

九孔鲍精子发生的超微结构

颜素芬, 姜永华, 严正凇, 陈昌生

(集美大学水产学院暨水产生物技术研究所, 福建 厦门 361021)

摘要:利用透射电镜观察九孔鲍(*Haliotis diversicolor aquatilis*)精子的发生过程。结果表明,九孔鲍精子的发生历经精原细胞、初级精母细胞、次级精母细胞、精细胞和成熟精子5个阶段。其中精细胞的分化可分为5期,主要特点为:Ⅰ期,一些高电子致密颗粒参与顶体的形成;Ⅱ期,核形态由椭圆形到近圆形,再逐渐拉长为长圆柱状;Ⅲ期,核染色质以颗粒状形式凝集,最后向高电子密度均质状态转变;Ⅳ期,线粒体逐步融合、体积增大和嵴发达;Ⅴ期,中心体移动及鞭毛形成,胞质逐渐减少。成熟精子为原生型,由头部、中段和尾部组成。通过观察精子发生过程中细胞形态结构的变化,分析了其演变规律,同时与软体动物的其他种类作了比较研究。[中国水产科学,2006,13(6):878-884]

关键词:九孔鲍;精子发生;超微结构

中图分类号:Q959.212

文献标识码:A

文章编号:1005-8737-(2006)06-0878-07

动物精子的形态结构和发生过程是生殖生物学的重要研究内容,其结构及运动方式与受精过程密切相关。因此,精子发生的超微结构研究历来受到众多学者的重视^[1-16]。在软体动物中,有关双壳类精子发生过程的研究国内外已有不少报道^[1-8],但对腹足类精子的研究却相对较少^[9-13],尤其是对重要经济种类鲍的研究,迄今为止国内的报道多侧重于皱纹盘鲍(*Haliotis discus hannai*)精子形态结构的研究或比较^[14-16]。

九孔鲍(*Haliotis diversicolor aquatilis*)是一种重要的海产经济贝类,关于该种类的育苗、养殖及病害的研究已经开展^[17-19],但有关其精子发生的超微结构尚未见报道。本实验对九孔鲍精子发生的超微结构变化进行观察,以期能为腹足类的繁殖生物学及相关的基础研究积累参考资料,同时能对九孔鲍人工苗种的生产实践及多倍体育种技术起到一定的指导作用。

1 材料与方法

九孔鲍雄鲍于2004年10月~2005年3月取自福建惠安鲍养殖场。鲍个体质量17~41 g,壳长5.5~7.2 cm。活体解剖,取出精巢切成1 mm³左右的小块,用2.5%戊二醛固定2 h,0.1 mol/L磷酸缓

冲液冲洗,1%锇酸后固定,酒精-丙酮系列脱水,环氧树脂浸透、包埋,LKB-8800V超薄切片机切片,醋酸铀-柠檬酸铅双重染色,在JEM-100CX II型透射电镜下观察并拍照。

2 结果

2.1 精原细胞

体积最大,紧贴精巢滤泡的基膜分布。胞体呈椭圆形,切面长径6.4~7.7 μm,短径4.3~4.7 μm。细胞质较少,含有少量圆形线粒体,其嵴稀少而短;内质网稀少,呈小泡或小管状;未见高尔基体等细胞器,但胞质中有少许具膜的电子致密颗粒。细胞核大,位于细胞中央,大小为(4.8~5.0) μm × (3.3~3.5) μm,其形状与胞体近似;核膜清晰,核周腔明显;染色质少,成絮状附于核膜内侧或不均匀散布在核质中(图版 I-1)。

2.2 初级精母细胞

由精原细胞生长转化而来,细胞逐步脱离基膜。早期的初级精母细胞呈椭圆形,约6.1 μm × 3.8 μm。进入减数分裂期的初级精母细胞大多呈卵圆形,约5.4 μm × 4.2 μm。胞质电子密度增高;线粒体数量增多,体积增大,嵴渐增多;有少量内质网和核糖体;高尔基体发育良好,呈数层扁平囊状或环状,其周围

收稿日期:2006-02-27; 修订日期:2006-04-29.

基金项目:福建省重大科技项目(2002N003).

