



插片后珍珠蚌生长性状及其无核珍珠成珠率和大小

段胜华¹, 刘振明¹, 胡宏辉¹, 刘晓军^{1,2,3},
汪桂玲^{1,2,3*}, 李家乐^{1,2,3}

(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, 水产科学国家实验教学示范中心, 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: 为了筛选优质的珍珠蚌插片组合, 探究不同种类珍珠蚌相互插片后生长性状间的差异和相关性, 以及各组合无核珍珠成珠率和大小的差异, 利用三角帆蚌(S)、池蝶蚌(C)、康乐蚌[池蝶蚌(♀)×三角帆蚌(♂)](K)和褶纹冠蚌(Z)分别作为供片蚌和育珠蚌, 获得16个育珠蚌组合, 测量各育珠组合的体质量、壳长、壳高和壳宽, 比较16个育珠蚌组合及4个未插片的三角帆蚌、池蝶蚌、康乐蚌、褶纹冠蚌对照组在一年后的生长性状差异, 对各生长性状相关性进行分析。测量每个育珠蚌所产无核珍珠的数量和大小, 计算成珠率和圆度, 分析不同组合之间无核珍珠的差异。结果显示, 以三角帆蚌、池蝶蚌为育珠蚌的组合生长性状优于对照组, 而褶纹冠蚌为育珠蚌的组合插片后则生长受抑制。其中除了池蝶蚌同种插片组合(C-C育珠组)外, 其余各育珠组合内壳长与体质量间相关系数均高于其他生长性状间相关系数, C-C育珠组壳宽与体质量相关系数最大(0.782); 三角帆蚌、池蝶蚌、康乐蚌[池蝶蚌(♀)×三角帆蚌(♂)]同种及不同种之间的插片组合成珠率较高(98.75%~100%), 其中三角帆蚌同种插片组合(S-S育珠组)、三角帆蚌为供片蚌, 池蝶蚌为育珠蚌插片组合(S-C育珠组)和C-C育珠组插片成珠率达到100%。以三角帆蚌、池蝶蚌为育珠蚌的组合所产珍珠规格较大且珍珠较圆, 在各育珠组合内珍珠大小与直径差百分比成显著正相关。综和比较生长性状、成珠率、珍珠大小及圆度, S-S、S-C和C-C育珠组合插片后生长性能较好, 成珠率高(100%), 珍珠规格较大且珍珠较圆, 该结果为探索不同珍珠蚌生长性状相关性及其所产无核珍珠成珠率、大小的比较提供重要依据。

关键词: 珍珠蚌; 生长性状; 无核珍珠; 成珠率; 大小; 相关性

中图分类号: S966.2

文献标志码: A

三角帆蚌(*Hyriopsis cumingii*)、池蝶蚌(*Hyriopsis schlegeli*)、褶纹冠蚌(*Cristaria plicata*)及一个由国家水产原种和良种审定委员会审定的新品种—康乐蚌(Kangle clam)^[1][池蝶蚌(♀)×三角帆蚌(♂)]是我国主要的淡水育珠蚌。三角帆蚌为我国特有种, 是我国最重要的淡水育珠母蚌^[2]。池蝶蚌是从日本引进的育珠蚌, 现在主要作为生产康乐蚌的亲本。褶纹冠蚌是我国二十世纪

八十和九十年代最重要的育珠母蚌^[3], 生长很快, 但珍珠质量稍差, 现在已很少使用。我国淡水珍珠产量占世界珍珠总产量的80%以上, 但产值占世界珍珠产值的不到20%, 主要原因是优质淡水珍珠产出率低, 特别是高质量珍珠产出率更低。目前, 国内外有关海水珍珠贝和淡水珍珠蚌生长性状与它们所产珍珠质量数量性状已经开展了大量的工作^[4-11], 王爱民等^[12]通过对

收稿日期: 2019-09-20 修回日期: 2019-12-31

资助项目: 国家自然科学基金(31672654、31772835); 国家重点研发计划“蓝色粮仓科技创新”(2018YFD0901400)

通信作者: 汪桂玲, E-mail: glwang@shou.edu.cn

马氏珠母贝(*Pinctada martensi*)的选育发现,壳长、总体质量和壳重在马氏珠母贝选育过程中作为指示生长性状的主要指标,可以通过形态指标判断珍珠质量。Deng等^[13]研究发现,育珠贝壳长、壳宽和体质量等性状之间同样存在着线性关系。白志毅等^[11]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。但目前对于不同种类珍珠蚌相互插片后不同组合之间生长性状的差异研究较少,且不同组合育珠蚌所产珍珠成珠率、珍珠质量性状的对比还较少。因此,比较不同种类珍珠蚌插片后的生长性状、数量和质量,筛选优质的育珠蚌插片组合,对于培育优质珍珠具有重要意义。

本实验在前期大量研究工作的基础上,利用三角帆蚌、池蝶蚌、康乐蚌[池蝶蚌(♀)×三角帆蚌(♂)]和褶纹冠蚌分别作为供片蚌和育珠蚌,获得16个育珠母蚌组合,同时以未插片的三角帆蚌、池蝶蚌、康乐蚌[池蝶蚌(♀)×三角帆蚌(♂)]和褶纹冠蚌4组作为对照,探索不同种类育珠蚌插片后生长性状的差异,分析各生长性状间的相关性。统计各组合插片1年后无核珍珠的成珠率、大小及圆度,分析其与生长性状间的关联,为掌握珍珠蚌种质与所产无核珍珠质量和数量之间的相关性规律提供依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

