

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2017.16103

长牡蛎壳金选育群体性腺发育与营养成分的周年变化

邓传敏, 孔令锋, 于瑞海, 李琪

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: 为了评估长牡蛎(*Crassostrea gigas*)壳金选育群体的繁殖周期及营养价值, 自2013年11月至2014年10月, 对山东省刘公岛海区长牡蛎第三代壳金选育群体的性腺发育、营养成分(总蛋白、总脂肪、糖原)季节变化及其与环境因子的关系进行了研究, 并比较了与普通养殖群体营养成分的差异。结果表明, 长牡蛎壳金选育群体雌雄比例接近1:1, 性腺同步发育; 配子发生开始于2月, 全年只有1个产卵季节(6-8月), 7月为两性配子排放高峰期。配子成熟及排放期间, 水温处于较高水平, 食物充足, 可为性腺发育提供能量, 也有利于幼体的存活和生长。卵母细胞直径从配子发生开始逐渐增大, 并在产卵前达到最大值(36.88 μm), 产卵后则降低。营养成分分析表明, 脂肪含量在性腺-内脏团中随配子发育积累储存, 产卵后显著降低; 糖原在性腺发育到4月时开始下降, 为配子的发育提供能量; 蛋白质在配子发育过程中大量合成, 与繁殖活动存在密切联系。长牡蛎壳金选育群体外套膜的总蛋白含量显著高于普通养殖群体($P<0.05$), 糖原和总脂肪含量显著低于普通养殖群体($P<0.05$), 其他组织的一般营养成分未出现显著差异。研究表明, 长牡蛎在壳金群体选育过程中营养成分已表现出分化, 这为长牡蛎壳色选育提供了重要参考依据。

关键词: 长牡蛎; 壳金选育群体; 性腺发育; 营养成分; 环境因子

中图分类号: S917

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2017)01-0040-10

长牡蛎(*Crassostrea gigas*)是世界上产量最高、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。然而, 近年来由于养殖区环境恶化和亲贝种质退化, 长牡蛎出现生长缓慢、抗逆性下降等问题, 使得长牡蛎养殖产品质量难以满足市场需求。为了确保长牡蛎养殖产业的可持续发展, 对其性状进行遗传改良具有重要意义。近年来, 国内外学者开展了长牡蛎的遗传育种研究, 主要集中在利用杂种优势进行杂交选育^[1-2]、多倍体育种^[3]和壳色新品系的选育^[4-5]等方面。

壳色多态性作为一种形态特征, 普遍存在于海产经济贝类中。贝类壳色产生的视觉感受会影响消费者的喜好, 能够显著提高其商品价值^[6]。因此, 壳色新品系的选育已经成为育种工作者关注的热点

^[7]。笔者以长牡蛎的壳色和生长为选育指标, 自2010年开展了长牡蛎壳色新品系的选育。目前, 对长牡蛎壳色选育群体的生长存活和遗传规律进行了研究^[8-9], 但关于长牡蛎壳色选育群体的繁殖特性还未见报道。此外, 在壳色选育过程中, 长牡蛎营养成分是否发生变化也是研究者关注的一个问题。

本研究以山东威海海区养殖的长牡蛎第三代壳金选育群体为材料, 对其性腺发育及与环境因子的关系进行了周年调查, 旨在: (1) 确定长牡蛎壳金选育群体的配子发育周期及组织学特点; (2) 分析壳金选育群体4个组织营养成分的周年变化, 并探究其与性腺发育可能存在的内在关联; (3) 通过比较长牡蛎壳金选育群体与普通养殖群体各组织营养成分的差异, 评估长牡蛎壳金选育群体

收稿日期: 2016-03-28; 修订日期: 2016-06-03.

基金项目: 山东省科技发展计划项目(2014GHY115002); 泰山学者种业计划专家项目; 农业科技成果转化资金项目(2014GB-2B020029).

作者简介: 邓传敏(1989-), 男, 硕士研究生, 主要从事贝类遗传育种研究. E-mail: determine1989@163.com

通信作者: 孔令锋, 副教授, E-mail: klfaly@ouc.edu.cn; 李琪, 教授, E-mail: qili66@ouc.edu.cn

的营养价值。研究结果将为长牡蛎壳金新品系的人工选育提供参考。

1 材料与方法

1.1 样品采集

实验用长牡蛎第三代壳金选育群体(群体 G)于 2013 年 11 月至 2014 年 10 月采自山东威海刘公岛海区, 对照组是同期同海域养殖的商业群体(群体 C)。每月下旬采样 1 次, 每次采集 40~60 个个体, 现场测定海水温度和盐度。样品活体运回实验室, 并获取外套膜、性腺-内脏团、鳃和闭壳肌, 冷冻于-80 °C 冰箱中保存。

1.2 组织学分析

每个月取长牡蛎壳金群体 20 个个体进行组织学分析, 检测个体性别及性腺发育程度。解剖切取性腺厚度为 5 mm 左右的性腺, 置于 Bouin 氏液中固定 24 h 后, 70%酒精保存。制作切片时, 样品经梯度酒精脱水, 石蜡渗透和包埋, 组织切片, 用爱氏苏木精-曙红(HE)法染色。显微镜下观察组织切片, 辨别样品的雌雄及性腺发育状况。每月随机选取 5 张雌性性腺切片, 每张切片分别测量 100 个卵母细胞的直径(穿过核仁的最长轴), 求平均值以确定性腺发育成熟度。

1.3 营养成分测定

将外套膜、性腺-内脏团、鳃和闭壳肌 4 种组织样品进行冷冻干燥, 研磨成粉。利用 Wang 等^[10]构建的近红外(NIR) (Antaris MX, Thermo Fisher, USA)分析模型对总蛋白质含量(TPC)、总脂肪含量(TFC)、糖原含量(GC)进行测定。

