

## 山东沿海魁蚶繁殖周期与生化成分的周年变化

阮飞腾<sup>1</sup>, 高森<sup>1</sup>, 李莉<sup>2</sup>, 邱兆星<sup>2</sup>, 郑永允<sup>2</sup>, 李琪<sup>1\*</sup>

(1. 中国海洋大学水产学院, 海水养殖教育部重点实验室, 山东 青岛 266003;

2. 山东省海水养殖研究所, 山东 青岛 266002)

**摘要:** 自 2010 年 10 月至 2011 年 9 月, 对山东省鳌山卫海区魁蚶的繁殖周期、生化成分的季节变化及其与环境因子的关系进行了研究。每月采集样品 1 次, 测定采样点水温和叶绿素 *a* 含量, 采用组织学方法分析性腺的季节变化, 并分别测定外套膜、闭壳肌、性腺—内脏团和足组织的生化成分(糖原、脂肪和蛋白质)含量。结果表明, 该海区魁蚶雌雄比例为 1:1, 雌雄性腺发育同步, 全年只有 1 个繁殖期; 配子发生始于 2 月, 分别有 25.0% 和 53.9% 的雌雄个体性腺进入形成期, 随水温和叶绿素 *a* 含量的升高而发育, 6 月大部分个体成熟并有部分进入排放期, 至 8 月配子集中排放(雌:58.3%; 雄:69.2%)。生化分析显示, 脂肪含量在性腺—内脏团中随性腺发育积累储存, 产卵后显著降低; 所有组织中的糖原含量在 3—7 月显著高于其它月份, 并且性腺中的含量高于其他组织, 于 5 月达最大值 64.2%, 表明糖原在魁蚶繁殖活动中具有重要作用; 蛋白质含量在除闭壳肌外的其他 3 种组织中出现冬季和产卵盛期两个低谷, 暗示蛋白质能够弥补糖原的供能不足, 与繁殖活动存在密切联系。

**关键词:** 魁蚶; 生殖周期; 环境因子; 生化组成

**中图分类号:** S 968.3

**文献标志码:** A

魁蚶 (*Scapharca broughtonii*) 是一种大型埋栖贝类, 隶属双壳纲 (Bivalvia)、翼形亚纲 (Pteriomorpha), 主要分布于日本、朝鲜半岛和中国的渤海、黄海、东海沿岸的软泥底<sup>[1]</sup>。魁蚶肉质鲜美, 营养丰富, 深受国内外市场的欢迎。近年来, 由于过度捕捞和海洋环境的日益恶化, 魁蚶自然资源减少, 难以满足市场消费需求。为了制定合理的休渔期, 更好地保护魁蚶自然资源, 迫切需要了解魁蚶的繁殖生物学特性。

目前, 国内许多学者开展了魁蚶的人工育苗和养殖技术、生态学和遗传学等方面的研究<sup>[2-5]</sup>, 但关于魁蚶的繁殖生物学特性的研究鲜有报道<sup>[6]</sup>。研究表明, 双壳贝类的生长和繁殖与水温、食物丰度的周期性季节变化有密切关系<sup>[7-8]</sup>。贝类性腺发育的周期不仅受到外部环境因素(水温、食物丰度等)的影响, 也与营养物质的储存、

转移和消耗紧密相关<sup>[9-11]</sup>。配子形成和成熟过程需要消耗大量能量, 主要的能量来源途径有摄取的食物消化供能和储存在组织中的能量释放供能, 根据来源不同可以将海洋双壳贝类划分为机会种和保守种<sup>[12]</sup>。能量的储存方式与释放机制也随物种的不同存在差异, 甚至同一物种的不同种群也有差异。因此, 开展贝类不同组织生化成分周年变化的研究, 有利于探究能量的储存位置和利用方式, 阐明其生殖策略。

本研究对山东即墨市鳌山卫海区魁蚶的性腺发育及环境因子进行了周年调查, 分析了魁蚶不同组织的生化成分的周年变化, 其主要目的在于: (1) 查明魁蚶性腺季节变化的组织学特征, 确定性成熟期及产卵期; (2) 分析各组织生化成分的周年变化规律, 探究其与生殖活动可能存在的内在关联; (3) 阐明环境因子与繁殖周期和能量的

收稿日期: 2013-07-07

修回日期: 2013-10-21

资助项目: 国家海洋公益性行业科研专项(201205023); 国家自然科学基金项目(41276138)

通信作者: 李琪, E-mail: qili66@ouc.edu.cn

积累消耗平衡之间关系。研究结果将为魁蚶自然资源的管理保护提供基础资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集

实验所用魁蚶于2010年10月至2011年9月采自山东省即墨市鳌山卫海区,每月下旬采样1次,每次采集60~70个个体。样品活体运回后,立即解剖获取闭壳肌、外套膜、性腺—内脏团及足组织,冷冻保存于-80℃冰箱中待测。