作者简介:颜素芬(1955-),女,副教授,主要从事水产动物组织胚胎学、发育生物学研究. Tel:0592-6180616, E-mail: Y_sufen@163.com

胞质中有较多的高尔基小泡;电子致密颗粒数量也增多;中心体结构出现,在一些切面上可见到2~3个横切的“9+2”轴丝结构。核形仍与胞体一致,大小为 $(4.5\sim 4.8)\mu\text{m}\times(4.0\sim 3.2)\mu\text{m}$;核周腔较大,核外膜局部明显扩大为不规则的核膜泡;核内染色质增多,呈不规则团块状或条状分布。有的核中可见同源染色体配对的联会复合体(图版 I - 2、3、4、5)。

2.3 次级精母细胞

由初级精母细胞经第一次成熟分裂(减数分裂)形成,这时期常见核分裂为二,而胞质未分开的现象,形成双核细胞。细胞卵圆形,约 $4.6\mu\text{m}\times 3.8\mu\text{m}$ 。胞质电子密度高;线粒体体积较大;电子致密颗粒逐渐集中于细胞的一端。“9+2”轴丝结构明显可见。胞核也近卵圆形,约 $3.3\mu\text{m}\times 2.8\mu\text{m}$;局部核周腔和核膜泡清楚可见;核内呈细颗粒状的异染色质进一步凝聚成大团块,常染色质区域变小(图版 I - 6)。

2.4 精细胞

由次级精母细胞经第二次成熟分裂产生,体积较小,根据精细胞在变态期间胞质与胞器的发育特征、核染色质凝集程度及形态等的变化,将其分为5个时期。

2.4.1 I期 胞体呈椭圆形,约 $3.8\mu\text{m}\times 2.2\mu\text{m}$ 。可见到部分胞质未完全分开的双核细胞。在细胞核的一侧开始出现前顶体囊的雏形,内含电子密度中等的均匀絮状物。胞质中线粒体进一步融合,并逐渐移向细胞一端,数量较次级精母细胞开始减少。仍可见内质网和核糖体散布。部分细胞质开始往细胞的一侧或核后迁移。在一些细胞内可清楚观察到轴丝的横切与纵切面。核形仍与胞体一致,约 $2.4\mu\text{m}\times 1.8\mu\text{m}$,呈较大颗粒状的染色质凝聚成更大的团块,占据核内大部分空间(图版 I - 7)。

2.4.2 II期 胞体呈椭圆形,约 $3.4\mu\text{m}\times 2.1\mu\text{m}$ 。前顶体囊迁移至核的前端并不断增大,基本呈圆形。线粒体逐渐移核的后端,融合为少数几个,呈圆形或椭圆形,嵴增长。同时中心体也往核后端移至线粒体之间。两个中心粒相互垂直排列,有一个横切面为近圆形;另一个为短棒状。可观察到轴丝结构。细胞质继续往核后退缩。核多为椭圆形,约 $2.0\mu\text{m}\times 1.7\mu\text{m}$;核周腔不明显;染色质颗粒逐渐变粗,并进一步浓缩呈粗团块状,电子致密度明显增大,核内电子透明区变小;核与顶体相接触面的中央略内凹

(图版 I - 8、9,图版 II - 1)。

2.4.3 III期 细胞形状大小与II期相似,约 $3.2\mu\text{m}\times 2.0\mu\text{m}$ 。前顶体囊的内含物继续增多,电子致密度增加,这样前顶体逐渐形成,但含有一些中空膜泡。大部分胞质已退至核后,只余一细柄与细胞相连,顶体和核周围仍留有薄层胞质,其中可见少量高尔基膜囊。核近卵圆形,约 $1.8\mu\text{m}\times 1.6\mu\text{m}$ 。粗颗粒状的染色质再浓缩,大部分融合成块趋向均质化,颗粒间隙已不明显,但局部仍可见电子透明区。核前端中央逐渐内凹,形成锥形核前窝,内含密度较低的絮状物质(图版 II - 2)。

