



长牡蛎“海大3号”生长繁殖与营养成分的周年变化

种金豆¹, 李琪^{1,2*}, 徐成勋¹, 刘士凯¹

(1. 中国海洋大学海水养殖教育部重点实验室, 山东 青岛 266003;

2. 青岛海洋科学与技术国家实验室, 海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室, 山东 青岛 266237)

摘要: 为阐明长牡蛎“海大3号”新品种的生长与繁殖特性, 自2016年11月份至2017年10月份对养殖于山东省荣成海区长牡蛎“海大3号”群体的生长、性腺发育及营养成分的周年变化及其与环境因子的关系进行研究。结果显示, 在海区水温较低的冬季1—2月份, 长牡蛎“海大3号”生长缓慢, 性腺处于休止期; 随水温升高, 在春季3—4月份配子开始发育, 雌雄个体发育基本同步, 4—5月份壳高生长速率加快, 湿重显著增加; 在夏季, 随配子发育壳高生长速率降低, 7月份因配子排放湿重下降; 在产卵后的秋季长牡蛎“海大3号”壳高和湿重均显著增长。营养分析结果表明, 随性腺发育, 外套膜、性腺-内脏团、鳃和闭壳肌中糖原含量呈下降趋势, 为配子发育提供能量; 脂质和蛋白质作为配子主要结构物质在性腺中不断累积, 随配子排放而显著降低; 在秋季, 4个组织中较高的蛋白质含量为机体的快速生长提供物质基础。同时外套膜作为构成壳物质的分泌器官, 在8—9月份其糖原含量和脂质含量显著增加, 这暗示机体的快速生长需要一定能量储备。研究表明, 长牡蛎“海大3号”的生长和繁殖活动受海区水温季节性变化的影响, 并与各组织营养成分密切相关。春季和秋季为机体快速生长时期, 夏季为配子集中排放期; 糖原是生长繁殖活动的主要能量来源, 脂质是配子主要结构物质, 蛋白质是机体产后恢复和快速生长的物质基础。

关键词: 长牡蛎“海大3号”; 生长; 性腺发育; 营养成分; 环境因子

中图分类号: S 968.3

文献标志码: A

长牡蛎(*Crassostrea gigas*)也称太平洋牡蛎, 自然分布于西北太平洋海域, 具有生长速度快、养殖成本低、抗逆性强等优点。2018年我国牡蛎养殖产量超过514.0万t, 占全国贝类总养殖产量的35%^[1]。壳色是海产经济贝类的一个重要经济性状, 影响着消费者的喜好和选择, 受消费者喜爱的壳色可以显著提高其商品价值。研究表明, 长牡蛎壳色具有较高的遗传力, 经人工选育可实现对壳色的纯化^[2-3]。在长期的育种实践过程中, 我们以黑壳色和生长速度为目标性状, 采用家系选育和群体选育相结合的混合选育技术, 培育出生长速度快、壳黑性状鲜明

的长牡蛎“海大3号”新品种^[4]。

在自然界, 双壳贝类的繁殖不仅受到水温、饵料丰度等环境因子季节性变化的影响, 还与机体的能量存储、利用密切相关^[5-6]。通常认为在饵料丰富时, 机体通过糖类、脂肪和蛋白质的形式进行能量积累, 以备配子发育所需^[7]。但在不同的物种之间配子发育的能量来源和利用方式存在差异, 一些物种, 如四角蛤蜊(*Maetra veneriformis*)^[8]、紫石房蛤(*Saxidomus purpuratus*)^[6]和滑顶薄壳鸟蛤(*Fulvia mutica*)^[9], 其配子发生的能量来源于之前存储在各组织内的营养物质, 这些种类被称为保守种; 而像魁蚶(*Scapharca*

收稿日期: 2019-01-17 修回日期: 2019-06-30

资助项目: 山东省农业良种工程项目(2017LZGC009); 中央高校基本科研业务费专项(201762014); 泰山学者种业计划专家项目

通信作者: 李琪, E-mail: qili66@ouc.edu.cn

中国水产学会主办 sponsored by China Society of Fisheries

<http://www.scxuebao.cn>

broughtonii)^[10]等物种,其配子发育主要依靠摄取的食物作为能量来源,被称为机会种。同一物种的不同群体间也会因地理环境的差异产生不同的适应性改变,如长牡蛎新西兰南方群体,其繁殖策略属于保守种,而在水温较高的北方群体属于机会种,有较长的繁殖周期,一年可多次产卵^[11]。双壳贝类在进行配子发育时还需维持机体的生长,这促使机体需要合理分配体细胞和生殖细胞增殖所需的能源^[12]。一些研究表明,在繁殖季节双壳贝类生长缓慢,而在产卵后的秋季机体开始快速生长^[13-14]。

