

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2018.17198

5 种壳色长牡蛎不同组织常规营养成分分析与评价

朱怡静, 李琪, 张景晓, 于红, 孔令峰

中国海洋大学 海水养殖教育部重点实验室, 山东 青岛 266003

摘要: 对壳黑、壳紫、壳橙、壳金和壳白 5 种壳色长牡蛎(*Crassostrea gigas*)不同组织包括闭壳肌、外套膜、鳃、性腺-内脏团的营养成分(水分、总蛋白质、总脂肪、糖原、灰分)进行检测分析, 比较它们与普通养殖群体营养成分的差异以及 5 种壳色长牡蛎各组织间营养成分的差异。结果表明, 在闭壳肌中, 壳紫长牡蛎的总脂肪含量显著高于壳橙长牡蛎($P<0.05$), 其他组分在 6 个群体中未表现出显著性差异($P>0.05$); 在外套膜中, 壳金长牡蛎总脂肪含量显著高于壳黑、壳橙和普通养殖群体($P<0.05$), 壳白长牡蛎的灰分含量显著高于普通养殖群体($P<0.05$), 其他组分在各群体之间未表现出显著性差异($P>0.05$); 在鳃中, 长牡蛎壳橙、壳紫、壳白选育群体的糖原含量显著低于对照组($P<0.05$), 其他组分在 6 个群体之间没有显著性差异($P>0.05$)。长牡蛎 5 种壳色选育群体和普通养殖群体的性腺-内脏团在水分、总蛋白质、总脂肪、糖原和灰分中均无显著性差异($P>0.05$)。4 个组织中水分和灰分均以外套膜和鳃中含量最高, 闭壳肌中总蛋白质的含量则在 4 个组织中居首位, 总脂肪和糖原含量均以性腺-内脏团中最高。研究结果表明不同壳色长牡蛎之间以及不同壳色与普通对照群体之间在一些重要营养成分上已表现出分化, 这为长牡蛎壳色品系选育提供了重要的参考资料。

关键词: 长牡蛎; 壳色; 营养成分; 闭壳肌; 外套膜; 鳃; 性腺-内脏团

中图分类号: S968

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2018)02-0354-07

长牡蛎(*Crassostrea gigas*)又称太平洋牡蛎, 具有环境适应性强、生长快、肉质鲜美和营养丰富等优点, 是世界产量最高、养殖范围最广的经济贝类之一, 也是我国重要的海水养殖种类。2015 年全国牡蛎的总产量达 457 万 t, 占全国贝类养殖总产量的 33.7%^[1], 居世界首位。然而, 近年来随着养殖规模的扩大和养殖区环境的恶化, 长牡蛎开始出现生长缓慢、死亡率增高、抗逆性下降等问题, 严重影响了牡蛎养殖业的发展。从长远来看, 对长牡蛎性状进行遗传改良是确保牡蛎养殖产业可持续发展的关键。近年来, 国内外学者纷纷开展了长牡蛎的遗传育种研究, 主要集中在多倍体育种^[2], 选择和杂交育种^[3-5]以及壳色新品系选育^[6-7]等方面。

壳色多态性在海洋经济贝类中普遍存在, 许

多色彩缤纷的贝壳颜色, 由于其具有稳定的遗传性, 长期受到遗传学家、育种学家的关注。贝类美观的壳色不仅会给消费者带来视觉享受、吸引众多的贝壳收藏者, 还能显著提高商品的价值^[8]。因此, 贝类壳色新品系的选育成为了育种研究者关注的热点^[9]。在长期的长牡蛎遗传改良工作中, 我们选育出了黑壳色、紫壳色、橙壳色、金壳色和白壳色 5 种壳色类型(图 1)。目前, 对长牡蛎壳色选育群体的生长存活性状的研究发现, 长牡蛎壳色与其生长和存活性状关联显著^[10]; 基于单核苷酸多态性(SNP)标记的遗传分析表明, 长牡蛎各壳色选育群体之间存在显著的遗传分化^[11]。但关于长牡蛎不同壳色之间营养成分是否存在差异尚未见报道。

为了进一步了解不同壳色长牡蛎的食用和营养价值, 本研究对 5 种壳色长牡蛎的 4 种组织(闭

收稿日期: 2017-05-31; 修订日期: 2017-08-05.

