

牙鲆精子形成及核前区特殊结构的超微观察

张世奎^{1,2}, 刘海金², 侯吉伦³, 王玉芬⁴

(1.上海海洋大学 水产与生命学院,上海200090; 2.中国水产科学研究院 资源与环境研究中心,北京100141; 3.东北农业大学,黑龙江 哈尔滨 150030; 4.中国水产科学研究院 北戴河中心实验站,河北 秦皇岛 066100)

摘要: 用透射扫描电镜观察了牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)精子及其核前区特殊结构的形成过程。本研究依据牙鲆精子形成过程中各细胞器的变化特点,将其形成过程大致分为5个时期:鞭毛生成期,核隐窝形成期,袖套形成期,核前凹陷形成期和变态完成期。精子形成过程中,核前未生成顶体,但出现一个特殊的区域为核前凹陷区域。电镜观察显示,成熟牙鲆精子的核前凹陷结构是细胞核胞吐囊泡形成的;精子细胞核染色质的凝集由核隐窝处向前进行,核内不参与浓缩的低电子密度物质以出芽的方式形成单层界膜囊泡,以致核前出现大块低电子密度区域。此区域在胞吐单层界膜的囊泡后,形成核前凹陷。但透射电镜切片核前凹陷区域内常存在未被完全胞吐的囊泡。[中国水产科学,2009,16(5): 689-696]

关键词: 牙鲆; 精子形成; 核前凹陷; 核前囊泡; 超微结构

中图分类号: S91

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737-(2009)05-0689-08

随着对硬骨鱼类发育机制研究的深入,其精子发生受到越来越多学者的关注^[1-4]。到目前为止,有关硬骨鱼类配子发生的研究主要涉及以下内容:精子发生的一般过程^[5-8];精子各部分结构的来源、演变及其在精子发生过程中的作用^[9-11];性腺和生殖细胞的超微结构^[12-13]。精子形成过程是精子发生中较为复杂的变态过程,即精子细胞经历了明显的形态及生化变化,最终发育为成熟的精子。硬骨鱼类的精子形成过程中,精子细胞的细胞体积大大缩小,核内染色质形态变化明显,内质网及线粒体等细胞器的数量及分布都有较大变化,并形成了核隐窝、袖套腔等复杂的结构,在核前区域会出现大小不等的核前凹陷区域,且凹陷区域内常存在未被完全胞吐的囊泡^[14]。核前凹陷的特点、形成机制及其在受精过程中发挥的作用等尚不明确。

牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)为经济价值较高的鲽形目(Pleuronectiformes)鱼类,近年已经成为中国

沿海重要的养殖种类。牙鲆精子的超微结构已有研究^[15],但其形成过程尚未见报道。本研究对牙鲆精子形成过程中的结构变化做了较为细致的观察,特别观察了精子核前特殊区域的形成过程;探讨了精子发生过程中细胞形态结构的变化和细胞器的演变过程及其意义,为鱼类生殖生物学研究提供了基础资料。

1 材料与方法

实验用亲鱼均取自中国水产科学研究院北戴河中心实验站。牙鲆亲鱼为渤海海域野生牙鲆的后代,经过人工培育达到性成熟,全长 (37 ± 1.5) cm ($n=6$),体质量 (1.8 ± 0.4) kg ($n=6$),为5龄鱼。

2008年4月,在牙鲆繁殖期间采集性腺样本。选取性腺发育良好的雄鱼,麻醉、测量并称重后,解剖取其性腺,将精巢切成 $2\text{ mm} \times 2\text{ mm} \times 2\text{ mm}$ 的组织块,固定于2.5%戊二醛(pH 7.2)中,4℃保存过夜。PBS缓冲液漂洗,1%锇酸4℃固定2 h。梯度乙醇脱水,

收稿日期: 2009-03-11; 修订日期: 2009-05-07.

基金项目: 国家科技支撑计划(2006BAD01A1207); 农业行业专项(nyhyzx07-046); 国家鲆鲽类产业技术体系(nycytx-50).

