

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2016.15353

三角帆蚌 F₅ 壳色及生长性状选育效果评价

吴雷明¹, 白志毅^{1,2}, 刘晓军^{1,2}, 李清清¹, 殷浩¹, 李家乐^{1,2}

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 上海市水产养殖工程技术研究中心, 上海 201306

摘要: 以选育系紫色三角帆蚌(*Hyriopsis cumingii*) F₄ 和非选育系三角帆蚌为亲本建立后代家系群体, 比较选育组与对照组贝壳珍珠质颜色和生长性状, 以评价 F₅ 贝壳珍珠质层颜色与生长性能选育效果。结果显示, 选育组明度 L*、饱和度 C*、色差值 dE*与对照组差异极显著(P<0.01), 选育组明度 L*比对照组低 17.13%, 饱和度 C*高于对照组 20.55%, 色差值 dE*高于对照组 22.56%, 表明选育组贝壳珍珠质层颜色较对照组颜色更深, 色彩更丰富。选育组左右两侧贝壳珍珠质层颜色参数-L*、dE*从前端至后端逐渐增大, 表明贝壳珍珠质层颜色逐渐加深, 对照组前端至后端变化规律与其不同。选育组与对照组左右贝壳相同位置处, 贝壳珍珠质层颜色参数均无显著性差异(P>0.05)。选育组各生长性状均显著高于对照组(P<0.05), 壳长、壳高、壳宽、体重分别高于对照组 12.30%、9.95%、8.60%、36.34%。对贝壳珍珠质层颜色参数与生长指标综合评定值联合分析发现, B2、B4、B5、B6、B3 家系最优, 贝壳珍珠质层颜色深, 并具有较强生长优势, 可用于进一步选育与推广。通过对贝壳珍珠质层颜色和生长性状相关性分析发现, 选育组内壳珍珠质层各颜色参数与生长性状之间相关系数较低, 相关程度极弱, 无法通过生长性状间接选择贝壳珍珠质颜色。

关键词: 三角帆蚌; 珍珠质层颜色; 生长性状; 育种值

中图分类号: S917

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2016)03-0547-08

三角帆蚌(*Hyriopsis cumingii*)因其形成的珍珠具有珠质光滑细腻和色泽鲜艳等优点, 现已成为最主要的淡水养殖珍珠蚌^[1]。世界 70%以上的淡水珍珠由中国三角帆蚌生产, 而中国淡水珍珠的质量没有随着产量的增加而同步增加, 致使产值仅占世界珍珠产值的 10%^[2], 所以选育优良品种已成为当前亟需解决的关键问题之一。

珍珠的颜色和大小是决定珍珠质量和价格的重要因素^[3-4], 三角帆蚌孕育的珍珠颜色保持了色系深浅程度不一的黄、白、紫等多种天然颜色的杂合状态^[5], 普遍被消费者接受的纯白色以及深紫色珍珠比较缺乏, 压缩了三角帆蚌的经济价值空间。在影响珍珠颜色和产量的研究分析中发现, 作为供片蚌的贝壳珍珠质层的颜色对育珠蚌

所产珍珠的颜色存在较大影响^[6-8], 育珠蚌体重与壳宽分别与珍珠的产量和圆度相关性最大^[9-10], 因而, 成功培育出壳色、生长性状优良的三角帆蚌对提高珍珠的产量和质量具有重要意义。所以本课题组以珍珠质层颜色为紫色和体重作为选育性状, 经过连续 4 代群体选育和家系选育, 获得了紫色三角帆蚌 F₄。本研究通过比较选育组与对照组贝壳珍珠质层颜色和生长性能, 对选育效果进行了评价, 并探讨了两者之间的关系, 以期对珍珠颜色的纯化以及质量的提升提供基础材料。

1 材料和方法

1.1 选育组和对照组的构建

本研究于 2014 年 3 月在浙江省金华市伟民水

收稿日期: 2015-09-09; 修订日期: 2015-12-09.

基金项目: 国家自然科学基金项目(31272657); 国家科技支撑计划项目(2012BAD26B04).