实验材料来自于本团队保存的三角帆蚌(S)、池蝶蚌(C)、康乐蚌[池蝶蚌(♀)×三角帆蚌(♂)](K)和褶纹冠蚌(Z)的亲蚌。2017年5月将这批蚌进行人工配组,做好亲本相应隔离,进行亲本培育,并对4种珍珠蚌群体实施人工繁殖,在培育池中的幼蚌壳长达到1 cm后,按照常规生产操作流程出池。每个群体随机取2.4万个个体,分为160等份,每份150个个体,放入规格为30 cm×30 cm×18 cm的小网箱,挂到养蚌池进行养殖。

1.2 插 片

2018年5月,当160小网箱中的蚌达到插片规格时,挑选规格一致的蚌作为实验用蚌并测量生长性状。以三角帆蚌、池蝶蚌、康乐蚌[池蝶蚌(♀)×三角帆蚌(♂)]和褶纹冠蚌分别作为供片蚌和育珠蚌,按操作流程进行插片,插片数为20,获得了16个育珠母蚌组合,同时以未插片的

三角帆蚌、池蝶蚌、康乐蚌[池蝶蚌(♀)×三角帆蚌(♂)]和褶纹冠蚌作为对照组。将这批蚌养殖在本实验室的浙江金华武义养殖基地。

1.3 数 据 测 量

插片1年后,对16个育珠组合及4个对照组的生长性状进行测量。由于育珠蚌形态学指标之间存在较高的相关性,因此考虑到测量的可操作性和准确性,在本次研究中用壳长(mm)、壳高(mm)、壳宽(mm)和体质量(g)4个指标作为育珠蚌生长性状的测量指标。同时剖蚌取珠,对每个蚌所产珍珠进行计数,获得单蚌产珠数。使用电子测厚仪对珍珠最大直径(d_{max} , mm)与最小直径(d_{min} , mm)进行测量。

1.4 统 计 分 析

无核珍珠成珠率(%)为单蚌产珠数与插珠数量比值。

无核珍珠的最大直径(d_{max} , mm)表示珍珠的大小,无核珍珠直径差百分比 X 表示珍珠圆度,直径差百分比越小珍珠越圆。珍珠直径差百分比 $X(\%)$ 计算公式:

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

$$d = (d_{max} + d_{min})/2$$

所有统计分析均用SPSS 18.0软件完成。先用非参数检验中单样本拟合优度检验(K-S检验)对各组数据进行正态性检验,用Pearson法检验两组数据间的相关性。

2 结 果

2.1 不同育珠组合生长性状统计

对各育珠蚌组合及其对照组生长性状统计,结果显示各育珠组合生长数据均符合正态分布($P>0.05$)。以三角帆蚌为育珠蚌的4种组合与对照组相比,育珠组各性状要优于对照组且三角帆蚌同种插片组合(S-S)育珠组合生长性状最优;以池蝶蚌为育珠蚌的各组合中,三角帆蚌为供片蚌,池蝶蚌为育珠蚌插片组合(S-C)(前者为供片蚌,后者为育竹蚌,下同)、C-C育珠组合生长性状大于其他组合,Z-C及对照组生长数据最小;以褶纹冠蚌为育珠蚌的各组合生长数据均小于对照组且差异显著($P<0.05$);以康乐蚌[池蝶蚌(♀)×三角帆蚌(♂)]为育珠蚌的各组合及对照组生长性状由高到低为:C-K>K-K>K>S-K>Z-K(表1~4)。

表 1 以三角帆蚌为育珠蚌的4种组合及对照组生长性状

Tab. 1 Growth traits of four combinations and control group when *H. cumingii* was host mussel

指标 items	S-S组合 S-S group	C-S组合 C-S group	Z-S组合 Z-S group	K-S组合 K-S group	S对照 S control
壳长/mm shell length	111.98±7.05 ^b	108.82±6.01 ^a	109.93±7.41 ^a	109.32±6.61 ^a	107.69±7.87 ^a
壳高/mm shell height	59.29±4.17 ^a	58.81±3.47 ^a	61.86±3.93 ^c	59.90±4.09 ^b	58.58±4.27 ^a
壳宽/mm shell width	29.87±2.19 ^b	29.60±1.74 ^b	29.80±1.80 ^b	29.58±1.97 ^b	28.61±2.78 ^a
体质量/g body weight	138.15±23.67 ^e	126.34±18.67 ^a	135.45±24.24 ^b	131.22±20.06 ^b	121.61±28.68 ^a

注: 同行标有不同小写字母表示差异显著($P<0.05$), 相同字母表示各组间差异不显著($P>0.05$); 表中数值为平均值±标准差; 三角帆蚌(S), 池蝶蚌(C), 褶纹冠蚌(Z), 康乐蚌[池蝶蚌(♀)×三角帆蚌(♂)](K), 各组合中位于前面的为供片蚌, 位于后面为育珠蚌; 下同

