盐度 13 Salinity 13	盐度 15 Salinity 15	盐度 18 Salinity 18	盐度 23 Salinity 23	盐度 28 Salinity 28	盐度 33 Salinity 33
第一极体 First polar body	28 min ^a	28 min ^a	25 min ^b	25 min ^b	25 min ^b	25 min ^b	28 min ^a	28 min ^a
第二极体 Second polar body	45 min ^a	45 min ^a	40 min ^b	40 min ^b	40 min ^b	40 min ^b	45 min ^a	45 min ^a
2 细胞期 Two-cell stage	1 h 15 min ^a	1 h 5 min ^b	1 h 5 min ^b	1 h 5 min ^b	1 h 5 min ^b	1 h 5 min ^b	1 h 15 min ^a	1 h 15 min ^a
4 细胞期 Four-cell stage	1 h 20 min ^a	1 h 20 min ^a	1 h 15 min ^b	1 h 15 min ^b	1 h 15 min ^b	1 h 15 min ^b	1 h 20 min ^a	1 h 25 min ^a
8 细胞期 Eight-cell stage	1 h 50 min ^a	1 h 50 min ^a	1 h 45 min ^b	1 h 45 min ^b	1 h 45 min ^b	1 h 50 min ^a	1 h 50 min ^a	1 h 50 min ^a
16 细胞期 Sixteen-cell stage	2 h 15 min ^a	2 h 10 min ^b	2 h 5 min ^c	2 h 5 min ^c	2 h 5 min ^c	2 h 5 min ^c	2 h 10 min ^b	2 h 15 min ^a
多细胞期 Multicellular stage	2 h 45 min ^a	2 h 45 min ^a	2 h 40 min ^b	2 h 40 min ^b	2 h 40 min ^b	2 h 40 min ^b	2 h 45 min ^a	2 h 45 min ^a
囊胚期 Blastula stage	3 h 20 min ^a	3 h 15 min ^b	3 h 10 min ^c	3 h 10 min ^c	3 h 10 min ^c	3 h 15 min ^b	3 h 15 min ^b	3 h 20 min ^a
担轮幼虫 Trochophore	8 h 25 min ^a	8 h 20 min ^b	8 h 10 min ^c	8 h 10 min ^c	8 h 10 min ^c	8 h 15 min ^d	8 h 25 min ^a	8 h 25 min ^a
D 形幼虫 D-shaped larvae	14 h 15 min ^a	14 h 10 min ^b	13 h 50 min ^c	13 h 50 min ^c	13 h 50 min ^c	14 h 5 min ^d	14 h 10 min ^b	14 h 15 min ^a
壳顶初期幼虫 Early umbo-larvae	6 d ^a	6 d ^a	6 d ^a	6 d ^a	6 d ^a	6 d ^a	6 d ^a	6 d ^a
壳顶中期幼虫 Middle umbo-larvae	10 d ^a	9 d ^b	9 d ^b	9 d ^b	9 d ^b	9 d ^b	10 d ^a	10 d ^a
壳顶后期幼虫 Late umbo-larvae	15 d ^a	14 d ^b	13 d ^c	13 d ^c	13 d ^c	13 d ^c	14 d ^b	15 d ^a
眼点幼虫 Eye larvae	—	19 d ^a	18 d ^b	18 d ^b	18 d ^b	19 d ^a	19 d ^a	—
早期稚贝 Early spat	—	23 d ^a	21 d ^b	21 d ^b	21 d ^b	22 d ^c	22 d ^c	—

注: 同一发育阶段, 字母相同表示不同盐度下发育时间差异性不显著($P>0.05$); 字母不同则表示差异性显著($P<0.05$)。Note: For the same developmental stage, same letters indicate that there is no significant difference in the development time under different salinity ($P>0.05$), different letters mean significant difference ($P<0.05$).

表 4 不同盐度下对照组胚胎和幼虫发育进程(28~29 °C)

Table 4 Embryonic and larval development of oyster *C. hongkongensis* under different salinities (28~29 °C) $n=30; \bar{x} \pm \text{SD}$

发育阶段 Developmental stage	受精后时间 Time after fertilization							
	盐度 3 Salinity 3	盐度 8 Salinity 8	盐度 13 Salinity 13	盐度 15 Salinity 15	盐度 18 Salinity 18	盐度 23 Salinity 23	盐度 28 Salinity 28	盐度 33 Salinity 33
第一极体 First polar body	28 min ^a	28 min ^a	25 min ^b	25 min ^b	25 min ^b	25 min ^b	28 min ^a	—
第二极体 Second polar body	40 min ^a	40 min ^a	35 min ^b	35 min ^b	35 min ^b	40 min ^a	40 min ^a	—
2 细胞期 Two-cell stage	1 h 15 min ^a	1 h 10 min ^b	55 min ^c	55 min ^c	55 min ^c	1 h 10 min ^b	1 h 10 min ^b	—
4 细胞期 Four-cell stage	1 h 20 min ^a	1 h 20 min ^a	1 h 15 min ^b	1 h 15 min ^b	1 h 15 min ^b	1 h 15 min ^b	1 h 20 min ^a	—
8 细胞期 Eight-cell stage	1 h 55 min ^a	1 h 55 min ^a	1 h 45 min ^b	1 h 45 min ^b	1 h 45 min ^b	1 h 50 min ^c	1 h 55 min ^a	—
16 细胞期 Sixteen-cell stage	2 h 20 min ^a	2 h 20 min ^a	2 h 5 min ^b	2 h 5 min ^b	2 h 5 min ^b	2 h 10 min ^c	2 h 15 min ^d	—
多细胞期 Multicellular stage	2 h 55 min ^a	2 h 55 min ^a	2 h 45 min ^b	2 h 45 min ^b	2 h 45 min ^b	2 h 55 min ^a	2 h 55 min ^a	—
囊胚期 Blastula stage	3 h 35 min ^a	3 h 30 min ^b	3 h 20 min ^c	3 h 20 min ^c	3 h 20 min ^c	3 h 30 min ^b	3 h 35 min ^a	—
担轮幼虫 Trochophore	9 h 25 min ^a	9 h 15 min ^b	8 h 55 min ^c	8 h 55 min ^c	8 h 55 min ^c	9 h 10 min ^d	9 h 25 min ^a	—
D 形幼虫 D-shaped larvae	15 h 50 min ^a	15 h 25 min ^b	15 h 25 min ^b	15 h 15 min ^c	15 h 20 min ^d	15 h 25 min ^b	15 h 50 min ^a	—
壳顶初期幼虫 Early umbo-larvae	7 d ^a	6 d ^b	6 d ^b	6 d ^b	6 d ^b	6 d ^b	6 d ^b	—
壳顶中期幼虫 Middle umbo-larvae	15 d ^a	13 d ^b	12 d ^c	12 d ^c	12 d ^c	13 d ^b	15 d ^a	—
壳顶后期幼虫 Late umbo-larvae	—	20 d ^a	18 d ^b	18 d ^b	18 d ^b	20 d ^a	20 d ^a	—
眼点幼虫 Eye larvae	—	27 d ^a	25 d ^b	25 d ^b	25 d ^b	27 d ^a	27 d ^a	—
早期稚贝 Early spat	—	30 d ^a	28 d ^b	28 d ^b	28 d ^b	30 d ^a	30 d ^a	—

