

山东沿海中国蛤蜊的繁殖生物学特性

杨林, 李琪, 闫红伟, 孔令锋, 于瑞海

(中国海洋大学 水产学院, 山东 青岛 26603)

摘要: 本研究于自2008年4月至2009年3月对中国山东海阳沿海中国蛤蜊(*Macra chinensis*)的繁殖周期及其与环境因子(温度、盐度和叶绿素a含量)的关系进行了研究。山东沿海的中国蛤蜊全年只有1个繁殖周期,可分为6个时期:休止期、形成期、增殖期、成熟期、排放期、耗尽期。组织学观察显示,配子发育周期分为2个明显的阶段:11月至翌年2月的休止期和包括配子形成、成熟和排放的性腺发育期。该地区中国蛤蜊雌雄配子的发育时间基本同步,配子发生均始于3月,大部分个体在6月至7月成熟,8月雌雄配子大规模排放。中国蛤蜊的卵母细胞直径呈显著的周年变化($P < 0.05$),从3月开始增加,7月达最大值。随着产卵的发生,卵径逐渐减小,至11月降至最低。条件指数在配子发生期开始增大,成熟期达到最高值,产卵后减小。[中国水产科学, 2010, 17(3): 514–520]

关键词: 中国蛤蜊; 繁殖年周期; 环境因子; 条件指数

中图分类号: S91 **文献标识码:** A

文章编号: 1005-8737-(2010)03-0514-07

中国蛤蜊隶属软体动物门(Mollusca)、双壳纲(Bivalvia)、异齿亚纲(Heterodonta)、帘蛤目(Veneroida)、蛤蜊科(Mactriidae)。主要分布于中国长江口以北水域和福建平潭、东山。在朝鲜半岛、日本、俄罗斯远东海也有分布^[1]。中国蛤蜊作为一种埋栖型贝类,主要生活于潮间带中、低潮区,具有生长速度快、栖息密度高的特点,同时其肉味鲜美,营养价值较高。因此,中国蛤蜊是一种经济价值较高、具有广阔养殖开发前景的贝类,适于在中国北方地区进行大面积推广养殖。

目前中国北方部分地区已经展开了中国蛤蜊的增养殖,但在其增养殖过程中,种苗紧缺问题突出^[2],制约了中国蛤蜊养殖业的健康、稳定、可持续发展。为了突破这一瓶颈,提高自然海区采苗的效率,加强亲贝的培育质量以及优化人工孵化条件,有必要研究并掌握中国蛤蜊的繁殖生物学特性,这对于中国蛤蜊的人工育苗、规模化繁育以及野生资源

的保护都有着重要的意义,并将进一步拓展中国蛤蜊的养殖前景。目前国内外一些学者就中国蛤蜊的人工养殖技术、加工技术、形态学、生态和遗传学等方面做过相关研究,但对中国蛤蜊的繁殖生物学研究还比较少^[3-8]。本研究对中国山东沿海中国蛤蜊的繁殖周期及环境因子进行了周年调查,研究了中国蛤蜊繁殖周期的周年变化规律及其与环境因子的关系,不仅为确定中国蛤蜊人工采苗、育苗最适时机提供科学依据,也为其种质资源保护提供重要的基础资料。

1 材料与方法

1.1 样品采集

实验所用中国蛤蜊于2008年4月至2009年3月采集于山东省海阳海区,每月下旬采样1次,每次采集60~70个个体,壳长3.25~4.97 cm;软体部质量为6.39~11.84 g。样品活体运回实验室后,解剖。

收稿日期: 2009-8-15; 修订日期: 2009-11-12.

基金项目: 国家863计划项目(2007AA09Z433); 国家科技支撑计划项目(2006BAD09A01).