1.4 数据处理

数据统计分析采用 SPSS 19.0 分析软件。用单因素方差分析(one-way ANOVA, Duncan)比较卵径差异($P < 0.05$)。以群体和月份作为分析因子, 用双因素方差分析(two-way ANOVA)比较各组织中每种生化成分差异的显著性($P < 0.05$)。多重比较采用 Duncan 检验。卡方(χ^2)检验用于分析性比。

2 结果与分析

2.1 环境因子的季节变化

图 1 显示了采样海区的海水温度和盐度的周

年变化。海水温度呈明显的季节性变化($P < 0.05$), 1—2 月出现最小值(1.8 °C)。随后迅速上升, 8 月达

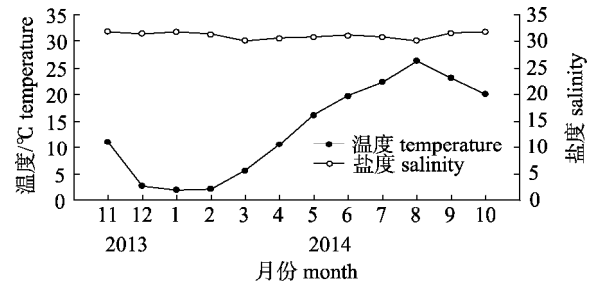


图 1 采样海区海水温度和盐度的周年变化

Fig. 1 Seasonal variation of water temperature and salinity in the survey sea

到最大值(26.3 °C)。全年海水盐度介于 30.3~31.8, 无明显的季节性变化。

2.2 性腺发育周期

依据肉眼和显微镜观察性腺的周年变化, 长牡蛎壳金选育群体的性腺发育划分为以下 6 个时期, 各期发育特点如图 2 所示。

0 期(休止期): 性腺逐步萎缩至薄而透明; 滤泡萎缩直至消失, 整个性腺充满了结缔组织, 不能辨别雌雄。

I 期(形成期): 性腺为很薄半透明的一层; 可以辨别雌雄, 雌性滤泡壁上出现呈单层排列的微小卵原细胞; 雄性滤泡壁上出现多层精原细胞, 并少量进入滤泡腔中, 产生精母细胞(图 2A)。

II 期(增殖期): 性腺增厚, 透明度降低, 直至不透明, 取部分性腺于载玻片上肉眼可辨雌雄; 卵巢中结缔组织较少, 滤泡壁上出现多数以短柄形式附着的卵母细胞, 滤泡腔中出现少数游离的成熟卵母细胞; 精巢中结缔组织减少, 滤泡中出现从精原细胞到精子各个发育阶段的细胞, 主要是精母细胞和精子(图 2B)。

III 期(成熟期): 性腺非常饱满, 呈乳白色, 刺破表皮可以看到大量卵子和精子溢出, 卵子在水中散开呈颗粒状, 精子在水中散开呈烟雾状; 雌性滤泡中充满大量呈多边形的成熟卵子, 相互挤压; 雄性滤泡中充满呈辐射状排列的成熟精子, 尾部均指向中央, 随着个体的成熟, 精子辐射带状区向滤泡壁靠拢(图 2C)。

IV 期(排放期): 性腺逐渐消瘦, 变得薄而透

明; 结缔组织逐渐增加, 雌性滤泡壁内游离的卵母细胞数量逐渐减少, 少量滤泡壁破裂; 由于部分精子的排放, 雄性滤泡大小不一, 滤泡中螺旋状精子占较大比例(图 2D)。

V 期(耗尽期): 性腺萎缩至透明; 滤泡分散, 腔内发生吞噬作用且相对较空, 雌性仅残留少量卵母细胞, 且处于重吸收阶段; 雄性残留极少量精子, 逐渐被周围细胞吸收(图 2E)。

