

组织小片对三角帆蚌外套膜无核珍珠颜色成因的影响

张根芳¹ 许式见² 方爱萍³

(1. 金华职业技术学院, 金华 321007; 2. 金华市九色珍珠研究所, 金华 321000;
3. 金华市威旺养殖新技术有限公司, 金华 321000)

GRAFT TISSUE ON THE GENESIS OF COLOR OF DENUCLEARIZE PEARL IN MANTLE OF *HYRIOPSIS CUMINGII*

ZHANG Gen-Fang¹, XU Shi-Jian² and FANG Ai-Ping³

(1. Jinhua College of Vocation and Technology, Jinhua 321007, China; 2. Jinhua Jewel Pearl Institute, Jinhua 321000, China; 3. Jinhua weon New Aquaculture Technology Co. Ltd., Jinhua 321000, China)

关键词: 三角帆蚌; 无核珍珠; 颜色成因; 定向选育

Key words: *Hyriopsis cumingii*; Denuclearize pearl; The genesis of color; Directive breeding

中图分类号: Q953+.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2013)03-0581-07

三角帆蚌(*Hyriopsis cumingii*)是中国生产淡水珍珠的当家品种。大规模人工育珠生产只有近30年历史^[1]。从采集野生蚌进行人工育苗,到目前完全用养殖蚌做亲本留种繁殖,一直没有开展以珍珠颜色为目标的定向人工选育。目前三角帆蚌无核珍珠的颜色仍然保持了天然杂合状态,包涵有黄、白、紫等基本色系,每种色系又包含很多色度(颜色深浅),但绝大多数珍珠呈不同深浅的黄色,普遍被接受的纯白色和富有特色的深紫色很少。为了获得颜色纯净度高的珍珠,一般需对珍珠进行优化处理和加工,包括人工分拣、漂白、着色、增光等^[2]。经加工过的珍珠,表面结构出现不同程度破坏,使光泽度下降,严重影响珍珠品质^[3]。在养殖环节上定向生产颜色纯度高的珍珠对提高淡水珍珠质量,提升产业技术水平具有重要意义。

用三角帆蚌培育淡水珍珠,需要解剖一只蚌,取其外套膜边缘膜上皮组织制成一小块膜片,称为组织小片(Graft tissue),再移植到其他蚌的体内,使之吸收营养、细胞分裂、形成珍珠囊,再分泌珍珠质,逐渐生成珍珠,这样形成的珍珠为无核珍珠。用于解剖制取组织小片的蚌称为制片蚌或供体蚌(Donor Mussel),用于移植组织小片培育珍珠的蚌称为受体蚌或育珠蚌(Recipient Mussel)^[1]。有

关三角帆蚌无核珍珠颜色的研究主要侧重于生化成分和物理结构方面^[4,5],江苏省苏州地区水产研究所^[6]及龚惠卿等^[7]初步研究了三角帆蚌彩色珍珠的培育技术,但制片蚌和育珠蚌贝壳珍珠层颜色与珍珠颜色的关系尚未见研究报道。本研究采用不同贝壳珍珠层颜色的制片蚌和不同部位制取组织小片进行育珠试验,旨在探究三角帆蚌外套膜无核珍珠颜色的成因,为开展以珍珠颜色为目标的定向人工选育,培育颜色纯正的珍珠奠定基础。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验用三角帆蚌来自浙江省金华市威旺公司养殖基地。通过对贝壳珍珠层紫色、白色和黄色的蚌进行2代群体选择育种,再通过家系选育产生F2代。2009年10月和2011年3月,分别选用壳长7—8 cm,外壳鲜艳光亮,受惊后两壳迅速关闭,喷水有力的1龄健康小蚌作为育珠试验用蚌。