作者简介: 张世奎(1983-),男,硕士研究生,专业方向为水产养殖. Tel: 13439774785; E-mail: 111daaaa@163.com

通讯作者: 刘海金,博士,研究员. Tel: 010-68671004; E-mail: liuhaijin2005@126.com

丙酮置换, Epon812 环氧树脂包埋, ULTRACUTE 超薄切片机切片, 醋酸双氧铀硝酸铅染色, HITACHI-7000 透射电镜 (JEOL, Tokyo, 日本) 观察。

2 结果与分析

本研究参考 Wu 等^[16]在半滑舌鲷 (*Cynoglossus semilaevis*) 精子形成超微结构中使用的阶段划分方法稍加修改, 依据牙鲆精子细胞的超微结构变化, 特别是其发达的袖套结构和核前凹陷特殊区域的形成特点, 将其精子形成过程大致分为 5 个时期, 即鞭毛生成期 (I 期), 核隐窝形成期 (II 期), 袖套形成期 (III 期), 核前凹陷形成期 (IV 期) 和变态完成期 (V 期)。

2.1 鞭毛生成期 (I 期)

精子形成初期, 细胞形状不规则, 近似圆球形。细胞质绕核均匀分布, 中心粒复合体分布于靠近细胞核的细胞质中。细胞核亦近圆形, 双层膜明显, 核内染色质尚未开始凝缩, 可见异染色质 (图版 I-1)。随着精子细胞的进一步发育, 核内异染色质逐渐弥散状聚集, 电子密度增大 (图版 I-2)。细胞核内弥散状异染色质逐渐向核膜下凝集, 形成环状, 即胞核边缘为高电子密度, 染色质为颗粒状, 核中央大部分为低电子密度, 染色质为透明状 (图版 I-3)。核外膜结构成波浪状, 核膜与质膜之间有间隙, 此时鞭毛已发生, 轴丝内 “9+2” 结构清晰可见 (图版 I-2)。细胞质内各种细胞器非常丰富, 可见内质网和众多的线粒体分布其中。线粒体呈圆形、椭圆形或不规则形, 数量较多, 大小不一, 双层结构清晰, 嵴明显 (图版 I)。

2.2 核隐窝形成期 (II 期)

核隐窝开始形成, 核内染色质开始浓缩, 中心粒复合体向细胞核方向移动。靠近中心粒复合体的核膜向核中央凹陷, 开始形成核隐窝 (图版 II-1), 中心粒复合体和凹陷处核膜紧密接触, 没有间隙。染色质浓缩由核隐窝处开始, 并向前移动, 染色质浓缩为颗粒状 (图版 II-2)。核膜与胞质间低电子密度的囊泡间隙增大, 明显为波浪状 (图版 II-3)。此期线粒体、内质网等细胞器仍散落在胞质中, 细胞质仍围绕着细胞核, 胞核内致密的染色质中出现相对疏松的

区域, 区域内含有电子密度低的物质为核泡 (Nuclear vacuole), 胞核前部亦出现较大范围的低电子密度区域, 胞核周围则出现波浪状的核膜间隙 (图版 II)。

2.3 袖套形成期 (III 期)

通过透射电镜可观察到中心粒复合体的整体结构包括近端中心粒 (Proximal centriole) 和远端中心粒 (Distal centriole), 两者相互垂直, 在一个平面上成 “T” 字形排列 (图版 III-1)。随着中心粒复合体的移动, 胞核旋转, 一侧贴近细胞膜, 致使多数细胞质及胞质内的线粒体和液泡等细胞器向核隐窝方向鞭毛前端移动, 移动后细胞质围绕在鞭毛两侧形成肥大的袖套锥型, 同时鞭毛附近的细胞膜与鞭毛起始段围成了一个狭长的空腔, 为袖套腔 (Central space of sleeve) (图版 III-1, 2)。核旋转完成后, 线粒体分布于由基体延伸的鞭毛起始区。此时在中心粒复合体外围, 相对整齐成放射状排列着 8~9 条鞭毛状致密物质, 称为鞭毛卫星体 (Flagellar satellite complex)^[16] (图版 III-3)。在中心粒复合体周围出现, 消失于中片线粒体围绕处的鞭毛起始端附近。

2.4 核前凹陷形成期 (IV 期)

释放核前囊泡, 细胞核浓缩由核隐窝处向前推移, 颗粒状的染色质密度增大, 细胞核体积明显缩小, 核前低电子密度的核膜间隙急剧增大, 并出芽形成单层界膜的囊泡, 即核前囊泡 (Anterior vesicle) (图版 III-2, 图版 IV-1)。众多大小不等的囊泡位于核前凹陷处与核外膜之间, 形成 “凹陷式” 的低电子密度核膜间隙区, 凹陷处与染色质区无界膜分隔。随着核质的进一步凝集浓缩, 细胞核会先释放靠近核膜的囊泡, 再释放远离核膜的囊泡, 从而实现以单层界膜囊泡的形式释放低电子密度物质 (图版 IV-2)。可见核质浓缩过程是通过胞吐形式从凹陷处排除核内没有参与染色质浓缩的物质来完成, 这使得细胞核体积和表面积就大为缩小。

