

## 三角帆蚌生长性状和内壳色与所产无核珍珠质量的相关性分析

李清清<sup>1,2</sup>, 白志毅<sup>1,2</sup>, 刘晓军<sup>1,2</sup>, 韩学凯<sup>1,2</sup>,  
罗红瑞<sup>1,2</sup>, 董绍建<sup>1,2</sup>, 李家乐<sup>1,2,3\*</sup>

- (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;
3. 上海海洋大学上海市高校水产养殖学 E-研究院, 上海 201306)

**摘要:** 为了研究供片蚌和育珠蚌对无核珍珠质量的影响,以三角帆蚌紫色选育系 F<sub>5</sub> 为材料,在插植无核珍珠前,测量了供片蚌和育珠蚌的壳长、壳高、壳宽、体质量等生长性状,检测了供片蚌内壳色颜色参数  $L$ 、 $a$ 、 $b$ 、 $dE$ 。经过 18 个月育珠,测量了育珠蚌的壳长、壳高、壳宽、体质量,计算其特定生长率,检测了育珠蚌内壳色颜色参数  $L$ 、 $a$ 、 $b$ 、 $dE$ ,测量了育珠蚌所产无核珍珠的颜色、大小、圆度、光泽和产珠量。结果发现,供片蚌生长性状与所产无核珍珠大小、圆度和产珠量相关性不显著 ( $P > 0.05$ )。供片蚌内壳色与无核珍珠颜色相关性极显著 ( $r = -0.400 \sim -0.376, P < 0.01$ ),供片蚌  $dE$  值越大所产紫色珍珠比例越高、 $dE$  值越小所产白色珍珠比例越高。育珠蚌特定生长率与所产无核珍珠大小、光泽和产珠量相关性极显著 ( $r = 0.237 \sim 0.516, P < 0.01$ ),相关程度为体重 > 壳长 > 壳宽 > 壳高,育珠蚌特定生长率与所产无核珍珠圆度相关性极显著 ( $r = -0.284 \sim -0.256, P < 0.01$ ),相关程度为壳长 > 体质量 > 壳宽 > 壳高。育珠蚌内壳色与所产无核珍珠颜色、大小、圆度、光泽和产珠量相关性不显著 ( $P > 0.05$ )。综合各性状相关性分析,改良供片蚌内壳色可以改良珍珠颜色,改良育珠蚌的生长性状可以改良珍珠大小、光泽、圆度和产珠量。

**关键词:** 三角帆蚌; 生长性状; 内壳色; 珍珠质量; 相关性

**中图分类号:** S 966.16

**文献标志码:** A

三角帆蚌 (*Hyriopsis cumingii*) 是我国最重要的淡水珍珠蚌,世界上 90% 以上淡水珍珠是由三角帆蚌培育<sup>[1-3]</sup>。淡水无核珍珠质量参差不齐,珠宝级珍珠价格是普通珍珠的几十倍甚至上百倍<sup>[4]</sup>。评价珍珠质量的指标包括颜色、重量、大小、形状、光泽和光洁度等。只有全面改良各个珍珠质量指标,才能显著提高珠宝级珍珠的比例和产量。另外无核珍珠养殖周期较长,至少需要 3 年,直接用育珠性能作为选育性状大大降低了选育效率。三角帆蚌育种工作可提高珍珠质量,进而显著提高珍珠养殖效果,近年来,三角帆蚌种质

评价和遗传改良工作已有报道<sup>[5-10]</sup>,确定选育性状是选育三角帆蚌新品种的关键。因此,评价三角帆蚌生物学性状与珍珠质量的相关性,以三角帆蚌生物学性状为选育性状,可提高育种工作效率。

研究表明,三角帆蚌中供片蚌的内壳色对珍珠颜色有显著性影响<sup>[11]</sup>,育珠蚌体质量与珍珠产量显著相关<sup>[12]</sup>。在海水珍珠贝中,供片贝内壳色对珍珠颜色有影响,育珠贝生长性状对珍珠层厚度、光泽等性状有影响<sup>[13-16]</sup>。珍珠形成需要供片蚌、育珠蚌的共同参与。因此,研究供片蚌及育珠

收稿日期:2015-03-29 修回日期:2015-05-26

资助项目:国家自然科学基金(31272657);国家科技支撑计划(2012BAD26B04);水产动物遗传育种中心上海市协同创新中心(ZF1206)