基金项目: 泰山学者种业计划专家项目; 山东省重点研发计划项目(2016ZDJS06A06); 山东省良种工程.

作者简介: 朱怡静(1991-), 女, 硕士研究生, 主要从事贝类遗传育种研究. E-mail: m17864272502@163.com

通信作者: 李琪, 教授. E-mail: qili66@ouc.edu.cn

壳肌、外套膜、鳃和性腺-内脏团)的常规营养成分组成进行了比较分析,旨在更全面地了解不同壳色长牡蛎各组织的营养价值,以期丰富定向选育不同壳色长牡蛎的营养背景资料。

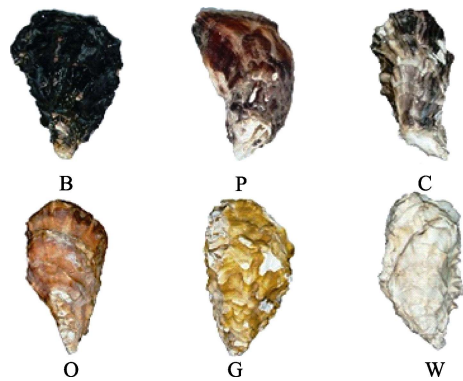


图 1 5 种壳色长牡蛎选育群体与普通对照群体
B: 壳黑; C: 对照群体; G: 壳金; O: 壳橙;
P: 壳紫; W: 壳白.

Fig. 1 *Crassostrea gigas* with five shell colors and common shell
B: black shell; C: common shell; G: golden shell; O: orange shell; P: purple shell; W: white shell.

1 材料与方法

1.1 样品采集

2015 年构建的黑壳色、紫壳色、橙壳色、金壳色和白壳色 5 种壳色长牡蛎第 5 代选育群体于 2016 年 1 月采自山东省乳山养殖海域,对照组是同期同海域养殖的商业群体。

1.2 形态学参数测定

样品活体运回实验室,将牡蛎壳表面的杂质洗刷干净后,测量壳长、壳宽、壳高和湿重(表 1)。

1.3 样品处理

每种壳色取 3 只长牡蛎作为 1 组分析样品,设置 3 个重复进行测定。解剖获取长牡蛎闭壳肌、

外套膜、鳃、性腺-内脏团各组织,冷冻于-80℃冰箱保存。待测样品组织经冷冻干燥至恒重后,研磨至粉末状,并用 80 目、孔径 0.18 mm 的筛网过滤,置于干燥器中供成分测定分析。

1.4 营养成分的测定

105℃烘干恒重法(GB/T 5009.3-2010)测定样本水分含量。取各壳色长牡蛎闭壳肌、外套膜、鳃、性腺-内脏团 4 种组织样干品,利用 Wang 等^[12]构建的近红外(NIR) (Antaris MX, Thermo Fisher, USA)分析模型对总蛋白质含量、总脂肪含量、糖原含量、灰分进行测定。

1.5 数据处理

实验所得数据用平均值±标准差($\bar{x}\pm SD$)表示,数据统计分析采用 SPSS 21.0 分析软件,用单因素方差分析(one-way ANOVA)进行显著性检验,利用 LSD 多重比较分别检测各组分之间的差异,显著性水平设定 $P<0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 5 种壳色长牡蛎选育群体与对照组闭壳肌的常规营养成分比较

5 种壳色长牡蛎选育群体与对照组闭壳肌的常规营养成分含量见表 2。6 个群体中闭壳肌的水分含量为 78.41%~79.80%;总蛋白质含量为 68.29%~76.25%,其中壳金长牡蛎含量最高,壳橙长牡蛎含量最低;糖原含量为 6.01%~9.36%,其中壳紫长牡蛎含量最高,壳金长牡蛎含量最低;灰分含量为 8.15%~9.17%;单因素方差分析显示,上述几种常规营养成分在 6 个群体中不存在显著性差异($P>0.05$);总脂肪含量为 1.86%~3.63%,其中壳紫长牡蛎含量显著高于壳橙长牡蛎($P<0.05$),壳白、壳金和壳黑长牡蛎以及对照组之间的脂肪含量差异不显著($P>0.05$)。

表 1 5 种壳色长牡蛎选育群体与对照组群体的形态学参数
Tab. 1 Morphological traits of five shell color strains and control population of *Crassostrea gigas*