作者简介: 吴雷明(1987-), 博士研究生, 专业方向为水产动物种质资源与种苗工程. E-mail: leiming4854@163.com

通信作者: 李家乐(1963-), 教授, 博士生导师, 研究方向为水产动物种质资源与种苗工程. E-mail: jlli2009@126.com

产养殖有限公司进行。选育组以三角帆蚌 F₄ 选育系为亲本, 对照组以未经过选育的三角帆蚌为亲本, 选择健康、活力强、性腺发育良好的亲本, 按照雌雄一对一进行配对, 分别建立 15 个(B1~B15)、3 个(C1~C3)全同胞家系。将所选亲本挂养于温室大棚中, 相互隔离, 按常规生产操作进行育苗、脱苗、流水培育至 6 月中旬(做好隔离工作, 防止子代混杂), 待蚌苗生长至 1.2 cm 左右时转移至池塘继续养殖。按照亲本与子代一一对应的方式, 将蚌苗放在规格为 40.0 cm×40.0 cm×12.0 cm 网箱内(底部加入淤泥)挂养, 每个家系保留 6 个网箱的稚蚌, 每个网箱放置 150 只蚌苗, 最终每个家系随机选取 60 个个体作为实验材料。

1.2 数据测量

使用游标卡尺测量每个个体的壳长、壳高和壳宽, 结果精确到 0.01 cm, 用电子天平(PC8000)测量体重, 结果精确到 0.01 g。采用 Lovibond-RT200 表面色度计(Tintometer Limited, Slisbury, UK)测量蚌壳珍珠质层颜色, 颜色参数中, L*为明度, L*>0 颜色偏白, L*<0 颜色偏黑; C*为饱和度, C*值越大表示颜色强度越强, 反之则表示颜色越淡; 色差值 dE*表示所测样品和标准白之间的色差, dE*值越大表示色彩越丰富, 反之则表明所测颜色越单一。珍珠层颜色测量位置: 每个三角帆蚌左右蚌壳各选取前(F)、中(S)、后(T)3 个位置, 测量时均避开凹凸和瑕疵处。每个位置测量 3 次, 以 3 次测量的颜色数据的平均值作为该处贝壳的颜色数据。

1.3 数据统计与处理

家系评价采用 Kung 育种值和综合评定值 P_i ^[11-12]表示, 用 SPSS17.0 软件分析和处理各组数据, 各数据均用平均值±标准差($\bar{x} \pm SD$)表示。 $P>0.05$ 时, 各组数据间视为无显著差异; $P<0.05$ 时, 差异显著。相关计算公式如下:

$$(1) \text{ 饱和度 } C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2};$$

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

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(Tintometer Ltd)的颜色

参数。

(3) Kung 育种值

$$Z = \bar{y} + C(y - \bar{y}); C = 1 - 1/F$$

式中, Z 为 Kung 育种值, \bar{y} 为所有试验家系的总体观测均值, y 为各家系的观测均值, C 为校正值, F 为家系间方差分析的值。

(4) 综合评定值 P_i

$$P_i = \sqrt{\sum_j k_0 \left(\frac{a_{ij}}{a_{0j}} - 1 \right)^2}$$

式中, k_0 为评定指标的权重系数; a_{ij} 为第 i 个家系第 j 个指标的数据, a_{0j} 为第 j 个指标最差家系的数值。比较壳色时, 取 L*、a*、dE* 3 个指标, 权重系数分别为 0.3、0.3、0.4, 生长性状比较时, 壳长、壳宽、体重 3 个指标的权重系数分别为 0.4、0.3、0.3。

2 结果与分析

2.1 贝壳珍珠质颜色比较

选育组每个家系的 L*值均低于对照组, 选育组的 L*介于 42.05~53.99, 对照组的 L*介于 55.15~58.55; 选育组每个家系 dE*均高于对照组, 选育组的 dE*介于 46.36~58.73, 对照组的 dE*介于 42.56~45.25(表 1)。选育组与对照组差异极显著($P<0.01$), 选育组明度 L*比对照组低 17.16%, 饱和度 C*高于对照组 20.20%, 色差值 dE*高于对照组 22.56%(表 1)。

选育组左侧贝壳珍珠质层颜色参数 L*从前端至后端数值逐渐减小, 三者之间差异显著($P<0.05$); 颜色参数 C*从前端至后端数值逐渐增大, 后端显著高于前端和中端($P<0.05$), 前端和中端差异不显著($P>0.05$); 颜色参数 dE*从前端至后端数值逐渐增大, 三者之间差异显著($P<0.05$)(表 2)。对照组左侧贝壳珍珠质层颜色参数 L*、dE*, 前端与中端、后端差异显著($P<0.05$), 颜色参数 C*, 前端、中端和后端差异不显著($P>0.05$)。选育组左侧贝壳珍珠质层前端颜色最浅, 与对照组后端颜色最深处无显著差异($P>0.05$), 两组右侧贝壳珍珠质层颜色参数变化规律与左侧相同, 贝壳左右相同位置的各颜色参数无显著差异($P>0.05$)(表 2)。

