

三角帆蚌紫色选育系1龄阶段内壳色及生长性状的遗传参数估计

王照旗^{1,3}, 韩学凯^{1,3}, 白志毅^{1,3}, 李家乐^{1,2,3*}

(1. 上海海洋大学农业部淡水水产种质资源重点实验室, 上海 201306;

2. 上海海洋大学上海市高校水产养殖学E-研究院, 上海 201306;

3. 上海海洋大学上海市水产养殖工程技术研究中心, 上海 201306)

摘要: 采用群体选育辅助种内群体间杂交选育的方法, 以内壳色、体质量作为选育性状, 经过连续4代的选育获得了紫色选育系F₄。本实验以F₄为亲本进行繁殖, 利用6对微卫星标记, 对15个同批繁育的F₄母蚌的1龄后代进行亲子鉴定, 鉴别出了来自12个父本、15个母本的42个全同胞家系, 使用ASREML软件的约束极大似然法对三角帆蚌内壳色及生长性状进行了遗传参数分析。结果显示, 内壳色颜色参数L*、a*、b*、dE*的遗传力分别为0.31±0.22、0.11±0.08、0.36±0.18、0.29±0.19, L*、a*、b*之间的遗传相关和表型相关均较低, 范围为0.08~0.47和0.04~0.32, L*与dE*相关性最大, 遗传相关为-0.94±0.06, 表型相关为-0.96±0.01; 生长性状壳长、壳高、壳宽、体质量和壳重的遗传力分别为0.24±0.19、0.37±0.27、0.26±0.16、0.26±0.17、0.31±0.19, 各性状间遗传相关和表型相关均为正相关, 分别为0.71~0.92、0.66~0.94; 颜色参数与生长性状的遗传相关和表型相关均很低, 为0.02~0.18。三角帆蚌紫色选育系1龄阶段内壳色和生长性状的遗传力多为中高水平, 对其继续进行遗传改良预期能够获得良好遗传进展。内壳色与生长性状的相关度很低, 无法实现相互选择, 体质量与其他生长性状相关均较紧密, 表明将内壳色、体质量作为目标性状进行同步选育的方法合理, 可实现同时改良壳色及生长性能的目的。

关键词: 三角帆蚌; 内壳色; 生长性状; 遗传参数; 亲子鉴定

中图分类号: S 968.3

文献标志码: A

三角帆蚌(*Hyriopsis cumingii*)为中国特有种, 形成的珍珠具有珠质光滑细腻、色泽鲜艳等优点, 已成为最主要的淡水育珠母蚌^[1]。颜色是评价珍珠质量的一个重要指标, 是消费者对珍珠建立第一感觉的重要性状, 改善珍珠颜色的均一度和鲜艳度, 对提高珍珠价值具有重要意义。在影响珍珠颜色的研究中发现, 提供外套膜细胞小片的贝壳内壳色直接影响到珍珠的颜色^[2], 在大珠母贝(*Pinctada maxima*)^[3]、马氏珠母贝(*Pinctada fucata martensii*)^[4-5]等一些海水珍珠贝中均有此类报道。三角帆蚌人工育珠中也发现了同样现象,

以内壳色为紫色的三角帆蚌作供体蚌所产紫色珍珠比例较高, 而以白色作为供体蚌所产白色珍珠比例较高^[6]。因此, 以壳色为目标性状对珍珠贝进行选育, 成为提高珍珠质量的一条可行途径。

遗传参数是水产动物的重要遗传特性, 也是开展选育工作的重要依据。近年来, 对一些重要经济贝类如三角帆蚌^[7-8]、马氏珠母贝^[9]、美洲牡蛎(*Crassostrea virginica*)^[10]、紫贻贝(*Mytilus edulis*)^[11]、九孔鲍(*Haliotis diversicolor supertexta*)^[12]等生长性状遗传参数估计的报道较多。壳色作为可遗传的性状, 在贝类的遗传育种

收稿日期:2014-01-02 修回日期:2014-02-21

资助项目:国家自然科学基金(31272657); 国家科技支撑计划(2012BAD26B04); 上海市青年科技启明星计划项目(12QA1401400)