1.2 实验方法

实验用蚌的挑选 2009年10月上旬,在选育的家系F2代中挑选紫色蚌和非紫色蚌用于制片蚌和育珠蚌不同珍珠层颜色对珍珠颜色的影响试验。紫色蚌指贝壳边缘

收稿日期: 2012-11-19; 修订日期: 2013-02-19

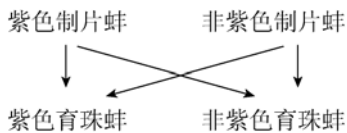
基金项目: 浙江省重大科技专项(2012C12907-5); 浙江省自然科学基金(Y13C190032); 国家公益性行业(农业)科研专项(200903028)资助

通信作者: 张根芳, 教授; E-mail: fishman666@163.com

制片区对应的珍珠层为紫色的蚌, 非紫色蚌指贝壳边缘制片区对应的珍珠层均不是紫色的蚌。

2011 年 3 月上旬, 在 F₂ 代中挑选紫色蚌、半紫色蚌、黄色蚌、半黄色蚌和白色蚌用于制片蚌不同部位组织小片对珍珠颜色的影响试验。半紫色蚌指贝壳边缘制片区对应的珍珠层前、中、后部由白到紫色过渡的蚌; 黄色蚌指制片区对应的珍珠层为黄色的蚌; 半黄色蚌指珍珠层前、中、后部由白到黄色过渡的蚌; 白色蚌指珍珠层全部为白色的蚌。贝壳珍珠层颜色观察方法为用开壳器在壳后端小心轻缓开壳, 双壳撑开距离在 0.8 cm 以内, 拨鳃板剥离外套膜边缘与珍珠层少许, 肉眼观察珍珠层颜色。

插片试验设计 制片蚌和育珠蚌不同珍珠层颜色对珍珠颜色的影响: 插片试验于 2009 年 10 月 25—27 日进行, 从紫色蚌和非紫色蚌中分别制取组织小片, 插入另一些紫色蚌和非紫色蚌的后半部外套膜内表皮之间的结缔组织中:



插片采用完全双列的随机分布(图 1), 每只蚌插入 26—30 片, 共 4 组, 每组 200 只。

制片蚌不同部位组织小片对珍珠颜色的影响 为了进一步细化珍珠颜色与制片蚌取片区域对应的贝壳珍珠层颜色之间的关系, 于 2011 年 3 月 17 日—21 日, 插片试验将制片蚌边缘膜组织小片分成前、中、后三部分, 分别插入育珠蚌的后半部外套膜内, 并由内向外形成 3 排。同时, 将左侧的组织小片, 插入育珠蚌的左侧外套膜; 将右侧的组织小片, 插入育珠蚌的右侧外套膜(图 1)。每只蚌插入 26—30 片, 共 5 组, 每组 200 只。保留制片蚌的贝壳, 并与对应的育珠蚌做好一对一标记。具体组织小片制备和插片方法按照张根芳的淡水无核珍珠手术操作规程^[8]执行。

试验育珠蚌的养殖 将试验育珠蚌吊养在同一个珍珠养殖塘内, 面积 1.56 km², 水深 1.9—2.2 m。1 龄珠蚌采用 40 cm×40 cm×12 cm 方网箱吊养, 每网箱放养 10 只。2 龄珠蚌采用 50 cm×20 cm 网夹袋吊养, 每网夹放养 3—4 只。吊养深度 30—40 cm, 各组吊养深度一致, 用浮球做好标记, 防止混淆。按照常规的育珠生产模式进行查蚌、水质调控等养殖管理^[1]。常年保持水体透明度 25—35 cm, NH₃-N≤0.6 mg/L, NO₂-N≤0.1 mg/L, DO≥4 mg/L, pH 7.5—8.5。

珍珠颜色观察和数据处理 2010 年 11 月和 2011 年 11 月, 从 2009 年插片的 1 龄和 2 龄珠蚌各实验组中分别取 30 只育珠蚌, 观察制片蚌和育珠蚌蚌不同珍珠层颜色对珍珠颜色的影响。