通信作者:李家乐,E-mail:jlli@shou.edu.cn

蚌对珍珠质量的影响,对提高珍珠质量具有重要的意义。本实验以经连续选育5代的三角帆蚌紫色选育系  $F_5$  作为育珠蚌和供片蚌,一对一进行无核珍珠插植手术,分析供片蚌、育珠蚌生长性状和内壳色与珍珠质量性状的相关性,定量研究供片蚌、育珠蚌对珍珠质量的影响,以期为培育优质珍珠和三角帆蚌紫色选育系进一步的遗传改良提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验蚌

2013年6月,从三角帆蚌紫色选育系  $F_5$  中随机选取2000个作为供片蚌和育珠蚌,每种各1000个。用激光雕刻机(上海成静实业发展有限公司)在蚌壳上进行标记,供片蚌标记为  $D_1 \sim D_{1000}$ ,育珠蚌标记为  $H_1 \sim H_{1000}$ 。一个供片蚌对一个育珠蚌进行无核插植手术,每个育珠蚌左右各插12颗小片,共24颗。插片手术由一个制片工人和两个插片工人完成。将插片后的1000个育珠蚌用网箱(40 cm × 40 cm × 10 cm)吊养于2668 m<sup>2</sup>池塘中,每个网箱中养殖8个育珠蚌,吊养于离水面40 cm深处。育珠期间,做好施肥、日常管理等工作。经过18个月育珠后,随机选取500个育珠蚌取珠。

### 1.2 数据测量

插片手术前,测量供片蚌和育珠蚌的壳长、壳高、壳宽和体质量。供片蚌取完小片后,去除内脏团,测量壳重和内壳色颜色。取珠时,测量育珠蚌的壳长、壳高、壳宽、体质量和内壳色颜色。测量每颗珍珠的最大直径、最小直径以及每个育珠蚌的产珠量。用 Lovibond - RT200 表面色度计(Lovibond,英国)测量珍珠颜色,根据三刺激值XYZ(CIE1931)按图1的区域将珍珠颜色分为紫色、粉色、黄色和白色4个色系。珍珠光泽分为强、中、弱3个等级分别赋值为2、1、0。壳长、壳高、壳宽和珍珠直径用数显游标卡尺测量,精确到0.01 mm。体质量、壳重和产珠重量用电子天平称量,精确到0.01 g。供片蚌、育珠蚌内壳色颜色用 Lovibond - RT200 表面色度计测量,测量参数为  $L$ 、 $a$ 、 $b$ 。 $L$ 为明度, $L > 0$  颜色偏白, $L < 0$  颜色偏黑; $a > 0$  时颜色偏红, $a < 0$  时颜色偏绿; $b > 0$  时颜色偏黄, $b < 0$  时颜色偏蓝。

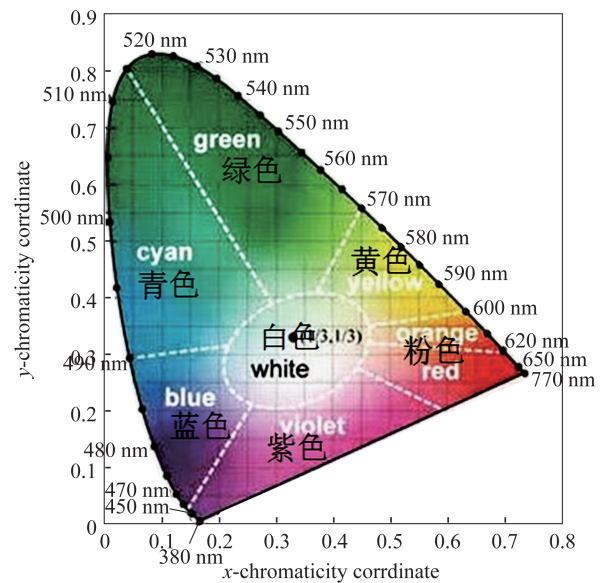


图1 Lovibond - RT200 表面色度计颜色区域图  
Fig.1 Color area graphs from Lovibond - RT200 surface colorimeter

### 1.3 数据整理和统计分析

评价珍珠质量的指标选用颜色、大小、圆度、光泽和产珠量,珍珠大小用珍珠最大直径表示,圆度用直径差百分比  $X$  表示, $X$  越小表示珍珠越圆。根据每颗珍珠的颜色,计算出每个育珠蚌中紫色、粉色、黄色和白色珍珠的百分比。光泽用每个育珠蚌中所有珍珠光泽等级所赋予的值之和表示。色差  $dE$  表示样品颜色与标准白之间的色差值。

$$X = [(d_{\max} - d_{\min}) / \bar{d}] \times 100$$

式中, $d_{\max}$ 为最大直径, $d_{\min}$ 为最小直径, $\bar{d} = (d_{\max} + d_{\min}) / 2$ 。

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

式中, $L = L_1 - L_0$ ,  $a = a_1 - a_0$ ,  $b = b_1 - b_0$ 。 $L_1$ 、 $a_1$ 和  $b_1$  分别是内壳色的颜色参数, $L_0$ 、 $a_0$ 和  $b_0$  为标准白样品的颜色参数。