注: 同一发育阶段, 字母相同表示不同盐度下发育时间差异性不显著($P>0.05$); 字母不同则表示差异性显著($P<0.05$)。

Note: For the same developmental stage, same letters indicate that there is no significant difference in the development time under different salinity ($P>0.05$), different letters mean significant difference ($P<0.05$).

由表 3 和 4 可知,在水温 28~29 °C、pH 为 8.1~8.2 条件下,牡蛎“华南 1 号”在设置的盐度组中均能正常受精。在盐度 8、13、15、18 和 23 时,受精后 1 h 5 min 培育桶中约有 30% 的受精卵开始第一次卵裂;盐度 13、15 和 18 时,受精后 13 h 50 min 约有 30% 的受精卵发育为 D 形幼虫;盐度 23 时经过 14 h 5 min 约有 30% 的受精卵发育至 D 形幼虫;发育最慢的是盐度 3 和 33,经过 15 d 约有 30% 的 D 形幼虫发育至壳顶幼虫后期;盐度 13、15 和 18 时,经过 18 d 发育至眼点幼虫。对照组在盐度 33 时未能受精,在盐度 13、15 和 18 时,受精后 55 min 培育桶中约有 30% 的受精卵开始第一次卵裂,经过 15 h 15 min 约有 30% 的受精卵发育至

D 形幼虫,而发育至眼点幼虫需 25 d。在同一盐度下,对照组幼虫发育较牡蛎“华南 1 号”慢。

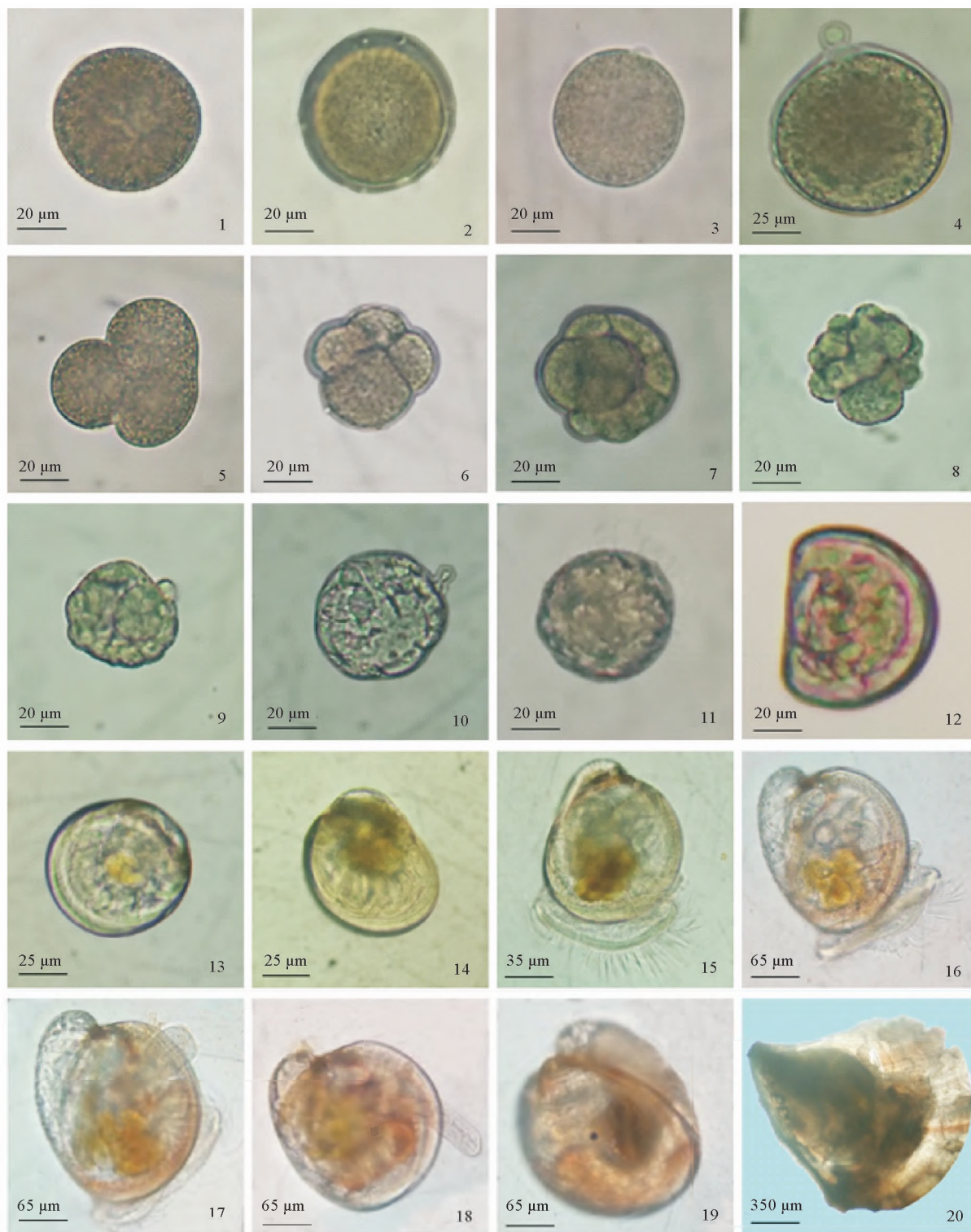
在水温 28~29 °C、pH 8.1~8.2 实验条件下,牡蛎“华南 1 号”与对照组受精卵在不同盐度下经过不同的时间发育成 D 形幼虫。随着幼虫发育,在盐度 3 和 33 时牡蛎“华南 1 号”幼虫发育最慢,发育至第 13 天时开始大量死亡,直至第 15 天时已全部死亡。

2.2 牡蛎“华南 1 号”与对照组的受精率、孵化率和 D 形幼虫畸形率比较

由图 2 和 3 可知,不同盐度条件下牡蛎“华南 1 号”和对照组的受精率在盐度 13~18 时较高,孵化率在盐度 15 时最高,差异显著($P<0.05$);牡蛎“华南 1 号”D 形幼虫畸