作者简介: 杨林(1985-),男,硕士研究生,从事海洋贝类繁殖生物学研究. E-mail: yolinlv@126.com

通讯作者: 李琪,教授. Tel: 0532-82031622; E-mail: qili66@ouc.edu.cn

1.2 环境参数测定

现场测定取样海区海水的盐度和温度,并采集采样地海水样品,采用戴玉蓉等^[9]的方法测定叶绿素a含量。

1.3 条件指数计算

每个月解剖5个中国蛤蜊个体,将软体部与壳分离,分别在105℃烘干至恒重,然后称取软体部干重和壳干重,计算条件指数。

$$\text{条件指数} = (\text{软体部干重} / \text{壳干重}) \times 100\%^{[10]}$$

1.4 组织学观察

每月取60~70个中国蛤蜊个体做组织学检验。解剖切取5 mm厚的性腺小块于Bouin's液中固定24 h;梯度酒精脱水;石蜡渗透,包埋;常规组织切片7 μm;爱氏苏木精曙红染色。在Olympus显微镜下观察中国蛤蜊的性腺发育状况。每个月从该月雌性个体性腺切片中取出10张,于显微镜下观察测量卵母细胞直径,每张切片上观测60个卵细胞的直径,求平均值以确定中国蛤蜊性腺的成熟度。性腺发育按照Gosling^[11]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)。

1.5 数据分析

数据统计分析采用SPSS 13.0软件处理。对条件指数和卵母细胞直径的测量数据用单因素方差分析(ANOVA)进行显著性检验,月间的差异采用Turkey检验($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 环境因子的季节变化

图1显示了采样海区海水水温和盐度的周年变化。水温在8月份的时候达到最高值(29℃),随后逐渐降低,至1月达到最低(2℃)。盐度变化范围为27.1~33.8,周年变化不大。

叶绿素a含量的周年变动模式表现为夏、秋季高,冬季低的特点(图2)。8月叶绿素a的含量最高(25.19 μg/L),随后逐渐下降,并于12月降至全年最低值(1.33 μg/L)。

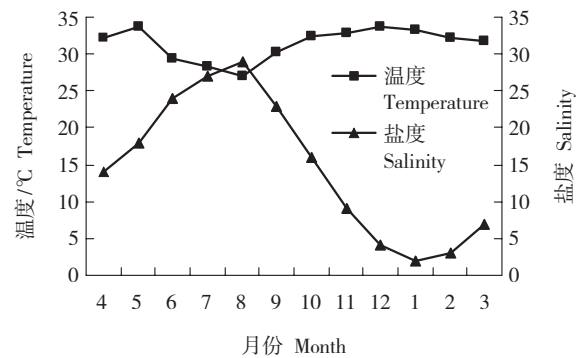


图1 取样海区水温和盐度的周年变化

Fig. 1 Monthly variations in water temperature and salinity in survey area

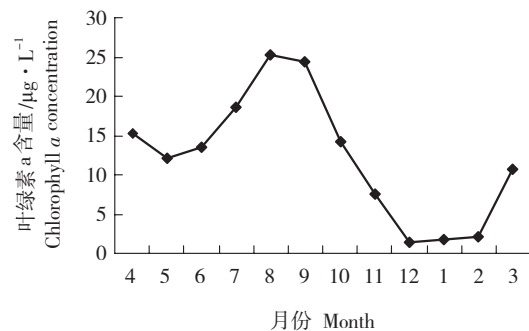


图2 取样海区叶绿素a含量的周年变化

Fig. 2 Monthly variations of chlorophyll a concentration in survey area

2.2 中国蛤蜊条件指数的周年变化

图3显示了中国蛤蜊条件指数的周年变化,3月开始上升,7月达最大值37.02%,8月下降为32.06%,然后逐渐减小,1月达最低值27.30%,此后又开始上升。不同月份间有显著差异(Turkey test, $P < 0.05$)。

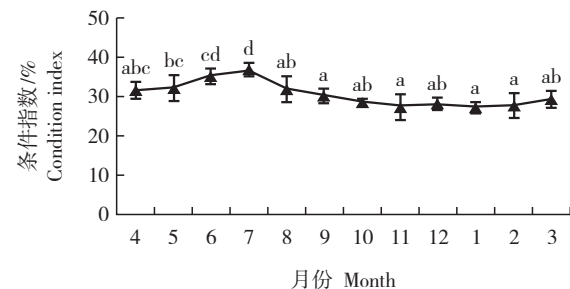


图3 中国蛤蜊条件指数的周年变化

字母不同表示月份间存在显著差异($P < 0.05$)。

Fig. 3 Seasonal changes in condition index of *Mactra chinensis*. Different letters show significant difference between months ($P < 0.05$).