育珠蚌的特定生长率(SGR,%/d)计算公式:

$$SGR(H) = 100(\ln W_2 - \ln W_1) / t$$

式中, $H$ 代表壳长、壳高、壳宽和体质量四个生长性状, $W_1$ 为插片前育珠蚌初始的壳长(cm)、壳高(cm)、壳宽(cm)和体质量(g); $W_2$ 为取珠时的对应值; $t$ 为实验持续时间(d)。

所有统计分析均用 SPSS 18.0 完成。先用非

参数检验中单样本  $K-S$  检验对各组数据进行正态性检验,结果表明各组数据均服从正态分布 ( $P > 0.05$ )。然后用 Pearson 法检验两组数据间的相关性, $P < 0.05$  视为相关性显著, $P < 0.01$  视为相关性极显著。

## 2 结果

### 2.1 珍珠各性状描述性统计及各性状间相关性分析

500 个育珠蚌共收获 11 321 颗珍珠。各颜色珍珠中,紫色珍珠的比例最高为 51.79%,白色珍珠的比例最低为 4.12% (表 1)。紫色珍珠、粉色珍珠、黄色珍珠、白色珍珠之间极显著负相关 ( $r = -0.450 \sim -0.262, P < 0.01$ );紫色珍珠与珍珠最长直径 ( $r = 0.128, P < 0.01$ )、直径差 ( $r = -0.143, P < 0.01$ )、光泽 ( $r = 0.165, P < 0.01$ ) 和产珠量 ( $r = 0.173, P < 0.01$ ) 极显著相关,紫色珍珠比例越高,珍珠越大、越圆、光泽越好、产珠量越高;黄色珍珠与珍珠最长直径 ( $r = -0.117, P < 0.01$ )、直径差 ( $r = 0.185, P < 0.01$ )、光泽 ( $r = -0.178, P < 0.01$ ) 和产珠量 ( $r = -0.157, P < 0.01$ ) 极显著相关,三角帆蚌所产黄色珍珠比例越高,珍珠越小、越不规则、光泽越差、产珠量越低;粉色珍珠和白色珍珠与最大直径、直径差、光泽和产珠量相关性不显著 ( $P > 0.05$ );产珠量与最大直径 ( $r = 0.820, P < 0.01$ )、直径差 ( $r = -0.381, P < 0.01$ ) 和光泽 ( $r = 0.459, P < 0.01$ ) 极显著相关 (表 2)。

### 2.2 供片蚌生长性状和内壳色与珍珠各性状相关性分析

供片蚌生长性状与珍珠颜色、大小、圆度和产珠量相关性不显著 ( $P > 0.05$ );供片蚌内壳色颜色参数与珍珠颜色相关性极显著 ( $r = -0.400 \sim 0.376, P < 0.01$ ),紫色、粉色、黄色、白色珍珠与  $dE$  值的相关逐渐由正相关变为负相关,与明度  $L$  的相关逐渐由负相关变为正相关,具体表现为  $dE$  值越大紫色珍珠比例越高、白色珍珠比例越低, $dE$  值越小紫色珍珠比例越低、白色珍珠比例越高;供片蚌  $dE$  值 ( $r = -0.120, P < 0.01$ ) 和明度  $L$  ( $r = 0.118, P < 0.01$ ) 与直径差相关性极显著,供片蚌  $dE$  值越大,直径差越小,珍珠越圆;供片蚌内壳色颜色参数与珍珠大小、光泽、产珠量相关性不显著 ( $P > 0.05$ ) (表 3)。

表 1 珍珠各性状的描述性统计结果

Tab. 1 Descriptive statistics of pearls parameters

指标 items	样本数 number of samples	均值 mean	标准差 standard deviation	极大值 maximum value	极小值 minimum value
紫色珍珠/% purple pearl percent	500	51.79	0.98	100.00	0.00
粉色珍珠/% pink pearl percent	500	29.22	2.37	100.00	0.00
黄色珍珠/% yellow pearl percent	500	14.87	1.02	100.00	0.00
白色珍珠/% white pearl percent	500	4.12	1.03	100.00	0.00
最长直径/mm pearl diameter	500	3.19	0.39	4.38	2.18
直径差 pearl diameter difference percent	500	39.37	15.31	128.00	7.07
光泽 luster	500	36.56	4.63	48.00	0.00
产珠量/g pearl yield	500	0.63	0.29	1.89	0.13