形态学参数 morphological trait	壳黑 black shell	壳紫 purple shell	壳橙 orange shell	壳金 golden shell	壳白 white shell	对照 control
壳长/cm shell length	5.33±0.10	5.78±0.47	5.23±0.24	5.60±0.35	5.37±0.68	4.85±0.39
壳宽/cm shell width	3.32±0.78	3.44±0.12	2.92±0.35	2.86±0.25	3.15±0.23	3.35±0.34
壳高/cm shell height	9.92±0.62	10.31±0.74	8.21±0.59	10.723±0.57	10.12±0.37	9.86±0.71
湿重/g wet weight	7.01±0.44	8.03±1.17	6.51±1.47	8.24±1.38	9.63±1.69	7.13±1.65

表 2 5 种壳色长牡蛎选育群体与对照组群体闭壳肌的常规营养成分
Tab. 2 Biochemical components of adductor muscle between five shell color strains and control group of *Crassostrea gigas*
%, 干重 dry weight

群体 group	营养成分 proximate composition				
	水分 moisture	总蛋白质 total protein	总脂肪 total fat	糖原 glycogen	灰分 ash
壳黑 black shell	78.41±0.50 ^a	74.46±2.56 ^a	2.68±0.71 ^{ab}	7.00±2.07 ^a	8.22±2.16 ^a
壳紫 purple shell	79.80±1.36 ^a	71.94±4.44 ^a	3.63±1.08 ^b	9.36±2.04 ^a	9.17±1.43 ^a
壳橙 orange shell	79.44±0.75 ^a	68.29±11.71 ^a	1.86±0.36 ^a	8.67±3.86 ^a	8.15±2.23 ^a
壳金 golden shell	78.56±1.12 ^a	76.25±0.70 ^a	2.98±0.21 ^{ab}	6.01±1.16 ^a	8.86±1.55 ^a
壳白 white shell	78.48±0.96 ^a	72.52±3.72 ^a	3.42±0.48 ^{ab}	8.26±1.58 ^a	8.72±0.95 ^a
对照 control	78.51±0.76 ^a	74.80±0.57 ^a	2.77±0.61 ^{ab}	7.99±2.37 ^a	9.10±1.17 ^a

注: 同列数据上标不同小写字母表示有显著差异($P<0.05$).
Note: Different letters in the same row indicate significant difference ($P<0.05$).

2.2 5 种壳色长牡蛎选育群体与对照组外套膜的常规营养成分比较

外套膜中水分含量为 82.03%~82.71%; 总蛋白质含量为 49.51%~56.42%, 在对照组中含量最高, 壳紫长牡蛎中含量最低; 糖原含量为 11.05%~15.45%, 在对照组中含量最高, 壳橙长牡蛎中含量最低; 方差分析结果显示, 这 3 种成分在 6 个群体中不存在显著性差异($P>0.05$)。在总脂肪含量的比较中, 壳金长牡蛎含量显著高于壳橙、壳黑和对照组群体($P<0.05$), 壳白、壳紫、壳黑和壳橙长牡蛎及对照组之间总脂肪含量差异不显著($P>0.05$)。灰分含量为 8.28%~14.36%, 其中壳白长牡蛎的含量显著高于对照组群体($P<0.05$), 壳紫、壳金、壳橙和壳黑长牡蛎及对照组之间灰分含量差异不显著($P>0.05$, 表 3)。

2.3 5 种壳色长牡蛎选育群体与对照组鳃的常规营养成分比较

6 个群体中鳃的水分含量为 81.15%~83.74%;

总蛋白质含量 56.12%~61.26%, 对照组中含量略高, 壳紫长牡蛎含量略低; 总脂肪含量为 1.44%~2.59%, 其中壳黑长牡蛎含量最高, 壳橙长牡蛎和对照组含量最低; 灰分含量为 8.42%~15.54%; 单因素方差分析显示, 上述 4 种常规营养成分在 6 个群体中不存在显著性差异($P>0.05$)。在糖原含量的比较中, 长牡蛎壳橙、壳紫、壳白选育群体中的含量显著低于对照组($P<0.05$), 壳黑和壳金长牡蛎及对照组之间糖原含量差异不显著($P>0.05$) (表 4)。

