

长牡蛎壳橙品系幼虫和稚贝的生长性状遗传参数评估*

方佳峰¹, 李琪^{1,2**}

(1.海水养殖教育部重点实验室(中国海洋大学), 山东 青岛 266003;

2.青岛海洋科学与技术试点国家实验室,海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室,山东 青岛 266237)

摘要: 为查清长牡蛎(*Crassostrea gigas*)壳橙品系在不同生长阶段各生长性状的遗传力、遗传相关和表型相关,本实验通过平衡巢式设计 and 人工授精的方法,建立了30个全同胞家系,利用个体动物模型计算了长牡蛎壳橙品系幼虫期和稚贝期的壳高、壳长、壳宽和湿重的遗传参数。研究发现:幼虫在1~21日龄时壳高和壳长的遗传力分别为 $0.19 \pm 0.08 \sim 0.36 \pm 0.11$ 和 $0.17 \pm 0.08 \sim 0.28 \pm 0.10$,均为中等遗传力;稚贝在90~270日龄时壳高和壳长的遗传力分别为 $0.13 \pm 0.07 \sim 0.40 \pm 0.12$ 和 $0.11 \pm 0.06 \sim 0.37 \pm 0.12$,在270日龄时壳宽和湿重的遗传力分别为 0.17 ± 0.08 和 0.22 ± 0.09 。在不同生长阶段,各性状之间的遗传相关和表型相关均为正相关,其中壳高和湿重与其它性状间的遗传相关相对更高(分别为 $0.35 \pm 0.30 \sim 0.99 \pm 0.08$ 和 $0.72 \pm 0.17 \sim 0.93 \pm 0.06$),表明对这两个性状的直接选育将对其它生长性状起到间接促进作用。本研究获得了长牡蛎壳橙品系不同生长阶段的遗传参数,这些参数将为制定适宜的选育技术路线提供基础资料。

关键词: 长牡蛎;壳橙品系;幼虫期;稚贝期;生长性状;遗传参数;遗传力;遗传相关;表型相关

中图分类号: S917.4; Q344+.5

文献标志码: A

文章编号: 1672-5174(2020)11-038-07

DOI: 10.16441/j.cnki.hdx.20190252

引用格式: 方佳峰, 李琪. 长牡蛎壳橙品系幼虫和稚贝的生长性状遗传参数评估[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2020, 50(11): 38-44.

FANG Jia-Feng, LI Qi. Estimation of genetic parameters for growth traits of larvae and juveniles of the orange-shell strain of Pacific oyster[J]. Periodical of Ocean University of China, 2020, 50(11): 38-44.

水产遗传育种作为水生生物学、水产学和生物技术的一部分,在揭示水产生物遗传变异的本质和规律的基础上,面向生产,挖掘利用野生种质资源,进行水产生物的遗传改良,创造高产、抗病或抗逆等经济性状优良的水产新品种,在提高水产品的产量和质量等方面起到重要的作用^[1]。选择育种作为一种常规育种手段,在水产动物的遗传改良中已取得成效,如通过长期的继代选育,红海鲷(*Pagrus major*)^[2]和爪哇蟹(Cherax quadricarinatus)^[3]的生长速度显著提高,吉富罗非鱼(GIFT *Oreochromis niloticus*)的抗病能力得到加强^[4]。

遗传力评估是进行选择育种的基础,是反映性状遗传能力大小的重要遗传参数,在育种值估计、选择指数确定、选择反应预测、选择方法比较以及育种规划决策等方面,起着十分重要的作用^[5]。自1970年代以来,遗传力评估被运用于水产动物的育种研究中^[6-10]。在贝类中,国内外对多种重要的经济性状进行了遗传力评估,如加勒比扇贝(*Argopecten nucleus*)幼虫存活

率^[11]、卡特琳娜扇贝(*Argopecten circularis*)幼虫生长与存活^[12]、耳鲍(*Haliotis asinina*)的生长^[13]及紫贻贝(*Mytilus edulis*)幼虫和稚贝的生长^[14]等,且所测遗传力均为中高等遗传力。

