

## 三角帆蚌生长性状和内壳光泽度与所育有核珍珠光泽度相关性分析

李星, 吕高伦, 郭柏莹, 李家乐, 王正, 白志毅

### Correlation analysis of nucleated pearl luster with growth traits and inner shell luster of *Hyriopsis cumingii*

LI Xing, LYU Gaolun, GUO Baiying, LI Jiale, WANG Zheng, BAI Zhiyi

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12024/jsou.20220303743>

#### 您可能感兴趣的其他文章

##### Articles you may be interested in

#### 不同月龄三角帆蚌幼蚌内外壳色相关性分析

Correlation analysis between inner shell color and outer shell color of juvenile mussels at different month ages in *Hyriopsis cumingii*  
上海海洋大学学报. 2021, 30(1): 58 <https://doi.org/10.12024/jsou.20200202942>

#### 三角帆蚌所育不同颜色珍珠及其相关组织金属元素种类和含量差异分析

Analysis of metallic element types and contents in pearls of different colors and their related tissues in *Hyriopsis cumingii*  
上海海洋大学学报. 2019, 28(6): 882 <https://doi.org/10.12024/jsou.20190202615>

#### 添加类胡萝卜素对三角帆蚌总类胡萝卜素含量及贝壳珍珠质颜色的影响

Effect of dietary carotenoid on total carotenoids content and shell color in *Hyriopsis cumingii*  
上海海洋大学学报. 2018, 27(4): 477 <https://doi.org/10.12024/jsou.20171202192>

#### 三角帆蚌IGF2基因的亚细胞定位及重组蛋白促体外细胞活性分析

Subcellular localization of *IGF2* gene and analysis of recombinant protein to promote *in vitro* cellular activity in *Hyriopsis cumingii*  
上海海洋大学学报. 2022, 31(6): 1335 <https://doi.org/10.12024/jsou.20220603891>

#### 基于蛋白质组学的三角帆蚌珍珠囊形成相关免疫因子研究

Analysis of proteomic differences and immune factors between *Hyriopsis cumingii* mantle and pearl sac  
上海海洋大学学报. 2022, (2): 344 <https://doi.org/10.12024/jsou.20210603491>

文章编号: 1674-5566(2023)02-0257-09

DOI:10.12024/jsou.20220303743

## 三角帆蚌生长性状和内壳光泽度与所育有核珍珠光泽度相关性分析

李 星<sup>1</sup>, 吕高伦<sup>1</sup>, 郭柏莹<sup>1</sup>, 李家乐<sup>1,2</sup>, 王 正<sup>3</sup>, 白志毅<sup>1,2</sup>

(1. 上海海洋大学 农业农村部淡水水产种质资源重点实验室, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 上海市水产动物良种创新与绿色养殖协同中心, 上海 201306; 3. 金华市浙星珍珠商贸有限公司, 浙江 金华 321001)

**摘 要:** 为了研究三角帆蚌(*Hyriopsis cumingii*) 供片蚌和育珠蚌对有核珍珠光泽度的相对贡献, 以白蚌(内壳主体色为白色的三角帆蚌)为材料, 以壳长和外壳青色为选择性状, 设置不同选择策略, 建立 8 组三角帆蚌群体, 每组群体随机选出供片组和育珠组, 开展组合插核手术。经 18 个月培育发现: 不同育珠组合中, 供片蚌和育珠蚌同时来自 I 组选择群体的 YAA 育珠组合所育珍珠光泽度值最大, 比 YGG、YHH 产珍珠光泽度分别提高 15.46%、21.51%; 不同组供片蚌培育珍珠的光泽度差异显著, 供片蚌内壳光泽度与珍珠光泽度呈极显著正相关( $r = 0.717 \sim 0.939$ ), 建立供片组内壳光泽度和珍珠光泽度回归方程为  $y = 16.81 + 0.93x$  ( $R^2 = 0.777$ ), 供片蚌生长性状与珍珠光泽度相关性不显著; 不同组育珠蚌培育珍珠的光泽度差异显著, 但育珠蚌生长性状和内壳光泽度与珍珠光泽度不存在显著相关性。结果表明: 幼蚌期选育外壳颜色青色的三角帆蚌, 达到了提升珍珠光泽度的目标, 可作为选育产高光泽度珍珠三角帆蚌的间接性状, 供片蚌内壳光泽度与珍珠光泽度显著相关, 以其作为目标性状更优。

**关键词:** 三角帆蚌; 有核珍珠; 生长; 光泽度; 相关分析

**中图分类号:** S 917; S 966.23 **文献标志码:** A

我国淡水珍珠产业主要基于三角帆蚌(*Hyriopsis cumingii*)的人工养殖<sup>[1-2]</sup>, 如今淡水珍珠产业盈利结构已经从扩大珍珠产量转向提高高质量珍珠生产效率。在高质量珍珠价值指标中, 光泽度为衡量珍珠价值上限的指标, 珍珠的与众不同就在于它独特的光泽。在提高珍珠光泽度方面, 常采用抛光加工技术, 但这只是一种改善措施, 不能使珍珠光泽有质的突破。通过三角帆蚌选择育种计划, 提升养殖珍珠的光泽度等指标, 已成为珍珠业界青睐的质量提升策略。

近年来, 淡水有核珍珠养殖技术发展迅速, 养殖有核珍珠是由两个珍珠蚌的生物产物相互作用产生的, 这个过程使用了一块来自供片蚌外套膜组织的细胞小片, 细胞小片和一个珠核一起被植入育珠蚌内脏团等育珠部位<sup>[3]</sup>。随着时间推移, 植入的细胞小片分裂分化成珍珠囊, 并在内核上分泌连续的珍珠层, 从而生成一个有核珍