本研究对养殖于山东荣成海区的长牡蛎“海大3号”的生长、性腺发育和环境因子进行周年调查,以探究环境因子对长牡蛎“海大3号”生长繁殖的影响,并通分析其不同组织营养成分,探究各组织能量存储、利用与生长、繁殖活动的内在联系,以阐明其繁殖策略和生长特性,为其规模化繁育及养殖推广提供参考。

1 材料与方法

1.1 样品采集

实验所用长牡蛎“海大3号”群体于2016年11月份至2017年10月份采自山东威海荣成海区。每月下旬采集50个个体,现场测定海区水温和盐度。活体样品运回实验室,测定湿重、壳高、壳长和壳宽等数据,解剖获取外套膜、鳃、性腺—内脏团及闭壳肌4个组织部分,储存于-80℃冰箱备用。

1.2 组织学分析

每月取20个个体,解剖取厚度约为5 mm左右的性腺组织,置于Bouin氏液固定24 h后70%酒精保存。样品经梯度酒精脱水、石蜡渗透和包埋、组织切片及苏木精-曙红(H.E)法染色后,用Olympus光学显微镜辨别雌雄和性腺发育状况。

1.3 营养成分测定

将外套膜、鳃、性腺—内脏团及闭壳肌4个组织样品进行冷冻干燥,研磨过筛。利用Wang等^[15]构建的近红外(NIR)分析模型测定蛋白质、脂肪和糖原的含量。

1.4 数据分析

数据统计分析采用SPSS 19.0软件。采用单因素方差分析(One-Way ANOVA, Duncan)对湿重、壳高和各组织不同生化成分的月份间差异

进行显著性分析($P < 0.05$)。各月份壳高增长速率,按以下公式计算:

$$R_{SH}(\%) = (SH_n - SH_{n-1}) / SH_{n-1} \times 100\%$$

式中, R_{SH} 为壳高的月间增长速率; SH_n 为当月亮高的平均值; SH_{n-1} 为上月壳高的平均值。

2 结果

2.1 环境因子的季节变化

采样海区的水温呈明显的季节变化,冬季2月份达到最低值(3.8℃),随后逐步上升,夏季8月份达到最高值(24.0℃)。全年海水盐度介于30.5~32.8,周年变化幅度不大,仅在多雨的夏季6—8月份盐度相对较低(图1)。

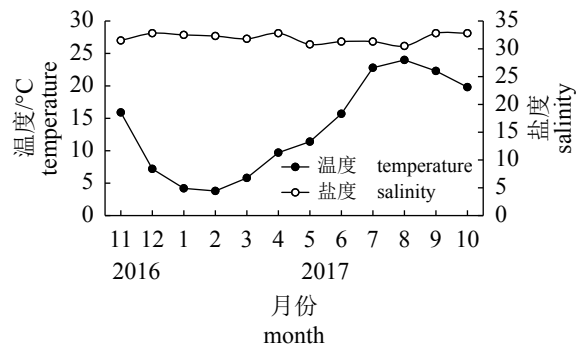


图1 采样海区水温和盐度的周年变化

Fig. 1 Monthly variation of water temperature and salinity in the sampling sea area

2.2 长牡蛎“海大3号”的周年生长

在2016年11月份至2017年10月份期间,长牡蛎“海大3号”壳高从(41.85±6.54) mm增至(78.04±7.22) mm(图2)。壳高增长率在冬季1—2月份最低,仅为0.84%,2—5月份随水温升高而逐步增高,之后随配子成熟和排放,逐步降至7月份的1.31%。9月份壳高出现显著增长($P < 0.05$),壳高增长率为17.28%。周年观测中湿重从(6.97±2.59) g增至(45.90±8.17) g,在4—6月份出现显著增长($P < 0.05$),湿重随配子排放在7月份下降,之后7—10月份湿重呈指数增长的趋势,从(19.83±5.75) g增至(45.90±8.17) g。

2.3 长牡蛎“海大3号”的性腺发育

组织学观察表明,“海大3号”的配子发育有明显的季节性变化(图3)。11月份到次年2月份期间性腺处于休止期,不能辨别雌雄,整个性腺充满结缔组织;3—4月份性腺开始发育,进入

