

# 虾夷扇贝精子的超微结构

韩厚伟 高悦勉\* 刘春风 孙静娴

(大连水产学院生命科学与技术学院 大连 116023)

**摘要:** 用扫描和透射电镜研究了虾夷扇贝 (*Patinopecten yessoensis*) 精子的超微结构。虾夷扇贝精子为典型的原生型, 全长 50  $\mu\text{m}$  左右, 头部长约 3  $\mu\text{m}$ 。精子主要由头部、中段和尾部三部分组成。头部顶体突出, 呈倒“V”形; 顶体下方为精核, 电子密度较高且占头部大部分, 具有核前窝 (anterior nuclear fossa)、核后窝 (posterior nuclear fossa) 和植入窝 (implantation fossa); 4~ 5 个近圆形的线粒体围绕着中心粒复合体形成精子的中段。尾部细长, 尾部鞭毛横切面为典型的“9+ 2”结构。

**关键词:** 虾夷扇贝; 精子; 超微结构

中图分类号: Q954 文献标识码: A 文章编号: 0250 3263(2008)01- 75 07

## Ultrastructure of the Spermatozoon in *Patinopecten yessoensis*

HAN Hour Wei GAO Yue Mian\* LIU Churr Feng SUN Jing Xian

(School of Life Science and Technology, Dalian Fisheries University, Dalian 116023, China)

**Abstract:** The ultrastructure of the spermatozoon was examined with electron microscopy in *Patinopecten yessoensis*. The spermatozoon is typically primitive, with its body length and head length about 50  $\mu\text{m}$  and 3  $\mu\text{m}$ , respectively. The mature spermatozoon consists of head, mid piece and tail. The acrosome is in upside down V-shape. The nucleus, which consists of major part of the head, is egg shaped with high density. It contains anterior nuclear fossa, posterior nuclear fossa and implantation fossa; the centriolar complex which is surrounded by 4- 5 oval shaped mitochondria, forms the mid piece. The flagellum is a typical “9+ 2” microtubular structure.

**Key words:** *Patinopecten yessoensis*; Spermatozoon; Ultrastructure

精子形态结构与精子的运动方式与受精过程有着密切关系, 其超微结构的研究在揭示生物发生的内在机制上必不可少, 也是受精生物学研究的一个重要内容。此外, 精子结构是衡量物种间亲缘关系的一个重要指标, 是进化生物学研究的重要手段之一。

随着贝类增殖养殖业的发展, 双壳类中一些经济种类的繁殖生物学研究倍受重视, 对其精子的超微结构研究也越来越多。迄今为止, 国内外已有许多学者进行过相关研究。合浦珠母贝 (*Pinctada martensa*)<sup>[1]</sup>、栉孔扇贝 (*Chlamys farreri*)<sup>[2]</sup>、三角帆蚌 (*Hyriopsis cumingii*)<sup>[3]</sup>、泥蚶 (*Tegillarca granosa*)<sup>[4,5]</sup>、翡翠贻贝 (*Perna viridis*)<sup>[6]</sup>、墨西哥湾扇贝 (*Argopecten irradians*

*concentricus*)<sup>[7]</sup> 等双壳贝类的精子超微结构已有报道。虾夷扇贝 (*Patinopecten yessoensis*) 是扇贝家族中的优良增殖殖种之一, 其个体大、肉味鲜美、营养丰富。该种原产于日本北部及俄罗斯远东地区沿海水域, 是冷水性双壳贝类, 我国于 20 世纪 80 年代初从日本引种虾夷扇贝。20 多年中, 其增殖殖规模不断扩大, 现已成为我国北方海域海水贝类的主要增殖殖种类之一。国内

基金项目 农业部虾夷扇贝< 种质> 标准项目 (No. 2000221);

\* 通讯作者, E-mail: gaoyuemian@dlfu.edu.cn;

第一作者介绍 韩厚伟, 男, 硕士研究生; 研究方向: 水产动物繁育生物学; E-mail: hanhouwei@163.com.