Notes: Different lowercase letters in the same row indicate significant differences ($P<0.05$), while the same letters indicate insignificant differences between groups ($P>0.05$); the values in the table are mean ± standard deviation; *H. cumingii* (S), *H. schlegeli* (C), *C. plicata* (Z), Kangle clam [*H. cumingii*(♀) × *H. schlegeli*(♂)] (K), in each combination, the first is the donor mussel and the second is the host mussel; the same below

表 2 以池蝶蚌为育珠蚌的4种组合及对照组生长性状

Tab. 2 Growth traits of four combinations and control group when *H. schlegeli* was host mussel

指标 items	S-C组合 S-C group	C-C组合 C-C group	Z-C组合 Z-C group	K-C组合 K-C group	C对照 C control
壳长/mm shell length	119.01±6.59 ^c	119.68±7.51 ^c	113.77±8.87 ^a	116.74±6.74 ^b	115.62±7.96 ^a
壳高/mm shell height	61.86±4.22 ^b	61.21±3.94 ^b	58.32±5.38 ^a	61.92±3.91 ^b	59.70±4.67 ^a
壳宽/mm shell width	31.64±2.04 ^b	31.69±1.75 ^b	30.37±2.64 ^a	31.26±2.20 ^b	29.97±2.28 ^a
体质量/g body weight	152.63±22.82 ^c	151.49±21.14 ^c	137.70±30.00 ^a	143.61±22.07 ^b	132.28±24.66 ^a

表 3 以褶纹冠蚌为育珠蚌的4种组合及对照组生长性状

Tab. 3 Growth traits of four combinations and control group when *C. plicata* was host mussel

指标 items	S-Z组合 S-Z group	C-Z组合 C-Z group	Z-Z组合 Z-Z group	K-Z组合 K-Z group	Z对照 Z control
壳长/mm shell length	150.67±11.39 ^b	146.32±11.76 ^a	138.94±11.33 ^a	143.04±10.86 ^a	158.44±9.03 ^c
壳高/mm shell height	77.30±5.67 ^b	76.80±5.67 ^b	72.83±5.55 ^a	75.30±5.99 ^b	83.67±6.47 ^c
壳宽/mm shell width	42.72±3.69 ^b	41.61±3.09 ^b	39.50±3.02 ^a	40.15±2.94 ^a	44.16±2.79 ^c
体质量/g body weight	297.88±53.46 ^b	282.74±58.72 ^b	236.30±50.73 ^a	256.21±49.72 ^a	342.98±54.86 ^c

表 4 以康乐蚌[池蝶蚌(♀)×三角帆蚌(♂)]为育珠蚌的4种组合及对照组生长性状

Tab. 4 Growth traits of four combinations and control group when Kangle clam [*H. cumingii*(♀) × *H. schlegeli*(♂)] was host mussel

指标 items	S-K组合 S-K group	C-K组合 C-K group	Z-K组合 Z-K group	K-K组合 K-K group	K对照 K control
壳长/mm shell length	102.40±6.26 ^a	104.61±6.67 ^b	101.52±7.65 ^a	104.12±6.61 ^b	104.92±7.02 ^b
壳高/mm shell height	51.42±4.51 ^b	52.31±4.05 ^c	47.71±4.00 ^a	50.09±4.85 ^b	51.11±4.20 ^b
壳宽/mm shell width	28.51±2.60 ^a	29.67±2.41 ^b	28.96±2.71 ^a	29.67±2.26 ^b	28.92±2.48 ^a
体质量/g body weight	114.01±20.78 ^a	119.59±20.71 ^b	112.83±23.13 ^a	119.67±17.53 ^b	114.78±22.10 ^a

2.2 各育珠组合生长性状相关分析

各育珠组合生长性状之间相关分析结果显示, 各育珠组合及对照组生长性状之间的相关系数均达到极显著水平($P<0.01$), 所有组合中除C-C育珠组合中壳宽与体质量的相关系数最大外

(0.782), 其余组合均为壳长与体质量的相关系数最大。以三角帆蚌为育珠蚌的组合中, 除K-S育珠组外, 其余各组合生长性状间相关系数小于对照组, 且各组合中生长性状与体质量的相关系数从高到低: 壳长>壳宽>壳高。K-S育珠组生

长性状与体质量的相关系数大小为壳长>壳高>壳宽；以池蝶蚌为育珠蚌的各组合中，除了K-C育珠组合外，其余各组生长性状相关系数小于对照组。各组合中育珠组K-C与Z-C生长性状与体质量相关系数的关系为壳长>壳宽>壳高，但S-C、C-C育珠组有所差异，S-C育珠组与体质量相关系数大小为壳长>壳高>壳宽，而C-C育珠组相关系数关系为壳宽>壳长>壳高；以褶纹冠蚌为育珠蚌的各组合，K-Z、Z-Z育珠组内各生长性状间相关系数均大于对照组内对应的相关系数，S-Z、C-Z育珠组与对照组相比生长性状间相关系数大小有所差异。S-Z、C-Z育珠组生长性状与体质量相关系数由高到低为：壳长>壳宽>壳高，而K-Z、Z-Z及对照组各生长性状与体质量相关系数关系为壳长>壳高>壳宽；以康乐蚌[池

