

doi: 10.3969/j. issn. 2095 - 0780. 2011. 06. 007

近江牡蛎 (*Crassostrea hongkongensis*) 家系早期发育生长比较

陈子桂^{1,2}, 肖述², 潘英¹, 喻子牛²

(1. 广西大学, 广西 南宁 530004; 2. 中国科学院南海海洋研究所, 广东 广州 510275)

摘要: 选取数量性状有较大差异的 6 个近江牡蛎 (*Crassostrea hongkongensis*) 作为亲本, 成功建立了 9 个半同胞家系, 并对各个家系的受精、孵化、成活和早期生长的情况进行比较。结果显示, 各家系子代的受精率、孵化率和成活率均受亲本成熟度的影响; 各家系的早期生长中, 家系 CH1、CH4 和 CH7 的生长率大于其他家系; 近江牡蛎幼虫的早期生长阶段受母本效应影响明显。

关键词: 近江牡蛎; 家系选育; 早期生长比较; 母本效应

中图分类号: S 967

文献标志码: A

文章编号: 2095 - 0780 - (2011) 06 - 0040 - 07

Comparison of early development and growth of Hong Kong oyster (*Crassostrea hongkongensis*) families

CHEN Zigui^{1,2}, XIAO Shu², PAN Ying¹, YU Ziniu²

(1. *Guangxi University, Nanning 530004, China*; 2. *South China Sea Institute of Oceanology, Guangzhou 510275, China*)

Abstract: We established 9 half-sibling families of *Crassostrea hongkongensis* using 6 parents with significant difference in body size, to compare the fertilization rate, hatching rate, survival and early growth among these families. The results show that the fertilization rate, hatching rate and survival are affected by the degree of parents' maturity. Besides, the growth rates of family CH1, CH4 and CH7 are greater than those of the others. Meanwhile, significant maternal effect is observed on early developmental stages of these families.

Key words: *Crassostrea hongkongensis*; family breeding; comparison of early growth; maternal effect

近江牡蛎 (*Crassostrea hongkongensis*) 属软体动物门的双壳纲 (Bivalvia)、珍珠贝目 (Pterioidae)、牡蛎科 (Ostreidae)、巨蛎属 (*Crassostrea*)^[1], 主要分布在中国广东和广西沿海, 其肉味鲜美, 营养丰富, 素有“海中牛奶”之称, 是中国南海沿海水域主要的牡蛎养殖种类, 年产约 100×10^4 t, 产值近 40 亿元^[2]。近年来由于近海养殖环境的不良变化、部分养殖区域的城市化及工业化发展、病害的频繁发生已导致苗种产量大量减少和质量降低, 严重影响了该产业的稳定和可持续发

展; 同时, 由于优良品种、优质苗种缺乏, 使产品质量难以提高; 另外, 某些地方劣质苗种肆意扩散及种群随意无序交流, 也使养殖产品质量降低、养殖风险增加, 对该产业的发展产生不利影响。因此, 培育抗病、快速生长等优良性能的近江牡蛎新品种, 具有十分重要的意义。

选择育种是品种培育经典而有效的方法之一, 其中建立家系并进行系统选择是选择育种的重要手段^[3]。关于牡蛎家系选择方面, 国外学者做了很多研究, HALEY 等^[4]对美洲牡蛎 (*C. virginica*)

生长速率所做的选择工作表明, 对 3~4 龄个体进行选择比对 2 龄个体选择更有效; NEWKIRK 等^[5]对 2 龄欧洲牡蛎 (*Ostrea edulis*) 体质量进行个体选择, 第 1 代的选择效应比对照组平均增加 23%; BEATTIE 等^[6]对太平洋牡蛎 (*C. gigas*) 夏季死亡的抗性选育, 建立了 7 个全同胞家系, 部分家系表现出一定的耐高温特性; LANNAN^[7]通过建立 11 个太平洋牡蛎全同胞家系, 测定了多种与生长相关的性状遗传力, 其中总质量和软体质量的遗传力分别为 0.31 ± 0.19 和 0.37 ± 0.06 ; LOSSE 等^[8]对美洲牡蛎建立了全同胞家系并对其遗传力进行估算, 在稚贝期生长率的遗传力估计为 $0.3 \sim 0.7$; 同时, 其他学者也开展了很多相关工作^[9~16]。在国内其他贝类, 郑怀平等^[17~18]比较研究了不同壳色海湾扇贝 (*Argopecten irradians*) 家系不同生长发育阶段的生长速率和成活率等生物学参数, 并研究了自交家系间的自交效应; 张国范等^[19]建立了海湾扇贝自交家系, 认为自交可导致自交衰退。笔者通过建立近江牡蛎家系, 分析并比较各家系子代的早期生长差异, 以期为近江牡蛎选择育种提供有效的依据和参考数据。