2011 年 11 月, 从当年 3 月插片的各实验组珠蚌中分

别取 30 只育珠蚌, 观察制片蚌不同部位组织小片对珍珠颜色的影响。剖蚌取珠, 清水漂洗干净后, 肉眼观察珍珠颜色情况。观察方法为在白色背景下, 避开明亮彩色物体, 采用色温为 5500—7200 K 日光灯, 距离被检样品 20—25 cm, 肉眼距离被检样品 15—20 cm, 滚动养殖珍珠, 找出主要颜色^[1]。珍珠颜色主要分为白、黄、紫 3 种色系, 黄色系分为浅黄和深黄两类, 紫色系分为浅紫和深紫两类。用 SONY cyber-shot 5.0 DSC-P92 数码相机拍照。所有数据均用 Microsoft Excel 2003 软件处理。

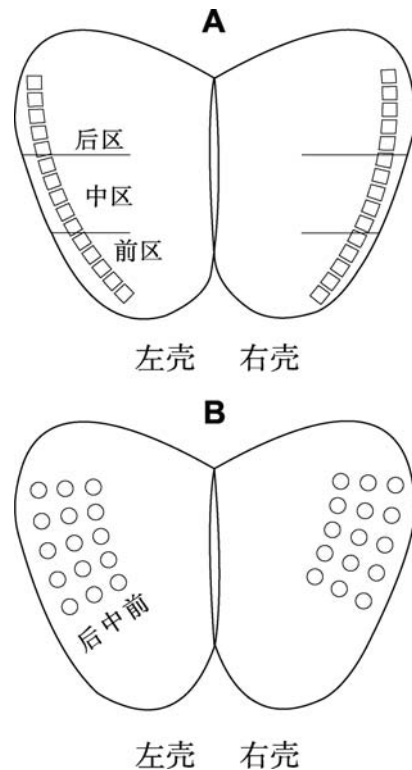


图 1 组织小片对珍珠颜色的影响试验设计示意图

Fig. 1 The effects of the graft tissue on the pearl colors
A 制片部位 A place of producing; B 插片部位 B place of operating;
制片分前、中、后三个区; 制片蚌的左、右侧取片, 分别插育珠蚌的左、右侧; 依次分三行排列

To produce three areas of before, medium, after; produce in left and offside Graft Tissue of Donor Mussel, operating to left and offside of Recipient Mussel separately, parting triplex row successively

2 结果

2.1 制片蚌和育珠蚌不同珍珠层颜色对珍珠颜色的影响 将非紫色蚌和紫色蚌进行 2×2 完全双列插片, 培育出的 1 龄、2 龄珍珠颜色比例(表 1)。由表 1 可见, 从非紫色蚌中制取小片, 分别插入非紫色蚌和紫色蚌内, 所产的 1 龄和 2 龄珍珠均为白色系和黄色系, 黄色系珍珠比例是白色系珍珠比例的 2 倍左右, 黄色系珍珠包含很多不同深浅的颜色(图 2a-f)。从紫色蚌中制取小片, 分别插入

图 2 珍珠颜色与制片蚌和育珠蚌贝壳珍珠层颜色的关系

Fig. 2 The relationship between pearl colors and the colors of nacre of the donor and the recipient mussels

a. 非紫色小片移植入非紫色蚌组培育的 1 龄育珠蚌(简称非紫色小片非紫色蚌组 1 龄珠蚌, 以下类同)Transplant non-purple tissue into 1-year operative mussels of non-purple mussel group (hereafter referred to as 1 year non-purple slice and non-purple mussel); b. 非紫色小片紫色蚌组 1 龄珠蚌 One year non-purple tissue and purple mussel; c. 非紫色小片非紫色蚌组 2 龄珠蚌 Two year non-purple cell and non-purple mussel; d. 非紫色小片紫色蚌组 2 龄珠蚌 Two year non-purple tissue and purple mussel; e. 非紫色小片非紫色蚌组 2 龄珍珠 The 2-year pearl of non-purple tissue and non-purple mussel; f. 非紫色小片紫色蚌组 2 龄珍珠 The 2-year pearl of non-purple tissue and purple mussel; g. 紫色小片非紫色蚌组 1 龄珠蚌 One year purple tissue and non-purple mussel; h. 紫色小片紫色蚌组 1 龄珠蚌 One year purple tissue and purple mussel; i. 紫色小片非紫色蚌组 2 龄珠蚌 Two year purple mussel tissue and non-purple mussel; j. 紫色小片紫色蚌组 2 龄珠蚌 Two year purple tissue and purple mussel; k. 紫色小片非紫色蚌组 2 龄珍珠 The 2-year pearl of purple tissue and non-purple mussel; l. 紫色小片紫色蚌组 2 龄珍珠 The 2-year pearl of purple tissue and purple mussel