牙鲆精子细胞核的浓缩开始于核膜, 凝集形成 “环球状” 胞核。当中心粒复合体移动, 核隐窝形成时, 浓缩由核隐窝向前推移的特殊方式进行, 以致核前出现 “凹陷式” 低电子密度区域, 此区域在胞吐单层界

膜的囊泡后,形成“凹陷式”特殊区域。这种胞核的前端凹陷,称为核前凹陷(Nuclear pit)(图版IV-3)。

2.5 变态完成期(V期)

核内染色质电子密度进一步增大,最终浓缩成高电子密度的均匀物质,其中依然可见少量的核泡。核前“凹陷式”特殊区域内,经常存在未被完全胞吐的单层界膜的囊泡,位于核前凹陷与细胞外膜之间,称为核前囊泡(Anterior vesicle)(图版V-1,2)。当核前囊泡被完全吐出时,透射电镜切片可观察到明显的核前凹陷(图版V-3)。此期,细胞质明显减少,剩余部分大多聚集在细胞核的下方,线粒体体积增大至最终状态,且鞭毛卫星体消失(图版V-4)。

至此,精子细胞变为成熟的精子。成熟的精子分头部、中片和尾部。头部的主要结构为细胞核,核卵圆形,染色质致密,核前存在核前凹陷,凹陷内常有未被胞吐的单层界膜囊泡;核中存在核泡,核泡内含低电子密度物质;核后有井状核隐窝(图版V-3)。中片的整体结构包括4~6个成熟的线粒体、中心粒复合体、袖套。线粒体有规律排列在2个相互垂直的“T”型的中心粒末端周围,为圆球形,嵴突出明显,袖套为一圆筒状结构,其中央狭长状的空腔为袖套腔,袖套内可观察到少量液泡(图版V-5)。尾部则由远端中心粒发生的轴丝向后延伸形成,鞭毛的两侧存在侧鳍,侧鳍由包裹在轴丝外的膜系统向外延伸而成,鞭毛横切面呈现典型的“9+2”双联微管结构,有时可见大小不一的囊泡(图版V-5、6)。此时,扫描电镜下牙鲆成熟精子的头部顶面观可见近圆形的凹陷,凹陷浅,近圆形,位于头部顶端稍偏处,此结构为核前凹陷(图版V-7)。

3 讨论

3.1 染色质的凝集方式

根据对精子形成过程的电镜观察,可以看出牙鲆精子细胞中染色质的凝集方式为:核内染色质边缘化凝集,核膜下成环状,之后染色质浓缩由核膜内陷形成核隐窝处向前推进,颗粒状的染色质凝集为高电子密度均匀状,此种凝集方式导致核前凹陷出

现。目前报道的其他鱼类中未发现此种凝集方式。一般的凝集方式为核内染色质均一的同时变化,如鲮(*Mugilcephalus*)和黄颡鱼(*Pseudobagrus fulvidraco*)等^[17-18]。不过也有其他情况,例如但虎利齿脂鲤(*Hoplias malabaricus*)的染色质凝集由核膜向中央位置推进^[19];半滑舌鳎的染色质凝集由核隐窝处核膜边缘开始^[16,20]。大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*)和短尾鲩(*Leiocassis brevicaudatus*)的染色质则向将来成为精子头部的背侧方向聚集^[10,21],这与牙鲆染色质的凝集方式比较相近。核内染色质的变化或许是核内基本物质发生转化的结果^[22],目前尚未有关于鲆鲽类精子形成过程中的生化反应的研究报道,有待于进一步研究。

3.2 鞭毛卫星体

本研究中的鞭毛卫星体(Flagellar satellite body)是由8~9条鞭毛状致密物质形成的,类似车轮状结构,出现于中片位置基体末端外侧,精子形成结束时消失,其特点与Wu等^[16]在半滑舌鳎精子形成过程中观察到的鞭毛卫星体一致。与之类似的结构在某些鱼类精细胞或成熟精子中也曾出现,例如金梭(*Liza aurata* Risso)和青鳉(*Oryzias latipes*)的精子基体周围呈放射状均匀对称分布着一些卫星体^[23-24];褐菖鲉(*Sebastiscus marmoratus*)晚期精细胞中近端中心粒向精细胞背侧伸出类似轴丝结构的中心粒附属物。中心粒附属物由9条微管构成,与近端中心粒在精细胞成熟过程中相继褪去以致消失^[25]。此外,在其他一些双壳类动物中也存在类似的结构,称为中心粒微卫星(Centriole satellite complex)^[26]或卫星体结构(Satellite body)^[27]。

