



插片后珍珠蚌生长性状及其无核珍珠成珠率 and 大小

段胜华¹, 刘振明¹, 胡宏辉¹, 刘晓军^{1,2,3},
白志毅^{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)和褶纹冠蚌(Z)分别作为供片蚌和育珠蚌, 获得9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9个育珠蚌组合及3个未插片的三角帆蚌、池蝶蚌和褶纹冠蚌对照组在1年后生长性状的差异, 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, 无核育珠手术影响珍珠蚌的生长性能, 以三角帆蚌和池蝶蚌为育珠蚌的组合生长性状均优于对照组, S-S育珠组合在以三角帆蚌为育珠蚌组合内生长最优, S-C和C-C育珠组合在以池蝶蚌为育珠蚌组合中生长最优, 而以褶纹冠蚌为育珠蚌的组合插片后生长性状指标均小于对照组。其中除了池蝶蚌同种插片组合(C-C育珠组合)外, 其余各育珠组合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育珠组合壳宽与体质量相关系数最大; 三角帆蚌和池蝶蚌之间的插片组合(S-S、C-S、S-C和C-C育珠组合)及褶纹冠蚌同种插片组合(Z-Z育珠组合)成珠率较高(91.67%~100%)。S-S、S-C和C-C育珠组合所育珍珠较圆但珍珠大小在各育珠组合内处于中等。研究表明, 无核育珠手术改变珍珠蚌的生长性能, 不同育珠组合生长性能存在差异, S-S、S-C和C-C育珠组合插片后生长性能较好, 成珠率高, 珍珠较圆但珍珠大小在各育珠组合中处于中等, 该结果为探索不同珍珠蚌生长性状差异和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; 相关性; 无核珍珠; 成珠率; 大小

中图分类号: S 966.2

文献标志码: A

三角帆蚌(*Hyriopsis cumingii*)、池蝶蚌(*H. schlegelii*)、褶纹冠蚌(*Cristaria plicata*)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^[1]。池蝶蚌是从日本引进的育珠蚌, 生长较快, 所产珍珠个体大、质量优^[2]。褶纹冠蚌是我国20世纪八九十年代

最重要的育珠母蚌^[3], 其生长速率快, 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

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); 现代农业产业技术体系建设专项(CARS-49)

通信作者: 汪桂玲, E-mail: glwang@shou.edu.cn

性状及它们所产珍珠质量和数量方面已经开展了大量的工作^[4-11],王爱民等^[12]通过对马氏珠母贝 (*Pinctada martensii*) 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形态指标,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、珍珠质量等性状的对比还较少。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、池蝶蚌和褶纹冠蚌分别作为供片蚌和育珠蚌,获得 9 个育珠蚌组合,同时以未插片的三角帆蚌、池蝶蚌和褶纹冠蚌作为 3 个对照组,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,为掌握不同育珠组合生长性状的差异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

挑选性腺发育较好、健康有活力的三角帆蚌 (S)、池蝶蚌 (C) 和褶纹冠蚌 (Z) 亲蚌个体作为亲本。2017 年 5 月将这批亲蚌进行人工配组,做好亲本相应隔离,进行亲本培育,并对 3 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,当每个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指标。以三角帆蚌、池蝶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 9 个育珠母蚌组合,每组 200 只育珠蚌,同时以未插片的三角帆

蚌、池蝶蚌和褶纹冠蚌作为对照组。将这批蚌养殖在浙江金华武义养殖基地。

1.3 数据测量

插片 1 年后,对 9 个育珠组合及 3 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,考虑到测量的可操作性和准确性,因此,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。同时在各组合内随机选取育珠蚌剖蚌取珠,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:

$$X(\%) = [(d_{\max} - d_{\min}) / \bar{d}] \times 100\%$$
$$\bar{d}(\text{mm}) = (d_{\max} + d_{\min}) / 2$$