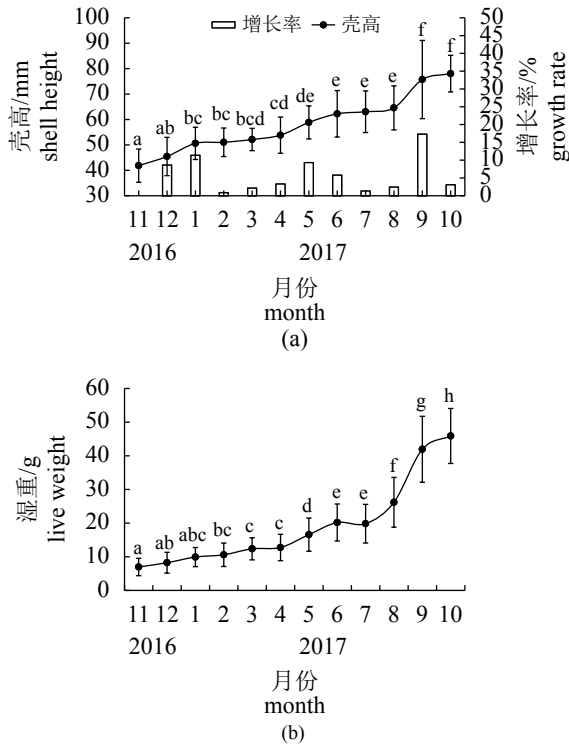


图2 长牡蛎“海大3号”壳高和湿重的周年变化
 Fig. 2 Monthly mean shell height and live weight of *C. gigas* “Haida No. 3”

形成期, 可辨雌雄, 雄性滤泡壁上出现大量精原细胞向滤泡中央增殖, 雌性滤泡壁上出现单层排列的卵母细胞(图版-1, 2); 5—6月份大多数个体处于增殖期, 性腺中结缔组织减少, 在雌性滤泡腔中可观察到卵母细胞和少量成熟呈多边形的卵子, 雄性滤泡中可发现部分放射状排列的成熟精子(图版-3, 4), 同时有部分个体进入成熟期, 滤泡间隙减小或消失, 雌性滤泡中充满相互挤压的多边形成熟卵子, 雄性滤泡中充满大量放射状排列的成熟精子(图版-5, 6); 7月份性腺均已成熟, 多数个体进入排放期, 性腺中结缔组织逐渐增多, 卵巢中由于部分滤泡卵子的排空, 出现很多空的滤泡壁, 精巢中由于部分精子的排放出现滤泡大小不一的现象(图版-7, 8); 8月份处于排放期的个体数量减少, 大部分个体进入耗尽期, 精巢和卵巢中残留的精子 and 卵子逐渐被周围细胞吸收(图版-9, 10)。9—10月份进入休止期的个体逐渐增多, 处于排放期和耗尽期个体进一步减少或消失。

2.4 各组织营养成分的周年变化

性腺—内脏团和外套膜中糖原含量高于鳃

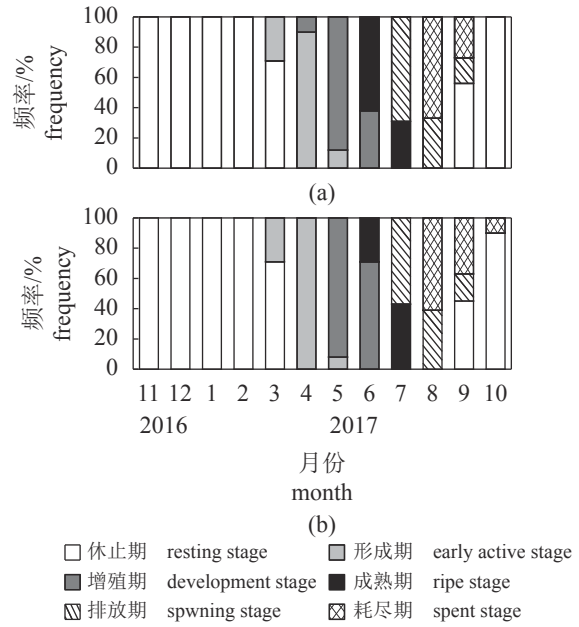
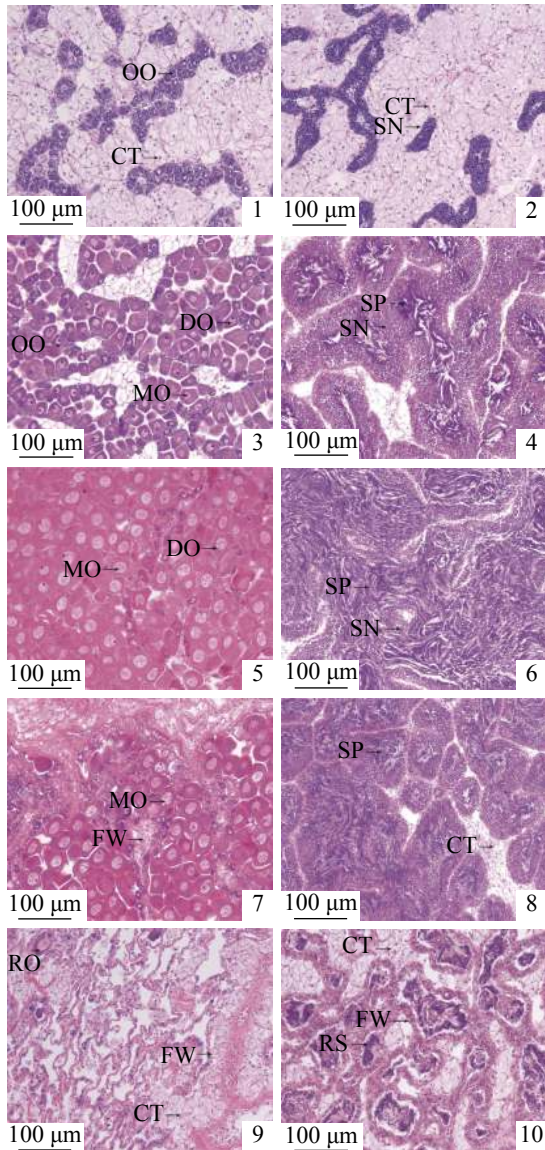