### 2.3 育珠蚌生长性状和内壳色与珍珠各性状相关性分析

育珠蚌生长性状初始值与珍珠光泽显著正相关 ( $r = 0.097 \sim 0.149, P < 0.01$ ),与珍珠直径差显著负相关 ( $r = -0.309 \sim -0.125, P < 0.01$ );育珠蚌壳长 ( $r = 0.113, P < 0.01$ )、体质量 ( $r = 0.130, P < 0.01$ ) 初始值与产珠量显著正相关;育珠蚌生长性状初始值与珍珠颜色、珍珠大小相关性不显著 ( $P > 0.05$ );育珠蚌特定生长率与紫色珍珠呈显著正相关 ( $r = 0.163 \sim 0.201, P < 0.01$ ),与粉色珍珠相关性不显著 ( $P > 0.05$ ),与黄色珍珠和白色珍珠显著负相关 ( $r = -0.159 \sim -0.102, P < 0.01$ ),育珠蚌生长越快,产紫色珍珠比例更高、产白色珍珠比例更低;育珠蚌特定生长率与珍珠最大直径、光泽和产珠量呈极显著正相关 ( $r = 0.237 \sim 0.516, P < 0.01$ ),相关性强度依次为体质量 > 壳长 > 壳宽 > 壳高;育珠蚌特定生长率与直径差相关性极显著 ( $r = -0.284 \sim -0.256, P < 0.01$ ),相关程度为壳长 > 体质量 > 壳宽 > 壳高;育珠蚌内壳色对珍珠性状相关性不显著 ( $P > 0.05$ ) (表 4)。

表 2 珍珠各性状间相关系数  
Tab. 2 Pearson correlation coefficient of all pearl traits

指标 items	粉色珍珠 pink pearl percent	黄色珍珠 yellow pearl percent	白色珍珠 white pearl percent	最长直径 pearl diameter	直径差 pearl diameter difference percent	光泽 luster	产珠量 pearl yield
紫色珍珠 purple pearl percent	-0.278 **	-0.450 **	-0.262 **	0.128 **	-0.143 **	0.165 **	0.173 **
粉色珍珠 pink pearl percent		-0.386 **	-0.335 **	0.015	-0.087	0.025	0.056
黄色珍珠 yellow pearl percent			-0.266 **	-0.117 **	0.185 **	-0.178 **	-0.157 **
白色珍珠 white pearl percent				-0.022	0.042	0.001	-0.073
最长直径 pearl diameter					-0.048	0.310 **	0.820 **
直径差 pearl diameter difference percent						-0.385 **	-0.381 **
光泽 luster							0.459 **

注: \* 表示在 0.05 水平上显著, \*\* 表示在 0.01 水平上显著

Notes: \* indicate significance at 0.05, \*\* indicate significance at 0.01

表 3 珍珠质量与供片蚌生长性状和内壳色相关系数  
Tab. 3 Pearson correlation coefficient between quality parameters of pearls and growth traits  
and inner shell color of donor mussels

指标 items	壳长 shell length	壳高 shell height	壳宽 shell width	体质量 body weight	壳重 shell weight	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>dE</i>
紫色珍珠 purple pearl percent	0.022	0.01	-0.09	0.00	-0.02	-0.246 **	0.376 **	0.256 **	0.250 **
粉色珍珠 pink pearl percent	0.088	0.099 *	0.104 *	0.081	0.054	-0.043	0.263 **	0.264 **	0.035
黄色珍珠 yellow pearl percent	-0.014	-0.039	-0.078	-0.023	0.014	0.139 **	-0.246 **	-0.189 **	-0.143 **
白色珍珠 white pearl percent	-0.102 *	-0.060	-0.010	-0.058	-0.049	0.159 **	-0.400 **	-0.365 **	-0.150 **
最长直径 pearl diameter	-0.010	0.003	0.014	-0.010	0.012	0.035	-0.027	-0.004	-0.037
直径差 pearl diameter difference percent	0.047	-0.004	0.013	0.006	0.096	0.118 **	-0.096 *	-0.125 **	-0.120 **
光泽 luster	0.064	0.112 *	0.155 **	0.095 *	0.047	0.020	0.017	-0.024	-0.014
产珠量 pearl yield	-0.013	0.019	0.029	0.016	-0.014	-0.029	0.026	0.045	0.027