收稿日期: 2007-04-24, 修回日期: 2007-11-23

有关学者曾在研究虾夷扇贝人工诱导雌核发育时提到过其精子的超微结构,但未做详细报道<sup>[8]</sup>。本研究用扫描电镜(SEM)和透射电镜(TEM)分别对虾夷扇贝精子的超微结构进行了观察和研究,旨在为其繁殖生物学提供一定的基础资料。

## 1 材料与方法

**1.1 实验材料** 实验用虾夷扇贝于2006年4月30日取自辽宁大连獐子岛海域,为活体成熟雄贝。将其解剖后取精巢、精子,2.5%的戊二醛固定,4℃保存。

### 1.2 实验方法

**1.2.1 扫描电镜(SEM)样品制备与观察** 扫描电镜观察的样品用2.5%的戊二醛在4℃固定保存后,梯度乙醇脱水,叔丁醇置换,临界点干燥法干燥,JFC-1100型离子溅射仪喷金,JEM-1200EX透射电镜扫描附件观察并拍照。

**1.2.2 透射电镜(TEM)样品制备与观察** 透射电镜观察样品采用同上方法固定后,再用1%锇酸后固定,然后经乙醇系列浓度脱水后,Epon 812环氧树脂包埋,奥地利产E型超薄切片机制片,醋酸双氧铀和柠檬酸铅双染色,JEM-1200EX透射电镜观察并拍照。

## 2 结果

**2.1 扫描电镜的观察** 结果表明,虾夷扇贝精子为典型的原始鞭毛型(图版I:1),由头部、中段和尾部三部分组成(图版I:2,3)。精子全长50 μm左右,其中头部长约3 μm,平均直径约为1.3 μm。头部及尾部外表面基本平滑,头部前端突出,后端略显宽大,明显呈子弹头状。尾部的粗细无明显差别。

**2.2 透射电镜的观察** 透射电镜显示虾夷扇贝精子结构可分为头部、中段和尾部三部分。

**2.2.1 头部** 在TEM下,虾夷扇贝精子头部呈子弹头状,主要由圆锥形顶体和长柱形细胞核组成(图版I:4~7)。顶体位于精子的最前端,呈倒立“V”字形,其长轴仅为细胞核纵向长度的1/6左右。顶体外包一层膜,按位置不同

可分为顶体外膜和顶体内膜。顶体内外膜所包裹的腔即为顶体腔。顶体外膜以薄层胞质与质膜相隔,内膜毗邻亚顶体腔。亚顶体腔为顶体内面中轴处的一近圆柱形结构,位于核与顶体之间,前端突起处为一柱状空腔,亚顶体腔内无明显结构分化(图版I:6~8)。精核占头部体积的大部分,直径由亚顶体腔向中段方向逐渐变大,在近中段处又稍微变小。最短直径约为0.5 μm,最大直径约为1 μm。细胞核前部与亚顶体腔相接处内凹,呈马蹄形,为核前窝(anterior nuclear fossa),内含物的电子密度较高;核后端中央内陷形成核后窝(posterior nuclear fossa),由近端中心粒形成的基体位于其中;细胞核与线粒体相邻处由于球状线粒体的嵌入也向内凹陷,形成植入窝(implantation fossa)。核边缘有缺刻,核内有核泡(图版I:4~9)。

**2.2.2 中段** 中段较短,位于细胞核与尾部之间,长度约为0.5 μm,中段与细胞核相接处由核膜和线粒体膜形成一明显的界限,线粒体和中心粒复合体是其主要结构(图版I:5)。精子运动的能量来源于线粒体。虾夷扇贝精子中段横切面一般可看到4~5个大小不等的近卵圆形的线粒体,多为4个,且围绕在中心粒周围,纵切面一般观察到2~3个。线粒体横切面长轴直径约为1 μm,短轴直径约为0.8 μm。线粒体有内外两层膜组成,内膜向腔内折迭成极明显的线粒体嵴(图版I:5,10)。中心粒复合体结构包括近端和远端两个中心粒,且二者互相垂直。近端中心粒位于核后窝内,其长轴与精子长轴走向垂直。在精子中段纵切面上,可清楚观察到近端中心粒的横截面是由9组三联微管排列而成的圆形结构,直径约为0.2 μm。远端中心粒即基粒紧接于其下端,长轴与精子长轴走向一致。长度约为0.3 μm,纵切面上仅看到与精子边缘平行的微管壁。远端中心粒向精子末端伸出轴丝,形成了精子的主要运动器官(图版I:4,5,10)。