长牡蛎(*Crassostrea gigas*)又称太平洋牡蛎,由于生长速度快、环境适应能力强、味道鲜美、营养丰富等特点,成为了世界上养殖范围最广、产量最高的海产贝类。长牡蛎的生长、抗病等性状是重要的经济性状,通过研究其遗传参数,制定合适的选育路线,可以提高长牡蛎的产量,获得更高的经济效益。目前长牡蛎相关研究工作已取得较多成果,通过人工选育,长牡蛎的夏季死亡率显著降低^[15-16],生长和出肉率也得到了提高^[17-18]。近年来,长牡蛎的壳色性状逐渐得到了研究者的关注,并对壳色及外套膜边缘色素沉着等性状的遗传力进行评估^[19-21]。

在长期的育种实践中,我们选育出金黄色、白色、黑色和紫色4种长牡蛎壳色品系^[22],通过黑壳色和紫壳色长牡蛎杂交形成紫黑壳色长牡蛎个体,并在紫黑

* 基金项目:泰山学者种业计划专家项目;山东省农业良种工程项目(2017LZGC009)资助

Supported by the Taishan Scholars Seed Program; the Agricultural Fine Seed Project of Shandong Province (2017LZGC009)

收稿日期:2019-06-27;修订日期:2019-12-04

作者简介:方佳峰(1995-),男,硕士生,从事贝类遗传育种研究。E-mail: fangjiafeng5173@163.com

** 通讯作者: E-mail: qili66@ouc.edu.cn

壳色长牡蛎个体的自交后代中发现橙壳色突变个体,结合家系和群体选育技术,培育出稳定遗传的壳橙长牡蛎品系,具有重要的经济和研究价值^[23]。由于壳橙品系由育种过程中获得的少量突变个体作为亲本选育获得,其有效群体数量很小,这可能导致壳橙品系存在近交衰退^[24],Han等^[25]研究发现橙壳色长牡蛎幼虫对于环境胁迫的适应能力低于其它养殖群体,而在养殖过程中我们也发现壳橙品系生长速度缓慢。为了确定壳橙长牡蛎品系是否具有遗传改良的可能性,需要对其生长性状的遗传参数进行评估。

在本研究中我们以长牡蛎壳橙品系第7代选育群体为亲本,建立全同胞家系,分析了长牡蛎壳橙品系幼虫及稚贝的生长性状,评估了生长性状相关指标的遗传力及其遗传相关,旨在为长牡蛎壳橙品系的遗传改良提供参考资料。

1 材料和方法

1.1 亲贝来源及实验设计

实验用亲贝来自2017年建立的长牡蛎壳橙品系第7代选育群体,从该选育群体中挑选10个雄性和30个雌性个体,通过平衡巢式交配方式建立30个全同胞家系。

1.2 亲贝促熟和人工授精孵化

2018年5月,将从乳山采集的亲贝运至莱州市海益苗业有限公司育苗基地进行室内暂养。挑选性腺发育良好的亲贝进行人工授精。利用解剖法鉴别出10个雄性个体和30个雌性个体,利用250目筛绢获得卵子,将30个雌性亲贝的卵子分别置于盛有15L海水的30个桶中,水温保持25℃。利用300目筛绢获取精子。按照1雄配3雌的方式将10个雄性亲贝的精子与30个雌性亲贝的卵子逐一充分混合。各组孵化密度保持在每毫升50~70个卵,并在孵化期间保持微充气。为避免污染,各家系单独使用实验器具,所有家系均在1天之内建立完成。

1.3 选优与幼虫培育

受精卵经过22h的孵化,发育至D型幼虫阶段。将各家系幼虫选优至100L聚乙烯桶中,并调节培育密度至10 ind/mL,海水温度控制在24~26℃,持续充气,每次换水量1/3。饵料以等边金藻(*Isochrysis galbana*)为主,后期补充辅助投喂扁藻(*Platymonas* sp.)。所有家系充气、投饵、换水等操作均保持一致,所有实验器具在使用后用淡水冲洗,避免家系之间发生交叉污染。

1.4 采苗和稚贝养成

幼虫发育25d出现眼点,眼点幼虫达到总数的1/3时,投放栉孔扇贝以供牡蛎幼虫附着。在室内继续培

养一段时间,直至幼虫充分附着以后放于室外沉淀池暂养20d,避免自然海域野生牡蛎幼虫的污染,待幼虫充分变态为稚贝且适应大水体环境以后,转移至荣成桑沟湾海域进行吊笼浮筏养殖。吊笼每层养殖密度、养殖水深等各家系保持一致。