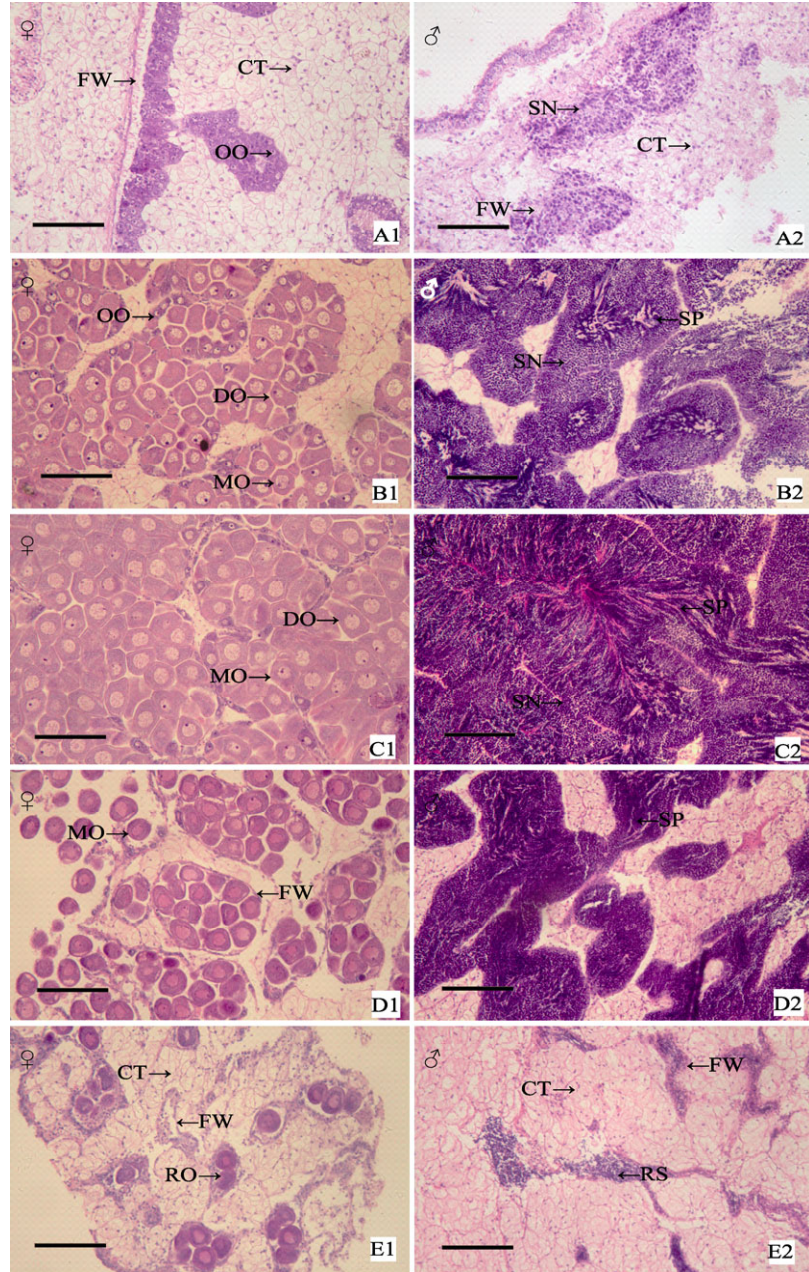


图 2 长牡蛎壳金选育群体性腺发育分期

A1, A2: 形成期; B1, B2: 增殖期; C1, C2: 成熟期; D1, D2: 排放期; E1, E2: 耗尽期. CT: 结缔组织; FW: 滤泡壁; OO: 卵原细胞; DO: 未成熟卵子; MO: 成熟卵子; RO: 残留卵子; SN: 精原细胞; SP: 精子; RS: 残留精子; 标尺: 100 μm .

Fig. 2 Gonad developmental stages of golden shell color strain of *Crassostrea gigas*

A1, A2: early development stage; B1, B2: late development stage; C1, C2: ripe stage; D1, D2: spawning stage; E1, E2: spent/resorbing stage. CT: connective tissue; FW: follicle wall; OO: oogonia; DO: developing oocyte; MO: mature oocyte; RO: residual oocyte; SN: spermatogonia; SP: sperm; RS: residual sperm; bar: 100 μm .

2.3 性腺发育分期的周年变化

图 3 显示了壳金长牡蛎各发育期所占比例的周年变化。11 月到次年 2 月, 绝大多数长牡蛎处于休止期。2—3 月进入形成期的雌、雄个体分别占 60%和 55%。4—5 月大多数个体处于增殖期, 同时存在少数处于形成期和成熟期的个体。6 月主要是处于成熟期的个体(雌性 80%, 雄性 86.7%), 并有极少数个体开始排放配子, 集中排放期主要发生在 8 月。9—10 月, 伴随精卵的排放, 进入耗尽期的个体逐渐增多。

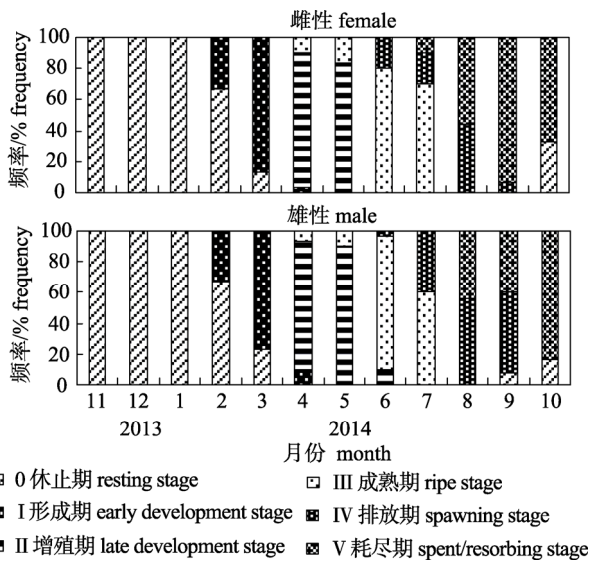


图 3 长牡蛎壳金选育群体性腺发育的周年变化

Fig. 3 Seasonal variation in gonadal development of golden shell color strain of *Crassostrea gigas*

2.4 卵径与性比

长牡蛎壳金选育群体的性腺在 11 月到次年 2 月处于休止期, 未统计每月卵径大小(图 4)。从 3 月开始平均卵径不断增大, 到 6 月出现最大值(36.99±1.17) μm, 月份间存在显著性差异(P<0.05)。卵子排放开始后卵径逐渐减小, 10 月降至(25.34±1.23) μm。

长牡蛎壳金选育群体的性别比的周年变化如图 5 所示。全年采集的样品中雌性占 27.9%, 雄性占 32%, 休止期无法辨别雌性的个体占 34.4%。雌雄比例为 1 : 0.872, 经 χ^2 检验, 与期望比值(雌 : 雄=1 : 1)间无显著差异($\chi^2=1.988, df=1, P>$

0.05)。

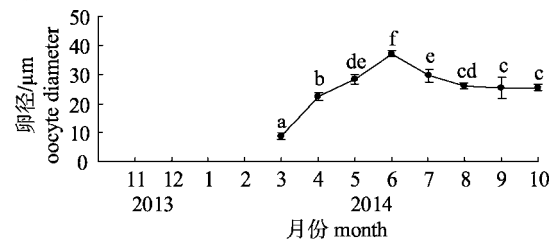


图 4 长牡蛎壳金选育群体卵母细胞直径的周年变化
字母不同表示月份间差异显著(P<0.05).