**2.2.3 尾部** 虾夷扇贝精子的尾部为鞭毛形,由轴丝和质膜组成,横切面呈卵圆形,直径约为0.15 μm。质膜在外,包围着轴丝,轴丝为典型

的“9+2”结构。它由远端中心粒末端发出的位于中央的两条纤维状轴丝及其周围的9条纤维组成(图版 I: 11, 12)。

**2.2.4 精巢中的精子** 精巢中的精子头部形态与结构与以上描述一致, 排列比较杂乱。从尾部横切来看, 尾部结构也与上述一致, 但排列相对较整齐(图版 I: 3, 13)。

### 3 讨论

**3.1 精子的形态结构比较** 软体动物的精子根据受精方式不同分为原生型和修饰型精子两大类。由于双壳贝类大多行体外受精, 故其精子以原生型居多。多数动物的鞭毛型精子分为头部、颈部和尾部三部分, 近、远程中心粒之间的部分为颈部, 线粒体所在的部位为中段<sup>[9, 10]</sup>。从相关研究来看, 根据双壳贝类精子的特点, 多数学者将顶体与细胞核所在的部位称为头部, 而线粒体和中心粒复合体所在的部位为中段, 因此, 大多数双壳贝类的精子没有颈部, 只有中段。虾夷扇贝的精子也属于这种原生型精子, 即由头部、中段和尾部组成, 潘英等将其称为头部、中段和末段三部分<sup>[8]</sup>。这种结构在栉孔扇贝<sup>[2]</sup>、泥蚶<sup>[4]</sup>、翡翠贻贝<sup>[6]</sup>、墨西哥海湾扇贝<sup>[7]</sup>等双壳贝类中均有体现。

透射电镜观察结构时, 可发现虾夷扇贝的精核和轴丝外都有一层质膜包围, 呈波纹状, 这种形态在栉孔扇贝<sup>[2]</sup>和青蛤 (*Cyclina sineusis*)<sup>[11]</sup>等多种贝类精子中都有体现。但是虾夷扇贝存在的这种波动膜不能排除实验条件、精子本身成熟情况对质膜形状的影响。

双壳贝类精子的形态各不相同, 主要取决于精子头部精核和顶体部分的形状以及亚顶体腔的结构, 双壳类精子顶体的形态大多呈倒“V”形或锥形。栉孔扇贝精子为锥形<sup>[2]</sup>; 牡蛎 (*Crassostrea virginica*) 精子的亚顶体腔宽大, 几乎达到了精核的底端<sup>[12]</sup>; 墨西哥湾扇贝的精子顶体呈倒“V”字形<sup>[6]</sup>; 青蛤精子顶体呈帽状<sup>[11]</sup>; 中国淡水蛭 (*Navaculina chinensis*) 精子的顶体呈“⊥”形<sup>[3]</sup>; 翡翠贻贝精子的顶体呈倒漏斗型, 极明显地向前突出, 长度约为核的2倍<sup>[9]</sup>, 这在

已报道的双壳类精子中极为罕见; 三角帆蚌精子的前端只有一个退化的小顶体<sup>[3]</sup>, 因为淡水蚌类的受精发生在雌蚌的外鳃腔中, 卵具有受精孔, 精子可能不必进行复杂的顶体反应便能入卵<sup>[14]</sup>。虾夷扇贝精子呈子弹头状, 顶体向前明显突出, 呈倒“V”形。虾夷扇贝的这种顶体结构有助于精子在水中入卵, 顺利完成受精过程。