珠<sup>[4-5]</sup>。多年研究发现, 在三角帆蚌人工培育白色有核珍珠中, 外壳越青的三角帆蚌, 内壳色泽越光亮, 用来培育的珍珠光泽度更佳。供片蚌对人工养殖珍珠品质有显著的贡献<sup>[6-7]</sup>, 研究<sup>[8-11]</sup>发现有核珍珠颜色和光泽是由供片蚌提供的细胞小片决定的, 珍珠大小由育珠蚌决定<sup>[8, 12]</sup>。目前, 国内外对供片蚌和育珠蚌生物学性状与珍珠颜色、产珠量、大小等性状相关性研究较多<sup>[13-15]</sup>, 对于供片蚌和育珠蚌生物学性状与珍珠光泽度关系研究较少<sup>[16]</sup>, 三角帆蚌哪些性状影响珍珠光泽度尚不清楚。

本实验以内壳主体色为白色的三角帆蚌为材料, 以壳长和外壳青色为选择性状, 设置不同选择策略, 建立 8 组三角帆蚌群体, 每组三角帆蚌分别作为供片蚌和育珠蚌, 进行组合插珠, 分析育珠蚌和供片蚌生长性状和内壳光泽度与珍珠光泽度的相关性, 同时对不同育珠组合育出珍

收稿日期: 2022-03-01 修回日期: 2022-04-24

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD0901406); 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系项目(CARS-49); 国家自然科学基金(31872565); 上海市优秀学术带头人计划项目(19XD1421500)

作者简介: 李 星(1995—), 男, 硕士研究生, 研究方向为淡水贝类遗传育种和种苗工程。E-mail: 1075033625@qq.com

通信作者: 白志毅, E-mail: zybai@shou.edu.cn

版权所有 ©《上海海洋大学学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)

Copyright © Editorial Office of Journal of Shanghai Ocean University (CC BY-NC-ND 4.0)

<http://www.shhydx.com>

珠的光泽度进行比较,研究三角帆蚌供片蚌和育珠蚌对有核珍珠光泽度的影响,以期为开展高产光泽度珍珠三角帆蚌良种培育提供实践基础和理论依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 蚌苗繁殖与培养

2019 年 5 月,在铜陵市三角帆蚌养殖基地,选出个体较大、外壳青色、内壳主体色为白色的 200 只雌蚌与 100 只雄蚌搭配,吊养在同一池塘,进行亲本的配组繁育。定期镜检母蚌体内受精卵成熟度,选取 30 只同步成熟的母蚌进行人工采苗,使蚌苗寄生在黄颡鱼鳃上,进行黄颡鱼常规培养,鱼鳃上的蚌苗全部发育成稚蚌,开始下一阶段稚蚌的常规培养。

#### 1.2 实验蚌和插核程序

2019 年 7 月底,用 10 mm 孔径筛网从稚蚌流水池中筛选出 40 000 只优良稚蚌,均分在 400 个铺满营养泥的网箱中,网箱设置于同一池塘水面下 30 ~ 40 cm,在稚蚌养殖期间,定期调节水质和病害防治。在 5 月龄时,设置 8 种选择策略从三角帆蚌中选出 8 组群体(表 1)。以壳长(SL)和外壳青色(CN)为依次选择性状,设置 I (SL 50% × CN 20%)、II (SL 30% × CN 33%)、III (SL 20% × CN 50%)、IV (CN 50% × SL 20%)、V (CN 30% × SL 33%)、VI (CN 20% × SL 50%)综合中选率为 10% 的 6 种选择策略。同时,依照生产实际经验选择壳青且大个体,设置中选率为 10% 的(SL 10%)第 7 种选择策略 VII;随机选择 10%,设置第 8 种选择策略 VIII。将 40 000 只稚蚌均分为 8 组,8 组按对应的策略 I ~ VIII 选留出 8 组群体,每组群体 500 只三角帆蚌平均放入 5 个网箱中,放置在原池塘继续吊养。

在 14 月龄时,从 I ~ VIII 组群体中每组分别随机选择 20 只作为供片蚌 I ~ VIII 组,从 I ~ VIII 组群体中每组分别随机选择 160 只作为育珠蚌 I ~ VIII 组。8 组供片蚌与 8 组育珠蚌按图 1 所示进行一对多插核实验,开片技术员用来自每个供片组的一只蚌,制作 8 个相同规格的细胞小片,分别与一个直径 6 mm 的珠核结合再分别插入 8 只育珠蚌组中的 1 个育珠蚌内脏团部位。如供片蚌(GA1)对应育珠蚌(YAA1)、(YBA1)、(YCA1)、(YDA1)、(YEA1)、(YFA1)、(YGA1)和(YHA1)。整个插核团队由 1 位开片技术员、1 位穿核技术员和 2 位送核技术员共 4 人组成。将 1 280 只育珠蚌平均放置在 320 个网袋中,放置在原池塘 30 cm 水深位置继续吊养,18 个月后,育珠蚌 32 月龄时,剖蚌收集珍珠。收获珍珠被编号,每颗珍珠都可追溯到一对育珠组合(1 只供片蚌和 1 只育珠蚌匹配)。

		供片蚌组 Donor mussel groups							
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
育珠蚌组 Host mussel groups	I	YAA	YAB	YAC	YAD	YAE	YAF	YAG	YAH
	II	YBA	YBB	YBC	YBD	YBE	YBF	YBG	YBH
	III	YCA	YCB	YCC	YCD	YCE	YCF	YCG	YCH
	IV	YDA	YDB	YDC	YDD	YDE	YDF	YDG	YDH
	V	YEA	YEB	YEC	YED	YEE	YEF	YEG	YEH
	VI	YFA	YFB	YFC	YFD	YFE	YFF	YFG	YFH
	VII	YGA	YGB	YGC	YGD	YGE	YGF	YGG	YGH
	VIII	YHA	YHB	YHC	YHD	YHE	YHF	YHG	YHH

首字母 Y 表示育珠组合,第 2 位字母 A ~ H 表示育珠蚌 I ~ VIII 组,第 3 位字母 A ~ H 表示供片蚌 I ~ VIII 组。  
The first letter Y represents donor mussel and host mussel combinations, the second letter A - H represents the host mussel I - VIII group, and the third letter A - H represents the donor mussel I - VIII group.