形率在盐度 13~23 时较低,对照组 D 形幼虫畸形率在盐度 13~18 时较低。相同盐度,牡蛎“华南 1 号”的受精率和孵化率均高于对照组,且差异显著($P<0.05$)。牡蛎

“华南 1 号”的 D 形幼虫畸形率均低于对照组,差异明显($P<0.05$),表明牡蛎“华南 1 号”的适宜受精盐度为 13~23,对照组的适宜受精盐度为 13~18。



(1: 卵; 2: 受精卵; 3: 第一极体; 4: 第二极体; 5: 第一次卵裂,第一极叶伸出; 6: 4 细胞期; 7: 8 细胞期; 8: 16 细胞期; 9: 囊胚期; 10: 原肠期; 11: 担轮幼虫; 12: D 形幼虫; 13: 壳顶幼虫初期; 14: 壳顶幼虫中期; 15、16: 壳顶幼虫后期; 17: 匍匐幼虫初期; 18: 匍匐幼虫; 19: 眼点幼虫; 20: 稚贝。
1: Egg; 2: Fertilized egg; 3: First polar body; 4: Second polar body; 5: First cleavage, first pole extension; 6: Four-cell stage; 7: Eight-cell stage; 8: Sixteen-cell stage; 9: Blastula stage; 10: Primal period; 11: Trochophore; 12: D-shaped larvae; 13: Early umbo-larvae; 14: Middle umbo-larvae; 15: Late umbo-larvae; 16: Early creeping larvae; 17: Creeping larvae; 18: Eye larvae; 19: Eye larvae; 20: Spat.)

图 1 牡蛎“华南 1 号”的胚胎、幼虫发育及稚贝生长

Fig.1 Embryonic and larval development, spat growth in the oyster of “South China No.1”

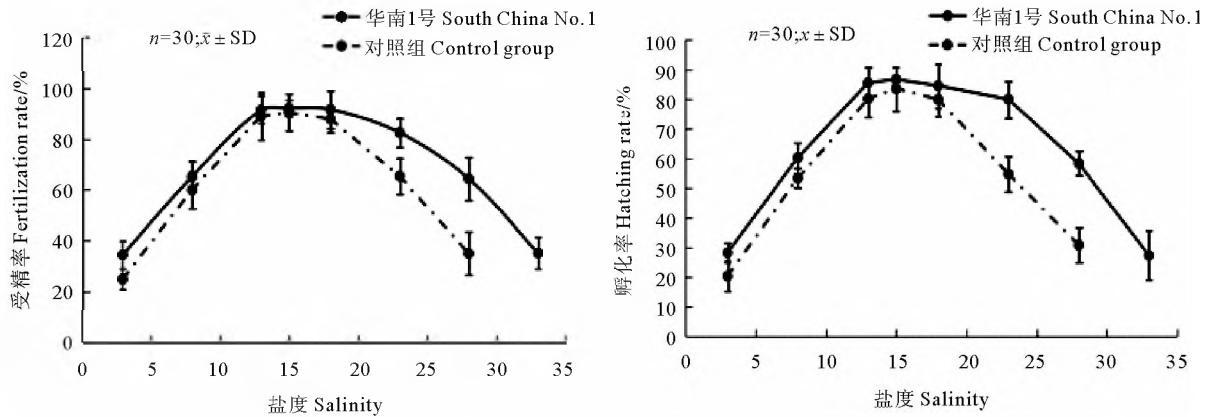


图 2 不同盐度下牡蛎“华南 1 号”与对照组的受精率与孵化率比较

Fig.2 Comparison of fertilization and hatching rate in the oyster of “South China No.1” and control group under different salinities

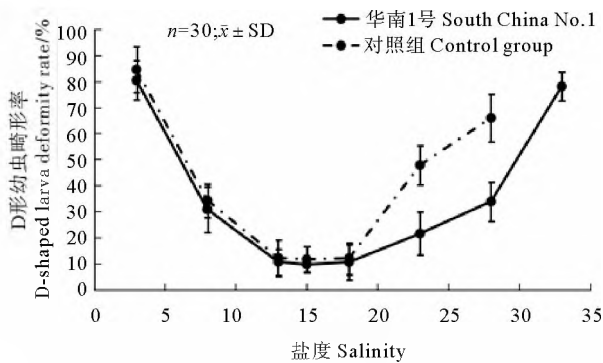


图 3 不同盐度下牡蛎“华南 1 号”与对照组的 D 形幼虫畸形率比较

Fig.3 Comparison of D-shaped larva deformity rate in the oyster of “South China No.1” and control group under different salinities

2.3 不同盐度条件下牡蛎“华南 1 号”与对照组浮游幼虫的生长发育比较

在水温 $28\sim 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、pH $8.1\sim 8.2$ 实验条件下,牡蛎“华南 1 号”受精卵经过 13 h 50 min 左右发育成 D 形幼虫,在盐度 3 时壳高最小为 $(60.25\pm 3.63)\mu\text{m}$,在盐度 15 时壳高最大为 $(61.67\pm 3.26)\mu\text{m}$;对照组在盐度 33 时未能受精,其余盐度下受精卵经过 15 h 20 min 左右发育成 D 形幼虫,在盐度 3 时壳高最小为 $(53.65\pm 5.49)\mu\text{m}$,盐度 15 时壳高最大为 $(59.29\pm 2.89)\mu\text{m}$,牡蛎“华南 1 号”与对照组的壳高在盐度 13、15 和 18 时不存在显著性差异 ($P>0.05$),其余盐度组差异显著 ($P<0.05$)。第 3 天开始,相同盐度组,牡蛎“华南 1 号”与对照组的壳高均存在差异显著 ($P<0.05$)。

经 19 d 发育,牡蛎“华南 1 号”达到附着变态期,该时期牡蛎“华南 1 号”在盐度 8 时幼虫壳高最小为

$(320.58\pm 2.02)\mu\text{m}$,在盐度 15 时幼虫壳高最大为 $(348.26\pm 2.46)\mu\text{m}$;对照组在盐度 15 时幼虫壳高最大为 $(267.39\pm 2.57)\mu\text{m}$,还远未达到附着变态期,牡蛎“华南 1 号”与对照组之间的差异显著 ($P<0.05$)。牡蛎“华南 1 号”不同盐度组间差异显著 ($P<0.05$),对照组除盐度 8 和 28 差异不显著外 ($P>0.05$),其余各盐度组间差异显著 ($P<0.05$)。