蝶蚌(♀)×三角帆蚌(♂)]为育珠蚌的各组合，S-K育珠组内生长性状相关系数均小于对照组内相应的相关系数，C-K、Z-K、K-K育珠组与对照组相比相应的相关系数大小存在差异。除S-K育珠组外，其余各育珠组合及对照组生长性状与体质量相关系数关系为壳长>壳宽>壳高。S-K育珠组壳长、壳高、壳宽与体质量相关系数关系为壳长>壳高>壳宽(表5)。

2.3 无核珍珠成珠率、大小及圆度统计

通过对比各育珠组合无核珍珠成珠率发现，以三角帆蚌、池蝶蚌、康乐蚌[池蝶蚌(♀)×三角帆蚌(♂)]三种珍珠蚌同种及异种之间的插片组合成珠率较高(98.75%~100%)，其中S-S、S-C、C-C组合成珠率达到100%，但与褶纹冠蚌

表5 各育珠组合及对照组生长性状相关系数

Tab. 5 Correlation coefficient of host mussel combinations and control groups

指标 items	壳长—壳高 shell length-shell height	壳长—壳宽 shell length-shell width	壳长—体质量 shell length-body weight	壳高—壳宽 shell height-shell width	壳高—体质量 shell height-body weight	壳宽—体质量 shell width-body weight
S-S	0.740**	0.563**	0.892**	0.426**	0.688**	0.695**
C-S	0.722**	0.558**	0.844**	0.486**	0.668**	0.745**
K-S	0.773**	0.582**	0.918**	0.460**	0.758**	0.733**
Z-S	0.736**	0.455**	0.846**	0.364**	0.709**	0.740**
S	0.770**	0.714**	0.909**	0.631**	0.754**	0.898**
S-C	0.694**	0.565**	0.892**	0.388**	0.687**	0.654**
C-C	0.556**	0.473**	0.705**	0.450**	0.729**	0.782**
K-C	0.820**	0.771**	0.907**	0.779**	0.837**	0.894**
Z-C	0.665**	0.614**	0.899**	0.487**	0.755**	0.799**
C	0.835**	0.739**	0.905**	0.683**	0.827**	0.851**
S-Z	0.821**	0.715**	0.942**	0.560**	0.798**	0.826**
C-Z	0.777**	0.703**	0.824**	0.628**	0.780**	0.815**
K-Z	0.875**	0.805**	0.972**	0.739**	0.879**	0.875**
Z-Z	0.894**	0.778**	0.972**	0.684**	0.890**	0.827**
Z	0.835**	0.661**	0.922**	0.586**	0.834**	0.823**
S-K	0.692**	0.591**	0.849**	0.472**	0.622**	0.620**
C-K	0.758**	0.528**	0.872**	0.440**	0.742**	0.754**
K-K	0.605**	0.692**	0.912**	0.447**	0.592**	0.875**
Z-K	0.507**	0.488**	0.911**	0.326**	0.505**	0.711**
K	0.727**	0.633**	0.901**	0.520**	0.704**	0.857**

注: **表示极显著相关($P<0.01$)

Notes: **. extremely significant correlation ($P<0.01$)

之间的插片组合成珠率较低(9.75%~22%), 以褶皱纹冠蚌为育珠蚌的组合, 异种之间的插片组合成珠率低(19.67%~24%), 同种之间的组合成珠率较高(91.76%)(表6)。

表 6 各育珠组合成珠率、最大直径和圆度
Tab. 6 Pearling rate, D_{max} and X of host mussel combinations

指标 items	成珠率/% pearling rate	最大直径/mm D_{max}	圆度/% X
S-S	100.00±0.00	4.14±0.72	27.10±13.91
C-S	99.74±1.15	4.16±0.57	37.67±14.18
K-S	99.75±1.18	4.30±0.58	34.31±15.42
Z-S	9.75±30.02	4.44±0.75	41.44±11.92
S-C	100.00±0.00	4.18±0.61	29.08±13.36
C-C	100.00±0.00	4.32±0.73	33.22±14.98
K-C	99.74±1.15	4.24±0.64	31.64±15.79
Z-C	22.00±40.34	4.55±1.18	39.35±18.83
S-Z	19.67±29.24	3.33±0.58	49.47±19.91
C-Z	24.00±34.39	4.26±0.61	55.96±21.77
K-Z	23.00±27.83	3.32±0.64	51.32±24.09
Z-Z	91.67±9.00	4.20±0.78	55.99±17.38
S-K	99.00±2.62	3.98±0.60	34.99±14.63
C-K	98.75±3.58	3.98±0.59	38.80±15.35
K-K	99.25±1.83	4.23±0.62	39.47±16.93
Z-K	10.77±21.10	3.34±0.57	47.38±15.57

注: 表中数值为平均值±标准差

Notes: The values in the table are mean ± standard deviation

通过对各育珠组所产无核珍珠大小、圆度比较发现, 以褶皱纹冠蚌为育珠蚌的组合所产无核珍珠个体较小, 且直径差百分比比较大。而褶皱纹冠蚌作为供片蚌与其他珍珠蚌的育珠组合所产珍珠个体较大, 但直径差百分比同样较大。以三角帆蚌、池蝶蚌、康乐蚌[池蝶蚌(♀)×三角帆蚌(♂)]为育珠蚌的各组合比较发现, 康乐蚌[池蝶蚌(♀)×三角帆蚌(♂)]所产珍珠个体较小且直径差百分比相对较大。以三角帆蚌、池蝶蚌为育珠蚌的各组合中, S-S、S-C育珠组所产珍珠个体相对较小但直径差百分比比较小, 珍珠较圆(表6)。