图 1 插核组合示意图

Fig. 1 Diagram of grafting combination

表 1 不同策略选择组的性状排序和中选率

Tab. 1 Trait ordering and selection rate of different strategy selection groups

项目 Items	选择策略 Selection strategies															
	I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII	
排序 Ordering	第 1	第 2	第 1	第 2	第 1	第 2	第 1	第 2	第 1	第 2	第 1	第 2	无	随机		
选择性状 Selection traits	SL	CN	SL	CN	SL	CN	CN	SL	CN	SL	CN	SL	SL	CN	无	
中选率 Retention rate/%	50	20	30	33	20	50	50	20	30	33	20	50				10
综合中选率 Comprehensive retention rate/%	10		10		10		10		10		10		10		10	

注:SL 表示壳长; CN 表示外壳青色。  
Notes:SL is the shell length; CN is the green shell.

### 1.3 性状测量

制备细胞小片前,测量供片蚌大小(壳的长、宽、高)和体质量,制片后,测量供片蚌内壳光泽度;收集珍珠前,测量育珠蚌大小和体质量,收集珍珠后,测量育珠蚌内壳光泽度,最后测量珍珠的光泽度。

采用 Mitutoyo 游标卡尺,校准后测量大小,结果精确到 0.01 mm;采用电子分析天平,校准后测量体质量,结果精确到 0.01 g;采用 Novo-Curve 小孔光泽度仪测量内壳和珍珠的光泽度,按照何志然<sup>[17]</sup>描述的光泽度测量程序进行取样、干燥、检测。

### 1.4 数据处理和分析

采用 SPSS 22.0 软件对数据进行统计分析。单样本 K-S 检验对各组数据进行正态分布检验,对各组性状进行单因素方差分析(One-way ANOVA),用 Pearson 法对三角帆蚌生长性状和内

壳光泽度与珍珠光泽度进行相关性分析,并对达到显著相关水平的两组性状建立回归方程。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同策略选择组白蚌生长性状和内壳光泽度比较分析

14 月龄时,白蚌供片蚌各选择组的生长性状和内壳光泽度测定结果见表 2。壳长 I、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ组显著高于 II 组,其他组间未见显著差异;壳高Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ组显著高于 II 组,其他组间未见显著差异;壳宽Ⅳ、Ⅵ、Ⅷ组显著高于 II 组,其他组间未见显著差异;体质量 I、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ、Ⅶ组显著高于 II 组,其他组间未见显著差异;I、II、Ⅲ和Ⅴ组供片蚌内壳光泽度较优,4 组间无显著差异,其中 I 组光泽度最高,显著优于Ⅳ、Ⅵ、Ⅶ、Ⅷ组( $P < 0.05$ )。

表 2 14 月龄供片蚌生长性状和内壳光泽度

Tab.2 Growth traits and inner shell luster of donor mussel at 14 months

分组 Groups	壳长 Shell length/mm	壳高 Shell height/mm	壳宽 Shell width/mm	体质量 Body mass/g	内壳光泽度 Inner shell luster/GU
供片蚌 I 组 Donor mussel I group	109.75 ± 8.96 <sup>a</sup>	57.70 ± 5.55 <sup>ab</sup>	25.27 ± 2.67 <sup>ab</sup>	106.68 ± 26.57 <sup>a</sup>	65.57 ± 4.20 <sup>a</sup>
供片蚌 II 组 Donor mussel II group	98.62 ± 7.19 <sup>b</sup>	55.16 ± 4.85 <sup>b</sup>	23.59 ± 1.79 <sup>b</sup>	80.79 ± 16.03 <sup>b</sup>	63.77 ± 3.52 <sup>ab</sup>
供片蚌 III 组 Donor mussel III group	110.00 ± 7.62 <sup>a</sup>	60.79 ± 4.36 <sup>a</sup>	25.77 ± 1.45 <sup>ab</sup>	107.29 ± 15.53 <sup>a</sup>	63.59 ± 4.57 <sup>ab</sup>
供片蚌 IV 组 Donor mussel IV group	114.25 ± 9.74 <sup>a</sup>	61.96 ± 6.04 <sup>a</sup>	25.98 ± 2.44 <sup>a</sup>	115.63 ± 24.91 <sup>a</sup>	52.54 ± 5.96 <sup>d</sup>
供片蚌 V 组 Donor mussel V group	113.54 ± 10.62 <sup>a</sup>	61.74 ± 6.35 <sup>a</sup>	25.76 ± 2.61 <sup>ab</sup>	114.16 ± 26.69 <sup>a</sup>	61.15 ± 5.28 <sup>abc</sup>
供片蚌 VI 组 Donor mussel VI group	112.61 ± 6.65 <sup>a</sup>	62.07 ± 3.41 <sup>a</sup>	26.99 ± 2.48 <sup>a</sup>	116.48 ± 21.15 <sup>a</sup>	59.63 ± 3.82 <sup>bc</sup>
供片蚌 VII 组 Donor mussel VII group	106.64 ± 5.78 <sup>ab</sup>	59.87 ± 4.41 <sup>ab</sup>	25.49 ± 2.20 <sup>ab</sup>	103.15 ± 14.20 <sup>a</sup>	59.73 ± 6.32 <sup>bc</sup>
供片蚌 VIII 组 Donor mussel VIII group	106.59 ± 9.00 <sup>ab</sup>	58.66 ± 5.34 <sup>ab</sup>	26.23 ± 3.01 <sup>a</sup>	102.38 ± 24.70 <sup>ab</sup>	56.93 ± 7.01 <sup>cd</sup>

注:同列标有不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ ),相同字母表示各组差异不显著( $P > 0.05$ )。

Notes: Different letters in the same row indicate significant differences ( $P < 0.05$ ), while the same letters indicate insignificant differences between groups ( $P > 0.05$ ).