2.4 5 种壳色长牡蛎选育群体与对照组性腺-内脏团的常规营养成分比较

5 种壳色长牡蛎选育群体与对照组性腺-内脏团的常规营养成分含量见表 5。6 个群体水分含量为 78.32%~81.38%; 总蛋白质含量占 44.37%~53.67%, 其中在壳黑长牡蛎中含量最高, 壳紫长牡蛎中含量最低; 在总脂肪含量的比较中, 含量最高的是对照组(8.02%), 最低的是壳橙长牡蛎(3.76%); 6 个群体中糖原含量接近, 壳黑长牡蛎含量略高

表 3 5 种壳色长牡蛎选育群体与对照组群体外套膜的常规营养成分
Tab. 3 Biochemical components of mantle between five shell color strains and control group of *Crassostrea gigas*
%, 干重 dry weight

群体 group	营养成分 proximate composition				
	水分 moisture	总蛋白质 total protein	总脂肪 total fat	糖原 glycogen	灰分 ash
壳黑 black shell	82.71±0.72 ^a	54.33±1.66 ^a	1.83±0.17 ^a	14.61±1.60 ^a	9.86±0.89 ^{ab}
壳紫 purple shell	82.53±1.22 ^a	49.51±4.73 ^a	2.95±0.68 ^{ab}	14.80±3.04 ^a	13.73±2.80 ^{ab}
壳橙 orange shell	82.28±0.73 ^a	52.16±1.67 ^a	1.77±0.51 ^a	11.05±2.58 ^a	12.18±0.61 ^{ab}
壳金 golden shell	82.03±0.71 ^a	49.75±3.28 ^a	4.38±1.00 ^b	14.13±1.45 ^a	12.80±2.48 ^{ab}
壳白 white shell	82.14±1.02 ^a	49.57±2.36 ^a	3.04±0.26 ^{ab}	13.29±1.62 ^a	14.36±3.30 ^b
对照 control	82.17±1.77 ^a	56.42±2.77 ^a	1.94±0.66 ^a	15.45±1.51 ^a	8.28±1.73 ^a

注: 同列数据肩标不同小写字母表示有显著差异($P<0.05$).
Note: Different letters in the same row indicate significant difference ($P<0.05$).

表 4 5 种壳色长牡蛎选育群体与对照组群体鳃的常规营养成分
Tab. 4 Biochemical components of gill of five shell color strains and control group of *Crassostrea gigas*
%, 干重 dry weight

群体 group	营养成分 proximate composition				
	水分 moisture	总蛋白质 total protein	总脂肪 total fat	糖原 glycogen	灰分 ash
壳黑 black shell	82.49±0.79 ^a	59.15±6.74 ^a	2.59±0.84 ^a	6.17±1.09 ^{ab}	12.83±6.54 ^a
壳紫 purple shell	83.74±0.59 ^a	56.12±3.18 ^a	1.81±0.21 ^a	5.32±1.25 ^a	15.54±3.53 ^a
壳橙 orange shell	83.15±1.68 ^a	61.25±4.33 ^a	1.44±0.40 ^a	4.54±1.19 ^a	8.42±3.13 ^a
壳金 golden shell	81.55±1.54 ^a	58.65±5.74 ^a	2.20±0.64 ^a	6.73±1.31 ^{ab}	13.23±6.28 ^a
壳白 white shell	82.32±1.15 ^a	60.01±4.73 ^a	2.33±0.19 ^a	5.69±0.12 ^a	12.27±5.26 ^a
对照 control	81.15±1.10 ^a	61.26±4.48 ^a	1.44±0.50 ^a	8.95±1.08 ^b	8.70±5.11 ^a

注: 同列数据肩标不同小写字母表示有显著差异($P<0.05$).
Note: Different letters in the same row indicate significant difference ($P<0.05$).

表 5 5 种壳色长牡蛎选育群体与对照组群体性腺-内脏团的常规营养成分
Tab. 5 Biochemical components of gonad-visceral mass of five shell color strains and control group of *Crassostrea gigas*
%, 干重 dry weight

