

壳金长牡蛎家系的建立及生长和存活性状的比较

王雪磊, 李琪*, 孔令锋, 于瑞海, 于红

(中国海洋大学海水养殖教育部重点实验室, 山东青岛 266003)

摘要: 于2014年6月, 以经过2代家系选育和2代群体选育共连续4代选育的壳金长牡蛎为亲本, 采用巢式设计, 成功构建25个全同胞家系, 同时以未经选育的壳色即普通灰白色的个体子代为对照组, 评估各家系和对照组在幼虫、稚贝期的生长和存活差异。结果显示, 不同时期, 壳金长牡蛎选育家系各生长性状平均值均高于对照组平均值, 其中在幼虫期不同日龄, 壳金长牡蛎所有家系壳高和存活率平均值均高于对照组, 分别提高2.27%~16.67%和1.72%~9.40%; 在稚贝期各阶段, 壳金长牡蛎所有家系壳高、壳长、总重量及存活率的平均值均高于对照组, 分别提高10.04%~19.79%、6.56%~17.78%、10.44%~32.92%和0.20%~4.26%; 不同壳金家系间的生长及存活性状具有显著差异, 排序也存在不一致性, 其中G19和G28家系表现出较高的生长及存活性能, 在11月龄, G19和G28家系的壳高、壳长、总重的累积生长量比所有家系平均值分别提高4.78%、8.22%、12.38%和7.61%、4.02%、9.04%, 与对照组相比, 分别提高15.31%、15.31%、24.11%和18.42%、10.85%、20.42%; 存活率比所有家系平均值和对照组分别提高11.70%、12.71%和11.92%、12.94%。研究表明, 壳金长牡蛎选育群体的生长性状具有一定的优势, 但存活性状有待进一步的改良; 家系G19和G28可作为优良品种培育的育种材料。本研究为培育快速生长和存活率高的壳金长牡蛎新品种提供了基础资料。

关键词: 长牡蛎; 壳色; 家系; 生长; 存活

中图分类号: S 968.3

文献标志码: A

长牡蛎(*Crassostrea gigas*), 也称太平洋牡蛎, 自然分布于西北太平洋海域, 具有繁殖力高、适应能力强、生长迅速、营养丰富和产量高等优点^[1]。贝类贝壳颜色具有多态性, 研究表明贝壳颜色是受基因控制的遗传性状^[2-4], 且不同壳色的同种贝类在生态习性、行为特征、生长和存活等性状上也有很大的差异^[5-7]。长牡蛎常见的颜色主要为灰白色、黑褐色。由于外壳常被附着物覆盖, 牡蛎壳色多态性未被人们充分发掘。依据长牡蛎壳表面着色深浅, 学者们对壳色进行了分类, 并研究其遗传机理, 发现壳色主要受遗传影响且遗传力较高, 经过人工选育可以实现壳色的纯化^[8-13]。丛日浩等^[14]比

较了长牡蛎金色、白色、黑色和紫色四种壳色家系各生长阶段的表型性状, 发现壳色与其生长和存活性状关联显著, 其中, 壳金长牡蛎具有较高的生长和存活优势。由于壳金长牡蛎通常为人们所喜好, 具有市场前景。因此, 培育既具有生长、抗逆优势, 同时又色泽艳丽的壳金长牡蛎新品种, 对于促进牡蛎养殖业高效健康发展具有重要意义。

选择育种是新品种培育的有效方法, 建立家系并进行系统选择是选择育种的重要手段^[15]。优良性状的家系可以通过逐代选育, 提高目的性状基因的纯合度, 最终获取性状优异的品系。目前在海湾扇贝(*Argopecten irradians*)^[7]、马

收稿日期: 2015-08-27 修回日期: 2016-05-10

资助项目: 国家自然科学基金(31372524); 山东省科技发展计划项目(2014GHY115002); 山东省农业良种工程

通信作者: 李琪, E-mail: qili66@ouc.edu.cn

氏珠母贝(*Pinctada martensii*)^[16]、菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)^[17]等海洋经济贝类中都开展了家系生长性状的相关选育工作。壳色的纯化可以和生长、存活等性状的改良同步进行,在提高其生长性能和抗逆性的同时达到壳色纯化以提高选育效率^[18-19]。本研究以经过连续4代选育的壳金长牡蛎为亲本,通过巢式设计建立壳金长牡蛎家系,比较各家系生长和存活性状,以期筛选出在生长和存活性能方面有优势的家系,为壳金长牡蛎新品种培育提供基础资料。

1 材料与方 法

1.1 家系建立

实验所用亲本是经过2代家系选育和2代群体选育共连续4代选育的左右壳色均为金色的长牡蛎纯化个体。2014年5月从2013年所建的壳金长牡蛎群体后代中挑选出200个颜色纯正、壳型规则且大小一致的个体进行室内人工促熟,亲本促熟期间,海水温度变化范围为20~23℃,盐度为30。2014年6月,壳金长牡蛎亲本性腺发育成熟,采用解剖法先获得雌性亲本的卵子,待卵子熟化后获取雄性的精子,采用巢式设计,将每个壳金长牡蛎雄性个体精子分别与3个壳金长牡蛎雌性个体卵子在15 L小桶内进行精卵混合,共建立30个全同胞家系。同时以人工养殖的未经选育的普通灰白色个体作为亲本,通过3个单对交配建立对照组。实验在山东烟台海益苗业有限公司莱州育苗基地进行。本实验共建立30个壳金长牡蛎全同胞家系(G1、G2……、G30),其中27个家系培育至附着变态,家系培育成活率为90%;其中有25个家系培育至稚贝期。

1.2 幼虫孵化与培育

各家系和对照组的幼虫培育方法参考王庆志等^[20],并作适当改进。人工授精后,将30个壳金长牡蛎家系受精卵分别置于100 L的聚乙烯塑料桶中进行孵化,3个单对交配的普通颜色家系受精卵共同置于一个100 L的聚乙烯塑料桶中进行孵化,孵化密度为15~20个/mL,并持续微量充气。22 h后,受精卵发育至D形幼虫,用300目的筛绢网洗卵,并对塑料桶和气石进行清洗。幼虫培育初始密度设定为10个/mL,在整个幼虫

培育过程中,每天早晚各换水1次,每次1/2;每天投饵5次,前10天的饵料以等鞭金藻(*Isochrysis galbana*)为主,自此以后,根据幼虫生长情况辅助投喂扁藻(*Platymonas* sp.)和小球藻(*Chlorella vulgaris*),投饵量视幼虫摄食和水质情况适时调整;控制水温为23~25℃,持续微量充气;为了消除培育密度的影响,每2天调整密度一次。在整个实验阶段,保持各组的所有管理基本一致,壳金长牡蛎各家系间严防污染。

