

doi: 10.3969/j. issn. 2095 - 0780. 2014. 06. 006

合浦珠母贝全同胞家系贝壳珍珠质颜色分析

吴 曼^{1,2}, 刘宝锁¹, 黄桂菊¹, 陈明强¹, 郭奕惠¹, 陈素文¹, 喻达辉¹

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业部南海渔业资源开发与利用重点实验室, 广东 广州 510300;
2. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201406)

摘要: 合浦珠母贝(*Pinctada fucata*)小片贝的珍珠质颜色直接影响育珠贝所产珍珠的颜色。每个合浦珠母贝的珍珠质颜色都有自己的颜色特征值, 即三刺激值和颜色参数。试验选择16个合浦珠母贝全同胞家系, 用CSE成像分析色度系统测量并比较各家系左壳内侧外缘珍珠质颜色参数Lab和三刺激值, 以筛选适合做插核小片贝的家系。珍珠质的颜色参数明度(*L*)为98.586 ~ 105.234, 其中F16家系的明度最大, F3家系的明度最小; *a*(红绿色品)为-0.967 ~ -6.577, *b*(黄蓝色品)为5.915 ~ 11.237, F14家系色品最偏向于绿色(-*a*), F16家系色品最偏向于黄色(*b*)。F3和F14家系贝壳外缘珍珠质的色差(*E_{ab}*)最大(7.885), 肉眼能明显觉察。16个家系的合浦珠母贝都属于白色系列, 其中离白光中心最近(*a² + b²*最小)且个体颜色集中的F1家系最适合用作小片贝来选育培养。

关键词: 合浦珠母贝; 珍珠; 小片贝; 珍珠质颜色

中图分类号: S 968.35

文献标志码: A

文章编号: 2095 - 0780 - (2014) 06 - 0044 - 07

Analysis of shell nacre color in full-sib families of pearl oyster (*Pinctada fucata*)

WU Man^{1,2}, LIU Baosuo¹, HUANG Guiju¹, CHEN Mingqiang¹, GUO Yihui¹, CHEN Suwen¹, YU Dahui¹

(1. Key Lab of South China Sea Fishery Resources Exploitation & Utilization, Ministry of Agriculture; South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China;
2. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The shell nacre colors of the donor pearl oysters (*Pinctada fucata*) directly affect the colors of the pearls produced by the donor s mantle pieces. Each pearl oyster s shell nacre has its own color characteristics, namely the tristimulus values and color parameters. Sixteen full-Sib families were analyzed in the study. Average value of *L* (light), *a* (red and green) and *b* (yellow and blue) ranged between 98.586 ~ 105.234, -0.967 ~ -6.577 and 5.915 ~ 11.237, respectively. The color of F14 was the closest to green (-*a*) among all families, while F16 was the closest to yellow (*b*). The biggest *E_{ab}* was 7.885 between F3 and F14, which could be observed easily by naked eye. The colours of all the families belonged to white. Among them, F1 was the best one as a candidate donor pearl oyster to provide mantle pieces because of the small color differences among individuals and the shortest distant to white color center.

Key words: *Pinctada fucata*; pearl; donor pearl oyster; shell nacre color

收稿日期: 2014-05-06; 修回日期: 2014-05-26

资助项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-48); 广东省科技计划项目(2012B050700004); 广东省海洋渔业科技推广专项(A200901A10, A201101A01, A201101A03, A201201A03, A201201A02, A201201A08, A201301A08); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(中国水产科学研究院南海水产研究所)资助项目(2013YD02, 2013YD04)