鞭毛卫星体、中心粒附属物、中心粒微卫星及卫星体等不同名称的结构在不同硬骨鱼类的精细胞或精子中的位置不尽不同,且形态多样。但因为这些结构大都在中心粒复合体的周围出现,且结构多为微管或轴丝结构,所以本研究推断它们可能同属于中心粒复合体的衍生物,均由高电子密度颗粒构成。

3.3 核前凹陷

关于鱼类精子超微结构中存在核前凹陷的报道

较少。方展强^[28]、尤永隆等^[29]在尼罗罗非鱼(*Tilapia nilotica* L.)精子形成的研究中报道了精子细胞胞吐物质发生在细胞核的凹陷处。Suquet等^[13]在大菱鲃(*Scophthalmus maximus*)精子超微结构的研究中发现存在核前凹陷,凹陷比较浅但开口大。张永忠等^[14]在对圆斑星鲽(*Verasper variegatus*)精子超微结构的研究中发现在核前稍偏处存在核前凹陷,并认为这是顶体的一种遗迹。本研究中华鲟精子头部顶端稍偏处有近圆形的凹陷,凹陷浅,近圆形,为核前凹陷。由于凹陷位于核前稍偏处,所以某些侧面或切面上能看到,而在另一些侧面或切面上看不到,也可能是凹陷区域未被完全胞吐的单层界膜囊泡所覆盖,以致外表上不明显。

对于核前凹陷的由来存在2种推断:一种认为这是顶体的一种遗迹;另一种推断是胞核向外释放核内物质的一种途径^[14,16,30]。本研究结果表明,牙鲆精子核前凹陷是精子形成过程中胞核向外释放核内物质遗留下来的,并非顶体的遗迹。但核前凹陷的功能和作用,特别是凹陷内未胞吐的单层界膜囊泡的释放时机、作用尚待进一步研究。作者对牙鲆精子入卵过程的研究发现,精子在入卵的过程中,头部凹陷侧面会贴紧成熟卵子受精孔内质膜。由此推测,凹陷的存在有利于精子头部与卵子受精孔内质膜的紧密结合,提高了精子入卵的几率,而且很可能在此刻核前凹陷内未被胞吐的单层界膜囊泡将完全释放,从而完全释放精子头核中的多余物质,最大程度地缩小精子头核的体积。

参考文献:

- [1] 陈大元,宋祥芬,赵学坤,等.文昌鱼受精机理—受精卵的超微结构[J].动物学报,1991,37(4):422-426.
- [2] 陈永,魏刚,黄林.性成熟鳃精巢发育的显微结构研究[J].西南农业大学学报,1996,18(4):375-378.
- [3] 刘雪珠,杨万喜.硬骨鱼类精子超微结构及其研究前景[J].东海海洋,2002,20(3):32-37.
- [4] Billard R. Spermatogenesis and spermatology of some teleost fish species [J]. Reprod Nutr Dev. 1986,26(4):877-892.
- [5] 刘雪珠,石戈,王日昕.黑鲟精子发生过程中的超微结构变化[J].海洋科学,2005,29(10):48-53.
- [6] 管汀鹭,黄丹青,黄国屏.金鱼精巢的细胞构造与精子的发生和形成[J].水生生物学报,1990,14(3):233-238.
- [7] Billard R. Spermiogenesis in the rainbow trout (*Salmo gairdneri*) an ultrastructure study [J]. Cell Tissue Res, 1983,233:265-284.
- [8] Adel A. Spermatogenesis and spermatozoon ultrastructure in the Nile catfish *Synodontis schall* in Egypt [J]. Acta Zool Sin, 2007,53(4):689-699.
- [9] 管汀鹭. 金鱼精子鞭毛发生的特点 [J]. 动物学报, 1988,34(2):189-190.
- [10] 尤永隆,林丹军. 大黄鱼精子的超微结构 [J]. 动物学报, 1997,43(2):119-126.
- [11] Jones P R, Butler R D. Spermatozoon ultrastructure of *Platichthys flesus* [J]. Ultrastruct Mol Struct Res, 1988,98(1):71-82.
- [12] 陈永,魏刚,黄林. 性成熟鳃精巢发育的显微结构研究 [J]. 西南农业大学学报, 1996,18(4):375-378.
- [13] Suquet M, Dorange G, Omnes M H. Composition of the seminal fluid and ultrastructure of the spermatozoon of turbot *Scophthalmus maximus* [J]. Fish Biol, 1993,42:509-516.
- [14] 张永忠,徐永江,柳学周,等. 圆斑星鲽精子的超微结构及核前区特殊结构 [J]. 动物学报, 2004,50(4):630-637.
- [15] 王宏田,徐永立,张培军. 牙鲆精子的超显微结构 [J]. 海洋科学, 1999,23(6):5-7.
- [16] Wu Y Y, Liu X Z, Wang Q Y. Studies on the ultrastructure of spermiogenesis and spermatozoon of tongue fish, *Cynoglossus semilaevis gunther* [J]. Aquac Res, 2008,39:1467-1474.
- [17] 洪万树,翁幼竹,林君卓,等. 鲷鱼精子发生和形成的超微结构研究 [J]. 海洋学报. 2001,23(5):116-122.
- [18] 尤永隆,林丹军. 黄颡鱼(*Pseudobagrus fulvisraco*)精子的超微结构 [J]. 实验生物学报, 1996,29(3):235-245.
- [19] Quagio G I, Negrao J N C, Carvaliio E D, et al. Ultrastructure of spermatogenic and spermatozoa in *Hoplias malabaricus* (Teleostei, Characiformes, Erythrinidae) [J]. J Fish Biol, 2001,59:1494-1502.
- [20] 康现江,梁春光,郭明申,等. 半滑舌鳎精子发生和精子形成的超微结构 [J]. 动物学报, 2008,54(2):356-365.
- [21] 周丽,陈永强,魏刚,等. 短尾鮠精子发生的超微结构研究 [J]. 西南师范大学学报, 2005,30(6):1105-1111.
- [22] Zirki B R. The ultrastructure of nuclear differentiation during spermatogenesis in the salmon [J]. J Ultrastr Res, 1975,50:174-184.
- [23] Brusle S. Ultrastructure of spermiogenesis in *Liza aurata* Risso [J]. Cell Tissue Res, 1981,217:415-424.
- [24] Grier H J. Sperm development in the teleost *Oryzias latipes* [J]. Cell

- Tissue Res, 1976, 168 : 419–431.
- [25] 林丹军, 尤永隆. 褐菖鲉精细胞晚期的变化及精子结构的研究[J]. 动物学研究, 1998, 19 (15) : 359–366.
- [26] 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, 9 (6) : 123–129.
- [27] Thielley M, Weppe M, Herbaut C. Ultrastructural study of gametogenesis in the french polynesian black pearl oyster *Pinctada margaritifera* (Mollusca, Bivalvia) [J]. J Shell fish Res, 1993, 12 : 41–47.
- [28] 方展强. 尼罗罗非鱼精子发生的超微结构研究[J]. 华南师范大学学报, 1993, (1) : 68–74.
- [29] 尤永隆, 林丹军. 尼罗罗非鱼精子形成中核内囊泡的释放[J]. 动物学报, 1998, 44 (3) : 257–263.
- [30] Poirier G R, Nicholson N. Fine structure of the testicular spermatozoa from the channel catfish, *Ictalurus punctatus* [J]. J Ultrastruct Res, 1982, 80: 04–110.

Ultrastructure of anterior vesicle and pit of sperm nucleus during spermiogenesis in Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*

ZHANG Shi-kui^{1,2}, LIU Hai-jin², HOU Ji-lun³

(1.Ocean University of Shanghai, Shanghai 200090, China; 2.Chinese Academy of Fishery Sciences, Beijing 100141, China; 3. Northeast Agriculture University, Heilongjiang 150030, China)