1.3 采苗及稚贝养成

当30%左右的幼虫出现眼点时,投放栉孔扇贝壳附着基进行采苗,当大部分扇贝壳左右面的附苗数量达到15个左右时,停止采苗,把附着稚贝装入扇贝笼内,并使每层的稚贝数量大致相同,悬挂于室外沉淀池中暂养保苗。待自然海区无野生牡蛎幼虫时,转移到威海刘公岛海区进行稚贝的浮筏暂养,后转至乳山海阳所镇海区进行稚贝养成,两次转移时,测定转移前后两个养殖海区的常见水质指标,如温度、盐度、pH等,确保其基本保持一致,使其对稚贝的生长和存活不产生影响。

1.4 生长及存活数据测定

在受精卵发育为D形幼虫后的第3、7、11、15、19天从各组随机选取30个个体,用鲁格氏液固定后在显微镜下测量其壳高;在第3、7、13、17天分别测定幼虫的密度,每次每组重复测量3次,估测幼虫存活率。在稚贝阶段,每次随机选取各组30个个体,用游标卡尺测量3、6、9、11月龄稚贝的壳高和壳长,精确到0.02 mm;用电子天平测量6、9、11月龄稚贝的总重,精确到0.01 g;统计3、6、9、11月龄稚贝的存活率,幼虫存活率根据初始密度、每次调整密度及测量时密度推算得出,稚贝存活率为每次观察到的活体数与初始附着稚贝数的百分比。

1.5 数据分析

采用Excel 2007和SPSS18.0软件对各实验组的生长、存活等数据做初步统计处理后,用单因素方差分析(ANOVA)和Tukey多重比较进行分析,以 $P<0.05$ 作为差异显著性水平。其中,

壳金长牡蛎存活率相对提高率计算公式:

$$\text{存活率相对提高率}(\%) = \frac{\text{实验组存活率} - \text{对照组存活率}}{\text{对照组存活率}} \times 100$$

壳金长牡蛎生长相对提高率计算公式:

$$\text{生长性状相对提高率}(\%) = \frac{\text{实验组生长性状} - \text{对照组生长性状}}{\text{对照组生长性状}} \times 100$$

2 结果与分析

2.1 幼虫期壳高的生长比较

对壳金长牡蛎各家系幼虫期3、7、11、15、

19日龄壳高进行单因素方差分析(ANOVA), 结果表明, 壳金长牡蛎幼虫期不同日龄父系间、母系间壳高的 F 检验均达到极显著水平($P < 0.01$) (表1)。

进一步进行Tukey多重比较分析, 结果发现, 壳金长牡蛎家系和对照组间壳高性状存在较大差异, 在不同日龄, 壳金长牡蛎所有家系壳高平均值均高于对照组, 高出2.27%~16.67%; 不同家系的壳高大小排序也存在不一致性, 但G2、G29、G28、G4、G7、G19、G8家系在幼虫阶段排名均靠前, 保持较高的增长优势(表2)。

表 1 壳金长牡蛎家系幼虫期壳高表型方差组分分析

Tab. 1 Analysis of variance components of phenotypic variation of shell height at larval stage of golden shell *C. gigas*

方差来源 source	自由度 df	幼虫日龄/d age of the larvae									
		3		7		11		15		19	
		均方 MS	F 检验 F -value	均方 MS	F 检验 F -value	均方 MS	F 检验 F -value	均方 MS	F 检验 F -value	均方 MS	F 检验 F -value
父系间 sires	9	206.73	8.51**	1920.82	20.18**	8789.91	31.91**	16 497.21	23.54**	16 264.20	21.07**
母系间 dams	26	135.01	5.95**	1467.43	20.78**	5622.61	28.73**	11 376.67	21.55**	9989.45	15.51**
父母交互作用 progeny with sires and dams	783	22.71		70.61		195.74		527.99		644.05	
总和 total	809										

注: **表示差异极显著($P < 0.01$), 下同

Notes: **means the difference is very significant ($P < 0.01$), the same as below

2.2 幼虫期存活率的比较

幼虫阶段的壳金长牡蛎所有家系平均存活率均高于对照组, 高出1.72%~9.40%; 同一家系存活能力在幼虫期不同日龄存在较大的波动, 随着培育时间的增加, 存活率出现明显降低, 其中G2家系在整个幼虫阶段存活率均较低, 只有G29、G28、G16、G7、G25、G8、G19家系保持较高的存活率(图1)。

2.3 稚贝期生长比较

对壳金长牡蛎各家系在稚贝期3、6、9、11月龄的壳高、壳长和6、9、11月龄总重量性状进行单因素方差分析(ANOVA), 结果表明, 壳金长牡蛎家系稚贝期不同月龄父系间、母系间壳高、壳长和总重量的 F 检验均达到极显著水平($P < 0.01$)(表3)。

进行Tukey多重比较分析结果表明, 在稚贝

期各阶段, 壳金长牡蛎所有家系壳高、壳长及总重量的平均值均高于对照组, 分别高出10.04%~19.79%、6.56%~17.78%、10.44%~32.92%。进一步的比较发现, 不同家系在同一月龄下的累积生长量并不相同, 差异比较明显; 在不同月龄的大小排序也存在不一致性, 但部分家系在不同月龄其壳高、壳长和总重量的累积生长量均超过所有家系平均值和对照组, 且排序位于前列, 其中G2、G19、G28家系在生长上均保持较高的增长量, 优势比较突出, 在11月龄这3个家系壳高、壳长和总重量的累积生长量比所有家系平均值分别高7.78%、3.45%、13.95%、4.78%、8.22%、12.38%和7.61%、4.02%、9.04%; 比对照组高17.95%、10.23%、25.85%、15.31%、15.31%、24.11%和18.42%、10.85%、20.42%(表4)。此外, 壳金长牡蛎各家系的后代贝壳均为金黄色, 比例达到100%, 随着养殖周

表2 幼虫期不同家系壳高生长的比较
 Tab. 2 Comparison of shell height among different families at larval stage of *C. gigas* μm