表 1 三角帆蚌贝壳珍珠质颜色参数的描述统计
Tab. 1 Descriptive statistics of shell nacre color parameters of *Hyriopsis cumingii*

家系 family	L*	C*	dE*
B1	43.07±4.93 ^{ab}	7.45±1.54 ^{d^{ef}}	57.55±4.94 ^k
B2	42.05±4.50 ^a	7.70±1.66 ^{ef}	58.73±4.36 ^k
B3	45.01±5.23 ^{bc}	6.87±1.65 ^{bcde}	55.39±5.24 ^h
B4	46.49±4.30 ^{cd}	7.51±1.76 ^{def}	54.21±4.33 ^{gh}
B5	45.68±5.59 ^{cd}	8.14±3.22 ^f	55.28±5.57 ^h
B6	45.72±4.58 ^{cd}	6.94±1.68 ^{bcde}	54.88±4.48 ^h
B7	46.61±5.16 ^{cd}	6.95±1.81 ^{bcde}	54.08±5.14 ^{gh}
B8	44.55±4.12 ^{bc}	7.40±2.01 ^{def}	56.17±4.14 ^{hi}
B9	44.82±3.61 ^{bc}	7.30±1.79 ^{cdef}	55.89±3.55 ^{hi}
B10	48.84±4.29 ^{de}	6.84±1.97 ^{bcde}	51.71±4.35 ^f
B11	53.99±3.88 ^{ij}	6.05±1.38 ^b	46.36±3.91 ^{bc}
B12	50.04±5.00 ^g	6.79±1.69 ^{bcde}	50.59±5.05 ^{ef}
B13	51.89±4.91 ^{gh}	6.65±2.19 ^{bcd}	48.81±4.93 ^{de}
B14	52.91±4.56 ^{hi}	7.25±1.82 ^{cdef}	47.89±4.61 ^{cd}
B15	47.82±4.45 ^{de}	7.25±1.65 ^{cdef}	52.59±4.43 ^{fg}
C1	57.59±2.68 ^k	4.75±1.62 ^a	42.75±2.76 ^a
C2	55.15±3.75 ^j	6.61±1.67 ^{bcd}	45.25±3.76 ^b
C3	58.55±3.45 ^k	6.45±1.94 ^{bc}	42.56±3.47 ^a
BM	47.30±3.57 ^A	7.14±0.50 ^B	53.34±3.61 ^B
CM	57.10±1.75 ^B	5.94±1.03 ^A	43.52±1.50 ^A

注: 同一列不同小写字母表示颜色参数差异显著($P<0.05$); 同一列不同大写字母表示颜色参数差异极显著($P<0.01$). BM: 选育组均值; CM: 对照组均值。

Note: Different lowercase letters in the same column mean significant difference($P<0.05$); different uppercase letters in the same column mean extremely significant difference($P<0.01$). BM: means of breeding groups; CM: means of the control groups.

表 2 三角帆蚌左右贝壳珍珠质颜色参数的描述统计
Tab. 2 Descriptive statistics of left and right shell nacre color parameters of *Hyriopsis cumingii*

分组 group	位置 position	左壳色 left shell color			右壳色 right shell color		
		L*	C*	dE*	L*	C*	dE*
选育组 breeding group	F	55.87±2.96 ^c	5.33±0.81 ^a	44.52±2.91 ^a	56.37±2.84 ^c	5.40±1.07 ^a	44.05±2.73 ^a
	S	47.53±3.36 ^b	5.92±0.63 ^a	52.94±3.39 ^b	45.62±3.86 ^b	6.33±1.00 ^a	54.90±3.89 ^b
	T	40.30±5.54 ^a	10.13±1.72 ^b	60.77±5.60 ^c	38.09±6.65 ^a	9.73±2.38 ^b	62.87±6.93 ^c
对照组 control group	F	60.25±0.40 ^b	5.72±1.81 ^a	40.38±0.45 ^a	60.90±1.28 ^b	6.29±1.56 ^a	39.81±1.12 ^a
	S	56.06±2.94 ^a	6.66±0.80 ^a	44.62±2.57 ^b	53.08±4.05 ^a	7.28±0.97 ^a	47.69±3.82 ^b
	T	57.42±2.59 ^a	4.60±1.02 ^a	43.01±2.58 ^b	54.87±1.55 ^a	5.06±0.68 ^a	45.60±1.30 ^b

注: F、S、T 分别表示蚌壳的前端、中端、后端 3 个位置。不同小写字母表示同列数据差异显著($P<0.05$)。

Note: F, S, T represent the front end, middle end and back end of the shell. Different lowercase letters mean significant difference within the same column ($P<0.05$).