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 2 组数据间的相关性。

2 结果

2.1 不同育珠组合及对照组生长性状和变异系数比较

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 3 种组合与对照组相比, S-S 育珠组合壳长最大,其他组合及对照组壳长无显著性差异 ($P>0.05$)。Z-S 育珠组壳高最大,其他组合及对照组壳高无显著性差异 ($P>0.05$)。对照组壳宽最小,其余组合壳宽较大且无显著性差异 ($P>0.05$)。各组体质量大小关系: S-S>C-S>Z-S=S。各育珠组生长性状变异系数均低于对照组, C-S 育珠组各生长性状变异系数最小。以池蝶蚌为育珠蚌的各组合中, S-C 和 C-C 育珠组合各生长性状指标均大于 Z-C 及对

照组且无显著性差异 ($P>0.05$), Z-C 及对照组生长数据较小 ($P>0.05$)。Z-C 育珠组各生长性状变异系数最大, C-C 育珠组除壳长外各生长性状变异系数最小。以褶皱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 ($P<0.05$), 其中各组壳长大小关系为 $Z>S-Z>C-Z=Z-Z$ 。各组中壳高、壳宽和体质量大小关系均为 $Z>S-Z=C-Z>Z-Z$ 。褶皱冠蚌对照组除壳高外, 各生长性状变异系数均小于育珠组 (表 1~表 4)。

2.2 各育珠组合生长性状相关分析

各育珠组合及对照组生长性状之间相关分析均达到极显著水平 ($P<0.01$), 所有组合中除 C-C 育珠组合的壳宽与体质量的相关系数最大外, 其余组中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, 各育珠组合生长性状间的相关系数均小于对照组。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; 以池蝶蚌为育珠蚌的各组合其生长性状间相关系数均小于对照组。各育珠组合及对照组生长性状与体质量相关系数存在差异, Z-C 育珠组合和池蝶蚌对照组生长性状与体质量相关系数的关系为壳长>壳宽>壳高, S-C 育珠组合为壳长>壳高>壳宽, 而 C-C 育珠组合为壳宽>壳高>壳长; 以褶皱冠蚌为育珠蚌的各组合, Z-Z 育珠组合生长性状间相关系数均大于其他育珠组合及对照组。S-Z 和 C-Z 育珠组合生长性状与体质量相关系数由高到低: 壳长>壳宽>壳高, 而 Z-Z 育珠组合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 (表 5)。

表 1 以三角帆蚌为育珠蚌的 3 种组合及其对照组生长性状

Tab. 1 Growth traits of three combinations and control group when <i>H. cumingii</i> 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	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	107.69±7.87 ^a
壳高/mm	shell height	59.29±4.17 ^a	58.81±3.47 ^a	61.86±3.93 ^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	28.61±2.78 ^a
体质量/g	body weight	138.15±23.67 ^c	126.34±18.67 ^a	135.45±24.24 ^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; S. 三角帆蚌, C. 池蝶蚌, Z. 褶皱冠蚌, 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 means ± standard deviation; S. *H. cumingii*, C. *H. schlegelii*, Z. *C. plicata*, 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 3 种组合及其对照组生长性状

Tab. 2 Growth traits of three combinations and control group when <i>H. schlegelii</i> 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	C对照 C control
壳长/mm	shell length	119.01±6.59 ^b	119.68±7.51 ^b	113.77±8.87 ^a	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	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	29.97±2.28 ^a
体质量/g	body weight	152.63±22.82 ^b	151.49±21.14 ^b	137.70±30.00 ^a	132.28±24.66 ^a

表 3 以褶皱冠蚌为育珠蚌的 3 种组合及其对照组生长性状

Tab. 3 Growth traits of three combinations and control group when <i>C. plicata</i> 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	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	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	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	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	342.98±54.86 ^c

表 4 各育珠组合及对照组生长性状变异系数比较
Tab. 4 Comparison of variation coefficient of growth traits among different host mussel combinations and control groups

指标 items	变异系数/% variation coefficient			
	壳长 shell length	壳高 shell height	壳宽 shell width	体质量 body weight
S-S	6.30	7.03	7.33	17.13
C-S	5.52	5.90	5.88	14.78
Z-S	6.74	6.35	6.04	17.90
S	7.25	7.44	9.68	23.58
S-C	5.54	6.82	6.45	14.95
C-C	6.28	6.44	5.52	13.95
Z-C	7.80	9.22	8.69	21.79
C	6.88	7.82	7.61	18.64
S-Z	7.56	7.34	8.64	17.95
C-Z	8.04	7.38	7.43	20.77
Z-Z	8.15	7.62	7.65	21.47
Z	5.70	7.73	6.32	16.00