1.5 取样观测

浮游幼虫阶段,在选优后的1、6、11、16和21日龄各家系随机取样30个幼虫,用卢戈氏液固定,在100×的显微镜下,用目微尺测量壳高和壳长。

稚贝阶段,在稚贝附着后的90、180、270日龄从各家系中随机挑选30个个体,用电子游标卡尺测量壳高和壳长(精度0.02 mm),并在270日龄用电子天平(精度0.01 g)测量湿重,并用游标卡尺测量壳宽。

1.6 数据处理

通过R软件(版本3.1.1)运行ASReml 3.0 package,遗传参数在pin()函数下运行。采用个体模型,运用单性状分析法,计算不同生长阶段各性状遗传力;运用双性状分析法,计算不同性状之间的遗传相关和表型相关。个体模型如下:

$$y_{ij} = \mu + a_{ij} + d_k + e_{ij}.$$

式中: y_{ij} 为第*j*个家系的第*i*个个体的性状观测值; μ 为性状平均值; a_{ij} 第*j*个家系的第*i*个个体的性状个体加性遗传效应; d_k 为第*k*个母本的母本效应; e_{ij} 为第*j*个家系的第*i*个个体性状的随机残差。经似然比检验,母本效应对所测性状均不显著(见表1和2),故将母本效应剔除,所以最终运用模型如下:

$$y_{ij} = \mu + a_{ij} + e_{ij}.$$

利用个体模型在计算个体性状狭义遗传力(h^2)时,采用公式(1),估计遗传相关(r_G)和表型相关(r_P)时采用公式(2)和公式(3)。计算公式:

$$h^2 = \frac{V_A}{V_A + V_e}; \quad (1)$$

$$r_G = \frac{\text{Cov}_{t1,t2}}{\sqrt{V_{t1} \times V_{t2}}}; \quad (2)$$

$$r_P = \frac{\text{Cov}_{t1,t2} + \text{Cov}_e}{\sqrt{(V_{t1} + V_{e1}) \times (V_{t2} + V_{e2})}}. \quad (3)$$

式中: V_A 表示加性遗传方差; V_e 表示残差方差; $\text{Cov}_{t1,t2}$ 表示生长性状两指标间的协方差; V_{t1} 、 V_{t2} 表示两指标的遗传方差; V_{e1} 、 V_{e2} 表示两指标的残差方差; Cov_e 表示两指标间的残差协方差。

以遗传力 $h^2 < 0.1$ 记为低等遗传力, $0.1 \leq h^2 \leq 0.4$ 记为中等遗传力, $h^2 > 0.4$ 为高等遗传力^[26]。

2 结果

2.1 幼虫期和稚贝期的生长性状遗传力

利用个体模型计算得到长牡蛎壳橙品系幼虫时期

壳高和壳长的遗传力分别为 $0.19 \pm 0.08 \sim 0.36 \pm 0.11$ 和 $0.17 \pm 0.08 \sim 0.28 \pm 0.10$, 并且随着幼虫日龄的增长而逐渐降低(见表3)。

表1 壳橙长牡蛎幼虫时期表型变量的原因方差组分
Table 1 Casual components of phenotypic variance of the orange-shell strain juvenile of *C. gigas*

日龄 Age/d	性状 Traits	方差组分 Variance component			
		V_A	V_e	V_D	$V_A + V_e$
1	SH	7.16	12.61	1.70×10^{-7}	19.77
	SL	13.22	36.22	3.40×10^{-6}	49.44
6	SH	50.00	94.54	3.47×10^{-5}	144.54
	SL	26.78	79.85	8.08×10^{-6}	106.63
11	SH	30.59	95.60	3.65×10^{-5}	126.19
	SL	84.42	184.62	1.59×10^{-4}	269.04
16	SH	243.23	741.98	7.51×10^{-5}	985.21
	SL	106.15	401.29	2.45×10^{-5}	507.44
21	SH	306.31	1 277.16	5.73×10^{-4}	1 583.47
	SL	228.87	1 106.94	8.23×10^{-4}	1 335.81

注:SH表示壳高,SL表示壳长, V_A 表示加性遗传方差, V_e 表示残差方差, V_D 表示母本方差。下同。

Note: SH means shell height, SL means shell length, V_A means variance of additive inheritance, V_e means variance of residual, V_D means variance of dam. The same below.