图3 长牡蛎“海大3号”性腺发育的周年变化
 (a) 雌性; (b) 雄性
 Fig. 3 Monthly variation in gonadal development of *C. gigas* “Haida No. 3”
 (a) female; (b) male

和闭壳肌。在11月份至次年1月份期间, 随海区水温的降低, 外套膜和性腺-内脏团的糖原含量逐步下降, 均在1月份达到最低值, 分别为1.03%和12.18%。之后二者糖原含量逐渐增长, 性腺-内脏团在4月份达到最大值, 外套膜在5月份达到最大值, 随配子发育糖原含量呈下降趋势。但在8—10月份, 二者糖原含量均先显著性增长后迅速下降($P < 0.05$)。鳃和闭壳肌的糖原变化具有相似趋势, 在11月份至次年1月份期间含量较低, 随后糖原含量整体呈上升趋势, 在5月份均达到最大值, 显著高于其他月份($P < 0.05$), 之后整体呈下降趋势(图4)。

性腺—内脏团中脂质含量高于外套膜、鳃和闭壳肌。随配子发育其脂肪含量显著升高 ($P < 0.05$), 在6月份达到最大值9.28%, 之后随配子的排放整体呈下降趋势。外套膜、鳃和闭壳肌中脂质含量相对较低, 并没有明显的季节性变化, 仅外套膜中脂质含量在9月份出现显著升高 ($P < 0.05$), 达到周年最大值(图5)。

闭壳肌中蛋白质含量高于外套膜、性腺—内脏团和鳃。在水温较低的冬季, 闭壳肌中蛋白质含量显著降低($P < 0.05$)。在配子发育的4—6月份间, 外套膜中蛋白质含量出现显著降低



图版 长牡蛎“海大3号”性腺发育分期

1、3、5、7、9.雌性, 2、4、6、8、10.雄性; 1、2. 形成期, 3、4. 增殖期, 5、6. 成熟期, 7、8. 排放期, 9、10. 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

Plate Gonad development stages of *C. gigas* “Haida No. 3”

1, 3, 5, 7, 9. the female, 2, 4, 6, 8, 10. the male; 1 and 2. early active stage, 3 and 4. development stage, 5 and 6. ripe stage, 7 and 8. spawning stage, 9 and 10. spent 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

($P < 0.05$), 而同期性腺—内脏团中蛋白含量逐渐增加。之后在配子排放的7月份出现显著下降 ($P < 0.05$)。8—10月份间, 4个组织中蛋白质含量整体呈上升趋势或维持在较高的水平(图6)。

<http://www.scxuebao.cn>

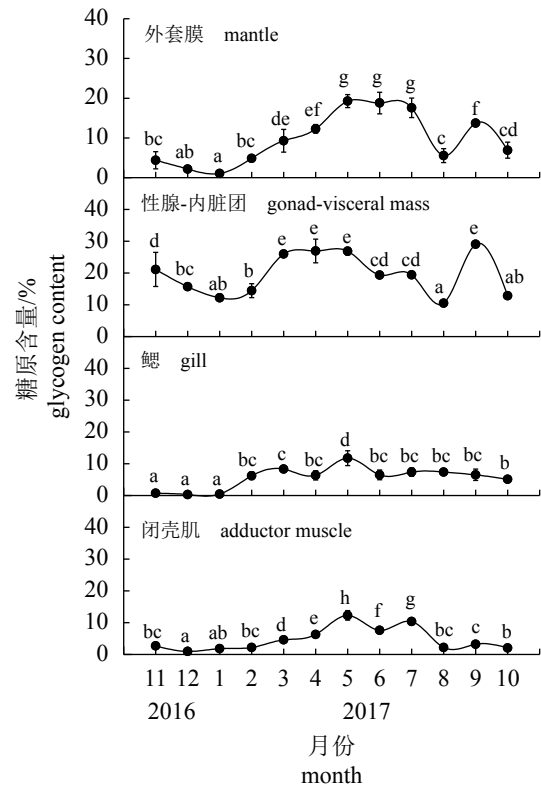


图4 长牡蛎“海大3号”各组织中糖原含量周年变化
字母不同表示月份间差异显著($P < 0.05$), 下同

Fig. 4 Seasonal variation in the glycogen content of four body parts of *C. gigas* “Haida No. 3”