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，大小和圆度发现，三角帆蚌、池蝶蚌之间的插片组合 (S-S、C-C、S-C 和 C-S 育珠组合) 以及褶皱

冠蚌同种插片组合 (Z-Z 育珠组合) 成珠率较高 (91.67%~100%) 且无显著性差异 ($P>0.05$)。三角帆蚌、池蝶蚌与褶皱冠蚌之间的插片组合 (S-Z、C-Z、Z-S 和 C-Z 育珠组合) 成珠率较低 (9.75%~24%)。S-S、S-C 和 C-C 育珠组合所育珍珠较圆，但与 Z-S、Z-C 育珠组合相比珍珠较小，在各育珠组合中大小处于中等。以褶皱冠蚌为育珠蚌的组合与三角帆蚌和池蝶蚌的育珠组合相比所育珍珠不圆 (表 6)。

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，通过对各育珠组合生长性状的分析筛选生长性能好的育珠组合，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

表 5 各育珠组合及其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**
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**
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**
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**

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

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 ^b	4.14±0.72 ^b	27.10±13.91 ^a
C-S	99.47±1.15 ^b	4.16±0.57 ^b	37.67±14.18 ^c
Z-S	9.75±30.02 ^a	4.44±0.75 ^c	41.44±11.92 ^c
S-C	100.00±0.00 ^b	4.18±0.61 ^b	29.08±13.36 ^a
C-C	100.00±0.00 ^b	4.32±0.73 ^c	33.22±14.98 ^b
Z-C	22.00±40.34 ^a	4.55±1.18 ^d	39.35±18.83 ^c
S-Z	19.67±29.24 ^a	3.33±0.58 ^a	49.47±19.91 ^d
C-Z	24.00±34.39 ^a	4.26±0.61 ^c	55.96±21.77 ^d
Z-Z	91.67±9.00 ^b	4.20±0.78 ^b	55.99±17.38 ^c

注: 表中数值为平均值±标准差, 同列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 ($P>0.05$)
Notes: The values in the table are means ± standard deviation; different lowercase letters in the same column indicate significant differences ($P<0.05$), while the same letters indicate insignificant differences between groups ($P>0.05$)

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]关于育珠对三角帆蚌表型影响的研究中发现, 2 龄育珠组合的三角帆蚌各生长性状要极显著高于未育珠组合。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], 分析原因可能是相比于无核育珠手术, 育珠蚌对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, 育珠蚌对于无核育珠手术后适应较快, 并且无核育珠手术一定程度上刺激了育珠蚌的生长, 育珠组合各生长性状均优于对照组。但不同插片组合生长性状间存在差异, 其中以三角帆蚌为育珠蚌的组合中 S-S 育珠组生长较好, 以池蝶蚌为育珠蚌的育珠组合中 S-C、C-C 育珠组合生长较好, 褶纹冠蚌作为供片蚌与三角帆蚌、池蝶蚌的育珠组合生长性状与其他育珠组合相比较差。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均显著高于育珠组合 ($P<0.05$), 暗示无核育珠手术对褶纹冠蚌的生长有抑制作用, 生长效率较低。

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 育珠组合外, 其他育珠组合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合选育的重要指标。而 C-C 育珠组合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。

在珍珠蚌育珠生产流程中, 无核育珠手术的插片数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和池蝶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。徐在宽等^[28]研究发现, 三角帆蚌外套膜小片植入褶纹冠蚌中成珠质量极差, 而褶纹冠蚌外套膜小片植入三角帆蚌中, 三分之一的蚌可以获得质量较高的珍珠。本实验中三角帆蚌、池蝶蚌之间的育珠组合有着极高的成珠率 (99.74%~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。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 (9.75%~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。与已有研究结果相似, 本实验中三角帆蚌和池蝶蚌作为供片蚌植入褶纹冠蚌中成珠质量较差, 大多为污珠, 珍珠不圆。而褶纹冠蚌作为供片蚌植入三角帆蚌和池蝶蚌中所育珍珠规格较大, 珍珠相对较圆。但这 4 种育珠组合成珠率均较低。通过比较各育珠组合成珠率、珍珠大小和圆度, 结果发现 S-S、S-C、C-C 育珠组合成珠率较高, 珍珠较圆但珍珠大小在各育珠组合中处于中等。因此, 供片蚌和育珠蚌之间的相适应关系不仅影响这育珠的数量, 同时对珍珠质量有着较大的影响。