2.4.4 IV期 形态逐渐与精子相似,细胞体积进一步缩小,约 $2.9\mu\text{m}\times 1.6\mu\text{m}$ 。前顶体继续发育,外观呈圆锥形,内部膜泡消失,内含物大多呈均质;前顶体基部临核面的中央内凹,形成浅锥状的亚顶体腔,内含电子密度与顶体类似的物质。细胞质大量减少。精子中段形成,球状线粒体堆积于核后,嵴长而密集。中心粒位于核后端的线粒体球之间。核形态趋向圆柱状,大小为 $1.5\mu\text{m}\times 1.4\mu\text{m}$;染色质浓缩,大面积呈均质化,电子密度进一步加大;染色质空缺的透明区呈不规则小囊泡状,或称核泡,其内有的可见少许膜囊或颗粒物质。核前窝较明显。核后端与线粒体相接触的地方内凹形成植入窝(图版 II - 3)。

2.4.5 V期 与第IV期相比,本期主要变化是细胞核的延长。细胞大小为 $3.1\mu\text{m}\times 1.3\mu\text{m}$ 。形态与精子基本相似。前顶体物质密度增大,亚顶体腔进一步向前凹入,顶体形成。核延长呈长圆柱状,为 $1.8\mu\text{m}\times 1.2\mu\text{m}$ 。核内染色质高度浓缩,更均质致密,有较少的核泡存在。核前窝凹陷加深,呈明显“V”字形。最后,精细胞丢弃多余的细胞质而演变为成熟的精子(图版 II - 4)。

九孔鲍成熟精子属原始型精子,由头部、中段和尾部3部分构成(图版 II - 5、6)。

3 讨论

九孔鲍精子发生的过程类似于许多软体动物双壳类^[1-8]和其他腹足类^[9-13],由精原细胞依次分化和形成初级精母细胞、次级精母细胞、精细胞和精子。在这过程中,不同种类的精原细胞和精母细胞的形态与结构变化差异不太大,种间差别较明显的变化出现在精细胞变态为精子的一系列分化中。这些差异主要体现在顶体的形成、染色质的浓缩、核形态的变化以及线粒体等胞器数量与行为的改变等几个方面。

3.1 顶体的形成

软体动物精子顶体的形成与高尔基体的活动密切相关,也与内质网的作用有一定联系^[1-2,9-10,20]。在瓣鳃类^[1-3,20]和腹足类^[9-10]的许多精子中都观察到高尔基体囊泡融合形成顶体的现象。其形成过程大同小异,大多是由高尔基体分泌的嗜锇液泡或囊泡(也称为前顶体颗粒)逐渐融合为前顶体囊,并迁移至核的前端,囊内物质由絮状到均质,密度不断增加;前顶体囊进一步发育为前顶体,最终,演变为不同动物特有的顶体形态。已有报道表明,由高尔基体分泌的前顶体颗粒早在精母细胞质中就已存在^[1-2,9-10,20]。在大珠母贝(*Pinctada maxima* Jameson)^[4]、太平洋牡蛎(*Crassostrea gigas*)^[5]等的精母细胞和早期精细胞质中,还观察到一些形态有别于高尔基体液泡的高电子密度的球形颗粒,它们可在精细胞变态早期集中融合成前顶体泡故将这些颗粒也视为前顶体颗粒。上述两类结构也见于九孔鲍的精原细胞、精母细胞和早期精细胞质中。据笔者观察,后一类致密颗粒在精细胞开始分化时,较集中分布于细胞的一侧,而当细胞内顶体初具雏形时,这些致密颗粒就难以见到,提示它们可能参与了顶体的形成。由此可见,顶体的成形虽然在精细胞变态为精子的过程中逐步显现,但顶体的前身物,早在精母细胞阶段就已生成。Frank和Ernst^[20]曾指出,这是一种细胞产物早熟的表现,它与内质网—高尔基体系统的功能状态有关,在中、后期精细胞中,内质网消失,高尔基体失去了物质来源,不可能再合成或分泌前顶体颗粒,因此,大量的前顶体颗粒在精母细胞中合成。笔者认同该观点。就九孔鲍而言,在前顶体颗粒出现的精原细胞和精母细胞时期,可明显观察到高尔基体和少量的内质网,说明这两种胞器与顶体物质的合成和分泌有关,而在精细胞期已缺乏内质网,高尔基体亦少见,合成作用受阻,故精细胞时期已不可能再形成新的顶体颗粒,顶体的形成依赖于原有前顶体颗粒的融合与整合。