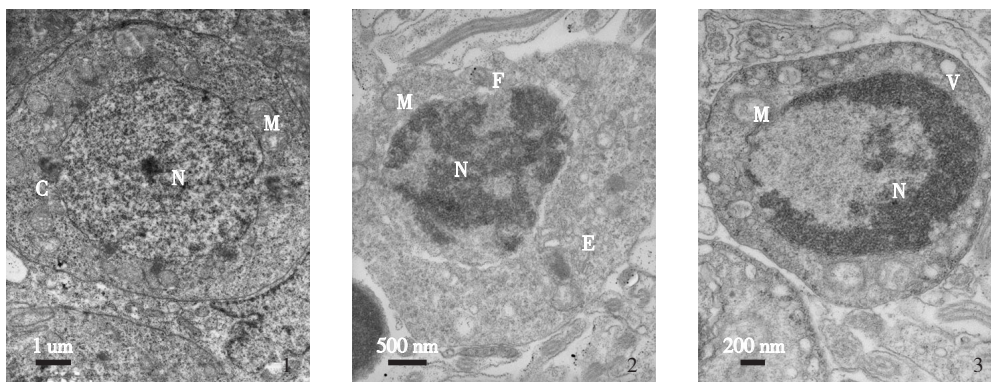
Abstract: Ultrastructure of sperm cell during spermiogenesis, especially in anterior vesicle and pit of nucleus, were investigated by using scanning and transmission electron microscopy of Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. The results showed that the spermiogenesis of *P. olivaceus* had five phases, which included flagellum development (phase I), diplosome migration (phase II), nucleus rotation (phase III), anterior pit of nucleus formation (phase IV) and disappearance of residual cytoplasm (phase V). Acrosome was not observed during spermiogenesis of *P. olivaceus*, but an anterior pit of nucleus was discovered which might be formed during release of nuclear materials. The condensation of nucleus chromatin of Japanese flounder was started at nuclear fossa. Material with low electron density in spermatozoon cell nucleus which did not contribute to nuclear condensation would be transferred into vesicles with single-layer membrane by budding. Then a large region of the nucleus with low electron density emerged at the front of nucleus. Later, the nuclear anterior pit was formed after exocytosis of single-layer membrane vesicles. However, vesicles which had not been completely released could often be observed in anterior pit of nucleus. [Journal of Fishery Sciences of China, 2009, 16 (5): 689–696]

Key words: *Paralichthys olivaceus*; spermiogenesis; anterior vesicle; nuclear anterior pit; ultrastructure

Corresponding author: LIU Hai-jin. E-mail: liuhaijin2005@126.com

张世奎等：牙鲆精子形成及核前区特殊结构的超微观察

ZHANG Shi-kui et al: Ultrastructure of anterior vesicle and pit of nucleus during spermiogenesis in Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*



图版 I I 期精子细胞

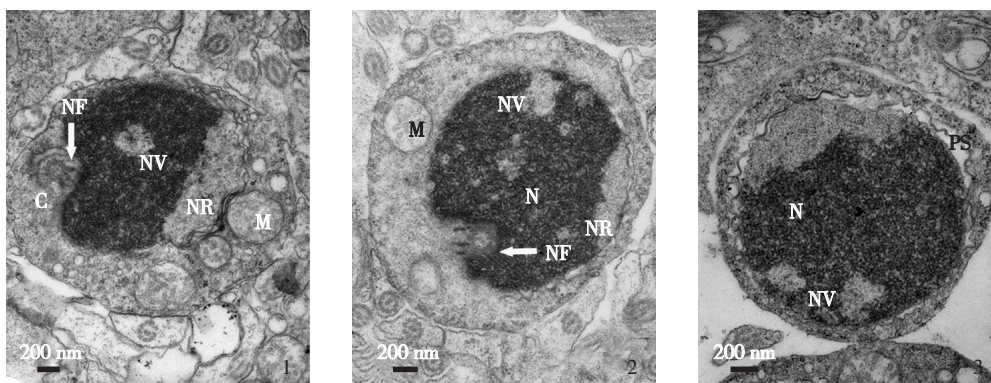
1. 初期的精子细胞,胞质和胞核未发生明显形态变化,中心粒在细胞核附近;2. 鞭毛形成,染色质弥散状;3. 染色质边缘化凝集于核膜下形成环状。

C: 中心粒复合体;E: 内质网;F: 鞭毛;M: 线粒体;N: 细胞核

Plate I Spermatids of stage I

1. Spermatid of *Paralichthys olivaceus* at early stage. The cytoplasm and chromatin are in normal condition, and the centrosome is near the nucleus. 2. Formation of flagellum. Chromatin becomes to loose. 3. Chromatin condenses along the inner edge of nucleus and the framework of nucleus becomes circularity.

C: centriolar complex; E: endoplasmic reticulum; F: flagellum; M: mitochondrion; N: nucleus.