作者简介: 吴 曼(1989 -), 女, 硕士研究生, 从事海水珍珠贝遗传育种研究。E-mail: 110269012345abc@163.com

通信作者: 喻达辉(1963 -), 男, 博士, 研究员, 从事水产动物遗传育种和养殖研究。E-mail: pearlydh@163.com

珍珠养殖中育珠贝的作用是接受珠核和外套膜小片(俗称细胞小片), 细胞小片生长包围珠核形成珍珠囊, 珍珠囊分泌珍珠质形成珍珠。细胞小片供体贝(俗称小片贝)的作用是提供外套膜细胞小片给育珠贝。珍珠的光泽、颜色、形状、大小、珍珠质厚度以及表面瑕疵是评价珍珠质量的主要因素^[1]。而其中的光泽、颜色、珍珠质厚度等与细胞小片有关。小片贝贝壳珍珠质的颜色很大程度上决定了珍珠的颜色, 因此贝壳珍珠质颜色的量化研究对小片贝选育具有重要指导作用。颜色的量化系统包括 Lab 值和 XYZ 三刺激值。1976 年国际照明委员会确定了 L^* a^* b^* 颜色空间(图 1), 称之为 CIELAB 系统, 它适用于一切光源色或物体色的表示与计算。所有的颜色可用 L^* 、 a^* 、 b^* 3 个轴的坐标来定义。 L^* 为垂直轴, 代表明度, 其值从底部到顶部为 0(黑)到 100(白); a^* 代表红绿轴上颜色的饱和度, 其中 - a 表示绿的程度, + a 表示红的程度; b^* 代表蓝黄轴上颜色的饱和度, 其中 - b 表示蓝的程度, + b 表示黄的程度。颜色的三刺激值 XYZ 是指红、绿、蓝三原色的值, 表示颜色的光色度特性, 使用三刺激值可确切地标明颜色特征。珍珠颜色测量表明, 白色系列的珍珠 L 值一般大于 90, 黑色珍珠 L 值一般小于 55; 红色珍珠的 a 值一般大于 4.0, b 值一般大于 13.0。在育种方面, 贝壳珍珠质的颜色已经成为珍珠贝育种的重要指标^[2-4]。生产中一般是用肉眼对小片贝进行挑选, 主观性较强。利用颜色分析系统能使对珍珠质颜色描述由模糊的主观指标变成数据化的客观指标, 有助于科学直观地选育出优质的小片贝。国内外利用测色仪器量化珍珠质颜色来选育合浦珠母贝小片贝的研究并不多见。该试验选用海南陵水新村养殖的同一批合浦珠母贝家系中生长最好的 16 个全同胞家系, 应用 CSE-1 成像色度分析系统对贝壳内侧珍珠质外缘对应外套膜制作小片的部分进行颜色测量, 得到各自的颜色参数和色度图, 以之分析各家系的珍珠质颜色和色差, 为合浦珠母贝优良小片贝新品系的选育提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 合浦珠母贝全同胞家系的选择

用于试验的合浦珠母贝为海南陵水新村一批 9 月龄的全同胞家系中生长性状最优的 16 个家系, 分别编号为 F1 ~F16。

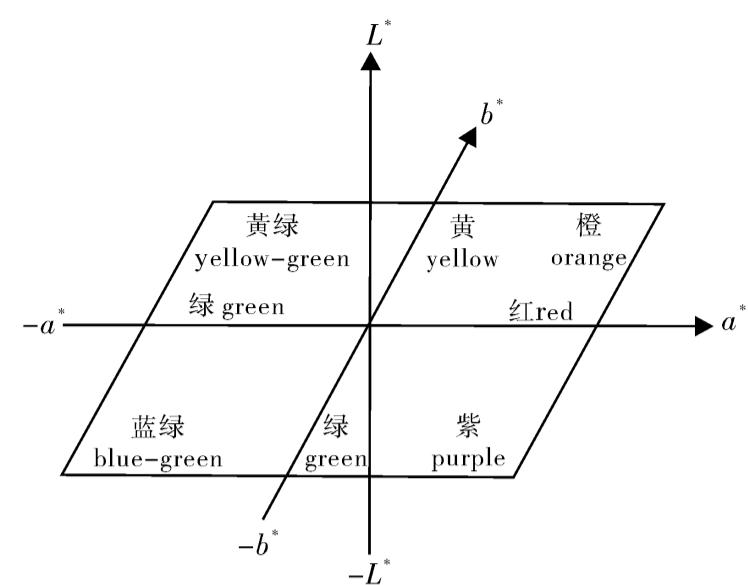


图 1 Lab 在三维空间的颜色分布

Fig. 1 Three-dimensional color diagram of Lab

1.2 样品处理和颜色数据的采集

将合浦珠母贝贝壳洗净擦干后, 每个家系中挑选 50 个无才女虫感染的个体, 用 CSE-1 成像色度分析仪器测量左壳内面靠外缘, 相当于制作外套膜细胞小片对应位置、色彩光泽均匀并且比较平坦的 3 个点(图 2), 避开凹凸不平和瑕疵部位。记录测量相应的三刺激值 XYZ 和颜色参数 Lab。