Different letters indicate significant difference between different months ($P < 0.05$); the same as below

3 讨论

3.1 环境因子对长牡蛎“海大3号”生长和繁殖的影响

海区水温是影响双壳贝类生长繁殖活动的主要环境因素, 水温可以直接影响机体新陈代谢速率, 也可以通过影响海区饵料丰度对贝类活动产生作用^[16-17]。对性腺组织的周年观察发现, 在水温较低的冬季, 长牡蛎“海大3号”处于休止期。在3—4月份随水温升高性腺开始发育, 期间水温范围为 $5.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ~ $9.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。Mann^[18]研究表明, 贝类性腺发育需达到最低诱导温度, 这一温度在不同物种和同物种不同群体间存在差异。中国蛤蜊(*M. chinensis*)配子发生的最低温度为 $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[19], Li等^[20]对长牡蛎繁殖周期研究发现其配子发育起始温度为 $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ~ $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, 这与本研究结果相似。而Ren等^[11]研究发现, 在新西兰南部长牡蛎配子发生所需最低温度为 $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ ~ $13\text{ }^{\circ}\text{C}$, 这一差异可能与不同地理群体间纬度差异有关^[21]。

中国水产学会主办 sponsored by China Society of Fisheries

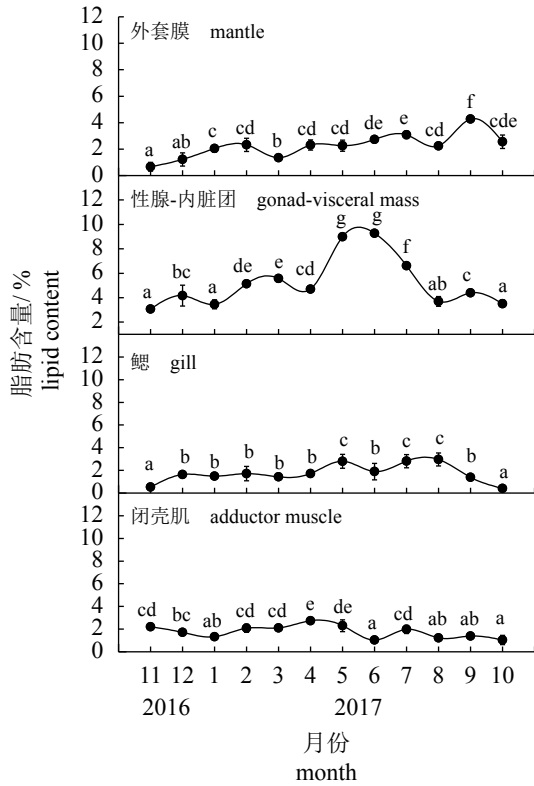


图5 长牡蛎“海大3号”各组织中脂肪含量周年变化
 Fig. 5 Seasonal variation in the lipid content of four body parts of *C. gigas* “Haida No. 3”

当水温达到22.8 °C时, 部分个体开始进行配子排放, 这保证了受精卵孵化所需的温度, 也为幼体生长提供足够的饵料。Kang等^[22]对长牡蛎韩国群体研究显示其产卵的起始温度为23 °C, 与本研究结果一致。

对长牡蛎“海大3号”周年生长观测结果发现, 在冬季水温较低的1—2月份, “海大3号”生长缓慢。随水温升高, 在春季壳高增长速率加快, 湿重也显著增加。之后受配子成熟和排放的影响, 壳高增长速率降低, 湿重也出现下降的现象。而在配子排放后的秋季, “海大3号”壳高和湿重均出现显著性增长。Pogoda等^[23]研究发现, 长牡蛎生长具有明显的季节性变化, 在春季和秋季迅速生长, 而在夏季生长缓慢, 这与本实验结果一致。同时Ren等^[11]研究发现, 长牡蛎进行配子排放时机体内有机物质会大量丧失, 出现体质量下降的现象。Yildiz等^[24]对欧洲平牡蛎(*Ostrea edulis*)研究中同样发现, 在产卵季节其条件指数和肉重显著降低。因此, 可认为在夏季长牡蛎“海大3号”会分配较多的能量支持繁殖活动, 导致生长速率的下降, 而在春季和