组别 groups	幼虫日龄/d age of the larvae				
	3	7	11	15	19
G1	77.00±4.66 ^{ef}	117.17±10.23 ^{a-c}	173.50±17.92 ^{bc}	259.67±21.21 ^{c-f}	324.50±17.92 ^{abc}
G2	80.33±5.07 ^{a-c}	119.33±9.35 ^{abc}	196.33±14.44 ^a	291.00±30.24 ^a	332.67±27.53 ^{ab}
G3	78.73±4.40 ^{a-f}	111.33±9.37 ^{c-h}	164.17±17.67 ^{c-h}	249.33±32.05 ^{c-h}	292.17±32.84 ^{fj}
G4	77.83±6.65 ^{c-f}	113.00±10.79 ^{c-h}	179.33±17.85 ^b	285.5±22.57 ^{ab}	314.67±19.95 ^{a-f}
G6	79.67±4.54 ^{a-c}	112.33±7.63 ^{c-h}	169.33±12.78 ^{b-c}	282.00±17.89 ^{ab}	297.33±29.12 ^{d-i}
G7	79.67±1.83 ^{a-c}	118.67±8.19 ^{a-d}	175.00±15.92 ^{bc}	267.67±14.06 ^{b-c}	306.17±19.90 ^{c-h}
G8	81.17±6.52 ^{a-c}	99.83±8.86 ^{ijkl}	151.33±13.26 ^{hij}	257.00±27.44 ^{c-g}	323.00±28.79 ^{abc}
G10	78.33±3.56 ^{b-f}	115.33±9.28 ^{b-g}	172.83±11.94 ^{bcd}	241.00±15.56 ^{fgh}	284.33±21.28 ^{hij}
G11	79.40±2.90 ^{a-f}	108.83±8.58 ^{fi}	168.33±12.13 ^{b-f}	247.17±25.92 ^{c-h}	293.33±30.44 ^{ci}
G13	77.67±5.68 ^{def}	113.83±8.87 ^{c-h}	163.17±14.83 ^{c-h}	256.00±20.15 ^{c-g}	285.33±26.36 ^{hij}
G14	77.50±4.31 ^{def}	117.11±7.83 ^{a-c}	170.00±12.03 ^{b-c}	236.83±17.69 ^{bhi}	280.33±29.88 ^{ij}
G15	78.67±3.93 ^{a-f}	112.67±5.83 ^{c-h}	166.50±12.88 ^{b-f}	257.00±20.87 ^{c-g}	296.83±24.93 ^{d-i}
G16	82.00±3.85 ^{a-d}	118.17±7.13 ^{a-d}	167.33±9.07 ^{b-f}	232.67±17.31 ^{hi}	302.67±16.60 ^{ci}
G17	75.00±5.25 ^f	106.83±10.13 ^{b-k}	165.17±17.49 ^{c-g}	274.33±39.78 ^{a-d}	317.50±30.19 ^{a-c}
G18	78.33±5.31 ^{b-f}	116.67±5.14 ^{a-f}	162.83±13.81 ^{c-h}	254.00±13.80 ^{d-h}	285.83±19.74 ^{bj}
G19	78.33±4.61 ^{b-f}	112.33±5.53 ^{c-h}	166.33±13.70 ^{b-f}	257.83±21.32 ^{c-g}	309.67±19.56 ^{b-g}
G20	77.17±4.29 ^{ef}	110.83±10.18 ^{d-h}	147.17±15.63 ^{ij}	278.00±28.33 ^{abc}	337.50±36.74 ^a
G21	77.50±4.69 ^{def}	107.67±7.51 ^{g-k}	159.50±14.58 ^{d-i}	249.33±20.83 ^{c-h}	306.67±25.37 ^{c-h}
G22	75.00±4.36 ^f	99.67±8.70 ^{kl}	140.93±18.21 ^j	286.83±25.75 ^{ab}	314.33±16.54 ^{a-g}
G24	80.63±4.43 ^{a-c}	101.50±7.67 ^{l-i}	163.50±11.76 ^{c-h}	243.67±20.47 ^{fgh}	289.00±32.63 ^{bj}
G25	77.50±4.31 ^{def}	96.83±7.71 ^l	152.50±8.38 ^{g-j}	218.33±16.26 ^l	268.67±19.61 ^j
G26	77.33±5.04 ^{ef}	107.33±8.88 ^{g-k}	155.33±11.37 ^{fi}	218.33±20.36 ^l	268.83±27.09 ^j
G27	79.83±6.63 ^{a-c}	118.00±7.26 ^{a-d}	175.33±8.09 ^{bc}	254.00±19.60 ^{d-h}	294.33±22.23 ^{d-i}
G28	83.00±4.66 ^a	122.67±7.85 ^{ab}	192.83±18.50 ^a	269.00±23.98 ^{a-c}	316.33±15.86 ^{a-f}
G29	82.33±3.65 ^{abc}	124.33±7.74 ^a	200.50±12.62 ^a	282.33±27.50 ^{ab}	315.17±31.42 ^{a-f}
G30	82.83±4.49 ^{ab}	109.17±8.62 ^{ci}	168.83±12.84 ^{b-c}	253.83±21.80 ^{d-h}	317.67±25.82 ^{a-d}
平均值 average	79.00±5.13	111.82±10.75	167.64±19.24	257.47±29.61	302.25±30.73
对照组 control	77.25±3.87	104.37±8.26	158.46±13.27	220.69±20.56	290.54±28.37

注: 标示字母肩标时, “-”表示首位字母之间省略的连续字母串, 且同列中, 不同上标字母表示差异显著($P < 0.05$), 下同

Notes: The ‘-’ indicates continuous strings of letters which omitted between the first and the last letter. Values with different superscripts letters within the same column mean significant differences at 0.05 level, and the following notes are the same

期的延长, 也没有出现壳颜色分化的现象。

2.4 稚贝期存活率比较

稚贝阶段的壳金长牡蛎所有家系平均存活率均高于对照组, 高出0.20%~4.26%; 各家系存

活率的波动均较小, 在不同月龄存活率的排序中, G28、G26、G3、G11、G19家系保持较高的优势, 在11月龄它们的存活率比所有家系平均值和对照组分别提高12.71%、10.43%、12.26%、