2.3 中国蛤蜊的繁殖周期

参考Gosling^[11]对性腺发育各期特点的描述,将中国蛤蜊的性腺发育分为6个时期(图版 I):

0期(休止期):肉眼观察软体部消瘦,内脏团表面无性腺分布,雌雄不可分辨。切片观察滤泡萎缩或消失,结缔组织占据了整个性腺(图版 I-A)。

I期(形成期):此期配子发育刚刚开始,滤泡开始增大,多呈不规则形状,滤泡间有大量结缔组织存在。卵巢内滤泡壁上出现不连续的单层卵原细胞,雄性滤泡壁上形成多层精原细胞。数量逐渐增加并且逐渐有精母细胞产生(图版 I-B)。

II期(增殖期):滤泡数量增加,体积增大,泡腔空隙逐渐缩小。雌性个体滤泡内卵原细胞继续分裂增殖,卵母细胞逐渐分化,部分具短柄,附着于滤泡腔壁上,有少量成熟卵子出现。雄性滤泡中可观察到从精原细胞到精子各个生长阶段的细胞(图版 I-C)。

III期(成熟期):此期配子发育结束,产卵还未发生或刚刚开始。仅有少量结缔组织存在,滤泡间隙

基本消失,滤泡为最饱满时期。滤泡腔内充满大量成熟卵子。雄性滤泡壁上精原细胞减少,滤泡腔内充满了成熟的精子,精子呈辐射状排列(图版 I-D)。

IV期(排放期):由于成熟精子和卵子的排放,滤泡内生殖细胞逐渐减少,开始出现大小不等的空腔。随着配子的大量排放,雌性滤泡壁上仅剩少量卵母细胞,有些滤泡壁破裂,滤泡腔内残存少量成熟卵子;雄性滤泡萎缩,滤泡腔内有少量精母细胞和精子存在(图版 I-E)。

V期(耗尽期):滤泡萎缩变小,有些滤泡壁破裂,雄性滤泡腔内残存少量成熟精子;雌性滤泡腔内有少量卵母细胞,残留的卵母细胞开始溶解,逐渐被周围的细胞吸收(图版 I-F)。

图4显示了中国蛤蜊卵母细胞直径的周年变化。中国蛤蜊的卵径从3月(8.9 μm)开始增加,7月达最大值(46.8 μm)。随着产卵的发生,卵径逐渐减小,至10月,卵径降低至19.2 μm 。卵径月间差异显著($P<0.05$)。

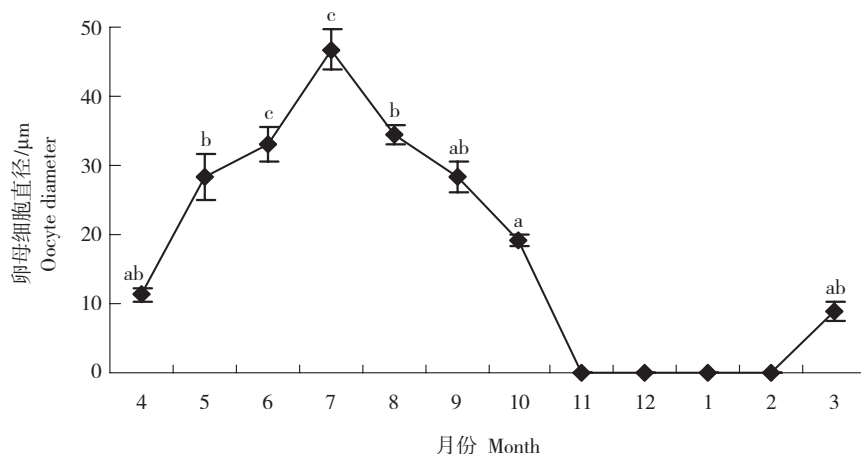


图4 中国蛤蜊卵母细胞直径的周年变化

字母不同表示月份间存在显著差异($P<0.05$)。

Fig. 4 Monthly variations in oocyte diameters of *Mactra chinensis*
Different letters show significant difference between months ($P<0.05$).