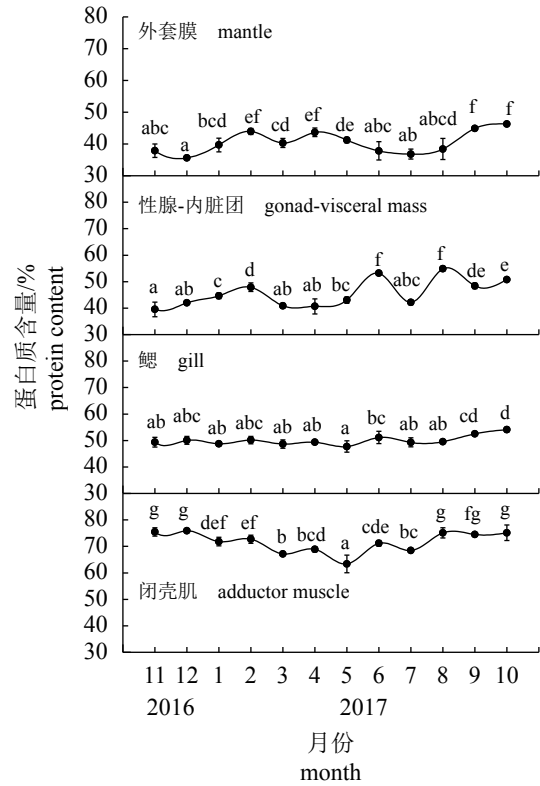


图6 长牡蛎“海大3号”各组织中脂肪蛋白含量周年变化
 Fig. 6 Seasonal variation in the protein content of four body parts of *C. gigas* “Haida No. 3”

秋季体细胞能获得更多的能量来实现机体的快速增长。

3.2 长牡蛎“海大3号”生长和繁殖过程中各组织营养成分的变化

糖原是双壳贝类主要供能物质, 其含量季节性的变化与海区温度、饵料环境和机体生长繁殖活动有关^[13]。本实验中性腺—内脏团和外套膜中糖原含量显著高于鳃和闭壳肌, 这表明性腺—内脏团和外套膜可能是主要糖原贮藏器官。性腺—内脏团中糖原含量在配子发育前开始累积, 在4月份达到最大值, 并随配子发育和排放迅速降低, 这表明长牡蛎“海大3号”为保守种, 其性腺发育主要依赖之前存储的糖原物质。外套膜、鳃和闭壳肌中糖原含量均在5月份达到最大值, 随配子成熟和排放呈下降趋势, Li等^[19]对中国蛤蜊的研究同样发现, 在配子发育前其各组织均进行糖原累积随配子发育而下降。一些研究表明, 双壳贝类机体内有大量的可以贮藏糖原的贮藏细胞, 贮藏的糖原在性腺发育的代谢高峰期被分解利用, 从而保证了贝

类繁殖活动有充足的能量供给^[25-26]。在8—10月份,性腺和外套膜中糖原含量显著升高后又迅速下降,这一现象可能与机体对残余配子重吸收和秋季快速生长有关。排放期后残余配子会被周围细胞重吸收,机体中糖原含量会快速升高,这为秋季快速生长提供了能量支持,同时机体的快速生长会消耗大量糖原,导致其含量的下降^[13]。此外,糖原含量作为机体耐受环境压力的指标,在8月份机体糖原含量较低,较低的糖原含量表明产卵后机体抵抗力的下降,这可能是牡蛎夏季大量死亡的主要诱因^[27]。

本研究中,在配子发育时期性腺中的糖原含量呈下降趋势,而脂质含量不断累积,在配子排放前的6月份达到最大值,之后随配子排放显著下降。这与舌骨牡蛎(*Hyotissa hyotis*)^[28]、四角蛤蜊^[8]和缢蛏(*Sinonovacula constricta*)^[29]相关研究结果一致。脂质是双壳贝类胚胎发育和早期幼虫发育的主要能量来源,配子中充足的脂质储备是保证繁殖成功的关键^[19,30]。因此,配子发育时性腺会贮藏脂质,而脂质的合成与糖原的分解代谢有关,这可能是性腺中脂质含量与糖原含量呈负相关的主要原因^[8,31]。此外,在壳高出现显著增长的8—9月份,外套膜作为壳的生成分泌组织,其脂肪含量显著增高,可认为长牡蛎壳的快速生长可能需要一定的能量储备。本研究中相较于性腺组织,鳃和闭壳肌的脂质含量较低,并未发现季节性变化。Li等^[19]对中国蛤蜊相关研究发现,其闭壳肌的脂肪含量在月份间差异不明显,这表明在性腺发育期间脂肪不是主要脂质存储器官。

