

doi: 10.7541/2019.039

## 壳白长牡蛎家系幼体生长存活比较及生长性状遗传参数评估

赵宗武<sup>1</sup> 李琪<sup>1,2</sup> 张景晓<sup>1</sup> 徐成勋<sup>1</sup>

(1. 中国海洋大学海水养殖教育部重点实验室, 青岛 266003; 2. 青岛海洋科学与技术国家实验室, 海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室, 青岛 266200)

**摘要:** 研究以经过连续7代人工选育壳白长牡蛎品系为素材, 通过巢式设计, 成功构建了12个半同胞家系和29个全同胞家系, 同时以未经选育的个体子代为对照组, 评估了各家系和对照组幼体在不同日龄下的生长和存活差异。结果显示, 不同日龄, 壳白长牡蛎家系幼体生长和存活率均高于对照组, 壳高和存活率分别提高3.65%—14.58%和1.11%—19.26%; 生长和存活性状在不同壳白家系间差异显著( $P < 0.05$ ), 其中G11、G15和G35家系在生长和存活率方面均有较大优势, 在19日龄, 与壳白家系平均值相比, 其壳高的累积生长量分别增加11.87%、17.03%和30.32%, 存活率分别提高38.35%、33.41%和51.07%; 与对照组相比, 其壳高的累积生长量分别增加34.09%、28.18%和49.31%, 存活率分别提高65.00%、59.11%和80.18%。同时对壳白长牡蛎幼体壳高和壳长的遗传参数进行了评估。壳白长牡蛎幼体壳高和壳长的遗传力变化范围分别为0.28—0.81、0.42—0.88, 均属于中高遗传力; 壳白长牡蛎幼体不同日龄壳高和壳长的遗传相关和表型相关均为正相关, 相关系数的范围分别为0.35—0.81、0.57—0.85。研究为培育生长性能优良和存活率高的壳白长牡蛎品系提供了基础资料。

**关键词:** 长牡蛎; 壳白家系; 幼体; 生长性状; 遗传参数

**中图分类号:** Q344<sup>+</sup>.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2019)02-0315-07

长牡蛎(*Crassostrea gigas* Thunberg)又称太平洋牡蛎, 自然分布于西北太平洋海域, 是一种广温、广盐性贝类, 具有适应性强、生长速度快、营养丰富、肥满度高等优点。长牡蛎在我国北方沿海均有养殖, 但以辽宁、山东、江苏较多, 2016年我国牡蛎产量 $4.83 \times 10^9$  kg, 占海水贝类养殖产量的34.03%<sup>[1]</sup>。长牡蛎繁育所需苗种的主要来源是人工育苗, 而育苗亲本大都来源于未经选育的野生型群体<sup>[2]</sup>。近年来养殖水域环境恶化, 长牡蛎出现了种质退化、生长缓慢、死亡率高、壳型不规则等问题, 严重制约着我国牡蛎产业的发展。因此, 进行长牡蛎的遗传改良工作, 培育具有生长性能好、抗逆性高等特性的新品种, 对促进牡蛎产业的发展, 打开牡蛎高端市场具有重要意义。

家系选育是开展遗传育种工作的一种重要技

术手段。群体中含有丰富的基因型, 通过建立家系, 对经济性状进行选择, 加快目的性状基因的纯化速度, 最终实现水产动物种质改良的目的<sup>[3]</sup>。在一些重要的经济贝类, 如海湾扇贝(*Argopecten irradians*)<sup>[4, 5]</sup>、菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)<sup>[6, 7]</sup>、马氏珠母贝(*Pinctada martensii*)<sup>[8]</sup>、青蛤(*Cyclina sinensis*)<sup>[9]</sup>等, 已有研究表明家系选育能够对贝类的经济性状进行遗传改良。

在动物遗传改良过程中, 遗传参数的准确评估对个体遗传评定、选择反应预测、育种方案设计以及选育策略制定有重要的指导意义<sup>[10]</sup>。关于长牡蛎遗传参数的估计已有相关报道, Dégremont等<sup>[11, 12]</sup>、Langdon等<sup>[13]</sup>和Evans等<sup>[14]</sup>研究了长牡蛎不同生长阶段生长、存活和产量等经济性状的遗传参数。在国内, 王庆志等<sup>[15, 16]</sup>报道了长牡蛎幼体

收稿日期: 2018-04-11; 修订日期: 2018-09-25

基金项目: 泰山学者种业计划专家项目; 山东省重点研发计划(2016ZDJS06A06); 山东省农业良种工程(2017LZGC009)资助 [Supported by Taishan Scholar Seed Industry Experts Project; Shandong Key Research and Development Project (2016ZDJS06A06); Agriculture for Project Funding of Shandong Province (2017LZGC009)]

