

文章编号:1000 - 0615(2006)02 - 0161 - 09

## 嘉庚蛸精子发生的超微结构

竺俊全<sup>1,2</sup>, 杨万喜<sup>3</sup>, 尤仲杰<sup>1</sup>, 王 武<sup>2</sup>, 焦海峰<sup>1</sup>

(1. 宁波大学生命科学与生物工程学院, 浙江 宁波 315211;

2. 上海水产大学生命科学与技术学院, 上海 200090;

3. 浙江大学生命科学学院, 浙江 杭州 310058)

**摘要:**应用透射电镜技术研究嘉庚蛸精子发生过程中各阶段细胞的形态、细胞器及细胞核的动态结构变化。精原细胞呈椭圆形, 细胞质少、核大, 有线粒体、高尔基体等细胞器; 初级精母细胞呈圆形或卵圆形, 线粒体多, 索条状内质网发达, 高尔基体常集中分布, 中心粒形成; 次级精母细胞呈圆形、椭圆形或不规则形, 线粒体嵴发达、基质丰富, 高尔基囊泡积累电子致密物, 中心粒发出的“9+2”轴丝结构形成。精细胞分化过程分为 6 个时期, 主要特点为: 核内染色质凝集经颗粒化、纤维化及片层化, 最后, 形成高电子密度的均质结构; 与此相应, 核形态由椭圆形、变成长椭圆形、再变成细长柱状, 核后端最后向前凹入形成核内沟; 精子核的形态建成为染色质的凝集与核周微管加压协同作用的结果。高尔基囊泡积累电子致密物、融合发育成顶体囊, 逐渐延长演变成钻头形的顶体。线粒体向核后端迁移, 形成精子尾部的线粒体鞘。

**关键词:**嘉庚蛸; 精子发生; 超微结构

中图分类号: Q132.1; S917 文献标识码: A

## Ultrastructure of spermatogenesis of *Octopus tankahkei*

ZHU Jun-Quan<sup>1,2</sup>, YANG Wan-Xi<sup>3</sup>, YOU Zhong-Jie<sup>1</sup>, WANG Wu<sup>2</sup>, JIAO Hai-Feng<sup>1</sup>

(1. Faculty of Life Sciences and Biotechnology, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2. College of Aquaculture Science and Technology, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China;

3. College of Life Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

**Abstract:** The morphological features of spermatids at different stages, and the structural dynamic changes of organelle during spermatogenesis of *Octopus tankahkei* were investigated by transmission electron microscope. Spermatogonium is elliptic in shape with large nucleus. Less mitochondria and Golgi bodies in cytoplasm of spermatogonium. The primary spermatocyte is round or oval in shape, with more mitochondria in cytoplasm. The endoplasmic reticulum is more developed and is rope-like in shape, and the Golgi bodies accumulated and the centriole is also seen in the cytoplasm in the primary spermatocyte. The secondary spermatocyte is round, elliptic or irregular in morphology. The cristae in mitochondria in the secondary spermatocyte are well developed, and the matrix of mitochondria is rich; also the electron density materials were accumulated in Golgi vacuoles and the “9+2” arrangements of axoneme are extended from centriole at this stage. The spermiogenesis can be divided into 6 continuous steps based on the morphological changes of acrosome, nucleus and mitochondria. Three main events happen during spermiogenesis. (1) The chromatin in spermatid undergoes a process of granulation, fibrosis, and stratification, and finally is highly condensed with high electron density. At the same time, the morphology of nucleus changes gradually from ellipse, and long ellipse to slim column. Endonuclear channel was formed by the concave of the posterior nucleus. The coagulation of chromatin and the pressure posed by peri-nuclear microtubules help the

收稿日期: 2005-09-21

资助项目: 浙江省自然科学基金(1402039); 宁波市青年科学基金资助项目(02J20102-18)

作者简介: 竺俊全(1964-), 男, 浙江嵊州人, 副教授, 博士研究生, 主要从事海洋无脊椎动物生殖与发育生物学研究。Tel: 0574-87600891, E-mail: zjq999@mail.nbptt.zj.cn

通讯作者: 王 武, Tel: 021-65710522, E-mail: wwang@shfu.edu.cn

formation of the morphology of the nucleus. (2) Golgi vacuoles accumulate density materials, fuse into acrosomal vesicle, and finally, the pre-acrosome becomes an aiguille-like acrosome. The striations and spikes can be seen on acrosome. Endoplasmic reticulum also participates in acrosome biogenesis. (3) Mitochondria move posteriorly to the nucleus and form the chondriosomal mantle of the tail. The formation of the chondriosomal mantle is the biological adaption to internal fertilization of this species. Because of the long chondriosomal mantle, the sperm of *Octopus tankahkeei* supply more energy than the sperm of bivalves and Archaeogastropoda, the later undergo exterior fertilization. The features of six stages during spermiogenesis are summarized as follows: From stage I to stage II, the chromatin transforms from conglomeration to granulation, the later which distribute evenly in the nucleus, and also, the peri-nuclear microtubules appear, the posterior nuclear pocket invaginates deeply, the nucleus elongates, and the acrosomal vesicle heaves up; at the third stage, the chromatin is flocculent in shape. Endonuclear channels are formed; at the fourth stage, the chromatin is long fibroid in shape, acrosomal cone is formed; at the fifth stage, the chromatin become stratification, acrosomal vesicle is long cystiform in shape; at the sixth stage, the nucleus is long columned in shape, with condensed chromatin inside, acrosomal vesicle has developed to long cone acrosome and the chondriosomal mantle is formed at mid-piece of tail.