非紫色蚌和紫色蚌内, 所产的 1 龄和 2 龄珍珠均为紫色系, 紫色系珍珠包含很多不同深浅的颜色(图 2g-l)。这说明珍珠颜色与制片蚌边缘膜组织小片部位对应的贝壳珍珠层颜色一致。

2.2 制片蚌不同部位组织小片对珍珠颜色的影响

将珍珠层颜色不同的制片蚌组织小片, 按前、中、

后不同部位分别插入育珠蚌内, 培育出的 1 龄珍珠颜色(表 2)。由表 2 可见, 紫色制片蚌贝壳珍珠层均为紫色(图 3a), 由前往后, 紫色由浅到深, 所产的 1 龄珍珠颜色也逐渐加深(图 3b、c)。半紫色制片蚌前部珍珠层为白色, 所产的 1 龄珍珠为白色, 中、后部珍珠层为浅紫色和紫色(图 2d), 所产的 1 龄珍珠均为紫色系, 后部小片所产的珍珠

颜色深于中部小片(图 3e、f)。这说明珍珠紫色深浅与制片蚌制片区珍珠层紫色深浅呈正相关。

黄色制片蚌珍珠层偏黄,由前往后,黄色由浅到深(图 3g),所产的 1 龄珍珠颜色也逐渐加深(图 3h、i)。半黄色制片蚌前部珍珠层为白色,所产的 1 龄珍珠为白色,中部珍珠层为灰白色(图 3j),所产的 1 龄珍珠有 58.9%呈浅黄色,后部珍珠层为浅黄色,所产的 1 龄珍珠均为黄色系,其中深黄色珍珠比例为 23.7%(图 3k、l)。白色制片蚌前、中部珍珠层为白色,所产的 1 龄珍珠均为白色,后部珍珠层为灰白色(图 3m),所产的 1 龄珍珠有 54.5%呈浅黄色(图 3n、o)。这说明珍珠黄色深浅与制片蚌制片区珍珠层黄色深浅呈正相关。

3 讨论

国内外对三角帆蚌无核珍珠颜色成因的研究鲜见报

道,意见尚不一致。龚惠卿等^[7]认为制片蚌壳色对珍珠色泽起主导作用。江苏省苏州地区水产研究所^[6]利用珍珠层带色的三角帆蚌为制片蚌,成功获得各种彩色珍珠,认为彩色珍珠的育成,在于组织小片的性能,而与育珠蚌无关。也有人认为珍珠颜色与光照、水域中金属元素种类及含量、养殖水域底质土壤中的某些物质等环境因素有关^[9]。本研究在相同的养殖环境下开展育珠试验,因此造成珍珠颜色差异的主要原因可以排除环境因素影响。通过对非紫色蚌和紫色蚌进行 2×2 完全双列不分部位随机插片,培育 1 年和 2 年后分别取样观察,发现紫色制片蚌的组织小片无论插入紫色育珠蚌或非紫色育珠蚌,所产的珍珠全部为紫色系,紫色深浅不一,非紫色制片蚌的组织小片无论插入紫色育珠蚌或非紫色育珠蚌,所产的珍珠有白色系和黄色系,黄色深浅不一,认为珍珠颜色与制片蚌边缘膜组织小片相关,而与育珠蚌无相关性。