图 2 合浦珠母贝珍珠质颜色测量点

Fig. 2 Three spots on shell nacre to analyze colours

1.3 颜色数据的处理

用 Excel 2010 软件计算测量的合浦珠母贝每个家系贝壳上 3 个点颜色的三刺激值 XYZ(CIE1931)和颜色空间参数 Lab(CIE1976)各自的平均值。根据下列色差计算公式计算每组合浦珠母贝家系间的色差 E :

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

式中明度差: $L^* = L_1^* - L_2^*$, 色度差: $a^* = a_1^* - a_2^*$, $b^* = b_1^* - b_2^*$ 。

将珍珠质色差值最大的 2 个家系和距离白点最近和最远的 2 个家系各自 50 个个体的颜色三刺激值或色品坐标输入 CIE1931 色度图系统中, 得到珍珠质颜色的色度图。色度图显示的是被测物体的呈色域。通过色度图可以直观地比较不同家系珍珠质的颜色分布以及每个家系个体的珍珠质颜色。色品坐标 x 、 y 与三刺激值 XYZ 的关系为:

$$x = X/(X + Y + Z), \quad y = Y/(X + Y + Z)$$

2 结果

2.1 色品比较

经 CSE 成像色度分析系统测量得到 16 个家系贝壳外缘珍珠质颜色参数 Lab(表 1)。明度(*L*)在 98.586 ~ 105.234 之间, 都属于白色系列(*L*>90), 其中 F16 的明度(*L*)最大, F3 的明度最小。*a*为 -0.967 ~ -6.577, *b*为 5.915 ~ 11.237, 从 *ab* 值在颜色上的分布(图 1)来看, Lab 的交叉点是白色, 表明珍珠质颜色都偏向黄绿色。其中 F14 色品最偏向于绿色(-*a*), F16 最偏向于黄色(*b*), F16 也是偏离白点最远的家系(*a*² + *b*² 最大), F1 是离白点最近的家系(*a*² + *b*² 最小)。

表 1 各家系颜色 Lab 平均值

Tab. 3 Average value of Lab for each family

家系 family	颜色参数 color parameter		
	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
F1	100.039	-4.315	5.915
F2	100.201	-2.337	8.329
F3	98.586	-0.967	9.776
F4	98.674	-2.311	9.573
F5	98.830	-2.624	10.698
F6	99.979	-3.710	9.097
F7	99.496	-4.929	9.929
F8	100.294	-5.286	7.284
F9	103.278	-2.425	10.730
F10	103.666	-5.335	9.558
F11	103.652	-5.096	9.235
F12	100.819	-5.355	9.584
F13	103.741	-6.481	9.138
F14	103.780	-6.577	7.848
F15	103.385	-5.471	9.309
F16	105.234	-3.530	11.237

2.2 色差比较

合浦珠母贝 16 个全同胞家系之间的色差 E_{ab} 见表 2。一般来说, 肉眼能感觉到的最小色差 E_{ab} 值为 1.5。表 2 显示合浦珠母贝子代 16 个全同胞家系中 F10 和 F11、F10 和 F15、F11 和 F15、F3 和 F4、F4 和 F5、F7 和 F12、F10 和 F13、F11 和

F13、F13 和 F14、F13 和 F15 之间的色差值都小于 1.5, 用肉眼无法辨别它们珍珠质的颜色差异, 其余各组之间的色差都大于 1.5, 即这些家系的珍珠质颜色都有明显的差别, 可用肉眼区分。其中家系 F3 和 F14 之间的色差值最大(7.885), 家系 F10 和 F15 之间的色差最小(0.400)。

2.3 色度图比较

16 个全同胞合浦珠母贝家系的色度图坐标见表 3。根据色度图中心白色(相当于中午阳光的光色)的色度坐标(*x*=0.310, *y*=0.316, *x*、*y*分别代表红、绿原色的比例), 各家系珍珠质颜色的三刺激值 XYZ 集中在色度图上 *x*=0.31 ~ 0.35 和 *y*=0.34 ~ 0.36 区间, 16 个家系的珍珠质颜色都接近白色(表 3), 但其中绿原色比红原色比例更高。16 个家系个体的平均色度坐标 *xy* 分布见图 3, F1 在 *x* 轴离中心白点坐标最近, F3 最远。除 F1 外, 其他家系的颜色比较接近。