许多种类精子的亚顶体腔内出现一些复杂的结构。大珠母贝 (*Pinctada maxima*) 精子的顶体下腔中有浓缩的板层小体; 亚顶体物质呈伞状分布, 一直延伸至核的末端<sup>[5]</sup>, 这与贻贝的结构相似。Longo 等<sup>[16]</sup>指出贻贝精子顶体囊形成的同时, 有轴棒 (axialrod) 的形成, 任素莲等在研究太平洋牡蛎 (*Crassostrea gigas*) 精子发生时也观察到轴棒的形成<sup>[17]</sup>。据研究, 这些物质实际是没有聚合的球状肌动蛋白 (gactin), 其作用是在顶体反应中形成顶体突, 协助精子进入卵内。但在虾夷扇贝精子亚顶体腔内未发现类似的纤维束状物质存在, 即没有轴体或轴棒的存在, 并且亚顶体腔内没有任何分化结构。这与 Galtsoff 等<sup>[10]</sup>较早于牡蛎精子顶体腔内、Longo 等<sup>[16]</sup>对贻贝精子顶体的观察结果不同, 但与对合浦珠母贝<sup>[1]</sup>、栉孔扇贝<sup>[2]</sup>和泥蚶<sup>[4]</sup>精子的亚顶体腔观察结果相同。

此外, 不同种类精子长度也有一定差别。栉孔扇贝精子长为 60~70  $\mu\text{m}$ <sup>[2]</sup>; 三角帆蚌精子长约 40  $\mu\text{m}$ <sup>[3]</sup>; 泥蚶精子长为 52~58  $\mu\text{m}$ <sup>[4]</sup>; 翡翠贻贝精子长约 45  $\mu\text{m}$ <sup>[6]</sup>; 墨西哥湾扇贝精子长为 43~45  $\mu\text{m}$ <sup>[7]</sup>。虾夷扇贝精子的长度约为 50  $\mu\text{m}$ , 这与潘英等的观察结果基本一致<sup>[8]</sup>。与以上几种双壳贝类的精子比较, 虾夷扇贝的精子长度属于中等范围。

不同种类精子核的前后端结构也有一定差异。青蛤精子核前窝不明显, 核后窝十分明显<sup>[11]</sup>; 大珠母贝精子的细胞核呈圆筒状, 核前窝与核后窝明显<sup>[5]</sup>。Popham<sup>[18]</sup>认为核前窝的出现可能与顶体轴棒的出现有关; 核后窝的发生与远程中心粒卫星体的出现有关。有些种类的精核还有植入窝, 线粒体就半嵌在其中。翡

翠贻贝精核呈卵圆形,在与亚顶体腔相对处内陷至核后窝,几乎将核分成相近的两部分,形成管状的核前窝<sup>[6]</sup>。这一点在其他种属中是比较少见的。泥蚶精子核没有核前窝<sup>[5]</sup>,这与墨西哥湾扇贝相似,袁秀堂等在墨西哥湾扇贝精子中只观察到中心体窝(centriole fossa)和植入窝(implantation fossa)的存在<sup>[7]</sup>。而本研究中虾夷扇贝精子的核前窝、核后窝和植入窝都可以观察到。

从本研究来看,虾夷扇贝精核中有泡状结构,但没观察到这种结构中有其他物质出现。相比较而言,在多种双壳类动物如青蛤<sup>[11]</sup>、栉孔扇贝<sup>[2]</sup>、泥蚶<sup>[4]</sup>的精子细胞核中都报道过这种泡状结构的存在,且其内都充满了电子密度疏松的染色质,这点与虾夷扇贝不同。对于这种结构,有些学者将其称为核泡,任素莲<sup>[2]</sup>等对栉孔扇贝精子的这一结构是人为因素还是正常结构尚未作定论;孙慧玲等<sup>[4]</sup>认为成熟泥蚶精子细胞核中的泡状结构属自然结构,其功能有待进一步研究;袁秀堂等<sup>[7]</sup>在墨西哥湾扇贝的成熟精子的切面上也发现了核泡,并认为核泡是墨西哥湾扇贝成熟精子细胞核中的正常结构,在精子发生过程中,由染色质进一步卷曲、凝聚、浓缩而形成,是精子细胞核染色质保持其高级结构所必需的。可见,到目前为止众多学者还未对这一结构的形成原因和功能形成一致的看法,需要进一步研究。