群体 group	营养成分 proximate composition				
	水分 moisture	总蛋白质 total protein	总脂肪 total fat	糖原 glycogen	灰分 ash
壳黑 black shell	78.32±2.25 ^a	53.67±17.04 ^a	5.54±2.26 ^a	27.13±2.21 ^a	11.80±2.80 ^a
壳紫 purple shell	81.38±1.37 ^a	44.37±3.99 ^a	5.26±0.17 ^a	24.86±2.44 ^a	12.27±1.63 ^a
壳橙 orange shell	80.74±0.48 ^a	44.92±5.41 ^a	3.76±1.00 ^a	24.17±3.14 ^a	11.54±5.07 ^a
壳金 golden shell	78.88±1.51 ^a	51.63±14.58 ^a	6.41±2.15 ^a	22.73±2.39 ^a	11.37±2.32 ^a
壳白 white shell	79.35±0.70 ^a	44.69±2.51 ^a	5.97±0.49 ^a	23.77±1.28 ^a	12.28±2.32 ^a
对照 control	79.05±2.77 ^a	46.89±3.80 ^a	8.02±2.58 ^a	25.62±1.22 ^a	9.53±4.79 ^a

注: 同列数据肩标不同小写字母表示有显著差异($P<0.05$).
Note: Different letters in the same row indicate significant difference ($P<0.05$).

(27.13%), 壳金长牡蛎含量略低(22.73%); 灰分为 9.53%~12.28%。单因素方差分析结果显示, 5 种壳色长牡蛎选育群体和对照组在水分、总蛋白质、总脂肪、糖原和灰分中均无显著性差异($P>0.05$)。

2.5 长牡蛎 4 个组织的常规营养成分含量

长牡蛎 4 个组织中营养成分的平均含量见表 6。单因素方差分析显示, 长牡蛎闭壳肌和性腺-内脏团中的水分含量显著低于外套膜和鳃($P<0.05$); 闭壳肌与鳃中的总蛋白质含量差异显著($P<0.05$), 并显著高于外套膜和性腺-内脏团($P<0.05$); 闭壳肌、鳃和外套膜中的总脂肪含量接近, 并显著低于性腺-内脏团($P<0.05$); 性腺-内脏团和外套膜中的糖原含量差异显著($P<0.05$), 并显著高于闭壳肌和鳃($P<0.05$); 在灰分含量中外套膜和鳃的含量接近, 且二者显著高于闭壳肌($P<0.05$), 闭壳肌和性腺-内脏团中的灰分含量差异不显著($P>0.05$)。

3 讨论

长牡蛎是一种营养丰富的海味佳品, 与其他海洋贝类相比, 其营养价值更丰富、更均衡。从常规营养成分分析来看, 与其他几种双壳贝类相比, 长牡蛎总蛋白质含量平均为 58.03%, 高于文蛤(*Meretrix lusoria*) (53.82%)^[13]、偏顶蛤(*Modiolus modiolus*) (53.12%)^[14]; 总脂肪含量平均为 3.34%, 明显低于文蛤(20.89%)^[13]、偏顶蛤 (8.94%)^[14]; 糖原含量平均为 13.18%, 略低于文蛤(14.96%)^[13]; 灰分含量平均为 10.97%, 与文蛤(10.33%)^[13]相近, 但高于偏顶蛤(8.94%)^[14]。综上, 长牡蛎具有明显的高蛋白低脂肪的特点, 符合人类营养需求。

在双壳贝类中, 脂肪是最有效的能量来源, 比相同量的糖原或蛋白质提供更多的代谢能量^[15], 且脂质中含有大量的不饱和脂肪酸。本研究发现,

表 6 长牡蛎不同组织的常规营养成分
Tab. 6 Biochemical components of different body parts of *Crassostrea gigas*

组织 body part	营养成分 proximate composition				
	水分 moisture	总蛋白质 total protein	总脂肪 total fat	糖原 glycogen	灰分 ash
闭壳肌 adductor muscle	78.87±0.60 ^a	73.04±2.81 ^c	2.89±0.63 ^a	7.88±1.20 ^a	8.70±0.43 ^a
外套膜 mantle	82.31±0.26 ^b	51.96±2.90 ^a	2.65±1.02 ^a	13.89±1.57 ^b	11.87±2.35 ^b
鳃 gill	82.40±0.97 ^b	59.41±1.93 ^b	1.97±0.48 ^a	6.23±1.52 ^a	11.83±2.77 ^b
性腺-内脏团 gonad-visceral mass	79.62±1.18 ^a	47.70±3.99 ^a	5.83±1.40 ^b	24.71±1.54 ^c	11.47±1.02 ^{ab}

注：同列数据肩标不同小写字母表示有显著差异($P<0.05$).
Note: Different letters in the same row indicate significant difference ($P<0.05$).