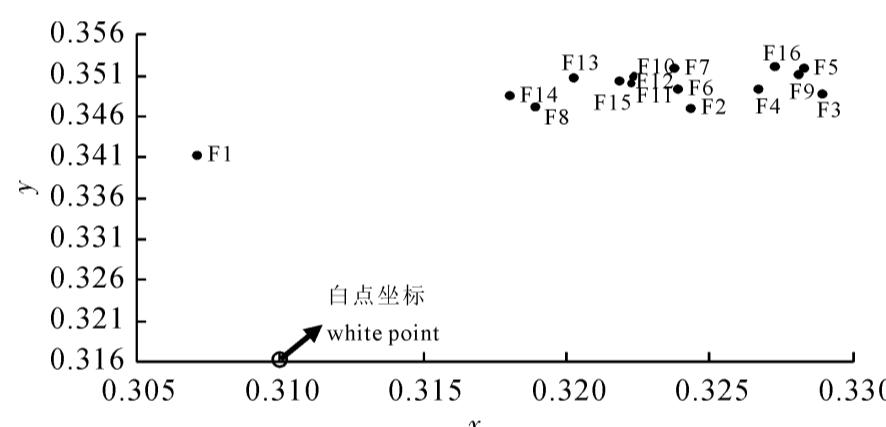


图 3 家系贝壳外缘珍珠质颜色的色度图位置

Fig. 3 Position of average tristimulus values of each family and coordinates on CIE color diagram

图 4 是珍珠质颜色色差值最大的 2 个家系 F3 和 F14 的 50 个个体珍珠质颜色在 CIE1931 色度图上的分布。图 5 是由个体平均 Lab 值得出的离中心白点最近和最远的 2 个家系 F1 和 F16 的 50 个个体珍珠质颜色在 CIE1931 色度图上的分布。色度图中的马蹄形曲线上的各点是光谱轨迹, 380 ~ 700 nm 是各种颜色的波长。色度图中 *x* 轴色度坐标相当于红基色的比例, *y* 轴色度坐标相当于绿基色的比例。色度图中间的弧线上的交叉线代表颜色的色温分布。中午太阳的色温即白色光点的色温为 5 500 K。F3 家系大部分个体珍珠质颜色色温为 5 000 ~ 6 000 K(图 4-a), 偏白色, F14 家系大部分个体珍珠质色温为 5 500 ~ 7 000 K(图 4-b), 偏蓝绿色。F1 家系大部分个体珍珠质色温集中在 6 000 K

表2 全同胞 16个子代家系之间的色差 E_{ab} Tab. 2 Chromatic abberation E_{ab} among 16 full-sib families

E_{ab}	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16
F1	3.125	5.313	4.389	5.216	3.240	4.097	1.699	6.103	5.241	4.968	3.893	5.365	4.781	4.904	7.479
F2		2.566	1.970	2.753	1.590	3.127	3.131	3.903	4.744	4.510	3.327	5.510	5.570	4.573	5.934
F3			1.362	1.911	3.151	4.068	5.271	5.005	6.703	6.558	4.928	7.575	7.885	6.598	7.274
F4				1.178	1.971	2.767	4.088	4.748	5.836	5.714	3.724	6.577	6.874	5.678	6.877
F5					2.250	2.520	4.570	4.452	5.660	5.613	3.558	6.437	6.947	5.548	6.490
F6						1.552	2.423	3.899	4.056	3.928	1.910	4.673	4.923	3.840	5.678
F7							2.785	4.606	4.206	4.217	1.432	4.589	5.040	3.975	6.050
F8								5.382	4.067	3.888	2.360	4.092	3.760	3.699	6.567
F9									3.161	3.084	3.993	4.382	5.080	3.363	2.304
F10									0.403	2.847	1.223	2.117	0.400	2.922	
F11										2.866	1.391	2.033	0.466	2.995	
F12											3.163	3.644	2.583	5.056	
F13												1.294	1.085	3.917	
F14													1.875	4.784	
F15															3.303

表3 16个子代群体三刺激值的平均数及在色度图上的坐标

Tab. 3 Average tristimulus values of 16 full-sib families and coordinates on CIE color diagram

家系 family	三刺激值 tristimulus value			色度图坐标 coordinates on color diagram	
	X	Y	Z	x	y
F1	92.90	100.57	98.88	0.318	0.344
F2	95.13	101.79	96.37	0.324	0.347
F3	91.86	97.44	90.01	0.329	0.349
F4	90.50	96.81	89.74	0.327	0.349
F5	90.92	97.46	88.59	0.328	0.352
F6	93.01	100.33	93.83	0.324	0.349
F7	91.33	99.25	91.49	0.324	0.352
F8	93.01	101.27	97.33	0.319	0.347
F9	101.86	108.99	99.61	0.328	0.351
F10	101.16	110.09	102.59	0.322	0.351
F11	101.27	110.01	102.97	0.322	0.350
F12	94.00	102.39	95.22	0.322	0.351
F13	100.66	110.25	103.41	0.320	0.351
F14	100.7	110.35	105.59	0.318	0.349
F15	100.35	109.27	102.19	0.322	0.350
F16	106.29	114.37	104.12	0.327	0.352