Fig. 4 Monthly variation in oocyte diameter of golden shell color strain of *Crassostrea gigas*
Different letters denote significant difference between different months (P<0.05).

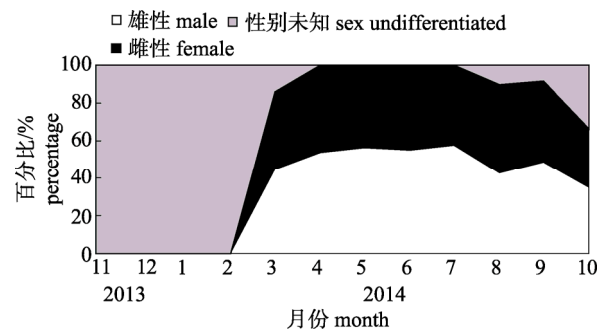


图 5 长牡蛎壳金选育群体性别百分比

Fig. 5 Proportion of male, female and sex undifferentiated individuals of golden shell color strain of *Crassostrea gigas*

2.5 与对照组一般营养成分周年变化的比较

长牡蛎壳金选育群体与对照组群体糖原的变化趋势基本一致。性腺-内脏团和外套膜中的糖原含量均高于鳃和闭壳肌。4 个组织糖原含量在 11 月到次年 2 月处于较低水平, 然后逐渐增长, 至 4 月达到最大值, 随后随着配子的快速发育呈下降趋势。在 7 月后, 性腺-内脏团和外套膜中的糖原含量又呈上升趋势(图 6)。双因素方差分析结果显示, 4 个组织的糖原在月份间均存在显著性差异(P<0.05) (表 1)。除外套膜的糖原在群体间存在显著性差异(P<0.05)外, 其他组织中群体间糖原的差异不显著(P>0.05)。在鳃中群体和月份的交互作用不显著, 其他组织中差异显著(P<0.05)。

外套膜总脂肪含量在 1—5 月有下降趋势, 但差异不显著; 从 6 月开始, 其脂肪含量呈显著上

升趋势。性腺-内脏团的脂肪含量在 11 12 月处于较低水平, 在 5 6 月显著高于其他月份($P < 0.05$), 7 月配子排放后总脂肪降低。鳃和闭壳肌中总脂肪含量较低, 11 月到次年 2 月的含量较高(图 7)。双因素方差分析结果显示, 4 个组织的总脂肪含量在月份间均存在显著差异($P < 0.05$)

(表 1), 外套膜和鳃的总脂肪含量在群体间差异显著($P < 0.05$), 但性腺-内脏团和闭壳肌中总脂肪含量在群体间差异不显著($P > 0.05$)。群体和月份的交互作用对 TFC 的影响均极显著($P < 0.01$)。

闭壳肌中总蛋白质含量高于其他 3 个组织。外套膜和性腺-内脏团中总蛋白质含量从 1 月开

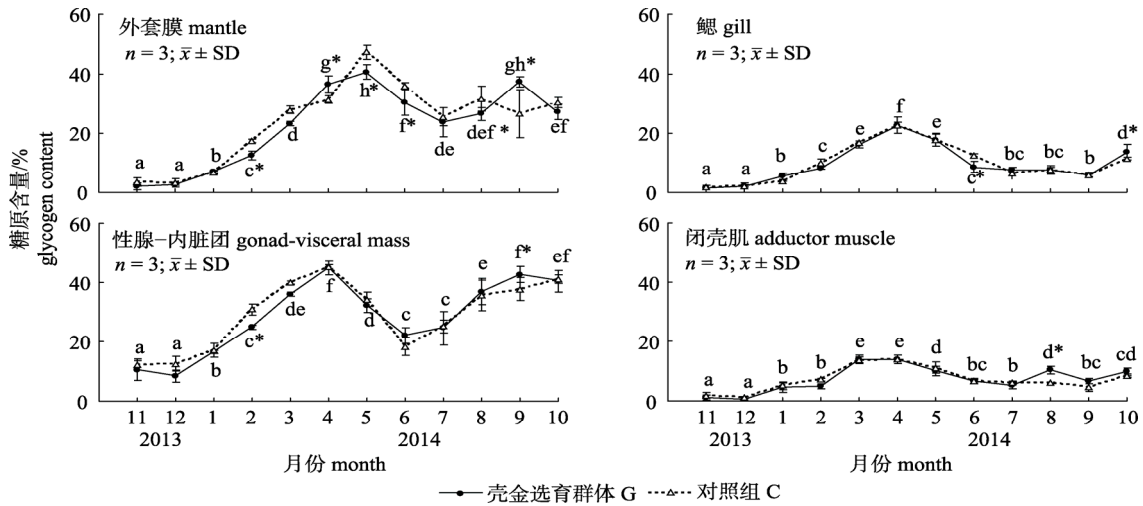


图 6 壳金选育群体与对照组长牡蛎各组织糖原(干重基础)的周年变化
字母不同表示月份间差异显著($P < 0.05$)。

Fig. 6 Monthly variation in the glycogen content (dry weight basis) of four body parts of *Crassostrea gigas* golden shell color strain (G) and control group (C)
Different letters denote significant difference between different months ($P < 0.05$).