1 材料与方法

1.1 亲贝及家系的建立

此研究所用亲贝来自中国科学院南海海洋研究所 2008 年培养出的子一代快速生长群体, 亲贝从海区移入试验场后进行大约 2 周的性腺催熟暂养。为了检测亲本对幼虫发育的效应, 2010 年 7 月从

中国科学院湛江海洋经济动物实验站东海岛试验场亲贝池中选择部分不同规格的亲贝, 建立了 9 个半同胞家系 (CH1~CH9, 图 1), 以检测亲本对幼虫发育的效应, 亲贝的基本情况见表 1。其中雄性亲本壳长最大为 116.47 mm, 最小为 86.43 mm, 雌性亲本壳长最大为 145.11 mm, 最小为 88.06 mm。

家系建立采用人工授精方法进行。先用解剖方法分别取出精卵, 显微镜观察检查精卵的质量后把卵子取出后置于密度为 1.008 的海水中充分浸泡 30 min, 再把精液放到同样密度的海水中活化, 然后进行人工授精, 以雄、雌浓度比为 1:20 在塑料桶内混合精卵受精, 边加入精子边搅拌。经显微镜观察, 至绝大部分卵子充分受精后用 500 目的筛绢网洗卵, 以去除多余的精子和杂质; 待受精完成后转入孵化桶里进行充气培育, 12 h 不投饵料, 仅轻度充气培养。整个操作过程中各个家系严格隔离, 避免家系间的交叉混杂。

1.2 幼虫培育

经过 24 h 的培育, 受精卵发育到 D 形幼虫, 用 300 目的筛绢网过滤, 滤去没有授精的卵和没有发育的受精卵。在培育过程中全量换水 (1 次·d⁻¹), 海水密度保持在 1.008, 培育温度 25~28

。早期投喂金藻 (*Isochrysis galbana*) 和云微藻 (*Chlorella* sp.), 配合水产酵母, 每天投喂 4 次, 每次以幼虫的胃饱满度达 80% 左右为佳, 投喂时尽量少量多次, 控制投喂量以免影响水质。培育过程中通过密度调整使各个家系的养殖密度保持一