作者简介: 赵宗武(1993—), 男, 河北石家庄人; 硕士研究生; 研究方向为贝类遗传育种学。E-mail: zongwuzhao@126.com

通信作者: 李琪, E-mail: qili66@ouc.edu.cn

和成体生长性状的遗传参数,王雪磊等<sup>[17]</sup>对壳金品系长牡蛎生长和壳色性状的遗传参数进行了关联分析。

本研究以连续选育7代的壳白长牡蛎品系为素材,利用巢式设计成功构建29个全同胞家系,比较各家系幼体生长存活的差异,以期筛选出生长和存活性能优良的家系材料,同时进行壳白长牡蛎幼体生长性状遗传参数的评估,旨在为壳白长牡蛎新品种的培育和选育策略的制定提供基础资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 家系构建

2017年5月从经过4代家系选育和3代群体选育的第7代(F7)壳白长牡蛎品系中,挑选个体较大、壳型规整的个体作为亲本,于室内进行人工促熟。2017年6月,壳白长牡蛎性腺发育成熟,用解剖法辨别雌雄后,采用平衡巢式设计,一雄配三雌,将适量的精卵在5 L塑料桶内混合,共构建12个半同胞家系,36个全同胞家系。同时选取3对未经选育的普通个体作为亲本,通过单对交配的方式建立对照组。实验构建36个家系,最终29个家系培育至稚贝。

### 1.2 孵化及培育

在人工授精完成后,将壳白家系各组受精卵转移至100 L聚乙烯塑料桶中进行孵化,3个对照组家系共同置于1个100 L聚乙烯塑料桶中进行孵化,孵化密度控制在20—40个/mL。在孵化22h后,发育至D形幼体,用300目的筛绢网洗卵,将各组筛选出的幼体转移至孔径300目、容积240 L的筛绢网筐中,放置在大池内培养。苗种培育方法参考王庆志等<sup>[15]</sup>,并作适当调整,幼体初始培育密度调整为10—12个/mL。在幼体培育过程中,每天早晚各换水1次,每次1/3;根据幼体生长状况,投喂适量的等鞭金藻(*Isochrysis galbana*)和扁藻(*Platymonas* sp.);根据日常观测大小,将幼体适时转移至230目和160目的筛绢网筐中;每2天调整1次密度,消除培育密度的影响;控制水温在23—25℃,持续充气。培育阶段,保持各组管理操作相同,严格避免家系间交叉污染。

### 1.3 生长和存活数据测定

在受精卵发育至D形幼体后,在第3、第7、第11、第15和第19天分别测定各组的幼体密度,每组重复测量3次,计算幼体的存活率;同时,从各组随机选取30个个体,用卢戈氏液固定,在显微镜下测量其生长大小。

### 1.4 数据分析

采用Excel 2016和SPSS 20.0软件对各组的生长

和存活数据做初步统计处理后,用单因素方差分析(ANOVA)和Tukey多重比较对数据进行分析,以 $P < 0.05$ 作为显著性水平。生长和存活率相对提高率公式如下:

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

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

采用ASReml 3.0软件中约束极大似然法(REML)进行遗传参数评估<sup>[17]</sup>,根据软件要求对数据进行整理排列,建立多性状个体动物模型:

$$Y_{ijk} = \mu + a_{ijk} + f_{ijk} + e_{ijk}$$

式中, $Y_{ijk}$ 为性状测量值, $\mu$ 表示总体均值, $a_{ijk}$ 为加性遗传效应, $f_{ijk}$ 为家系效应(包括共同环境效应), $e_{ijk}$ 为随机残差。

## 2 结果

### 2.1 幼体存活率比较

在3日龄,壳白长牡蛎家系和对照组家系的存活率没有显著差异( $P > 0.05$ );随着幼体培育时间的增加,各家系存活率均呈现出下降趋势,部分家系在7日龄、11日龄出现明显降低。在整个幼体培养阶段,所有壳白长牡蛎家系的平均存活均高于对照组1.11%—19.26%,其中,G7、G9和G13家系在3日龄后,存活率一直保持在较低水平,其19日龄的存活率分别降低至13.88%、12.29%和13.64%;而G1、G3、G4、G11、G15、G28、G32和G35家系保持着较高的存活率,在19日龄时,这些家系存活率分别为54.17%、31.58%、42.86%、33.33%、32.14%、30.77%、59.15%和36.40%,并且显著高于对照组( $P < 0.05$ ,图1)。

### 2.2 幼体生长比较

应用单因素方差分析(ANOVA)发现,不同日龄壳白长牡蛎幼体在父系间、母系间壳高和壳长的 $F$ 检验均达到了极显著水平( $P < 0.01$ );均方结果表明,父系各组间壳高和壳长的生长存在较大差异,且随着培育时间的增加,差异性增大(表1)。