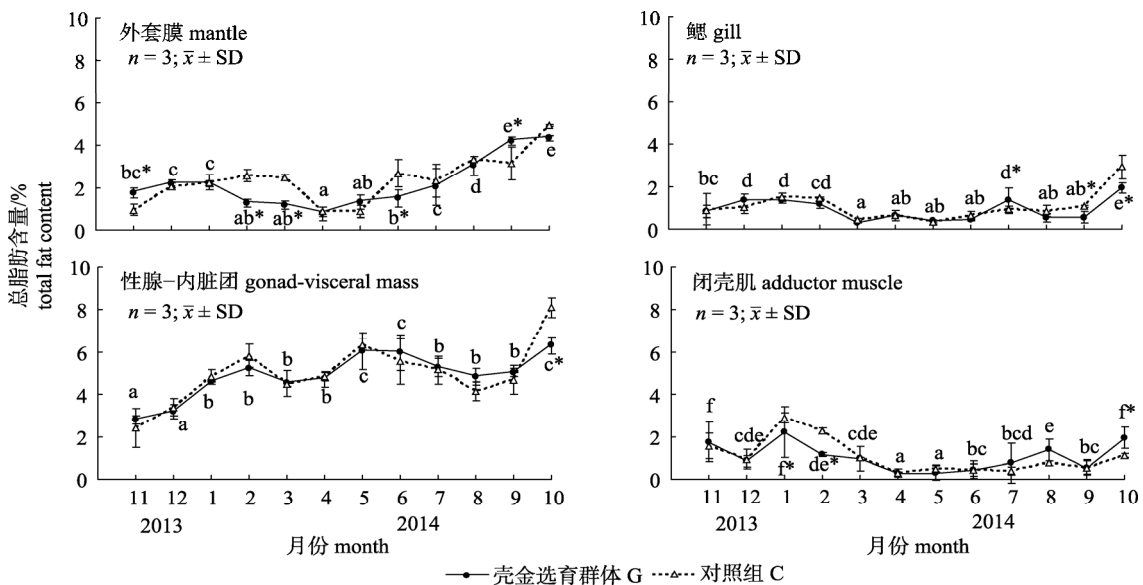


图 7 壳金选育群体与对照组长牡蛎各组织总脂肪含量(干重基础)的周年变化
字母不同表示月份间差异显著($P < 0.05$)。

Fig. 7 Monthly variation in the total fat content (dry weight basis) of four body parts of *Crassostrea gigas* golden shell color strain (G) and control group (C)
Different letters denote significant difference between different months ($P < 0.05$).

始呈显著下降趋势, 到 4 月达到最小值后又呈现显著上升趋势, 在 6—7 月达到最大值。在 7 月随着配子的排放, 总蛋白质含量又显著下降。鳃和闭壳肌中总蛋白质含量的变化幅度相对较小, 在

3—4 月出现最小值(图 8)。双因素方差分析显示, 4 个组织在月份间均存在显著性差异($P < 0.05$) (表 1)。外套膜的总蛋白质含量在群体间存在显著性差异($P < 0.05$), 其他组织中差异不显著($P > 0.05$)。

表 1 群体、月份对长牡蛎 4 种组织总蛋白质含量、糖原含量和总脂肪含量影响

Tab. 1 Two-way ANOVA comparing the effects of month (M) and group (P) on total protein content, glycogen content and total fat content of *Crassostrea gigas* at different body parts

部位 body part	方差来源 source of variation	自由度 df	糖原 glycogen content			总脂肪含量 total fat content			总蛋白质含量 total protein content		
			均方 MS	F	P	均方 MS	F	P	均方 MS	F	P
			外套膜 mantle	群体(P)	1	58.436	6.064	0.016*	1.345	5.834	0.018*
	月份(M)	11	1393.675	144.624	0.000*	11.849	51.404	0.000*	320.232	96.577	0.000*
	M × P	11	74.221	7.702	0.000*	1.504	6.526	0.000*	20.801	6.273	0.000*
鳃 gill	群体(P)	1	0.166	0.077	0.782	0.594	9.833	0.002*	8.002	3.029	0.085
	月份(M)	11	409.513	189.850	0.000*	2.952	48.866	0.000*	86.951	32.914	0.000*
	M × P	11	6.675	3.095	0.001*	0.326	5.394	0.000*	2.802	1.061	0.401
性腺-内脏团 gonad-visceral mass	群体(P)	1	20.044	1.849	0.177	0.012	0.035	0.851	11.789	2.073	0.153
	月份(M)	11	1195.983	110.319	0.000*	11.792	34.330	0.000*	669.251	117.701	0.000*
	M × P	11	24.189	2.231	0.019*	1.064	3.098	0.001*	14.873	2.616	0.006*
闭壳肌 adductor muscle	群体(P)	1	0.560	0.177	0.675	0.001	0.006	0.940	13.997	2.473	0.119
	月份(M)	11	156.090	49.269	0.000*	3.999	42.880	0.000*	152.770	26.995	0.000*
	M × P	11	7.643	2.413	0.011*	0.528	5.656	0.000*	18.460	3.262	0.001*

注: *表示差异显著($P < 0.05$)。

Note: asterisks denote significant differences ($P < 0.05$).