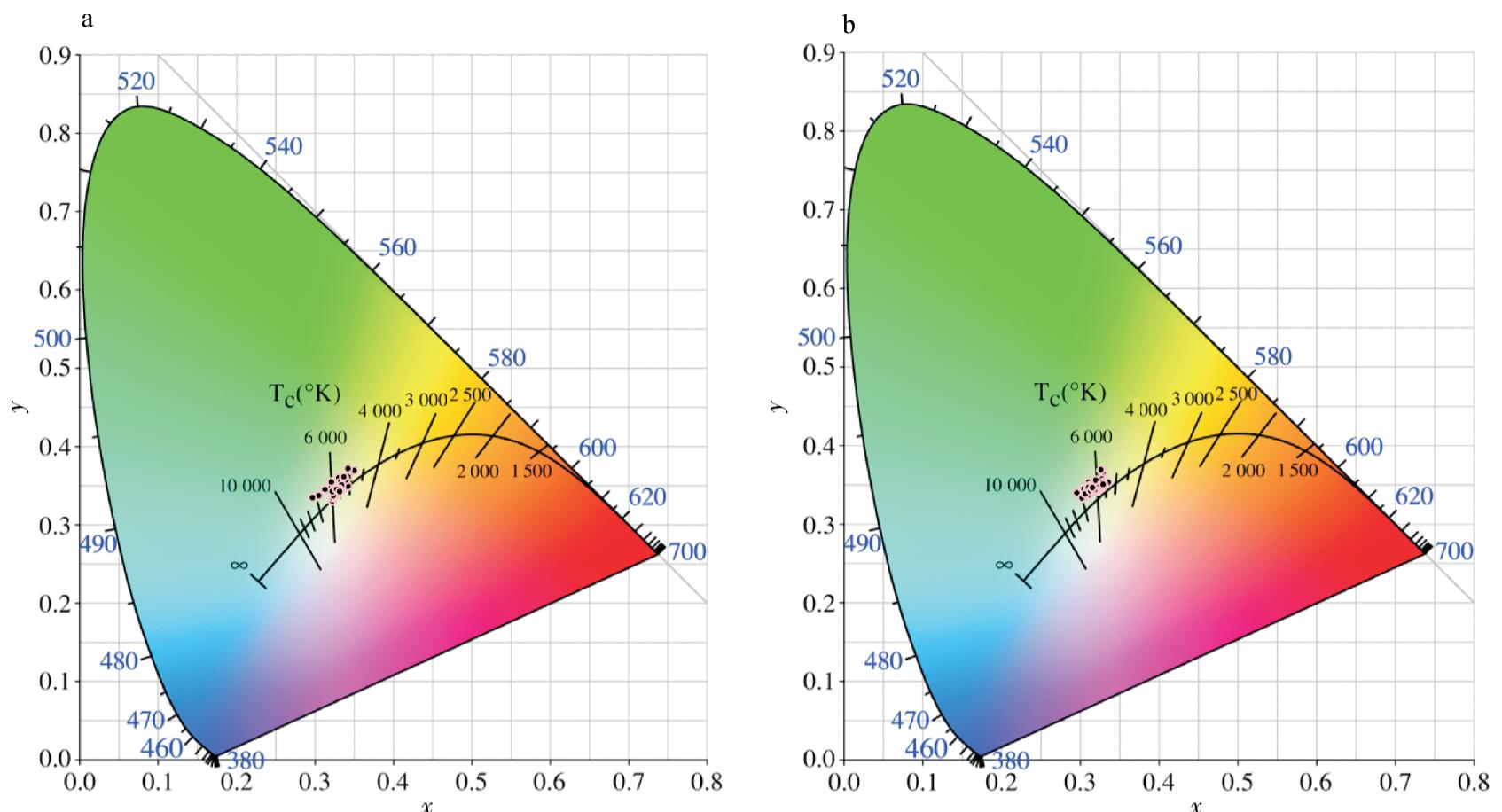


图4 2个色差最大家系的色品图

a. F3 家系；b. F14 家系

Fig. 4 Chromaticity diagrams of shell nacre from two families with the biggest E_{ab}