注: \* 表示在 0.05 水平上显著, \*\* 表示在 0.01 水平上显著。

Notes: \* indicate significance at 0.05, \*\* indicate significance at 0.01

表 4 珍珠质量与育珠蚌生长性状和内壳色相关系数  
 Tab. 4 Pearson correlation coefficient between quality parameters of pearls and growth traits and inner shell color of host mussels

指标 items	育珠蚌初始值 initial value of host mussels				育珠蚌特定生长率 SGR of host mussels				<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>dE</i>
	壳长 shell length	壳高 shell height	壳宽 shell width	体质量 body weight	壳长 shell length	壳高 shell height	壳宽 shell width	体质量 body weight				
	紫色珍珠 purple pearl percent	0.071	0.016	0.067	0.074	0.201 **	0.174 **	0.163 **				
粉色珍珠 pink pearl percent	0.077	0.096 *	0.024	0.069	0.068	0.057	0.067	0.069	-0.041	0.019	0.032	0.033
黄色珍珠 yellow pearl percent	-0.073	-0.110 *	-0.099 *	-0.124 **	-0.139 **	-0.105 *	-0.111 *	-0.102 *	0.000	-0.019	-0.009	0.005
白色珍珠 white pearl percent	-0.016	0.018	0.025	-0.005	-0.146 **	-0.149 **	-0.130 **	-0.159 **	-0.005	-0.048	0.010	0.002
最长直径 pearl diameter	0.009	0.044	-0.043	0.013	0.438 **	0.322 **	0.371 **	0.446 **	-0.002	0.145 **	-0.022	0.007
直径差 pearl diame- ter difference percent	-0.293 **	-0.125 **	-0.265 **	-0.309 **	-0.284 **	-0.256 **	-0.257 **	-0.275 **	-0.100 *	-0.085 *	-0.020	0.086 *
光泽 luster	0.129 **	0.148 **	0.097 *	0.126 **	0.321 **	0.237 **	0.281 **	0.335 **	0.095 *	0.099 *	-0.012	-0.084 *
产珠量 pearl yield	0.113 **	0.077	0.081	0.130 **	0.513 **	0.375 **	0.412 **	0.516 **	0.032	0.190 **	-0.005	-0.021

注: \* 表示在 0.05 水平上显著, \*\* 表示在 0.01 水平上显著

Notes: \* indicate significance at 0.05, \*\* indicate significance at 0.01

### 3 讨论

选育三角帆蚌的主要目的是为了获得价值高的优质珍珠。本研究通过一个供片蚌对应一个育珠蚌进行无核珍珠植入手术,所产的每颗珍珠都可以追踪到供片蚌和育珠蚌来源,能准确分析供片蚌和育珠蚌与珍珠质量的相关性,定量研究供片蚌和育珠蚌对珍珠质量的影响。各珍珠性状之间相关性分析表明各颜色珍珠之间存在显著负相关,当一种颜色珍珠比例较高时,另外 3 种颜色珍珠相应减少。紫色珍珠比例与珍珠最大直径、直径差、光泽和产珠量相关性显著,紫色珍珠比例越高,珍珠越大、越圆、光泽越好、产珠量越高,同时,紫色珍珠比例是 4 种颜色珍珠比例中最高,为 51.79%,说明三角帆蚌紫色选育系所产紫色珍珠是 4 种颜色珍珠中产量最大、质量最好。在选育

过程中,定向选育产紫色珍珠比例高的三角帆蚌用来培育珍珠,可提高珍珠养殖效益。黄色珍珠比例与珍珠最大直径、直径差、光泽和产珠量相关性显著,黄色珍珠比例越高,珍珠越小、越不规则、光泽越差、产珠量越低,黄色珍珠质量最差,在养殖过程中应降低黄色珍珠比例。产珠量与珍珠大小相关性最强,相关系数为 0.820,表明珍珠规格大的育珠蚌产珠量也增加。海水珍珠贝中研究表明珍珠质沉积速率快,珍珠等级、表面光洁度更好,但珍珠光泽可能会更差<sup>[17]</sup>。在本研究中,产珠量与光泽为显著正相关,产珠量高时珍珠光泽也更好,原因可能是由于人工定向选育内壳色为紫色,经过几代选育的紫色选育系改良了三角帆蚌的育珠性能,或者珍珠光泽与养殖环境有关,具体原因还有待进一步研究。