利用Tukey多重比较分析发现,在整个幼体培育阶段,壳白长牡蛎家系壳高性状的平均值均高于对照组3.65%—14.58%。进一步分析发现,在3、7、11、15和19日龄壳白长牡蛎家系组和对照组生长性状存在较大差异,不同家系在同一日龄下的累计生长量并不相同,在不同日龄家系壳高均值的大小排序也存在不一致性,其中G4和G21在培育阶段生长缓慢,壳高的累积生长量排在所有家系下游;

但部分家系在不同日龄保持着较快生长速度, 排序位于前列, 其中G9、G10、G11、G15、G16和G35生长优势明显。在19日龄, 这些家系壳高的累积生长量比壳白长牡蛎家系均值分别高33.37%、22.35%、17.03%、11.87%、23.09%和40.80%, 比对照组高52.81%、40.18%、34.09%、28.18%、41.03%和61.32%(表2)。

**2.3 遗传参数**

利用多性状个体模型计算3、7、11、15和19日龄的幼体遗传力, 结果显示在不同日龄壳白长牡蛎幼体壳高和壳长的遗传力不同。壳高的遗传力的变化范围是0.28—0.81, 壳长的遗传力变化范围是0.42—0.88, 均属于中高遗传力。壳高和壳长遗传力的最大值分别在3日龄和15日龄, 为0.81±0.15和0.88±0.15; 遗传力的最小值分别在7日龄和3日龄, 为0.28±0.09和0.42±0.11(表3)。

根据软件中的pin函数对生长性状进行相关性分析, 在3、7、11、15和19日龄, 壳白长牡蛎幼体壳高和壳长的遗传相关和表型相关存在差异, 遗传相关和表型相关的范围分别为0.35—0.81、0.57—0.85, 均为正相关(表4)。

**3 讨论**

**3.1 壳白长牡蛎幼体的生长和存活**

世界上主要水产养殖国家的育种方式主要以选择育种和杂交育种为主<sup>[18]</sup>。其中通过选择育种技术来提高选育生物的生长性状、品质性状和抗逆抗病性状, 应对种质退化、环境恶化等问题, 是目前普遍采用的一种有效的遗传改良技术。而家系选育作为选择育种的重要方法, 能够高效地利用家系间的遗传变异, 使控制经济性状的主效基因和微效基因快速纯合, 最终得到选育所需特征的育种

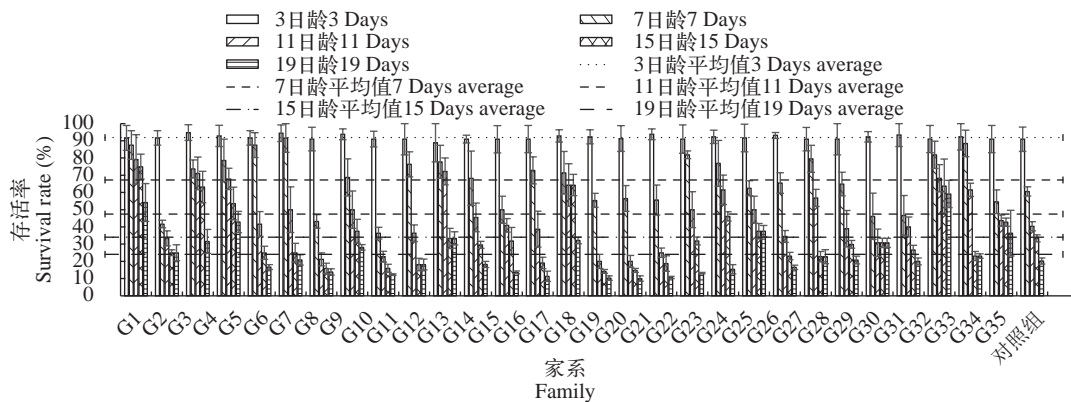


图1 长牡蛎幼体不同家系存活率的比较

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

表1 壳白长牡蛎家系幼体不同生长时期表型变量组成的方差分析

Tab. 1 Components of phenotypic variation of white shell families of *C. gigas* larvae at different stages

日龄 Age (d)	性状 Traits	方差来源 Source of variance								
		父系间 Sires			母系间 Sams			子代间 Progenies		总和 Total
		df	MS	F	df	MS	F	df	MS	
3	SH	11	1565.60	25.03**	28	1063.26	21.75**	869	81.57	908
	SL	11	1446.85	19.19**	28	826.37	12.09**	869	92.75	908
7	SH	11	2886.64	21.80**	28	1612.30	11.46**	869	235.54	908
	SL	11	1116.13	8.41**	28	1081.55	9.48**	869	145.16	908
11	SH	11	11012.26	26.68**	28	6424.59	16.53**	869	635.10	908
	SL	11	4859.49	13.65**	28	4462.36	16.03**	869	413.07	908
15	SH	11	24820.53	33.39**	28	13989.00	21.32**	869	1143.15	908
	SL	11	14728.30	34.90**	28	9059.20	28.17**	869	603.07	908
19	SH	11	49985.33	26.56**	28	29505.72	17.27**	869	2757.61	908
	SL	11	34683.49	35.74**	28	18004.78	21.32**	869	1397.25	908