2.2 选育组与对照组表型值比较

由表 3 可知, 选育组和对照组各生长性状差异显著($P<0.05$), 壳长、壳高、壳宽、体重分别高于对照组 12.30%、9.95%、8.60%、36.34%。选育组各家系在生长性能方面与对照组均存在显著性差异($P<0.05$), 仅有 B8、B9、B14 三个家系在壳高与壳

宽方面与对照组差异不显著($P>0.05$)。综合各生长参数及平均值分析比较, 确认选育组 B2、B3、B4、B5、B6、B10、B11、B13、B15 选育效果较好。

2.3 选育组各家系生长性状的 Kung 育种值及综合评定值比较

选育组各家系的珍珠质层颜色参数与生长性

表 3 三角帆蚌选育组和对照组生长性状的统计
Tab. 3 Descriptive statistics of growth traits of *Hyriopsis cumingii*

家系 family	壳长/cm shell length	壳高/cm shell height	壳宽/cm shell width	体重/g body weight
B1	7.94±0.46 ^d	4.02±0.32 ^f	1.83±0.14 ^{def}	37.31±6.44 ^{cd}
B2	8.40±0.44 ^e	4.21±0.68 ^h	2.00±0.15 ⁱ	46.69±7.81 ⁱ
B3	8.11±0.49 ^{de}	4.20±0.32 ^h	1.81±0.19 ^{de}	40.36±7.19 ^{ef}
B4	8.42±0.39 ^e	3.97±0.21 ^{ef}	1.96±0.13 ⁱ	44.02±6.57 ^b
B5	8.30±0.50 ^{fg}	3.96±0.32 ^{ef}	1.91±0.15 ^h	43.98±7.73 ^b
B6	8.13±0.57 ^{ef}	4.33±0.36 ⁱ	1.85±0.15 ^{efg}	41.37±6.98 ^{fg}
B7	7.77±0.44 ^c	3.75±0.24 ^b	1.79±0.12 ^{cd}	35.36±6.02 ^{bc}
B8	7.58±0.38 ^b	3.57±0.24 ^a	1.74±0.13 ^{bc}	34.68±5.32 ^b
B9	7.62±0.45 ^{bc}	3.83±0.26 ^{bcd}	1.69±0.12 ^a	34.51±5.92 ^b
B10	7.63±0.48 ^{bc}	3.76±0.21 ^{bc}	1.84±0.12 ^{defg}	38.18±6.82 ^{de}
B11	8.07±0.37 ^{de}	3.94±0.23 ^{def}	1.81±0.13 ^{de}	41.16±6.25 ^{fg}
B12	7.67±0.45 ^{bc}	3.76±0.22 ^{bc}	1.87±0.17 ^{fgh}	38.16±6.76 ^{de}
B13	8.35±0.49 ^e	3.94±0.32 ^{def}	1.89±0.13 ^{gh}	43.03±7.36 ^{gh}
B14	7.65±0.37 ^{bc}	3.75±0.19 ^b	1.70±0.10 ^{ab}	35.13±4.74 ^{bc}
B15	8.24±0.74 ^{ef}	3.88±0.25 ^{cde}	1.84±0.14 ^{defg}	41.67±7.18 ^{fgh}
CM	7.12±0.36 ^a	3.57±0.24 ^a	1.69±0.11 ^a	29.12±4.11 ^a

注: 同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。B: 选育组; CM: 对照组均值。

Note: Different lowercase letters in the same column means significant difference ($P<0.05$). B: breeding group; CM: means of the control groups.

状的 Kung 育种值和综合评定值见表 4。选育组珍珠质层颜色综合评定值顺序由高到低依次为: B2、B5、B1、B8、B9、B4、B3、B6、BM, 以上 8 个家系整体珍珠质层色质较优; 选育组家系按照-L*和 dE*的育种值大小各自进行排序, 结果显示两者大于均值的家系的排列顺序相同, 并均包含上述 8 个家系。生长性状综合评定值顺序由高到低依次为: B2、B4、B5、B13、B15、B6、B11、B3、BM, 以上 8 个家系综合评定值明显高于其他家系, 整体具有一定生长优势; 生长性状 Kung 育种值结果显示, 高于单独性状平均育种值的家系, 几乎全部包含在综合评定值家系中, 只是在壳宽方面 B10、壳高方面 B1 高于平均育种值。

2.4 珠质层颜色参数与生长性状相关性分析

选育组三角帆蚌贝壳珍珠质层颜色参数与生长性状相关性分析见表 5。壳长与壳宽呈极显著正相关($P<0.01$), 壳长、壳高、壳宽与体重之间呈极显著正相关($P<0.01$), 其中壳长与体重之间相关程度最大。选育组贝壳珍珠质层颜色各参数与生长性状之间的相关系数均小于 0.3, 表明两性状之间相关程度极弱。L*与 C*、dE*呈极显著负