本研究中采用色度计对供片蚌内壳色进行参

数量化。珍珠颜色在软件 Lovibond RT Colour V3.0 的成像系统中以散点图形式在色度图上显示出来,可准确而直观地对珍珠颜色进行分类。评价供片蚌内壳色与珍珠性状相关程度,进而定量研究供片蚌内壳色对珍珠质量的影响,结果表明供片蚌内壳色颜色参数与4种颜色珍珠均显著相关,供片蚌内壳色对珍珠颜色具有显著性影响。珍珠颜色紫色、粉色、黄色、白色与  $dE$  值的相关性由正相关逐渐变成负相关,表明供片蚌  $dE$  值越大所产紫色珍珠比例越高, $dE$  值越小所产白色珍珠比例越高,供片蚌  $dE$  和明度  $L$  对珍珠颜色深浅程度具有影响。插核时,以供片蚌  $dE$  值作为选育性状,可以有效提高珍珠目的颜色的比例。朱文彬<sup>[11]</sup>采用一个育珠蚌中左右两壳插植不同颜色小片,结果表明不同颜色小片对所产无核珍珠颜色具有显著性影响。在马氏珠母贝 (*Pinctada martensii*) 研究中也发现供片蚌内壳色颜色参数与珍珠颜色显著相关<sup>[18]</sup>,另外在其他一些海水珍珠贝中同样发现供片蚌内壳色对珍珠颜色具有显著性影响<sup>[13-16]</sup>。本研究中,供片蚌内壳色颜色参数与珍珠直径差百分比显著相关,供片蚌  $dE$  值越大,直径差越小,珍珠越圆,表明供片蚌内壳色对珍珠圆度有影响。供片蚌内壳色颜色参数与珍珠最大直径、光泽和产珠量相关性不显著,表明供片蚌内壳色对珍珠大小、光泽和产珠量影响不明显。供片蚌生长性状与珍珠大小、圆度和产珠量相关性不显著,表明供片蚌生长性状对珍珠质量无显著影响,在插片时对供片蚌的生长性状无特殊的要求。因此,供片蚌内壳色对珍珠颜色有显著性影响,以供片蚌内壳色作为选育指标,可以有效改良珍珠颜色。

育珠蚌特定生长率与紫色珍珠呈显著正相关性,与黄色珍珠和白色珍珠呈显著负相关,说明紫色选育系  $F_5$  中育珠蚌生长越快所产紫色珍珠比例越大、黄色和白色珍珠比例越小。育珠蚌特定生长率与珍珠大小、光泽和产珠量显著正相关,相关强度为体重 > 壳长 > 壳宽 > 壳高,体质量生长快的个体所产珍珠规格更大、光泽更好、产珠量越大,通过对育珠蚌体重的改良,可以改良无核珍珠的大小、光泽和产珠量。育珠蚌特定生长率与珍珠直径差为显著负相关,相关强度为壳长 > 体重 > 壳宽 > 壳高,育珠蚌生长越快,直径差越小,珍珠越圆。白志毅等<sup>[15]</sup>研究表明,三角帆蚌生长性

状对珍珠质量具有显著影响,以体质量和壳宽作为育珠蚌的选育性状可有效提高珍珠质量。Wada 等<sup>[13]</sup>和王庆恒等<sup>[19]</sup>研究表明,马氏珠母贝生长性状对珍珠质量具有显著性影响。育珠蚌初始生长性状与珍珠圆度、光泽和产珠量具相关性显著,其中体质量初始值与其相关性最强,在插片时,应选择体重初始值较大的作为育珠蚌,所产无核珍珠更圆、产珠量更高。育珠蚌内壳色与珍珠性状相关性不显著。因此,育珠蚌的特定生长率对珍珠质量具有显著性影响,育珠蚌内壳色对珍珠质量无明显影响。综合各个性状间的相关性,育珠蚌体质量最能代表育珠性能,在育种实践中可采取比较容易测量的体质量作为育珠蚌的选育性状。对育珠蚌体重进行改良,可以对珍珠大小、光泽、圆度和产珠量达到改良效果。

综合供片蚌、育珠蚌的生长性状和内壳色对珍珠性状的相关性分析,供片蚌内壳色对珍珠颜色有影响,育珠蚌生长性状对珍珠大小、圆度、光泽和产珠量有影响。从分子水平上对具有分泌珍珠质功能的珍珠囊的研究,也发现珍珠形成过程中供片蚌和育珠蚌的矿化基因均有表达,但表达量有差异<sup>[20-24]</sup>。在制定育种计划时,应根据供片蚌和育珠蚌制定不同的选育性状,以供片蚌内壳色、育珠蚌体质量作为选育性状,预期可获得优质的目的颜色珍珠。当然珍珠形成是供片蚌和育珠蚌的一个复杂相互作用过程,影响珍珠质量的因素还有很多,环境条件<sup>[25]</sup>、插片工艺<sup>[26,27]</sup>、养殖模式<sup>[28]</sup>等因素都会影响珍珠质量。在将来,应进一步深入研究供片蚌和育珠蚌对珍珠质量影响的因素和机制,以及估计供片蚌和育珠蚌分别对珍珠性状的遗传效应。