现场测定取样海区的水温,同时采集海区的海水样品,避光保存,参照戴玉蓉等<sup>[13]</sup>的方法测定海水样品的叶绿素 $a$ 含量。

### 1.2 组织学分析

每月取20个以上魁蚶个体进行组织学分析,检查魁蚶个体的性别及性腺发育程度。解剖切取5 mm厚度左右的性腺—内脏团小块置于Bouin氏液中固定24~28 h;样品经梯度酒精脱水;石蜡渗透,包埋;常规组织学切片(5~7  $\mu\text{m}$ );爱氏苏木精—曙红(H. E)染料染色;中性树脂封片。在Olympus光学显微镜下观察每张组织学切片,辨别样品的雌雄及性腺发育状况。每月随机选取5个雌性魁蚶样品切片,每张切片测量100个卵细胞的直径(穿过核仁的最长轴)。性腺发育分期参照Drummond等<sup>[14]</sup>的划分方法分为6期:0期(休止期)、I期(形成期)、II期(增殖期)、III期(成熟期)、IV期(排放期)和V期(耗尽期)。

### 1.3 生化成分测定

每月随机选取5~10个魁蚶个体,将其4种组织(外套膜、闭壳肌、性腺—内脏团和足)分别混合均匀后测定各组织的生化成分含量。各组织中的糖原含量的测定参照Horikoshi<sup>[15]</sup>的蒽酮比色法。冷冻干燥后的魁蚶样品研磨成粉末状,称取50 mg干燥粉末与3 mL 30% KOH溶液混合,沸水中皂化30 min;冷却后的皂化物与0.2%蒽酮硫酸混合,沸水浴中反应10 min;在620 nm波长下测定吸光值。

采用考马斯亮蓝蛋白质测定试剂盒(南京建成生物工程研究所)测定各组织的蛋白含量。准确称量魁蚶组织样品,按质量体积比加生理盐水(0.75%)制备成10%的组织匀浆液;3000 r/min离心10 min;移取定量上清液,稀释;取50  $\mu\text{L}$ 稀释液加3 mL考马斯亮蓝显色10 min;595 nm波长条件下测吸光值。

采用索氏抽提法<sup>[16]</sup>测定样品各组织的脂肪含量。将待测样品的各组织干燥至恒重,研磨成粉末状;称取200 mg置于脂肪抽提仪(B-811;Buchi)中并加入乙醚,提取脂肪。样品抽提前后的质量差为样品中的脂肪含量。

### 1.4 数据统计

数据统计分析采用SPSS 16.0软件处理。用单因素方差分析(One-Way ANOVA, Duncan)对卵细胞直径和生化成分的月间差异进行显著性检验( $P < 0.05$ )。性比分析采用卡方( $\chi^2$ )检验。

## 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(图1),1月份达到最低值(2℃),随后持续上升,至8月份达到最高值(28.8℃)。叶绿素 $a$ 含量的周年变化呈现出与水温相一致的趋势,1月份含量为最低值(1.2  $\mu\text{g/L}$ ),春季逐渐升高,至7月达含量最高值(23.4  $\mu\text{g/L}$ ),全年仅出现一个峰值(图2)。

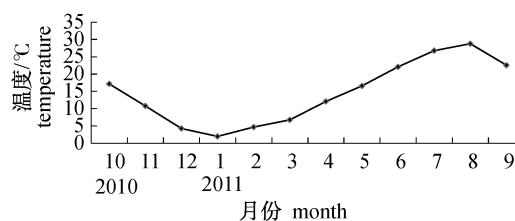


图1 采样海区水温的季节变化

Fig. 1 Monthly variation of water temperature in the survey sea

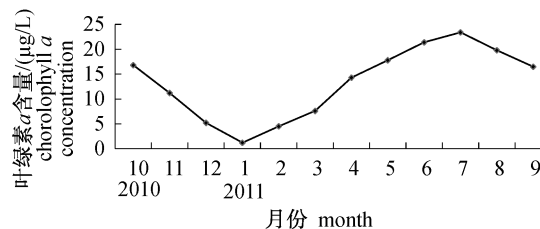


图2 采样海区叶绿素 $a$ 含量的季节变化

Fig. 2 Monthly variation of chlorophyll  $a$  concentration in the survey sea

### 2.2 魁蚶的性腺发育

性腺发育周期 根据对性腺的周年切片观察,魁蚶性腺的发育划分为6个时期。

0期(休止期):滤泡萎缩或消失,结缔组织充满整个性腺,雌雄不可分辨。

I期(形成期):配子开始发育,滤泡增大,间隙充满大量结缔组织;雌性滤泡壁上的卵原细胞不断增多;雄性滤泡壁上多层精原细胞向滤泡中央增殖,有精母细胞产生,无精细胞或精子(图版-1)。

II期(增殖期):卵原细胞继续增殖,多数卵母细胞以短柄形式着生于雌性滤泡壁上,出现少量的成熟卵子;雄性滤泡中可观察到从精原细胞到精子各个发育阶段的细胞,发育较快的个体,滤泡中充满精细胞和精子(图版-2)。