2.4 各育珠组合生长性状与无核珍珠大小、圆度相关分析

各育珠组合生长性状与珍珠大小圆度相关

性分析结果显示, 各育珠组合中K-S、Z-Z育珠组的珍珠大小与直径差百分比相关系数为显著正相关($P<0.05$), 其余各组珍珠大小与直径差百分比相关系数均为极显著($P<0.01$), 珍珠规格越大, 直径差百分比越大, 珍珠越不圆。C-C育珠组中, 体质量、壳宽与珍珠大小显著正相关($P<0.05$), 壳高与珍珠直径差百分比显著正相关($P<0.05$)。C-Z育珠组中壳长与珍珠大小成显著负相关($P<0.05$)。其余各组合生长性状与珍珠大小、直径差百分比相关系数无显著性关系($P>0.05$)(表7)。

3 讨论

无核珍珠质量性状指标为珍珠大小、圆度、颜色和光泽等, 而无核珍珠性状通常与育珠蚌生长性状密切相关。在珍珠蚌中, 李清清等^[14]通过研究三角帆蚌特定生长速率与珍珠质量的关系发现, 育珠蚌特定生长速率与所产无核珍珠大小、光泽度和产珠量相关性极显著, 相关程度为体质量>壳长>壳宽>壳高, 育珠蚌特定生长速率与所产无核珍珠圆度极显著相关, 相关程度为壳长>体质量>壳宽>壳高。因此通过对各育珠组生长性状的分析筛选生长性能好的育珠组, 对于提高珍珠质量有重要作用。珍珠形成过程中一个很重要的特点是需要供片蚌和育珠蚌的共同参与, 育珠的整个生产流程不仅会对珍珠质量产生影响, 同样会对育珠蚌的表型产生影响^[15-20]。在杨品红等^[18]对于育珠对三角帆蚌表型影响的研究中发现, 2龄育珠组的三角帆蚌各生长性状要极显著高于未育珠组。而另外有研究表明对3龄的池蝶蚌实施有核育珠手术1年后其生长性状均显著低于未育珠蚌^[15], 造成该结果的原因可能是相比于无核育珠手术, 育珠蚌对于有核育珠手术适应较慢, 造成育珠蚌生长效率低于未育珠蚌。而在本实验中也存在着相似的现象, 在无核珍珠生产流程中, 不同种类的供片蚌对育珠蚌的生长性状造成了不同的影响。在以三角帆蚌、池蝶蚌为育珠蚌的组合中, 育珠蚌在插片后适应较快, 并且无核育珠手术一定程度上刺激了育珠蚌的生长, 育珠组各生长性状优于对照组, 其中S-S、S-C、C-C育珠组合生长最好。但育珠蚌对于不同供片蚌的适应能力不同, 以康乐蚌[池蝶蚌(♀)×三角帆蚌(♂)]为育珠蚌的组合中S-K、Z-K育珠组生长性状

表7 各育珠组合生长性状、珍珠大小和珍珠圆度相关系数

Tab. 7 Correlation coefficient of host mussel combinations among growth traits, D_{max} and X

指标 items	体质量—大小 body weight- D_{max}	壳长—大小 shell length- D_{max}	壳高—大小 shell height- D_{max}	壳高—大小 shell width- D_{max}	体质量—圆度 body weigh t- X	壳长—圆度 shell length- X	壳高—圆度 shell height- X	壳宽—圆度 shell width- X	大小—圆度 D_{max} - X
S-S	-0.019	-0.139	-0.043	0.040	0.096	0.027	0.026	0.056	0.474**
C-S	-0.121	-0.030	-0.123	-0.121	-0.145	-0.023	-0.077	-0.086	0.481**
K-S	0.087	0.116	-0.242	0.147	0.123	0.019	-0.218	0.131	0.348*
Z-S	-0.021	-0.006	-0.008	-0.032	0.060	0.035	0.092	0.013	0.340**
S-C	-0.038	-0.056	0.026	-0.077	0.097	0.143	0.177	0.037	0.547**
C-C	0.201*	0.097	0.111	0.224*	0.186	0.104	0.244*	0.179	0.515**
K-C	-0.189	-0.055	-0.083	-0.206	-0.188	-0.086	-0.014	-0.138	0.297**
Z-C	0.082	0.171	0.107	0.009	0.040	0.087	0.041	-0.024	0.481**
S-Z	0.121	0.063	-0.007	0.083	-0.040	-0.003	-0.021	-0.009	0.512**
C-Z	-0.109	-0.281*	-0.108	-0.008	-0.008	-0.203	-0.053	-0.006	0.412**
K-Z	0.093	0.121	0.033	0.053	0.121	0.130	0.056	0.201	0.321**
Z-Z	-0.151	-0.135	-0.154	0.005	-0.202	-0.176	-0.166	-0.070	0.304*
S-K	0.131	0.100	0.029	0.020	-0.125	-0.130	0.050	0.123	0.394**
C-K	0.017	0.092	0.080	-0.061	-0.063	-0.023	-0.001	-0.041	0.310**
K-K	0.100	0.128	0.118	0.140	-0.077	-0.017	-0.067	-0.040	0.577**
Z-K	-0.061	-0.051	0.123	0.100	0.026	0.024	0.085	-0.013	0.245**