通信作者:李家乐, E-mail: jlli@shou.edu.cn

中发挥着重要作用,然而以往研究多集中在壳色对贝类生长、存活、营养成分的影响上^[13-15],关于贝类壳色遗传参数的估计尚未有报道。本研究以三角帆蚌紫色选育系 F_4 作为亲本,利用 6 对微卫星标记对其繁育后代进行亲子鉴定以构建家系,采用 ASREML 软件的约束极大似然法对三角帆蚌 1 龄阶段内壳色及生长性状进行了遗传参数估计,旨在为三角帆蚌壳色、生长等性状的选育提供资料。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验用于繁育的亲本为已选育的三角帆蚌紫色选育系 F_4 ,其具体选育过程:1998 年,分别从鄱阳湖、洞庭湖采集的各 5 000 个幼蚌中选出 200 个外壳色较深的个体饲养,2001 年初,从中再筛选出内壳色紫色深、体质量大的雌雄各 25 个个体作为选育系 F_1 亲蚌,按鄱阳湖(♀)×洞庭湖(♂)、洞庭湖(♀)×鄱阳湖(♂)的方式进行配组,繁殖后获得两组杂交后代,在稚蚌出池时从两组各 25 000 个后代中选出 5 000 个外壳色深的个体,插珠期从中选出 200 个个体,2004 年初繁殖前期再从中分别筛选出 50 个个体,获得选育系 F_2 亲蚌;繁殖季节以选育系 F_2 为亲本进行组间杂交,按同样方法进行筛选,2007 年获得选育系 F_3 亲蚌;同样方法再次选育,2010 年初获得了 F_4 亲蚌。2011 年 11 月,取 25 雄 100 雌 F_4 亲蚌作为实验用亲本,挂养在同一温室大棚内进行亲本培育,实验在浙江省武义县的为民水产养殖有限公司进行。

2012 年 3 月起,每隔 1 周检查一次母蚌的怀卵状况,用一根探针在外腮中部刺入,挑取少许钩介幼虫,如果钩介幼虫能够连接成一条细丝,则说明此蚌孕育的钩介幼虫已经成熟,可以用于采集。4 月 15 日,发现较多雌蚌外腮内钩介幼虫已经成熟,随机选出 15 个钩介幼虫已成熟的母蚌,按常规生产进行育苗、脱苗,为确保母蚌与其子代的对应性,每个环节都做好隔离,以防止子代混杂。脱苗后,将稚蚌分别在温室大棚内的 15 个育苗池内进行流水培育。6 月中旬,壳长达到 1.5 cm 左右时,移到露天养殖池塘内,在规格为 40 cm × 40 cm × 10 cm 的网箱中挂养,每个网箱放置 100 只幼蚌,每个母蚌留养 5 个网箱的幼蚌,网箱深度

为 35 cm 左右。幼蚌养殖期间,定期泼洒生石灰,并视水体肥度加施有机肥,使透明度维持在 20 ~ 30 cm。育苗结束后,对亲蚌进行活体取样,剪取 0.5 cm × 1.0 cm 左右的外套膜组织,用无水乙醇保存于 2 mL 冻存管中,做好相应标记,带回实验室提取 DNA。

1.2 数据测量

2013 年 3 月,对每个网箱内三角帆蚌的存活率进行统计,存活率均在 90% 左右,表明每个网箱内三角帆蚌生长密度一致。从每个母蚌后代群体中随机取 60 个个体进行测量,共 900 个个体,测量的性状有壳长、壳高、壳宽、体质量、壳重和内壳颜色。壳长是蚌壳前端和后端的最大距离,壳高为壳顶至腹缘并与壳长垂直的距离,壳宽是左右壳间的最大厚度。3 个形态性状用游标卡尺测量,精确到 0.01 cm,体质量、壳重用电子天平称量,精确到 0.01 g。每个个体测量结束后,取其外套膜组织用无水乙醇保存,做好相应标记,用于后期 DNA 提取。

在颜色的测量中,采用 1976 年国际照明委员会推荐的均匀颜色空间 $L^* a^* b^*$,该色度空间目前已在马氏珠母贝^[5,16]和三角帆蚌^[6]等珍珠贝的壳色测量上得到了应用。壳色的定量测量使用 Lovibond-RT200 表面色度计,测量位置为右壳边缘部位较易确定的 3 个点,后闭壳肌处、外套痕与纵肋的交叉处和贝壳中间处,以这 3 个位置颜色数据的平均值作为该个体内壳的颜色数据,测量时避开凹凸和瑕疵。颜色参数色差值 dE^* 的计算公式^[16]:

$$dE^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2};$$

式中, $\Delta L^* = L_1^* - L_0^*$, $\Delta a^* = a_1^* - a_0^*$, $\Delta b^* = b_1^* - b_0^*$ 。 L_1^* 、 a_1^* 和 b_1^* 分别是所测蚌壳的颜色参数, L_0^* 、 a_0^* 和 b_0^* 为标准白样品的颜色参数。