3.2 核形态及核内染色质的变化

九孔鲍精细胞分化过程中,核的体积和形态都发生了较大的变化,经历了核内染色质逐渐浓缩、核体积逐渐缩小的过程。Walker^[21]认为,动物精子染色质浓缩的形态可分为3类:颗粒状、纤维状和片状。台湾东风螺(*Babylonia formosae*)^[9]、*Chorus giganteus*^[11]的精细胞染色质浓缩后为典型的片状,*Siphonaria*^[22]的染色质浓缩后为典型的纤维状,而

泥螺(*Bullacta exarata*)^[10]、中国圆田螺(*Cipangopaludina chinensis*)^[12]的染色质浓缩则经过颗粒化和纤维化而至均质。同属腹足类的九孔鲍的染色质变化则与此有较大的差别。九孔鲍在精细胞分化期间核内的染色质形态演变的顺序为:絮状小团块→细颗粒团块状→粗颗粒团块状→粗颗粒均质化→高电子密度的均质。这种浓缩方式可视为颗粒化方式,与一些双壳类^[1-3]的演变过程相似,表明染色质的浓缩既有种属的差异也有一定的演变规律。Maxwell^[23]研究分析,软体动物的精子根据受精方式的不同可分为2种类型。第1种是原生型精子,一般属于行体外受精的较低等的种类;第2种是修饰型(或称改进型)精子,属于行体内受精的较高等的种类。原生型精子核内染色质的浓缩大多是颗粒状,少数是纤维状。九孔鲍属原始腹足目,精卵结合于水中,与多数瓣鳃类同属体外受精的种类,这或许是其染色质浓缩方式更接近于瓣鳃类而有别于腹足类的原因之一。

在精细胞分化过程中,伴随着染色质的聚集浓缩,九孔鲍精细胞核的形态也发生相应的变化,核由椭圆形变为卵圆型,再逐渐延长,最后变成与细胞长轴一致的长圆柱状,这与青蛤(*Cyclina sinensis*)^[1]精细胞核的变化基本类似,但与其他软体动物核的演变则有较大的差异。如菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)^[2],其精细胞核由前期的椭圆形拉长成柱状最后成锥形,太平洋牡蛎^[5]的核形态由圆形或椭圆形变成马蹄形;台湾东风螺^[9]的核一般由椭圆形成为扁平形,再呈长形;中国圆田螺^[12]核由圆形到马蹄形、逐渐拉长,最后呈螺旋形。笔者认为,不同种类精细胞核形态变化的差异可能与其系统发育有密切关系,同时也与变态后精子的运动及受精方式有关。染色质的浓缩和核体积的缩小,使精子的体积大大变小,这既有利于保存遗传物质,也能增强精子的运动能力,从而保证受精作用的完成。

3.3 线粒体的变化

线粒体是精子能量的供应中心。随着精子的发生、精细胞的变态,其数量和体积也发生了一定的变化。总的来说,线粒体经历了数量由少到多、又到少,体积由小到大的变化过程,并在一定时期汇集于核后方并融合。本研究观察表明,在精原细胞时期,九孔鲍的线粒体数目较少,散布于胞质中,嵴稀少而短;到初级精母细胞时期,线粒体数量明显增多,嵴也加长增多;至次级精母细胞时,线粒体逐渐移向细

胞一端,并开始出现融合,体积由小到大,嵴较密集,基质密度也高;进入精细胞时期,线粒体聚集于核后进一步融合为有限的几个,体积明显增大,嵴更密集,至变态后期,线粒体呈饱满状,嵴相当发达。线粒体的变化说明了能量的积累过程和细胞各阶段生命活动的需要^[10,12]。精母细胞时期线粒体的增多与细胞的进一步分化有关。而在精细胞时期,线粒体体积及嵴的变化,显然可为变态后精子的运动储备能量,进而有利于精卵的结合^[1]。线粒体的这种变化规律也存在其他多种软体动物的精子发生过程中,如西施舌(*Coelomactra antiquata*)^[3]、大珠母贝^[4]、台湾东风螺^[9]、泥螺^[10]、中国圆田螺^[12]等。

致谢:集美大学水产学院 2001 级李剑峰同学参加本研究部分工作,特此致谢。

参考文献:

- [1] 曾志南,李复雪. 青蛤精细胞分化的超微结构[J]. 海洋学报, 1991, 13(4): 547-551.
- [2] 代培芳,饶小珍,陈寅山. 菲律宾蛤仔的精子发生和精子超微结构[J]. 动物学杂志, 2004, 39(2): 26-32.
- [3] 饶小珍,陈寅山,陈文列,等. 西施舌精子发生过程的超微结构观察[J]. 水产学报, 2002, 26(2): 97-103.
- [4] 杜晓东. 大珠母贝精子发生超微结构变化的研究[J]. 武汉大学学报(自然科学版), 1996, 42(2): 219-224.
- [5] 任素莲,王德秀,绳秀珍,等. 太平洋牡蛎精子形成的研究[J]. 青岛海洋大学学报, 2001, 31(4): 501-505.
- [6] Dorange G, Lepennec M. Ultrastructural characteristics of spermatogenesis in *Pecten maximus* (Mollusca, Bivalvia) [J]. Invert Reprod Devel, 1989, 15: 109-117.
- [7] 沈亦平,张锡元. 合浦珠母贝精子发生过程的超微结构观察[J]. 武汉大学学报(自然科学版), 1993, (6): 123-129.
- [8] Thielley M, Weppe M, Herbaut C. Ultrastructural study of gemetogenesis in the French polynesian black pearl oyster *Pinctada margaritifera* (Mollusca, bivalvia) [J]. J Shellfish Res, 1993, 12(1): 41-47.
- [9] 柯才焕,李复雪. 台湾东风螺精子发生和精子形态的超微结构研究[J]. 动物学报, 1992, 38(3): 233-238.
- [10] 应雪萍,姜乃澄,杨万喜. 泥螺精子发生的超微结构研究[J]. 动物学研究, 2002, 23(5): 400-404.
- [11] Jaramillo R. Ultrastructural analysis of spermatogenesis and sperm morphology in *Chorus giganteus* (Prosobranchia: Muricidae) [J]. Veliger, 1986, 29(2): 217-225.
- [12] 严云志,谈奇坤,陈士超,等. 中国圆田螺典型精子及其发生的超微结构研究[J]. 水生生物学报, 2004, 28(1): 45-51.
- [13] Eckelbarger K J, Eyster L S. An ultrastructural study of spermatogenesis in the nudibranch mollusc, *Spirilla neapolitana* [J]. J Morphol, 1981, 170: 283-299.
- [14] 包振民,胡景杰,姜明,等. 皱纹盘鲍精子的超微结构[J]. 青岛海洋大学学报, 1998, 28(2): 283-287.
- [15] 崔龙波,周雪莹,陆瑶华. 皱纹盘鲍精巢及精子结构的研究[J]. 烟台大学学报(自然科学与工程版), 2000, 13(2): 103-107.
- [16] 柯才焕,周时强,田越,等. 三种鲍精子超微结构的比较[J]. 海洋学报, 2003, 25(3): 138-142.
- [17] 宋振荣,纪荣兴,颜素芬,等. 引起九孔鲍大量死亡的一种球状病毒[J]. 水产学报, 2000, 24(5): 461-466.
- [18] 吴萍茹,严正凛. 东山岛九孔鲍养殖若干实用技术[J]. 海洋科学, 1999, 23(4): 12-13.
- [19] 严正凛. 九孔鲍的人工苗种生产技术[J]. 海洋科学, 2001, 25(5): 8-10.
- [20] Frank J L, Ernst J D. The fine structure of spermatid differentiation in mussel, *Mytilus edulis* [J]. J Ultrastruct Res, 1967, 20: 462-480.
- [21] Walker M H. Comparative spermatology [M]. New York: Academic Press, 1970. 383-392.
- [22] Hodgson A N, Berard R T F, Slindley D. Comparative spermatology of four sympatric species of *Siphonaria* [J]. J Moll Stud, 1991, 57: 309-322.
- [23] Maxwell W L. Spermatogenesis and sperm function (Mollusca) [A]. Adiyodi K G, Adiyodi R G. Reproductive biology of invertebrates Vol. II [M]. New York: John Wiley and Sons, 1983. 275-319.