*表示在显著相关($P<0.05$); 注: **表示极显著相关($P<0.01$)Notes: *.significant correlation ($P<0.05$); **. extremely significant correlation ($P<0.01$)

与对照组相比较差,但差异较小。以上结果表明,三角帆蚌、池蝶蚌相互插片后,育珠蚌适应较快,同时插片会在一定程度上刺激育珠蚌的生长。在以褶纹冠蚌为育珠蚌的组合中却得到一个相反的结果,褶纹冠蚌对照组各生长性状显著高于育珠组($P<0.05$),暗示无核育珠手术对于褶纹冠蚌的生长有抑制的作用。而在以康乐蚌[池蝶蚌(♀)×三角帆蚌(♂)]为育珠蚌的组合内,池蝶蚌和康乐蚌[池蝶蚌(♀)×三角帆蚌(♂)]提供的插片刺激育珠蚌生长,三角帆蚌和褶纹冠蚌提供的插片存在抑制育珠蚌生长的现象。

对各育珠组合及对照组生长性状进行相关性分析发现,所有组合生长性状间相关系数达到了极显著水平($P<0.01$),这与张根芳等^[21]、徐毛喜^[22]、王钦贵等^[23]的研究结果一致。在以往对于珍珠蚌的研究中,以体质量作为选育指标能够直接反应生产效应,同时有大量研究发现,珍珠蚌壳长与体质量之间相关性较高,可以壳长作为选育的另一个重要指标^[24-25]。闻海波等^[26]和吴雷明^[27]在对不同群体珍珠蚌生长性状的研究

中发现影响2龄珍珠蚌体质量的生长指标为壳长与壳宽。在本实验中由于无核育珠手术的影响,各育珠组相关系数与对照组相比产生了不同差异,在各育珠组合中,除了C-C育珠组外,其他育珠组中壳长与体质量之间的相关系数均高于其他性状间的相关系数,表明壳长可作为这些育珠组选育的重要指标。而C-C育珠组中壳宽与体质量的相关系数最高,表明壳宽可以作为C-C组合选育的重要指标。

在珍珠蚌培育珍珠的生产流程中,无核育珠手术的插片数以及插片后无核珍珠的成珠率都是影响珍珠产量的重要参数。目前我国主要的淡水育珠蚌中三角帆蚌、池蝶蚌、康乐蚌[池蝶蚌(♀)×三角帆蚌(♂)]具有较高的生产效益,而褶纹冠蚌育珠产量相对较低,质量较差^[3],目前养殖较少。本实验中三角帆蚌、池蝶蚌、康乐蚌[池蝶蚌(♀)×三角帆蚌(♂)]之间的育珠组合有着极高的成珠率(98.75%~100%),猜测是由于其种间差异小,无核育珠手术排斥小,成珠率高,其中三角帆蚌、池蝶蚌同种间插片成珠率达到

100%。而褶纹冠蚌作为育珠蚌和供片蚌时, 只有同种相结合时成珠率较高91.76%, 异种之间成珠率低(19.67%~24%), 这与褶纹冠蚌活动能力强, 对于异种插片排斥强有很大的关系, 这符合我们对各育珠组合生长性状的分析结果。通过比较各育珠组合所产无核珍珠大小及直径差百分比发现, 以三角帆蚌、池蝶蚌为育珠蚌的各组合所产珍珠规格较大且珍珠较圆, 以康乐蚌[池蝶蚌(♀)×三角帆蚌(♂)]为育珠蚌的组合次之。而褶纹冠蚌育珠组合不仅成珠率差。而且所产无核珍珠规格较小, 直径差百分比比较大。各育珠组生长性状、珍珠大小、直径差百分比的相关系数结果显示, 除少数育珠组合外, 育珠组合各生长性状与珍珠的大小、直径差百分比间无显著性关系。珍珠大小与直径差百分比之间显著正相关($P<0.05$), 珍珠越大, 直径差百分比越大, 珍珠越不圆。通过对于各育珠组合的生长差异、成珠率、珍珠大小和直径差百分比的综合比较, 结果发现S-S、S-C、C-C育珠组合成珠率达到100%, 同时珍珠较圆、规格较大。

通过对于育珠蚌生长性状与珍珠质量性状之间的分析研究发现, 对育珠蚌表型性状的选择, 可以获得高质量的珍珠^[28-30]。在本实验中对4种珍珠蚌相互插片所形成的16组育珠蚌生长性状及珍珠成珠率、大小进行比较, S-S、S-C、C-C育珠组合插片后生长性能较好, 成珠率高(100%)、珍珠规格较大且珍珠较圆。以上结论对于为珍珠蚌育珠组合的选择提供了理论依据, 为接下来各育珠组合与其所培育的珍珠颜色、光泽等质量性状间的分析提供数据支撑。

参考文献:

- [1] 汪桂玲, 白志毅, 刘晓军, 等. 三角帆蚌种质资源研究进展[J]. 水产学报, 2014, 38(9): 1618-1627.
Wang G L, Bai Z Y, Liu X J, et al. Research progress on germplasm resources of *Hyriopsis cumingii*[J]. Journal of Fisheries of China, 2014, 38(9): 1618-1627(in Chinese).
- [2] Liu X J, Pu J W, Zeng S M, et al. *Hyriopsis cumingii* Hic52-A novel nacreous layer matrix protein with a collagen-like structure[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2017, 102: 667-673.
- [3] 白志毅, 汪桂玲, 刘晓军, 等. 中国淡水珍珠种业现状与发展趋势[J]. 上海海洋大学学报, 2014, 23(6): 874-881.
Bai Z Y, Wang G L, Liu X J, et al. The status and development trend of freshwater pearl seed industry in China[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2014, 23(6): 874-881(in Chinese).
- [4] 何毛贤, 史兼华, 林岳光, 等. 马氏珠母贝生长性状的相关分析[J]. 海洋科学, 2006, 30(11): 1-4.
He M X, Shi J H, Lin Y G, et al. The growth trait correlated responses in pearl oyster *Pinctada martensii*[J]. *Marine Sciences*, 2006, 30(11): 1-4(in Chinese).
- [5] 黄锋绍. 马氏珠母贝不同插核、收珠时期育珠母贝和珍珠表型性状关系的研究[D]. 海口: 海南大学, 2013.
Huang F S. The research of the relationship between different insert nucleus and harvest pearl time of *Pinctada fucata martensii* (Dunker) and different phenotypic character of pearl[D]. Haikou: Hainan University, 2013(in Chinese).
- [6] 尹立鹏, 邓岳文, 杜晓东, 等. 贝龄对马氏珠母贝植核贝生长、成活率和育珠性状的影响[J]. 中国水产科学, 2012, 19(4): 715-720.
Yin L P, Deng Y W, Deng X D, et al. Effects of age on growth, survival and pearl production and traits in pearl oyster *Pinctada martensii*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2012, 19(4): 715-720(in Chinese).
- [7] 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.
- [8] 谢楠, 李应森, 郑汉丰, 等. 三角帆蚌、池蝶蚌及杂交F1代养殖效果与育珠性能的比较[J]. 上海水产大学学报, 2006, 15(3): 264-269.
Xie N, Li Y S, Zheng H F, et al. Comparison of culture and pearl performances among *Hyriopsis schlegeli*, *Hyriopsis cumingii* and their reciprocal hybrids[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2006, 15(3): 264-269(in Chinese).
- [9] 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.
- [10] Kishore P, Southgate P C. The effect of different culture methods on the quality of round pearls produced by the

- black-lip pearl oyster *Pinctada margaritifera* (Linnaeus, 1758)[J]. *Aquaculture*, 2016, 451: 65-71.
- [11] 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(in Chinese).
- [12] 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.
- 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(in Chinese).
- [13] Deng Y W, Du X D, Wang Q H, *et al.* Correlation and path analysis for growth traits in F1 population of pearl oyster *Pinctada martensii*[J]. *Marine Science Bulletin*, 2008, 10(2): 68-73.
- [14] 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(in Chinese).
- [15] 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(in Chinese).
- [16] 邓陈茂, 梁飞龙, 符韶, 等. 马氏珠母贝术前处理与育珠研究[J]. *海洋湖沼通报*, 2010(4): 124-128.
- Deng C M, Liang F L, Fu S, *et al.* Study on pre-operation condition and pearl production of *pinctada martensii*[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2010(4): 124-128(in Chinese).
- [17] 梁飞龙, 王钦贵, 邓岳文, 等. 珠核规格、植核位置和贝龄对大珠母贝植核育珠的影响[J]. *广东海洋大学学报*, 2015, 35(4): 51-56.
- Liang F L, Wang Q G, Deng Y W, *et al.* Effects of nucleus size, nucleus implantation location and age on round nucleated pearl production of *Pinctada maxima*[J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2015, 35(4): 51-56(in Chinese).
- [18] 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(in Chinese).
- [19] 郑侠飞, 王小后, 苏林可, 等. 插片育珠对三角帆蚌耗氧率的影响[J]. *淡水渔业*, 2013, 43(6): 93-96.
- Zheng X F, Wang X H, Su L K, *et al.* Effects of graft operation on oxygen consumption rate of *Hyriopsis cumingii*[J]. *Freshwater Fisheries*, 2013, 43(6): 93-96(in Chinese).
- [20] 吴雷明, 白志毅, 刘晓军, 等. 珍珠蚌5个群体不同阶段生长性能及外部形态变异分析[J]. *淡水渔业*, 2017, 47(4): 75-82.
- Wu L M, Bai Z Y, Liu X J, *et al.* Comparative analysis of growth trait and morphological difference among five freshwater pearl mussel populations[J]. *Freshwater Fisheries*, 2017, 47(4): 75-82(in Chinese).
- [21] 张根芳, 张文府, 罗雨, 等. 1龄三角帆蚌壳形态性状对体质量的通径分析[J]. *大连海洋大学学报*, 2018, 33(6): 755-759.
- Zhang G F, Zhang W F, Luo Y, *et al.* Path analysis of morphometrical traits on body weight of one-year old freshwater mussel *Hyriopsis cumingii*[J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2018, 33(6): 755-759(in Chinese).
- [22] 徐毛喜. 池蝶蚌生物学特性及育珠性能研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2008.
- Xu M X. The research on biological characteristics and pearl performance of *Hyriopsis schlegelii*[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2008(in Chinese).
- [23] 王钦贵, 谢绍河, 梁飞龙, 等. 褶纹冠蚌研究概况[J]. *水产养殖*, 2016, 37(7): 51-54.
- Wang Q G, Xie S H, Liang F L, *et al.* Progress on the culture of pearl mussel *Cristaria plicata*[J]. *Journal of Aquaculture*, 2016, 37(7): 51-54(in Chinese).
- [24] 郭奕惠, 刘宝锁, 范嗣刚, 等. 合浦珠母贝选育组和对
- 中国水产学会主办 sponsored by China Society of Fisheries