a. F3 family; b. F14 family

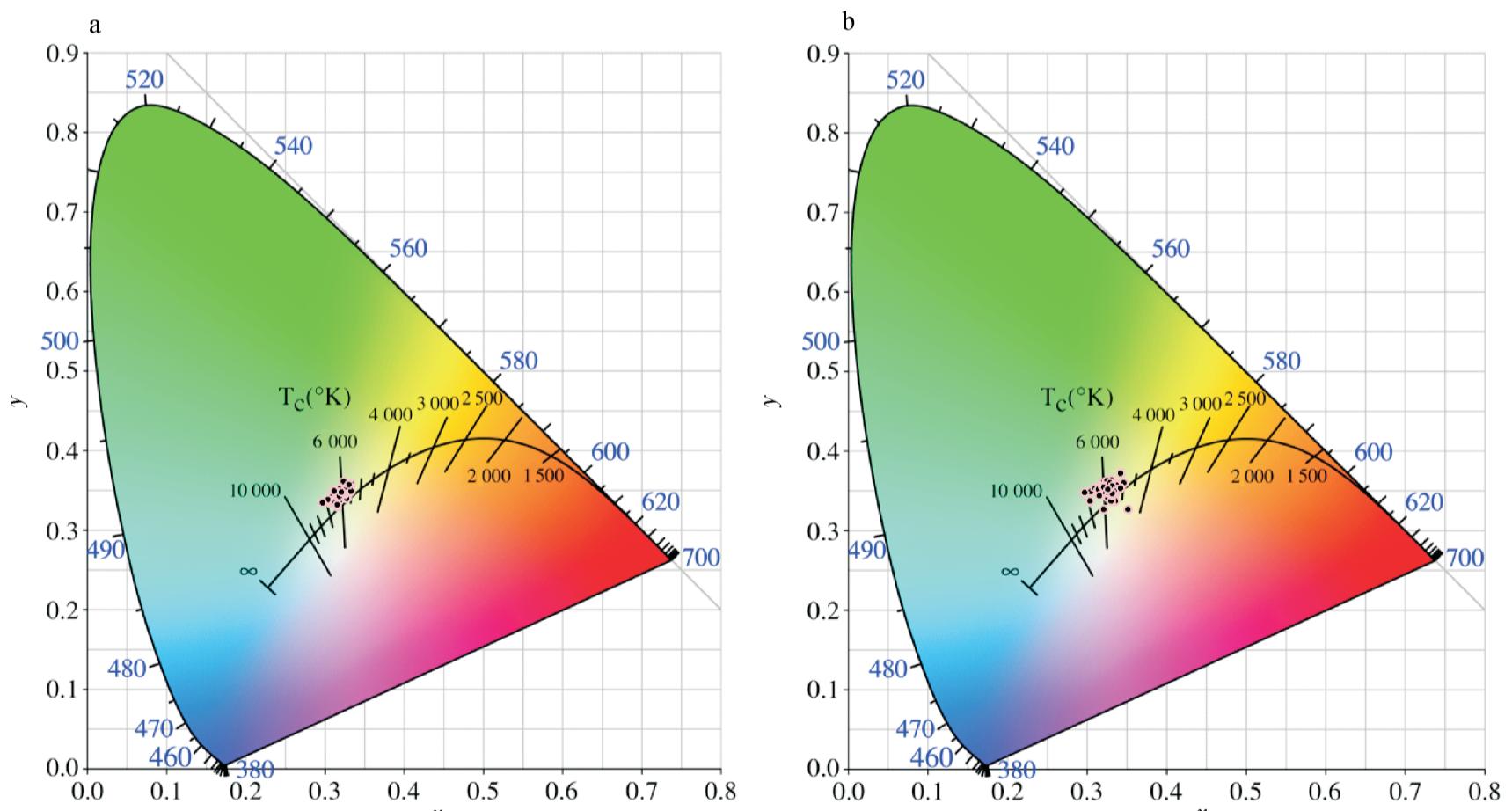


图5 与白点最近和最远的2个家系的色品图

a. F1 家系；b. F16 家系

Fig. 5 Chromaticity diagrams of shell nacre from two families with the nearest and farthest distance to white point

a. F1 family; b. F16 family

周围(图5-a)，F16家系大部分个体珍珠质色温在5 000~7 000 K(图5-b)。由颜色色温分布已知5 000~6 000 K色温用肉眼观察都是白色区域。