注: SH表示壳高, SL表示壳长; \*\*表示差异极显著(P<0.01), 下同

Note: SH means shell height, SL means shell length; \*\*means very significant difference (P<0.01), the same applies below

材料<sup>[19]</sup>。

贝类具有繁殖力高、生殖周期短、群体遗传变异大等特点<sup>[20]</sup>, 特别适合开展选择育种工作。生长和存活是评估生物体选育的2个重要指标, 直接影响着最终产量, 通过家系选育的方法, 可望获得长牡蛎高产抗逆的家系。Langdon等<sup>[13]</sup>发现经过一代家系选育后, 长牡蛎的产量比未经选育的增加了9.5%; Taris等<sup>[21]</sup>通过建立30个全同胞家系, 发现长牡蛎生长性状有较大遗传变异, 选育潜力大, 选育

组比对照组的生长提高了近10.0%, 发育至附着变态的时间减少12%, 死亡率低14.2%。Dégremont等<sup>[11]</sup>在夏季高温时期建立43个长牡蛎全同胞家系, 发现经过逐代筛选, 长牡蛎在高温季节存活率得到改良; 王雪磊等<sup>[22]</sup>建立了25个壳金长牡蛎家系, 发现在幼体时期, 选育组比对照组生长和存活分别提高了2.27%—16.67%和1.72%—9.40%。本研究比较分析了壳白长牡蛎家系和对照组幼体的生长和存活, 发现在不同日龄, 壳白长牡蛎家系壳高的平