1.3 DNA 的提取及亲子鉴定

采用苯酚-氯仿法^[17]提取三角帆蚌亲本及其子代的外套膜组织 DNA,亲子鉴定所用的 6 对微卫星标记为本实验室所开发。用荧光基团 FAM 或 HEX 修饰其上游引物 5' 端,荧光基团的修饰引物由上海生工生物工程公司合成。PCR 扩增体系为 20 μ L,包括上游及下游引物(10 mmol/L)各 0.5 μ L、基因组 DNA(30 ng/ μ L) 2 μ L、10 μ L 2 × Taq PCR Mastermix(0.1 U Taq Polymerase/ μ L、500 μ mol/L dNTP each、20 mmol/L Tris-HCl pH 8.3、100 mmol/L KCl、3

mmol/L MgCl₂), 无菌水补充到 20 μL, 2 × Taq PCR Mastermix 购自天根生化科技有限公司。PCR 扩增程序为 94 °C 预变性 3 min; 94 °C 变性 30 s, 退火 30 s (最适退火温度见表 1), 72 °C 延伸 40 s, 扩增 35 个循环; 最后再 72 °C 延伸 10 min,

4 °C 保存。荧光标记的 PCR 产物由上海迈浦生物科技有限公司进行 STR 测序分析, 使用 Genemapper Version 4.0 软件读取微卫星扩增产物的分子量数据, 利用 Cervus 3.0 软件对 900 个后代个体进行亲子鉴定分析。

表 1 引物序列与扩增信息

Tab. 1 Primer sequence and amplification information of the six microsatellite loci

位点 locus	GenBank 登录号 accession number	引物序列 (5'-3') primer sequence	退火温度/°C annealing temperature	片段大小/bp size range
HcuCA0005	JN663806	F: AAATGGGTTGTTTTGCAAGTATCA R: TCTGTCGCGGTATAACTCCATTAG	55	391 ~ 415
HcuCA0007	JN663807	F: GAACGACGAGAATCTCCGTAAT R: ACAGCGTTTGTTCAGTGGAC	55	329 ~ 343
HcuCA0038	JN663818	F: AATCATCATAATGGGCTCCTAT R: GGAAGCAGGGTCATACTCAA	50	300 ~ 368
HcuCA0049	JN663820	F: CTCGGACGGAGACGGTAAAA R: TGGCGCCAACCTTTGTAAA	50	249 ~ 280
HcuCA0057	JN663822	F: CCCCTTCTGGTTCGTATTG R: ACTTGAAATGGCGCTGATGT	60	329 ~ 363
Hce35	GW694361	F: GTTGGGCCTATGCAAAGTT R: TTTGATATACTTGGCAGCGTTG	59	212 ~ 230

1.4 数据分析

数据预处理以及初步统计分析在 SPSS 16.0 中完成, 方差协方差组分计算由 ASREML 3.0 完成。采用 ASREML 软件中的约束极大似然法进行遗传参数的估计, 计算遗传学参数的动物模型:

$$Y_{ij} = \mu + a_{ij} + d_i + e_{ij}$$

式中, Y_{ij} 为第 i 个雌性的第 j 个后代的某性状观察值, μ 为总体均值, a_{ij} 为加性遗传效应, d_i 为第 i 个雌性组分的效应, e_{ij} 为随机残差。

遗传相关 (r_g)、表型相关 (r_p) 的计算公式

$$r_g = cov_g(x, y) / \sigma_g(x) \sigma_g(y);$$

$$r_p = cov_p(x, y) / \sigma_p(x) \sigma_p(y);$$

式中, x, y 为用于相关分析的两个性状, cov_g, cov_p 分别为两性状间遗传、表型协方差组分, σ_g, σ_p 分别为遗传方差组分、表型方差组分的标准差。

2 结果

2.1 系谱鉴定及描述性统计结果

900 个个体中有 843 个个体确定了其父本, 确定率为 93.7%, 57 个个体由于有 2 个或 2 个以上的微卫星位点错配而被排除。根据亲子鉴定结果共建立了来自于 15 个母本和 12 个父本的 42 个全同胞家系, 每个家系内个体数量为 3 ~ 52。

表 2 列出了 843 个三角帆蚌生长性状及内壳颜色参数的描述性统计结果, 从中可看出颜色参数 a^* 、 b^* 两值变异系数很大, 个体间存在较大差异; 重量性状 (体质量、壳重) 的变异系数显著大于形态性状 (壳长、壳高、壳宽) 变异系数, 说明个体间重量性状的差异更为明显。

表 2 三角帆蚌 1 龄阶段生长性状及内壳颜色参数的描述性统计结果 (843 个个体)

Tab. 2 Descriptive statistics for the growth traits and color parameters (L^* , a^* , b^* , dE^*) of the inner shell at one year old age of *H. cumingii* (843 individuals)