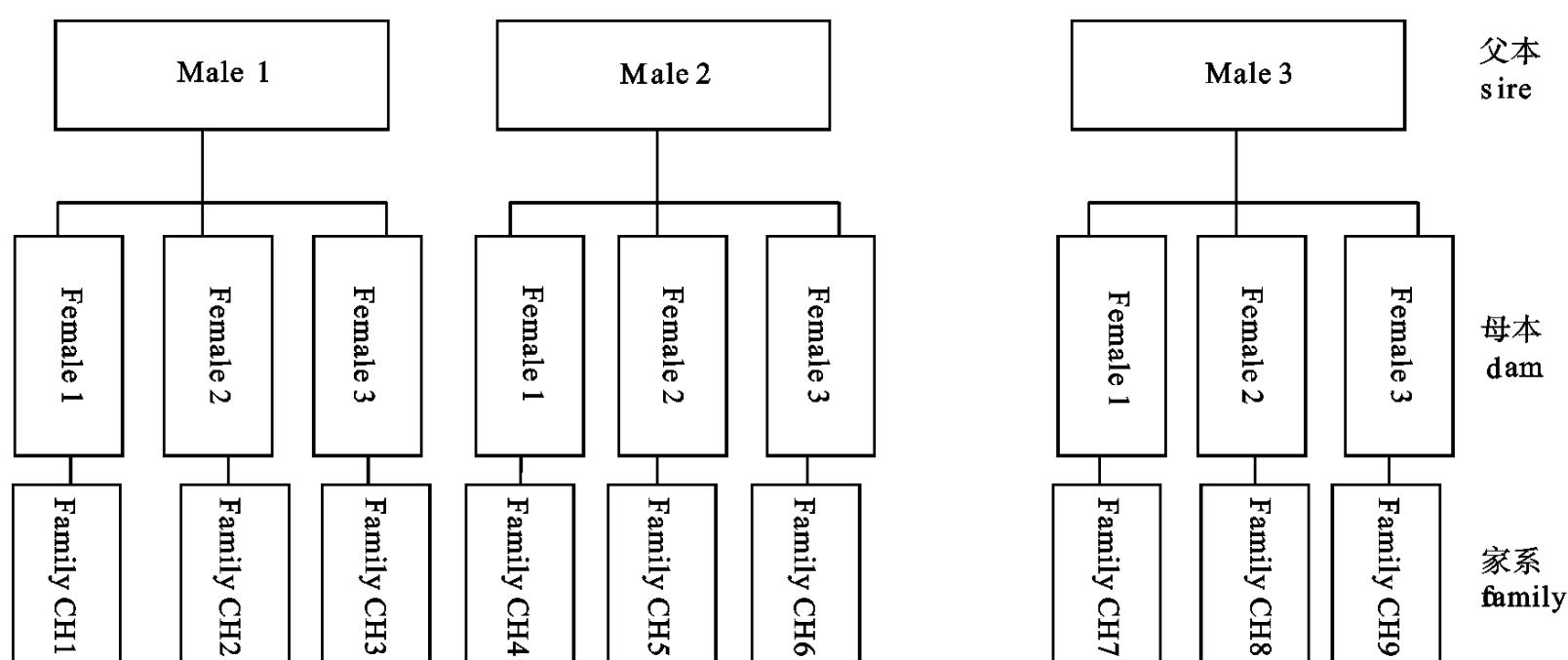


图 1 家系构建

Fig 1 Establishment of families

表1 近江牡蛎家系亲本的数量性状

Tab. 1 Quantitative traits of parents of *C. hongkongensis*

家系编号 family No.	亲本() sire			亲本() dam		
	壳长/mm shell length	壳高/mm shell height	总质量/g total weight	壳长/mm shell length	壳高/mm shell height	总质量/g total weight
CH1	86.43	70.46	155.70	145.11	56.96	185.70
CH2	86.43	70.46	155.70	107.11	75.86	196.50
CH3	86.43	70.46	155.70	88.06	63.42	144.80
CH4	101.21	68.34	148.92	145.11	56.96	185.70
CH5	101.21	68.34	148.92	107.11	75.86	196.50
CH6	101.21	68.34	148.92	88.06	63.42	144.80
CH7	116.47	59.87	161.74	145.11	56.96	185.70
CH8	116.47	59.87	161.74	107.11	75.86	196.50
CH9	116.47	59.87	161.74	88.06	63.42	144.80

致, 其他的养殖环境管理条件相同。

经过4~5 d的培育, 幼虫发育到壳顶期幼虫后开始投喂角毛藻(*Chaetoceros* sp.)和扁藻(*Platymonas* sp.), 日投喂量以幼虫的胃部饱满为止; 再经过15~18 d的培育, 幼虫发育到了眼点时期加大投喂量, 后期主要以扁藻为主, 辅以角毛藻和小球藻(*Chlorella* sp.), 待80%的幼虫出现了眼点后, 投入经过消毒后的牡蛎壳作为幼虫的附着基使幼虫附着, 各个家系的养殖环境一致。

1.3 数据测量和处理

试验前分别测量亲本的壳长(mm)、壳高(mm)、壳宽(mm)和肉质量(g), 在试验过程中通过显微镜分别测量卵径(μm)、受精率(%)、孵化率(%)、变态率(%)和幼虫大小(μm)。将幼虫发育以日龄为参照, 分为担轮幼虫(0.5~3 d)、D形幼虫期(3~4 d)、壳顶幼虫期(4~15 d)和固着变态期(15~21 d)。幼虫的发育过程中从每个家系随机抽取部分幼虫, 对D形幼虫、壳顶幼虫和眼点幼虫分别进行测量, 每2 d进行1次测量。

采用Excel作图, 用SPSS 17.0统计软件进行方差分析, 显著性检验, $P < 0.05$ 为差异显著, $P < 0.01$ 为差异极显著。

2 结果

2.1 亲贝的成熟度

根据显微镜检查, 把母本卵子的成熟度分为

“+++”(好, 卵细胞呈圆形或椭圆, 卵黄颗粒饱满)、“++”(一般, 卵细胞呈椭圆形, 卵黄颗粒饱满度一般)和“+”(欠成熟, 卵细胞呈梨形或三角形状, 卵黄颗粒饱满度较差, 卵组织过熟); 根据父本的精子在水中的活力把其分为“+++”(好)、“++”(一般)和“+”(欠成熟)。

表2 各家系亲本成熟度

Tab. 2 Comparison of maturity of different families

家系 family	亲本() dam	亲本() sire
CH1、CH4、CH7	+++	
CH2、CH5、CH8	++	
CH3、CH6、CH9	+	
CH1、CH2、CH3		+++
CH4、CH5、CH6		++
CH7、CH8、CH9		++

2.2 各个家系的卵径、受精率、孵化率比较

此研究由3个不同大小的近江牡蛎个体作为母本建立家系, 由表3可见母本的卵径大小略有不同, 分别为CH1=CH4=CH7>CH3=CH6=CH9>CH2=CH5=CH8, 但差异不显著($P > 0.05$, $n = 30$); 受精率除CH3和CH6最低(55.8%和65.6%)外, 其他家系都在90%左右, 且与家系CH3和CH6差异极显著($P < 0.01$, $n = 5$); 孵化率除CH3和CH6明显较低(48.8%和54.2%)

外, 其他家系为 75.8%~87.0%, 其中除 CH5 外, CH1、CH2、CH4、CH7、CH8 和 CH9 之间差异不显著 ($P > 0.05$, $n = 5$), 但与 CH3 和 CH6 差异显著 ($P < 0.05$, $n = 5$)。综合来看, 3 个父本的家系平均受精率分别为 78.2%、80.6% 和 90.33%, 孵化率分别为 71.8%、71.6% 和 83.3%; 而 3 个母本的家系平均受精率分别为 90.47%、88.53% 和 70.13%, 孵化率分别为 85.30%、80.53% 和 61.17%。