**Key words:** *Octopus tankahkeei*; spermatogenesis; ultrastructure

动物的精子发生是生殖生物学重要研究内容之一。国内对软体动物精子及其发生的超微结构研究主要集中在双壳类及腹足类<sup>[1-10]</sup>,而对头足类的研究仅见国外文献<sup>[11-15]</sup>,国内尚未见报道。嘉庚蛸 (*Octopus tankahkeei*) 属头足纲 (Cephalopoda)、八腕目 (Octopoda)、蛸科 (Octopodidae),为我国东南沿海沿岸底栖性种类,食用、经济价值较高。由于围海造塘、近海环境污染及过度采捕等原因,自然资源趋向衰退。因此,嘉庚蛸的资源保护及人工养殖已引起重视。目前,该种的生物学基础资料匮乏<sup>[16,17]</sup>。本研究对嘉庚蛸精子发生过程的超微结构进行观察,旨在探讨嘉庚蛸精子发生的规律、积累其生殖生物学资料,同时,弥补国内头足类精子发生研究的空缺。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

2004年3-8月,于浙江宁波、象山等地的水产品活鲜市场采得性成熟个体,采集的样品立即带回宁波大学实验室,供解剖用。

### 1.2 方法

选择有活力的雄体,活体解剖,迅速提取精巢,切成小块,采用  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、pH 7.4 的磷酸缓冲液配制的 2.5% 戊二醛(4)固定 1~2 h,然后用 1% 锇酸(4)后固定 1~2 h。乙醇梯度浓度脱水,Spurr 氏低粘度包埋剂渗透、包埋,醋酸铀及柠檬酸铅双重染色,Leica-III 型超薄切片片机切片,JEOL-1200EX 型透射电镜观察并拍照。

## 2 结果

### 2.1 精原细胞

精原细胞位于生精小管腔内基底膜。细胞数目较少,多呈椭圆形,胞体大小约  $13.0 \mu\text{m} \times 8.5 \mu\text{m}$ ,核大小约  $10.5 \mu\text{m} \times 8.0 \mu\text{m}$ 。细胞质少,核占据细胞的大部分;核内染色质以颗粒状或小团块状散布于核中;胞质中线粒体数目较少,圆形或椭圆形,嵴少、基质电子密度均匀(图版 -1)。精原细胞后期阶段,线粒体数目明显增多,胞质中可观察到结构典型的高尔基体,由多层膜囊堆叠而成,附近可见其分泌形成的囊泡(图版 -2,3)。

### 2.2 初级精母细胞

初级精母细胞胞体比精原细胞大,近圆形或卵圆形,大小约  $15.0 \mu\text{m} \times 11.0 \mu\text{m}$ ,是各级生精细胞中最大者。核近圆形,略偏向细胞的一端,核径约  $9.0 \mu\text{m}$ ;染色质呈团块状或颗粒状分布于核中,紧贴核膜内侧有一圈染色质分布。胞质中线粒体数目较多,切面形态呈圆形、椭圆形或短棒状,嵴呈板状,内部基质较丰富;内质网呈索条状,常环布于核的周围(图版 -4,5);高尔基体结构典型,可见多个高尔基体密集,形成“高尔基区”,附近线粒体较多(图版 -6,7)。中心粒复合体出现(图版 -7),与蛸科<sup>[9,10]</sup>等双壳类软体动物精子中段近端与远端中心粒结构相似。

### 2.3 次级精母细胞

次级精母细胞由初级精母细胞经减数分裂产生,胞体呈圆形、椭圆形或不规则形,大小为初级精母细胞的一半略多,约  $8.0 \mu\text{m} \times 7.5 \mu\text{m}$ ;核呈圆形或卵圆形,核径约  $5.0 \mu\text{m}$ ,核内染色质形态

及分布与初级精母细胞时期较为相似,但凝集程度增高;内质网呈索条状(图版 -8)。胞质中线粒体多,常在核一端附近密集,形态有圆形、椭圆形及棒状,嵴发达、基质丰富,可观察到线粒体的融合现象(图版 -8~10)。核一端的胞质中“高尔基区”仍存在,高尔基囊泡较多,有的囊泡内已见有致密物质积累,是以后顶体形成的基础(图版 -1)。

初级精母细胞减数分裂过程中,因核分裂在先、质分裂在后,因此,可观察到核已分裂为二、胞质尚未分开的双核期细胞(图版 -9,图版 -2)。此时期,中心粒发出的“ $9+2$ ”结构的轴丝已形成(图版 -2)。

#### 2.4 精细胞

次级精母细胞经减数分裂产生精细胞,体积比次级精母细胞小,此后,细胞分裂终止。精细胞经变态分化,形态结构剧烈改造以后形成精子。以顶体的演变、核形和染色质的形态变化、以及线粒体等细胞器的演化等为依据<sup>[2,4,8]</sup>,将精子形成过程分为以下几个时期。