- 照组生长性状相关分析[J]. *上海海洋大学学报*, 2017, 26(2): 212-220.
- Guo Y H, Liu B S, Fan S G, *et al.* Correlation analysis of growth traits among selective and control groups of pearl oyster *Pinctada martensii*[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2017, 26(2): 212-220(in Chinese).
- [25] 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[J]. *广东海洋大学学报*, 2013, 33(3): 18-21.
- 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(in Chinese).
- [26] 闻海波, 顾若波, 曹哲明, 等. 3个地理种群三角帆蚌育珠相关性状比较及壳重的通径分析[J]. *上海海洋大学学报*, 2012, 21(2): 161-166.
- Wen H B, Gu R B, Cao Z M, *et al.* Comparison of morphological traits related to pearl performance in *Hyriopsis cumingii* from three geographical populations and path analysis on shell weight[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2012, 21(2): 161-166(in Chinese).
- [27] 吴雷明. 珍珠蚌种质与所产无核珍珠颜色及大小相关性初步研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2016.
- Wu L M. A preliminary study of the correlation between pearl mussel strain and non-nucleated pearl color and size[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2016(in Chinese).
- [28] 陈伟耀. 马氏珠母贝育珠和生长性状与相关基因的关联分析[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2014.
- Chen W Y. Correlation analysis of pearl production and growth traits with the related genes from *Pinctada martensii*[J]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2014(in Chinese).
- [29] 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.
- [30] 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.
- Liu Y. The effect of donor *Hyriopsis cumingii* on the quality of pearls[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2013(in Chinese).

The growth traits of pearl mussels and pearl formation percentage, size of non-nucleated pearl after graft operation

DUAN Shenghua¹, LIU Zhenming¹, HU Honghui¹, LIU Xiaojun^{1,2,3},
WANG Guiling^{1,2,3*}, LI Jiale^{1,2,3}

(1. Key Laboratory of Freshwater Aquatic Genetic Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs,
Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education,
Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

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

Abstract: In order to screen the high-quality combination of donor and host mussels, explore the difference and correlation on the growth traits of different pearl mussels after graft operation, compare the difference of the pearl-forming percentage and size in each combination, by using *Hyriopsis cumingii* (S), *H. schlegeli* (C), Kangle clam [*H. cumingii* (♀) × *H. schlegeli* (♂)] (K) and *Cristaria plicata* (Z) as donor and host mussels respectively, 16 pearl mussels combinations were obtained. In addition, 4 species pearl mussels without graft operation were taken as control groups. 16 combinations and 4 control groups were compared by measuring the growth traits (body weight, shell length, shell height and shell width) at the first year after grafting, and as the same time the correlation of growth traits of each combination was analyzed. The number and size of non-nucleated pearl in each combination was measured, the pearl formation percentage and roundness were calculated and the difference among different combination was analyzed. The results showed that the growth traits were greater than corresponding values of control group when *H. cumingii* and *H. schlegeli* were host mussels. However, the growth of *C. plicata* groups was inhibited; Except for the C-C group (*H. schlegeli* was donor and host mussel), the correlation coefficient between shell length and body weight was the largest compare to correlation coefficient of other growth traits. among each group. The correlation coefficient between shell width and body weight of C-C group was largest (0.782); The combinations among *H. cumingii*, *H. schlegeli* and Kangle clam had higher pearl formation percentage (98.75%~100%). And the pearl formation percentage of S-S group (*H. cumingii* was donor and host mussel), S-C group (*H. cumingii* was donor mussel, *H. schlegeli* was host mussel) and C-C groups reached 100%. The pearls when *H. cumingii* and *H. schlegeli* were host mussels were larger in size and rounder in shape. There was a significant positive correlation between the size of pearls and the percentage difference of diameters in all pearl combinations. The results showed that S-S、S-C、C-C groups worked best. The results provided an important basis for the exploration of the correlation between the growth traits of different pearl mussels and the comparison of the pearl-forming rate and size of the seedless pearls produced.

Key words: pearl mussel; growth character; non-nucleated pearl; pearl formation percentage; size; correlation

Corresponding author: WANG Guiling. E-mail: glwang@shou.edu.cn

Funding projects: National Natural Science Foundation of China (31672654, 31772835); National Key Research and Development Program of China (2018YFD0901400)