表 3 各家系的卵径、受精率、孵化率比较 ($\bar{X} \pm SD$)

Tab. 3 Comparison of egg size, fertilization rate, hatching rate of 9 families

家系 family	卵径 / μm egg size	受精率 / % fertilization rate	孵化率 / % hatching rate
CH1	60.30 $\pm 1.53^a$	89.60 $\pm 3.44^a$	84.10 $\pm 2.59^a$
CH2	59.69 $\pm 1.91^a$	89.20 $\pm 1.76^a$	82.40 $\pm 2.11^a$
CH3	59.91 $\pm 1.74^a$	55.80 $\pm 4.73^b$	48.80 $\pm 2.58^b$
CH4	60.30 $\pm 1.53^a$	90.00 $\pm 3.39^a$	84.80 $\pm 4.14^a$
CH5	59.69 $\pm 1.91^a$	86.20 $\pm 3.34^a$	75.80 $\pm 8.42^a$
CH6	59.91 $\pm 1.74^a$	65.60 $\pm 5.16^c$	54.20 $\pm 6.97^b$
CH7	60.30 $\pm 1.53^a$	91.80 $\pm 3.11^a$	87.00 $\pm 4.84^a$
CH8	59.69 $\pm 1.91^a$	90.20 $\pm 2.04^a$	83.41 $\pm 4.77^a$
CH9	59.91 $\pm 1.74^a$	89.00 $\pm 3.31^a$	80.50 $\pm 4.39^a$

注: 同一列中具有不同字母标记的数值表示两者之间差异显著 ($P < 0.05$), 后表同此

Note: values with different letters in the same column are significantly different from each other ($P < 0.05$); the same case in the following table.

2.3 家系幼虫早期发育阶段的生长比较

各个家系的生长情况见图 2。2 日龄的 CH1、

CH3、CH5、CH6、CH7、CH8 和 CH9 幼体之间大小差异不显著, 但都略微大于 CH2 和 CH4, 与 CH2 和 CH4 的差异不显著 ($P > 0.05$, $n = 30$); 4 日龄的 CH9 和 CH2、CH5 差异显著 ($P < 0.05$, $n = 30$), 而与其他家系差异不显著, CH2 和 CH5 与其他家系无显著差异 ($P > 0.05$, $n = 30$); 8 日龄的 CH1、CH4 和 CH7 都大于其他家系, 差异显著 ($P < 0.05$, $n = 30$); 15 日龄的 CH1、CH4 和 CH7 都大于其他家系, 并与 CH2 和 CH6 差异显著 ($P < 0.05$, $n = 30$); 20 日龄的 CH1、CH3 和 CH7 明显大于其他家系, 差异显著 ($P < 0.05$, $n = 30$)。

2.4 幼虫的早期成活率

4 日龄的幼虫成活率 CH6 和 CH9 低于其他家系, 与 CH1、CH2、CH4 和 CH7 差异显著 ($P < 0.05$, $n = 30$), CH7 家系最大, 但与 CH6 及 CH9 以外的家系无显著差异 (图 3); 8 日龄则是 CH1、CH4 和 CH7 高于其他家系, 差异显著 ($P < 0.05$, $n = 5$); 12 日龄时 CH1 明显高于其他的家系, 差异显著 ($P < 0.05$, $n = 5$); 18 日龄时 CH1 依然明显高于其他家系, 而 CH3 和 CH9 明显低于其他家系, 差异显著 ($P < 0.05$, $n = 5$), 且与 CH1 差异极显著 ($P < 0.01$, $n = 5$), 这时期大部分家系幼虫成活率明显下降, 估计应该与幼虫进入变态附着有关, 此时幼虫由原来依靠面盘呼吸摄食转为分别利用鳃和消化道呼吸、摄食^[20]。

2.5 不同时期幼虫的生长速度比较

D 形幼虫各家系大小差异不大, 其中 CH9 和 CH7 的生长速度稍大于其他家系, 但差异不显著 ($P > 0.05$, $n = 30$); 壳顶期 CH1 生长速度最大, 且与其他家系差异显著 ($P < 0.05$, $n = 30$); 眼点