性状 traits	平均值 mean	标准差 SD	变异系数/% CV
壳长/cm SL	5.50	0.51	9.27
壳高/cm SH	2.85	0.31	10.88
壳宽/cm SW	1.21	0.15	12.40
体质量/g WW	12.57	3.47	27.61
壳重/g SDW	3.98	1.09	27.39
L^*	48.36	5.87	12.14
a^*	2.86	1.91	66.78
b^*	-8.16	5.88	72.06
dE^*	53.75	5.46	10.16

注: SL. 壳长; SH. 壳高; SW. 壳宽; WW. 体质量; SDW. 壳重
Notes: SL. shell length; SH. shell height; SW. shell width; WW. wet weight; SDW. shell dry weight

2.2 内壳色的遗传参数

颜色参数中 a^* 的遗传力较低为 0.11 ± 0.08 , 属于低遗传力, L^* 、 b^* 、 dE^* 遗传力较高分别为 0.31 ± 0.22 、 0.36 ± 0.18 、 0.29 ± 0.19 (表 3)。 L^* 与 a^* 、 b^* 、 dE^* 呈负相关, L^* 、 a^* 、 b^* 之间遗传相关、表型相关均较低, 范围分别为 $0.08 \sim 0.47$ 、 $0.04 \sim 0.32$, L^* 与 dE^* 相关性最大, 遗传相关为 -0.94 ± 0.06 , 表型相关为 -0.96 ± 0.01 。

2.3 生长性状的遗传参数

壳长、壳高、壳宽、体质量和壳重的遗传力分别为 0.24 ± 0.19 、 0.37 ± 0.27 、 0.26 ± 0.16 、 0.26 ± 0.17 、 0.31 ± 0.19 (表 4)。各性状间的遗传相关和表型相关均为正相关, 范围分别为 $0.71 \sim 0.92$ 、 $0.66 \sim 0.94$ 。在遗传相关中, 体质量与壳长、壳重遗传相关最高, 分别为 0.92 ± 0.08 、

0.92 ± 0.07 , 壳高与壳宽遗传相关最低, 为 0.71 ± 0.31 。在表型相关中, 体质量与壳长、壳重表型相关最高, 分别为 0.93 ± 0.01 、 0.94 ± 0.01 。

表 3 三角帆蚌 1 龄阶段内壳色颜色参数的遗传力(对角线)、遗传相关(下三角)和表型相关(上三角)

Tab.3 Heritabilities (in bold at the diagonal), genetic correlations (below the diagonal) and phenotypic correlations (above the diagonal) of color parameters at one year old of *H. cumingii*

	L^*	a^*	b^*	dE^*
L^*	0.31 ± 0.22	-0.32 ± 0.04	-0.32 ± 0.05	-0.96 ± 0.01
a^*	-0.16 ± 0.48	0.11 ± 0.08	0.04 ± 0.04	0.37 ± 0.04
b^*	-0.47 ± 0.41	0.08 ± 0.44	0.36 ± 0.18	0.16 ± 0.05
dE^*	-0.94 ± 0.06	0.17 ± 0.47	0.36 ± 0.42	0.29 ± 0.19

表 4 三角帆蚌 1 龄阶段生长性状的遗传力(对角线)、遗传相关(下三角)和表型相关(上三角)

Tab.4 Heritabilities (in bold at the diagonal), genetic correlations (below the diagonal) and phenotypic correlations (above the diagonal) of growth traits at one year old of *H. cumingii*

	壳长 SL	壳高 SH	壳宽 SW	体质量 WW	壳重 SDW
壳长 SL	0.24 ± 0.19	0.74 ± 0.03	0.80 ± 0.02	0.93 ± 0.01	0.90 ± 0.01
壳高 SH	0.82 ± 0.28	0.37 ± 0.27	0.66 ± 0.03	0.75 ± 0.03	0.76 ± 0.03
壳宽 SW	0.84 ± 0.17	0.71 ± 0.31	0.26 ± 0.16	0.90 ± 0.01	0.81 ± 0.02
体质量 WW	0.92 ± 0.08	0.80 ± 0.28	0.89 ± 0.12	0.26 ± 0.17	0.94 ± 0.01
壳重 SDW	0.88 ± 0.10	0.86 ± 0.22	0.79 ± 0.17	0.92 ± 0.07	0.31 ± 0.19

2.4 颜色参数与生长性状的遗传相关和表型相关

颜色参数 L^* 、 b^* 与生长性状的遗传相关和表型相关呈正相关, 色差值 dE^* 与生长性状呈负

相关, 相关性均很低, 为 $0.02 \sim 0.09$, a^* 与生长性状的相关相对较高, 为 $0.11 \sim 0.18$ (表 5)。在所有相关中, a^* 与壳重的遗传相关和表型相关相对较高, 分别为 0.18 、 0.17 。