图5显示了中国蛤蜊配子发育的周年变化。中国蛤蜊的配子发育具有明显的季节性,2008年11月至2009年2月取样个体性腺全部处于休止期;性腺发育始于3月,3月24.3%的个体处于发生期;5月主要为配子增殖期,有90.2%的个体处于增殖期,并有部

分个体(9.8%)性腺发育成熟;6月下旬至7月为成熟期,性腺发育成熟的个体分别占67.2%和85.6%。8月为配子集中排放期。随着精卵排放高峰期的结束,9月进入耗尽期,并持续到10月。11月进入休止期,休止期于次年2月结束,随后进入下一个繁殖周期。

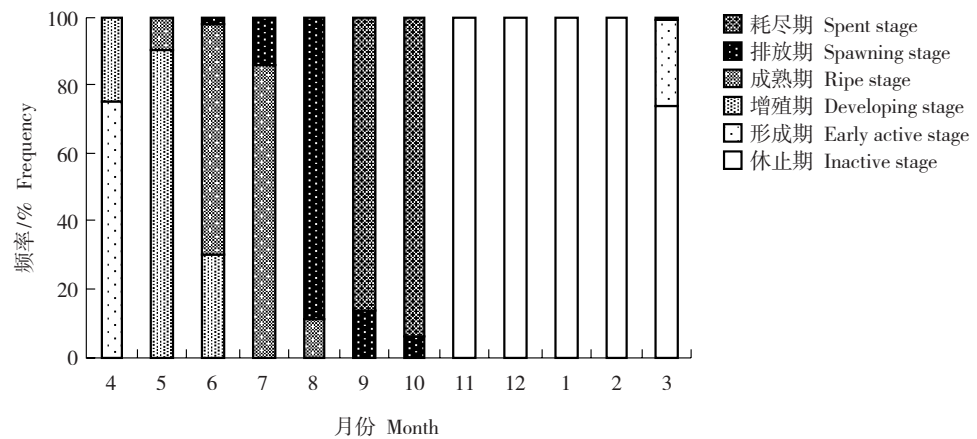


图5 中国蛤蜊性腺发育状况的周年变化

Fig. 5 Monthly variations in gonadal development of *Mactra chinensis*

3 讨论

本实验结果表明,中国蛤蜊全年只有1个繁殖周期,配子发育周期分为2个明显的阶段:11月至翌年2月的休止期和包括配子形成、成熟和排放的性腺发育期。配子发育从3月开始,此时温度为7℃左右,随着水温的升高,中国蛤蜊的性腺快速生长,6月–7月时性腺发育成熟,然后在8月集中产卵,此后随着温度的降低,从11月份开始进入为期4个月的休止期。这表明中国蛤蜊的繁殖周期与温度变化密切相关。通常认为海洋贝类的繁殖策略是对周围环境(如温度和食物丰度)的一种适应,不同种类的海洋贝类及同种类的不同种群繁殖周期都有所不同^[12–14]。在影响贝类繁殖的环境因素中,温度和食物丰度被认为是最重要的两个因素^[15–17]。水温对贝类繁殖的影响可以是直接的,影响新陈代谢的速率,从而影响贝类的生长和繁殖;也可以是间接的,影响食物丰度。在本研究中,随着海区水温的上升,中国蛤蜊的平均卵母细胞直径逐渐增加,6月–7月进入成熟期;8月,由于成熟卵子的排放,卵径缩小。卵径与温度变化的一致性证明了温度在中国蛤蜊的繁殖过程中起着重要的调控作用。

中国蛤蜊为滤食性贝类,以浮游植物为主要食物,浮游植物是其性腺发育的物质和能量来源。叶绿素a是浮游植物的光合作用色素之一,因而叶绿

素a含量的高低可以反映水体中浮游植物的丰歉程度。本研究对取样海区的叶绿素a含量进行了周年测定,结合组织学观察结果可以看出,中国蛤蜊的配子发育从温度较低、食物相对匮乏的春季开始,这与褶牡蛎(*Crassostrea plicatula*)^[14]和滑顶薄壳鸟蛤(*Fulvia mutica*)^[18]的配子发育起始时间相似。此后水温逐渐上升,浮游植物日益丰富,这样就保证了中国蛤蜊性腺发育有足够的营养和能量来源。排卵主要在8月,此时叶绿素a含量达到最高,随后9月叶绿素a含量也维持在一个较高水平。食物充足的生活环境,为中国蛤蜊幼虫的生长提供了适宜的生存条件,从而提高了幼虫的存活率。