F1家系个体最集中，个体珍珠质颜色差异小且又接近白色。

3 讨论

珍珠质的颜色一方面具有种属特异性, 不同物种具有不同的珍珠质颜色, 如大珠母贝(*P. maxima*)的珍珠质为银白色或金黄色, 黑珠母贝(*P. nigra*)的为墨绿色、灰色或紫色, 企鹅珍珠贝(*Pteria penguin*)为墨绿色、古铜色、褐色或浅色^[5]; 同时同一物种不同个体之间也有差异, 如不同地理种群的合浦珠母贝珍珠质颜色存在差异^[6-7]; 而且家系子代与亲本间的颜色存在显著差异^[8]。作为小片贝, 其珍珠质的颜色决定了所形成珍珠的颜色^[9-10]。国外对插核珍珠的研究显示珍珠的颜色与细胞小片贝的珍珠质颜色相同^[9, 11]。TAYLOR^[12]将银白色珍珠质的大珠母贝作为小片贝, 其所产的珍珠大部分都是银白色珍珠, 金黄色珍珠质的大珠母贝作为小片贝所产的珍珠主要是金黄色。McGINTY 等^[13]将产黑珍珠的珠母贝(*P. margaritifera*)外套膜细胞小片植入到大珠母贝中, 产出的是黑珍珠, 而将产银白色珍珠的大珠母贝外套膜细胞小片植入到珠母贝时, 产出的是银白色珍珠, 进一步直观地证明了珍珠及其色彩是由小片贝形成和决定。在淡水珍珠研究中, 张根芳等^[14]对三角帆蚌(*Hyriopsis camingii*)进行插片试验, 结果表明珍珠的颜色深浅变化与小片蚌相应位置的珍珠质颜色深浅变化一致。朱文彬^[15]对不同颜色的小片蚌进行育珠试验, 结果表明用紫色珍珠质层的三角帆蚌小片培育的珍珠中, 很大比例呈紫色。表明三角帆蚌所产珍珠的颜色与育珠蚌珍珠质的颜色无关, 而与小片蚌的珍珠质颜色有关。目前在珍珠养殖中, 为了让珍珠的颜色更纯, 主要是通过人工分拣、漂白、着色、增光等优化加工来实现^[5]。但珍珠经过加工后质量会受到一定程度的损害, 表面珍珠质层会变薄, 光泽度也会下降^[16]。虽然加工会稍微改善珍珠的颜色, 但是成品珍珠的颜色仍与珍珠原色有很大关系^[17], 因此珍珠的原色仍是珍珠育种研究的重点对象。分光光度测色仪主要测量物体反射的光谱功率分布或物体本身特性^[18], 已广泛应用于交通、建筑、服装和家电制造业等各行各业^[19-21]。CIE 色度分析是分析颜色的国际标准, 任何颜色都能以红绿蓝三基色的比例在 CIE 色度图中占有确定的位置。因此通过 CSE 成像色度分析系统得到的数据具有科学性和可比性, 已用于合浦珠母贝的珍珠质颜色的测量^[6-8]。

由于利用测色仪器测量珍珠质颜色选育小片贝的方法未被广泛应用, 所以仍没有具体的颜色参数范围来对珍珠质颜色进行分级。

市场上银白色的海水珍珠价值最高, 试验中合浦珠母贝 16 个全同胞家系贝壳外缘位置的珍珠质颜色之间的色差值大, 珍珠质颜色明度 L 范围为 98. 586 ~ 105. 234, a 为 - 0. 967 ~ - 6. 577, b 为 5. 915 ~ 11. 237, 比作为良好小片贝的印度贝等更偏向银白色^[6-7], 所以这批全同胞家系是作为小片贝的良好材料, 其中 F1 家系珍珠质颜色更接近色度图的白点, 且 F1 家系个体间颜色差异小, 是 16 个家系中最适合作为小片贝的家系。严俊等^[22]在将 3 种颜色的珍珠粉碎后进行色度测量得到白色珍珠的颜色指标 Lab 分别为 108. 5、- 7. 9 和 - 3. 5, 紫色珍珠的 Lab 分别为 113. 8、- 7. 7 和 - 2. 8, 粉色珍珠的 Lab 分别为 113. 0、- 7. 7 和 - 2. 8, 与笔者选出来的作为小片贝的贝壳内面外缘珍珠质的颜色参数有一定差异, 可能与贝壳外缘珍珠质层比较薄, 深色的棱柱层和外侧的角质层颜色可以透出有关, 因而影响珍珠质的明度。