表2 幼体期不同家系壳高生长的比较

Tab. 2 The shell height of different families at larval stage of *C. gigas*

家系 Family	生长日龄 Age (d)				
	3	7	11	15	19
G1	86.71±5.25 <sup>a-c</sup>	110.54±9.96 <sup>de</sup>	130.9±21.51 <sup>e-i</sup>	144.23±11.12 <sup>a-f</sup>	162.74±31.8 <sup>ab</sup>
G2	82.03±4.83 <sup>a</sup>	101.46±25.76 <sup>a-c</sup>	118.89±26.01 <sup>a-f</sup>	152.1±35.35 <sup>c-g</sup>	190.8±32.62 <sup>a-f</sup>
G3	84.92±4.93 <sup>a-d</sup>	100.77±16.05 <sup>a-c</sup>	115.4±9.33 <sup>a-f</sup>	135.2±28.3 <sup>a-d</sup>	150.23±34.06 <sup>a</sup>
G4	82.51±6.21 <sup>a</sup>	101.67±13.48 <sup>a-c</sup>	116.17±25.28 <sup>a-f</sup>	121.14±13.83 <sup>a</sup>	149.07±30.01 <sup>a</sup>
G5	84.93±5.83 <sup>a-d</sup>	96.24±11.04 <sup>a</sup>	122.76±29.23 <sup>b-g</sup>	158.07±32.71 <sup>d-g</sup>	173.16±18.25 <sup>abc</sup>
G6	88.65±8.18 <sup>a-f</sup>	102.92±21.03 <sup>a-c</sup>	134.27±35.69 <sup>f-i</sup>	146.07±34.59 <sup>a-f</sup>	160.11±17.6 <sup>ab</sup>
G7	86.44±9.26 <sup>a-c</sup>	94.47±9.94 <sup>a</sup>	127.4±19.08 <sup>c-g</sup>	157.2±34.26 <sup>d-g</sup>	227.85±48.7 <sup>gh</sup>
G8	87.45±6.65 <sup>a-c</sup>	106.05±11.52 <sup>a-c</sup>	131.54±33.09 <sup>e-i</sup>	165.77±20.61 <sup>fgh</sup>	185.75±26.29 <sup>a-c</sup>
G9	89.71±5.35 <sup>b-f</sup>	103.54±8.97 <sup>a-c</sup>	141.97±22.79 <sup>ghi</sup>	185.95±26.77 <sup>hij</sup>	254.34±41.78 <sup>h</sup>
G10	88.34±9.74 <sup>a-f</sup>	110.03±21.4 <sup>b-c</sup>	151.09±18.14 <sup>ij</sup>	195.02±30.61 <sup>ij</sup>	233.32±51.2 <sup>gh</sup>
G11	82.17±7.05 <sup>a</sup>	104.59±10.1 <sup>a-c</sup>	148.03±22.85 <sup>hij</sup>	193.55±54.35 <sup>ij</sup>	223.17±54.4 <sup>c-h</sup>
G12	92.66±10.03 <sup>c-h</sup>	99.26±15.66 <sup>a-d</sup>	119.95±35.64 <sup>a-f</sup>	147.68±26.38 <sup>b-f</sup>	182.46±28.3 <sup>a-c</sup>
G13	103.48±9.98 <sup>ij</sup>	113.29±27.71 <sup>c</sup>	120.11±25.24 <sup>a-f</sup>	150.89±47.18 <sup>c-f</sup>	152.63±19.07 <sup>a</sup>
G14	89.91±8.42 <sup>c-g</sup>	95.73±10.76 <sup>a</sup>	108.52±16.16 <sup>abc</sup>	135.81±17.61 <sup>a-d</sup>	231.54±64.03 <sup>fgh</sup>
G15	90.78±8.55 <sup>d-g</sup>	106.39±10.91 <sup>a-c</sup>	130.18±15.04 <sup>c-h</sup>	162.89±24.28 <sup>c-h</sup>	213.33±92.67 <sup>c-h</sup>
G16	98.22±6.85 <sup>hi</sup>	103.43±6.47 <sup>a-c</sup>	131.53±11.61 <sup>e-i</sup>	177.72±21.33 <sup>ghi</sup>	234.72±51.56 <sup>gh</sup>
G17	83.05±5.58 <sup>ab</sup>	94.43±4.96 <sup>a</sup>	115.01±6.15 <sup>a-f</sup>	149.01±5.43 <sup>b-f</sup>	201.49±44.38 <sup>b-g</sup>
G18	84.95±5.28 <sup>a-d</sup>	100.51±10.57 <sup>a-c</sup>	116.49±27.44 <sup>a-f</sup>	159.15±23.08 <sup>d-g</sup>	217.11±57.15 <sup>c-h</sup>
G19	90.62±5.73 <sup>d-g</sup>	94.93±7.45 <sup>a</sup>	105.8±9.14 <sup>ab</sup>	127.92±10.32 <sup>abc</sup>	182.39±48.85 <sup>a-c</sup>
G21	90.74±5.21 <sup>d-g</sup>	95.96±5.71 <sup>a</sup>	109.6±5.89 <sup>a-d</sup>	136.19±4.65 <sup>a-d</sup>	175.49±51.06 <sup>a-d</sup>
G22	94.64±5.49 <sup>fgh</sup>	98.88±14.62 <sup>a-d</sup>	107.18±3.38 <sup>abc</sup>	137.01±17.97 <sup>a-d</sup>	167.15±35.6 <sup>ab</sup>
G23	91.41±3.73 <sup>d-g</sup>	106.13±4.17 <sup>a-c</sup>	121.83±20.63 <sup>a-g</sup>	143.53±6.47 <sup>a-f</sup>	174.02±22.29 <sup>abc</sup>
G26	92.65±5.33 <sup>c-h</sup>	97.83±7.05 <sup>a-d</sup>	111.22±24.72 <sup>a-c</sup>	146.72±9.68 <sup>a-f</sup>	168.21±27.34 <sup>ab</sup>
G27	92.39±6.09 <sup>c-h</sup>	99.52±10.93 <sup>a-d</sup>	131.09±13.81 <sup>e-i</sup>	134.7±19.75 <sup>a-d</sup>	181.75±32.32 <sup>a-c</sup>
G28	96.64±4.18 <sup>gh</sup>	110.22±8.81 <sup>cde</sup>	129.07±14.89 <sup>d-h</sup>	138.61±13.42 <sup>a-c</sup>	168.77±43.14 <sup>ab</sup>
G31	94.73±8.28 <sup>fgh</sup>	98.88±7.91 <sup>a-d</sup>	121.98±14.32 <sup>a-g</sup>	123.61±9.52 <sup>ab</sup>	158.18±59.5 <sup>a</sup>
G32	92.88±1.9 <sup>e-h</sup>	97.01±8.88 <sup>abc</sup>	103.43±8.05 <sup>ab</sup>	147.92±14.77 <sup>b-f</sup>	170.72±32.59 <sup>ab</sup>
G33	83.7±7.18 <sup>abc</sup>	96.83±2.34 <sup>ab</sup>	102.42±6.86 <sup>a</sup>	137.74±20.8 <sup>a-c</sup>	171.1±10.25 <sup>ab</sup>
G35	105.6±11.78 <sup>j</sup>	129.09±26.9 <sup>f</sup>	162.98±28.07 <sup>j</sup>	206.46±56.35 <sup>j</sup>	248.5±45.98 <sup>h</sup>
平均值	90.1±9.03	102.43±15.35	123.68±25.20	152.34±33.81	190.00±52.51
对照组	85.71±5.86	99.16±14.15	115.15±11.31	140.23±29.07	166.43±41.55

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( $P < 0.05$ )

Note: The ‘—’ indicates continuous strings of letters which omitted between the first and the last letter. Values with different superscripts letters in the same column mean significant differences at  $P < 0.05$