由表 5 可知,牡蛎“华南 1 号”浮游幼虫在盐度 8~28 时生长较快,对照组在盐度 8~23 时生长较快。结果表明,牡蛎“华南 1 号”浮游幼虫生长的适宜盐度为 8~28,最适生长盐度为 13~23;对照组浮游幼虫生长的适宜盐度为 8~23,最适生长盐度为 13~18。因此,盐度过高或过低均不适宜牡蛎幼虫的生长发育。

2.4 不同盐度条件下牡蛎“华南 1 号”与对照组稚贝时期的生长发育比较

在不同盐度条件下,牡蛎“华南 1 号”与对照组分别经过 18~19 d 和 25~27 d 的生长发育,进入附着变态期,生长速度迅速增加,牡蛎“华南 1 号”的生长优势开始凸显。由图 4 可知,牡蛎“华南 1 号”早期稚贝的生长均大于对照组,且差异显著 ($P<0.05$)。在盐度 15 时,牡蛎“华南 1 号”与对照组的壳长、壳高均最大,牡蛎“华南 1 号”壳长 $(5.61\pm 0.33)\text{ mm}$,壳高 $(5.89\pm 0.45)\text{ mm}$;对照组壳长 $(5.41\pm 0.58)\text{ mm}$,壳高 $(5.66\pm 0.44)\text{ mm}$ 。牡蛎“华南 1 号”早期稚贝的壳长在盐度 8、28 无显著差异 ($P>0.05$),其余各盐度组间均有显著差异 ($P<0.05$);壳高除盐度 13、23 差异不显著外 ($P>0.05$),其余各盐度组间均差异显著 ($P<0.05$)。对照组早期稚贝的壳长在每个盐度组间均有显著差异 ($P<0.05$),壳高除了盐度 8、28 差异不显著外 ($P>0.05$),其余各盐度组差异显著 ($P<0.05$)。

表5 不同盐度下牡蛎“华南1号”与对照组浮游幼虫壳高比较

Table 5 Comparison of the shell height of oyster larvae between the “South China No.1” and control group in different salinities

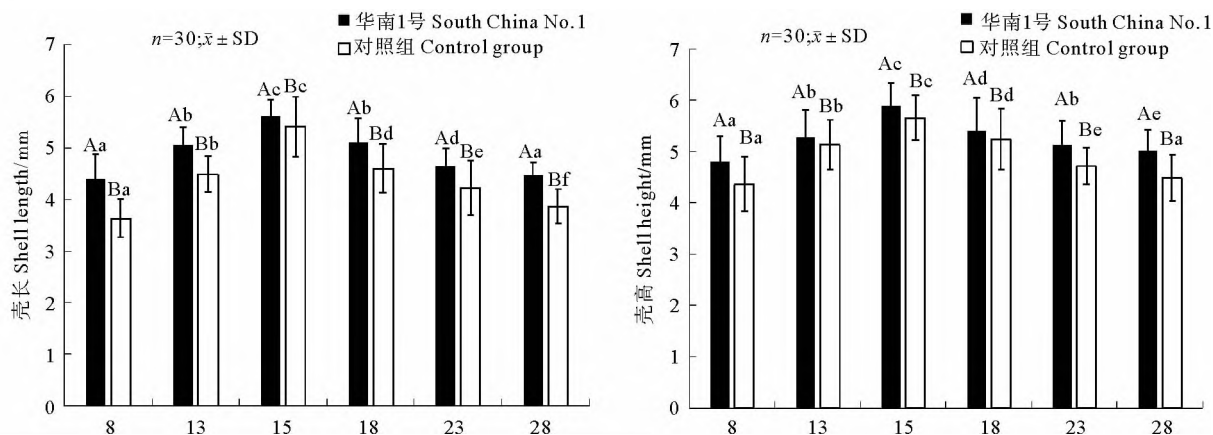
 $n=30; \bar{x} \pm SD$

日龄 Day/d	群体 Group	浮游幼虫壳高 Larvae shell height/mm							
		盐度 3 Salinity 3	盐度 8 Salinity 8	盐度 13 Salinity 13	盐度 15 Salinity 15	盐度 18 Salinity 18	盐度 23 Salinity 23	盐度 28 Salinity 28	盐度 33 Salinity 33
2	华南1号 ^①	60.25±3.63 ^{Aa}	60.86±2.81 ^{Aa}	61.49±2.98 ^{Aa}	61.67±3.26 ^{Aa}	61.59±4.16 ^{Aa}	61.53±3.27 ^{Aa}	61.25±4.50 ^{Aa}	60.89±3.15 ^a
	对照组 ^②	53.65±5.49 ^{Ba}	55.01±5.54 ^{Bb}	59.13±3.58 ^{Ac}	59.29±2.89 ^{Ac}	59.23±3.64 ^{Ac}	57.72±3.45 ^{Bd}	55.24±3.32 ^{Bb}	—
3	华南1号 ^①	62.65±3.35 ^{Aa}	67.31±2.55 ^{Ab}	70.56±3.57 ^{Ac}	72.35±3.99 ^{Ad}	71.23±2.45 ^{Ac}	69.15±3.27 ^{Ac}	67.86±3.28 ^{Ab}	63.57±3.36 ^a
	对照组 ^②	58.26±3.34 ^{Ba}	60.30±3.25 ^{Bb}	66.45±4.09 ^{Bc}	68.82±3.34 ^{Bd}	67.53±2.60 ^{Bd}	63.13±4.28 ^{Be}	61.22±5.51 ^{Bb}	—
6	华南1号 ^①	77.11±7.09 ^{Aa}	84.78±3.64 ^{Ab}	88.11±3.05 ^{Ac}	93.81±3.99 ^{Ad}	90.22±2.64 ^{Ac}	86.18±2.31 ^{Af}	85.07±2.09 ^{Ab}	78.44±3.28 ^a
	对照组 ^②	73.97±2.10 ^{Ba}	79.41±6.51 ^{Bb}	84.52±4.38 ^{Bc}	88.86±3.37 ^{Bd}	86.94±4.72 ^{Be}	82.89±5.08 ^{Bi}	80.18±4.74 ^{Bb}	—
9	华南1号 ^①	97.21±5.21 ^{Aa}	105.33±7.26 ^{Ab}	117.82±7.92 ^{Ac}	121.84±6.34 ^{Ad}	119.86±9.15 ^{Ac}	112.67±5.39 ^{Ae}	108.18±5.12 ^{Af}	99.10±5.70 ^a
	对照组 ^②	81.56±4.07 ^{Ba}	88.45±3.97 ^{Bb}	94.32±6.43 ^{Bc}	99.38±5.97 ^{Bd}	96.89±4.87 ^{Be}	92.41±2.75 ^{Bc}	89.15±3.47 ^{Bb}	—
13	华南1号 ^①	203.13±3.30 ^{Aa}	213.28±3.28 ^{Ab}	226.39±4.21 ^{Ac}	232.38±5.42 ^{Ad}	229.45±4.48 ^{Ae}	225.82±6.32 ^{Ae}	218.23±3.62 ^{Af}	205.51±2.74 ^a
	对照组 ^②	156.15±3.13 ^{Ba}	164.01±4.84 ^{Bb}	174.20±3.26 ^{Bc}	181.82±3.34 ^{Bd}	178.23±3.66 ^{Be}	170.93±3.59 ^{Bi}	167.36±2.61 ^{Bb}	—
15	华南1号 ^①	264.36±3.34 ^a	275.92±5.27 ^{Ab}	289.56±4.10 ^{Ac}	297.32±3.11 ^{Ad}	291.64±4.54 ^{Ac}	282.13±4.40 ^{Ae}	279.12±4.83 ^{Af}	—
	对照组 ^②	—	200.50±2.24 ^{Ba}	214.53±3.90 ^{Bb}	223.04±3.37 ^{Bc}	219.18±4.41 ^{Bd}	211.34±4.59 ^{Bb}	204.11±3.97 ^{Be}	—
17	华南1号 ^①	—	301.48±2.51 ^{Aa}	312.56±1.15 ^{Ab}	321.88±3.26 ^{Ac}	317.14±1.45 ^{Ad}	308.26±1.59 ^{Ae}	303.19±3.01 ^{Aa}	—
	对照组 ^②	—	220.71±1.89 ^{Ba}	231.35±2.05 ^{Bb}	245.83±3.34 ^{Bc}	237.17±2.04 ^{Bd}	227.28±2.17 ^{Be}	223.49±2.27 ^{Bi}	—
19	华南1号 ^①	—	320.58±2.02 ^{Aa}	337.47±3.41 ^{Ab}	348.26±2.46 ^{Ac}	342.23±3.02 ^{Ad}	328.37±2.56 ^{Ae}	323.15±1.85 ^{Af}	—
	对照组 ^②	—	238.53±1.13 ^{Ba}	251.13±2.58 ^{Bb}	267.39±2.57 ^{Bc}	259.56±1.52 ^{Bd}	245.31±1.79 ^{Be}	240.42±3.14 ^{Ba}	—