**精细胞 期** 胞体椭圆形或不规则形,胞质丰富,核近圆形或卵圆形,核内染色质大部分凝集成团块状(图版 -3~6);高尔基囊泡进一步积累电子致密物,通过融合增大体积,靠近核膜形成顶体囊(图版 -3);初形成的顶体囊近圆形,内部充满无定型的物质(图版 -4~6);顶体囊与核相接处,核稍内陷(图版 -6);顶体囊附近的胞质中“高尔基区”仍存在(图版 -3,6);胞质中线粒体嵴更发达、内部基质更丰富(图版 -3)。此期末,核在顶体囊对向一端出现囊状凹陷,形成核后窝(图版 -5),至此,精细胞的极性已定,顶体囊所在的一端为精子形成以后的前方,核后窝一端为后方。

**精细胞 期** 胞体长椭圆形或不规则形,胞质仍较丰富。顶体囊向前隆起,附近“高尔基区”仍存在(图版 -7)。核沿前后端伸长,核的不同切面形态不一,有圆形、椭圆形、瓶状等(图版 -7~10);核内染色质由团块状趋向颗粒状均匀分布,部分染色质已凝集成絮状,核后窝向前深入,中心粒及其连接的轴丝已入窝口处,此时,精母细胞阶段的中心粒形成基体,核后窝中物质电子密度高于胞质而低于核(图版 -7~10);环绕核膜外周的微管出现,各微管间隔几乎等距,沿

核长方向排列(图版 -10,12)。胞质中线粒体数目仍较多,形态多样,分布不均匀,常较集中分布于细胞的一端,可见线粒体的融合现象,索条状内质网仍可见(图版 -9~11)。

**精细胞 期** 胞体及核沿前后端继续伸长,核内染色质已凝集成絮状,核周微管清晰可见。随着核的伸长,核后窝不断深入,形成核内沟,沟内物质分布较均匀。胞质中有结构典型的高尔基体及索条状内质网,线粒体较集中(图版 -1~3,6)。

**精细胞 期** 随着胞体及核的不断延伸,核内染色质呈细长纤维状,核外周微管仍可见;细胞质明显减少,线粒体逐渐向核后端方向迁移,有的紧贴核膜;顶体囊中央由基部向前形成圆锥状的顶体锥(图版 -4,5,7)。

**精细胞 期** 顶体囊已发育成长囊状,其附近可见高尔基复合体(图版 -8)。核内染色质已凝集成片层状,染色质间可见电子密度透亮的间隙,核周微管清楚(图版 -9)。线粒体继续向核后端迁移,部分线粒体紧贴核膜(图版 -9)。

**精细胞 期** 核已延长成柱状,横切面观呈圆形,核外周微管清楚,核内染色质凝集成高电子密度的均质状态,核内沟中物质电子密度略低于核物质(图版 -10,11,15)。顶体囊内的顶体锥发育成长锥状,其上有间隔等距的横纹,顶体锥与顶体囊膜间的物质电子密度较低,顶体囊膜双层结构明显(图版 -12,13)。此期末,多余的细胞质被丢弃;顶体囊膜紧贴在顶体锥的外周,并间隔形成嵴突,从而演变成外观钻头形的顶体(图版 -18,19);线粒体迁移至核的后端,形成精子尾部中断的线粒体鞘(图版 -10,14,17,20);基体位于核内沟末端喇叭形开口处,尾部轴丝起始于基体(图版 -14)。精子形成以后,核外周微管消失(图版 -14,16)。

### 3 讨论

#### 3.1 核的变化

软体动物精子发生过程中生精细胞核的变化具有种属特异性<sup>[7,8]</sup>,核的变化主要体现在染色质的形态及核外部形态变化上。在嘉庚蛸精子发生过程中,核内染色质经历了团块状或颗粒状、絮丝状、长纤维状、片层状过程,与此相应,核的形态由圆形或椭圆形变成长椭圆形、进而延长为柱状。

这和营体外受精的双壳类精子发生过程有明显差异。双壳类的核内染色质凝集未经纤维化及片层化,如在西施舌(*Coelomaetra antiquata*)<sup>[4]</sup>、合浦珠母贝(*Pinctada martensii*)<sup>[5]</sup>等的精细胞分化过程中,核内染色质由分散的颗粒状或小的团块状凝集成粗颗粒状团块,至颗粒状均匀分布、高电子密度的均质,核形变化未明显延长;青蛤(*Cyclina sinensis*)<sup>[8]</sup>精细胞分化过程核虽然明显延长,但核内染色质凝集只见颗粒化,未经纤维化和片层化。营体内受精的腹足类及头足类软体动物精细胞分化过程中核染色质凝集经过颗粒化、纤维化或片层化,如中国圆田螺(*Cipangopaludina chinensis*)<sup>[6]</sup>及泥螺(*Bullacta exarata*)<sup>[7]</sup>的染色质凝集经过颗粒化与纤维化,台湾东风螺(*Babylonia formosae*)<sup>[2]</sup>的染色质凝集经过纤维化与片层化,头足类花枝科(Sepiidae)动物 *Eusepia officinalis*、亚速尔群岛乌贼(*Loligo forbesi*)和欧洲习见乌贼(*Alloteuthis subulata*)的染色质凝集亦经过颗粒化与纤维化<sup>[14]</sup>,其精细胞核形变化均有明显的延长过程。在本研究中,嘉庚蛸的染色质凝集经过颗粒化、纤维化与片层化。比较不同类群精细胞核染色质凝集过程的差异及凝集后核的外部形态差异,可为系统分类提供一定的依据。

关于精核的形态建成机制:有学者认为,精核的形态建成与染色质的凝集<sup>[18]</sup>及核周微管的作用<sup>[19]</sup>有关。染色质的凝集是由于结合蛋白的活动,染色质浓缩时DNA与蛋白质相互作用促使核形态发生改变<sup>[20]</sup>;核周微管的作用是向核内施加压力,促使核的延伸或拉长<sup>[15]</sup>。