表 3 壳白长牡蛎幼体不同时期生长性状的遗传力

Tab. 3 Heritabilities of growth traits in white shell *C. gigas* larvae at different stages

性状 Trait	日龄 Age (d)				
	3	7	11	15	19
SH	0.81±0.15	0.28±0.09	0.53±0.12	0.63±0.13	0.59±0.13
SL	0.42±0.11	0.56±0.13	0.81±0.15	0.88±0.15	0.62±0.13

表 4 壳白长牡蛎幼体不同时期生长性状的遗传相关和表型相关

Tab. 4 Genetic and phenotypic correlations of growth traits in white shell *C. gigas* larvae at different stages

相关参数 Correlation	日龄 Age (d)				
	3	7	11	15	19
遗传相关 Genetic correlation	0.81±0.05	0.67±0.01	0.48±0.01	0.47±0.01	0.35±0.01
表型相关 Phenotypic correlation	0.57±0.04	0.71±0.02	0.76±0.03	0.83±0.02	0.85±0.02

均值均高于对照组,且不同家系间差异显著,G9、G10、G11、G15、G16和G35六个家系在整个幼体培养阶段均表现出生长优势;同时,壳白长牡蛎所有家系存活率的平均值比对照组有所提高,其中G1、G3、G4、G11、G15、G28、G32和G35家系相较于家系均值和对照组保持着较高优势,表明壳白长牡蛎经过7代选育后,其生长性状和存活率都得到了不同程度的改良,并具有较高的遗传变异,作为一个新品系选育潜力较大。其中G11、G15和G35家系在生长和存活率方面均有较大优势,可以继续观测其稚贝和成体的生长情况,作为良种培育的备选材料。

### 3.2 壳白长牡蛎幼体生长性状的遗传参数

遗传力是生物性状所特有的遗传特性,反映了性状遗传能力的大小。研究建立了29个壳白长牡蛎全同胞家系,利用多性状动物模型,评估了壳白长牡蛎幼体壳高和壳长在3、7、11、15和19日龄的遗传力,结果显示分别为0.28—0.81、0.42—0.88,属于中高遗传力,与之前的研究报道相似<sup>[15]</sup>。国内外学者对长牡蛎经济性性状遗传参数评估的报道较多,Hedgecock等<sup>[23]</sup>估算了长牡蛎收获时肉重的狭义遗传力约为0.20;Lannan<sup>[24]</sup>利用11—15个全同胞家系评估了18月龄长牡蛎生长性状的遗传力,结果显示壳高、总重、壳重和肉重的遗传力依次是0.15、0.33、0.32和0.37;Dégremont等<sup>[11]</sup>利用巢式设计建立了43个全同胞家系,结果表明6—8月龄长牡蛎存活率的狭义遗传力为0.47—1.08;Kong等<sup>[25]</sup>的研究结果表明,12月龄长牡蛎壳高、壳长、壳宽

和总重的遗传力分别为0.49±0.25、0.36±0.19、0.45±0.23和0.35±0.17;王庆志等<sup>[16]</sup>利用连续两年建立的24个和36个全同胞家系,对360日龄长牡蛎生长性状的遗传参数进行了评估,发现壳高和总重的遗传力为中高遗传力,继续进行群体选育,预期会得到较好的选育效果。

生物体的数量性状之间大多相互关联,这种情况的根本原因可能是生物体在长期的系统发育过程中由基因连锁和基因的多效性引起的,也可能是各性状受到相同的环境因素的影响。因此可以利用性状间的相关性,在选择育种工作中进行间接选择,提高选种的效率。然而,我们通常观测到的性状间的表型相关,是由遗传相关和环境相关共同作用产生的,因此只有性状间的遗传相关较大时,才会得到比较好的相互选择效果<sup>[10]</sup>。Losee<sup>[26]</sup>报道了美洲牡蛎(*Crossostrea virginica*)幼体和成体的生长速度之间存在显著的遗传正相关;Newkirk和Haley<sup>[27]</sup>的研究结果表明欧洲牡蛎(*Ostrea edulis*)幼体和1龄稚贝的壳长存在显著的遗传负相关;Collet等<sup>[28]</sup>对长牡蛎变态前后的生长速度做了相关性分析,结果显示存在显著的遗传正相关;Ernande等<sup>[29]</sup>的研究结果表明长牡蛎幼体生长速度与附着规格存在遗传正相关,并且提出选育可以优化附着的时间和大小。本研究得到的壳白长牡蛎幼体在不同日龄壳高和壳长的遗传相关范围在0.35—0.81,均为正相关,表明二者之间可以相互选择。但随着时间发展,发现遗传相关有逐渐降低的趋势,这可能是壳白长牡蛎后期生长差异大的原因之一。