32 月龄时,白蚌育珠蚌各选择组的生长性状和内壳光泽度测定结果见表 3。各选择组在壳长、壳宽、体质量性状、内壳光泽度上差异不显著( $P > 0.05$ ),II 组壳高值最大,显著大于Ⅲ、Ⅶ组( $P < 0.05$ ),其他组间未见显著差异。32 月龄与 14 月龄各组三角帆蚌性状相比,8 个组的生长性状全部提高,在内壳光泽度方面,IV 组光泽度升高 12.66%,其他 7 组光泽度降低。

### 2.2 不同育珠组合所产珍珠光泽度比较分析

对 64 组育珠组合所产珍珠光泽度统计分析,结果显示, YAA 所产珍珠光泽度值最大, YDD 所产珍珠光泽度值最小。组成 YAA 的供片蚌 I 组和育珠蚌 I 组为培育高光泽珍珠最佳组

合,该组合产珍珠光泽度比 YGG、YHH 产珍珠光泽度分别提高 15.46%、21.51%,供片蚌 IV 组和育珠蚌 IV 组为培育高光泽度珍珠最差组合。同一育珠蚌组内,不同组供片蚌参与培育的珍珠在光泽度上有显著差异( $P < 0.05$ ),供片蚌 I 组参与培育的珍珠光泽度最佳,供片蚌 IV 组参与培育的珍珠光泽度最差,供片蚌 I、II、Ⅲ参与培育的珍珠光泽度优于其他各组。同一供片蚌组内,不同组育珠蚌参与培育的珍珠在光泽度上存在显著差异( $P < 0.05$ ),育珠蚌 I 组参与培育的珍珠光泽度最佳,育珠蚌 IV 组参与培育的珍珠光泽度最差(图 2)。

表 3 32 月龄育珠蚌生长性状和内壳光泽度

Tab. 3 Growth traits and inner shell luster of host mussel at 32 months

分组 Groups	壳长 Shell length/mm	壳高 Shell height/mm	壳宽 Shell width/mm	体质量 Body mass/g	内壳光泽度 Inner shell luster/GU
育珠蚌 I 组 Host mussel I group	142.05 ± 10.77 <sup>a</sup>	84.98 ± 5.92 <sup>ab</sup>	40.19 ± 4.85 <sup>a</sup>	322.00 ± 56.70 <sup>a</sup>	59.20 ± 3.34 <sup>a</sup>
育珠蚌 II 组 Host mussel II group	143.48 ± 10.10 <sup>a</sup>	85.97 ± 5.59 <sup>a</sup>	41.05 ± 4.19 <sup>a</sup>	328.74 ± 49.97 <sup>a</sup>	58.85 ± 3.08 <sup>a</sup>
育珠蚌 III 组 Host mussel III group	141.54 ± 10.36 <sup>a</sup>	84.42 ± 6.20 <sup>b</sup>	40.35 ± 4.06 <sup>a</sup>	317.77 ± 52.14 <sup>a</sup>	59.03 ± 3.01 <sup>a</sup>
育珠蚌 IV 组 Host mussel IV group	142.67 ± 9.99 <sup>a</sup>	84.90 ± 6.09 <sup>ab</sup>	40.33 ± 4.40 <sup>a</sup>	321.66 ± 51.90 <sup>a</sup>	59.44 ± 3.05 <sup>a</sup>
育珠蚌 V 组 Host mussel V group	142.44 ± 10.44 <sup>a</sup>	84.87 ± 6.20 <sup>ab</sup>	40.02 ± 4.45 <sup>a</sup>	319.74 ± 53.41 <sup>a</sup>	58.75 ± 3.11 <sup>a</sup>
育珠蚌 VI 组 Host mussel VI group	142.25 ± 10.53 <sup>a</sup>	84.60 ± 5.24 <sup>ab</sup>	40.19 ± 3.95 <sup>a</sup>	321.89 ± 49.25 <sup>a</sup>	58.88 ± 3.27 <sup>a</sup>
育珠蚌 VII 组 Host mussel VII group	141.87 ± 10.72 <sup>a</sup>	84.39 ± 5.86 <sup>b</sup>	40.63 ± 4.24 <sup>a</sup>	320.94 ± 50.68 <sup>a</sup>	59.14 ± 3.12 <sup>a</sup>
育珠蚌 VIII 组 Host mussel VIII group	142.20 ± 11.13 <sup>a</sup>	85.13 ± 6.54 <sup>ab</sup>	40.70 ± 4.56 <sup>a</sup>	324.61 ± 55.58 <sup>a</sup>	59.40 ± 3.16 <sup>a</sup>

注:同列标有不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ ),相同字母表示各组差异不显著( $P > 0.05$ )。

Notes: Different letters in the same row indicate significant differences ( $P < 0.05$ ), while the same letters indicate insignificant differences between groups ( $P > 0.05$ ).