在嘉庚蛸精细胞时期,核开始拉长时,形成核外周微管,微管作用于核,使核横向收缩、纵向拉长;同时,核内染色质也发生相应的变化,即由颗粒化、到纤维化与片层化,最后高度浓缩,随之核周微管消失。我们认为,嘉庚蛸精子核的形态建成是染色质的凝集与核周微管加压协同作用的结果。

### 3.2 顶体的起源

在软体动物中,顶体是由高尔基囊泡积累致密物及融合发育而来。在双壳类缢蛸(*Sinonovacula constricta*)<sup>[3]</sup>、西施舌<sup>[4]</sup>、合浦珠母贝<sup>[5]</sup>、青蛤<sup>[8]</sup>及腹足类台湾东风螺<sup>[2]</sup>等的精子发生过程中,高尔基体分泌产生前顶体颗粒,逐渐融合、发育成前顶体囊,发育成顶体。在嘉庚蛸精子

发生过程中,开始在高尔基囊泡内沉积电子致密物是在次级精母细胞时期,到精细胞早期,囊泡内部物质积累增多,通过融合、发育成顶体囊,进而发育成顶体,此阶段,细胞质中索条状内质网较发达,可能与顶体物质的合成与包装相关<sup>[1,7,21]</sup>。高尔基体和内质网亦参与甲壳动物的顶体形成。在中华绒毛蟹(*Eriocheir sinensis*)精细胞早期,粗面内质网小泡产生的致密圆形颗粒参与顶体的形成,三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)、中国对虾(*Penaeus chinensis*)及斑节对虾(*P. monodon*)的精子发生过程中,内质网或内质网小泡也参与精子顶体的形成<sup>[22]</sup>。我们的研究表明,嘉庚蛸精细胞中期顶体囊附近可见到结构典型的高尔基体,细胞质中内质网仍存在。因此,在精细胞中期内质网是否进一步合成和输送顶体物质,尚需进一步探究。

### 3.3 线粒体的演变

嘉庚蛸精子发生过程中线粒体数目、形态、出现位置等随发育阶段而变化。线粒体的演变、迁移,不仅满足各发育阶段生精细胞代谢活动及顶体形成与核形变化等所需的能量,且为精子的运动蓄积能源。不同类群精子形成后,线粒体的数目、形态及排列方式存在明显差异,体外受精的双壳类及原始腹足类软体动物精子形成后线粒体数目少,仅由几个圆形或卵圆形线粒体平面型环绕于中心粒复合体的周围,形成短的中段<sup>[1,3-5,8-10]</sup>;而营体内受精的腹足类及头足类精子形成后的线粒体数目多、拉长形成线粒体鞘<sup>[2,6,12-14]</sup>。嘉庚蛸精子形成后,其线粒体呈长柱状,横切面有9组线粒体,与尾部轴丝平行排列形成线粒体鞘(图版-14,17)。线粒体鞘的形成是精子对体内受精方式的适应,较体外受精的软体动物精子能储存更多的能量,以满足在雌性生殖道中较长时间运动及受精作用的需要。

### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 刘正琼, 上官步敏, 许振祖. 缢蛸精子发生的超微结构研究[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 1990, 29(1): 81-84.
- [4] 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.

- [5] 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),1993,39(6):123-129.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 竺俊全,杨万喜,石钢德. 泥蚶精子的超微结构[J]. 浙江大学学报(理学版),2002,29(3):324-328.
- [10] 竺俊全,杨万喜. 毛蚶与青蚶精子超微结构及其所反映的蚶科进化关系[J]. 动物学研究,2004,25(1):57-62.
- [11] Enric R, Pepita G B, Maria J Z, *et al.* Evolution of Octopode sperm : comparison of acrosomal morphogenesis in Eledone and Octopus[J]. Molecular Reproduction and Development, 2002, 62:363-367.
- [12] Franzen A. Spermogenesis and spermatozoa of Cephalopoda[J]. Ark Zool, 1967,19:323-337.
- [13] Healy J M. Spermatozoa of the deep-sea Cephalopoda *Vampyroteuthis infernalis* Chun: ultrastructure and possible phylogenetic significance[J]. Philos Trans R Soc Lond Biol Sci, 1989,323:589-600.
- [14] Maxwell W L. Spermogenesis of *Eusepia officinalis* (L), *Loligo forbesi* (Streenstrup) and *Alloteuthis subulata* (L) (Cephalopoda, Decapoda)[J]. Proc R Soc Lond B Biol Sci, 1975,191:527-535.
- [15] Pepita G B, Enric R, Maria J Z, *et al.* Evolution of Octopod sperm :Comparison of nuclear morphogenesis in Eledone and Octopus[J]. Molecular Reproduction and Development, 2002, 62:357-362.
- [16] 焦海峰,尤仲杰,竺俊全,等. 嘉庚蛸对温度、盐度的耐受性试验[J]. 水产科学,2004,23(9):7-10.
- [17] 焦海峰,尤仲杰,包永波. 人工养殖条件下嘉庚蛸的生物学特性及繁育技术初探[J]. 动物学杂志,2005,40(3):67-71.
- [18] Fawcett D W, Anderson W A, Phillipw D M. Morphogenetic factors influencing the shape of the sperm head[J]. Dev Biol, 1971,26:220-257.
- [19] Kubo T, Ishikawa H. Organization of the acrosome and helical structure in sperm aplysiid: *Aplysia kurodai* [J]. Differentiation (Berlin), 1981,20:131-140.
- [20] 丁汉波,仝允棚,黄浙. 发育生物学[M]. 北京:高等教育出版社,1987.55-59.
- [21] Longo F J, Domfeld E J. The fine structure of spermatid differentiation in mussle, *Mytilus edulis* [J]. J Ultrastruct Res, 1967,20:462-480.
- [22] 康现江,王所安. 十足目甲壳动物精子发生过程顶体形成和细胞核变化[J]. 动物学杂志,2000,35(4):35-39.