注:同一盐度,上标大写字母相同表示两个品种差异性不显著($P>0.05$);上标大写字母不同则表示差异性显著($P<0.05$)。同一品种,不同盐度,上标小写字母相同则表示差异性不显著($P>0.05$);上标小写字母不同则表示差异性显著($P<0.05$)。

Note: For the same salinities, the same capitalization of the upper standard indicates that the difference between the two species is not significant ($P>0.05$); the difference between the upper and upper capital letters indicates significant difference ($P<0.05$). The same species, different salinities, and the same lowercase letters indicate that the difference is not significant ($P>0.05$); the difference in the lowercase letters of the superscript indicates that the difference is significant ($P<0.05$).

① South China No.1; ② Control group



(同一盐度,上标大写字母相同表示两个品种的差异性不显著($P>0.05$);上标大写字母不同则表示差异性显著($P<0.05$)。同一品种,不同盐度,上标小写字母相同则表示差异性不显著($P>0.05$);上标小写字母不同则表示差异性显著($P<0.05$)。For the same salinities, the same capitalization of the upper standard indicates that the difference between the two species is not significant ($P>0.05$); the difference between the upper and upper capital letters indicates significant difference ($P<0.05$). The same species, different salinities, and the same lowercase letters indicate that the difference is not significant ($P>0.05$); the difference in the lowercase letters of the superscript indicates that the difference is significant ($P<0.05$).)

图4 不同盐度下牡蛎“华南1号”与对照组稚贝壳长、壳高的变化

Fig.4 Changes in shell length and shell height of oyster spat in the “South China No. 1” and control group at different salinities

2.5 不同盐度条件下牡蛎“华南 1 号”与对照组幼虫附着变态率、稚贝存活率比较

由图 5 可知,不同盐度下,牡蛎“华南 1 号”附着幼虫的附着变态率和稚贝存活率均高于对照组,且牡蛎“华南 1 号”在盐度 15 和 18 时附着变态率最高分别达到 $(85.58 \pm 2.89)\%$ 和 $(85.11 \pm 3.44)\%$,存活率分别为 $(95.88 \pm 7.24)\%$ 和 $(92.45 \pm 6.23)\%$;对照组在盐

度 13 和 15 的附着变态率最高分别为 $(78.35 \pm 2.34)\%$ 和 $(76.41 \pm 2.59)\%$,存活率分别为 $(90.89 \pm 8.56)\%$ 和 $(86.23 \pm 6.48)\%$ 。牡蛎“华南 1 号”存活率远高于对照组,且两群体间存活率差异显著($P < 0.05$)。结果表明,牡蛎“华南 1 号”的附着变态率、存活率均表现出明显优势。

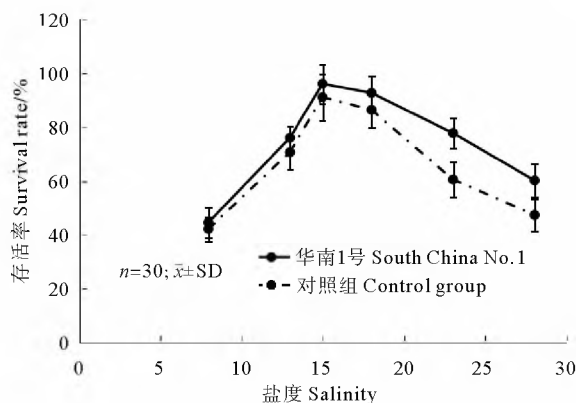
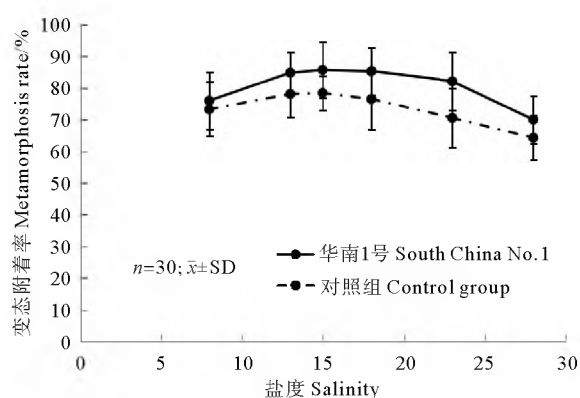