### 2.3 供片蚌生长性状和内壳光泽度与珍珠光泽度相关性分析

由表 4 可知:VIII 组供片蚌壳长、壳宽与珍珠光泽呈显著相关性( $P < 0.05$ ),壳宽和体质量与珍珠光泽度呈极显著相关性( $P < 0.01$ );IV 组供片蚌壳宽与珍珠光泽度呈显著相关性( $P < 0.05$ );其他各组供片蚌生长性状与珍珠光泽度

不存在显著相关性( $P > 0.05$ ),各组供片蚌内壳光泽度与珍珠光泽度均极显著正相关( $r = 0.717 \sim 0.939, P < 0.01$ )。总供片蚌内壳光泽度与珍珠光泽度极显著正相关( $r = 0.882, P < 0.01$ ),内壳光泽度( $x$ )对珍珠光泽度( $y$ )的回归方程为 $y = 16.81 + 0.93x (R^2 = 0.777)$ 。

表 4 各组供片蚌生长性状和内壳光泽度与珍珠光泽度的相关系数

Tab. 4 Correlation coefficient between growth traits and inner shell luster and pearl luster of different donor mussel groups

分组 Groups	壳长 Shell length/mm	壳高 Shell height/mm	壳宽 Shell width/mm	体质量 Body mass/g	内壳光泽度 Inner shell luster/GU
供片蚌 I 组 Donor mussel I group	-0.224	-0.226	-0.294	-0.212	0.757 **
供片蚌 II 组 Donor mussel II group	-0.351	-0.158	0.141	-0.158	0.775 **
供片蚌 III 组 Donor mussel III group	-0.272	-0.419	0.028	-0.188	0.779 **
供片蚌 IV 组 Donor mussel IV group	0.320	0.346	0.446 *	0.377	0.906 **
供片蚌 V 组 Donor mussel V group	0.184	0.137	0.062	0.115	0.818 **
供片蚌 VI 组 Donor mussel VI group	0.168	0.201	0.016	0.060	0.717 **
供片蚌 VII 组 Donor mussel VII group	0.096	0.388	0.383	0.210	0.755 **
供片蚌 VIII 组 Donor mussel VIII group	0.551 *	0.449 *	0.636 **	0.631 **	0.939 **
总供片蚌 All donor mussel	0.006	0.010	0.115	0.054	0.882 **

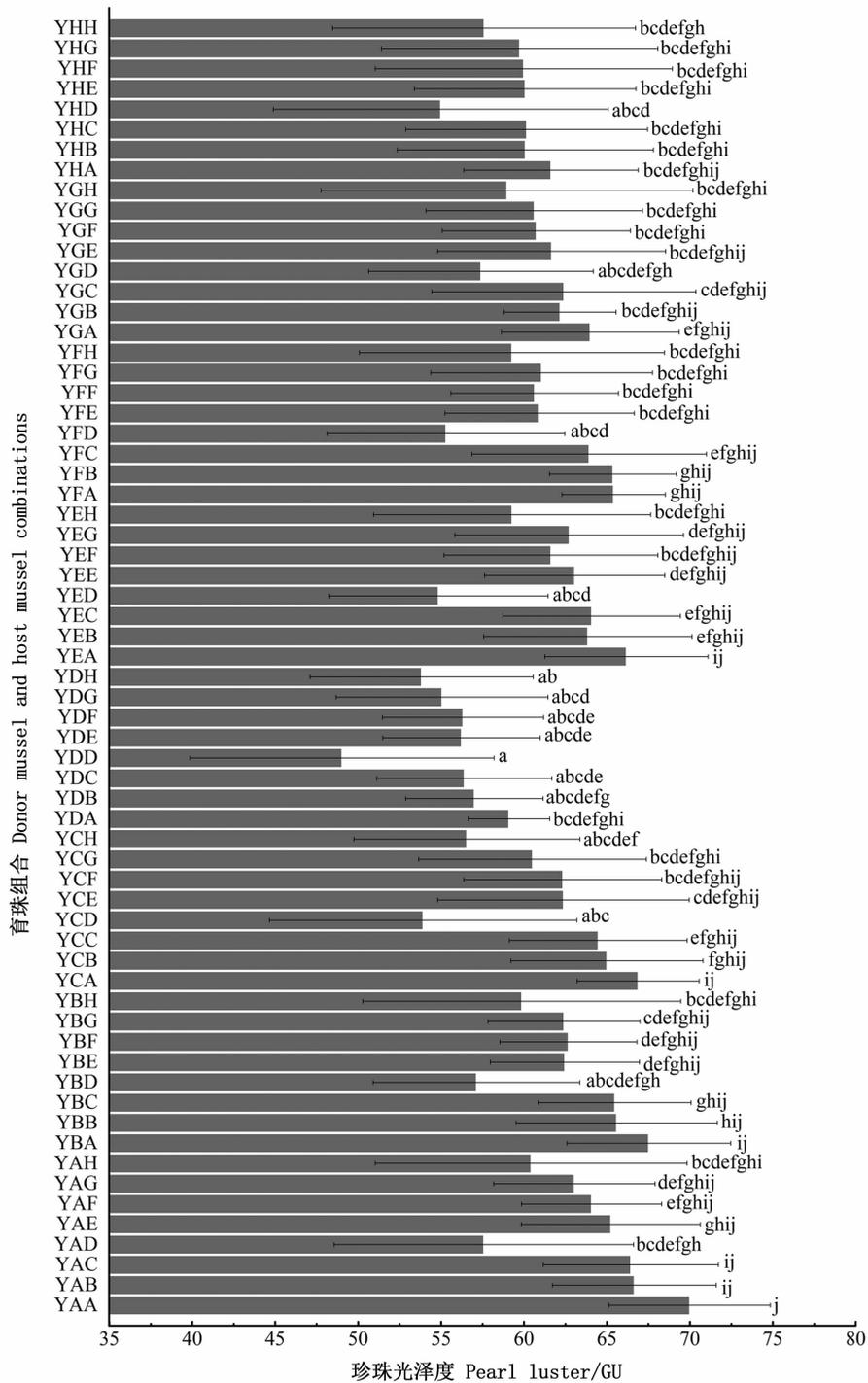
注:“\*\*”表示极显著相关( $P < 0.01$ ),“\*”表示显著相关( $P < 0.05$ )。

Notes: “\*\*”extremely significant correlation ( $P < 0.01$ ), “\*”significant correlation ( $P < 0.05$ ).