## 图版说明

## Explanation of Plates

### 图版

1. 精原细胞,示核及线粒体,×4 000; 2. 精原细胞后期,示核、线粒体及高尔基体,×4 000; 3. 图 2 放大,示高尔基体及囊泡,×2 500; 4. 初级精母细胞,示核、线粒体及内质网,×4 000; 5. 图 4 放大,示线粒体及内质网,×8 000; 6. 初级精母细胞,示线粒体及高尔基体,×6 000; 7. 初级精母细胞,示线粒体、高尔基体及中心粒复合体,×15 000; 8. 次级精母细胞,示核、线粒体及内质网,×8 000; 9. 双核期次级精母细胞,示核、线粒体,×6 000; 10. 图 9 放大,示线粒体集中分布,×15 000

### 图版

1. 次级精母细胞,示高尔基体、高尔基囊泡及囊泡内物质积累,×25 000; 2. 双核期次级精母细胞,示核、高尔基体、轴丝,×4 000; 3. 精细胞 期,示核、高尔基体、线粒体、顶体囊,×8 000; 4. 精细胞 期,示核、高尔基体、顶体囊,×5 000; 5. 精细胞 期,示顶体囊、核后窝,×6 000; 6. 图 4 放大,示顶体囊、高尔基体,×12 000; 7. 精细胞 期,示核、顶体囊、高尔基体,×8 000; 8. 精细胞 期,示核、核后窝、轴丝,×6 000; 9. 精细胞 期,示核、核后窝、线粒体、内质网,×6 000; 10. 精细胞 期,示核及核外周微管、线粒体、内质网,×10 000; 11. 精细胞 期,示线粒体集中分布,×6 000; 12. 精细胞 期,示核及核外周微管,×4 000

### 图版

1. 精细胞 期,示高尔基体、内质网、核及絮状染色质,×8 000; 2. 精细胞 期,示长形核及核内沟、线粒体、内质网,×5 000; 3. 精细胞 期,示核及核外周微管,×25 000; 4. 精细胞 期,示顶体囊、长形核及长纤维状染色质,×6 000; 5. 图 4 放大,示顶体囊内顶体锥、核内长纤维状染色质,×25 000; 6. 精细胞 期,核横切,示核内沟及絮状染色质,×7 500; 7. 精细胞 期,核后端横切,示核内沟及核内纤维状染色质、线粒体,×7 500; 8. 精细胞 期,示拉长的顶体囊、长形核及核内片层状染色质、高尔基体,×5 000; 9. 精细胞 期,核横切,示核内沟、核内片层状染色质、核外周微管、线粒体,×25 000; 10. 精细胞 期,示核、核内致密状染色质、尾部轴丝及周围的线粒体,×7 500; 11. 精细胞 期,示核、核内沟、尾部轴丝,×6 000; 12. 精细胞 期,示顶体囊内的顶体锥,×12 000; 13. 图 12 放大,示顶体锥横纹结构、核及核周的微管,×30 000; 14. 精子头部核与尾部的连接,示基体、轴丝、线粒体鞘,×25 000; 15. 精细胞 期,核横切,示核内沟、核周微管,×15 000; 16. 精子核横切,示核内沟,×15 000; 17. 精子尾部中段横切,示线粒体鞘,×20 000; 18. 精子顶体纵切,×75 000; 19. 图 18 放大,示顶体的横纹及峭突,×20 000; 20. 精子尾部,×6 000

Ax:轴丝; AC:顶体; BB:基体; CM:线粒体鞘; EC:核内沟; M:线粒体; MP:中段; N:核; G:高尔基体; GV:高尔基囊泡; ER:内质网; CC:中心粒复合体; AV:顶体囊; ACC:顶体锥 PNP:核后窝; MT:微管

## Plate

1. Spermatogonium, showing the nucleus and mitochondria,  $\times 4\ 000$ ; 2. Anaphase of spermatogonium, showing nucleus, mitochondria and golgi bodies,  $\times 4\ 000$ ; 3. Magnification of figure 2, showing golgi bodies and vesicles,  $\times 2\ 500$ ; 4. Primary spermatocyte, showing nucleus, mitochondria and endoplasmic reticulum,  $\times 4\ 000$ ; 5. Magnification of figure 4, showing mitochondria and endoplasmic reticulum,  $\times 8\ 000$ ; 6. Primary spermatocyte, showing mitochondria and golgi bodies,  $\times 6\ 000$ ; 7. Primary spermatocyte, showing mitochondria, golgi bodies and centriolar complex,  $\times 15\ 000$ ; 8. Secondary spermatocyte, showing nucleus, mitochondria and endoplasmic reticulum,  $\times 8\ 000$ ; 9. Secondary spermatocyte of binucleate phase, showing nucleus, mitochondria,  $\times 6\ 000$ ; 10. Magnification of figure 9, showing the accumulation of mitochondria,  $\times 15\ 000$