蛋白质是构成双壳贝类卵母细胞主要结构物质之一,也是机体重要的能量储备物质。本研究发现,在机体糖原含量较低的冬季,闭壳肌的蛋白质含量出现显著下降。对薄片镜蛤(*Dosinia corrugata*)^[32]的相关研究也发现类似现象。Berthelin等^[27]认为在食物匮乏的冬季,蛋白质是维持贝类机体代谢的重要能量来源。在本研究中,4—6月份外套膜的蛋白质含量显著下降,而性腺组织的蛋白质含量迅速增加,同时其糖原含量迅速降低,这表明配子发育期间蛋白质有从外套膜向性腺转移的趋势,外套膜是提供蛋白来源的主要器官,配子发生所需的能量主要由糖原提供^[19]。在“海大3号”快速生长的8—10月份间,4个组织部分的蛋白含量均为上升趋势或为维持

较高水平。蛋白作为机体主要的结构物质,其含量不断增高,这为机体产后恢复和秋季快速生长提供了物质基础。

综上所述,本实验阐明了长牡蛎“海大3号”生长和繁殖活动与环境因子的相关性,并探究了各组织营养成分与生长繁殖周期的内在关系,为长牡蛎“海大3号”的规模化繁育及养殖推广提供了参考。

参考文献:

- [1] 农业农村部渔业渔政管理局,全国水产技术推广总站,中国水产学会.中国渔业统计年鉴2019[M].北京:中国农业出版社,2019.
Fisheries and fisheries administration of the ministry of agriculture, national aquatic technology promotion station, china society of fisheries. China Fishery Statistical Yearbook 2019[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2019 (in Chinese).
- [2] Evans S, Camara M D, Langdon C J. Heritability of shell pigmentation in the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*[J]. *Aquaculture*, 2009, 286(3-4): 211-216.
- [3] 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.
- [4] Xu L, Li Q, Yu H, *et al.* Estimates of heritability for growth and shell color traits and their genetic correlations in the black shell strain of Pacific oyster *Crassostrea gigas*[J]. *Marine Biotechnology*, 2017, 19(5): 421-429.
- [5] Gosling E. Bivalve Molluscs: Biology, Ecology and Culture[M]. New York: Wiley, 2008.
- [6] Bi J H, Li Q, Zhang X J, *et al.* Seasonal variation of biochemical components in clam (*Saxidomus purpuratus* Sowerby 1852) in relation to its reproductive cycle and the environmental condition of Sanggou Bay, China[J]. *Journal of Ocean University of China*, 2016, 15(2): 341-350.
- [7] 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.
- [8] 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 Peninsular, China[J]. *Invertebrate Reproduction & Development*, 2013, 57(1): 49-60.
- [9] Liu W G, Li Q, Yuan Y D, *et al.* Seasonal variations in reproductive activity and biochemical composition of the cockle *Fulvia mutica* (Reeve) from the eastern coast of

- China[J]. *Journal of Shellfish Research*, 2008, 27(2): 405-411.
- [10] 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.
- 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(in Chinese).
- [11] Ren J S, Marsden I D, Ross A H, *et al.* Seasonal variation in the reproductive activity and biochemical composition of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) from the Marlborough Sounds, New Zealand[J]. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 2003, 37(1): 171-182.
- [12] Bayne B L. *Biology of Oysters*[M]. London, United Kingdom: Academic Press, 2017.
- [13] 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(1-4): 238-248.
- [14] Harvey M, Vincent B, Gratton Y. Spatial variability of length-specific production in shell, somatic tissue and sexual products of *Macoma balthica* in the Lower St. Lawrence Estuary: II. Large scale variability[J]. *Marine Biology*, 1993, 115(3): 421-433.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 种金豆, 李琪, 王涛. 长牡蛎壳黑选育品系和野生群体在摄食和代谢方面的比较[J]. *水产学报*, 2019, 43(4): 1038-1047.
- Chong J D, Li Q, Wang T. Comparison of feeding and metabolism between black-shell strain and wild population of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*)[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2019, 43(4): 1038-1047(in Chinese).
- [18] Mann R. Some biochemical and physiological aspects of growth and gametogenesis in *Crassostrea gigas* and *Ostrea edulis* grown at sustained elevated temperatures[J]. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 1979, 59(1): 95-110.
- [19] 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]. *Marine Biology Research*, 2011, 7(4): 407-415.
- [20] Li Q, Osada M, Mori K. Seasonal biochemical variations in Pacific oyster gonadal tissue during sexual maturation[J]. *Fisheries Science*, 2000, 66(3): 502-508.
- [21] O'connor W A, Lawler N F. Reproductive condition of the pearl oyster, *Pinctada imbricata*, Röding, in Port Stephens, New South Wales, Australia[J]. *Aquaculture Research*, 2004, 35(4): 385-396.
- [22] Kang D H, Chu F L E, Yang H S, *et al.* Growth, reproductive condition, and digestive tubule atrophy of Pacific oyster *Crassostrea gigas* in Gamakman Bay off the southern coast of Korea[J]. *Journal of Shellfish Research*, 2010, 29(4): 839-845.
- [23] Pogoda B, Buck B H, Hagen W. Growth performance and condition of oysters (*Crassostrea gigas* and *Ostrea edulis*) farmed in an offshore environment (North Sea, Germany)[J]. *Aquaculture*, 2011, 319(3-4): 484-492.
- [24] Yildiz H, Berber S, Acarli S, *et al.* Seasonal variation in the condition index, meat yield and biochemical composition of the flat oyster *Ostrea edulis* (Linnaeus, 1758) from the Dardanelles, Turkey[J]. *Italian Journal of Animal Science*, 2011, 10(1): e5.
- [25] Ruiz C, Abad M, Sedano F, *et al.* Influence of seasonal environmental changes on the gamete production and biochemical composition of *Crassostrea gigas* (Thunberg) in suspended culture in El Grove, Galicia, Spain[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1992, 155(2): 249-262.
- [26] Berthelin C, Kellner K, Mathieu M. Histological characterization and glucose incorporation into glycogen of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* storage cells[J]. *Marine Biotechnology*, 2000, 2(2): 136-145.
- [27] Berthelin C, Kellner K, Mathieu M. Storage metabolism in the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) in relation to summer mortalities and reproductive cycle (West Coast of France)[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 2000, 125(3): 359-369.
- [28] Rodríguez-Astudillo S, Villalejo-Fuerte M, García-Domínguez F, *et al.* Biochemical composition and its relationship with the gonadal index of the black oyster *Hyotissa hyotis* (Linnaeus, 1758) at Espiritu Santo Gulf of California[J]. *Journal of Shellfish Research*, 2005, 24(4): 975-978.
- [29] 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]. *Marine Biology Research*, 2010, 6(1): 78-88.