相关($P<0.01$), 且与 dE*数值相关性较大; C*数值与 dE*呈极显著正相关($P<0.01$)。L*数值与 C*极显著负相关($P<0.01$), 与 dE*呈极显著负相关($P<0.01$); C*与 dE*呈极显著正相关($P<0.01$)。

3 讨论

3.1 贝类选择育种的重要性

选择育种是以孟德尔遗传规律和数量遗传学理论为依据, 结合实践发展起来的经典的良种培育技术。将生物具有经济价值的表现型定向繁育, 积累、加强与扩大生物体优良性状的变异遗传, 降低无育种价值的基因频率^[13-14], 最终达到育成新品系和新品种等目的^[15-16]。海水贝类的遗传改良已取得明显效果, 例如, Wada 等^[17-19]对日本马氏珠母贝的选育结果表明, 选择育种对提高贝类生长速度、贝壳白色珍珠质的频率以及增加壳厚指数有显著影响。张国范等^[20]成功培育出“中科红”海湾扇贝(*Argopecten irradians irradians*), 邓岳文等^[21]建立了马氏珠母贝选系 F₂, 其平均壳长显著大于对照群体。三角帆蚌是中国最主要的淡水育珠蚌, 本课题组针对因珍珠质量较低而引起

表 4 三角帆蚌选育组各家系生长指标的 Kung 育种值及综合评定值

Tab. 4 Kung values and the comprehensive evaluation values of the families in breeding group of *Hyriopsis cumingii*

家系 family	Kung 育种值 Kung breeding value							综合评定值 P _i	
	明度 L*	饱和度 C*	色差值 dE*	壳长 shell length	壳高 shell height	壳宽 shell width	体重 body weight	壳色 shell color	生长 growth trait
B1	43.24	7.36	57.38	7.93	4.01	1.83	37.35	0.391	0.073
B2	42.26	7.53	58.51	8.38	4.20	1.99	46.25	0.441	0.252
B3	45.10	6.95	55.31	8.10	4.18	1.81	40.24	0.290	0.120
B4	46.52	7.40	54.18	8.40	3.97	1.95	43.71	0.326	0.204
B5	45.74	7.84	55.20	8.28	3.96	1.91	43.68	0.424	0.195
B6	45.78	7.00	54.82	8.12	4.31	1.84	41.2	0.281	0.142
B7	46.64	7.01	54.05	7.77	3.76	1.79	35.49	0.262	0.038
B8	44.66	7.32	56.06	7.59	3.58	1.74	34.84	0.354	0.017
B9	44.92	7.25	55.79	7.62	3.83	1.70	34.68	0.337	0.003
B10	48.78	6.93	51.78	7.64	3.76	1.84	38.17	0.199	0.083
B11	53.72	6.38	46.64	8.06	3.94	1.81	41.00	0	0.133
B12	49.93	6.90	50.70	7.68	3.76	1.87	38.16	0.169	0.089
B13	51.71	6.80	48.99	8.33	3.94	1.88	42.78	0.119	0.178
B14	52.69	7.22	48.11	7.66	3.85	1.72	35.21	0.202	0.015
B15	47.80	7.22	52.62	8.23	3.88	1.84	41.49	0.265	0.148
BM	47.30	7.14	53.34	7.99	3.93	1.83	39.62	0.271	0.113

表 5 三角帆蚌贝壳珍珠质层颜色参数与生长性状间的 Pearson 相关系数

Tab. 5 Spearman correlation coefficients between color parameters and growth traits from *Hyriopsis cumingii*

	壳长 shell length	壳高 shell height	壳宽 shell width	体重 body weight	明度 L*	饱和度 C*	色差值 dE*
壳长 shell length	1	0.607**	0.670**	0.830**	-0.048	0.008	0.047
壳高 shell height		1	0.488**	0.584**	-0.094**	-0.019	0.088**
壳宽 shell width			1	0.794**	-0.018	0.028	0.018
体重 body weight				1	-0.012	0.01	0.011
明度 L*					1	-0.395**	-0.996**
饱和度 C*						1	0.463**
色差值 dE*							1

注: **表示在 0.01 水平上显著相关。

Note: ** means significant correlation at 0.01 level.