表 1 制片蚌和育珠蚌不同珍珠层颜色对 1 龄和 2 龄珍珠颜色的影响突出显示部分加注英文
Tab. 1 The effects of different colors of nacre of donor and recipient mussels on the colors of 1-to-2-year-old pearl

珍珠年龄 The cultivating years of the pearls	制片蚌 Donor Mussel	育珠蚌 Recipient Mussel	珍珠数量/颗 No. of Pearls	珍珠颜色比例 The percentage of each color (%)		
				白色系 White	黄色系 Yellow	紫色系 Purple
1 龄 One year	非紫色蚌	非紫色蚌	825	34.2	65.8	0
	非紫色蚌	紫色蚌	820	32.8	67.2	0
	紫色蚌	非紫色蚌	835	0	0	100
	紫色蚌	紫色蚌	826	0	0	100
2 龄 Two years	非紫色蚌	非紫色蚌	830	33.1	66.9	0
	非紫色蚌	紫色蚌	822	33.6	66.4	0
	紫色蚌	非紫色蚌	818	0	0	100
	紫色蚌	紫色蚌	828	0	0	100

表 2 不同类型制片蚌不同部位珍珠层颜色对 1 龄珍珠颜色的影响
Tab. 2 The effects of nacre colors of donor mussels from the different parts and different species on the colors of 1-year-old pearl

类型 Type of Mussels	部位 Position	颜色 Color	珍珠数量/颗 No. of Pearls	珍珠颜色比例 The percentage of each color (%)				
				浅紫色 Light Purple	深紫色 Dark Purple	白色 White	浅黄色 Light Yellow	深黄色 Dark Yellow
紫色蚌 Purple Mussel	前	浅紫	246	100	0	0	0	0
	中	紫	281	82.9	17.1	0	0	0
	后	深紫	307	0	100	0	0	0
半紫色蚌 Half-purple Mussel	前	白	245	0	0	100	0	0
	中	浅紫	282	100	0	0	0	0
	后	紫	310	75.8	24.2	0	0	0
黄色蚌 Yellow Mussel	前	灰白	243	0	0	35.4	64.6	0
	中	浅黄	279	0	0	0	67.7	32.3
	后	黄	306	0	0	0	9.2	90.8
半黄色蚌 Half-yellow Mussel	前	白	242	0	0	100	0	0
	中	灰白	280	0	0	41.1	58.9	0
	后	浅黄	308	0	0	0	76.3	23.7
白色蚌 White Mussel	前	白	248	0	0	100	0	0
	中	白	276	0	0	100	0	0
	后	灰白	312	0	0	45.5	54.5	0

图 3 珍珠颜色与不同类型制片蚌及不同部位贝壳珍珠层颜色的关系

Fig. 3 The relationship between pearl colors and the nacre colors of different species and different parts of the donor mussels

a. 紫色蚌 Purple mussel; b. 紫色制片蚌培育的 1 龄育珠蚌 The one year recipient mussel which is cultivated by purple donor mussel; c. 紫色制片蚌培育的 1 龄珍珠 The one year pearls which are produced by purple donor mussel; d. 半紫色蚌 Half-purple mussel; e. 半紫色制片蚌培育的 1 龄育珠蚌 The one year recipient mussel which is cultivated by half-purple donor mussel; f. 半紫色制片蚌培育的 1 龄珍珠 The one year pearls which are produced by half-purple donor mussel; g. 黄色蚌 Yellow mussel; h. 黄色制片蚌培育的 1 龄育珠蚌 The one year recipient mussel which is cultivated by yellow donor mussel; i. 黄色制片蚌培育的 1 龄珍珠 The one year pearls which are produced by yellow donor mussel; j. 半黄色蚌 Half-yellow mussel; k. 半黄色制片蚌培育的 1 龄育珠蚌 The one year recipient mussel which is cultivated by half-yellow donor mussel; l. 半黄色制片蚌培育的 1 龄珍珠 The one year pearls which are produced by half-yellow donor mussel; m. 白色蚌 White mussel; n. 白色制片蚌培育的 1 龄育珠蚌 The one year recipient mussel which is cultivated by white donor mussel; o. 白色制片蚌培育的 1 龄珍珠 The one year pearls which are produced by white donor mussel