Ultrastructure of spermatogenesis of *Haliotis diversicolor aquatilis*

YAN Su-fen, JIANG Yong-hua, YAN Zheng-lin, CHEN Chang-sheng

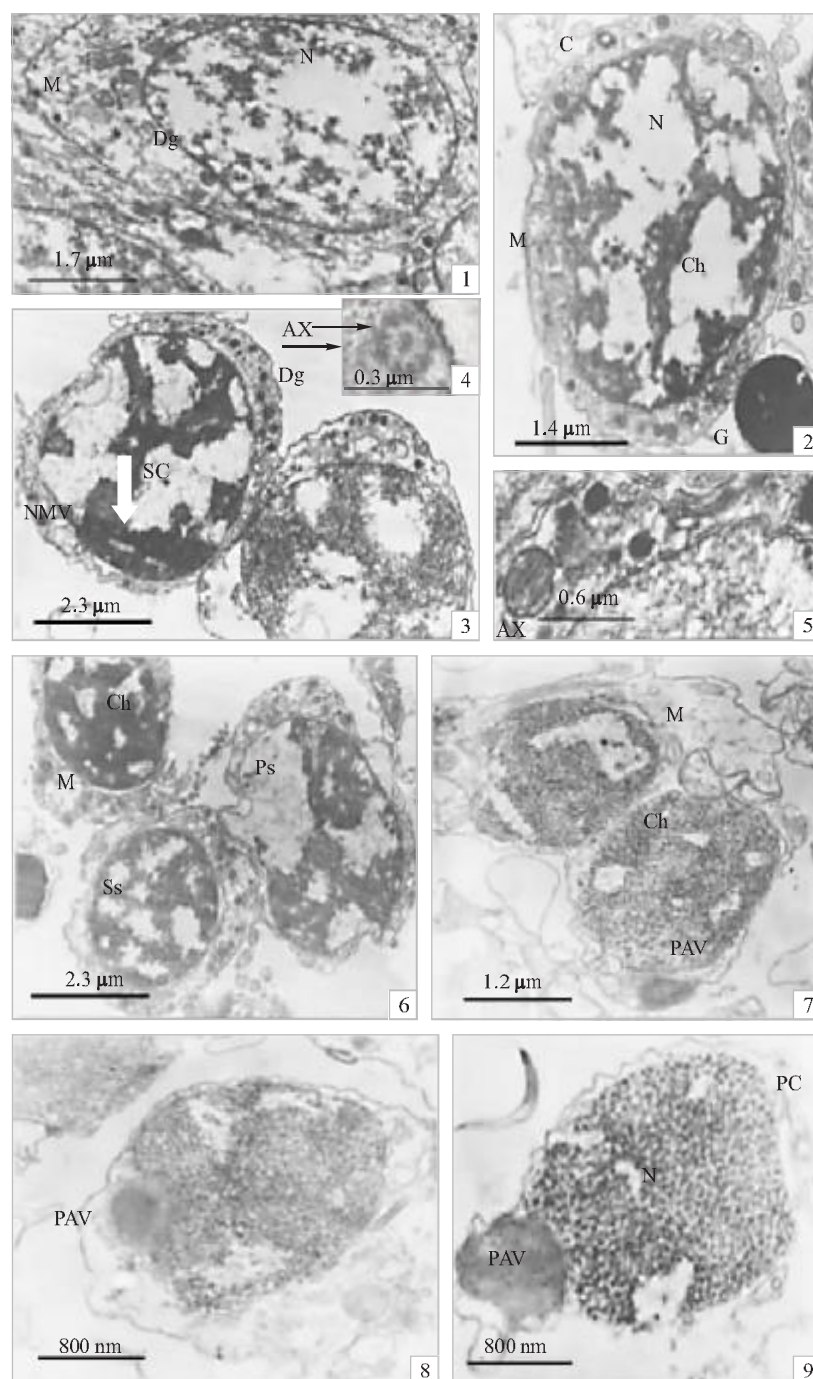
(Fisheries College & Institute of Aquaculture Biotechnology, Jimei University, Xiamen 361021, China)