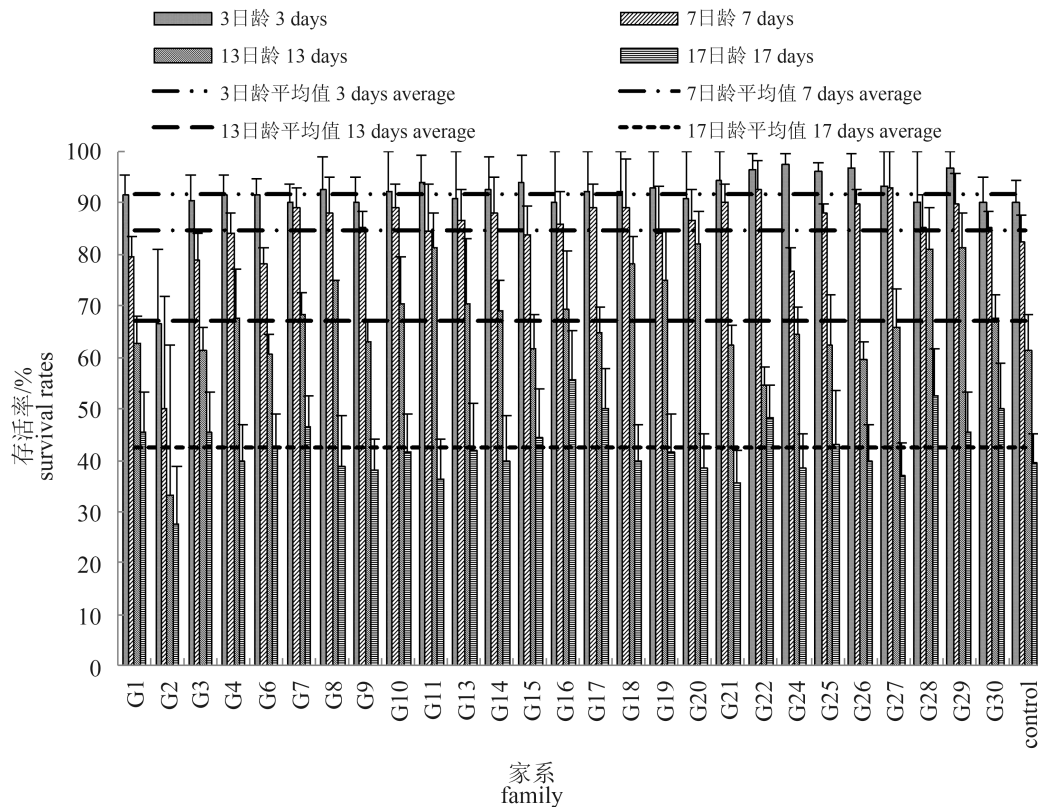


图1 幼虫期不同家系存活率的比较

Fig. 1 Comparison of survival rate among different families at larval stage of *C. gigas*

10.58%、11.70%和12.94%、10.65%、12.49%、10.80%、11.92%(图2)。

3 讨论

在海洋生物遗传育种的方法中, 选择育种和杂交育种仍然是目前广泛采用的有效方法^[21], 其中通过选择育种技术培育海水养殖新品种来应对种质退化、环境恶化、病害等问题, 提高生物体的生长性能和抗逆性, 是普遍采用的一种最有效的遗传改良育种技术。家系选择以受选择性状的平均值为标准进行选择育种, 与群体选育相比, 能更迅速地利用不同家系间的遗传变异, 更准确地估测家系内部的表型差别, 更快速地选育出所需要具有某种特征的新品系^[22]。

生长性状是评价生物体生长优劣的主要指标, 目前对长牡蛎生长性状的选育主要集中于尺寸大小、生长速度、产量、壳型等。通过家系选育的方法, 可以获得性状优良的家系, Taris等^[23]建立了30个长牡蛎全同胞家系, 发现自然界的长牡蛎在生长性状上存在很大的遗传变异, 有较大的选育价值, 经选育的长牡蛎比未经选育

的长牡蛎生长提高了近10.0%, 变异系数降低了40%~50%; Langdon等^[24]对长牡蛎进行家系选育时, 发现经过一代选育的长牡蛎产量比未经选育的产量增加了9.5%。本研究比较分析了壳金长牡蛎家系和对照组在幼虫和稚贝期的生长情况, 结果显示在幼虫期不同日龄, 壳金长牡蛎所有家系壳高平均值均高于对照组; 在稚贝期各阶段, 壳金长牡蛎所有家系壳高、壳长及总重量的平均值均高于对照组, 且不同家系存在显著差异, 部分家系在不同的生长时期均表现出较大的生长优势, 如G2、G19、G28家系, 在11月龄它们的壳高、壳长和总重量的累积生长量较所有家系平均值及对照组均有所提高, 这表明对长牡蛎壳金性状进行连续4代选育后, 其生长性状也出现了一定程度的改良, 说明壳金长牡蛎表型性状具有较大的可塑性。

性状的表现型是基因型和环境共同作用的结果。本实验中, 幼虫期环境基本一致条件下, 方差分析结果表明, 不同家系个体在不同时期生长性状仍表现出一定的差异, 这种差异可主要归因于遗传因素, 与亲本的遗传背景有关,

表 3 壳金长牡蛎家系稚贝期壳高、壳长、总重的表型方差组分分析
 Tab. 3 Analysis of variance components of shell height, shell length and total weight at juvenile stage of golden shell *C. gigas*

月龄/m months	方差来源 source	自由度 df	壳高 shell height		壳长 shell length		总重 total weight	
			均方 MS	F 检验 F-value	均方 MS	F 检验 F-value	均方 MS	F 检验 F-value
3	父系间 sires	9	469.83	10.6**	24.58	2.05**		
	母系间 dams	24	320.19	7.91**	27.44	2.35**		
	父母交互作用 progeny with sires and dams	725	40.47		11.66			
	总和 total	749						
6	父系间 sires	9	208.14	3.44**	80.28	2.52**	165.84	5.05**
	母系间 dams	24	263.35	4.73**	83.04	2.7**	164.49	5.46**
	父母交互作用 progeny with sires and dams	725	55.69		30.78		30.15	
	总和 total	749						
9	父系间 sires	9	200.63	3.86**	76.11	3.01**	222.78	6.04**
	母系间 dams	24	224.73	4.67**	59.72	2.41**	185.14	5.40**
	父母交互作用 progeny with sires and dams	725	48.14		24.82		34.27	
	总和 total	749						
11	父系间 sires	9	286.43	4.48**	112.85	3.27**	171.08	3.16**
	母系间 dams	24	261.76	4.35**	101.92	3.07**	194.12	3.81**
	父母交互作用 progeny with sires and dams	725	60.16		33.25		50.93	
	总和 total	749						

不同来源的亲本交配使后代的遗传基因发生了改变；而长牡蛎稚贝养殖于海区，生长差异除了与亲本的遗传因素有关，可能还与波动的环境因子等有关。但在幼虫和稚贝的不同生长时期，均存在生长上保持较高增长量的家系，这种现象与其他学者在菲律宾蛤仔^[17]、海湾扇贝^[25]、缢蛏(*Sinonovacula constricta*)^[26]等贝类上的观察结果一致，与生长相关的基因其表达程度可能更高，这样的家系可以作为进一步选育的材料。此外，虽然实验组和对照组长牡蛎放置在不同扇贝笼的同一笼层，同时吊养在同一海区的同一深度，在其他的日常管理上也严格一致，长牡蛎幼虫早期附着情况可能也对稚贝生长存在影响，因此，还需要考虑采用单体养殖模式等其他措施，进一步优化放养密度，提高壳金长牡蛎生长性状选择的准确性。本研究在一定程度上证实了壳金长牡蛎在生长性状上具有很大的选育价值，通过选择性状优良的个体，经过多代培育，稳定其优良的基因型，进而形