在闭壳肌中壳紫长牡蛎脂肪含量最高，外套膜中壳金长牡蛎的脂肪含量最高，暗示了在细胞进行能量代谢时不同壳色长牡蛎不同组织供能不同。糖原是贝类主要的能量载体，是生殖细胞增殖的能量来源，在成贝配子形成时提供能量需求，同时，在缺氧条件下糖原也能进行分解代谢提供能量，这对牡蛎保持长时间闭壳状态很重要^[15]，与牡蛎的生长发育密切相关。本研究中，5 种壳色长牡蛎在各个组织中的糖原含量差异不显著，说明壳色可能不是影响糖原含量的主要因素。蛋白质是牡蛎性腺发育的能量来源^[16]，在长牡蛎饥饿或冬季食物匮乏时可作为主要的能量承担者^[17]。在本研究中，各壳色长牡蛎在各组织中蛋白质含量不存在显著性差异，表明牡蛎的壳色不是影响蛋白质含量差异的因素。

已有的研究表明，在长牡蛎壳色选育的过程中，壳色选育群体具有明显的生长优势^[18]，不同壳色的生长和存活也存在显著性差异^[10]。在本研究中，不同壳色长牡蛎在闭壳肌、外套膜、鳃的部分生化成分中存在显著性差异。有研究报道贝类营养成分与饵料种类和养殖环境密切相关^[19]。本实验的研究对象是在饵料、养殖环境及饲养方式一致的自然海区采集的，因此可以排除饵料等外界因素的影响，所产生的差异有可能与长牡蛎不同颜色有关。但壳色形成过程中，色素累积对于营养价值影响的生理生化机制还未见报道，有待进一步研究。此外研究发现，5 种壳色长牡蛎与商业对照群体之间在部分组织中存在显著性差异。在外套膜中，壳金长牡蛎的总脂肪含量显著高于商业对照群体，壳白长牡蛎的灰分含量显著

高于对照组群体；在鳃中，对照群体的糖原含量最高。邓传敏等^[20]研究发现金壳色长牡蛎和普通群体在外套膜中的各生化成分均存在显著性差异，壳金选育群体的总蛋白含量显著高于对照组，总脂肪含量和糖原含量显著低于对照组，而在其他组织中生化成分差异不显著，与本结果存在一定偏差，这可能是与养殖环境不一致有关。本研究发壳橙长牡蛎与另外 4 种壳色长牡蛎相比，壳高和湿重较小，相对偏瘦，且 4 个组织中总脂肪含量低于另外 4 种壳色群体中总脂肪含量，这可能与壳橙群体近交衰退有关^[21]。

本研究中测定的 4 个组织，闭壳肌总蛋白质含量显著高于鳃、外套膜、性腺-内脏团 3 个组织。已有研究表明贝类肌肉组织包括横纹肌和平滑肌，横纹肌主要分布在闭壳肌^[22]，这也解释了本研究的结论。脂质是动物生殖腺发育的重要能源物质，能影响生殖腺的发育，而生殖腺又是动物繁殖成败的关键，所以，脂肪对于动物的繁殖生长具有重要的影响^[23]。本研究发现性腺-内脏团的总脂肪含量显著高于闭壳肌、外套膜和鳃，这也表明脂肪在长牡蛎的生殖发育过程中具有重要的作用。邓传敏等^[20]在研究长牡蛎壳金选育群体的各组织营养成分时，也得出类似结论。有研究表明，糖原含量与牡蛎的质量和风味密切相关^[24]，可增加牡蛎风味中的醇厚感，提高牡蛎的鲜美度。本研究中糖原含量丰富，尤其是性腺-内脏团的含量在 4 个组织中最高，因此，长牡蛎的味道比较鲜美，也暗示了性腺-内脏团可能是储存糖原的主要器官。

本研究对 5 种壳色长牡蛎和普通养殖群体各

组织常规营养成分进行了分析,发现不同壳色长牡蛎之间以及不同壳色与普通对照群体之间在一些重要营养成分上已表现出分化,蛋白质、糖原含量较高,不同组织之间营养成分差异显著。研究结果为长牡蛎营养价值的研究以及壳色品系选育提供了重要的基础资料。

参考文献:

- [1] Ministry of Agriculture Fisheries of the People's Republic of China. China Fishery Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2016. [中华人民共和国农业部渔业局. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2016.]
- [2] Yu R H, Wang Z P, Shi K T, et al. Studies on large-scale culture technique in production of cultchless all-triploid Pacific oysters (*Crassostrea gigas*) seeds[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2008(3): 115-120. [于瑞海, 王昭萍, 施坤涛, 等. 单体全三倍体太平洋牡蛎育苗技术的研究[J]. 海洋湖沼通报, 2008(3): 115-120.]
- [3] Zhang Y H, Wang Z P, Yan X W, et al. Interspecific hybridization between two oysters *Crassostrea gigas* and *C. Ariakensis*[J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(8): 1215-1224. [张跃环, 王昭萍, 闫喜武, 等. 太平洋牡蛎与近江牡蛎的种间杂交[J]. 水产学报, 2012, 36(8): 1215-1224.]
- [4] Langdon C, Evans F, Jacobson D, et al. Yields of cultured Pacific oysters *Crassostrea gigas* Thunberg improved after one generation of selection[J]. Aquaculture, 2003, 220(1): 227-244.
- [5] Ge J L, Li Q, Yu H, et al. Comparison of growth and survival among the hybrid offspring of three different shell color families of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2015, 39(3): 345-352. [葛建龙, 李琪, 于红, 等. 长牡蛎3种壳色家系间杂交子代生长和存活比较[J]. 水产学报, 2015, 39(3): 345-352.]
- [6] Ge J L, Li Q, Yu H, et al. Identification and mapping of a SCAR marker linked to a locus involved in shell pigmentation of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*)[J]. Aquaculture, 2014, 434: 249-253.
- [7] Brake J, Evans F, Langdon C. Evidence for genetic control of pigmentation of shell and mantle edge in selected families of Pacific oysters, *Crassostrea gigas*[J]. Aquaculture, 2004, 229(1): 89-98.
- [8] Nell J A. The history of oyster farming in Australia[J]. Marine Fisheries Review, 2001, 63(3): 14-25.
- [9] Zhang Y H, Yan X W, Zhang P, et al. Research advances and prospects on shell color polymorphism of mollusks[J]. Fisheries Science. 2008, 27(12): 680-683. [张跃环, 闫喜武, 张澎, 等. 贝类壳色多态的研究概况及展望[J]. 水产科学, 2008, 27(12): 680-683.]
- [10] Cong R H, Li Q, Ge J L, et al. Comparison of phenotypic traits of four shell color families of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*)[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2014, 21(3): 494-502. [丛日浩, 李琪, 葛建龙, 等. 长牡蛎4种壳色家系子代的表型性状比较[J]. 中国水产科学, 2014, 21(3): 494-502.]
- [11] Song J L, Li Q, Zhong X X, et al. Genetic diversity and outlier loci detecting of shell color variation in the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) by SNP markers[J]. Aquatic Living Resources, 2017, 30: 10.
- [12] Wang W J, Yang J M, Li Q, et al. Development of calibration models for rapid determination of chemical composition of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) by near infrared reflectance spectroscopy[J]. Journal of Shellfish Research, 2015, 34(2): 303-309.
- [13] Karnjanapratum S, Benjakul S, Kishimura H, et al. Chemical compositions and nutritional value of Asian hard clam (*Meretrix lusoria*) from the coast of Andaman Sea[J]. Food Chemistry, 2013, 141(4): 4138-4145.
- [14] Song J, Cheng L, Chang Y Q, et al. Analysis and evaluation of nutrient composition in different tissues of clam *Modiolus modiolus*[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2014, 29(2): 167-170. [宋坚, 程龙, 常亚青, 等. 偏顶蛤不同组织营养成分的分析及评价[J]. 大连海洋大学学报, 2014, 29(2): 167-170.]
- [15] Pogoda B, Buck B H, Saborowski R, et al. Biochemical and elemental composition of the offshore-cultivated oysters *Ostrea edulis* and *Crassostrea gigas*[J]. Aquaculture, 2013, 400-401: 53-60.
- [16] Mathieu M, Lubet P. Storage tissue metabolism and reproduction in marine bivalves—a brief review[J]. Invertebrate Reproduction & Development, 1993, 23(2-3): 123-129.
- [17] Whyte J N C, Englar J R, Carswell B L. Biochemical composition and energy reserves in *Crassostrea gigas* exposed to different levels of nutrition[J]. Aquaculture, 1990, 90(2): 157-172.
- [18] Ge J L, Li Q, Yu H, et al. Selection response in mass selection of golden shell Pacific oyster (*Crassostrea gigas*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2016, 40(4): 612-617. [葛建龙, 李琪, 于红, 等. 长牡蛎壳金选育群体生长性状的选择效应[J]. 水产学报, 2016, 40(4): 612-617.]
- [19] Chen W, Meng X Z, Tao P. Comparative studies on nutritional composition of abalone *Haliotis discus hannai* between two shell-color stocks[J]. Journal of Fishery Sciences