2011 年 3 月的试验进一步表明珍珠颜色深浅与制片蚌对应的制片区珍珠层颜色深浅呈正相关, 贝壳珍珠层

颜色从前到后是渐变的, 而培育出珍珠的颜色深浅也对应出现渐变。因此, 本研究认为三角帆蚌外套膜无核珍珠

颜色与制片蚌对应的制片区珍珠层颜色高度相关。已有海水有核珍珠的试验证明,提供组织小片制片贝的贝壳珍珠层颜色决定了珍珠的颜色^[10,11]。如 Taylor 将银白色珍珠层的大珠母贝(*Pinctada maxima*)作为制片贝,所产的珍珠主要为银白色珍珠,黄色珍珠层制片贝主要产生低值的奶黄色珍珠,仅有少数金色珍珠层制片贝产生高价值的金色珍珠^[12]。McGinty, *et al.*^[13]将珠母贝(*P. margaritifera*)组织小片移植入大珠母贝中,产出黑珍珠,将大珠母贝组织小片移植入珠母贝时,产出白色系珍珠。郝之奎^[14]利用成像色度分析系统比较了马氏珠母贝(*P. martensii*)珍珠颜色与制片贝及育珠贝珍珠层颜色的相关性,结果发现珍珠颜色与制片贝珍珠层颜色相关性显著。本研究结果与上述海水有核珍珠颜色成因解释相一致。

珍珠是由珍珠囊表皮细胞通过分泌珍珠层,不断累积形成的。关于珍珠囊表皮细胞的来源尚存争议。一般研究认为珍珠囊表皮细胞来自于组织小片^[15-18]。如杜晓东等^[16]研究了褶纹冠蚌(*Cristaria plicata*)珍珠囊的发育,认为不论是有核珍珠囊或无核珍珠囊,囊上皮细胞都由植入的组织小片的外表皮细胞分裂增殖而来的。焦钰等^[17]研究发现马氏珠母贝珍珠囊表皮细胞来自于移植组织小片的表皮细胞,插核后 15—20d,组织小片外表皮细胞增殖形成珍珠囊。也有研究认为珍珠囊表皮细胞来源于育珠蚌。如石安静等^[19]研究了三角帆蚌珍珠囊形成过程,认为组织小片细胞先形成一层“初生珍珠囊”上皮细胞,由于组织小片是异体细胞,因而受到育珠蚌细胞的“识别”而被排斥,结果初生珍珠囊上皮细胞与基部的细胞脱离,造成死亡并溶解,其后靠育珠蚌结缔组织最内层细胞再转化为上皮细胞,形成一层“次生珍珠囊”上皮细胞。胡曦璇等^[20]研究了背角无齿蚌(*Anodonta woodiana*)珍珠囊形成过程的组织学和酶组织化学的变化情况,也认为存在“初生珍珠囊”的形成和溶解及“次生珍珠囊”的形成,珍珠囊表皮细胞来源于育珠蚌。本研究表明,三角帆蚌无核珍珠颜色与制片蚌制片区珍珠层颜色相关,支持珍珠囊表皮细胞来源于组织小片的观点。