参考文献:

- [1] 宋中华, 喻学惠, 章西焕. 养殖珍珠质量影响因素 [J]. 宝石和宝石学杂志, 2001, 3(1): 18 - 21.
- [2] WADA K T. The pearls produced from the groups of pearl oyster selected for colour of nacre in the shell for two generations [J]. Bull Natl Res Inst Aquacult, 1985(7): 1 - 7.
- [3] ACOSTA-SALM N H, MART NEZ-FERN NDEZ E, SOUTH-GATE P C. A new approach to pearl oyster broodstock selection: can saibo donors be used as future broodstock? [J]. Aquaculture, 2004, 231(1/2/3/4): 205 - 214.
- [4] ACOSTA-SALM N H, MART NEZ-FERN NDEZ E, SOUTH-GATE P C. Use of relaxants to obtain saibo tissue from the blacklip pearl oyster (*Pinctada margaritifer*) and the Akoya pearl oyster (*Pinctada fucata*) [J]. Aquaculture, 2005, 246 (1/2/3/4): 167 - 172.
- [5] 李立平, 陈钟惠. 养殖珍珠的辐照处理 [J]. 宝石和宝石学杂志, 2002, 4(3): 16 - 22.
- [6] 顾志峰, 王嫣, 王爱民, 等. 马氏珠母贝两个不同地理种群的形态性状和贝壳珍珠质颜色比较分析 [J]. 渔业科学进展, 2009, 30(1): 79 - 86.
- [7] 王嫣, 石耀华, 王爱民, 等. 成像分析系统在马氏珠母贝遗传育种上的初步应用 [C] 第三届海洋生物高技术论坛文集. 厦门: 国家 863 计划资源环境技术领域办公室, 2005: 504 - 507.
- [8] 叶翹. 马氏珠母贝选育家系遗传结构分析及贝壳珍珠质颜色分析 [D]. 海口: 海南大学, 2006.

- [9] GERVIS M H, SIMS N A. The biology and culture of pearl oysters (Bivalvia: Pteridae) [C]. London: Overseas Development Administration (ODA), 1992: 1 - 49.
- [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 [J]. 广东海洋大学学报, 2010, 30(4): 7 - 10.
- [11] WADA K T. Experimental biological studies on the occurrence of yellow color in pearls[J]. Bull Natl Pearl Res Lab, 1969(14): 1765 - 1820.
- [12] TAYLOR J J. Producing golden and silver south sea pearls from Indonesian hatchery reared *Pinctada maxima*: 3rd World Aquaculture Conference, April 23-27, 2002, Beijing, China [C]. [S. l.]: World Aquaculture Society, 2002: 754.
- [13] 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.
- [14] 张根芳, 许式见, 方爱萍. 三角帆蚌(*Hyriopsis cumingii*)外套膜无核珍珠颜色成因的育珠实验 [J]. 海洋与湖沼, 2013,
- [15] 朱文彬. 两种不同贝壳珍珠质色三角帆蚌的形态性状和珍珠颜色的比较分析 [C]. 中国动物学会. 中国海洋湖沼学会贝类学会分会第十四次学会研讨会论文摘要汇编, 2009: 31.
- [16] 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 [J]. 宝石和宝石学杂志, 2006, 8(2): 9 - 14.
- [17] YASUNORI M. Effects of Y-irradiation on color and fluorescence of pearls[J]. JJAP, Part 1, 1998, 27(2): 235 - 239.
- [18] 杜春玲, 张晞, 葛蕾, 等. 颜色测量仪器及其发展 [J]. 现代仪器, 2005, 11(3): 56 - 57.
- [19] 李宏光, 吴宝宁, 施浣芳, 等. 几种颜色测量方法的比较 [J]. 应用光学, 2005, 26(3): 60 - 63.
- [20] 陈仲林, 张玉奇. 色差研究 [J]. 照明工程学报, 1998, (4): 28 - 32.
- [21] 陈炳若, 杜科, 李玉传, 等. 颜色探测的研究与进展 [J]. 半导体光电, 2000, 21(4): 238 - 255.
- [22] 严俊, 胡仙超, 王巨安, 等. 不同颜色的淡水养殖珍珠呈色机理研究 [J]. 岩矿测试, 2013, 32(2): 263 - 268.