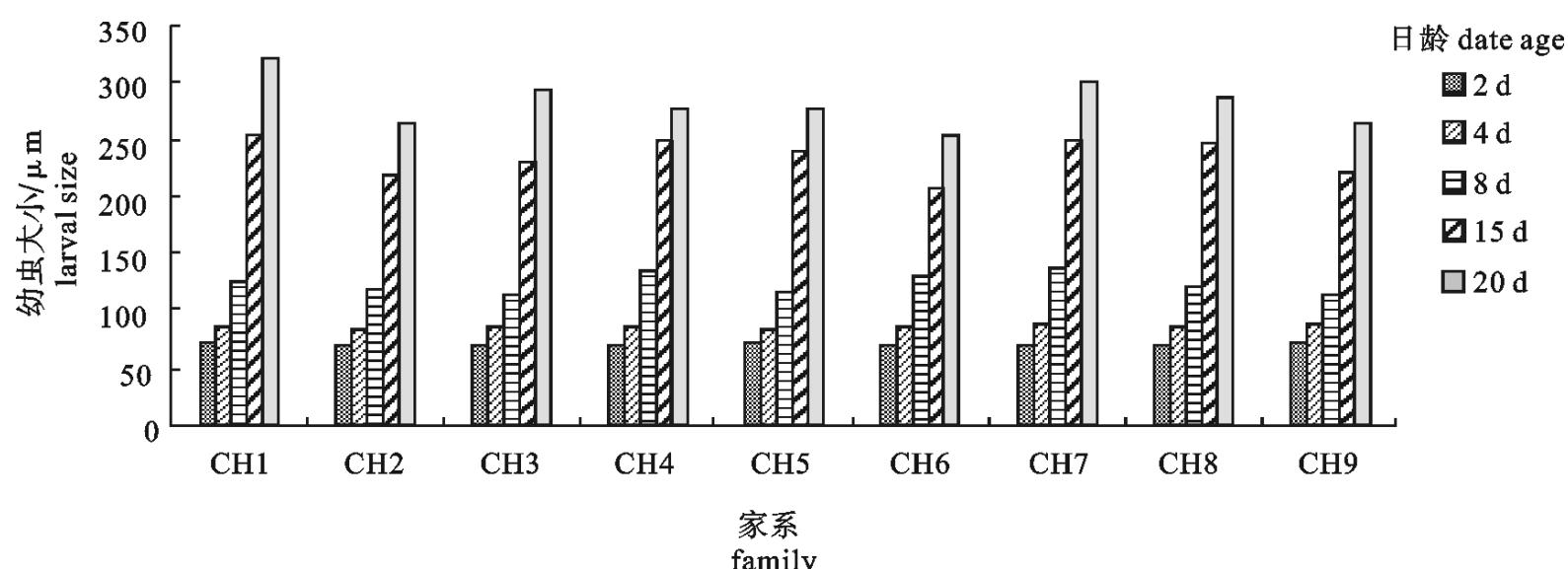


图 2 各家系的生长状况

Fig. 2 Comparison of growth of different families

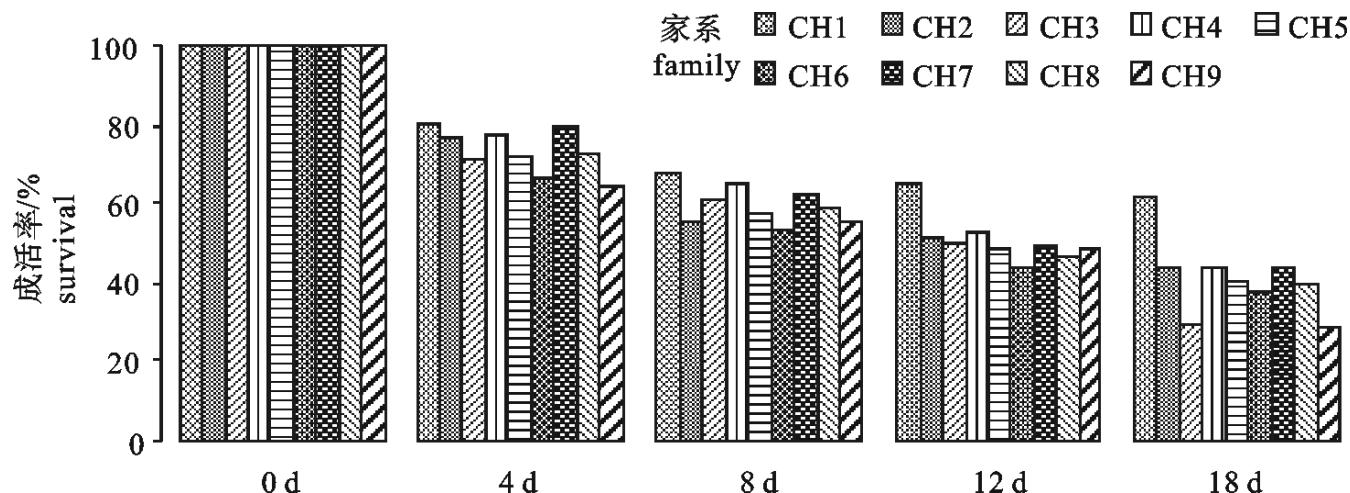


图 3 家系早期不同日龄的成活率

Fig. 3 Survival of 9 families at early developmental stages

期 CH1 明显大于其他家系, 差异显著 ($P < 0.05$, $n=30$), CH2、CH5 和 CH8 较小, 但与其他家系差异不显著 ($P > 0.05$, $n=30$) (表 4)。