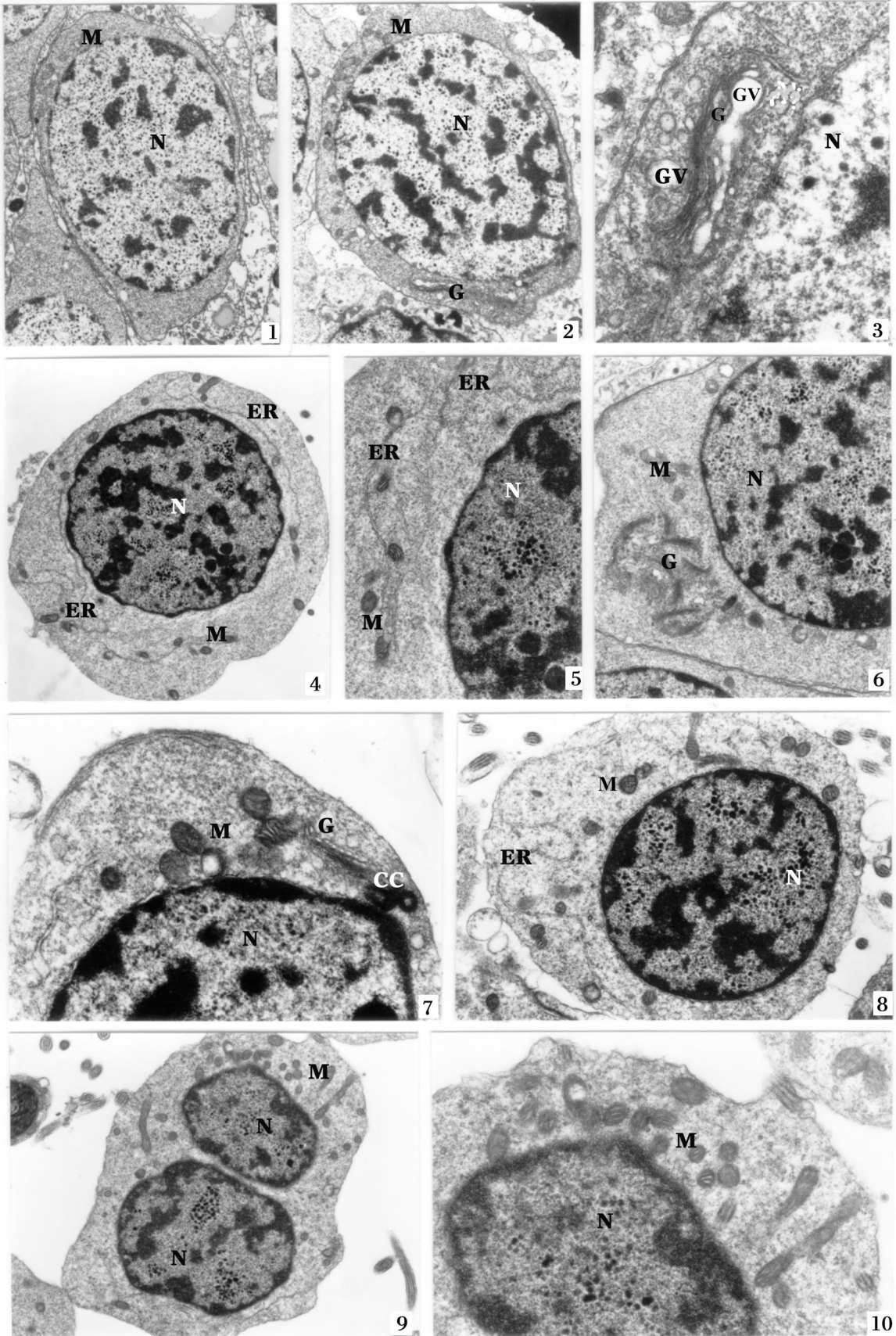
## Plate

1. Secondary spermatocyte, showing golgi bodies, golgi vesicle and the materials accumulated in vesicle,  $\times 25\ 000$ ; 2. Secondary spermatocyte of binucleate phase, showing nucleus, golgi bodies and axoneme,  $\times 4\ 000$ ; 3. Spermatid, showing nucleus, golgi bodies, mitochondria and acrosomal vesicle,  $\times 8\ 000$ ; 4. Spermatid, showing nucleus, golgi bodies and acrosomal vesicle,  $\times 5\ 000$ ; 5. Spermatid, showing acrosomal vesicle, posterior nuclear pocket,  $\times 6\ 000$ ; 6. Magnification of figure 4, showing acrosomal vesicle, golgi bodies,  $\times 12\ 000$ ; 7. Spermatid, showing nucleus, acrosomal vesicle, golgi bodies,  $\times 8\ 000$ ; 8. Spermatid, showing nucleus, posterior nuclear pocket, axoneme,  $\times 6\ 000$ ; 9. Spermatid, showing nucleus, posterior nuclear pocket, mitochondria and endoplasmic reticulum,  $\times 6\ 000$ ; 10. Spermatid, showing nucleus and peri-nuclear microtubules, mitochondria and endoplasmic reticulum,  $\times 10\ 000$ ; 11. Spermatid, showing the accumulation of mitochondria,  $\times 6\ 000$ ; 12. Spermatid, showing nucleus and peri-nuclear microtubules,  $\times 4\ 000$