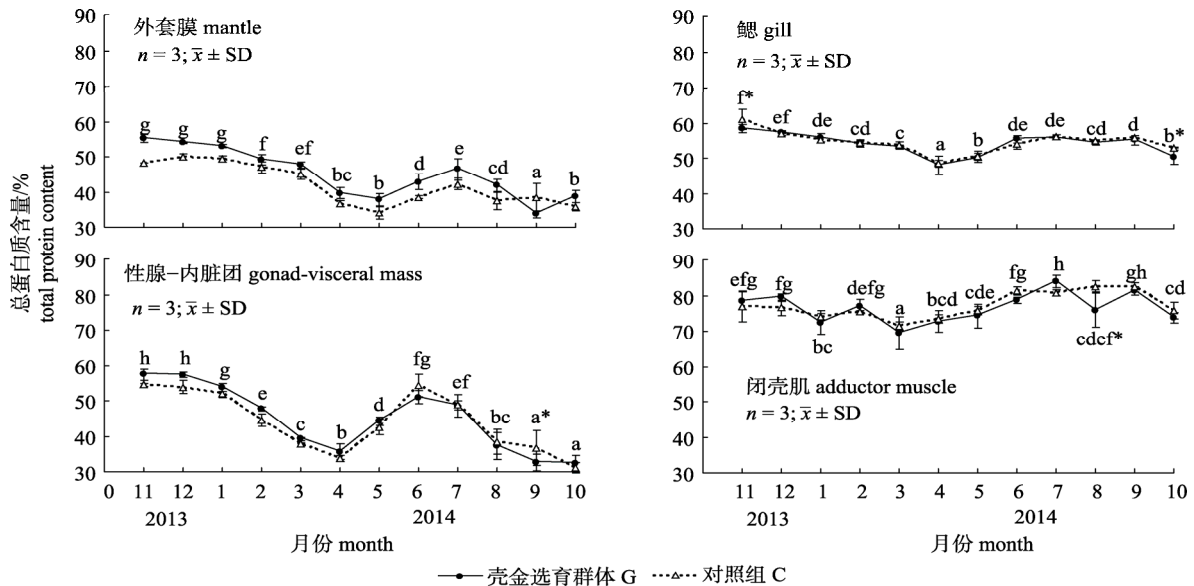


图 8 壳金选育群体与对照组长牡蛎各组织总蛋白质含量(干重基础)的周年变化
字母不同表示月份间差异显著($P < 0.05$)。

Fig. 8 Monthly variation in the total protein content (dry weight basis) of four body parts of *Crassostrea gigas* golden shell color strain (G) and control group (C)
Different letters denote significant difference between different months ($P < 0.05$).

群体和月份的交互作用对 4 个组织总蛋白质含量的影响均极显著($P < 0.01$)。

长牡蛎壳金选育群体与对照组 4 个组织营养成分含量见表 2。长牡蛎壳金选育群体中外套膜的糖原含量显著低于对照组($P < 0.05$), 其他 3 个组织中糖原

含量略高于对照组。对照组的总脂肪含量在各组织中均高于壳金选育群体, 且在外套膜中差异显著($P < 0.05$)。在总蛋白质含量的比较中, 长牡蛎壳金选育群体鳃和闭壳肌的含量略小于对照组, 在另外 2 个组织中均高于对照组, 且在外套膜中差异显著($P < 0.05$)。

表 2 长牡蛎壳金选育群体与对照组各组织中的营养成分含量
Tab. 2 Mean value of biochemical component of four body parts in golden shell color strain (G) and control group (C) of *Crassostrea gigas*

$n=12; \bar{x} \pm SD; \%$

营养成分 biochemical component	外套膜 mantle		鳃 gill		内脏团 gonad-visceral mass		闭壳肌 adductor muscle	
	壳金 G	对照 C	壳金 G	对照 C	壳金 G	对照 C	壳金 G	对照 C
糖原含量/% glycogen content	22.48±13.53*	23.97±13.73	9.75±6.51	9.83±6.61	28.33±12.44	28.21±11.71	7.30±4.38	7.16±4.79
总脂肪含量/% total fat content	2.14±1.16*	2.37±1.17	0.90±0.51*	1.15±0.69	4.80±1.06	4.90±1.44	1.06±0.65	1.06±0.81
总蛋白质含量/% total protein content	45.00±7.02*	41.91±5.80	53.99±3.09	54.55±3.15	44.72±9.24	44.05±8.50	76.47±4.17	77.21±3.68

注: *表示长牡蛎壳金选育群体与对照组间差异显著($P < 0.05$)。

Note: *denote significant difference between golden shell color strain and control group ($P < 0.05$).

3 讨论

3.1 长牡蛎壳金选育群体的繁殖周期

许多研究表明, 海洋贝类的繁殖周期受各种环境因素的影响, 包括海水的温度、盐度以及海区饵料生物等^[11-13]。水温通过影响新陈代谢速率来控制双壳贝类的配子发育和产卵等生殖活动。随着水温的升高, 一方面贝类的新陈代谢加快, 对其性腺发育和繁殖产生积极作用; 另一方面食物的丰度提高, 使贝类能吸收足够的能量用于繁殖^[14-15]。本研究表明, 长牡蛎壳金选育群体的配子发育始于温度较低的 2 月, 这与魁蚶(*Scapharca broughtonii*)和褶牡蛎(*Crassostrea plicatula*)的发育起始时间相似^[16-17]。在 6 月, 当温度达到 19.8 时, 有部分配子开始排放, 推测 19.8 为长牡蛎壳金选育群体最低产卵温度。Mann^[18]研究发现长牡蛎的最低产卵温度为 18, 这保证了幼体有适宜的孵化温度和足够的食物进行生长和发育, 与本研究结果相似。

通过对周年组织观察发现, 长牡蛎壳金选育群体的性腺发育具有明显的分期, 包括休止期和繁殖期。长牡蛎全年发育只有一个繁殖周期, 两

性性腺发育基本同步, 在 7 月配子同时排放, 到 9 月基本排尽, 这与魁蚶等贝类相一致^[16]。长牡蛎性腺发育和排放的一致性, 增加了受精的可能性, 同时为人工受精的操作创造了有利条件。

卵径的变化也可以很好地反映贝类的配子发育周期和性腺成熟度^[19-21]。本研究发现, 卵径随配子的发育过程增大, 在成熟期达到最大值, 之后随着配子的排放, 卵径大幅度减小。本研究结果显示, 长牡蛎壳金选育群体的性别比接近 1:1, 在数量上无显著性差异。