表 4 各个家系不同时期的生长速度比较 ($\bar{X} \pm SD$)Tab. 4 Comparison of growth rate of different families at different stages $\mu\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$

家系 family	D 形幼虫期 D larvae	壳顶期 veliger stage	眼点期 eyed stage
CH1	8.21 \pm 1.89 ^a	15.54 \pm 3.95 ^a	15.10 \pm 3.39 ^a
CH2	7.67 \pm 3.13 ^a	11.14 \pm 3.44 ^b	6.69 \pm 4.58 ^b
CH3	8.27 \pm 2.65 ^a	12.91 \pm 3.39 ^b	8.70 \pm 2.91 ^b
CH4	8.07 \pm 1.97 ^a	14.86 \pm 3.70 ^a	10.25 \pm 2.14 ^b
CH5	7.00 \pm 3.89 ^a	14.30 \pm 2.16 ^a	8.34 \pm 3.02 ^b
CH6	7.47 \pm 2.75 ^a	11.03 \pm 3.34 ^b	10.13 \pm 3.42 ^b
CH7	8.75 \pm 2.16 ^a	14.62 \pm 2.11 ^a	10.42 \pm 4.84 ^b
CH8	7.07 \pm 3.01 ^a	14.50 \pm 2.04 ^a	7.76 \pm 3.07 ^b
CH9	9.32 \pm 3.72 ^a	12.00 \pm 3.31 ^b	9.25 \pm 2.09 ^b

2.6 各个家系的变态率

各家系的变态率大小依次为 CH7 > CH1 > CH4 > CH2 > CH8 > CH6 > CH5 > CH9 > CH3, 其中 CH1、CH4 和 CH7 明显较高, 与其他家系差异显著 ($P > 0.05$, $n=5$); 而 CH3 和 CH9 明显较小, 与其他家系差异显著 ($P > 0.05$, $n=5$) (图 4)。

3 讨论

3.1 近江牡蛎家系选育的特点

近年来由于沿海地区的城市化及工业化, 近海近江牡蛎养殖环境不断恶化, 导致产苗区的苗种产

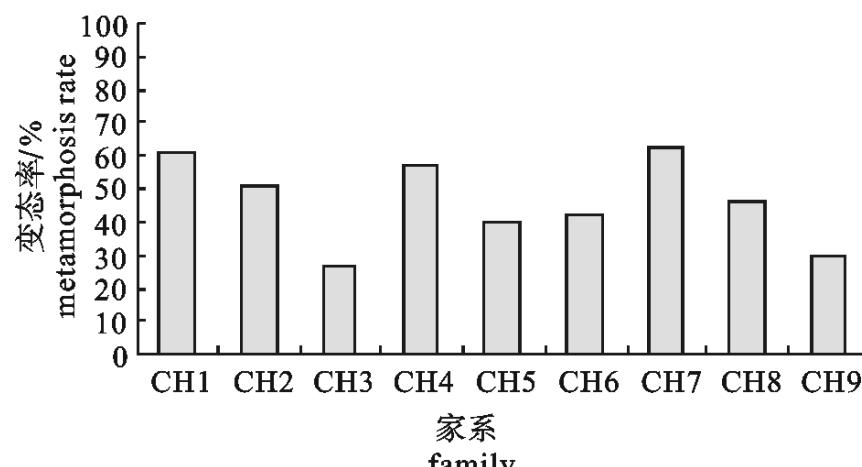


图 4 各家系幼虫的变态率

Fig. 4 Metamorphosis rate of larvae of different families

量逐年减少、质量降低; 加上病害的频繁发生, 使该牡蛎养殖业的稳定和可持续发展受到明显影响, 种质资源出现逐渐退化的迹象, 抗逆性有所下降。因此, 培育优良新品种对于近江牡蛎养殖业显得尤为迫切。新品种培育的基本方法有群体选择、家系选育和综合选择等。家系选育不仅是选择育种的一种方式, 同时可以为育种构建基本材料, 不仅适用于高遗传力表型性状的选择, 对较低遗传力的表型性状也十分有效^[21]。家系选育必须注意建立合理的家系和扩大对亲本遗传多样性的筛选, 采用实际、科学的选育指标。近江牡蛎相对于鱼类等其他水产经济动物, 具有产卵量大的特点, 一个性成熟的近江牡蛎产卵量可高达 2 000 万^[20], 可为选择育种提供足够数量的选择材料。在其性成熟的配子排放期间, 近江牡蛎的卵巢是分批产卵, 为家系选育的重复性提供了充足的支持。另外, 近江牡蛎的繁殖周期相对较短, 性成熟较快, 有利于提高选育效率。