### 2.4 育珠蚌生长性状和内壳光泽度与珍珠光泽度相关性分析

由表 5 可知:各组育珠蚌的长度和质量性状与珍珠光泽度均不存在显著相关性( $P > 0.05$ )。在育珠蚌内壳光泽度与珍珠光泽度关系上,除育

珠蚌 III 组存在弱的负相关性( $r = -0.177, P < 0.05$ )外,其他各组内壳光泽度与珍珠光泽度不存在显著相关性( $P > 0.05$ ),总育珠蚌内壳光泽度与珍珠光泽度不存在显著相关性( $P > 0.05$ )。



首字母 Y 表示育珠组合,第 2 位字母 A ~ H 表示育珠蚌 I ~ VIII 组,第 3 位字母 A ~ H 代表供片蚌 I ~ VIII 组,不同小写字母之间表示差异显著。

The first letter Y represents donor mussel and host mussel combinations, the second letter A - H represents the host mussel I - VIII group, and the third letter A - H represents the donor mussel I - VIII group, different lower case letters represent significant differences.

图 2 不同育珠组合对所产有核珍珠光泽度的影响

Fig. 2 Effects of different donor mussel and host mussel combinations on the luster of cultured nuclear pearl

表5 各组育珠蚌生长性状和内壳光泽度与珍珠光泽度相关系数  
 Tab.5 Correlation coefficient between growth traits and inner shell luster  
 and pearl luster of different host mussel groups

分组 Groups	壳长 Shell length/mm	壳高 Shell height/mm	壳宽 Shell width/mm	体质量 Body mass/g	内壳光泽度 Inner shell luster/GU
育珠蚌 I 组 Host mussel I group	-0.140	-0.027	-0.072	-0.104	-0.022
育珠蚌 II 组 Host mussel II group	-0.052	-0.039	-0.006	-0.044	0.116
育珠蚌 III 组 Host mussel III group	-0.126	-0.036	-0.146	-0.078	-0.177 *
育珠蚌 IV 组 Host mussel IV group	0.020	-0.011	-0.039	-0.039	-0.006
育珠蚌 V 组 Host mussel V group	-0.084	0.032	-0.043	-0.079	0.091
育珠蚌 VI 组 Host mussel VI group	-0.020	-0.015	-0.076	-0.062	-0.147
育珠蚌 VII 组 Host mussel VII group	0.044	0.099	0.061	0.058	-0.067
育珠蚌 VIII 组 Host mussel VIII group	-0.012	-0.081	-0.014	-0.060	0.107
总育珠蚌 All host mussel	-0.045	-0.007	-0.040	-0.048	-0.029

注：“\*”表示显著相关( $P < 0.05$ )。

Notes: “\*”significant correlation ( $P < 0.05$ ).

### 3 讨论

#### 3.1 供片贝和育珠贝对所育珍珠光泽度的影响

长期以来,贝壳和珍珠光泽度的研究评价主要采用感官定性描述,通过专业的珍珠品质评估机构或专业珍珠分级评估人员按照国家珍珠分级标准对珍珠光泽度进行分级评价<sup>[10,18-19]</sup>,本研究建立一种珍珠光泽度的精准快速检测方法<sup>[16-17]</sup>,使用针对曲面物体光泽度测量的光泽度仪 Novo-Curve 进行三角帆蚌内壳和所育珍珠光泽度测量,直接使用国际光泽度单位 GU 来表示珍珠光泽度值,实现了贝壳和珍珠光泽度定量测量。建立在新的贝壳和珍珠光泽度测评方法的基础上,本研究更深入地分析了供片蚌、育珠蚌生长性状和内壳光泽度与珍珠光泽度的相关性。

通过查阅文献,尚未见关于供片贝和育珠贝内壳光泽度与所育珍珠光泽度相关性的研究,在黑蝶贝和白蝶贝<sup>[8-11]</sup>的研究中,仅说明育珠贝家系对珍珠光泽度影响较小,而供片贝家系对珍珠光泽度影响显著,但未具体说明供片贝哪个性状显著影响所育珍珠光泽度。本研究明确表明各组供片蚌内壳光泽度与珍珠光泽度均极显著正相关,育珠蚌内壳光泽度对珍珠光泽度影响不显著,与在黑蝶贝和白蝶贝中已有研究结论一致。MCGINTY 等<sup>[6,20]</sup>在分子水平上研究发现,在珍珠收获时,供片贝生物矿化基因在珍珠囊中具有转录活性,所有可检测到的生物矿化基因均在供片贝组织中表达,这表明来自供片贝外套膜组织的细胞小片在育珠贝的免疫反应中幸存下来,并主

动分泌一些必要的生物矿化蛋白来控制珍珠的形成,因此这些生物矿化蛋白由供片贝外套膜产生时也负责内壳珍珠质的形成,进一步证明供片贝内壳光泽度与所育珍珠光泽度可能存在关联。