图 5 不同盐度下牡蛎“华南 1 号”与对照组的幼虫附着变态率、稚贝存活率比较

Fig. 5 Comparison of larva metamorphosis rate and spat survival rate of oyster “South China No. 1” and control group in different salinities

3 讨论

3.1 牡蛎“华南 1 号”的胚胎发育

在水温 $28 \sim 29^\circ\text{C}$ 、pH 为 $8.1 \sim 8.2$ 条件下,牡蛎“华南 1 号”的胚胎和胚后发育主要经历了早期胚胎发育期、担轮幼虫期、面盘幼虫期和稚贝 4 个时期,与太平洋牡蛎 (*Crassostrea gigas*)^[18]、香港牡蛎 (*C. hongkongensis*)^[19]、等边浅蛤 (*Gomphina veneriformis*)^[20]、墨西哥湾扇贝 (*Argopecten irradians concentricus*)^[21]、偏顶蛤 (*Modiolus modiolus*)^[22] 等双壳贝类胚胎发育各阶段相似。香港牡蛎在结束浮游幼虫期即将进入附着变态时,鳃基部出现一对黑色眼点,标志着幼虫进入附着变态,这与扇贝、珍珠贝等许多双壳贝类的幼虫附着变态过程相一致。

盐度是决定海洋贝类分布并影响其生理代谢的重要环境因子之一。本研究发现不同盐度梯度下“华南 1 号”的受精率与孵化率均高于对照组,且差异显著 ($P < 0.05$),牡蛎“华南 1 号”在盐度 13、15 和 18 时发育最快,其次是盐度 8、23 和 28,盐度 3 和 33 组发育最慢;而对照组在盐度 33 时受精未成功,盐度 15 时发育最快,盐度 3 和 28 发育最慢。研究表明,盐度过高或过低对受精都存在不良影响,盐度过高或过低对精子和卵子的渗透压产生改变,使得精子活力低下,卵子质量变差,导致受精发育受阻。这与李琼珍等^[23]研究

盐度对大獭蛤 (*Lutraria maxima* Janas) 胚胎发育的影响,张炯明等^[20]研究温度和盐度对等边浅蛤胚胎和幼虫生长发育的影响,Legat J.F.A 等^[24]研究盐度对太平洋牡蛎受精和幼贝培育影响的研究结果相似。本实验结果表明,牡蛎“华南 1 号”的适宜受精盐度在 13~23,对照组的适宜受精盐度在 13~18。

3.2 不同盐度下牡蛎“华南 1 号”的幼虫发育、稚贝生长

在相同环境条件下,不同盐度组牡蛎“华南 1 号”在幼虫生长发育前期比对照组生长速度快,且差异性显著 ($P < 0.05$)。牡蛎“华南 1 号”生长速率随盐度的增加“先增后减”,对照组也有类似的生长表现。在牡蛎幼虫生长的后期,最低盐度 3 和最高盐度 33 时,牡蛎“华南 1 号”与对照组皆出现幼虫死亡,表明盐度过高或过低都使幼虫新陈代谢和摄食无法正常进行,最终导致死亡。这一结果与杨鹏等^[25]在翡翠贻贝 (*Perna viridis*) 和林丽华等^[26]在香港巨牡蛎 (*C. hongkongensis*) 研究中得到的结果一致。

进入附着变态期后,在不同盐度组、同一附着日龄下,牡蛎“华南 1 号”各生长指标均大于对照组,且牡蛎“华南 1 号”与对照组的壳长、壳高生长差异显著 ($P < 0.05$)。牡蛎“华南 1 号”在盐度 8~28 时都有较好的生长,且在盐度 13、15 和 18 时生长最快,其次是盐度 8 和 23;对照组在盐度 13~23 生长较好,在盐度 15 时生长

最快,其次是盐度 13 和 18,牡蛎“华南 1 号”适养盐度较对照组由 18 提高到 23。这与官俊良^[27]在香港巨牡蛎人工育苗及其两个群体双列杂交的初步研究结果相似,进一步说明在附着变态后期牡蛎“华南 1 号”稚贝对盐度适应性和耐受力增强。

3.3 不同盐度下牡蛎“华南 1 号”早期发育阶段的生长规律

在水温 28~29 °C、pH 8.1~8.2,盐度相同时,牡蛎“华南 1 号”的发育在前期较对照组慢,后期发育快于对照组,发育速度的不同,表明牡蛎“华南 1 号”具有亲本香港牡蛎速生品系的快速生长特性。牡蛎“华南 1 号”与对照组在早期发育阶段幼虫的生长速率和存活率均随着盐度的增加表现出“先增后减”的特点,高盐 33 和低盐 3 条件下牡蛎幼虫生长缓慢且存活率较低。这在双壳贝类的研究中也类似结果,叶乐等^[28]对长肋日月贝(*Amusium pleuronectes*)幼虫的研究发现,盐度低于 20 或高于 40,D 形幼虫 3 d 内全部死亡。王丹丽等^[29]发现青蛤(*Cyclina sinensis*)幼虫的生长率和存活率均随盐度的升高先升高再降低。因此,在贝类人工育苗过程中,应将盐度控制在适宜范围内。牡蛎“华南 1 号”与对照组浮游幼虫和早期稚贝具有一定的适宜生长盐度与最适生长盐度范围。这一结果与 Helm 等^[30]、Nell 等^[31]、刘海涛等^[32]的研究结果相类似。本研究表明,牡蛎“华南 1 号”在浮游幼虫和早期稚贝阶段生长速度快于对照组,具有明显的耐高盐度适宜范围和生长优势。

今后还需进一步探究牡蛎“华南 1 号”在不同养殖阶段、不同养殖海域环境下的生长对比,为牡蛎“华南 1 号”在广西北部湾海域的引进及推广养殖提供科学参考。

4 结论

本文研究了盐度对牡蛎“华南 1 号”早期发育与生长的影响。研究结果表明,牡蛎“华南 1 号”在浮游幼虫和早期稚贝阶段生长速度快于对照组群体,牡蛎“华南 1 号”在幼虫发育阶段和早期稚贝的生长速率和存活率均随着盐度的增加“先升后降”,高盐 33 和低盐 3 条件下牡蛎幼虫生长缓慢且存活率较低。且牡蛎“华南 1 号”幼虫和稚贝生长的最适盐度为 13~23;对照组幼虫和稚贝生长的最适盐度为 13~18。与对照组群体相比,牡蛎“华南 1 号”的适宜盐度较对照组由 18 提高到 23,盐度适应范围广,且具有明显的生长优势。

参考文献:

[1] 王海艳,郭希明,刘晓,等.中国近海近江牡蛎的分类和订名[J].海洋科学,2007,31(9):85-86.
Wang H Y, Guo X M, Liu X, et al. Classification of “Jinjiang”

oysters in China[J]. Marine Science, 2007, 31(9): 85-86.