Abstract: The ultrastructure of spermatid of *Haliotis diversicolor aquatilis* at different stages was investigated by transmission electron microscopy. The results show that the spermatogenesis of *H. diversicolor aquatilis* includes following five stages: spermatogonium, primary spermatocyte, secondary spermatocyte, spermatid and spermatozoon. Spermatogonium was ellipsoidal in shape and the cytoplasm had few mitochondria, few endoplasmic reticulum vesicles and electron dense granules. Nuclear membrane was clear and chromatin was little. Primary spermatocyte and its nucleus still presented ellipsoidal shape or spherical shape; the cytoplasm became dense and mitochondria became more and larger, and Golgi body developed very well and electron dense granules became more. The clearance between nuclear membrane was larger and number of chromatin increased. At the stage of secondary spermatocyte, cell and nucleus approximately took on spherical shapes. The electron dense granule began to gather at the posterior of cell; the standard "9 + 2" microtubular structure could be observed in the cytoplasm; part of nuclear membrane obviously expanded to form nuclear membrane vesicle, and chromatin condensed to dense lump. The spermatid was the most complexly changing stage during the whole process of spermatogenesis, whose characteristics as follows: acrosome was formed from proacrosomal vesicle fused with vesicles secreted by Golgi body and some electron dense granule in cytoplasm, and the form of their nucleus changed from ellipsoidal to spherical, and then gradually elongated and finally became long cylindrical. Chromatin condensed in granular pattern, and then turned to homogeneous and even higher electron-density till the formation of spermatozoon nucleus. Mitochondria gradually fused and increased in size and ridge developed, centriole shifting and flagellar formation, cytoplasmic sloughing. Mature spermatozoon can be classified into primitive type, composed of three regions: head, middle piece and tail. During the spermatogenesis, the morphological changes of cells are also discussed and compared with spermatogenesis of other mollusks. [Journal of Fishery Sciences of China, 2006, 13(6): 878 – 884]

Key words: *Haliotis diversicolor aquatilis*; spermatogenesis; ultrastructure

颜素芬等: 九孔鲍精子发生的超微结构

YAN Su-fen et al: Ultrastructure of spermatogenesis of *Halotis diversicolor aquatilis*



图版 I

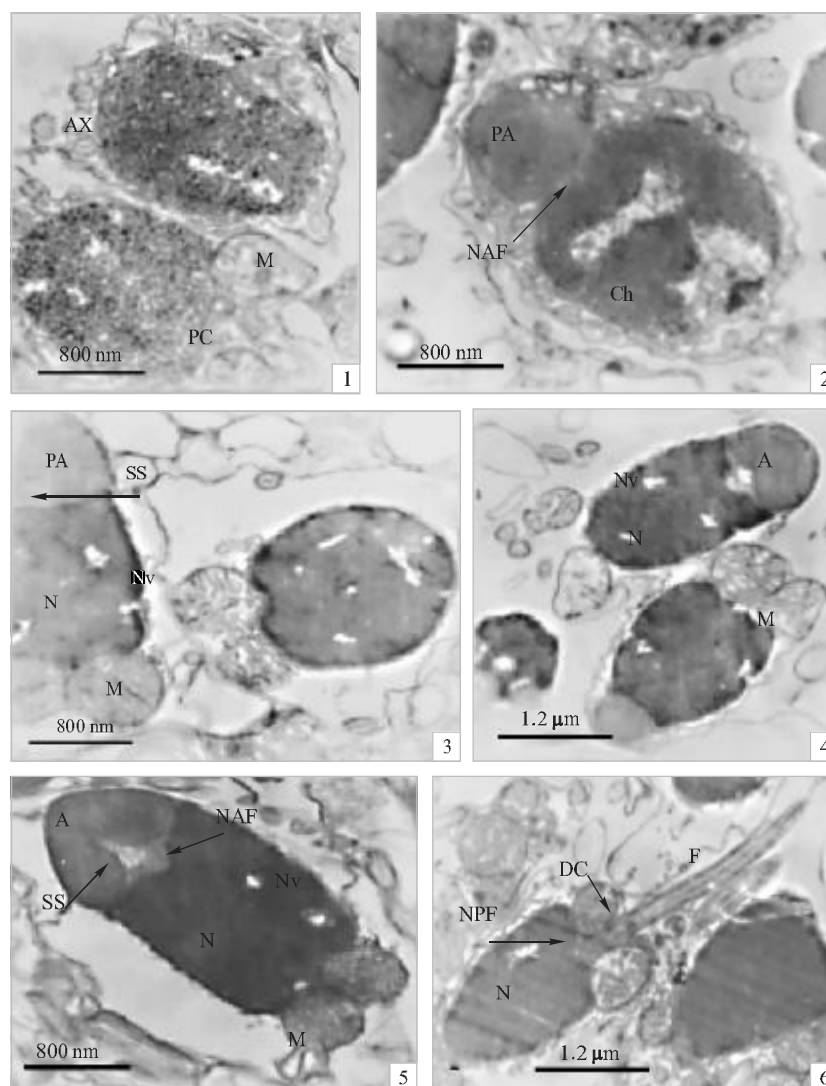
1: 精原细胞, 示胞核、线粒体及致密颗粒; 2: 初级精母细胞, 示胞核、染色质、中心粒和线粒体; 3: 初级精母细胞, 示致密颗粒、核膜泡和联会复合体; 4: 示放大的轴丝; 5: 初级精母细胞, 示高尔基体; 6: 次级精母细胞, 示染色质和线粒体; 7: 精细胞 I 期, 示前顶体囊、线粒体和染色质; 8: 精细胞 II 期, 示位于核前的前顶体囊; 9: 精细胞 II 期, 示位于核后的近端中心粒(各符号说明与图版 II 同)。