3.2 长牡蛎壳金选育群体生殖过程中营养成分的变化

研究表明, 海洋贝类营养成分的变化与其配子发生密切相关^[22-23]。糖原是海洋贝类的主要能量载体, 在成贝配子形成时提供能量, 这在关于魁蚶和四角蛤蜊的研究中都有类似的发现^[16, 19]。本研究结果表明, 所有组织的糖原含量在排放期后处于最低水平, 12 月开始升高, 4 月达到最大值, 随配子发育逐渐下降, 这说明配子在发育过程中需要储存的糖原为其提供能量。本研究还发现, 性腺-内脏团和外套膜的糖原含量显著高于鳃和闭壳肌, 暗示性腺-内脏团和外套膜可能是储存糖

原的主要器官。

4 个组织的总脂肪含量在冬季都处于较高水平, 随着配子的发育, 性腺的总脂肪含量在 5—6 月处出现最大值, 配子排放后总脂肪含量显著下降, 这表明总脂肪含量与配子的发育有密切关系。Marin 等^[24]在研究菲律宾缀锦蛤(*Tapes philippinarum*)时发现, 脂质是卵的重要组成成分, 对配子发育有重要作用, 得出与本研究相似的结论。本研究中, 性腺-内脏团的总脂肪含量显著高于鳃、闭壳肌和外套膜 3 个组织, 表明后三者不是储存脂肪的主要器官。

蛋白质是构成贝类卵子的重要结构物质之一, 是卵黄的重要组织部分, 也是雄性性腺发育的能量来源^[25-26]。本研究发现, 蛋白质在 4—6 月显著上升, 相比之下, 这个时期糖原含量显著下降, 这说明此时糖原主要提供配子发育所需能量, 而蛋白质随着卵黄蛋白在卵细胞中的积累, 含量逐渐升高, 并未提供能量。产卵过程中, 性腺中蛋白质随配子排放快速下降, 表明蛋白质作为配子组成成分, 与长牡蛎的生殖过程密切相关^[27]。在冬季缺乏食物时, 蛋白质含量继续下降, 说明它是唯一的可代替能量来源。Whyte 等^[28]研究发现, 长牡蛎在饥饿或者冬季食物匮乏时, 蛋白质是其能量供应的主要来源, 与本研究结果一致。对脉红螺(*Rapana venosa*)^[29]、欧洲蚶蜊(*Glycymeris glycymeris*)^[30]的研究也发现了类似规律。另外, 本研究发现闭壳肌的蛋白质含量显著高于性腺-内脏团、鳃和外套膜 3 个组织, 且相对更加稳定, 表明闭壳肌在长牡蛎繁殖过程中可能没有提供蛋白质, 类似的结果在魁蚶相关研究也有发现^[16]。

3.3 长牡蛎壳金选育群体与对照组营养成分周年变化的比较

已有研究表明, 长牡蛎在壳色选育过程中, 壳色选育群体具有显著的生长优势^[31]。此外, Ge 等^[9]通过研究长牡蛎的金壳色的遗传规律, 发现金壳色长牡蛎的背景色受一个位点上的 2 个等位基因控制, 遵循孟德尔遗传定律, 以上研究均为壳金品系选育的可行性提供了依据。本研究发现,

长牡蛎壳金选育群体与普通对照组群体相比, 外套膜的颜色明显不同, 壳金选育群体的外套膜颜色为黄色, 而普通群体外套膜的颜色偏黑, 但其他组织的颜色无显著性差异。2 个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质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, 在其他组织中生化成分差异不显著。外套膜颜色的差异与其生化成分的差异之间是否存在联系还有待进一步研究。总的来说, 长牡蛎在壳色选育过程中除外套膜外, 其他组织一般营养成分未发生明显变化。陈炜等^[32]在研究皱纹盘鲍(*Haliotis discus hannai*)的营养成分时发现红壳个体和绿壳个体的蛋白质和粗脂肪等含量基本无差别, 与本研究结果类似。

参考文献:

- [1] 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.]
- [2] 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(1-4): 227-244.
- [3] Guo X M, DeBrosse G A, Allen S K. All-triploid Pacific oysters (*Crassostrea gigas* Thunberg) produced by mating tetraploids and diploids[J]. Aquaculture, 1996, 142(3-4): 149-161.
- [4] 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.
- [5] 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(1-4): 89-98.
- [6] Nell J A. The history of oyster farming in Australia[J]. Mar Fish Rev, 2001, 63(3): 14-25.
- [7] 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.]