Kim等^[19]报道,条件指数与性腺发育密切相关,通常在性成熟过程中逐渐升高,随着产卵的发生而逐渐下降。本研究中也观察到同样的现象,条件指数从配子发生期开始增大,成熟期达到最高值,产卵发生后逐渐减小。同时,通过研究卵母细胞直径的周年变化与繁殖周期之间的关系发现,从3月开始平均卵母细胞直径逐渐增加,7月达到最大,此时性腺发育成熟。之后随着产卵的发生,卵径缩小。11月至翌年2月,进入休止期,此时观测不到卵母细胞的存在。Lango-Reynoso等^[20]在太平洋牡蛎[*Crassostrea gigas* (Thunberg)]的研究中也得到了类似的结果。因此在中国蛤蜊的采苗和人工育苗中,

可以通过条件指数和卵母细胞形态来判断性腺成熟度。在本研究所取中国蛤蜊样品中,未发现雌雄同体现象的存在。对雌雄异体的贝类而言,两性性腺的同步发育是其生殖活动成功的重要保证,准确判断中国蛤蜊的繁殖期对于开展人工育苗具有重要的意义。本研究结果表明,中国蛤蜊的精巢和卵巢在6月-7月同步发育成熟,两性配子均在8月集中排放,这为中国蛤蜊人工育苗过程中人工授精的可操作性提供了理论依据。

综上所述,本研究对中国山东沿海中国蛤蜊性腺发育的周年变化及其与环境因子的关系进行了研究,发现其繁殖周期分为11月-翌年2月的休止期和3月-10月的性腺发育期;温度以及叶绿素 a 含量对繁殖周期的变化影响显著,条件指数与卵母细胞直径是判断性腺成熟度的良好指标。

参考文献:

- [1] 徐凤山,张素萍.中国海产双壳类图志[M].北京:科学出版社,2008.
- [2] 徐维柱,徐维敬,刘红蕾.丁字湾中国蛤蜊浅海底增播养殖技术[J].齐鲁渔业,2008,4: 34.
- [3] 王子臣,刘吉明,沈永忱,等.鸭绿江口中国蛤蜊生物学初步研究[J].水产学报,1984,8(1): 33-44.
- [4] 孙显武,王洪瑞,袁凤冠.中国蛤蜊加工技术研究[J].水产品加工,2005,11(4): 72-73.
- [5] 孙振兴,郭胜超,邵雁群,等.三种海产帘蛤目贝类的核型研究[J].海洋学报,2004,26(1): 88-94.
- [6] 齐钟彦,马绣同,王祯瑞,等.黄渤海的软体动物[M].北京:农业出版社,1989.
- [7] 沈永忱,郑宝太,刘吉明,等.中国蛤蜊的诱导产卵和胚胎发育观察[J].水产科技情报,2004,31(6): 265-266.
- [8] 刘相全,方建光,包振民,等.中国蛤蜊繁殖生物学的初步研究[J].中国海洋大学学报,2007,37(1): 89-92.
- [9] 戴玉蓉,卢敬让.养殖水体浮游植物叶绿素 a 的简易测定[J].齐鲁渔业,1997,14: 35-36.
- [10] Walne P R. Experiments on the culture in the sea of the butterfly *Venerupis decussate* (Linnaeus, 1758) [J]. Aquaculture, 1976, 8: 371-381.
- [11] Gosling E. Bivalve molluscs: biology, ecology and culture [M]. Oxford: Blackwell Publishing, 2003: 131-168.
- [12] Darriba S, Juan F S, Guerra A. Gametogenic cycle of *Ensis Siliqua* (Linnaeus, 1758) in the Ría De Corcubión, northwestern Spain [J]. J Moll Stud, 2005, 71: 47-51.
- [13] Chavez-Villalba J, Pommier J, Andriamiseza J, et al. Broodstocking conditioning of the oyster *Crassostrea gigas*: origin and temperature effect [J]. Aquaculture, 2002, 214: 115-130.
- [14] 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: 752-759.
- [15] 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]. J Mar Biol Assoc UK, 1979, 59: 605-621.
- [16] Park M S, Kang C K, Lee P Y. Reproductive cycle and biochemical composition for the ark shell *Scapharca broughtonii* (Schrenck) in a southern coastal bay of Korea [J]. J Shellfish Res, 2001, 20: 177-184.
- [17] 吴洪流,王红勇,王君.波纹巴非蛤性腺发育分期的研究[J].海南大学学报:自然科学版. 2002, 20: 41-47.
- [18] 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 eastern coast of China [J]. J Shellfish Res, 2008, 27: 405-411.
- [19] 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]. J Appl Ichthyol, 2005, 21: 101-106.
- [20] Lango-Reynoso F, Chávez-Villalba J, Cochard J C, et al. Oocyte size, a means to evaluate the gametogenic development of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas* (Thunberg) [J]. Aquaculture, 2000, 190: 183-199.