- [30] Ojea J, Pazos A J, Martínez D, *et al.* Seasonal variation in weight and biochemical composition of the tissues of *Ruditapes decussatus* in relation to the gametogenic cycle[J]. *Aquaculture*, 2004, 238(1-4): 451-468.
- [31] Robert R, Trut G, Laborde J L. Growth, reproduction and gross biochemical composition of the Manila clam *Ruditapes philippinarum* in the Bay of Arcachon, France[J]. *Marine Biology*, 1993, 116(2): 291-299.
- [32] Nie H T, Lu Y, Liu H, *et al.* Seasonal variations in biochemical composition of the clam *Dosinia corrugate* in relation to the reproductive cycle and environmental conditions[J]. *Journal of Shellfish Research*, 2016, 35(2): 369-377.

Seasonal variation in growth and gonadal development of the Pacific oyster “Haida No. 3” in relation to the nutritive components

CHONG Jindou¹, LI Qi^{1,2*}, XU Chengxun¹, LIU Shikai¹

(1. Key Laboratory of Mariculture of Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

2. Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes,

Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266237, China)

Abstract: To elucidate the growth characteristics and reproductive strategy of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* “Haida No. 3”, the relationship between environmental factors and seasonal growth variations, gonadal development, the general nutrient components of the mantle, gonadal-visceral mass, gill and adductor muscle were examined from November 2016 to October 2017. Results indicated that in winter (from January to February), the growth of *C. gigas* “Haida No. 3” was slow and its gonad was in the resting stage. With the increase in water temperature (from March to April), gametogenesis began and the gonads of both sexes developed synchronously. The high growth rate of shell and the significant increase of wet weight were observed from April to May. During summer, the growth rate of shell declined along with gamete development. In July, *C. gigas* “Haida No. 3” lost weight due to gametes emissions. In autumn, the shell height and wet weight increased significantly. The biochemical analyses showed glycogen content of all tissues decreased significantly during sexual maturation, whereas the protein and lipid content in gonadal increased as the gametes matured. It indicated that carbohydrates provide energy for gamete development, lipids and proteins are major structural substances of gametes. During the autumn, protein was rich in the four tissues and provides the material basis for the rapid growth. Moreover, the major function of mantle is to secrete shell, its significant increases in glycogen and lipid content from August to September indicating that the rapid growth of the body requires a certain amount of energy reserve. The present study demonstrated that the growth and reproduction activities of *C. gigas* “Haida No. 3” are affected by seasonal changes in seawater temperature and are closely related to the nutrient composition of tissues. Organism experience the rapid growth period in spring and autumn, while summer is the spawning season. Glycogen is the main source of energy for growth and reproduction, lipids are the major structural substances of gametes, and protein is the material basis of rapid growth.

Key words: *Crassostrea gigas* “Haida No. 3”; growth; gonadal development; nutritive content; environmental factor

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

Funding projects: The Shandong Agricultural Seed Stock Breeding Project (2017LZGC009); Fundamental Research Funds for the Central Universities (201762014); Taishan Scholar Seed Industry Experts Project