该研究成功建立了 9 个近江牡蛎家系, 对各个

家系早期的生长比较发现, 各家系间生长性状差异表现明显。整个家系建立过程避免家系间的混杂, 幼虫培育在非常相似的养殖环境和管理条件下进行, 所有家系浮游阶段前期均在相同的 400 L 玻璃钢桶内培养。换水、投喂、温控、密度、倒池及增氧等所有条件尽量保证一致, 期间不做任何人为的幼虫筛选, 故由外部客观环境引起的差异可以忽略不计, 因此, 家系间的差异可认为主要由遗传差异所决定。

3.2 近江牡蛎家系早期生长发育比较

通过数量性状差异较大的 6 个亲本, 繁育幼虫的早期生存力比较, 同母异父家系的受精率和孵化率差异可以反映精子的质量和父本效应, 同父异母家系受精率和孵化率的差异可以反映卵子的质量和母本效应。表 2 和表 3 综合结果显示, 母本家系的平均受精率和孵化率以第 1 个母本最高 (90.47% 和 85.30%), 而第 1 个母本的卵子成熟度为 3 个 (同龄) 之中最佳, 说明近江牡蛎的受精率和孵化率高低与母本的成熟度密切相关, 这其中也可能包含一定的母本效应。此外, 父本家系的平均受精率、孵化率以第 3 个父本最高 (90.33% 和 83.3%), 而 3 个父本在规格上是 3 个之中 (同龄) 最大的, 意味着父本效应在受精率和孵化率上也明显存在。

各个家系的 4 日龄幼虫规格分别为 CH1 > CH2、CH3、CH4 > CH5、CH6; 8 日龄到 20 日龄 CH1 和 CH7 均大于其他家系, 在同父异母家系之间存在显著差异, 与母本的成熟度相关的母本效应影响明显, 证实了在贝类的早期生长发育阶段受到亲本的影响, 以母本效应为主^[22]。在总质量方面, 母本总质量为 CH2 > CH1 > CH3, 但生长率则是 CH1 > CH3 > CH2, 说明总质量对后代遗传方面贡献较小。因此, 在近江牡蛎的选择育种上以壳长作为选育指标可能更有实际意义。总的来看, 在成活率、变态率和早期生长方面, 趋势是 CH1、CH4 和 CH7 基本高于其他家系, CH3、CH9 均小于 CH1、CH7, 且差异显著, 这在生存力的比较上与前面的结论相一致。

EVANS 等^[23] 建立了 12 个太平洋牡蛎家系, 并以软体体质量作为单一选择指标, 结果导致下一代的低产。动物数量性状的表型值是由基因型值和环境值共同作用的结果, 基因型值可由基因加性效

应值、等位基因间的显性效应值和非等位基因间的上位效应值构成; 在大群体选择中显性效应和上位效应可为正或负, 动物数量性状的表型值平均值等同于基因加性效应值的平均值。由表 4 可见, 在生长速度方面, 壳顶期 CH1 高于其他家系, 而眼点期则 CH1、CH4 和 CH7 均高于其他家系, 表明亲本间可能存在等位基因间的显性效应和非等位基因间的上位效应。

综上所述, 近江牡蛎后代在早期生长率和生存力方面的数量性状具有明显的差异。近江牡蛎和其他动物一样, 其表型性状主要受到基因的遗传控制, 而通过家系建立和筛选, 可以成功淘汰性状较差的家系, 保存性状较好的家系, 然后通过进一步的近交、选育, 积累加性遗传效应, 选育出可以稳定遗传优良性状的品种, 进行推广养殖, 从而促进中国近江牡蛎养殖业的发展。

参考文献:

- [1] 王如才, 王昭萍, 张建中. 海水贝类养殖学 [M]. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 1995: 37 - 42.
WANG Rucai, WANG Zhaoping, ZHANG Jianzhong. Science in marine shellfish culture [M]. Qingdao: Qingdao Ocean University Press, 1995: 37 - 42. (in Chinese)
- [2] 李兴华. 广东省现代农业产业技术路线图 [M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2010: 501 - 523.
LI Xinghua. Industry technology roadmapping for Guangdong modern agriculture [M]. Guangzhou: South China University Technology Press, 2010: 501 - 523. (in Chinese)
- [3] 沈俊宝, 刘明华. 鱼类育种学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 10 - 39.
SHEN Junbao, LIU Minghua. Fish breeding [M]. Beijing: China Agricultural Press, 1999: 10 - 39. (in Chinese)
- [4] HALEY L E, HEWKIRK G F. Selecting oysters for faster growth [J]. Pros World Maric Soc, 1977, 8 (1/2/3/4): 557 - 565.
- [5] NEWKIRK G F. Selection for growth rate in the European oyster, *Ostrea edulis*: response of second generation groups [J]. Aquaculture, 1983, 33 (1/2/3/4): 149 - 155.
- [6] BEATIE J H, HERSHBERGER W K, CHEW K, et al. Breeding for resistance to summertime mortality in the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) [M]. Washington: Washington Sea Grant Rep, 1978: 780 - 813.
- [7] LANNAN J E. Estimating heritability and predicting response to selection for the Pacific oysters (*Crassostrea gigas*) [J]. Proc Nat Shellfish Assoc, 1972, 62: 62 - 66.
- [8] LOSSE E. Influence of heredity on larval and spat growth in *Crassostrea virginica* [C]. ARAULT J W. Proceedings of the Ninth