Plate I

1: Spermatogonium, showing the nucleus, mitochondria and dense granule; 2: Primary spermatocyte, showing the nucleus, chromatin, centriole and mitochondria; 3: Primary spermatocyte, showing dense granule, nuclear membrane vesicle and synaptonemal complex; 4: Showing enlarged axoneme; 5: Primary spermatocyte, showing Golgi body; 6: Secondary spermatocyte, showing the chromatin and mitochondria; 7: Spermatid I, showing preacrosomal vesicle, mitochondria and chromatin; 8: Spermatid II, showing preacrosomal vesicle at anterior of nucleus; 9: Spermatid II, showing the proximal centriole at posterior of nucleus (The legends are the same as those of Plate II).

颜素芬等: 九孔鲍精子发生的超微结构

YAN Su-fen et al: Ultrastructure of spermatogenesis of *Haliotis diversicolor aquatilis*



图版 II

1: 精细胞 II 期, 示轴丝和位于核后的线粒体; 2: 精细胞 III 期, 示前顶体和细胞质柄(↑); 3: 精细胞 IV 期, 示亚顶体腔、圆柱状胞核、核泡和中段线粒体; 4: 精细胞 V 期, 示顶体和延长的胞核; 5: 精子纵切, 示头部和中段结构; 6: 精子纵切, 示胞核、中段和尾部鞭毛

A: 顶体; AX: 轴丝; C: 中心粒; Ch: 染色质; DC: 远端中心粒; Dg: 致密颗粒; F: 鞭毛; G: 高尔基体; M: 线粒体; N: 细胞核; NAF: 核前窝; NMV: 核膜泡; NPF: 核后窝; Nv: 核泡; PA: 前顶体; PAV: 前顶体囊; PC: 近端中心粒; Ps: 初级精母细胞; SC: 联会复合体; Ss: 次级精母细胞; SS: 亚顶体腔

Plate II

1: Spermatid II, showing axoneme and mitochondria at posterior of nucleus; 2: Spermatid III, showing proacrosome and cytoplasmic handle(↑); 3: Spermatid IV, showing subacrosomal space, cylindrical nucleus, nuclear vesicle and mitochondria of middle piece; 4: Spermatid V, showing the acrosome and cylindric nucleus; 5: The longitudinal section of sperm, showing structure of sheath and middle piece; 6: The longitudinal section of sperm, showing nucleus middle piece and flagellum of tail
A: Acrosome; AX: Axoneme; C: Centriole; Ch: Chromatin; DC: Distal centriole; Dg: Dense granule; F: Flagellum; G: Golgi body; M: Mitochondria; N: Nucleus; NAF: Nuclear anterior fossa; NMV: Nuclear membrane vesicle; NPF: Nuclear posterior fossa; Nv: Nuclear vesicle; PA: Proacrosome; PAV: Proacrosomal vesicle; PC: Proximal centriole; Ps: Primary spermatocyte; SC: synatonemal complex; Ss: Secondary spermatocyte; SS: Subacrosomal space