的产量与经济价值不平衡问题, 以壳色、体重为目的性状进行了选育, 结果显示, F₅ 紫色三角帆蚌的壳色以及生长性状与对照组差异极显著($P < 0.01$)。

3.2 选育组与对照组珍珠质层颜色和生长性状的差异

在贝壳珍珠质层颜色的测量中, 本研究采用的是 CIE L*、a*、b* 色度系统^[22], 能使贝壳珍珠质层颜色的描述数据化, 解决了目视法对颜色笼统定性描述的缺陷, 减少了人为判别所造成的统计误差。本研究选育组贝壳珍珠质层颜色参数的

结果表明, 选育组与对照组有显著差异($P < 0.05$), 选育组 L* 比对照组低 17.16%, C* 高于对照组 20.20%, dE* 高于对照组 22.56%, 表明选育组颜色更深且更丰富。有报道指出, 海湾扇贝的 4 个亚种, 除北部亚种上下壳色成多态性外, 其余 3 个亚种, 仅上贝壳的外部具有橙色、棕色、紫色等多种颜色, 下贝壳为白色^[23]。本研究结果表明, 三角帆蚌选育组与对照组左右贝壳珍珠质层颜色均无显著差异($P > 0.05$), 表明左右贝壳珍珠质层颜色相同。贝壳前端至后端 L* 数值逐渐减小, C*

从前端至后端数值逐渐增大, dE^* 从前端至后端数值逐渐增大, 表明前端贝壳珍珠质层颜色选育效果最差, 中端次之, 后端最好。通过生长性状比较发现选育组各个生长性状均显著高于对照组, 具有明显的生长优势。

3.3 Kung 育种值和综合评定值在家系选择中的作用

育种值是亲本选择的基础, 育种值估计是水产生动物选择育种的重要内容之一^[24]。对于家系的综合评定公式, 综合评定的指标及这些指标的权重系数 K_0 值影响到综合评定值 P_i 。当各指标育种值排序出现交叉时, 若基于综合考虑, P_i 值的排序将最终决定家系的去留; 若只考虑某个指标, 则各家系以该指标育种值大的作为留选对象^[25]。本研究中评定壳色所用的指标为 L^* 、 C^* 、 dE^* , 3 个指标的综合评定值能很好地表示壳色变化, 权重系数分别取为 0.3、0.3 和 0.4。其中, L^* 值越小, 表明颜色越深; C^* 值越大表示颜色强度越强, 越小表示颜色越弱; 色差值 dE^* 越大, 色彩就越丰富。结合各颜色参数的育种值以及综合评定值, 最终确定 B1、B2、B3、B4、B5、B6、B8、B9 家系贝壳珍珠颜色最优。生长指标中, 壳长与体重呈正相关, 壳宽与珍珠圆度呈正相关, 体重与珍珠的产量和粒径呈正相关^[9-10], 能很好指示三角帆蚌生长性能及育珠性能, 权重系数分别取为 0.4、0.3、0.3。结合各生长指标育种值以及综合评定值, 最终确定 B2、B3、B4、B5、B6、B10、B13、B15 家系生长性状最优。综合颜色值和各生长指标结果表明, 家系 B2、B3、B4、B5、B6 不仅贝壳珍珠颜色紫色较深, 且各生长性状均具有较强优势, 可作为选育与推广的材料。单纯的家系选育会增加近交系数, 提高近交衰退率, 在选育中还要结合个体选育, 可从颜色参数以及生长性状育种值都较高的家系中选择颜色较好且生长较快的个体作为补充选育群体, 降低近交衰退率。

3.4 壳色与生长性状相关性研究

贝类选育工作中, 需要选择简便、准确、相关性强的性状指标作为判断标准, 方能生产实践过程中起到良好的效果^[26]。以壳色与生长性状

作为育种目标, 考虑其可操作性以及实用性, 通过测量生长性状, 间接反映贝壳壳色变化情况, 更具有可取性, 所以判断壳色与生长性状是否存在相关性及相关性紧密程度具有重要意义。海湾扇贝的壳色与生长性状间有密切的联系, 可以通过质量性状和数量性状的协同选择, 培育出既美观又生长快的海湾扇贝特色品种^[27]。本研究发现, 三角帆蚌选育系, 内壳珍珠质层颜色各参数与生长性状之间相关系数均小于 0.3, 表明两者相关性较低, 无法通过选育生长性状间接选择壳色, 结果与王照旗等^[28]研究结果相同。选育组 L^* 、 C^* 与 dE^* 之间呈极显著负相关, 且 L^* 与 dE^* 相关程度较强, 可通过 L^* 值来判断壳色色差值变化情况, 但对于颜色饱和度变化情况反映效果稍差。选育组壳长与壳高、壳宽、体重之间呈显著正相关, 分别为 0.607、0.701、0.871, 可通过测量壳长性状来反映个体生长情况, 此结果与 Jin 等^[29]研究结果一致。