#### 参考文献:

- [1] Li J L, Li Y S. Aquaculture in China—Freshwater pearl culture [J]. World Aquaculture, 2009, 40 (1): 60-62.
- [2] Hua D, Gu R. Freshwater pearl culture and production in China [J]. Aquaculture Asia, 2002, 7 (1): 6-8.
- [3] Li J L, Qian R H, Bao B L, et al. RAPD analysis on genetic diversity among the stocks of *Hyriopsis cumingii* from the five large lakes of China [J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2005, 14 (1): 1-5. [李家乐, 钱荣华, 鲍宝龙, 等. 中国五大湖三角帆蚌遗传多样性的 RAPD 分析. 上海水产

- 大学学报,2005,14(1):1-5.]
- [4] Gen N Y, Li L P, Wang G. Grading and price reporting system of cultured pearls [J]. *Journal of Gems and gemmology*, 2012, 14(2):47-52. [耿宁一,李立平,王刚. 养殖珍珠的分级和报价体系. 宝石与宝石学杂志, 2012, 14(2):47-52.]
- [5] Li J L, Wang G L, Bai Z Y. Genetic variability in four wild and two farmed stocks of the Chinese freshwater pearl mussel (*Hyriopsis cumingii*) estimated by microsatellite DNA markers [J]. *Aquaculture*, 2009, 287(3-4):286-291.
- [6] Li J L, Wang G L, Bai Z Y. Genetic diversity of freshwater pearl mussel (*Hyriopsis cumingii*) in populations from the five largest lakes in China revealed by inter-simple sequence repeat (ISSR) [J]. *Aquaculture International*, 2009, 17(4):323-330.
- [7] 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]. *Aquaculture International*, 2012, 20(5):927-933.
- [8] Jin W, Bai Z Y, Fu L L, et al. Genetic parameters 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,白志毅,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.]
- [9] 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. 水产学报, 2014, 38(5):644-650.]
- [10] Li J L, Bai Z Y. A new specie of freshwater culture-kangle clam [J]. *China Fisheries*, 2007(10):44-45. [李家乐,白志毅. 淡水养殖新品种——康乐蚌. 中国水产, 2007(10):44-45.]
- [11] 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. 上海:上海海洋大学, 2011.]
- [12] 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.]
- [13] Wada K T, 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 fucatomartensii* (Dunker) [J]. *Aquaculture*, 1996, 142(1-2):25-32.
- [14] Tayale A, Gueguen Y, Treguier C, et al. Evidence of donor effect on cultured pearl quality from a duplicated grafting experiment on *Pinctada margaritifera* using wild donors [J]. *Aquat Living Resour*, 2012, 25:269-280.
- [15] 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.
- [16] Ky C L, Blay C, Sham-Koua M, et al. Indirect improvement of pearl grade and shape in farmed *Pinctada margaritifera* by donor "oyster" selection for green pearls [J]. *Aquaculture*, 2014, 432:154-162.
- [17] Blay C, Sham-Koua M, Vonau V, et al. Influence of nacre deposition rate on cultured pearl grade and colour in the black lipped pearl oyster *Pinctada margaritifera* using farmed donor families [J]. *Aquaculture International*, 2014, 22(2):937-953.
- [18] Gu Z F, Huang F, Wang H, et al. Contribution of donor and host oysters to the cultured pearl colour in *Pinctada martensii* [J]. *Aquaculture Research*, 2014, 45:1126-1132.
- [19] 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.]
- [20] Arnaud-Haond S, Goyard E, Vonau V, et al. Pearl formation: persistence of the graft during the entire process of biomineralization [J]. *Marine Biotechnology*, 2007, 9(1):113-116.