图版 II II 期精子细胞

1. 中心粒复合体靠近细胞核;2. 核隐窝形成;3. 波浪状核膜间隙。

C: 中心粒复合体;M: 线粒体;N: 细胞核;NF: 核隐窝;NR: 核前低电子密度区域;NV: 核泡;PS: 核膜间隙。

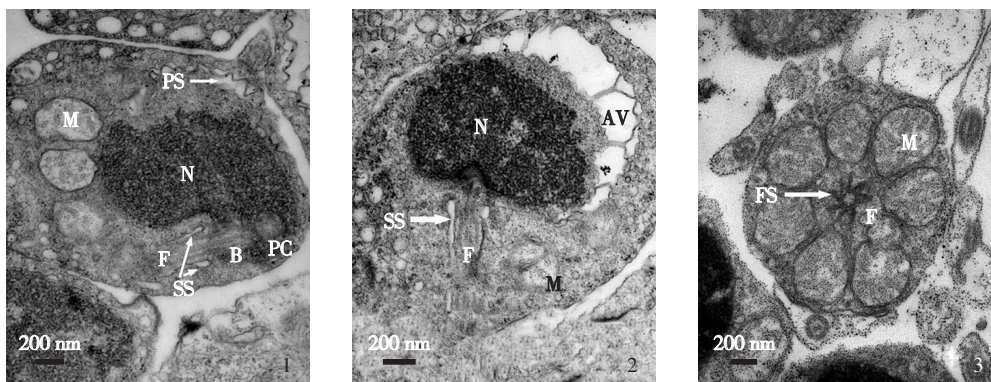
Plate II Spermatids of stage II

1. Centriolar complex approaches nucleus. 2. Centriolar complex moves deeper into the nucleus and nuclear fossa forms at the margin. 3. Perinuclear space expands as wailness. The cytoplasm is symmetrically distributed around the round nucleus.

C: centriolar complex; M: mitochondrion; N: nucleus; NF: nuclear fossa; NR: nucleus, anterior region with low electron density; NV: nuclear vacuole; PS: perinuclear space.

张世奎等：牙鲆精子形成及核前区特殊结构的超微观察

ZHANG Shi-kui et al: Ultrastructure of anterior vesicle and pit of nucleus during spermiogenesis in Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*



图版Ⅲ Ⅲ期精子细胞

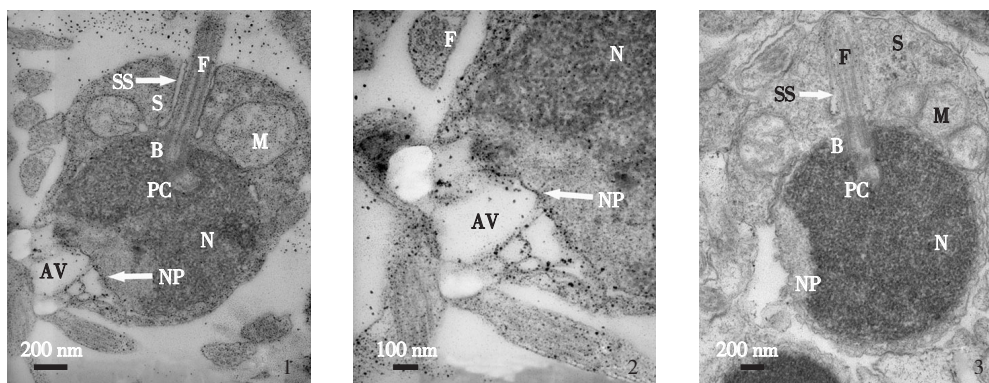
1. 胞核旋转, 细胞质移动; 2. 袖套腔形成, 核前出芽为低电子密度物质的单层界膜囊泡; 3. 鞭毛周围有鞭毛卫星体分布 (箭头)。

AV: 核前囊泡; B: 基体; F: 鞭毛; FS: 鞭毛卫星体; M: 线粒体; N: 细胞核; PC: 近端中心粒; PS: 核膜间隙; SS: 袖套腔。

Plate III Spermatids of stage III

1. Cytoplasm begins to migrate around flagellum, while cell nucleus starts to rotate. 2. Central space of the sleeve (arrow) comes into being, and the budding monolayer membrane vesicles has been shown in front of the nucleus. 3. Flagellar satellite complex around the flagellum (arrow).

AV: anterior vesicle; B: basal body; F: flagellum; FS: flagellar satellite complex; M: mitochondrion; N: nucleus; PC: proximal centriole; PS: perinuclear space; SS: central space of the sleeve.