三角帆蚌壳色及生长性状属于中高等遗传潜力^[28], 通过选育能够获得良好的遗传效果。研究表明, 三角帆蚌良种选育工作取得了一定的成果, 在贝壳珍珠质层颜色与生长性能方面均有显著提高, 对于珍珠颜色的纯化以及产量的提升将有巨大的促进作用。

参考文献:

- [1] Liu Y Y, Zhang W Z, Wang Y X, et al. Freshwater Mollusk Economic Fauna of China[M]. Beijing: Science Press, 1979.[刘月英, 张文珍, 王跃先, 等. 中国经济动物志-淡水软体动物[M]. 北京: 科学出版社, 1979]
- [2] Li J L, Li Y S. Aquaculture in China-freshwater pearl culture[J]. World Aquacult, 2009, 40(1): 60-62.
- [3] Song Z H, Yu X H, Zhang X H. Analysis on various factors influencing the quality of cultured pearl[J]. Journal of Gems and Gemmology, 2001, 3(1): 18-21. [宋中华, 喻学惠, 章西焕. 养殖珍珠质量影响因素分析[J]. 宝石和宝石学杂志, 2001, 3(1): 18-21.]
- [4] Southgate P C, Lucas J. The Pearl Oyster[M]. Amsterdam: Elsevier Science, 2008: 273-302.
- [5] Liu Y. The effect of donor *Hyriopsis cumingii* on the quality of pearls[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2013. [刘越. 三角帆蚌供片蚌对珍珠质量的影响[D]. 上海: 上

- 海海洋大学, 2013.]
- [6] 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.
- [7] Zhu W B. Study of the effect of two shell nacre colors on the color of pearls produced by *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[D]. 上海: 上海海洋大学, 2011.]
- [8] 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.
- [9] 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位的关系[J]. 中国水产科学, 2008, 15(3): 493-499.]
- [10] Gu Z F, Feng S H, Hai W. Contribution of donor and host oysters to the cultured pearl colour in *Pinctada martensii*[J]. Aquacult Res, 2014, 45(7): 1126-1132.
- [11] Liu N J. Quantitative Genetics in Plants[M]. Haikou: Hot Work Institute Press, 1985. [刘乃见. 数量遗传学[M]. 海口: 热作学院出版社, 1985.]
- [12] Gu L C, Li J B, Yu D H, et al. Establishment and genetic analysis of complete diallel cross families of pearl oyster (*Pinctada fucata*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2010, 34(1): 26-31. [古龙春, 李金碧, 喻达辉, 等. 合浦珠母贝双列杂交的建立与遗传分析[J]. 水产学报, 2010, 34(1): 26-31.]
- [13] Wada K T. Aquaculture genetics of bivalve mollusks: A review[J]. Journal of Ocean University of Qingdao: Natural Science, 2000, 30(1): 107-114. [Wada K T. 双壳类软体动物的水产遗传学研究进展[J]. 青岛海洋大学学报: 自然科学版, 2000, 30(1): 107-114.]
- [14] Zhu H P, Lu M X, Huang Z H, et al. Genetic improvement in fish: A review[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(1): 168-181. [朱华平, 卢迈新, 黄樟翰, 等. 鱼类遗传改良研究综述[J]. 中国水产科学, 2010, 17(1): 168-181.]
- [15] Osborne R. The use of sire and dam family averages in increasing the efficiency of selective breeding under a hierarchical mating system[J]. Heredity, 1957, 11: 93-116.
- [16] Gjedrem T, Baranski M. Selective Breeding in Aquaculture: An Introduction[M]. Norway: Springer, 2009.
- [17] Wada K T. Breeding study of the pearl oyster, *Pinctada fucata*[J]. Bull Natl Res Inst Aquacult, 1984(6): 79-157.
- [18] Wada K T. Genetic selection for shell traits in the Japanese pearl oyster, *Pinctada fucata martensii*[J]. Aquaculture, 1986, 57(1-4): 171-176.
- [19] Wada K T, Komaru A. Effect of selection for shell coloration on growth rate and mortality in the Japanese pearl oyster, *Pinctada fucata martensii*[J]. Aquaculture, 1994, 125(1-2): 59-65.
- [20] Zhang G F, Liu S X, Liu X, et al. Self-fertilization family establishment and its depression in bay scallop *Argopecten irradians*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2003, 10(6): 441-551. [张国范, 刘述锡, 刘晓, 等. 海湾扇贝自交家系的建立和自交效应[J]. 中国水产科学, 2003, 10(6): 441-551.]
- [21] 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): 26-29. [邓岳文, 符韶, 杜晓东, 等. 马氏珠母贝选系 F_2 早期选择反应和现实遗传力估计[J]. 广东海洋大学学报, 2008, 28(4): 26-29.]
- [22] Hunt, R. The specification of colour appearance. I. Concepts and terms[J]. Color Res Appl, 1977, 2(2): 55-68.
- [23] Clarke A H. The scallop superspecies *Aequipecten irradians* (Lamarck)[J]. Malacologia, 1965, 2(2): 161-188.
- [24] Luan S, Kong J, Wang Q Y. Methods and application of aquatic animal breeding value estimation: A review[J]. Marine Fisheries Research, 2008, 29(3): 101-107. [栾生, 孔杰, 王清印. 水产动物育种值估计方法及其应用的研究进展[J]. 海洋水产研究, 2008, 29(3): 101-107.]
- [25] 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. [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.]
- [26] Wang A M, Shi Y H, Zhou Z G. Morphological trait parameters and their correlations of the first generation from matings and crosses of geographical populations of *Pinctada martensii* (Dunker)[J]. Marine Fisheries Research, 2004, 25(3): 39-45. [王爱民, 石耀华, 周志刚. 马氏珠母贝不同地理种群内自繁和种群间杂交子一代形态性状参数及相关性分析[J]. 海洋水产研究, 2004, 25(3): 39-45.]
- [27] Zheng H P, Xu F, Zhang G F, et al. Relationships between shell colors and quantitative traits in the bay scallop, *Ar-*