表 5 三角帆蚌内壳颜色参数与生长性状之间的遗传相关(r_g)和表型相关(r_p)

Tab.5 Genetic correlations (r_g) and phenotypic correlations (r_p) between color parameters and growth traits of *H. cumingii*

	L^*		a^*		b^*		dE^*	
	r_g	r_p	r_g	r_p	r_g	r_p	r_g	r_p
壳长 SD	0.02 ± 0.62	0.02 ± 0.04	0.15 ± 0.36	0.14 ± 0.03	0.04 ± 0.40	0.04 ± 0.03	-0.03 ± 0.57	-0.03 ± 0.04
壳高 SH	0.06 ± 0.54	0.06 ± 0.04	0.14 ± 0.36	0.12 ± 0.03	-0.02 ± 0.37	-0.02 ± 0.03	-0.06 ± 0.52	-0.06 ± 0.04
壳宽 SW	0.09 ± 0.50	0.09 ± 0.04	0.11 ± 0.31	0.10 ± 0.03	0.03 ± 0.32	0.03 ± 0.03	-0.09 ± 0.47	-0.09 ± 0.04
体质量 WW	0.06 ± 0.62	0.07 ± 0.05	0.15 ± 0.32	0.14 ± 0.03	0.04 ± 0.36	0.05 ± 0.03	-0.07 ± 0.53	-0.07 ± 0.04
壳重 SDW	0.08 ± 0.65	0.09 ± 0.04	0.18 ± 0.34	0.17 ± 0.03	0.02 ± 0.44	0.03 ± 0.03	-0.09 ± 0.62	-0.09 ± 0.04

3 讨论

遗传参数估计是水产动物选择育种中的一项基础工作, 获得准确的系谱信息是进行遗传参数估计的前提, 然而三角帆蚌在繁殖过程中常常发

生随机交配、混合受精等现象, 导致系谱信息不明确, 给遗传参数的估计带来不便。为避免这种情况, 往往采用分池单独繁育, 但空间占用大、管理强度高, 也限制了家系的构建数量, 更主要的是繁育的不同步及环境的差异会影响对遗传参数的估

计,使得遗传力的估算偏大。为此,引入以微卫星标记为基础的亲子鉴定技术,可使不同亲本处于相同的繁育环境,减少因外界环境因素引起的误差,使得遗传参数估计更准确。亲子鉴定是明确个体间亲缘关系、建立正确系谱的重要手段,不仅可克服物理标记的缺陷,实现不同家系早期混养,同时也减少了物理标记对家系生长的影响。因此,亲子鉴定技术在水产动物遗传参数的估计上得到了广泛的应用^[18-20]。本实验利用6对多态性微卫星标记对三角帆蚌1龄后代进行了亲子鉴定,结果900个个体中有843个个体确定了其父本,确定率达到93.7%,高于中国明对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)^[21]、凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)^[22]、耳鲍(*Haliotis asinina*)^[19]等的亲子鉴定结果,表明使用6对微卫星标记对三角帆蚌进行大规模系谱鉴定以构建家系可达到较好效果。

壳色作为贝类一个主要的可遗传性状,以壳色为目标性状的选育工作正在逐渐开展^[23-25]。本实验首次对贝类壳色遗传参数进行估计,为三角帆蚌及其他贝类的选育工作提供了参考依据。三角帆蚌1龄阶段内壳色颜色参数 L^* 、 a^* 、 b^* 、 dE^* 的遗传力分别为0.31、0.11、0.36、0.29。通常情况,将 $h^2 < 0.15$ 划分为低遗传力水平, $0.15 < h^2 < 0.3$ 划分为中等遗传力, $h^2 > 0.3$ 划分为高遗传力^[26]。可见,颜色参数 a^* 为低遗传力,其余均为中高等遗传力,说明三角帆蚌壳色具有较高的遗传潜力,通过选育预期能够获得良好的遗传进展。贝类育种中对于生长性状的遗传力估计较多,大珠母贝12月、18月龄的壳长、壳高、壳宽、体质量的遗传力,除壳宽为低遗传力外,其余均是中等遗传力,为0.15~0.23^[18]。虾夷扇贝(*Patinopecten yessoensis*)养殖群体1、10、20、40、60、500日龄的壳长、壳高的遗传力范围分别为0.31~0.52、0.28~0.42,均为高遗传力^[27]。本实验也获得相同结果,三角帆蚌1龄阶段的壳长、壳高、壳宽、体质量和壳重的遗传力分别为0.24、0.37、0.26、0.26、0.31,壳高、壳重为高遗传力,其余为中等遗传力,表明三角帆蚌紫色选育系后代生长性状仍具有较高的遗传潜力,适于进一步选育。该结果比金武等^[7-8]对三角帆蚌稚蚌和幼蚌阶段生长性状遗传参数估计的结果偏低,稚蚌期和幼蚌期壳长、壳高、壳宽、体质量的遗传力分别