在供片贝和育珠贝生长性状对珍珠光泽度的影响研究中,李清清等<sup>[15]</sup>发现三角帆蚌育珠蚌和供片蚌壳高、壳宽和体质量与珍珠光泽均存在显著相关性,而本研究中,供片蚌生长性状仅在少数组与所育珍珠光泽度存在相关性,育珠蚌生长性状与所产珍珠光泽度相关系数未达到显著程度。本研究培育的是有核珍珠,而李清清等<sup>[15]</sup>培育的是无核珍珠,无核珍珠在育珠蚌外套膜部位培育,外套膜组织不仅是育珠部位,更重要的是外套膜为育珠蚌贝壳生长的关键组织,外套膜组织将育珠和贝壳分泌功能融为一体;而有核珍珠在育珠蚌内脏团部位培育,育珠蚌外套膜组织专职负责贝壳分泌,内脏团和外套膜组织实现功能分工。因此,推断育珠部位差异可能是造成两个研究结果不一致的重要因素。KY 等<sup>[21]</sup>对黑蝶贝进行二次插核实验,发现供片贝和育珠贝年龄对所育珍珠光泽度存在显著影响,随着年龄增长,珍珠贝生长速度变缓,细胞的老化会导致光泽的显著下降,供片蚌提供的细胞小片老化直接影响矿化蛋白的含量,育珠贝细胞的老化降低珍珠囊代谢活动,供片贝与育珠贝相比,对珍珠光泽度影响起主要作用。供片贝和育珠贝的生长受多因素影响,因此,关于供片贝和育珠贝生长对所育珍珠光泽度的影响是非常复杂的,仍有待更深入研究。

### 3.2 提升珍珠光泽度的遗传改良策略与效果

根据上述供片贝和育珠贝对所育珍珠光泽度的影响研究,建议改良供片贝内壳光泽度可以提升所育珍珠光泽度。JERRY 等<sup>[7]</sup>评估了基于供片贝的珍珠光泽度遗传力,认为珍珠光泽度通过选择育种有改进的潜力,并且发现光泽度存在显著的基因型与环境互作效应,这表示将来供片贝高光泽系的选择育种计划结果会受环境的影响。虽然养殖环境能改变珍珠光泽<sup>[22]</sup>,但是高光泽供片蚌的培育仍是首要工作。对黑蝶贝和白蝶贝的研究发现珍珠层颜色与珍珠光泽度显著相关,高光泽珍珠中的青色珍珠比例高,对产青色珍珠供片蚌的选择可以提高高光泽珍珠的比例<sup>[19,23]</sup>。由于贝类贝壳光泽度属于内部性状,难于无损直接测量,在产高光泽度珍珠三角帆蚌选育过程中,根据多年经验发现,外壳越青的三角帆蚌,内壳色泽更加光亮,作为供片小蚌培育珍珠光泽度效果更好。本研究以壳长和外壳青色为选择性状进行复合选择实验,结果发现,在 14 月龄时,各供片蚌组在生长性状上存在显著差异,II 组生长性能表现较差,以外壳颜色青色为后选性状(SL×CN)的 I、II、III 组供片蚌内壳光泽度较优,其中 I 组光泽度最高,显著优于 IV、VI、VII(经验法)、VIII(随机法)组,说明 I 组选择策略对供片蚌内壳光泽度产生了良好选育效果。

然而,在 32 月龄育珠蚌中,除 II 组壳高值显著大于 III、VII 组外,各选择组在壳长、壳宽、体质量、内壳光泽度上差异不显著。LI 等<sup>[18]</sup>研究也发现插核手术 24 个月时育珠蚌体质量和壳重与珍珠光泽度相关性显著,36 个月时不存在显著相关性,这表明育珠时间长短对育珠蚌生长性状和珍珠光泽度有显著影响。李希<sup>[24]</sup>对池蝶蚌育珠性能分析研究发现,插核 1 年后的池蝶蚌育珠蚌比未插核的同批池蝶蚌生长性状显著降低。结合本实验中的现象,笔者认为人工育珠会改变三角帆蚌包括生长和内壳光泽度等性状特征。这说明随着养殖周期的延长,各性状差异不显著,养殖过程中多种因素的影响可能是造成该现象的原因,其中插核育珠是一个重要的影响因素<sup>[25]</sup>。

在组合育珠实验中,本研究发现来自 I 组选择群体的供片蚌和育珠蚌组合产珍珠光泽度最佳,由于 I 组选择策略对供片蚌内壳光泽度产生

了良好选育效果,本研究以三角帆蚌外壳青色为选育性状,对供片蚌内壳光泽度和所产珍珠光泽度均产生了良好的改良效果,外壳青壳色可应用于三角帆蚌选种育苗的实际生产中。由于供片蚌内壳光泽度对所育珍珠光泽度的影响显著,为了提高遗传改良效果,亟待开发三角帆蚌内壳光泽度测评方法,以内壳光泽度为目标性状进行遗传改良。