III期(成熟期):性腺体积增大、饱满,滤泡间隙小或消失;雌性滤泡中充满成熟的卵子,相互挤压,呈多边形;大量成熟的精子充满雄性滤泡,尾部指向中央,呈辐射状排列,随成熟度的增加,辐射排列的精子不断向滤泡壁延伸(图版-3)。

IV期(排放期):雌性滤泡内游离卵子的数量减少,少数滤泡的卵子全部排空,滤泡壁破裂;雄性滤泡内存在大量螺旋状精子,出现大小不等的空腔(图版-4)。

V期(耗尽期):滤泡萎缩破裂、分散,相对较空,发生吞噬作用;雌性滤泡仅残留少量卵子,逐渐被周围的细胞吸收;雄性滤泡残存少量精子,且处于重吸收阶段(图版-5)。

性腺发育始于2月份,分别有25.0%和53.9%的雌雄个体处于形成期(图3)。4、5月份处于增殖期的魁蚶个体占大多数,同时存在少量处于形成期和成熟期的个体。6月份大部分个体的性腺发育成熟(雌:61.5%;雄:73.9%),成熟期的持续时间在性别上存在差异,有8.3%的个体在8月份仍处于成熟期。配子排放始于6月,集中排放期为8月(雌:58.3%;雄:69.2%)。伴随精卵的排放,进入耗尽期的个体数量不断增加。11月至次年2月魁蚶进入休止期。

卵径与性比 11月至次年2月,魁蚶性腺处于休止期,没有统计每月的平均卵径(图4);平均卵径从2月(7.37  $\mu\text{m}$ )不断增长,至6月达到最大值41.80  $\mu\text{m}$ ,月间差异显著( $P < 0.05$ );产卵开始后,卵径逐渐减小,9月降低至23.77  $\mu\text{m}$ 。组织学观察表明,周年采集的魁蚶样品中雌性占37.6%,雄性占36.3%;魁蚶性腺在11月至2月期间处于休止期,不能辨别雌雄的个体占很大比例(图5)。雌雄比例为1.036:1,未发现雌雄同体现象,经卡方检验,该比例与期望比值(1:1)间不存在显著差异( $\chi^2 = 0.106$ ;  $df = 1$ ;  $P > 0.05$ )。

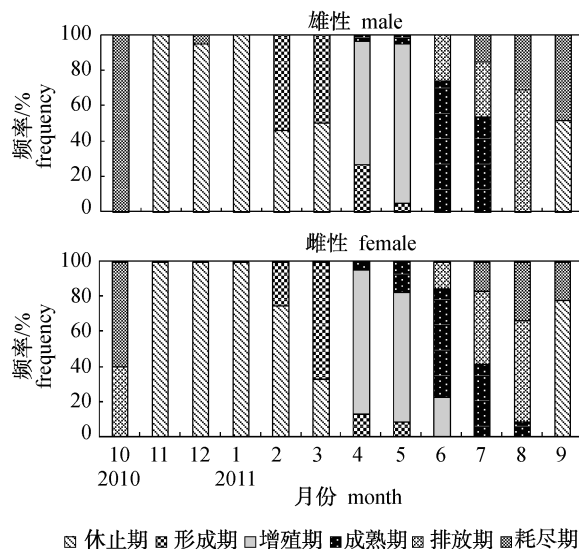


图3 魁蚶性腺发育的周年变化

Fig. 3 Monthly variation in gonadal development of *S. broughtonii*

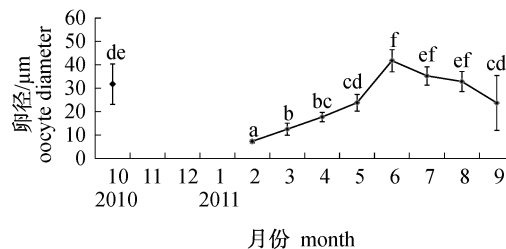


图4 魁蚶卵母细胞直径的周年变化

字母不同代表月间存在显著差异( $P < 0.05$ ),以下注释同

Fig. 4 Monthly variation in oocyte diameter of *S. broughtonii*

Means not sharing the same superscript are significantly different ( $P < 0.05$ ). The same as the following

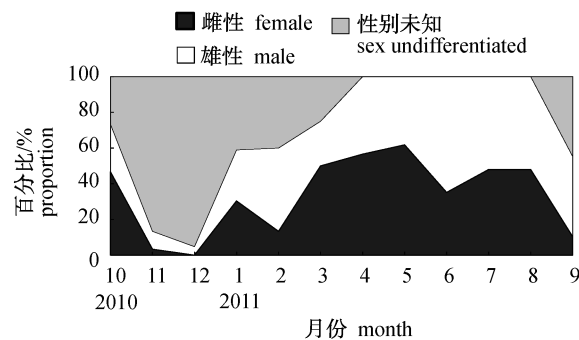


图5 魁蚶性别百分比

Fig. 5 Proportion of males, females and undifferentiated individuals of *S. broughtonii*