## Plate

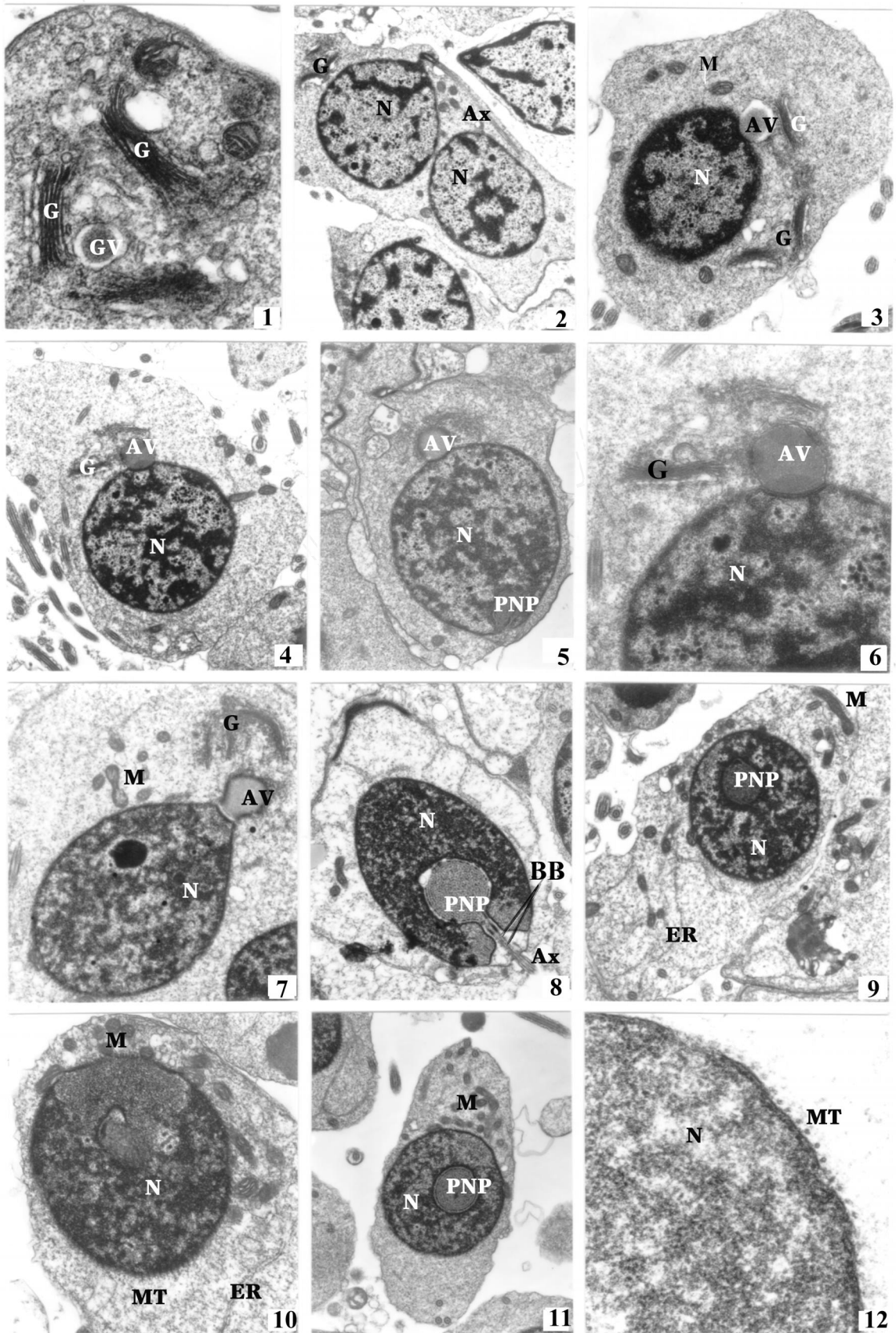
1. Spermatid, showing golgi bodies, endoplasmic reticulum, nucleus and flocculent chromatin,  $\times 8\ 000$ ; 2. Spermatid, showing elongating nucleus, endonuclear channel, mitochondria and endoplasmic reticulum,  $\times 5\ 000$ ; 3. Spermatid, showing the nucleus and peri-nuclear microtubules,  $\times 25\ 000$ ; 4. Spermatid, showing acrosomal vesicle, elongating nucleus and fibroid chromatin,  $\times 6\ 000$ ; 5. Magnification of figure 4, showing acrosomal cone in acrosomal vesicle, long fibroid chromatin in nucleus,  $\times 25\ 000$ ; 6. Spermatid, cross section of nucleus, showing endonuclear channel and flocculent chromatin,  $\times 7\ 500$ ; 7. Spermatid, cross section of nucleus at end, showing endonuclear channel, fibroid chromatin in nucleus and mitochondria,  $\times 7\ 500$ ; 8. Spermatid, showing the elongating acrosomal vesicle, elongating nucleus and stratification chromatin in nucleus, golgi bodies,  $\times 5\ 000$ ; 9. Spermatid, cross section of nucleus, showing endonuclear channel, stratification chromatin in nucleus, peri-nuclear microtubules and mitochondria,  $\times 25\ 000$ ; 10. Spermatid, showing nucleus, condense chromatin, axoneme in tail and peri-mitochondria,  $\times 7\ 500$ ; 11. Spermatid, showing nucleus, endonuclear channel, axoneme in tail,  $\times 6\ 000$ ; 12. Spermatid, showing acrosomal cone in acrosomal vesicle,  $\times 12\ 000$ ; 13. Magnification of figure 12, showing striations on acrosomal cone, nucleus and peri-nuclear microtubules,  $\times 30\ 000$ ; 14. Linkage between nucleus and tail, showing basal body, axoneme and chondriosomal mantle,  $\times 25\ 000$ ; 15. Spermatid, cross section of nucleus, showing endonuclear channel, peri-nuclear microtubules,  $\times 15\ 000$ ; 16. Cross section of the nucleus, showing endonuclear channel,  $\times 15\ 000$ ; 17. Cross section of sperm at mid-piece of tail, showing chondriosomal mantle,  $\times 20\ 000$ ; 18. Longitudinal section of sperm at acrosome,  $\times 75\ 000$ ; 19. Magnification of figure 18, showing striations and spikes of acrosome,  $\times 20\ 000$ ; 20. Tail of sperm,  $\times 6\ 000$