Reproductive characteristics of clam (*Macra chinensis*) along coast of Shandong Province

YANG Lin, LI Qi, YAN Hongwei, KONG Lingfeng, YU Ruihai

(Fisheries College, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

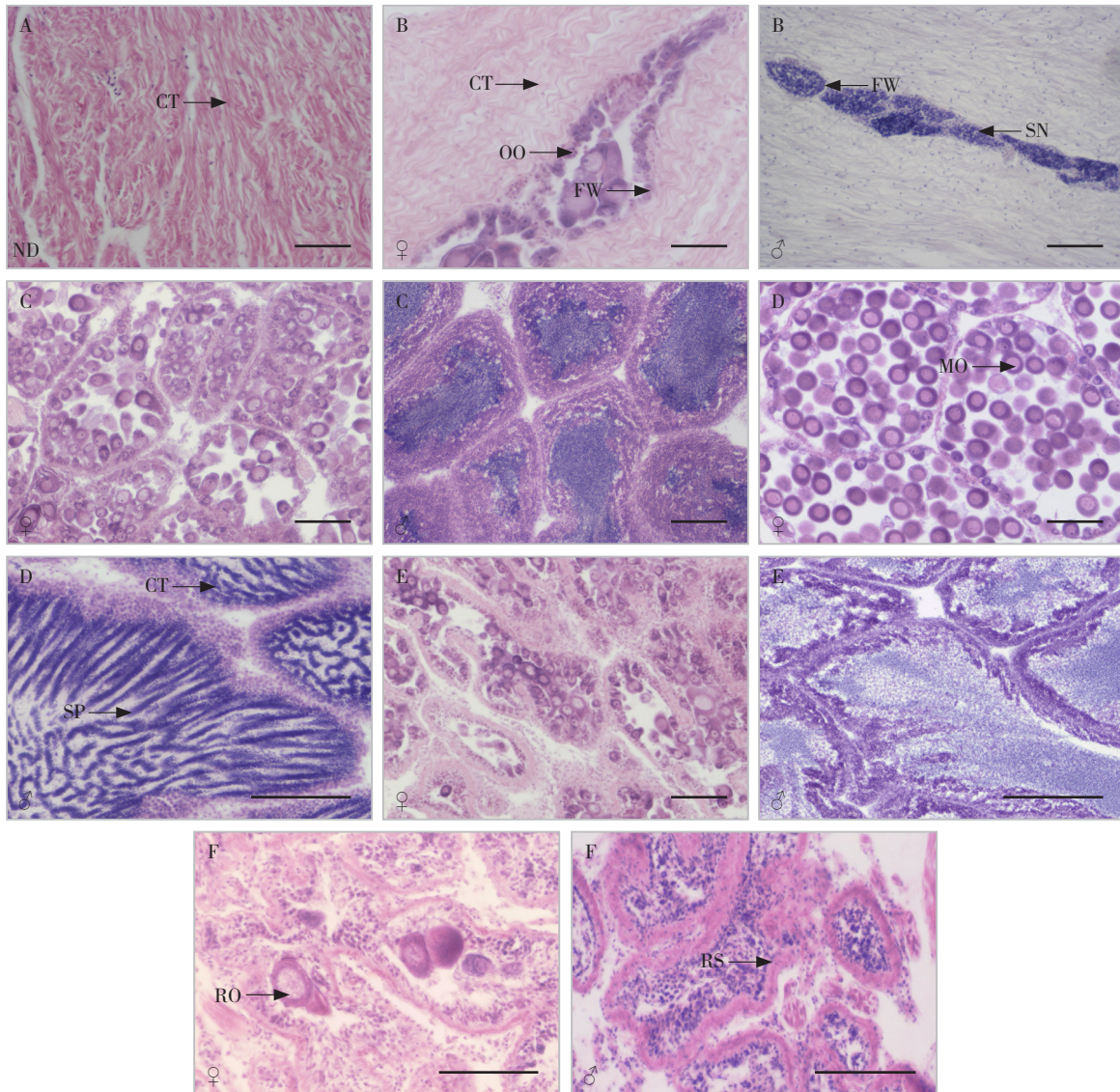
Abstract: Clam *Macra chinensis* classified as Mactriidae is widely distributed in coastal waters of China, Japan, and the Korean Peninsula, inhabiting from intertidal to sand bottoms. With rapid growth rate and growing market demand, *M. chinensis* has become a commercially important species and possesses enormous potential for aquaculture. It is necessary to understand the reproductive knowledge of *M. chinensis* to promote its artificial culture. In this study, we investigated reproductive cycle of *M. chinensis* and the relationship between the reproductive cycle and environmental conditions from April 2008 to March 2009 in Haiyang, Shandong Province of China. From histological gonad slices stained with haematoxylin aneosine, a gametogenic scale could be divided into six stages: (0) Inactive; (I) Early active; (II) Developing; (III) Ripe; (IV) Spawning; (V) Spent. According to histological analysis, the reproductive cycle of *M. chinensis* comprised two phases: resting phase (from November to February) and gametogenesis, including ripeness and spawning during the rest of the year. During gonad maturation, synchronism between males and females was observed and gametes of both sexes were spawned at about the same time. Histological evidence showed that the gametogenesis of *M. chinensis* began in March when the water temperature was 7 °C. After rapid growth in April and May, most *M. chinensis* matured from June to July and massive gametes release occurred in August. From September to October majority of the population were in spent stage followed by a 4-month inactive stage until a new gametogenic cycle began. In general, the reproductive strategy of marine bivalves can be considered as an adaptation to ambient environmental factors. The influence of environment on bivalve reproduction was widely accepted, among which temperature and food availability were the most important ones. Sexual maturation is concomitant to the accumulation of nutrients, so the available food was closely related to the rate of the gonadal development. We also performed oocyte diameter examination and significant differences were found among different months ($P < 0.05$). Oocyte diameter tracked gonadal development and it increased from 8.9 μm in March as the gametogenesis occurred and reached a maximum value of 46.8 μm in July when the gonads matured. Then oocyte diameter declined after spawning until it achieved its minimum value in November. The variations in temperature were consistent with the variations of oocyte diameters, indicating that temperature played an important role in affecting the reproductive cycle of *M. chinensis*. In addition, condition index showed clearly seasonal gonad development, which increased at the beginning of gametogenesis and reached the highest when gonad matured then declined after gametes were released. And chlorophyll a concentration kept high during the spawning of *M. chinensis*, enabling the released larval to have enough food. Thus the possibility of larval survival increased. In conclusion, useful information obtained in this study is important for developing management strategies of *M. chinensis* population in this area as well as for initiating aquaculture activities for this species. [Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(3): 514–520]