表2 壳橙长牡蛎稚贝时期表型变量的原因方差组分
Table 2 Casual components of phenotypic variance of the orange-shell strain larvae of *C. gigas*

日龄 Age/d	性状 Traits	方差组分 Variance component			
		V_A	V_e	V_D	$V_A + V_e$
90	SH	117 188.60	178 418.70	43.53	295 607.30
	SL	63 866.36	108 181.71	21.36	172 048.07
180	SH	45 835.79	294 869.01	53.28	340 704.8
	SL	25 253.45	169 310.58	38.24	194 564.03
270	SH	93 597.68	306 042.52	51.89	399 640.20
	SL	25 177.35	206 440.53	35.27	231 617.88
	SW	17 117.27	81 816.92	5.36	98 934.19
	WW	11 331.98	39 378.95	3.12	50 710.93

注:SW表示壳宽,WW表示湿重。下同。

Note: SW means shell width, WW means wet weight. The same below.

长牡蛎壳橙品系稚贝在90、180、270日龄壳高和壳长的遗传力分别为 $0.13 \pm 0.07 \sim 0.40 \pm 0.12$ 和 $0.11 \pm 0.06 \sim 0.37 \pm 0.12$, 壳宽和湿重在270日龄时

的遗传力分别为 0.17 ± 0.08 和 0.22 ± 0.09 (见表4)。除90日龄壳高的遗传力为高等遗传力以外,其余时期的各生长性状的遗传力均为中等遗传力。

2.2 幼虫期和稚贝期的生长性状表型相关和遗传相关

幼虫期壳高和壳长间的遗传相关的和表型相关范围分别为 $0.90 \pm 0.12 \sim 0.99 \pm 0.08$ 和 $0.13 \pm 0.05 \sim 0.20 \pm 0.15$, 均为正相关,并且与日龄均无明显关系(见表3)。

稚贝期,不同日龄各生长性状间的遗传相关均高于表型相关(见表4)。各性状间遗传相关范围为 $0.26 \pm 0.35 \sim 1.00 \pm 0.09$, 表型相关范围为 $0.19 \sim 0.69$ 。其中,270日龄时的壳宽和壳长的遗传相关最低(0.26 ± 0.35), 其次为同一日龄壳高和壳长的遗传相关(0.35 ± 0.30), 其余遗传相关值均较高。对于多次测量的壳高和壳长,两性状间遗传相关整体上呈现随时间的增加而下降的趋势。湿重与其余3个性状的遗传性状值均较高($0.72 \pm 0.17 \sim 0.93 \pm 0.06$), 各性状间表型相关范围为 $0.19 \pm 0.04 \sim 0.69 \pm 0.02$ 。与遗传相关相似的是,壳高和壳长之间的表型相关同样呈现随时间下降的趋势。

3 讨论

遗传力不仅是性状本身独有的特性,也是群体遗传结构和群体所在环境的综合体现^[27]。一般而言,在讨论遗传力时,除了需标明是品种/品系的具体性状以外,还需说明群体所处的环境^[28]。本研究报道了长牡蛎壳橙品系幼虫和稚贝期的遗传力以及各生长性状之间的遗传相关和表型相关,这将有利于为长牡蛎壳橙品系制定合理的育种计划。

本研究中,长牡蛎壳橙品系幼虫阶段壳高和壳长的遗传力分别为 $0.19 \pm 0.08 \sim 0.36 \pm 0.11$ 和 $0.17 \pm 0.08 \sim 0.28 \pm 0.10$, 均属于中等遗传力。王庆志等^[26]采用全同胞组内相关分析法,分析了长牡蛎幼虫阶段壳高和壳长的父系半同胞遗传力分别为 $0.161 \sim 0.387$ 和 $0.139 \sim 0.398$, 均为中等遗传力,高于本研究结果。这可能与壳橙品系存在近交衰退现象有关。近交提高了个体对环境的敏感性,导致环境方差增加,降低了加性方差在表型方差中的比重,最终降低了壳橙品系幼虫期生长性状的遗传力^[29]。稚贝期相关生长性状的遗传力范围为 $0.11 \pm 0.06 \sim 0.40 \pm 0.12$, 同样低于前人相关的研究结果, Cong等^[30]利用全因子交配设计法构建了45个家系,对12月龄的长牡蛎成体的进行了壳高、壳长、壳宽和总重的遗传力分析,各性状的遗传力介于 $0.3 \sim 0.5$, 属于中高等遗传力。Kong等^[31]采用同样的方法估计了长牡蛎成体壳高、壳长、壳宽和总重的遗传力,各性状遗传力介于 $0.35 \sim 0.49$, 同样属于中