**3.2 线粒体数量和形态** 在双壳贝类精子中,线粒体数量和结构比较稳定,不同贝类线粒体的数量差异不大<sup>[9]</sup>。有鞭毛精子依靠尾部的运动与卵子接触,运动的能量主要来自中段的线粒体,因此,线粒体的数量是衡量精子运动能力的重要指标。一般来说,同一种类精子线粒体数目相对稳定,但多数双壳贝类线粒体数量不完全相等。从本研究的结果来看,虾夷扇贝精子的线粒体,数量多为4个,偶见5个,这与任素莲等<sup>[2]</sup>对栉孔扇贝、柯桂颖等<sup>[6]</sup>对翡翠贻贝精子的线粒体观察结果相同。其他种类中,三角帆蚌中有5个线粒体<sup>[3]</sup>;墨西哥湾扇贝中有4个<sup>[7]</sup>;缢蛏精子线粒体数为4~5个,偶见6

个<sup>[20]</sup>。可见双壳贝类的线粒体数量变化并不大,有些数量发生变化可能与种内个体生理状况相关,在种与种之间中段线粒体的数量具有种的特异性,同时也反映了该物种在生殖进化中的地位。从缢蛏、青蛤以及合浦珠母贝等的精子发生,可以观察到在精子的发生发育过程中普遍存在着线粒体的体积由小渐大、数量由多渐少的发育过程,可见同种成熟精子内线粒体的数量不完全一致是很自然的。

**3.3 中心体相关结构** 双壳类软件动物精子的中段是由线粒体包绕的两个互相垂直的中心体组成,翡翠贻贝精子中段有中心粒卫星体(centriolesatelli body),这一结构是由存在于精子中段远程中心粒周围的9个辐射状电子致密物形成的质膜明显内陷<sup>[6]</sup>。虾夷扇贝精子中这种结构也非常明显。沈亦平等<sup>[1]</sup>在合浦珠母贝精子的远侧中心体周围也观察到了这种结构,并称其为中心体相关结构(centriole satellite complex)。Thielley<sup>[21]</sup>等称这一结构为卫星体(satellite body),这一结构位于核后窝处,作为近侧中心粒与核膜间的联系。这样的结构在栉孔扇贝等其他双壳贝类的精子中也有描述,孙慧玲<sup>[4]</sup>等在泥蚶精子中也发现有此结构,将其称为中心粒卫星体结构。从中心粒卫星体的形状及其所处位置来看,可能有助于加固鞭毛与精子头部的连接,利于精子的运动。

**3.4 鞭毛结构** 动物精子的细微结构和尾鞭运动的变化程度是检测海洋环境污染的指标之一。动物精子的轴丝由远程中心粒伸出,为典型的“9+2”结构,外包质膜形成鞭毛状尾部<sup>[8]</sup>。在虾夷扇贝精子鞭毛横切面可以清楚地观察到典型的“9+2”结构,同时也有2个“9+2”结构位于同一质膜的现象,只是后者所占比例极小。在栉孔扇贝、翡翠贻贝中也发现有几根轴丝位于同一质膜内的现象。这种多轴丝精子是属于正常还是因污染而成的畸形精子目前尚不清楚。