颜色是评价珍珠质量的一个重要因素。三角帆蚌无核珍珠颜色大致分为白、黄、紫等色系,每种色系又包含很多不同深浅的颜色。一只育珠蚌一般可以生产 30 颗左右的无核珍珠,生产实践发现同一只育珠蚌往往同时出现白、黄、紫等多种色系及色度的珍珠^[1]。自然养殖群体,三角帆蚌无核珍珠大多数呈不同深浅的黄色,纯白色和深紫色很少,这与贝壳珍珠层呈不同深浅的黄色小蚌比例较大,纯紫、纯白色贝壳珍珠层三角帆蚌比例较低相关,说明将决定珍珠颜色的制片蚌贝壳珍珠层颜色作为遗传育种性状很有必要。贝壳珍珠层的颜色已经成为马氏珠母贝^[21-23]和珠母贝^[24]育种的重要指标。本研究发现,三角帆蚌无核珍珠颜色是由提供组织小片的制片蚌珍珠层颜色所决定。因此,可以把三角帆蚌贝壳珍珠层颜色性状作

为遗传育种指标,通过定向选育纯紫色、纯白色贝壳珍珠层三角帆蚌新品系,即可定向培育出纯紫色、纯白色珍珠。

参考文献:

- [1] Zhang G F. Pearl Cultivation of Freshwater Mussel [M]. Beijing: China Agriculture Press. 2005, 57—68 [张根芳. 河蚌育珠学. 北京: 中国农业出版社. 2005, 57—68]
- [2] Li L P, Chen Z H. Irradiation of cultivating pearl [J]. *Journal of Gems & Gemology*, 2002, 4(3): 16—22 [李立平, 陈钟惠. 养殖珍珠的辐照处理. 宝石和宝石学杂志, 2002, 4(3): 16—22]
- [3] Wu G Z, Wang H, Weng W J, *et al.* Chemical staining on freshwater pearl and its influence on pearl surface [J]. *Journal of Gems & Gemology*, 2006, 8(2): 9—14 [吴广州, 王慧, 翁文剑, 等. 淡水养殖珍珠的化学染色及其对珍珠表面形貌的影响. 宝石和宝石学杂志, 2006, 8(2): 9—14]
- [4] Yang M Y, Guo S G, Shi L Y, *et al.* The chemical component of freshwater pearl and its color generation study [J]. *Journal of Gems & Gemology*, 2004, 6(2): 10—13 [杨明月, 郭守国, 史凌云, 等. 淡水养殖珍珠的化学成分与呈色机理研究. 宝石和宝石学杂志, 2004, 6(2): 10—13]
- [5] Gao Y, Zhang B L. The relationship between freshwater pearl color and raman spectrum [J]. *Journal of Gems & Gemology*, 2001, 3(3): 17—20 [高岩, 张蓓莉. 淡水养殖珍珠的颜色与拉曼光谱的关系. 宝石和宝石学杂志, 2001, 3(3): 17—20]
- [6] Jiangsu Province Suzhou City Institute of Aquaculture. The Initial Success of Dark Non-nucleated Pearl Production with last mantle of *Hyriopsis cumingii* and back [J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 1978, 2: 9 [江苏省苏州地区水产研究所. 用三角帆蚌后端膜及冠羽膜生产深色无核珍珠获初步成功. 水产科技情报, 1978, 2: 9]
- [7] Gong H Q, Zhang L D. The study of artificial cultivation of color pearls [J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 1978, 2: 7—9 [龚惠卿, 张林冬. 人工培育彩色珍珠的研究. 水产科技情报, 1978, 2: 7—9]
- [8] Zhang G F, Fang A P. The new operating technique and instruction of freshwater non-nucleated pearl [J]. *Aquaculture*, 2000, 6: 3—4 [张根芳, 方爱萍. 淡水无核珍珠手术新工艺和操作规程. 水产养殖, 2000, 6: 3—4]
- [9] Yin S W. Pearls [M]. Beijing: Chinese Medicine Press. 2001, 153—154 [尹绍武. 珍珠. 北京: 中国中医药出版社. 2001, 153—154]
- [10] Gervis M H, Sims N A. The Biology and Culture of Pearl Oysters (Bivalvia: Pteridae) [M]. Overseas Development Administration (ODA) United Kingdom, London. 1992, 1—49
- [11] Wada, K. Experimental biological studies on the occurrence of yellow color in pearls [J]. *Bulletin of National Pearl Research Laboratory*, 1969, 14: 1765—1820
- [12] Taylor J J. Producing golden and silver south sea pearls from indonesian hatchery reared *pinctada maxina* [J]. *World*