- Annual Meeting. World Mariculture Soc, 1979, 9: 101 - 108.
- [9] GOSLING E M. Genetic variability in hatchery-produced Pacific oysters (*Crassostrea gigas* Thunberg) [J]. Aquaculture, 1982, 26 (5): 273 - 287.
- [10] ASKIN H H, FORD S E. Development of resistance to *Minchinia nelsoni* (MSX) mortality in laboratory-reared and native oysters stocks in Delaware Bay [J]. Mar Fish Review, 1978, 41 (1/2): 54 - 63.
- [11] NEWKIRK G F. Genetics of shell color in *Mytilus edulis* L. and the association of growth rate with shell color [J]. Exp Mar Biol Ecol, 1980, 46 (1): 89 - 94.
- [12] JARAYABHAND P, THAVORNYUTIKAM M. Realized heritability estimation on growth rate of oyster, *Saccostrea cucullata* Born, 1778 [J]. Aquaculture, 1995, 138 (1/2/3/4): 111 - 118.
- [13] LONGWELL A C, STILES S S. Oyster genetics and the probable future role of genetics in aquaculture [J]. Malacol Rev, 1973, 22 (6): 151 - 177.
- [14] TORO J E, NEWKIRK G F. Divergent selection for growth rate in the European oyster (*Ostrea edulis* L): response to selection and estimation of genetics parameters [J]. Mar Ecol Prog Ser, 1990, 62 (3): 219 - 228.
- [15] LANGDON C J, JACOBSON D P, EVANS F, et al. The molluscan broodstock program improving Pacific oyster broodstock through genetic selection [J]. J Shellfish Res, 2000, 19 (1): 614 - 617.
- [16] NELL J A, HAND R E. Evaluation of the progeny of second-generation Sydney rock oyster *Saccostrea glomerata* (Gould, 1850) breeding lines for resistance to QX disease *Marteilia sydney* [J]. Aquaculture, 2003, 228 (1/2/3/4): 27 - 35.
- [17] 郑怀平, 张国范, 刘晓, 等. 海湾扇贝杂交家系与自交家系生长和存活的比较 [J]. 水产学报, 2004, 28 (3): 265 - 272.
- ZHENG Huiping, ZHANG Guofan, LIU Xiao, et al. Bay scallop comparison of growth and survival between self-fertilization family and sixed-fertilization family [J]. J Fish China, 2004, 28 (3): 265 - 272. (in Chinese)
- [18] 郑怀平, 张国范, 刘晓, 等. 不同贝壳颜色海湾扇贝 (*Argopecten irradians*) 家系的建立及生长发育研究 [J]. 海洋和湖沼, 2003, 34 (9): 632 - 639.
- ZHENG Huiping, ZHANG Guofan, LIU Xiao, et al. Establishment of different shell color lines of bay scallop *Argopecten irradians* Lamarck (1819) and their development [J]. Oceanol et Limnol Sinica, 2003, 34 (9): 632 - 639. (in Chinese)
- [19] 张国范, 刘述锡, 刘晓, 等. 海湾扇贝自交家系的建立和自交效应 [J]. 中国水产科学, 2003, 10 (6): 441 - 445.
- ZHANG Guofan, LIU Shuxi, LIU Xiao, et al. Self-fertilization family establishment and its depression in bay scallop (*Argopecten irradians*) [J]. J Fish Sci China, 2003, 10 (6): 441 - 445. (in Chinese)
- [20] 王如才. 牡蛎养殖技术 [M]. 北京: 金盾出版社, 2004: 21 - 26.
- WANG Rucai. Oyster aquaculture [M]. Beijing: Jindun Press, 2004: 21 - 26. (in Chinese)
- [21] 肖述, 喻子牛. 养殖牡蛎的选择育种研究与实践 [J]. 水产学报, 2008, 32 (2): 287 - 295.
- XIAO Shu, YU Ziniu. Review of selective breeding research and practice in oyster cultivation [J]. J Fish Sci China, 2008, 32 (2): 287 - 295. (in Chinese)
- [22] JONES R, BATES J A, INNES D J, et al. Quantitative genetic analysis of growth in larval scallops (*Placopecten magellanicus*) [J]. Mar Biol, 1966, 124 (9): 671 - 677.
- [23] EVANS S, LANGDON C. Direct and indirect responses to selection on individual body weight in the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) [J]. Aquaculture, 2006, 261 (2): 546 - 555.