- [2] 蓝文陆,付家想,杨斌,等.香港巨牡蛎对 3 种微藻的选择性摄食研究[J].海洋学报,2018,40(8):79-88.
Lan W L, Fu J X, Yang B, et al. Study on feeding selectivity of *Crassostrea hongkongensis* feeding on there different phytoplankton [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2018, 40(8): 79-88.
- [3] 刘剑,王昭萍,孔静,等.香港巨牡蛎♀×太平洋牡蛎♂异源三倍体的初步研究[J].海洋湖沼通报,2012,1:35-42.
Liu J, Wang Z P, Kong J, et al. Primary study on allotriploid induction of *Crassostrea hongkongensis* ♀ × *Crassostrea gigas* ♂ [J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2012, 1: 35-42.
- [4] 付家想,蓝文陆,李天深,等.香港巨牡蛎对 3 种浮游植物摄食率和滤清率的研究[J].海洋学报,2017,39(8):62-69.
Fu J X, Lan W L, Li T S, et al. Research of clearance rate and filtration rate of *Crassostrea hongkongensis* feeding on three different phytoplankton [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2017, 39(8): 62-69.
- [5] Lam K, Morton B. Mitochondrial DNA and morphological identification of a new species of *Crassostrea* (Bivalvia: Ostreidae) cultured for centuries in the Pearl River Delta, Hong Kong, China [J]. Aquaculture, 2003, 228(1): 1-13.
- [6] Reece K S, Cordes J F, Stubbs J B, et al. Molecular phylogenies help resolve taxonomic confusion with Asian *Crassostrea* species [J]. Marine Biology, 2008, 153(4): 709-721.
- [7] Yu Z, Wei Z, Kong X, et al. Complete mitochondrial DNA sequence of oyster *Crassostrea hongkongensis*-a case of “Tandem duplication-random loss” for genome rearrangement in *Crassostrea* [J]. BMC Genomics, 2008, 9: 477.
- [8] 刘映,李军,张跃环,等.香港牡蛎新型 LRR 受体克隆与功能分析[J].水产学报,2017,41(3):347-357.
Liu Y, Li J, Zhang Y H, et al. Cloning and function analysis of novel LRRs receptor in *Crassostrea hongkongensis* [J]. Journal of Fisheries of China, 2017, 41(3): 347-357.
- [9] 李咏梅,陈秀荔,赵永贞,等.钦州湾牡蛎线粒体 16S rRNA 和 COI 基因片段的序列变异分析[J].广东海洋大学学报,2009,29(3):11-18.
Li Y M, Chen X Z, Zhao Y Z, et al. Sequence analysis on mitochondrial 16S rRNA gene and COI gene of populations of ostreidae from Qin Zhou Gulf [J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2009, 29(3): 11-18.
- [10] 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 *Crassostrea ariakensis* [J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(8): 1215-1224.
- [11] 朱豪磊.香港牡蛎精子冷冻保存的研究[D].南宁:广西大学,2013.
Zhu H L. Study on the Sperm of *Crassostrea hongkongensis* Using Cold-store Technology [D]. Nanning: Guangxi University, 2013.
- [12] 中国科学院南海海洋研究所.“华南 1 号”牡蛎获水产新品种证书 [EB/OL]. (2016-03-25) [2016-03-29]. http://www.scsio.ac.cn/xwzx/snyw/201603/t20160325_4574418.html.
South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences. “South China No. 1” oyster was awarded a new aquatic product certificate [EB/OL]. (2016-03-25) [2016-03-29]. http://www.scsio.ac.cn/xwzx/snyw/201603/t20160325_4574418.html.