### 2.3 生化成分周年变化

外套膜的脂肪含量周年波动不大,在3—6月

有下降趋势,但差异不显著;闭壳肌的脂肪含量周年波动范围为0.67%~2.17%,仅在3、4月出现显著的变化( $P < 0.05$ );性腺—内脏团中的脂肪在3—5月含量显著高于其他月份( $P < 0.05$ ),6月配子排放后降低;足的脂肪与外套膜中的含量变化趋势相似,在0.83%~2.17%范围内波动,季节性变化不明显(图6)。

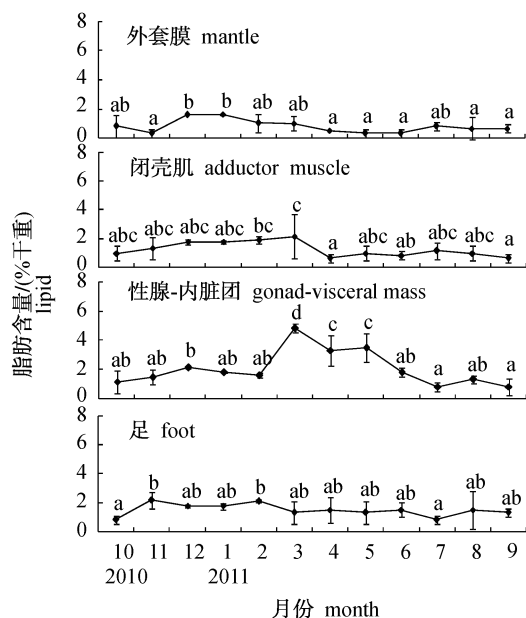


图6 魁蚶各组织中脂肪含量周年变化

Fig. 6 Seasonal variation in the lipid content of mantle, adductor muscle, gonad-visceral mass and foot of *S. broughtonii*

外套膜的糖原含量从12月的最低值5.1%逐渐增长,至次年4月达最大值22.3%,随后呈现下降趋势;闭壳肌和足中的糖原含量变化也呈现出与外套膜相似的趋势,在3—7月含量显著高于其它月份( $P < 0.05$ ),8月产卵盛期发生后有显著的下降( $P < 0.05$ ),12月到次年2月期间处于较低水平;较其它3种组织,性腺—内脏团中的糖原含量变化幅度最大,3月糖原含量急剧上升,至5月达最大值64.2%,配子排放后逐渐下降,2月达最低值7.9%(图7)。

外套膜的蛋白含量呈现出明显的季节性变化,春季急剧增加,至6月达最大值59.3 mg/g,配子排放后下降,秋季又出现增加趋势,冬季末再次回落至最低值(2月:20.8 mg/g);在闭壳肌中,蛋白含量周年变化不明显,稳定在32.0~59.1 mg/g之间,仅在产卵盛期8月出现明显波动( $P < 0.05$ );性腺和足的蛋白含量与外套膜的季节变化趋势相似,

春季逐渐升高,随后维持在相对较高的水平,8月明显下降,秋季出现回升,次年2月达最低值(性腺:28.0 mg/g;足:17.7 mg/g)(图8)。

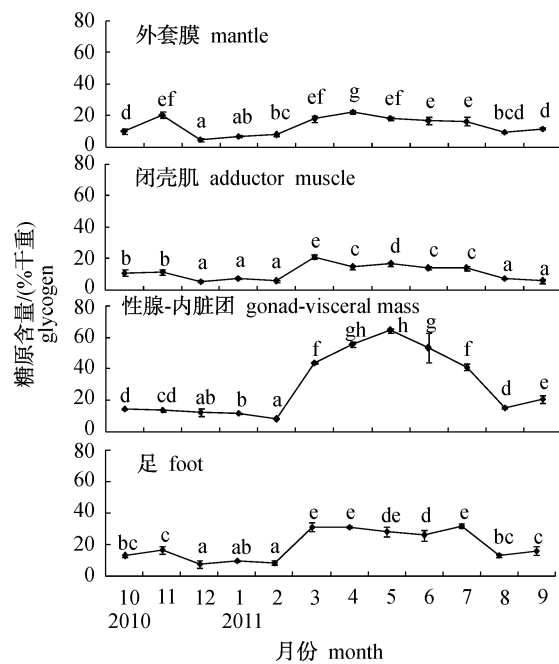


图7 魁蚶各组织中糖原含量的周年变化

Fig. 7 Seasonal variation in the glycogen content of mantle, adductor muscle, gonad-visceral mass and foot of *S. broughtonii*