- [21] Cochennec-Laureau N, Montagnani C, Saulnier D, *et al.* A histological examination of grafting success in pearl oyster *Pinctada margaritifera* in French Polynesia [J]. Aquatic Living Resources, 2010, 23 (1):131 – 140.
- [22] Inoue N, Ishibashi R, Ishikawa T, *et al.* Gene expression patterns and pearl formation in the Japanese pearl oyster (*Pinctada fucata*): A comparison of gene expression patterns between the pearl sac and mantle tissues [J]. Aquaculture, 2010, 308:68 – 74.
- [23] McGinty E L, Zenger K R, Taylor J U U, *et al.* Diagnostic genetic markers unravel the interplay between host and donor oyster contribution in cultured pearl formation [J]. Aquaculture, 2011, 316 (1 – 4):20 – 24.
- [24] McGinty E L, Zenger K R, Jones D B, *et al.* Transcriptome analysis of biomineralisation-related genes within the pearl sac: Host and donor oyster contribution [J]. Marine Genomics, 2012, 5:27 – 33.
- [25] Qiu A D, Shi A J. Effects of pH on nacre secretion of freshwater pearl mussel (*Hyriopsis cumingii*) [J]. Acta Zoologica Sinica, 1999, 45 (4):361 – 370. [邱安东,石安静. 不同 pH 值对三角帆蚌珍珠质分泌的影响. 动物学报, 1999, 45 (4):361 – 370.]
- [26] Ky C L, Nakasai S, Molinari N, *et al.* Influence of grafter skill and season on cultured pearl shape, circles and rejects in *Pinctada margaritifera* aquaculture in Mangareva lagoon [J]. Aquaculture, 2012, 435:361 – 370
- [27] Huang W H, Shen Z H, Tong J M, *et al.* Effects of mantle piece dealed with different methods on the nucleated pearl cultivation [J]. Journal of Zhejiang Ocean University: Natural Science, 2007, 26 (4): 410 – 412. [黄惟灏,沈智华,童建民,等. 育珠细胞小片擦片方式对有核珍珠影响的试验. 浙江海洋学院学报:自然科学版, 2007, 26 (4):410 – 412.]
- [28] Zhao Y C, Bai Z Y, Fu L L, *et al.* Comparison of growth and pearl production in males and females of the freshwater mussel, *Hyriopsis cumingii*, in China [J]. Aquaculture International, 2013, 21 (6): 1301 – 1310.



## Correlation analysis of non-nucleated pearl quality parameters with growth traits and inner shell color of *Hyriopsis cumingii*

LI Qingqing<sup>1,2</sup>, BAI Zhiyi<sup>1,2</sup>, LIU Xiaojun<sup>1,2</sup>, HAN Xuekai<sup>1,2</sup>,  
LUO Hongrui<sup>1,2</sup>, DONG Shaojian<sup>1,2</sup>, LI Jiale<sup>1,2,3\*</sup>

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

2. Shanghai Engineering Research Center of Aquaculture, Shanghai Ocean University,  
Shanghai 201306, China;

3. E-Institute of Shanghai Universities, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** In order to study the effect of donor and host mussels on the quality of non-nucleated pearls in freshwater pearl mussel (*Hyriopsis cumingii*), the purple strain F<sub>5</sub> of *H. cumingii* was chosen as materials. Before grafting the saibos into mantles, the growth traits (shell length, shell height, shell width and body weight) of donor and host mussels were respectively recorded, and the inner shell color parameters including *L*, *a*, *b*, *dE* of donor mussels were measured. At the 18th month after grafting, the specific growth rate and inner shell color of the host mussels were measured. Besides, the color, size, roundness, luster and weight of pearls were noted. The results showed that there was no significant correlation with the growth traits of the donor mussels and the non-nucleated pearl quality ( $P > 0.05$ ), and that extremely significant correlation existed between inner shell color of the donor and pearls color ( $P < 0.01$ ). Moreover, the greater the *dE* value of the donor mussels is, the higher percentage of purple pearl the mussel can produce, whereas, a higher percentage of white pearl was yielded when *dE* value of the donor mussels turns out to be lower. Specific growth rate of the host mussels had highly significantly positive correlation with the pearl size, luster and pearl yield ( $P < 0.01$ ). The degree of correlation: body weight > shell length > shell width > shell height. Specific growth rate of the host mussels is remarkably correlated with pearl roundness ( $P < 0.01$ ). The degree of correlation: shell length > body weight > shell width > shell height. No significant correlation between the inner shell color of the host mussels and the non-nucleated pearl quality was found ( $P > 0.05$ ). In consideration of all the correlations above, it can be concluded that the pearl color is probably improved by improving the inner shell color of the donor mussels, and that non-nucleated pearl quality (size, luster, roundness, pearl yield) can be greatly enhanced by promoting growth traits of the host mussels.

**Key words:** *Hyriopsis cumingii*; growth traits; inner shell color; quality of pearl; correlation analysis

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

**Funding projects:** National Natural Science Foundation of China (31272657); National Science and Technology Support Program (2012BAD26B04); Shanghai Collaborative Innovation Center for Aquatic Animal Genetics and Breeding (ZF1206)