高等遗传力。在国外, Langdon 等^[18]利用长牡蛎全同胞家系在不同环境条件下估计产量的现实遗传力为 0.01~0.50。Evans 和 Langdon^[32]利用 34 个全同胞

家系在 4 个不同养殖环境下得到 192、370 和 664 日龄的存活率和产量的广义遗传力分别为 0.360~0.712 和 0.218~0.539。

表 3 壳橙品系长牡蛎幼虫时期生长性状的遗传力、遗传相关和表型相关

Table 3 Heritability, genetic correlation and phenotypic correlation for growth traits of the orange-shell strain larvae of *C. gigas*

日龄 Age/d	指标 Index	1		6		11		16		21	
		SH	SL	SH	SL	SH	SL	SH	SL	SH	SL
1	SH	0.36±0.11	0.97±0.07^a								
	SL	0.15±0.06 ^a	0.28±0.10								
6	SH			0.35±0.11	0.99±0.07^a						
	SL			0.14±0.06 ^a	0.25±0.09						
11	SH					0.31±0.11	0.99±0.08^a				
	SL					0.20±0.15 ^a	0.24±0.09				
16	SH							0.25±0.08	0.90±0.12^b		
	SL							0.13±0.05 ^a	0.21±0.08		
21	SH									0.19±0.08	0.99±0.08^a
	SL									0.15±0.05 ^a	0.17±0.08

注:遗传力(加粗,对角线)、遗传相关(对角线上方)和表型相关(对角线下方);表中数值为测量值±标准误。不同字母表示同一类型相关系数间差异显著($p < 0.05$)。下同。

Note: Heritability (in bold, on the diagonal), genetic (above diagonal) and phenotypic (below diagonal) correlations; values are estimates ± standard errors. Different letters indicate significant difference in correlation coefficients of the same type ($p < 0.05$). The same below.

表 4 壳橙品系长牡蛎稚贝期生长性状的遗传力、遗传相关和表型相关

Table 4 Heritability, genetic correlation and phenotypic correlation for growth traits of the orange-shell strain juvenile of *C. gigas*

日龄 Age/d	指标 Index	90		180		270			
		SH	SL	SH	SL	SH	SL	SW	WW
90	SH	0.40±0.12	0.97±0.03^a						
	SL	0.69±0.03 ^a	0.37±0.12						
180	SH			0.13±0.07	0.91±0.10^b				
	SL			0.68±0.02 ^a	0.13±0.07				
270	SH					0.23±0.09	0.35±0.30^c	1.00±0.09^a	0.93±0.06^b
	SL					0.32±0.04 ^b	0.11±0.06	0.26±0.35 ^c	0.72±0.17 ^d
	SW					0.28±0.04 ^c	0.19±0.04 ^e	0.17±0.08	0.80±0.16 ^d
	WW					0.64±0.03 ^d	0.69±0.02 ^a	0.43±0.04 ^f	0.22±0.09

两性状的表型相关由基因连锁和基因多效性以及环境因素共同决定,如果两性状的遗传力均比较低,表型相关主要由环境因素决定;相反,表型相关则主要由遗传因素决定^[33]。如果两个性状间呈正遗传相关,则对一个性状的选育会对另一性状带来间接的协同选育效果;反之,则会对另一性状产生拮抗作用。并且当两个性状间的遗传相关越接近 1 或 -1,表明通过对一

个性状的选育产生的对另一个性状的相关反应越高^[34]。因此,在选育过程中,遗传相关对了解每个性状的遗传背景,掌握对目标性状的选育是否有影响以及对其他性状影响的大小非常重要^[26]。