- of China, 2004, 11(4): 367-370. [陈炜, 孟宪治, 陶平. 2 种壳色皱纹盘鲍营养成分的比较[J]. 中国水产科学, 2004, 11(4): 367-370.]
- [20] Deng C M, Kong L F, Yu R H, et al. Seasonal variation in gonadal development and nutritive components for golden shell color strain of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*)[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2017, 24(1): 40-49. [邓传敏, 孔令锋, 于瑞海, 等. 长牡蛎壳金选育群体性腺发育与营养成分的周年变化[J]. 中国水产科学, 2017, 24(1): 40-49.]
- [21] Zhang J X, Li Q, Ge J L, et al. Effects of inbreeding on growth and survival of larval and juvenile Pacific oyster (*Crassostrea gigas*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2014, 38(12): 2005-2011. [张景晓, 李琪, 葛建龙, 等. 近交对长牡蛎幼虫和稚贝生长与存活的影响[J]. 水产学报, 2014, 38(12): 2005-2011.]
- [22] Wu Z, Liu J R, Tian Y Y. Characteristics of the adductor and mantle myofibrils from *Patinopecten yessoensis*[J]. Journal of Fisheries of China, 2015, 39(11): 1640-1649. [吴忠, 刘俊荣, 田元勇. 虾夷扇贝闭壳肌和外套膜肌原纤维蛋白的特性分析[J]. 水产学报, 2015, 39(11): 1640-1649.]
- [23] Huang X C, Liu H H, Su X R, et al. Fatty acid levels in 7 economic shellfishes[J]. Fisheries Science, 2005, 24(8): 20-22. [黄晓春, 刘慧慧, 苏秀榕, 等. 7 种经济贝类生殖腺脂肪酸含量的研究[J]. 水产科学, 2005, 24(8): 20-22.]
- [24] Oliveira A C M, Himelbloom B, Crapo C A, et al. Quality of Alaskan maricultured oysters (*Crassostrea gigas*): a one-year survey[J]. Journal of Food Science, 2006, 71(9): C532-C543.

Analysis and evaluation of nutrient composition in different tissues of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) with five shell colors

ZHU Yijing, LI Qi, ZHANG Jingxiao, YU Hong, KONG Lingfeng

The Key Laboratory of Mariculture, Ministry of Education; Ocean University of China, Qingdao 266003, China

Abstract: Color polymorphism is relatively common in marine mollusks. Shell color affects the visual perception of products which, consequently, influences consumer preference and product value. To increase the value of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*), five shell color strains (black, purple, orange, golden, and white) of *C. gigas* have been developed through successive, selective breedings. The aim of this study was to evaluate the difference in the chemical composition and nutritional value of different organs of five shell-color strains and one control population. In this study, five biochemical compositions in adductor muscle, mantle, gill, and gonad-visceral mass were detected, including moisture, total protein, total fat, glycogen, and ash. Results indicate that the purple-shell strain showed a significantly higher fat content in the adductor muscle than that of the orange-shell strain ($P < 0.05$). The golden-shell strain showed significantly higher glycogen than in the black-shell, orange-shell, and control population, while the white-shell strain had significantly larger ash content in the mantle compared to the control population ($P < 0.05$). In addition, the orange-shell, purple-shell and white-shell color strains showed significantly lower glycogen in the gill than in the control population ($P < 0.05$), whereas there was no significant difference in the contents of five biochemical compositions in gonad-visceral mass between the control population and five shell-color strains. The nutritional composition appeared significantly different among the four organs. These results indicate that nutritive content significantly changed in the process of selective breeding, providing useful information for developing shell-color strains in future.

Key words: *Crassostrea gigas*; shell color; nutritive content; adductor muscle; mantle; gill; gonad-visceral mass

Corresponding author: LI Qi. E-mail: qili66@ouc.edu.cn