## 参 考 文 献

[1] 沈亦平,张锡元.合浦珠母贝精子发生过程的超微结构

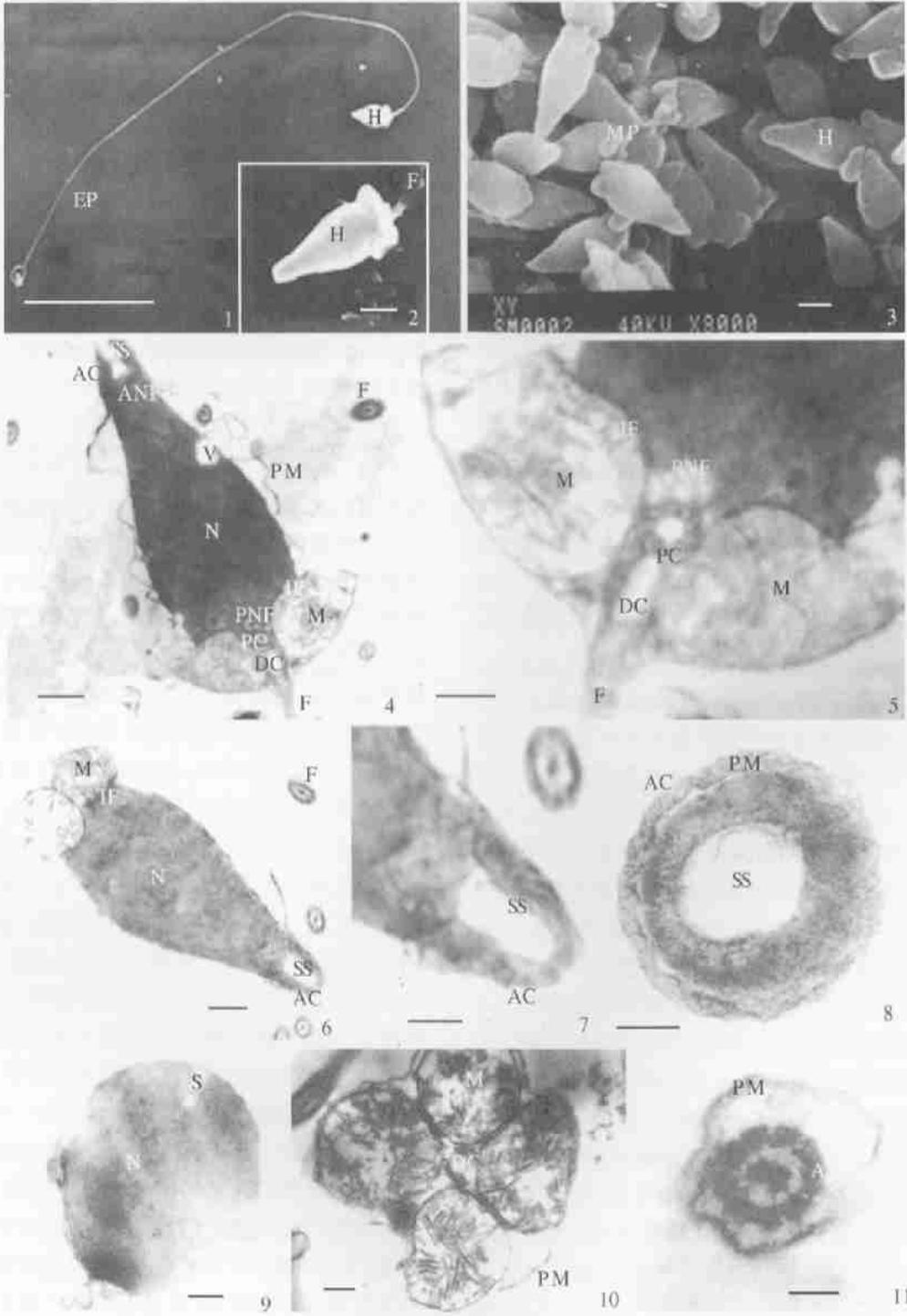
- 观察. 武汉大学学报(自然科学版), 1993, **39**(6): 123~129.
- [ 2 ] 任素莲, 王如才, 王德秀. 栉孔扇贝精子超微结构的研究. 青岛海洋大学学报, 1998, **28**(3): 387~392.
- [ 3 ] 郭延平, 谈奇坤, 陈士超. 三角帆蚌精子的形态及超微结构. 动物学杂志, 2002, **37**(2): 10~13.
- [ 4 ] 孙慧玲, 方建光, 王清印等. 泥蚶精子的超微结构. 水产学报, 2000, **24**(4): 297~302.
- [ 5 ] 竺俊全, 杨万喜, 石钢德. 泥蚶精子的超微结构. 浙江大学学报(理学版), 2002, **29**(3): 324~328.
- [ 6 ] 柯佳颖, 饶小珍, 陈寅山. 翡翠贻贝精子的超微结构. 动物学杂志, 2005, **40**(2): 66~70.
- [ 7 ] 袁秀堂, 周一兵, 杨大佐. 墨西哥湾扇贝精子的超微结构. 动物学杂志, 2003, **38**(4): 16~19.
- [ 8 ] 潘英, 李琪, 于瑞海等. 虾夷扇贝人工诱导雌核发育精子遗传失活及紫外线照射对精子形态结构影响的研究. 中国海洋大学学报, 2004, **34**(6): 949~954.
- [ 9 ] 上海水产学院主编. 组织胚胎学. 北京: 农业出版社, 1981, 23~32.
- [ 10 ] 丁汉波, 仝允栩, 黄浙. 发育生物学. 北京: 高等教育出版社, 1987, 47~147.
- [ 11 ] 曾志南, 李复雪. 青蛤精细胞分化的超微结构研究. 海洋学报, 1991, **13**(4): 547~551.
- [ 12 ] Galtsoff P S, Philpott D E. Ultrastructure of spermatozoon of the Oyster, *Crassostrea virginica*. *J Ultrastr Res*, 1960, **3**: 241~253.
- [ 13 ] 饶小珍, 陈寅山, 陈文列等. 中国淡水蛭精子发生的超微结构研究. 动物学杂志, 2000, **35**(5): 2~5.
- [ 14 ] 弭忠祥, 王大威, 王国夫等. 三角帆蚌精子超微结构的观察. 电子显微学报, 2002, **21**(5): 578~579.
- [ 15 ] 杜晓东. 大珠母贝精子发生超微结构变化的研究. 武汉大学学报(自然科学版), 1996, **42**(2): 219~224.
- [ 16 ] Longo F J, Danfeld E J. The fine structure of spermatid differentiation in the mussel, *Mytilus edulis*. *J Ultrastruc Res*, 1976, **20**: 462~480.
- [ 17 ] 任素莲, 王德秀, 绳秀珍等. 太平洋牡蛎精子形成的研究. 青岛海洋大学学报, 2001, **31**(4): 501~505.
- [ 18 ] Popham J D. Comparative spermatozoon morphology and bivalve phylogeny. *J Malacol Res*, 1979, **12**: 1~20.
- [ 19 ] Franzen A. Ultrastructural studies of spermatozoa in three Bivalvia species with notes on evolution of elongated sperm Nucleus in primitive spermatozoa. *Gamete Res*, 1983, **7**: 199~214.
- [ 20 ] 刘正琮, 上官步敏, 许振祖. 缢蛭精子发生超微结构的研究. 厦门大学学报(自然科学版), 1990, **29**(1): 81~84.
- [ 21 ] Thielley M, Weppe M, Herbaut C. Ultrastructural study of gametogenesis in the French Polynesian black pearl oyster *Pinctada margaritifera* (Mollusca, Bivalvia). *J Shellfish Res*, 1993, **12**(1): 41~47.