成生长速度快的新品种。

存活性状是生物体选育的另一个重要指标，存活率的高低反映了个体对环境的适应能力，对最终产量也有很大的影响。对长牡蛎存活率的选择，也就是对抗病、抗逆能力的选择，目前的研究主要集中于幼虫培育、冬季越冬和夏季高温等时期。Taris等^[23]在分析大小选择对幼虫生长影响的同时，发现未经选育的长牡蛎比经选育的长牡蛎的死亡率高14.2%。Dégremont等^[27]通过建立多个长牡蛎家系并养殖于不同的环境中，筛选出了夏季死亡率明显降低的长牡蛎家系。本研究发现在幼虫期不同日龄及在稚贝期各阶段，壳金长牡蛎所有家系平均存活率较对照组均有所提高。不同家系间存活率在同一时期存在较大差异，G19和G28家系在不同时期一直保持较高的存活率，在11月龄其存活率较家系平均值及对照组均提高，表现出明显的存活优势。这表明壳金长牡蛎群体存活率有着较高的遗传变异，有一定的选择空间，对那些具有较高存

表 4 稚贝期不同家系壳高、壳长和总重的生长比较

Tab. 4 Comparison of shell height, shell length and total weight at juvenile stage of *C. gigas*

组别 groups	3月 3 months		6月 6 months			9月 9 months			11月 11 months		
	壳高/mm shell height	壳长/mm shell length	壳高/mm shell height	壳长/mm shell length	总重/g total weight	壳高/mm shell height	壳长/mm shell length	总重/g total weight	壳高/mm shell height	壳长/mm shell length	总重/g total weight
	G1	29.39±4.34 ^{a-c}	15.05±2.02 ^{ab}	56.58±8.79 ^{a-d}	35.86±4.51 ^{ab}	18.63±8.06 ^{a-d}	58.78±8.21 ^{a-d}	36.67±5.21 ^{ab}	21.09±7.35 ^{a-c}	65.24±8.41 ^{abc}	43.50±5.57 ^{ab}
G2	32.35±6.22 ^{ab}	15.20±3.70 ^{ab}	62.44±5.82 ^a	38.74±7.09 ^a	22.70±6.05 ^a	63.44±6.34 ^a	38.86±4.52 ^a	25.67±5.52 ^a	66.58±8.95 ^{ab}	43.19±5.58 ^{ab}	30.38±7.86 ^{ab}
G3	33.85±5.60 ^a	15.57±2.72 ^{ab}	53.60±8.05 ^{b-c}	35.01±6.19 ^{ab}	15.94±5.24 ^{b-c}	55.76±6.96 ^{bcd}	35.11±5.49 ^{ab}	19.17±5.88 ^{b-c}	61.78±8.97 ^{a-d}	40.85±5.99 ^{ab}	25.23±7.25 ^{abc}
G4	31.68±6.80 ^{abc}	15.68±3.95 ^{ab}	51.10±6.91 ^{cde}	34.41±6.22 ^{ab}	14.56±4.84 ^{abc}	52.77±7.34 ^{cd}	35.66±5.04 ^{ab}	17.97±5.82 ^{b-c}	60.45±6.55 ^{a-d}	40.12±5.31 ^{ab}	25.57±7.09 ^{abc}
G6	27.73±7.41 ^{b-c}	15.93±3.85 ^{ab}	58.05±5.57 ^{abc}	37.79±5.16 ^a	19.25±5.84 ^{abc}	58.84±6.52 ^{a-d}	38.04±3.74 ^a	21.97±6.60 ^{abc}	65.40±7.68 ^{abc}	43.00±5.30 ^{ab}	30.08±8.11 ^{abc}
G7	28.04±6.12 ^{a-c}	14.73±2.65 ^{ab}	53.25±6.98 ^{b-c}	34.11±4.38 ^{ab}	15.30±4.00 ^{b-c}	55.57±5.90 ^{bcd}	35.54±4.31 ^{ab}	18.04±5.01 ^{b-c}	61.50±7.27 ^{a-d}	40.64±5.07 ^{ab}	24.00±6.14 ^{bc}
G8	30.44±7.48 ^{a-d}	17.52±3.89 ^a	54.79±7.04 ^{b-c}	37.40±5.59 ^a	20.48±5.92 ^{ab}	57.54±6.52 ^{a-d}	37.73±5.44 ^{ab}	22.81±7.23 ^{ab}	61.92±6.47 ^{a-d}	41.48±7.85 ^{ab}	31.05±8.22 ^a
G9	30.10±5.29 ^{a-d}	14.33±3.59 ^{ab}	51.97±8.97 ^{b-c}	34.72±5.42 ^{ab}	15.63±5.34 ^{b-c}	52.92±8.47 ^{cd}	34.82±4.51 ^{ab}	17.61±6.02 ^{b-c}	58.23±9.62 ^{cd}	38.52±5.61 ^b	23.98±8.90 ^{bc}
G10	29.31±7.44 ^{a-c}	14.55±2.77 ^{ab}	55.28±10.55 ^{b-c}	38.53±6.66 ^a	20.17±7.51 ^{ab}	56.72±8.87 ^{bcd}	38.78±4.81 ^a	21.81±7.42 ^{a-d}	58.77±9.22 ^{cd}	40.42±5.08 ^{ab}	26.29±7.89 ^{abc}
G11	27.79±5.00 ^{b-c}	15.96±3.34 ^{ab}	52.62±7.27 ^{b-c}	34.90±4.24 ^{ab}	17.95±5.84 ^{a-c}	56.17±6.71 ^{bcd}	37.17±4.24 ^{ab}	22.41±5.59 ^{ab}	56.23±9.28 ^d	39.16±5.73 ^b	23.59±7.73 ^c
G13	26.39±6.13 ^{b-c}	14.54±3.29 ^{ab}	54.70±8.93 ^{b-c}	34.91±5.42 ^{ab}	16.13±4.88 ^{b-c}	58.33±5.70 ^{a-d}	35.22±4.06 ^{ab}	19.47±5.21 ^{b-c}	64.93±6.58 ^{abc}	42.11±5.72 ^{ab}	25.84±5.84 ^{abc}
G14	24.64±3.44 ^{def}	14.85±2.95 ^{ab}	54.62±8.01 ^{b-c}	33.92±6.39 ^{ab}	14.48±4.65 ^{cde}	54.71±8.85 ^{bcd}	34.56±5.40 ^{ab}	15.60±4.96 ^c	61.50±7.61 ^{a-d}	41.01±4.65 ^{ab}	24.12±6.17 ^{bc}