本研究中,壳橙长牡蛎幼虫阶段,壳高和壳长指标间的遗传相关较高,均高于 0.90,而在稚贝期,各性状间的遗传相关差异较大,但均为正相关,说明通过对某

一性状的选育可以间接对其它相关性状起到促进作用。在选择育种过程中,可以通过直接选择易于度量且遗传力较高的性状获得较满意的选育效果,对不易度量或遗传力较低的性状可以利用性状间的相关性进行间接选育^[35]。在本研究中,对于遗传力相对较低的性状(壳长和壳宽),可以通过对壳高和湿重的选育间接达到对壳长和壳宽的选育目的。需要注意的是,不同时期不同环境下相同性状的遗传相关可能存在较大差异^[6]。在对牡蛎的育种研究中,Newkirk等^[36]和Loose^[37]的研究表明美洲牡蛎(*Crassostrea virginica*)幼体生长速度和成体生长速度存在显著的遗传正相关,但是Ernande等^[38]的研究表明长牡蛎的生长性状在幼体期和稚贝期没有显著的遗传相关,但变态期和稚贝期存在显著的遗传相关。近年来,有学者研究了长牡蛎壳色相关性状和生长性状之间的相关性,但结果不尽相同。Wan等^[21]发现在壳金品系中生长性状与壳色性状之间的遗传相关较低,为 $-0.02\sim 0.11$,而邢德等^[39]报道了壳白长牡蛎壳色参数与生长性状之间的遗传相关范围为 $-0.09\sim 0.91$,并且不同性状间的遗传相关差异很大。这些研究结果表明,对于遗传参数的评估只能应用于特定环境下的特定群体^[10,40]。

4 结语

长牡蛎壳橙品系在不同生长阶段各生长性状之间均存在正遗传相关,说明对其中一个性状的选育可以对其它性状起到协同提高的作用。其生长性状的遗传力均为中高等遗传力,具有一定的育种价值,如果能在以后的育种过程中制定适宜的育种计划,可以进一步提高该品系的育种价值,例如可以将壳高或湿重作为直接选育的性状,或者在保持壳橙性状稳定的情况下,通过杂交引入外源基因,改良壳橙品系的生长性状,同时结合分子标记辅助育种等技术,加快长牡蛎壳橙品系的选育进程。

参考文献:

- [1] 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[J].中国工程科学,2016,18(3):8-14.
Gui Jianfang, Bao Zhenmim, Zhang Xiaojuan. Development strategy for aquaculture genetic breeding and seed industry[J]. Engineering Sciences, 2016, 18(3): 8-14.
- [2] Murata O, Harada T, Miyashita S, et al. Selective breeding for growth in red sea bream[J]. Fisheries Science, 2008, 62(6): 845-849.
- [3] McPhee C P, Jones C M, Shanks S A. Selection for increased weight at 9 months in redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) [J]. Aquaculture, 2004, 237(1-4): 131-140.
- [4] 沈夏霜,敖秋桅,甘西,等.吉富罗非鱼抗病品系 F5 代抗病性能和生长性能的评估[J].南方水产科学,2018,14(3):83-90.
Shen Xiashaung, Ao Qiuwei, Gan Xi, et al. Estimation of disease resistance and growth in F5 generation families of GIFT tilapia[J]. South China Fisheries Science, 2018, 14(3): 83-90.
- [5] Falconer D S, MacKay T F C. 数量遗传学导论[M].第4版.北京:中国农业出版社,2000.
Falconer D S, MacKay T F C. Introduction to Quantitative Genetics [M]. 4th Ed. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000.
- [6] Kinghorn B P. A review of quantitative genetics in fish breeding [J]. Aquaculture, 1983, 31(2-4): 283-304.
- [7] Benzie J A H, Kenway M, Trott L. Estimates for the heritability of size in juvenile *Penaeus monodon* prawns from half-sib mating [J]. Aquaculture, 1996, 152: 49-53.
- [8] Hetzel D J S, Crocos P J, Davis G P, et al. Response to selection and heritability for growth in the Kuruma prawn, *Penaeus japonicus* [J]. Aquaculture, 2000, 181(3): 215-223.
- [9] Sheridan A K. Genetic improvement of oyster production—a critique: A review[J]. Aquaculture, 1997, 153(3-4): 165-179.
- [10] Luan S, Yang G, Wang J, et al. Genetic parameters and response to selection for harvest body weight of the giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* [J]. Aquaculture, 2012, 362-363(5): 88-96.
- [11] Barros J, Winkler F M, Velasco L A. Heritability, genetic correlations and genotype-environment interactions for growth and survival of larvae and post-larvae of the Caribbean scallop, *Argopecten nucleus* (Mollusca: Bivalvia) [J]. Aquaculture, 2018, 495: 948-954.
- [12] Cruz P, Ibarra A M. Larval growth and survival of two catarina scallop (*Argopecten circularis*, Sowerby, 1835) populations and their reciprocal crosses[J]. Journal of Experimental Marine Biology & Ecology, 1997, 212(1): 95-110.
- [13] Lucas T, Macbeth M, Degnan S M, et al. Heritability estimates for growth in the tropical abalone *Haliotis asinina* using microsatellites to assign parentage[J]. Aquaculture, 2006, 259: 146-152.
- [14] Strömngren T, Nielsen M V. Heritability of growth in larvae and juveniles of *Mytilus edulis* [J]. Aquaculture, 1989, 80(1-2): 1-6.
- [15] Lionel D, Edouard B, 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.
- [16] Lionel D, Ernande B, Edouard B, 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.
- [17] Li Q, Wang Q, Liu S, et al. Selection response and realized heritability for growth in three stocks of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* [J]. Fisheries Science, 2011, 77(4): 643-648.
- [18] 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(1-4): 227-244.
- [19] Xu L, Li Q, Yu H, et al. Estimates of heritability for growth and shell color traits and their genetic correlations in the black shell strain of Pacific oyster *Crassostrea gigas* [J]. Marine Biotechnology, 2017, 19(5): 421-429.
- [20] Xing D, Li Q, Kong L F, et al. Heritability estimate for mantle