为0.36、0.49、0.45、0.52和0.49、0.27、0.59、0.47,均为高遗传力水平,原因可能是其采用巢式设计构建家系时家系繁育的不同步性使得遗传力估计偏高,另一个原因可能是其所用亲蚌为非选育的普通群体,本身可能具有较高遗传力。本实验采用同池繁育结合亲子鉴定技术建立家系,提高了繁育同步性,使得估计的遗传力更接近真实值,可为三角帆蚌的育种决策提供更为准确的参考依据。

在育种实践中,有些性状通过直接选择便可获得较满意的成效,而有些性状的数据不易获得,或遗传力很低直接选择几乎无效,此时可借助与之相关的另一个性状的选择来达到选育目的。壳色与生长性状的相关性分析结果显示,壳色同生长性状的相关度很低,为0.02~0.18,无法通过选择较易测量的生长性状来对壳色进行间接选育。1龄三角帆蚌各性状间的遗传相关和表型相关均为正相关,范围分别为0.71~0.92、0.66~0.94。在所有相关中,体质量与壳长、壳重的相关最高,均在0.9以上,且体质量与其他性状的相关性也达到显著水平,这与金武等^[7-8]研究结果一致。在三角帆蚌产珠性能与生长性状关系的研究中发现,育珠蚌的壳重、体质量、壳宽同所育珍珠的产珠量、粒径及圆珠率的相关性较高^[28],对海水育珠贝的研究也表明,育珠贝的壳重与所产珍珠的质量具有正相关性,壳重大的育珠贝产生的珍珠层厚、珍珠优质^[4,29]。因此,考虑到测量的可操作性,优先对体质量进行选择,可达到对其他生长性状间接选择的目的。在三角帆蚌选育过程中,以内壳色和体质量为选育目标,不仅可实现对三角帆蚌内壳色的改良,也可实现对生长性能及育珠性能的改良,对提高选育效率具有重要意义。

参考文献:

- [1] Liu Y Y, Zhang W Z, Wang Y X, et al. China economic animals: Freshwater molluscs [M]. Beijing: Science Press, 1979: 71-73. [刘月英, 张文珍, 王耀先, 等. 中国经济动物志: 淡水软体动物. 北京: 科学出版社, 1979: 71-73.]
- [2] Li J L, Liu Y. The main influencing factors on the quality of cultured pearls [J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 35 (11): 1753-1760. [李家乐, 刘越. 影响养殖珍珠质量的主要因子. 水产学报, 2011, 35 (11): 1753-1760.]