- //www. scsio. ac. cn/xwzx/snyw/201603/t20160325_4574418. html.
- [13] 张跃环. 香港巨牡蛎(*Crassostrea hongkongensis*)与长牡蛎(*Crassostrea gigas*)种间杂交效应及遗传改良研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
- Zhang Y H. Interspecific Hybridization Effect and Genetic Improvement Between Two Cupped Oyster, *Crassostrea hongkongensis* and *Crassostrea gigas*[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012.
- [14] 张跃环, 王昭萍, 喻子牛, 等. 香港牡蛎(*Crassostrea hongkongensis*)与长牡蛎(*Crassostrea gigas*)种间杂种遗传力评估[J]. 海洋与湖沼, 2014, 45(6): 1367-1373.
- Zhang Y H, Wang Z P, Yu Z N, et al. Evaluation on cross-heritability of interspecific hybrids between female *Crassostrea hongkongensis* and male *Crassostrea gigas*[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2014, 45(6): 1367-1373.
- [15] 杜俊鹏, 王昭萍, 于瑞海, 等. 盐度对香港巨牡蛎♀×葡萄牙牡蛎♂杂交子代早期杂种优势的影响[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2018, 48(1): 31-39.
- DU Jun-Peng, WANG Zhao-Ping, YU Rui-Hai, et al. Effect of salinity on early heterosis of hybrid larvae between *Crassostrea hongkongensis* ♀ × *Crassostrea angulata* ♂ [J]. Periodica of Ocean University of China, 2018, 48(1): 31-39.
- [16] 於锋, 罗帮, 陈雪芬, 等. 广西茅尾海的香港巨牡蛎(*Crassostrea hongkongensis*)在不同养殖区的性腺发育变化[J]. 渔业科学进展, 2016, 37(3): 134-142.
- Yu F, Luo B, Chen X F, et al. Gonad development of oyster (*Crassostrea hongkongensis*) at different cultural sites in Maowei Bay, Guangxi, China[J]. Progress in Fishery Sciences, 2016, 37(3): 134-142.
- [17] 丁丹勇. 生态因子对香港牡蛎重金属排出及其营养成分的影响[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2018.
- Ding D Y. Effect of Ecological Factors on Heavy Metal Emissions and Nutritional Components of *Crassostrea hongkongensis* [D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2018.
- [18] 种金豆, 李琪, 王涛. 培育密度和投饵量对长牡蛎壳黑选用品系幼虫生长存活及附着变态的影响[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2019, 49(2): 21-29.
- 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[J]. Periodica of Ocean University of China, 2019, 49(2): 21-29.
- [19] 沈建平, 王昭萍, 霍忠明, 等. 香港巨牡蛎♀×近江牡蛎♂受精及早期胚胎发育过程的荧光显微观察[J]. 海洋湖沼通报, 2013, 3: 67-72.
- Shen J P, Wang Z P, Huo Z M, et al. Fertilization and early embryogenesis of *Crassostrea hongkongensis* ♀ × *Crassostrea ariakensis* ♂ with fluorescent microscope[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2013, 3: 67-72.
- [20] 张炯明, 肖国强, 柴雪良, 等. 温度和盐度对等边浅蛤胚胎和幼虫生长发育的影响[C]. 济南: 中国动物学会、中国海洋湖沼学会贝类学分会第八次会员代表大会暨第十三次全国贝类学术讨论会, 2007.
- Zhang J M, Xiao G Q, Cai X L, et al. Effects of temperature and salinity on the growth and development of embryo and larvae of *Gomphina veneriformis* [C]. Jinan: Abstract Collection of the Eighth Member Congress of the Chinese Zoological Society and the Chinese Marine Limnology Society and the Thirteenth National Shellfish Symposium, 2007.
- [21] 封杰, 赵乃乾, 郑宇辰, 等. 墨西哥湾扇贝选育系早期发育与生长[J]. 中国水产科学, 2018, 25(2): 336-345.
- Feng J, Zhao N Q, Zheng Y C, et al. Early development and growth of a selective line of *Argopecten irradians concentricus* [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2018, 25(2): 336-345.
- [22] 宁军号, 庞云龙, 宋坚, 等. 偏顶蛤胚胎和幼虫发育及温度对其浮游幼虫生长和发育的影响[J]. 中国水产科学, 2015, 22(2): 196-203.
- Ning J H, Pang Y L, Song J, et al. Development of embryo and larva of *Modiolus modiolus* and effects of temperature on growth and development of the pelagic larva[J]. Journal of Fishery Science of China, 2015, 22(2): 196-203.
- [23] 李琼珍, 陈瑞芳, 童万平, 等. 盐度对大獭蛤胚胎发育的影响[J]. 广西科学院学报, 2004, 20(1): 33-34.
- Li Q Z, Chen R F, Tong W P, et al. Influence of salinity upon the embryogenesis of *Lutraria maxima* Janas [J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2004, 20(1): 33-34.
- [24] Legat J F A, Puchnick-Legat A, Stühnel S, et al. Effects of salinity on fertilization and larviculture of the mangrove oyster, *Crassostrea gasar* in the laboratory[J]. Aquaculture, 2017, 468: 545-548.
- [25] 杨鹏, 闫喜武, 韩华, 等. 盐度对翡翠贻贝受精卵孵化及幼虫和稚贝生长和存活的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2013, 28(6): 549-552.
- Yang P, Yan X W, Han H, et al. The influence of salinity on hatching, growth and survival of larvae and juveniles in green mussel *Perna viridis* [J]. Journal of Dalian Ocean University, 2013, 28(6): 549-552.
- [26] 林丽华, 廖文崇, 谢健文, 等. 盐度对香港巨牡蛎摄食和代谢的影响[J]. 广东农业科学, 2012, 39(11): 10-14.
- Lin L H, Liao W C, Xie J W, et al. Effect of salinity on the feeding and metabolic physiology of *Crassostrea hongkongensis* [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2012, 39(11): 10-14.
- [27] 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.
- Guan J L. Preliminary study on artificial breeding of *Crassostrea hongkongensis* and diallel cross from two populations[D]. Nanjing: Guangxi University, 2015.
- [28] 叶乐, 赵旺, 王雨, 等. 盐度与 pH 对长肋日月贝幼虫存活及生长的影响[J]. 南方农业学报, 2015, 46(9): 1698-1703.
- Ye L, Zhao W, Wang Y, et al. Effects of salinity and pH on survival and growth of *Amusium pleuronectes* larvae[J]. Journal of Southern Agriculture, 2015, 46(9): 1698-1703.
- [29] 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, 29(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, 29(5): 495-501.
- [30] Helm M M, Millican P F. Experiments in the hatchery rearing of

- Pacific oyster larvae (*Crassostrea gigas*, Thunberg)[J]. Aquaculture, 1977, 11(1): 1-12.
- [31] Nell J A, Holliday J E. Effects of salinity on the growth and survival of Sydney rock oyster (*Saccostrea commercialis*) and Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) larvae and spat[J]. Aquaculture, 1988, 68(1): 39-44.
- [32] 刘海涛, 董占武, 徐志明. 盐度对大连湾牡蛎胚胎发育及幼虫生长的影响[J]. 水产学报, 1992, 16(1): 32-39.
- Liu H T, Dong Z W, Xu Z M. The effects of salinity on embryonic development and growth of veliger of oyster *Ostrea talienwhanensis*[J]. Journal of Fisheries of China, 1992, 16(1): 32-39.

Effect of Salinity on Early Development and Growth of Oyster “South China No.1”

ZHAO Nai-Qian¹, XIAO Shu², LIU Hao-Xiang¹, PAN Ying¹, ZHANG Yue-Huan², YU Zi-Niu²

(1. College of Animal Science and Technology, Guangxi University, Nanning 530004, China; 2. South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China)

Abstract: In order to explore the salinity adaptability of the early development of oyster “South China No.1”, we used the population currently cultivated *Crassostrea hongkongensis* in the Beibu Gulf as the control. The effects of salinities (3, 8, 13, 15, 18, 23, 28, 33) on the embryo and larval developments and spat growth of oyster “South China No.1” were analyzed at water temperatures of 28 to 29 °C and acidities of pH 8.1 to 8.2. The results showed that the fertilization rate and hatching rate of oyster “South China No.1” under different salinities were significantly higher than those of the control ($P < 0.05$), and the suitable fertilization salinity of oyster “South China No.1” ranged from 13 to 23 while that of the control ranged from 13 to 18. Under the same salinity conditions, the shell height growth of planktonic larval stage index of oyster “South China No.1” was significantly different from that of the control ($P < 0.05$), and there was significant difference among different salinity groups ($P < 0.05$). The larvae grew slowly and the survival rate was low under the conditions of high salinity 33 and low salinity 3, and the differences between salinity groups were significant ($P < 0.05$), the adhesion rate and survival rate of spat were higher at salinities from 13 to 23. The results showed that the growth rate of planktonic larvae and early juveniles of oyster “South China No.1” was faster than that of the control ($P < 0.05$). The suitable salinity for the larvae and spat of oyster “South China No.1” varied between 8 and 28, and the optimum salinity varied between 13 and 23; the suitable salinity for the larvae and spat of control ranged from 8 to 23, and the optimum salinity ranged from 13 to 18. Compared with the control, the suitable salinity for oyster “South China No.1” increased from 18 to 23, and “South China No.1” had an obvious growth advantage and high suitable salinity range over the control.

Key words: *Crassostrea hongkongensis*; salinity; Southern China No.1; embryonic development; larva; spat

责任编辑 朱宝象