## 4 结论

本研究通过比较分析壳白长牡蛎家系和对照组幼体时期的生长、存活情况,发现G11、G15和G35家系具有突出的生长和存活优势,在19日龄,其壳高的累积生长量与壳白家系平均值相比提高11.87%—30.32%,与对照组相比提高28.18%—49.31%;存活率水平较家系均值和对照组提高了30%以上。因此,G11、G15和G35家系可以作为良种培育的备选育种材料。进一步对壳白长牡蛎幼体壳高和壳长的遗传力进行了评估,发现均属于中高遗传力,有较大的遗传改良潜力,可以进行进一步的选育工作。本研究为培育生长性能优良和存活率高的壳白长牡蛎品系提供了基础材料。

### 参考文献:

- [1] The Fishery Office of Agriculture Ministry. China Fishery Statistical Yearbook [M]. Beijing: China Agriculture

- Press. 2017, 23 [农业部渔业局. 中国渔业统计年鉴. 北京: 中国农业出版社. 2017, 23]
- [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 [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. 科学养鱼, 2008, (6): 3—5]
- [3] Wang J Y. Quantitative Genetics and Animal Breeding [M]. Southeast University Press. 2004, 243—244 [王金玉. 数量遗传与动物育种. 东南大学出版社. 2004, 243—244]
- [4] Zheng H P, Zhang G F, Xiao L, *et al.* Sustained response to selection in an introduced population of the hermaphroditic bay scallop *Argopecten irradians* Lamarck (1819) [J]. *Aquaculture*, 2006, **255**(1-4): 579—585
- [5] 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 [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. 海洋与湖沼, 2003, **34**(6): 632—639]
- [6] 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 [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. 水产学报, 2010, **34**(1): 32—40]
- [7] Yan X W, Zhang Y H, Jin J Y, *et al.* The diallel cross of Manila clam *Ruditapes philippinarum* of two shell shapes of Dalian population [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2009, **33**(3): 389—395 [闫喜武, 张跃环, 金晶宇, 等. 大连群体两种壳型菲律宾蛤仔的双列杂交. 水产学报, 2009, **33**(3): 389—395]
- [8] 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 [何毛贤, 管云雁, 林岳光, 等. 马氏珠母贝家系的生长比较. 热带海洋学报, 2007, **26**(1): 39—43]
- [9] Yang F, Zhang Y H, Zhao Y, *et al.* The establishment of families of *Gmelin cyclina* and its early development [J]. *Fisheries Science*, 2008, **27**(8): 390—396 [杨凤, 张跃环, 赵越, 等. 青蛤家系的建立及早期生长发育比较. 水产科学, 2008, **27**(8): 390—396]
- [10] Falconer D S, Mac Kay T F C. Introduction to Quantitative Genetics [M]. China Agricultural Science and Technology Press. 2000, 127—135 [Falconer D S, Mac Kay T F C. 数量遗传学导论. 中国农业科技出版社. 2000, 127—135]
- [11] Dégremont 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
- [12] Dégremont L, Bédier E, Boudry P. Summer mortality of hatchery-produced Pacific oyster spat (*Crassostrea gigas*). II. Response to selection for survival and its influence on growth and yield [J]. *Aquaculture*, 2010, **299**(1-4): 21—29
- [13] 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
- [14] Evans S, Langdon C. Effects of genotype x environment interactions on the selection of broadly adapted Pacific oysters (*Crassostrea gigas*) [J]. *Aquaculture*, 2006, **261**(2): 522—534
- [15] Wang Q Z, Li Q, Liu S K, *et al.* Estimates of heritabilities and genetic correlations for growth in *Crassostrea gigas* larvae [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2009, **16**(5): 736—743 [王庆志, 李琪, 刘士凯, 等. 长牡蛎幼体生长性状的遗传力及其相关性分析. 中国水产科学, 2009, **16**(5): 736—743]
- [16] Wang Q Z, Li Q, Liu S K, *et al.* Estimates of genetic parameters for growth-related traits in adult *Crassostrea gigas* [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2012, **19**(4): 700—706 [王庆志, 李琪, 刘世凯, 等. 长牡蛎成体生长性状的遗传参数估计. 中国水产科学, 2012, **19**(4): 700—706]
- [17] Wang X L, Li Q, Yu H, *et al.* Estimates of genetic parameters for golden shell color and correlation with growth traits in the golden shell strain of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2016, **40**(12): 1889—1896 [王雪磊, 李琪, 于红, 等. 长牡蛎壳金性状遗传参数评估及与生长性状的关联分析. 水产学报, 2016, **40**(12): 1889—1896]
- [18] Gui J F, Bao Z M, Zhang X J. Development strategy for aquaculture genetic breeding and seed industry [J]. *Engineering Sciences*, 2016, **18**(3): 8—14 [桂建芳, 包振民, 张晓娟. 水产遗传育种与水产种业发展战略研究. 中国工程科学, 2016, **18**(3): 8—14]
- [19] 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 [肖述, 喻子牛. 养殖牡蛎的选择育种研究与实践. 水产学报, 2008, **32**(2): 287—295]
- [20] Liu X L, Xiang J H. Review of selective breeding and heritability of commercially important mollusks [J]. *Marine Sciences*, 2003, **27**(6): 15—20 [刘小林, 相建海. 重要经济贝类选择育种及遗传力研究进展. 海洋科学, 2003, **27**(6): 15—20]
- [21] 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 & Ecology*, 2006, **333**(1): 147—158
- [22] Wang X L, Li Q, Kong L F, *et al.* Construction and com-