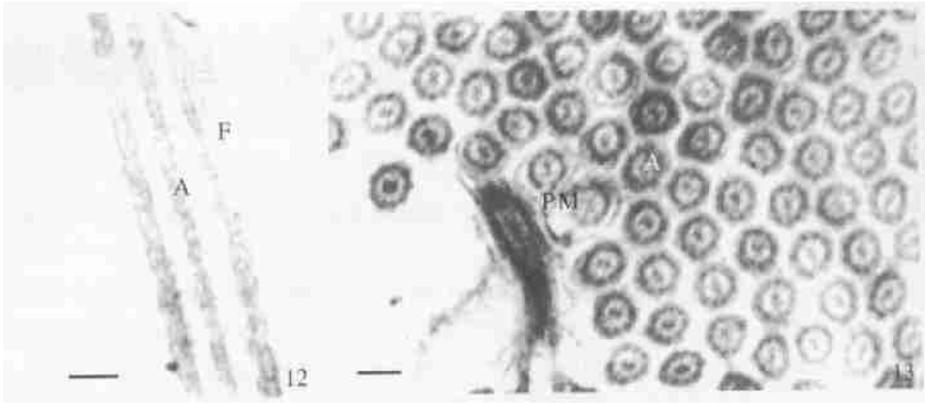
韩厚伟等: 虾夷扇贝成熟精子的超微结构

图版 I

HAN Hour Wei *et al.*: Ultrastructure of the Spermatozoon in *Patinopecten yessoensis*