Key words: *Macra chinensis*; annual reproductive cycle; environmental parameter; condition index

Corresponding author: LI Qi. Tel: 0532-82031622; E-mail: ylzhaobio@bio.ecnu.edu.cn

杨林等：山东沿海中国蛤蜊的繁殖生物学特性

YANG Lin et al: Reproductive characteristics of clam (*Mactra chinensis*) along coast of Shandong Province



图版I 中国蛤蜊性腺发育分期

A. 休止期; B. 形成期; C. 增殖期; D. 成熟期; E. 排放期; F. 耗尽期.

CT: 结缔组织; FW: 滤泡壁; OO: 卵原细胞; MO: 成熟卵子; ND: 雌雄不辨; RO: 残留的卵子; SN: 精原细胞; SP: 精子; RS: 残留精子. 标尺 = 100 μ m.

Plate I Photomicrographs of gonadal stages of *Mactra chinensis*

A. Inactive stage; B. Early active stage; C. Developing stage; D. Ripe stage; E. Spawning stage; F. Spent stage.

CT: Connective tissue; FW: Follicle wall; OO: Ovovogonia; MO: Mature oocyte; ND: Sex not determined; RO: Residual oocyte; SN: Spermatogonia; SP: Sperm; RS: Residual sperm. Bar = 100 μ m.