Ax: Axoneme; AC: Acrosome; BB: Basal body; CM: Chondriosomal mantle; EC: Endonuclear channel; M: Mitochondria; MP: Middle piece; N: Nucleus; G: Golgi bodies; GV: Golgi vesicle; ER: Endoplasmic reticulum; CC: Centriole complex; AV: Acrosomal vesicle; ACC: Acrosomal cone; PNP: Posterior nuclear pocket; MT: Microtubules



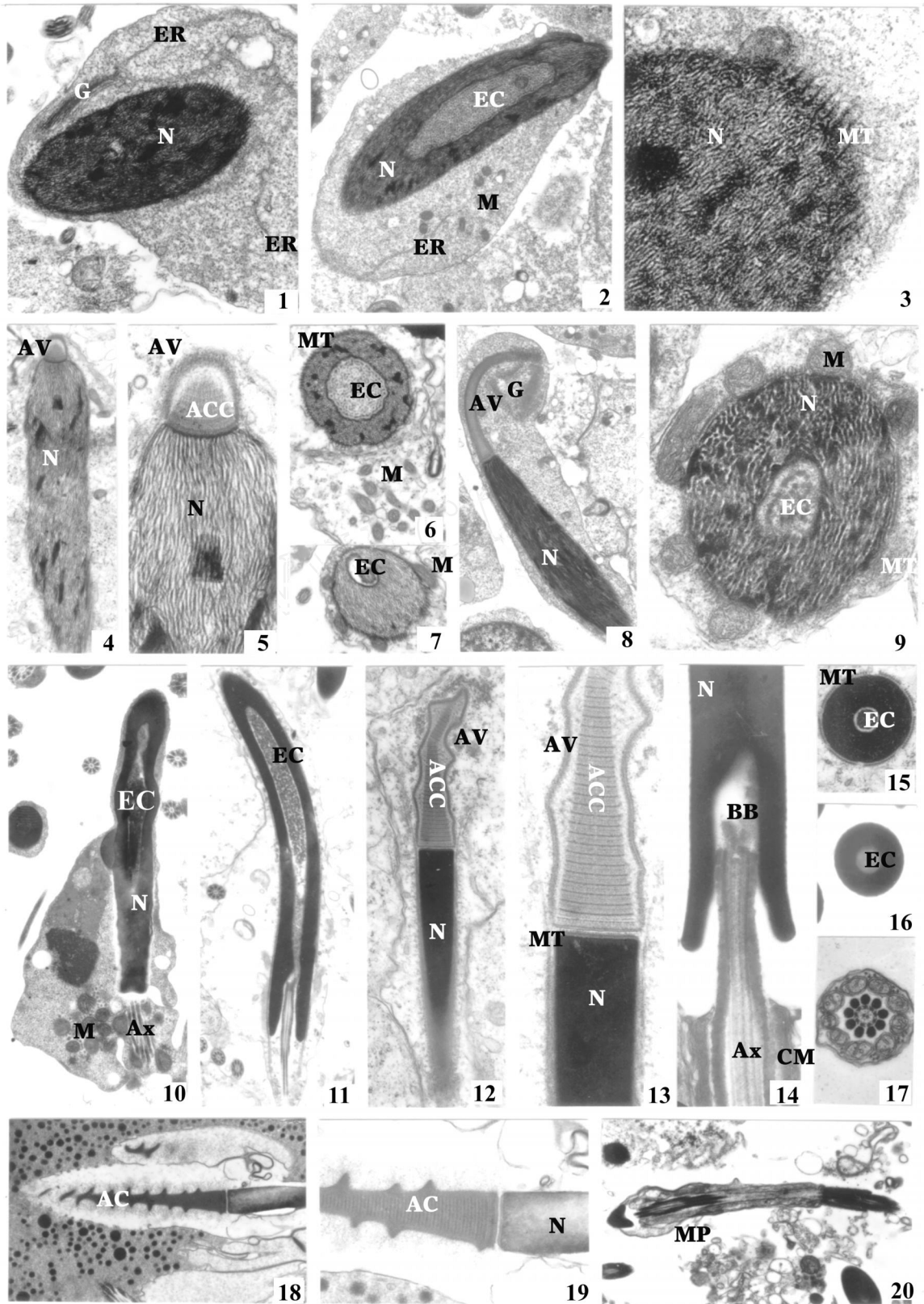
图版 Plate





图版 Plate





图版 Plate