- edge pigmentation and correlation with shell pigmentation in the white-shell strain of Pacific oyster, *Crassostrea gigas*[J]. Aquaculture, 2017, 482: 73-77.
- [21] Wan S, Li Q, Liu T, et al. Heritability estimates for shell color-related traits in the golden shell strain of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) using a molecular pedigree[J]. Aquaculture, 2017, 476: 65-71.
- [22] 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 Rihao, Li Qi, Ge Jianlong, 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.
- [23] 韩自强, 李琪. 长牡蛎壳橙色品系形态性状与体质量的相关及通径分析[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2017, 47(12): 46-52.
Han Ziqiang, Li Qi. Multiple regression and path analysis of morphological and weight traits of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*)[J]. Periodical of Ocean University of China, 2017, 47(12): 46-52.
- [24] Keller L, Waller D. Inbreeding effects in wild populations[J]. Trends in Ecology & Evolution, 2002, 17(5): 230-241.
- [25] Han Z Q, Li Q, Different responses between orange variant and cultured population of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* at early life stage to temperature-salinity combinations[J]. Aquaculture research, 2018, 49: 2233-2239.
- [26] 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[J]. 中国水产科学, 2009, 16(5): 736-743.
Wang Qingzhi, Li Qi, Liu Shikai, 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.
- [27] 李焕军, 徐涛, 王卫军, 等. 长牡蛎生长性状遗传力、遗传相关和表型相关分析[J]. 水产学报, 2017, 41(11): 1680-1686.
Li Huanjun, Xu Tao, Wang Weijun, et al. Analysis of heritability, genetic correlation and phenotypic correlation for growth trait in Pacific oyster (*Crassostrea gigas*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2017, 41(11): 1680-1686.
- [28] 盛志廉, 陈瑶生. 数量遗传学[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
Sheng Zhilian, Chen Yaosheng. Quantitative Genetics [M]. Beijing: Science Press, 2001.
- [29] Lerner I M. Genetic homeostasis[J]. Population (French Edition), 1955, 10(4): 759.
- [30] Cong R, Li Q, Kong L. Polymorphism in the insulin-related peptide gene and its association with growth traits in the Pacific oyster *Crassostrea gigas*[J]. Biochemical Systematics and Ecology, 2013, 46: 36-43.
- [31] 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): 499-508.
- [32] Evans S, Langdon C. Effects of genotype \times environment interactions on the selection of broadly adapted Pacific oysters (*Crassostrea gigas*)[J]. Aquaculture, 2006, 261(2): 522-534.
- [33] Gjedrem T. Selective breeding in aquaculture an introduction[J]. Reviews Methods & Technologies in Fish Biology & Fisheries, 2009, 10(6): 570-572.
- [34] Gjedrem T, Baranski M. Selective Breeding in Aquaculture: An Introduction[M]. Dordrecht: Springer, 2009.
- [35] 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[J]. 中国水产科学, 2012, 19(4): 700-706.
Wang Qingzhi, Li Qi, Liu Shikai, 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.
- [36] Newkirk G F, Haley L E, Waugh D L, et al. Genetics of larvae and spat growth rate in the oyster *Crassostrea virginica*[J]. Marine Biology, 1977, 41(1): 49-52.
- [37] Losee E. Relationship between larval and spat growth rates in the oyster (*Crassostrea virginica*)[J]. Aquaculture, 1979, 16(2): 123-126.
- [38] 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.
- [39] 邢德, 李琪, 张景晓. 壳白长牡蛎品系生长和壳色性状遗传参数估计[J]. 中国水产科学, 2018, 25(1): 26-33.
Xing De, Li Qi, Zhang Jingxiao. Estimates of genetic parameters for growth and shell color traits in the white-shell strain of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*)[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2018, 25(1): 26-33.
- [40] 王卫军. 长牡蛎生长和肉质性状的遗传参数研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2015.
Wang Weijun. Studies on Genetic Parameters of Growth and Flesh Traits in Pacific Oyster (*Crassostrea gigas*)[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2015.