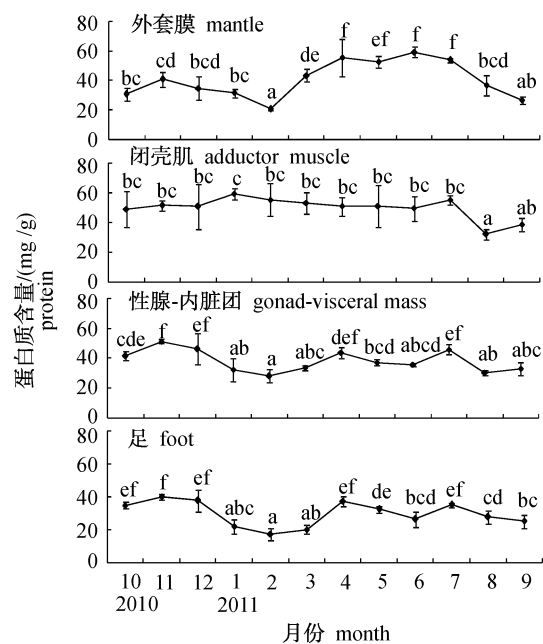


图8 魁蚶各组织中蛋白含量的周年变化

Fig. 8 Seasonal variation in the protein content of mantle, adductor muscle, gonad-visceral mass and foot of *S. broughtonii*

### 3 讨论

#### 3.1 魁蚶的繁殖周期

双壳贝类的产卵次数难以精确测定,在不同种类及同种不同地理群体中的出现频率存在差异,因而往往只能界定主要的产卵高峰期<sup>[17-20]</sup>。本研究中美蚶的两性性腺发育基本同步,始于水温较低的春季,在6—7月期间成熟并有部分配子排放,配子排放的高峰发生在水温最高的8月。魁蚶性腺发育的一致性及精卵的同步排放,增加了受精成功的可能性和人工育苗的可操作性。卵径的月变化与性腺各发育分期的特征相吻合,自春季卵母细胞逐渐增大,产卵前达到最大值,随后缩小,进入休止期后消失;因此,卵径的定量分析可以作为判别魁蚶性腺成熟度的良好指标。

食物和水温等环境因子与贝类的生殖活动具有密切的关系<sup>[21]</sup>。水温可以直接影响新陈代谢速率或间接影响食物的丰欠来实现对贝类繁殖的影响<sup>[22]</sup>。在本研究中,魁蚶配子发育开始于温度较低、食物相对匮乏的春季,这与褶牡蛎(*Crassostrea plicatula*)<sup>[23]</sup>和滑顶薄壳鸟蛤(*Fulvia mutica*)<sup>[24]</sup>的配子发育起始时间相似;大量配子排放发生在叶绿素a含量较高的夏季7—8月份,这就保证了适宜的幼虫孵化温度和丰富的食物来源,有利于幼虫存活和生长。

魁蚶属于雌雄异体,研究结果显示山东沿海魁蚶的性比接近1:1,在数量上不存在显著差异。许多学者报道,在小规格的贝类群体中雄性数量多于雌性,而随年龄和规格的增加,雌性个体所占的比例增加<sup>[25-26]</sup>。因此,需要展开进一步的研究,摸清魁蚶的性比分布随年龄增长的变化规律。

#### 3.2 魁蚶生殖过程中生化成分的变动

多项研究表明,脂质在海洋双壳贝类的繁殖过程中起到至关重要的作用<sup>[23-24,27]</sup>。在本研究中,性腺的脂质含量在4、5月维持较高的水平,配子排放后出现显著下降。虽然脂质占干重的比例较低,但这种季节性变化表明脂质与魁蚶的生殖具有密切的联系。Marine等<sup>[28]</sup>的研究结果表明脂质对双壳贝类的配子发育有重要作用,是冬季能量来源之一,也是卵的主要成分。本研究中,魁蚶的外套膜、闭壳肌和足的脂质含量虽然在配子发育过程中有轻微的下降,但全年的波动不大,月间差异不明显,这表明它们不是脂质的主要储存

器官。4种组织的脂质含量在水温较低,食物相对匮乏的冬季没有明显的变化,未发现脂质作为冬季能量来源的证据。相似的结果也出现在韩国沿岸毛蚶群体的研究中<sup>[29]</sup>。

糖原是主要的能量载体,可以满足耗能巨大的海洋双壳类配子发育过程的能量需求,在关于太平洋牡蛎和中国蛤蜊的研究中都有相应的证据<sup>[30-31]</sup>。本研究中所有组织的糖原含量在冬季都处于较低水平,配子开始发育后急剧升高,配子排放后快速下降。这种糖原的积累与配子发育同步的现象表明,魁蚶配子发育主要依靠摄取和利用食物中的糖原来满足能量的需求,属于机会种<sup>[12]</sup>。通常认为糖原有向脂质转化的趋势,两者成负相关关系<sup>[10-11]</sup>。在本研究中,性腺中的糖原和脂质的含量在性成熟期均处于较高水平,配子排放之后快速下降,没有迹象表明糖原向脂质转化的趋势,这与Park等<sup>[29]</sup>对韩国沿岸毛蚶的相关研究结果一致。4种组织中的糖原含量最高值出现时间不同,最晚的为性腺,其糖原含量最高值显著高于另外3种组织中的含量,表明糖原在组织间可能存在转移现象,性腺是主要的糖原储存组织,以满足配子发育期间能量的需求。