- gopecten irradians irradians* (Lamarck, 1819)[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2008, 39(4): 328–333. [郑怀平, 许飞, 张国范, 等. 海湾扇贝壳色与数量性状之间的关系[J]. *海洋与湖沼*, 2008, 39(4): 328–333.]
- [28] Wang Z Q, Han X K, Bai Z Y, et al. 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[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2014, 38(5): 644–650. [王照旗, 韩学凯, 白志毅, 等. 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[J]. *水产学报*, 2014, 38(5): 644–650.]
- [29] Jin W, Bai Z Y, Fu L L, et al. Genetic analysis of early growth traits of the triangle shell mussel, *Hyriopsis Cumingii*, as an insight for potential genetic improvement to pearl quality and yield[J]. *Aquacult Int*, 2012, 20(5): 927–933.

Evaluation of shell color and growth traits for F₅ of the freshwater pearl mussel

WU Leiming¹, BAI Zhiyi^{1,2}, LIU Xiaojun^{1,2}, LI Qingqing¹, YIN Hao¹, LI Jiale^{1,2}

1. Key Laboratory of Freshwater Aquatic Genetic Resources, Ministry of Agriculture; Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
2. Shanghai Engineering Research Center of Aquaculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract: Two wild populations of the freshwater pearl mussel, *Hyriopsis cumingii*, from Poyang Lake and Dongting Lake were selected as the base populations for breeding. The purple *H. cumingii* was included for its objective traits of purple shell nacre and a large body mass. To evaluate the effects of five generations of selection on *H. cumingii*, offspring families were established in the breeding group with the selected line and the control group with the ordinary population as parents. Comparisons were made of the shell nacre color (with CIELAB colorimetric measurements) and the growth traits of the two groups. The shell nacre color of the breeding group was deeper and richer than that of the control group. L*, C*, and dE* of the breeding group were significantly different from those of the control group ($P < 0.01$), being 17.13% lower, 20.55% higher, and 22.56% higher than those of the control group, respectively. -L* and dE* gradually increased from the front to the back of the organism, indicating that the shell nacre color deepened gradually, whereas it did not change significantly in the control groups. The color parameters did not differ significantly at the same positions on the mussel shell ($P > 0.05$). The differences in the growth traits of the two groups were also highly significant ($P < 0.01$), and the shell length, shell height, shell width, and bodyweight of the breeding group were 12.30%, 9.95%, 8.60%, and 36.34% higher than those of the control group, respectively. A combined analysis of the shell nacre color parameters and the growth traits showed that B3, B2, B4, B5, and B6 displayed superior color and growth traits, and can be used for the further development of the stock. The correlation indices between the shell nacre color and growth traits were low, so that growth traits cannot be indirectly selected based on the shell nacre color. This study identified some offspring families with superior purple shell nacre or superior growth traits, and extends our research into germplasm resources for breeding of *H. cumingii*.

Key words: *Hyriopsis cumingii*; shell nacre color; growth trait; breeding value

Corresponding author: LI Jiale. E-mail: jlli2009@126.com