### 参考文献:

- [1] LI J L, WU X P, BAI Z Y. Freshwater pearl culture[M]// GUI J F, TANG Q S, LI Z J, et al. Aquaculture in China: Success Stories and Modern Trends. Hoboken: John Wiley & Sons, 2018: 185-196.
- [2] HUA D, GU R B. Freshwater pearl culture and production in China[J]. Aquaculture Asia, 2002, 7(1): 6-8.
- [3] JOUBERT C, PIQUEMAL D, MARIE B, et al. Transcriptome and proteome analysis of *Pinctada margaritifera* calcifying mantle and shell; focus on biomineralization [J]. BMC Genomics, 2010, 11: 613.
- [4] WEBSTER R, ANDERSON B W, BASIL W. Gems, their sources, descriptions and identification [M]. London Boston: Butterworths, 1983: 505-506.
- [5] LANDMAN N H, MIKKELSEN P M, BIELER R, et al. Pearls: a natural history[M]. New York: American Museum of Natural History and Harry N. Abrams, 2001: 32-54.
- [6] 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.
- [7] JERRY D R, Kvingedal R, Lind C E, et al. Donor-oyster derived heritability estimates and the effect of genotype × environment interaction on the production of pearl quality traits in the silver-lip pearl oyster, *Pinctada maxima* [J]. Aquaculture, 2012, 338-341: 66-71.
- [8] KY C L, BLAY C, SHAM-KOUA M, et al. Family effect on cultured pearl quality in black-lipped pearl oyster *Pinctada margaritifera* and insights for genetic improvement [J]. Aquatic Living Resources, 2013, 26(2): 133-145.
- [9] MCGINTY E L, EVANS B S, TAYLOR J U 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.
- [10] 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]. Aquatic Living Resources, 2012, 25(3): 269-280.
- [11] 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 fucata martensii* (Dunker) [J]. *Aquaculture*, 1996, 142(1/2): 25-32.
- [12] SHI Y H, WANG H, ZHAN X, et al. The influence of saibo donor and host on the nacre deposits of pearls produced from *Pinctada fucata martensii* [J]. *Journal of Shellfish Research*, 2013, 32(2): 271-274.
- [13] 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.
- 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.
- [14] 孙朝虎, 白志毅, 张朝晖, 等. 不同月龄三角帆蚌幼蚌内外壳色相关性分析 [J]. *上海海洋大学学报*, 2021, 30(1): 58-64.
- SUN C H, BAI Z Y, ZHANG C H, et al. Correlation analysis between inner shell color and outer shell color of juvenile mussels at different month ages in *Hyriopsis cumingii* [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2021, 30(1): 58-64.
- [15] 李清清, 白志毅, 刘晓军, 等. 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 [J]. *水产学报*, 2015, 39(11): 1631-1639.
- LI Q Q, BAI Z Y, LIU X J, et al. Correlation analysis of non-nucleated pearl quality parameters with growth traits and inner shell color of *Hyriopsis cumingii* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2015, 39(11): 1631-1639.
- [16] SUN T Y, HE Z R, BAI Z Y, et al. Estimates of genetic parameters and genotype-by-environment interaction for inner shell color and inner shell luster in the golden strain of the freshwater mussel *Hyriopsis cumingii* [J]. *Aquaculture Reports*, 2022, 22: 100980.
- [17] 何志然. 三角帆蚌金色品系子一代选育效果及生长和色泽性状遗传参数估计 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2020.
- HE Z R. Breeding progress and genetic parameter estimation of growth and color traits in the first generation of golden strain *Hyriopsis cumingii* [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2020.
- [18] LI Q Q, BAI Z Y, HAN X K, et al. Freshwater nucleated pearl quality is influenced by host mussel growth traits in *Hyriopsis cumingii* [J]. *Aquaculture Research*, 2017, 48(9): 4656-4665.
- [19] MCDOUGALL C, MOASE P, DEGNAN B M. Host and donor influence on pearls produced by the silver-lip pearl oyster, *Pinctada maxima* [J]. *Aquaculture*, 2016, 450: 313-320.
- [20] 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.
- [21] KY C L, DEMMER J, BLAY C, et al. Age-dependence of cultured pearl grade and colour in the black-lipped pearl oyster *Pinctada margaritifera* [J]. *Aquaculture Research*, 2017, 48(3): 955-968.
- [22] SNOW M R, PRING A, SELF P, et al. The origin of the color of pearls in iridescence from Nano-composite structures of the nacre [J]. *American Mineralogist*, 2004, 89(10): 1353-1358.
- [23] 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.
- [24] 李希. 池蝶蚌 (*Hyriopsis schlegelii*) 家系生长与育珠性状分析 [D]. 南昌: 南昌大学, 2012.
- LI X. Families growth of *Hyriopsis schlegelii* and traits analysis about pearling groups [D]. Nanchang: Nanchang University, 2012.
- [25] 杨品红, 王志陶, 于杨, 等. 育珠对三角帆蚌形态学影响的初步研究 [J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(35): 20103-20104, 20127.
- YANG P H, WANG Z T, YU Y, et al. Preliminary analysis on the morphology of *Hyriopsis cumingii* affected by pearl-bread [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2010, 38(35): 20103-20104, 20127.

## Correlation analysis of nucleated pearl luster with growth traits and inner shell luster of *Hyriopsis cumingii*

LI Xing<sup>1</sup>, LYU Gaolun<sup>1</sup>, GUO Baiying<sup>1</sup>, LI Jiale<sup>1,2</sup>, WANG Zheng<sup>3</sup>, BAI Zhiyi<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Freshwater Aquatic Genetic Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Shanghai Collaborative Innovation Center of Aquatic Animal Breeding and Green Aquaculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Zhejiang Jinhua Zhexing Pearl Trading Co., Ltd., Jinhua 321001, Zhejiang, China)

**Abstract:** Luster is the index to measure the maximum value of pearl. To study the relative contribution of *Hyriopsis cumingii* donor mussel and pearl mussel to the luster of nucleated pearls, white mussel (inner shell is white) is used as material, shell length and green shell are used as selection traits. According to different selection strategies, eight groups of *H. cumingii* populations were established. Each group was used as donor mussel and host mussel respectively for combined nuclear insertion. After 18 months of cultivation, it was found that: Among the different pearl breeding combinations, the pearl luster value of YAA pearl breeding combination from the selected population of group I was the greatest, which was 15.46% and 21.51% higher than that of YGG and YHH respectively. There was a significant difference in the luster of pearls cultivated by different groups of donor mussel. There was a very significant positive correlation between the inner shell luster of donor mussel and the luster of pearls ( $r = 0.717 - 0.939$ ). The regression equation between inner shell luster and pearl luster was established as follows:  $y = 16.81 + 0.93x$  ( $R^2 = 0.777$ ). There was no significant correlation between the growth traits of donor mussel and the pearl luster. There were also significant differences in the luster of pearls cultivated by different groups of host mussels, but there was no significant correlation between the growth traits and luster of host mussels and the luster of pearls. The above results show that the breeding of *H. cumingii* with green shell color at the juvenile mussel stage has achieved the goal of improving pearl luster, which can be regarded as an indirect trait of breeding *H. cumingii* with high luster, the inner shell luster of donor mussel is significantly correlated with pearl luster, and the inner shell luster is better as the target trait.

**Key words:** *Hyriopsis cumingii*; nucleated pearl; growth; luster; correlation analysis