- parison of growth and survival among different golden shell families of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2016, **40**(11): 1683—1693 [王雪磊, 李琪, 孔令锋, 等. 壳金长牡蛎家系的建立及生长和存活性状的比较. 水产学报, 2016, **40**(11): 1683—1693]
- [23] Hedgecock D, Cooper K, Hershberger W. Genetic and environmental components of variance in harvest body size among pedigreed Pacific oysters *Crassostrea gigas* from controlled crosses [J]. *Journal of Shellfish Research*, 1991, **10**(2): 516
- [24] Lannan J E. Estimating heritability and predicting response to selection for the Pacific oyster, *Crassostrea gigas* [J]. *Proceedings of the National Shellfisheries Association*, 1972, **62**: 62—66
- [25] Kong N, Li Q, Yu H, *et al.* Heritability estimates for growth-related traits in the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) using a molecular pedigree [J]. *Aquaculture Research*, 2015, **46**(2): 499—450
- [26] Losee E. Relationship between larval and spat growth rates in the oyster (*Crassostrea virginica*) [J]. *Aquaculture*, 1979, **16**(2): 123—126
- [27] Newkirk G F, Haley L E. Phenotypic analysis of the european oyster *Ostrea edulis*, L. : Relationship between length of larval period and postsetting growth rate [J]. *Journal of Experimental Marine Biology & Ecology*, 1982, **59**(2): 177—184
- [28] Collet B, Boudry P, Thebault A, *et al.* Relationship between pre-and post-metamorphic growth in the Pacific oyster *Crassostrea gigas*, (Thunberg) [J]. *Aquaculture*, 1999, **175**(3-4): 215—226
- [29] Ernande B, Clobert J, McCombie H, *et al.* Genetic polymorphism and trade-offs in the early life-history strategy of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1795): a quantitative genetic study [J]. *Journal of Evolutionary Biology*, 2003, **16**(3): 399—414

## GENETIC PARAMETERS AND GROWTH TRAITS IN WHITE SHELL FAMILIES OF PACIFIC OYSTER (*CRASSOSTREA GIGAS*)

ZHAO Zong-Wu<sup>1</sup>, LI Qi<sup>1,2</sup>, ZHANG Jing-Xiao<sup>1</sup> and XU Cheng-Xun<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Mariculture, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266003, China; 2. Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266200, China)

**Abstract:** Pacific oysters (*Crassostrea gigas*), the most widely cultivated shellfish over the world with advantages of fast growth and strong environmental adaption, are suitable materials for selective breeding due to the characters of high fertility, short reproductive cycle and large genetic variation. Broodstocks from white shell strain of *C. gigas* that had undergone four-generation family selection and three-generation mass selection were used to establish 29 full-sib families and 12 half-sib families by nested design. Random selected individuals were utilized as parents to generate the control families. Phenotypic traits such as growth and survival rate of different periods in larval stage were analyzed. Results showed that the growth performance and average survival rates of white shell families were significantly higher than those of control group with the augmentation of 3.65% to 14.58% and 1.11% to 19.26% in a family dependent pattern, respectively. The G11, G15 and G35 families represented remarkable superiorities in shell height and survival rates. At the age of 19 days, the increased shell heights of G11, G15 and G35 families were bigger than the average values of white shell families by 11.87%, 17.03%, and 30.32%, respectively, and were greater than the average values of the control by 34.09%, 28.18%, and 49.31%, respectively. Besides, the survival rates of G11, G15 and G35 families at 19d were higher than the average values of both white shell by 38.35%, 33.41%, 51.07%, and control families by 65.00%, 59.11%, and 80.18% (G35), respectively. Results of genetic parameters of larvae shell height and shell length of white shell strain indicated that the variation of heritability was ranged from 0.28 to 0.81 in shell height and from 0.42 to 0.88 in shell length, representing the heritability at medium to high level. The genetic and phenotypic correlations were positive between the two growth traits with the correlation coefficients ranging from 0.35 to 0.81 and from 0.57 to 0.85, respectively. This study provides optimum breeding strategy for white shell strains of *C. gigas* to improve performance in growth and survival.

**Key words:** *Crassostrea gigas*; White shell families; Larval; Growth traits; Genetic parameters