图版Ⅳ Ⅳ期精子细胞

1. 精子胞核正在释放核前单层界膜的囊泡; 2. 释放中的囊泡; 3. 核前凹陷形成。

AV: 核前囊泡; B: 基体; F: 鞭毛; M: 线粒体; N: 细胞核; NP: 核前凹陷; PC: 近端中心粒; S: 袖套; SS: 袖套腔。

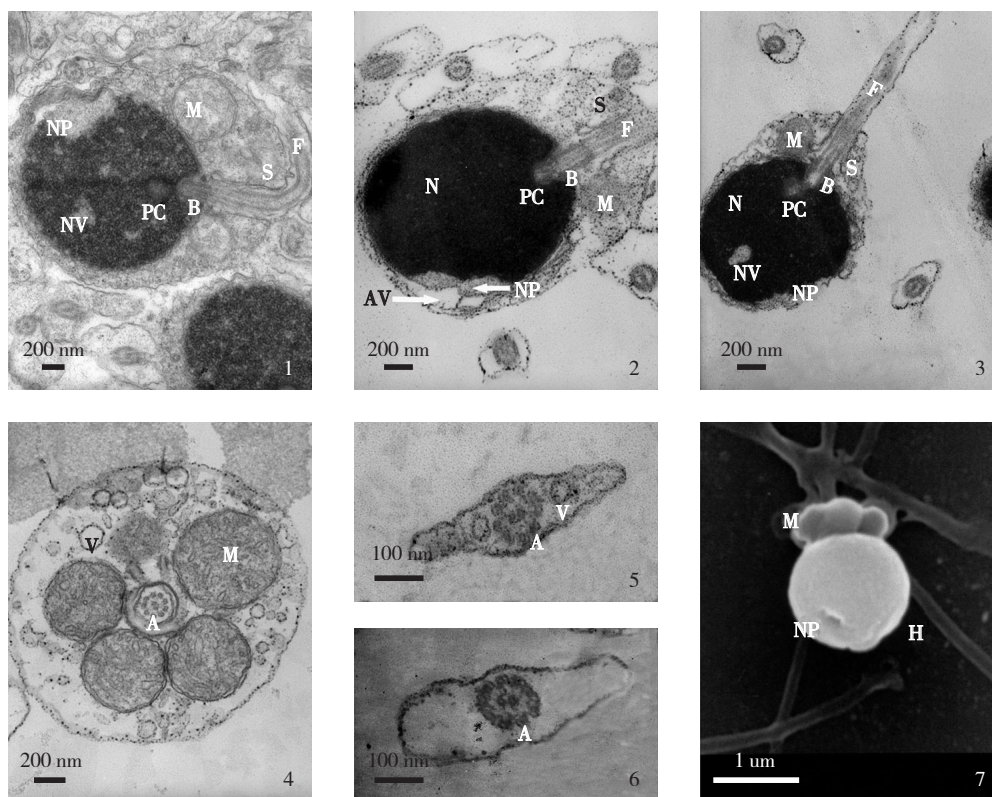
Plate IV Spermatids of stage IV

1. Monolayer membrane vesicles are being released from the spermatid by budding. 2. Vesicles leaving the spermatid. 3. Nucleus anterior pit comes into being.

AV: anterior vesicle; B: basal body; F: flagellum; M: mitochondrion; N: nucleus; NP: nucleus anterior pit; PC: proximal centriole; S: sleeve; SS: central space of the sleeve.

张世奎等：牙鲆精子形成及核前区特殊结构的超微观察

ZHANG Shi-kui et al: Ultrastructure of anterior vesicle and pit of nucleus during spermiogenesis in Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*



图版V V期精子细胞

1. 浓缩为粗颗粒状的染色质; 2. 高度浓缩的染色质; 3. 核前凹陷明显的精子整体结构; 4. 鞭毛卫星体消失后的中片横切面; 5. 存在液泡的鞭毛横切面; 6. 不存在液泡的鞭毛横切面; 7. 扫描电镜下存在核前凹陷的精子头部结构.

A: 轴丝; AV: 核前囊泡; B: 基体; F: 鞭毛; H: 精子头部; LF: 侧鳍; M: 线粒体; N: 细胞核; NP: 核前凹陷; NV: 核泡; PC: 近端中心粒; S: 袖套; SS: 袖套腔; V: 液泡.

Plate V Spermatids of stage V

1. Chromatin is further condensed to coarse granules. 2. Highly compacted chromatin. 3. Anterior pit of nucleus. 4. Flagellar satellite complex disappears. 5-6. Transverse section of the flagellum showing the "9+2" axoneme, lateral fins and vesicles. 7. Nucleus anterior pit on the head of spermatozoa under scanning transmission electron microscopy.

A: axoneme; AV: anterior vesicle; B: basal body; F: flagellum; H: the head of spermatozoa; LF: lateral fin; M: mitochondrion; N: nucleus; NP: nucleus anterior pit; NV: nuclear vacuole; PC: proximal centriole; S: sleeve; SS: central space of the sleeve; V: vacuole.