Plate I





1. 头部和尾部, 标尺= 10  $\mu\text{m}$  ( $\times 2\ 500$ ); 2. 头部、中段和尾部, 标尺= 1  $\mu\text{m}$  ( $\times 12\ 000$ ); 3. 精巢中的精子头部和中段, 标尺= 1  $\mu\text{m}$  ( $\times 8\ 000$ ); 4. 头部和中段纵切以及尾部横切, 示顶体、核、核泡、线粒体和中心粒复合体以及尾部, 标尺= 500 nm ( $\times 12\ 000$ ); 5. 中段纵切, 示线粒体、中心粒复合体, 标尺= 250 nm ( $\times 12\ 000$ ); 6. 头部和中段纵切, 示顶体腔、亚顶体腔、核及线粒体, 标尺= 500 nm ( $\times 15\ 000$ ); 7. 顶体纵切, 示顶体腔、亚顶体腔, 标尺= 250 nm ( $\times 15\ 000$ ); 8. 顶体横切, 示质膜、顶体腔、顶体物质及亚顶体腔, 标尺= 100 nm ( $\times 75\ 000$ ); 9. 细胞核, 示核、缺刻, 标尺= 200 nm ( $\times 30\ 000$ ); 10. 颈部横切, 示线粒体和中心粒, 标尺= 200 nm ( $\times 25\ 000$ ); 11. 尾部横切, 示质膜及“9+2”结构, 标尺= 100 nm ( $\times 75\ 000$ ); 12. 尾部纵切, 标尺= 100 nm ( $\times 60\ 000$ ); 13. 精巢中精子尾部横切, 标尺= 200 nm ( $\times 25\ 000$ )。

H: 精子头部; MP: 精子颈部; EP: 精子末段; A: 轴丝; F: 鞭毛; IF: 植入窝; ANF: 核前窝; PNF: 核后窝; PM: 质膜; V: 核泡; N: 核; S: 缺刻; M: 线粒体; AC: 顶体; DC: 远程中心粒; PC: 近端中心粒; SS: 亚顶体腔。

1. Main body and flagellum of a mature spermatozoon, Bar= 10  $\mu\text{m}$  ( $\times 2\ 500$ ); 2. Main body, mid piece and flagellum of a mature spermatozoon, Bar= 1  $\mu\text{m}$  ( $\times 12\ 000$ ); 3. Main body and mid piece of a mature spermatozoon in the spermary, Bar= 1  $\mu\text{m}$  ( $\times 8\ 000$ ); 4. Longitudinal section at head, mid piece and cross section at flagellum, showing acrosome, nucleus, vesicle, mitochondria, centriole and the flagellum, Bar= 500 nm ( $\times 12\ 000$ ); 5. Longitudinal section at mid piece, showing mitochondria and centriole, Bar= 250 nm ( $\times 12\ 000$ ); 6. Longitudinal section at head and mid piece, showing acrosome space, subacrosome space, nucleus and mitochondria, Bar= 500 nm ( $\times 15\ 000$ ); 7. Longitudinal section at acrosome, showing acrosome space, subacrosome space, Bar= 250 nm ( $\times 15\ 000$ ); 8. Cross section at acrosome, showing plasma membrane, acrosome space, acrosome matter and subacrosome space, Bar= 100 nm ( $\times 75\ 000$ ); 9. Nucleus, showing nucleus and sinking, Bar= 200 nm ( $\times 30\ 000$ ); 10. Cross section of sperm at mid piece, showing mitochondria and centriole, Bar= 200 nm ( $\times 25\ 000$ ); 11. Cross section at tail, showing plasma membrane and the “9+2” structure, Bar= 100 nm ( $\times 75\ 000$ ); 12. Longitudinal section of flagellum at tail, Bar= 100 nm ( $\times 60\ 000$ ); 13. Cross section at tail of the mature spermatozoon in the spermary, Bar= 200 nm ( $\times 25\ 000$ ).

H: Head of the sperm; MP: Mid piece; EP: End piece; A: Axosome; F: Flagellum; IF: Implantation fossa; ANF: Anterior nuclear fossa; PNF: Posterior nuclear fossa; PM: Plasma membrane; V: Vesicle; N: Nucleus; S: Sinking; M: Mitochondria; AC: Acrosome; DC: Distal centriole; PC: Proximal centriole; SS: Subacrosome space.