通过对育珠蚌生长性状与珍珠质量性状之间的关系分析研究发现, 对育珠蚌表型性状的

选择, 可以获得高质量的珍珠^[29-31]。本实验对 3 种珍珠蚌相互插片所形成的 9 个育珠蚌组合及 3 个对照组进行生长性状及成珠率、大小进行比较, 发现无核育珠手术改变了育珠蚌的生长性能, 不同的育珠组合生长性能间存在差异, S-S、S-C 和 C-C 育珠组合插片 1 年后生长性能较好, 成珠率高, 珍珠较圆但珍珠大小在各育珠组中处于中等。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 (References):

- [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] 徐毛喜, 邱齐骏, 孙小兵, 等. 池蝶蚌(*Hyriopsis schlegelii*)与三角帆蚌(*Hyriopsis cumingii*)育珠生产对比研究[J]. 江西水产, 2005(4): 27-29.
Xu M X, Qiu Q J, Sun X B, *et al.* Comparative research of pearl performance between *Hyriopsis schlegelii* and *Hyriopsis cumingii*[J]. Jiangxi Fishery Science and Technology, 2005(4): 27-29(in Chinese).
- [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 schlegelii*, *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 China Water Science Association sponsored by China Society of 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. 池螺蚌 (*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-breed[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. 池螺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 mor-

- phological 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] 徐在宽, 徐大中, 武擎. 小片与蚌间的关系对珍珠质量的影响 [J]. 水产养殖, 1992(02): 16-18.
- Xu Z K, Xu D Z, Wu Q. The relationship between the supplier and the acceptor of the mantle and its effect on pearl quality[J]. Journal of Aquaculture 1992(02): 16-18(in Chinese).
- [29] 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).
- [30] 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.
- [31] 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).

Growth traits of pearl mussels and pearl formation percentage and size of non-nucleated pearl after graft operation

DUAN Shenghua¹, LIU Zhenming¹, HU Honghui¹, LIU Xiaojun^{1,2,3},
BAI Zhiyi^{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 out the high-quality combination of donor and host mussels, explore the difference and correlation in 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. schlegelii* (C) and *Cristaria plicata* (Z) as donor and host mussels respectively, 9 pearl mussels combinations were obtained. In addition, 3 species pearl mussels without graft operation were taken as control groups. 9 combinations and 3 control groups were compared by measuring the growth traits (body weight, shell length, shell height and shell width) one year after grafting, and at the same time the correlation of growth traits of each combination was analyzed. The number and size of non-nucleated pearl in each combination were measured, the pearl formation percentage and roundness were calculated and the difference among different combinations was analyzed. The results showed that the non-nucleated graft operation affects the growth performance of pearl mussels. The growth traits were better than corresponding values of control group when *H. cumingii* and *H. schlegelii* were host mussels. The growth traits of S-S group was biggest when *H. cumingii* were host mussels. The growth traits of S-C and C-C groups were biggest when *H. schlegelii* was host mussels. However, the growth of *C. plicata* groups was less than the control group; except for the C-C group, the correlation coefficient between shell length and body weight was the highest compared to correlation coefficient of other growth traits in each group. The correlation coefficient between shell width and body weight of C-C group was the largest; the combinations between *H. cumingii* and *H. schlegelii* (S-S, C-S, S-C and C-C groups) had higher pearl formation percentage, the same with Z-Z group (91.67%-100%). S-S, S-C and C-C groups were rounder in shape but the pearl size was medium. The results showed that the non-nucleated graft operation affects the growth performance of pearl mussels and the growth performance of various combinations is different. The growth performance and pearl formation percentage of S-S, S-C, C-C groups were better but the pearl size was medium. The results provided an important basis for exploring the differences and correlation between the growth traits of different pearl mussels and the comparison of the pearl-forming rate and size of the non-nucleated pearls produced.

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

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); China Agriculture Research System (CARS-49)