本研究中,外套膜、性腺—内脏团和足的蛋白含量的周年变化相似,都在冬季和产卵盛期(8月)出现显著下降。这与糖原含量的周年变化相似,表明在水温较低、叶绿素含量下降的冬季,蛋白质可能提供部分的能量以弥补糖原供能的不足。同时,性腺中的蛋白质在春季积累和在大量配子排放后快速下降的现象也表明其与魁蚶生殖过程具有紧密联系。在海洋双壳贝类的配子形成和成熟过程中,蛋白质既是卵黄的重要成分,也是雄性性腺发育的能量来源<sup>[23,30-31]</sup>。Whyte等<sup>[32]</sup>发现在食物非常匮乏的环境条件下蛋白质对牡蛎自身能量需求的贡献比糖类更大。另外,本研究发现闭壳肌的蛋白含量比较稳定,仅在配子排放盛期出现波动,不作为主要的蛋白储存组织,相似的结论在缢蛏的相关研究中也发现<sup>[27]</sup>。

综上所述,山东沿海魁蚶的繁殖周期可明显分为2个阶段:活跃期(3—10月)和休止期(11月—次年2月)。配子发育始于水温较低的2月,产卵季节为食物丰富且温度较高的6—8月;其繁殖活动与温度、食物丰度等环境因子密切相关。不同组织中的脂质、糖原和蛋白质3种生化成分

随环境因子的波动和繁殖活动的进行呈现出季节性变化。本研究查明了繁殖周期活动与环境因子的内在关系和生化成分积累与消耗的动态变化,为野生魁蚶资源的管理保护和可持续利用提供了重要的基础资料。

#### 参考文献:

- [1] Xu F S, Zhang S P. Marine bivalve in China [M]. Beijing: Science Press, 2008. [徐凤山, 张素萍. 中国海产双壳类图志. 北京: 科学出版社, 2008.]
- [2] Zou Y, Zheng Y Y, Qiu Z X, et al. Technology on maturation inducement and healthy seed rearing of *Scapharca broughtonii* [J]. Fisheries Science & Technology Information, 2010, 37(2): 95-98. [邹琰, 郑永允, 邱兆星, 等. 魁蚶亲贝促熟与健康苗种培育技术. 水产科技情报, 2010, 37(2): 95-98.]
- [3] Zhou W, Liu Y B, Li Kun, et al. Observation of burrowing behavior and ability of spat with different sizes in *Scapharca broughtonii* Schrenck [J]. Journal of Dalian Ocean University, 2011, 26(6): 550-553. [周玮, 刘一兵, 李坤, 等. 魁蚶苗种的潜沙行为观察. 大连海洋大学学报, 2011, 26(6): 550-553.]
- [4] Liang C, Yang A G, Liu Z H, et al. Morphological variations and discriminant analysis of different geographical populations of *Scapharca broughtonii* Schrenck [J]. Marine Sciences, 2011, 35(11): 108-113. [梁超, 杨爱国, 刘志鸿, 等. 4个地理群体魁蚶 (*Scapharca broughtonii*) 的形态差异与判别分析. 海洋科学, 2011, 35(11): 108-113.]
- [5] Li J J, Li Q. Isolation and characterization of twelve novel microsatellite loci in the ark shell *Scapharca broughtonii* [J]. Conservation Genetics, 2007, 9(4): 1055-1057.
- [6] Guo X W. A preliminary study on the reproductive biology of *Scapharca broughtonii* [J]. Marine Fisheries Research, 1994(15): 55-63. [郭学武. 魁蚶生殖生物学初步研究. 海洋水产研究, 1994(15): 55-63.]
- [7] Mann R. The effect of temperature on growth, physiology, and gametogenesis in the Manila clam *Tapes philippinarum* (Adams & Reeve, 1850) [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1979, 38(2): 121-133.
- [8] Taylor A C, Venn T J. Seasonal variations in weight and biochemical composition of the tissues of the queen scallop *Chlamys opercularis* from the Clyde sea area [J]. Journal of The Marine Biological Association of The United Kingdom, 1979, 59: 605-621.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] Dridi S, Romdhane M S, Elcafsi M H. 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.
- [12] Bayne B L. Aspects of reproduction in bivalve molluscs [M] // Vieley M L. Estuarine processes. New York: Academic Press, 1976: 432-448.
- [13] Dai Y R, Lu J R. A simple method for determination of *Phytoplankton chlorophyll a* in the cultured water [J]. Shandong Fisheries, 1997, 14(2): 35-36. [戴玉蓉, 卢敬让. 养殖水体浮游植物叶绿素 a 的简易测定. 齐鲁渔业, 1997, 14(2): 35-36.]
- [14] Drummond L, Mulcahy M, Culloity S. The reproductive biology of the Manila clam, *Ruditapes philippinarum*, from the North-West of Ireland [J]. Aquaculture, 2006, 254(1-4): 326-340.
- [15] Horikoshi H. Glycogen [J]. Chemical Field, 1958, 34: 36-37. (in Japanese)
- [16] Folch J, Lees M, Sloane-Stanley G H. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues [J]. Journal of Biological Chemistry, 1957, 226(1): 497-509.
- [17] Kim S K, Rosenthal H, Clemmesen C, et al. Various methods to determine the gonadal development and spawning season of the purplish Washington clam, *Saxidomus purpuratus* (Sowerby) [J]. Journal of Applied Ichthyology, 2005, 21(2): 101-106.
- [18] Zhao X L, Zheng X D, Sun T Q, et al. The reproductive biology of *Corbicula fluminea* from the yellow river delta [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2012, 43(5): 1008-1015. [赵雪琳, 郑小东, 孙同秋, 等. 黄河三角洲河蚶 (*Corbicula fluminea*) 的繁殖生物学研究. 海洋与湖沼, 2012, 43(5): 1008-1015.]