G15	27.45±7.44 ^{b-c}	16.23±4.22 ^{ab}	51.47±7.05 ^{cde}	34.17±6.60 ^{ab}	14.91±4.31 ^{cde}	53.32±6.33 ^{cd}	35.37±5.41 ^{ab}	17.51±4.49 ^{b-c}	58.25±6.11 ^{cd}	40.21±4.89 ^{ab}	24.08±5.75 ^{bc}
G16	26.34±7.86 ^{b-c}	14.91±3.71 ^{ab}	52.05±6.12 ^{b-c}	35.87±5.74 ^{ab}	15.99±5.01 ^{b-c}	52.16±5.23 ^d	35.99±4.52 ^{ab}	18.94±5.18 ^{b-c}	61.18±7.06 ^{a-d}	41.68±5.06 ^{ab}	26.27±5.41 ^{abc}
G18	23.92±4.94 ^{ef}	15.23±2.79 ^{ab}	50.14±6.33 ^{de}	35.41±6.30 ^{ab}	13.65±4.93 ^{de}	53.95±6.86 ^{bcd}	36.55±5.86 ^{ab}	16.40±5.60 ^{de}	60.59±5.86 ^{a-d}	44.85±7.74 ^a	24.53±6.15 ^{abc}
G19	33.92±8.65 ^a	17.11±3.80 ^a	54.73±9.23 ^{b-c}	37.31±6.20 ^a	18.83±7.55 ^{a-d}	56.18±7.89 ^{bcd}	37.46±6.30 ^{ab}	22.44±7.86 ^{ab}	65.09±8.57 ^{abc}	45.18±6.75 ^a	29.96±8.77 ^{abc}
G20	28.76±6.41 ^{a-c}	16.60±4.02 ^a	53.71±7.88 ^{b-c}	36.60±6.33 ^{ab}	17.96±6.53 ^{a-c}	57.93±7.66 ^{a-d}	37.08±6.69 ^{ab}	22.63±7.71 ^{ab}	64.40±8.70 ^{abc}	42.35±5.14 ^{ab}	29.35±8.37 ^{abc}
G21	28.24±7.26 ^{a-c}	16.27±4.40 ^{ab}	53.09±5.80 ^{b-c}	35.17±5.51 ^{ab}	16.20±4.46 ^{b-c}	54.33±6.59 ^{bcd}	35.31±5.61 ^{ab}	18.28±4.95 ^{b-c}	61.85±8.43 ^{a-d}	42.74±4.20 ^{ab}	27.56±7.30 ^{abc}
G22	28.30±7.63 ^{a-c}	16.52±2.79 ^{ab}	55.50±5.88 ^{a-d}	37.96±5.41 ^a	18.66±4.45 ^{a-d}	56.09±5.34 ^{bcd}	38.10±4.03 ^a	20.75±5.21 ^{a-c}	62.78±8.28 ^{a-d}	42.53±5.60 ^{ab}	28.72±7.31 ^{abc}
G25	28.80±7.70 ^{a-c}	16.15±3.62 ^{ab}	55.46±5.95 ^{a-d}	35.04±3.99 ^{ab}	18.44±5.03 ^{a-c}	55.93±7.24 ^{bcd}	35.76±5.01 ^{ab}	19.58±5.80 ^{b-c}	66.53±7.44 ^{ab}	43.77±6.95 ^{ab}	30.06±7.04 ^{abc}
G26	25.06±5.95 ^{def}	15.39±3.46 ^{ab}	53.78±8.46 ^{b-c}	35.09±4.23 ^{ab}	16.75±5.33 ^{b-c}	55.08±7.89 ^{bcd}	35.55±5.15 ^{ab}	17.46±6.01 ^{b-c}	64.01±7.61 ^{abc}	43.89±5.68 ^{ab}	26.28±7.31 ^{abc}
G27	20.03±5.06 ^f	13.17±3.21 ^b	50.85±6.10 ^{de}	34.58±3.88 ^{ab}	14.53±4.18 ^{cde}	52.50±5.84 ^{cd}	35.25±3.76 ^{ab}	18.08±3.87 ^{b-c}	59.43±5.65 ^{bcd}	39.35±5.16 ^b	23.64±6.41 ^{bc}
G28	30.62±5.09 ^{a-d}	15.47±2.59 ^{ab}	58.77±8.59 ^{ab}	36.56±5.09 ^{ab}	18.40±6.23 ^{a-c}	59.93±6.15 ^{ab}	36.57±3.32 ^{ab}	20.84±4.75 ^{a-c}	66.85±7.46 ^a	43.43±3.32 ^{ab}	29.07±4.68 ^{abc}
G29	25.71±6.08 ^{c-f}	15.70±3.84 ^{ab}	52.48±7.34 ^{b-c}	34.92±4.11 ^{ab}	15.82±4.06 ^{b-c}	53.88±6.61 ^{bcd}	35.11±3.42 ^{ab}	17.69±4.75 ^{b-c}	59.61±8.20 ^{a-d}	39.37±8.91 ^b	23.77±6.52 ^{bc}
G30	23.44±4.31 ^{ef}	14.69±2.91 ^{ab}	48.33±6.01 ^e	31.54±6.08 ^b	13.33±4.23 ^e	52.28±5.37 ^{cd}	33.16±6.6 ^b	16.82±5.23 ^{cde}	59.96±5.74 ^{a-d}	40.39±4.09 ^{ab}	24.67±6.25 ^{abc}
平均值 average	28.09±7.03	15.50±3.49	53.97±7.90	35.62±5.70	16.96±5.89	55.80±7.34	36.22±5.09	19.64±6.25	62.12±8.16	41.75±5.95	26.66±7.45
对照组 control	23.45±3.01	13.16±1.32	45.65±5.13	31.63±3.89	12.76±2.42	48.18±4.76	32.89±4.64	16.26±2.56	56.45±4.53	39.18±4.60	24.14±4.61

活率的家系经过连续选育, 使抗逆基因得到纯合, 从而得到抗逆性强的品系。

由于幼虫生长的环境包括温度和盐度等较为适宜且保持一致, 环境对个体存活的影响较低; 海上养殖期, 存在两个不同的养殖地点, 由于未严格测定风浪强度、叶绿素含量等指标是否一致, 这些环境生态因子若差异较大, 对稚贝

的存活都可能产生明显的影响。通过整个幼虫时期的比较, G2家系在幼虫眼点出现30%左右时, 存活率仅为22%, 部分家系存活率为0, 家系较低的存活率可能是精卵亲和力和力差, 与亲本遗传物质有关; 稚贝期的存活差异可能是遗传和环境共同作用的结果。因此在选择种贝时应重视其精卵亲和力和力, 并加强其子代在养殖环境方