- [3] McGinty E L, Evans B S, Taylor J U, *et al.* Xenografts and pearl production in two pearl oyster species, *P. maxima* and *P. margaritifera*; Effect on pearl quality and a key to understanding genetic contribution [J]. *Aquaculture*, 2010, 302 (3 - 4): 175 - 181.
- [4] Wada K, Komaru A. Color and weight of pearls produced by grafting the mantle tissue from a selected population for white shell color of the Japanese pearl oyster *Pinctada fucata martensii* (Dunker) [J]. *Aquaculture*, 1996, 142 (1 - 2): 25 - 32.
- [5] Gu Z F, Huang F H, Wang H, *et al.* Contribution of donor and host oysters to the cultured pearl colour in *Pinctada martensii* [J]. *Aquaculture Research*, 2012. (Online, doi:10.1111/are.12052)
- [6] Zhu W B. Research for effect from two shell pearl and color to pearl color for *Hyriopsis cumingii* [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2011. [朱文彬. 三角帆蚌两种贝壳珍珠质颜色对珍珠颜色影响的研究. 上海: 上海海洋大学, 2011.]
- [7] Jin W, Li J L, Fu L L, *et al.* Genetic parameter estimates for growth traits in the earlier larva stage of *Hyriopsis cumingii* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2012, 36(8): 1209 - 1214. [金武, 李家乐, 付龙龙, 等. 三角帆蚌早期阶段生长性状遗传参数估计. 水产学报, 2012, 36(8): 1209 - 1214.]
- [8] Jin W, Bai Z Y, Fu L L, *et al.* Genetic analysis of early growth traits of the triangle shell mussel, as an insight for potential genetic improvement to pearl quality and yield [J]. *Aquaculture International*, 2012, 20(5): 927 - 933.
- [9] Deng Y W, Fu S, Du X D, *et al.* Response to selection and realized heritability for early growth in the second-generation selected line of pearl oyster *Pinctada martensii* [J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2008, 28(4): 27 - 29. [邓岳文, 符韶, 杜晓东, 等. 马氏珠母贝选系 F₂ 早期选择反应和现实遗传力估计. 广东海洋大学学报, 2008, 28(4): 27 - 29.]
- [10] Davis C. Estimation of narrow-sense heritability for larval and juvenile growth traits in selected and unselected sub-lines of eastern oysters, *Crassostrea virginica* [J]. *Journal of Shellfish Research*, 2000, 19 (1): 613.
- [11] Song C W, Yan X W, Sang S T, *et al.* Estimates for the heritability of growth of *Mytilus edulis* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2013, 37 (2): 201 - 206. [宋传文, 闫喜武, 桑士田, 等. 紫贻贝生长性状的遗传力估计. 水产学报, 2013, 37 (2): 201 - 206.]
- [12] Jiang X, Liu J Y, Lai Z F. Genetic parameter estimation of growth traits in small abalone, *Haliotis diversicolor supertexta* [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2013, 20(3): 544 - 550. [蒋湘, 刘建勇, 赖志服. 九孔鲍幼鲍生长性状的遗传参数估计. 中国水产科学, 2013, 20(3): 544 - 550.]
- [13] Newkirk G F. Genetics of shell color in *Mytilus edulis* L. and the association of growth rate with shell color [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1980, 47(1): 89 - 94.
- [14] Zheng H P, Zhan G F, Liu X, *et al.* Establishment of different shell color lines of bay scallop *Argopecten irradians 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.]
- [15] Chen W. Comparative studies on nutritional composition of abalone *Haliotis discus hannai* between two shell-color stocks [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2004, 11 (4): 367 - 370. [陈炜, 孟宪治, 陶平. 2 种壳色皱纹盘鲍营养成分的比较. 中国水产科学, 2004, 11(4): 367 - 370.]
- [16] Gu Z F, Wang Y, She Y H, *et al.* Comparison of morphometrics and shell nacre colour between two geographical populations of pearl oyster *Pinctada martensii* (Dunker) [J]. *Marine Fisheries Research*, 2009, 30(1): 79 - 86. [顾志峰, 王嫣, 石耀华, 等. 马氏珠母贝两个不同地理种群的形态性状和贝壳珍珠质颜色比较分析. 渔业科学进展, 2009, 30 (1): 79 - 86.]
- [17] Jin D Y, Li M F, Zhang L, *et al.* Molecular cloning [M]. Beijing: Science Press, 1993: 464 - 469. [金冬雁, 黎孟枫, 张励, 等 (译). 分子克隆. 北京: 科学出版社, 1993: 464 - 469.]
- [18] Kvingedal R, Evans B S, Lind C E, *et al.* Population and family growth response to different rearing location, heritability estimates and genotype × environment interaction in the silver-lip pearl oyster (*Pinctada maxima*) [J]. *Aquaculture*, 2010, 304(1 - 4): 1 - 6.
- [19] 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(1-4): 146-152.
- [20] Domingos J A, Smith-Keune C, Robinson N, *et al.* Heritability of harvest growth traits and genotype-environment interactions in barramundi, *Lates calcarifer* (Bloch) [J]. Aquaculture, 2013, 402-403: 66-75.
- [21] Dong S R, Kong J, Zhang T H, *et al.* Parentage determination of Chinese shrimp (*Fenneropenaeus chinensis*) based on microsatellite DNA markers [J]. Aquaculture, 2006, 258(1-4): 283-288.
- [22] Wang H X, Wu C G, Zhang L S, *et al.* The application of microsatellite markers for parentage determination in selective breeding of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) [J]. Hereditas, 2006, 28(2): 179-183. [王鸿霞, 吴长功, 张留所, 等. 微卫星标记应用于凡纳滨对虾家系鉴别的研究. 遗传, 2006, 28(2): 179-183.]
- [23] Fu S, Xie S H, Deng Y W, *et al.* A study on thick pearls produced by the third generation shell color lines of pearl oyster (*Pinctada martensii*) [J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(9): 1418-1424. [符韶, 谢绍河, 邓岳文, 等. 利用马氏珠母贝4个壳色系F₃培育厚层优质珍珠. 水产学报, 2012, 36(9): 1418-1424.]
- [24] Xu F, Zheng H P, Zhang H B, *et al.* Comparison on the larval traits between strain "Zhongkehong" and common cultured population of bay scallop *Argopecten irradians* under different temperature [J]. Journal of Fisheries of China, 2008, 32(6): 876-883. [许飞, 郑怀平, 张海滨, 等. 海湾扇贝“中科红”品种与普通养殖群体不同温度下早期性状的比较. 水产学报, 2008, 32(6): 876-883.]
- [25] Liu X, Zhang G F, Zhao H E. The breeding of strains for "China red" *Haliotis discus* [J]. Chinese Journal of Zoology, 2003, 38(4): 27-27. [刘晓, 张国范, 赵洪恩. 皱纹盘鲍“中国红”品系的选育. 动物学杂志, 2003, 38(4): 27-27.]
- [26] Zhang Y. Animal breeding [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2001: 37-38. [张沅. 家畜育种学. 北京: 中国农业出版社, 2001: 37-38.]
- [27] Liang J, Zheng H P, Li L, *et al.* Estimation of heritability for a cultured population of *Patinopecten yessoensis* Jay [J]. Marine Sciences, 2011, 35(3): 1-7. [梁峻, 郑怀平, 李莉, 等. 虾夷扇贝养殖群体的遗传力估算. 海洋科学, 2011, 35(3): 1-7.]
- [28] Bai Z Y, Li J L, Wang G L. Relationship between pearl production, growth traits and the inserted position of mantle piece in triangle mussel (*Hyriopsis cumingii*) [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15(3): 493-499. [白志毅, 李家乐, 汪桂玲. 三角帆蚌产珠性能与生长性状和插片部的关系. 中国水产科学, 2008, 15(3): 493-499.]
- [29] Wang Q H, Lu Y Z, Deng Y W, *et al.* Correlation analysis on pearl thickness, weight and morphology of *Pinctada martensii* [J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2013, 33(3): 18-21. [王庆恒, 逯云召, 邓岳文, 等. 马氏珠母贝生长性状与珍珠质量和珍珠层厚度的相关分析. 广东海洋大学学报, 2013, 33(3): 18-21.]