- [19] Ke Q Z, Li Q, Yan H W, *et al.* Annual observation on the reproduction of surf clam (*Macra veneriformis*) inhabiting the north coast of Shandong peninsula [J]. Periodical of Ocean University of China, 2012, 42(11): 28 - 34. [柯巧珍, 李琪, 闫红伟, 等. 山东北部沿海四角蛤蜊性腺发育年周期研究. 中国海洋大学学报, 2012, 42(11): 28 - 34.]
- [20] Pouvreau S, Gangnery A, Tiapari J, *et al.* Gametogenic cycle and reproductive effort of the tropical blacklip pearl oyster, *Pinctada margaritifera* (Bivalvia: Pteriidae), cultivated in Takapoto atoll (French Polynesia) [J]. Aquatic Living Resources, 2000, 13(1): 37 - 48.
- [21] Ke Q Z, Li Q, Chen C J, *et al.* The reproductive biology of the venus clam, *Cyclina sinensis* Gmelin, from the Yellow River delta [J]. Periodical of Ocean University of China, 2010, 40(9): 99 - 104. [柯巧珍, 李琪, 陈常杰, 等. 黄河三角洲青蛤的繁殖生物学研究. 中国海洋大学学报, 2010, 40(9): 99 - 104.]
- [22] Park M S, Kang C K, Lee P Y. Reproductive cycle and biochemical composition of the ark shell *Scapharca broughtonii* (Schrenck) in a southern coastal bay of Korea [J]. Journal of Shellfish Research, 2001, 20(1): 177 - 184.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] Peharda M, Mladineo I, Bolotin J, *et al.* The reproductive cycle and potential protandric development of the Noah's Ark shell, *Arca noae* L.: Implications for aquaculture [J]. Aquaculture, 2006, 252(2-4): 317 - 327.
- [26] Gribben P E, Creese R G. Protandry in the New Zealand geoduck, *Panopea zelandica* (Mollusca, Bivalvia) [J]. Invertebrate Reproduction & Development, 2003, 44(2-3): 119 - 129.
- [27] 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.
- [28] Marine M G, Moschino V, Dep pieri 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.
- [29] Park H J, Lee W C, Choy E J, *et al.* Reproductive cycle and gross biochemical composition of the ark shell *Scapharca subcrenata* (Lischke, 1869) reared on subtidal mudflats in a temperate bay of Korea [J]. Aquaculture, 2011, 322 - 323: 149 - 157.
- [30] 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.
- [31] 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.
- [32] 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.

## Gonad development and biochemical composition in the ark shell *Scapharca broughtonii* from coast of Shandong Peninsula

RUAN Feiteng<sup>1</sup>, GAO Sen<sup>1</sup>, LI Li<sup>2</sup>, QIU Zhaoxing<sup>2</sup>, ZHENG Yongyun<sup>2</sup>, LI Qi<sup>1\*</sup>