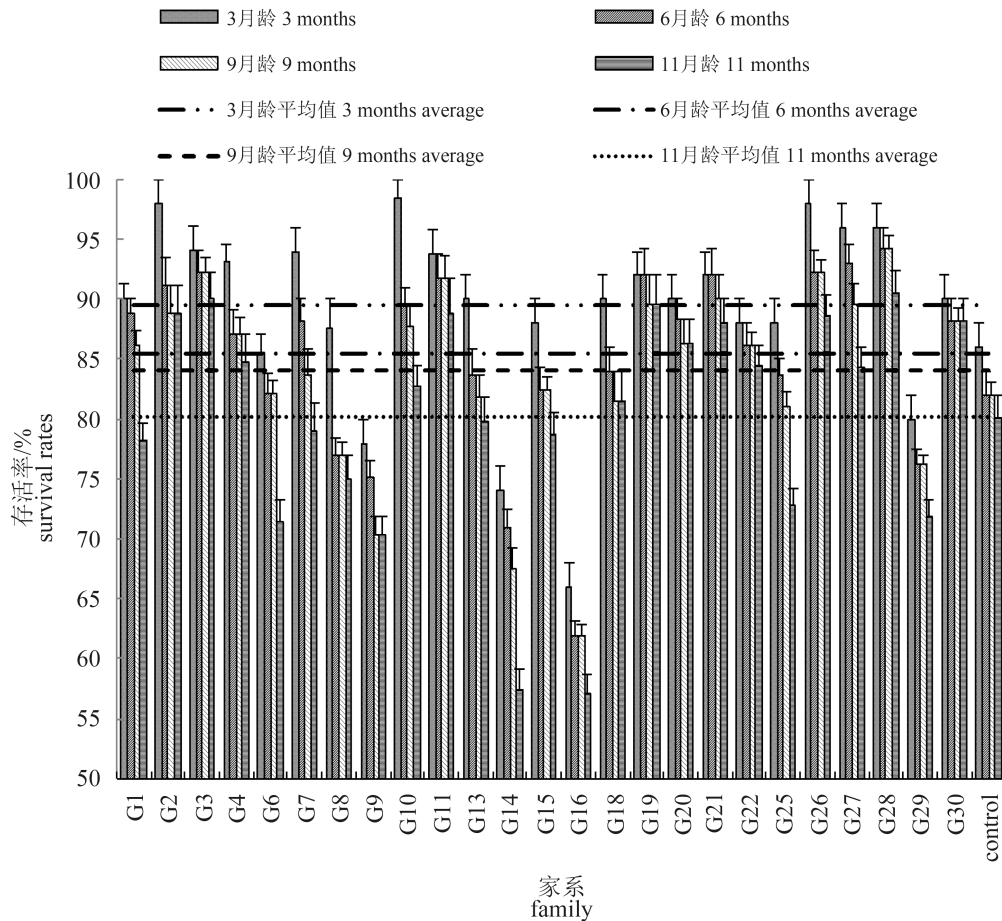


图 2 稚贝期不同家系存活率的比较

Fig. 2 Comparison of survival rate among different families at juvenile stage of *C. gigas*

面存活率的选育工作。

4 结论

本研究通过建立壳金长牡蛎家系并比较分析其幼虫期和稚贝期生长和存活性能的表现,筛选出在各生长阶段的累积生长量和存活率方面均具有较大优势的家系G19和G28,在11月龄其壳高、壳长、总重量比所有家系平均值提高4%~13%,比对照组提高10%~25%;存活率水平也比所有家系平均值和对照组提高10%以上。因此, G19和G28家系可以作为优良品种培育的育种材料。本研究为壳金长牡蛎快速生长及抗逆性状的遗传改良和新品种的培育提供了基础材料和理论支撑。

参考文献:

- [1] 于瑞海, 李琪, 王照萍, 等. 我国北方太平洋牡蛎育苗及养殖现状[J]. 科学养鱼, 2008, 6: 3-5.
- [2] Yu R H, Li Q, Wang Z P, *et al.* The current situation of culture of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) in north of China[J]. Scientific Fish Farming, 2008, 6: 3-5(in Chinese).
- [3] Innes D J, Haley L E. Inheritance of a shell-color polymorphism in the mussel[J]. The Journal of Heredity, 1977, 68(3): 203-204.
- [4] Peignon J M, Gerard A, Naciri Y, *et al.* Analysis of shell colour determination in the Manila clam *Ruditapes philippinarum*[J]. Aquatic Living Resources, 1995, 8(2): 181-189.
- [5] Kobayashi T, Kawahara I, Hasekura O, *et al.* Genetic control of bluish shell color variation in the Pacific abalone, *Haliotis discus hannai*[J]. Journal of Shellfish Research, 2004, 23(4): 1153-1156.
- [6] Brand E, Kijima A, Fujio Y. Shell color polymorphism and growth in the Japanese scallop, *Patinopecten yessoensis*[J]. Tohoku Journal of Agricultural Research, 1994, 44(1-4): 67-76.
- [7] Wolff M, Garrido J. Comparative study of growth and survival of two color morphs of the Chilean scallop