- Aquaculture*, 2002, 23—27
- [13] McGinty E L, Evans B S, Taylor J U U, *et al.* Xenografts and pearl production in two pearl oyster species, *P. maxina* and *P. margaritifera*: Effect on pearl quality and a key to understanding genetic contribution [J]. *Aquaculture*, 2010, **302**: 175—181
- [14] Hao Z K. Microsatellite markers and Imaging colorimetric analysis application of the cross-breeding in *Pinctada Martensii* [D]. Master's Thesis of Hainan University, Haikou. 2007 [郝之奎. 微卫星标记技术和成像色度分析在马氏珠母贝杂交育种中的应用. 海南大学硕士学位论文, 海口, 2007]
- [15] Xiong D R, Wu J D, He X J. The research of non-nucleated pearl formation [J]. *Zhanjiang Ocean University Journal*, 1980, **2**: 1—7 [熊大仁, 吴教东, 何筱洁. 河蚌无核珍珠形成的初步研究. 湛江海洋大学学报, 1980, **2**: 1—7]
- [16] Du X D, He H P, Wu X Z. The study of pearl-sac development of *Cristaria plicata* Leach [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1991, **15**(3): 227—233 [杜晓东, 何海平, 吴熙载. 褶纹冠蚌珍珠囊发育的研究. 水生生物学报, 1991, **15**(3): 227—233]
- [17] Jiao Y, Shi S L, Du X D, *et al.* The study pearl-sac of development tissue and histochemistry in *Pinctada martensii* [J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2010, **30**(4): 7—10 [焦钰, 师尚丽, 杜晓东, 等. 马氏珠母贝珍珠囊发育的组织和组织化学研究. 广东海洋大学学报, 2010, **30**(4): 7—10]
- [18] Du X D, Jiao Y, Deng Y W, *et al.* Ultrastructural observation of pearl sacs of *Pinctada martensii* [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2010, **32**(5):160—164 [杜晓东, 焦钰, 邓岳文, 等. 马氏珠母贝 *Pinctada martensii* 珍珠囊发育的超微结构观察. 海洋学报, 2010, **32**(5): 160—164]
- [19] Shi A J, Zhang M, Wu Z W, *et al.* The study of pearl sacs formation of *Hyriopsis cumingii* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 1985, **9**(3): 247—253 [石安静, 张矛, 吴中文, 等. 三角帆蚌珍珠囊形成的研究. 水产学报, 1985, **9**(3): 247—253]
- [20] Hu X X, Shi A J. The research of histology and enzyme histochemistry of pearl sacs formation of *Sinanodonta woodiana* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1995, **19**(2): 139—145 [胡曦璇, 石安静. 背角无齿蚌珍珠囊形成过程的组织学和酶组织化学研究. 水生生物学报, 1995, **19**(2): 139—145]
- [21] Wada K T. The pearls produced from the groups of pearl oyster selected for colour of nacre in the shell for two generations [J]. *Bulletin of National Research Institute of Aquaculture*, 1985, **7**: 1—7
- [22] 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**: 25—32
- [23] Gu Z F, Wang Y, Shi Y H, *et al.* The comparative analysis of morphological character and shell nacre color between two different geographical population of *Pinctada martensii* [J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2009, **30**(1): 79—88 [顾志峰, 王嫣, 石耀华, 等. 马氏珠母贝两个不同地理种群形态性状和贝壳珍珠质颜色比较分析. 渔业科学进展, 2009, **30**(1): 79—88]
- [24] Acosta-Salmon H, Martinez-Fernandez E, Southgate P C. A new approach to pearl oyster brood stock selection: Can saibo donors be used as future brood stock [J]? *Aquaculture*, 2004, **231**: 205—214