Estimation of Genetic Parameters for Growth Traits of Larvae and Juveniles of the Orange-Shell Strain of Pacific Oyster

FANG Jia-Feng¹, LI Qi^{1,2}

(1.The Key Laboratory of Mariculture(Ocean University of China), Ministry of Education, Qingdao 266003, China; 2.Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology(Qingdao), Qingdao 266237, China)

Abstract: The Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) is the most widely cultured shellfish in the world, and its shell coloration attracts a constant attention of worldwide breeders. We obtained orange variants in our selective breeding practice, and genetically stable strains through family selection. Due to the limited number of effective population size, potential inbreeding depression has become a concern. Slower growth and worse adaptive capacity to environmental stresses were observed in breeding practice. There is a considerable focus on improving selective breeding procedures for growth traits in the orange-shell strain. We used specimens of the orange-shell strain of *C. gigas* after seven generations of mass selection as parents to established 30 full-sib families (20 families survived eventually) in a nested design. The shell height and shell length of larvae were measured on days 1, 6, 11, 16 and 21 post-hatch (30 individuals per family) at larvae stage and on ages of 90, 180 and 270 days at juvenile stage. Besides, the shell width and wet weight were measured on age of 270 days. REML based on the animal model was used to estimate genetic parameters of orange-shell *C. gigas* at the larval and juvenile stages. The estimation of heritability varied between 0.19 ± 0.08 and 0.36 ± 0.11 for shell height and between 0.17 ± 0.08 and 0.28 ± 0.10 for shell length at larvae stage. At juvenile stage, the heritability estimations for shell height and shell length ranged from 0.13 ± 0.07 to 0.40 ± 0.12 and from 0.11 ± 0.06 to 0.37 ± 0.12 , respectively, and that for shell width and wet weight was 0.17 ± 0.08 and 0.22 ± 0.09 , respectively. Although the heritability estimations in this study are slightly lower than those of previous studies, it is possible to improve the growth traits of orange shell strain by selection. All phenotypic and genetic correlations among shell height, shell length, shell width and wet weight were positive. Genetic correlations were higher between shell height, wet weight and the other growth traits, which ranged from 0.35 ± 0.30 to 1.00 ± 0.09 and from 0.72 ± 0.17 to 0.93 ± 0.06 , respectively. Higher genetic correlations indicated that direct selection on shell height (the same as wet weight) improves other growth traits. The information will benefit genetic improvement of the orange-shell strain of *C. gigas*.

Key words: Pacific oyster; orange-shell strain; larvae stage; juvenile stage; growth trait; genetic parameter; heritability; genetic correlations; phenotypic correlations

责任编辑 朱宝象