- Argopecten purpuratus*(Lamarck) in suspended culture[J]. Journal of Shellfish Research, 1991, 10(1): 47-53.
- [7] 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]. 海洋与湖沼, 2003, 34(6): 632-639.
Zheng H P, Zhang G F, Liu X, *et al.* Establishment of different shell color lines of bay scallop *Argopecten irradians* Lamarck (1819) and their development[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2003, 34(6): 632-639(in Chinese).
- [8] Imai T, Sakai S. Study of breeding of Japanese oyster, *Crassostrea gigas*[J]. Tohoku Journal of Agricultural Research, 1961, 12(2): 125-171.
- [9] Nell J A. The history of oyster farming in Australia[J]. Marine Fisheries Review, 2001, 63(3): 14-25.
- [10] Brake J, Evans F, Langdon C. Evidence for genetic control of pigmentation of shell and mantle edge in selected families of Pacific oysters, *Crassostrea gigas*[J]. Aquaculture, 2004, 229(1-4): 89-98.
- [11] Evans S, Camara M D, Langdon C J. Heritability of shell pigmentation in the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*[J]. Aquaculture, 2009, 286(3-4): 211-216.
- [12] Kang J H, Kang H S, Lee J M, *et al.* Characterizations of shell and mantle edge pigmentation of a Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, in Korean Peninsula[J]. Asian Australasian Journal of Animal Sciences, 2013, 26(12): 1659-1664.
- [13] Ge J L, Li Q, Yu H. *et al.* Mendelian inheritance of golden shell color in the Pacific oyster *Crassostrea gigas*[J]. Aquaculture, 2015, 441:21-24.
- [14] 丛日浩, 李琪, 葛建龙, 等. 长牡蛎4种壳色家系子代的表型性状比较[J]. 中国水产科学, 2014, 21(3): 494-502.
Cong R H, Li Q, Ge J L, *et al.* Comparison of phenotypic traits of four shell color families of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*)[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2014, 21(3): 494-502(in Chinese).
- [15] 吴仲庆. 水产生物遗传育种学[M]. 厦门: 厦门大学出版社, 2000.
Wu Z Q. The aquatic biological genetic breeding[M]. Xiamen: Xiamen University Press, 2000(in Chinese).
- [16] 何毛贤, 管云雁, 林岳光, 等. 马氏珠母贝家系的生长比较[J]. 热带海洋学报, 2007, 26(1): 39-43.
He M X, Guan Y Y, Lin Y G, *et al.* Growth comparison between families of pearl oyster *Pinctada martensii* Dunker[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2007, 26(1): 39-43(in Chinese).
- [17] 闫喜武, 霍忠明, 张跃环, 等. 菲律宾蛤仔家系的建立及早期生长发育[J]. 水产学报, 2010, 34(1): 32-40.
Yan X W, Huo Z M, Zhang Y H. *et al.* Preliminary study of establishment of families and their early growth and development for manila clam (*Ruditapes philippinarum*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2010, 34(1): 32-40(in Chinese).
- [18] 张跃环, 闫喜武, 张澎, 等. 贝类壳色多态的研究概况及展望[J]. 水产科学, 2008, 27(12): 680-683.
Zhang Y H, Yan X W, Zhang P, *et al.* Research advances and prospects on shell color polymorphism of mollusks[J]. Fisheries Science, 2008, 27(12): 680-683(in Chinese).
- [19] 张国范, 刘晓. 关于贝类遗传改良几个问题的讨论[J]. 水产学报, 2006, 30(1): 130-137.
Zhang G F, Liu X. Theory and method of genetic improvement in mariculture mollusks: a review[J]. Journal of Fisheries of China, 2006, 30(1): 130-137(in Chinese).
- [20] 王庆志, 李琪, 孔令锋, 等. 长牡蛎第三代选育群体生长性状的选择效应[J]. 水产学报, 2013, 37(10): 1487-1494.
Wang Q Z, Li Q, Kong L F, *et al.* Third generation evaluation of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) breeding lines selected for fast growth[J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(10): 1487-1494(in Chinese).
- [21] 常亚青, 田隼, 张伟杰. 我国海洋水产生物遗传育种技术进展[J]. 中国农业科技导报, 2013, 15(6): 8-15.
Chang Y Q, Tian Y, Zhang W J. Progress of mariculture biological genetic breeding technology in China[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2013, 15(6): 8-15(in Chinese).
- [22] 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 S, Yu Z N. Review of selective breeding research and practice in oyster cultivation[J]. Journal of Fisheries of China, 2008, 32(2): 287-295(in Chinese).
- [23] Taris N, Ernande B, McCombie H, *et al.* Phenotypic and genetic consequences of size selection at the larval stage in the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*)[J]. Journal of

- Experimental Marine Biology and Ecology, 2006, 333(1): 147-158.
- [24] Langdon C, Evans F, Jacobson D, *et al.* Yields of cultured Pacific oysters *Crassostrea gigas* Thunberg improved after one generation of selection[J]. Aquaculture, 2003, 220(1): 227-244
- [25] 刘志刚, 章启忠, 朱晓闻, 等. 海湾扇贝南部亚种自交家系选育及其Kung育种值评价[J]. 中国水产科学, 2013, 20(2): 308-315.
- Liu Z G, Zhang Q Z, Zhu X W, *et al.* Breeding of a self-fertilizing family and Kung breeding value evaluation of *Argopecten irradians concentricus* (Say)[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2013, 20(2): 308-315(in Chinese).
- [26] 杜文俊, 王成东, 王杰, 等. 缢蛏选优群体和全同胞家系早期生长性能的比较[J]. 水产学报, 2016, 40(4): 603-611.
- Du W J, Wang C D, Wang J, *et al.* Comparison of early growth in *Sinonovacula constricta* selection group and family[J]. Journal of Fisheries of China, 2016, 40(4): 603-611(in Chinese).
- [27] Dégrement L, Ernande B, Bédier E, *et al.* Summer mortality of hatchery-produced Pacific oyster spat (*Crassostrea gigas*). I. Estimation of genetic parameters for survival and growth [J]. Aquaculture, 2007, 262(1): 41-53.

Construction and comparison of growth and survival among different golden shell families of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*)

WANG Xuelei, LI Qi*, KONG Lingfeng, YU Ruihai, YU Hong

(Key Laboratory of Mariculture, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Abstract: In order to select the most outstanding groups of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) with golden shell color, a total of 25 full-sib families were constructed successfully by using the method of nested design in June 2014. These parental breeders were individuals of *C. gigas* with golden shell cultured in 2013, which had been selected for four generations by families breeding and populations breeding based on golden shell coloration. In the meanwhile, we produced the control families by using unselected individuals as parents. We measured and compared the phenotypic growth traits and the average survival rates among these families during the larval and juvenile stages. The results indicated that the average values of the growth performances and the survival rates of these golden shell families were greater than those of the control, at the larval stages, the shell height and the average survival rates of all the golden shell *C. gigas* families were greater than the average values of the control by 2.27%~16.67% and 1.72%~9.40%, respectively; at the juvenile stages, the shell height, shell length and total weight and the average survival rates of all the golden shell *C. gigas* families were greater than the average values of the control by 10.04%~19.79%, 6.56%~17.78%, 10.44%~32.92% and 0.20%~4.26%, respectively. The differences in growth and survival rates were significant among these full-sib families, based on the great performance of fast growth and high survival, the G19 and G28 were the most excellent families of all the golden shell families of *C. gigas* in early and medium terms. At the age of 11 months, the shell height, shell length and total weight of G19 and G28 were greater than the average values of the total families by 4.78%, 8.22%, 12.38% and 7.61%, 4.02%, 9.04%, respectively, and were greater than the average values of the control by 15.31%, 15.31%, 24.11% and 18.42%, 10.85%, 20.42%, respectively. The average survival rates of these two families were greater than the average values of the total golden shell families and the control by 11.70%, 12.71% and 11.92%, 12.94%, respectively. Our results suggest that the growth performance superiority of the *C. gigas* with golden shell coloration is significant and the potential for the selection of the survival rate needs to be studied. The families G19 and G28 can be used as valuable genetic materials for the following breeding and relative research. Furthermore, these results may also provide theoretical supports for genetics and breeding programs of golden shell Pacific oysters.

Key words: *Crassostrea gigas*; shell color; family; growth; survival

Corresponding author: LI Qi. E-mail: qili66@ouc.edu.cn

Funding projects: National Natural Science Foundation of China (31372524); Shandong Province (2014GHY115002); Shandong Seed Project