- [8] 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.]
- [9] Ge J L, Li Q, Yu H, et al. Mendelian inheritance of golden shell color in the Pacific oyster *Crassostrea gigas*[J]. Aquaculture, 2015, 441: 21–24.
- [10] 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]. J Shellfish Res, 2015, 34(2): 303–309.
- [11] Cross M E, O’Riordan R M, Culloty S C. The reproductive biology of the exploited razor clam, *Ensis siliqua*, in the Irish Sea[J]. Fish Res, 2014, 150: 11–17.
- [12] Suja N, Muthiah P. The reproductive biology of the baby clam, *Marcia opima*, from two geographically separated areas of India[J]. Aquaculture, 2007, 273(4): 700–710.
- [13] Liu W G, Li Q, Gao F X, et al. Effect of starvation on biochemical composition and gametogenesis in the Pacific oyster *Crassostrea gigas*[J]. Fish Sci, 2010, 76(5): 737–745.
- [14] Serdar S, Lök A. Gametogenic cycle and biochemical composition of the transplanted carpet shell clam *Tapes decussatus*, Linnaeus 1758 in Sufa (Homa) Lagoon, Izmir, Turkey[J]. Aquaculture, 2009, 293(1–2): 81–88.
- [15] Dridi S, Romdhane M S, Elcafsi M. Seasonal variation in weight and biochemical composition of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas* in relation to the gametogenic cycle and environmental conditions of the Bizert lagoon, Tunisia[J]. Aquaculture, 2007, 263(1): 238–248.
- [16] Ruan F T, Gao S, Li L, et al. Gonad development and biochemical composition in the ark shell *Scapharca broughtonii* from coast of Shandong Peninsula[J]. Journal of Fisheries of China, 2014, 38(1): 47–55. [阮飞腾, 高森, 李莉, 等. 山东沿海魁蚶繁殖周期与生化成分的周年变化[J]. 水产学报, 2014, 38(1): 47–55.]
- [17] Li Q, Liu W G, Shirasu K, et al. Reproductive cycle and biochemical composition of the Zhe oyster *Crassostrea plicatula* Gmelin in an eastern coastal bay of China[J]. Aquaculture, 2006, 261(2): 752–759.
- [18] Mann R. Some biochemical and physiological aspects of growth and gametogenesis in *Crassostrea gigas* and *Ostrea edulis* grown at sustained elevated temperatures[J]. J Mar Biol Assoc UK, 1979, 59(1): 95–110.
- [19] Ke Q Z, Li Q. Annual dynamics of glycogen, lipids, and proteins during the reproductive cycle of the surf clam *Macra veneriformis* from the north coast of Shandong Peninsula, China[J]. Invert Reprod Develop, 2013, 57(1): 49–60.
- [20] Li Q, Yang L, Ke Q Z, et al. Gametogenic cycle and biochemical composition of the clam *Macra chinensis* (Mollusca: Bivalvia): Implications for aquaculture and wild stock management[J]. Mar Biol Res, 2011, 7: 407–415.
- [21] Yan H W, Li Q, Liu W G, et al. Seasonal changes in reproductive activity and biochemical composition of the razor clam *Sinonovacula constricta* (Lamarck 1818)[J]. Mar Biol Res, 2010, 6(1): 78–88.
- [22] Pérez-Camacho A, Delgado M, Fernández-Reiriz M J, et al. Energy balance, gonad development and biochemical composition in the clam *Ruditapes decussatus*[J]. Mar Ecol Prog Ser, 2003, 258: 133–145.
- [23] Joaquim S, Matias D, Lopes B, et al. The reproductive cycle of white clam *Spisula solida* (L.) (Mollusca: Bivalvia): implications for aquaculture and wild stock management[J]. Aquaculture, 2008, 281(1–4): 43–48.
- [24] Marin M G, Moschino V, Deppieri M, et al. Variations in gross biochemical composition, energy value and condition index of *T. philippinarum* from the Lagoon of Venice[J]. Aquaculture, 2003, 219(1–4): 859–871.
- [25] Bayne B L, Bubel A, Gabbott P A, et al. Glycogen utilisation and gametogenesis in *Mytilus edulis* L.[J]. Mar Biol Lett, 1982, 2: 89–105.
- [26] Mathieu M, Lubet P. Storage tissue metabolism and reproduction in marine bivalves—a brief review[J]. Invert Reprod Develop, 1993, 23(2–3): 123–129.
- [27] Li Q, Osada M, Mori K. Seasonal biochemical variations in Pacific oyster gonadal tissue during sexual maturation[J]. Fish Sci, 2000, 66(3): 502–508.
- [28] 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.
- [29] Bi J H, Li Q, Yu H, et al. Seasonal variations in biochemical composition during the reproductive cycle of the veined rapa whelk *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) from the northern coast of China[J]. Mar Biol Res, 2016, 12(2): 177–185.
- [30] Galap C, Leboulenger F, Grillot J P. Seasonal variations in biochemical constituents during the reproductive cycle of the female dog cockle *Glycymeris glycymeris*[J]. Mar Biol, 1997, 129(4): 625–634.
- [31] 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.]
- [32] 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. [陈伟, 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.]

Seasonal variation in gonadal development and nutritive components in the golden shell colored strain of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*)

DENG Chuanmin, KONG Lingfeng, YU Ruihai, LI Qi

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

Abstract: Seasonal variations in gonadal development of third-generation *Crassostrea gigas* golden shell colored strain were investigated in relation to environmental factors from November 2013 to October 2014, and the general nutrient components of the mantle, gill, gonadal-visceral mass, and adductor muscle were examined. In addition, the nutritive content of the golden shell colored strain was compared with that of commercially cultured oysters. The histological analysis showed that the female to male sex ratio was approximately 1 : 1, and the gonads of both *C. gigas* sexes developed synchronously. Gametogenesis began in February and spawning started in June and appeared to continue until August when water temperature was high and food was abundant. Mean oocyte diameters increased gradually from the beginning of gametogenesis and reached their maximum (36.99 μm) before spawning. The biochemical analyses showed that total gonadal fat content was relatively low compared with that of total protein and glycogen, but fat accumulated as the gonads developed, indicating that lipid is a major component of bivalve oocytes. Glycogen content decreased significantly during sexual maturation, whereas total protein content increased as the gametes matured. Golden shell colored oysters had significantly higher protein content, but significantly lower glycogen and fat contents in the mantle than those of commonly cultured oysters ($P < 0.05$). General nutritional composition was not different among the other three organs. These results indicate that nutritive content was similar in the common and golden shell colored oysters and provide data for breeding the golden shell colored strain in the future.

Key words: *Crassostrea gigas*; golden shell colored strain; gonadal development; nutritive content; environmental factors

Corresponding author: KONG Lingfeng, E-mail: klfaly@ouc.edu.cn; LI Qi, E-mail: qili66@ouc.edu.cn