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

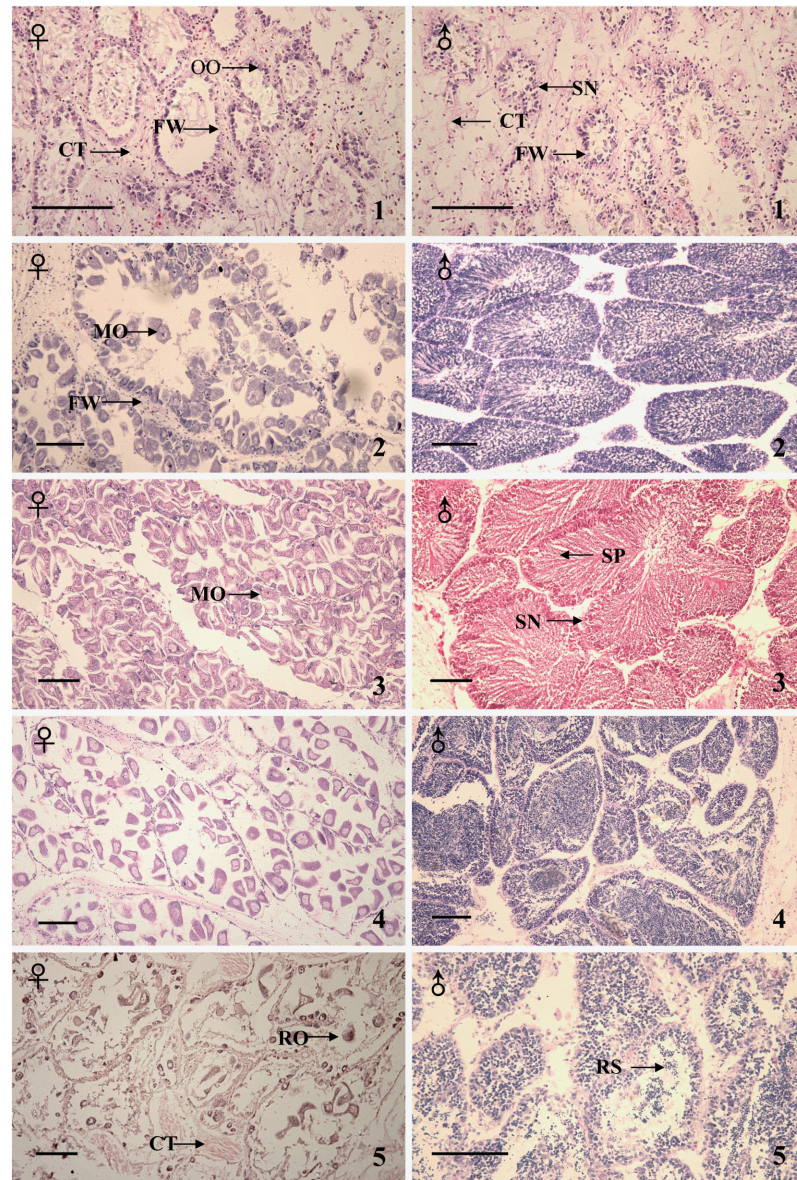
2. Mariculture Institute of Shandong Province, Qingdao 266002, China)

**Abstract:** In East-Asian countries, the ark shell *Scapharca broughtonii* is one of the most commercially important shellfish resources. In China, however, the wild resources of *S. broughtonii* have experienced a dramatic decline in abundance for the past decades due to overfishing, declining water quality, and loss of habitat. To develop management strategies and optimize the hatchery-based seed production, the reproductive cycle and seasonal variations in biochemical composition of *S. broughtonii* from the coast of Shandong Peninsula were investigated from October 2010 to September 2011 in relation to environmental factors. The specimens were collected monthly, with temperature and chlorophyll *a* concentration in seawater column recorded synchronically. Standard histological techniques were used to analyse the gonadal development, and the seasonal cycles of the biochemical composition of separate organs of mantle, adductor muscle, gonad-vascular mass and foot were examined. Histological analysis showed a unimodal gametogenesis cycle with one spawning season (June-August) during the year. The gonads of both sexes showed synchronical development, enhancing the probability of fertilization. The gametogenesis of the ark shell initiated simultaneously with temperature and chlorophyll *a* concentration ascending. Mean oocyte diameter increased gradually during ovarian maturation, reaching the maximum (41.80  $\mu\text{m}$ ) ahead of spawning. The sex ratio of female to male was approximately 1:1, indicating that there was no difference in the quantities of both sexes inhabiting this area. Although the lipid content in the gonad was relatively low compared with those of protein and carbohydrate, it displayed a seasonal pattern coincident with the gonadal development of the ark shell, showing an evidence that it is a major component of bivalve oocytes. A significant increase in the glycogen content of all tissues during the gametogenesis suggested carbohydrates play the most important role in this species. Except for the adductor muscle, two significant decreases in the protein content were observed during the spawning peak and winter, which implied protein not only supports reproduction, but also meets the energy demand after glycogen was depleted.

**Key words:** *Scapharca broughtonii*; reproductive cycle; environmental factors; biochemical composition

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





图版 魁蚶性腺发育分期

1. 形成期; 2. 增殖期; 3. 成熟期; 4. 排卵期; 5. 耗尽期。CT. 结缔组织; FW. 滤泡壁; OO. 卵原细胞; 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  $\mu\text{m}$

**Plate Photomicrographs of gonadal stages of *S. broughtonii***

1. early active stage; 2. developing stage; 3. ripe stage; 4. spawning stage; 5. spent stage. CT. connective tissue; FW. follicle wall; OO. ovogonia; MO. mature oocyte; RO. residual oocyte; SN. spermatogonia; SP. sperm; RS. residual sperm; bar = 100  $\mu\text{m}$