Estimates of genetic parameters for inner shell color and growth traits during one year old stage in the purple strain of *Hyriopsis cumingii* using microsatellite based parentage assignment

WANG Zhaoqi^{1,3}, HAN Xuekai^{1,3}, BAI Zhiyi^{1,3}, LI Jiale^{1,2,3*}

(1. Key Laboratory of Freshwater Fisheries Genetic Resources, Shanghai Ocean University, Ministry of Agriculture, Shanghai 201306, China;

2. E-Institute of Shanghai Universities, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

3. Shanghai Engineering Research Center of Aquaculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The purple strain F₄ of *Hyriopsis cumingii* was produced using intraspecific hybridization assisted by populations breeding for four generations with the breeding indexes of the inner shell color and body weight. In this paper, six polymorphic microsatellite markers were employed to identify the male parents of offspring from 15 female parents of the purple strain F₄. Parentage assignment showed that 42 full-sib families from 12 male parents and 15 female parents were obtained. Heritabilities, genetic correlations and phenotype correlations for inner shell color and growth traits were estimated using AS REML method during one year old stage. The heritability estimates of the color parameters L^* , a^* , b^* , dE^* were 0.31 ± 0.22 , 0.11 ± 0.08 , 0.36 ± 0.18 , 0.29 ± 0.19 , respectively. The genetic correlations and phenotypic correlations of L^* , a^* , b^* were low, with the ranges of 0.08–0.47 and 0.04–0.32, but the correlations between L^* and dE^* were very high ($r_g = -0.94 \pm 0.06$, $r_p = -0.96 \pm 0.01$). The heritability estimates for shell length (0.24 ± 0.19), shell height (0.37 ± 0.27), shell width (0.26 ± 0.16), wet weight (0.26 ± 0.17), and shell weight (0.31 ± 0.19) were moderate and high. A positive and high genetic correlation and phenotypic correlation were found among growth traits ($r_g = 0.71 - 0.92$, $r_p = 0.66 - 0.94$). The genetic correlations and phenotypic correlations between the color parameters and growth traits were very low, ranging from 0.02 to 0.18. The results showed that most of the heritabilities of color parameters and growth traits were moderate and high, which suggested that this strain should respond rapidly to selective breeding. Mutual selection couldn't be achieved due to the low correlations between inner shell color and growth traits, and the body weight should respond to targeted selection with the high phenotype correlations and genetic correlations with other growth traits. Therefore, selective breeding for inner shell color and body weight was a reasonable method to improve inner shell color and growth traits at the same time.

Key words: *Hyriopsis cumingii*; inner shell color; growth traits; genetic parameters; parentage assignment

Corresponding author: LI Jiale. E-mail: jlli@shou.edu.cn