

文章编号: 1674-5566(2009)03-0275-07

## 纹缟虾虎鱼精子的主要生物学特性

黄晓荣<sup>1,2</sup>, 庄平<sup>1,2,3</sup>, 章龙珍<sup>1,2,3</sup>, 闫文罡<sup>1,2</sup>, 江琪<sup>1,2</sup>,  
陈丽慧<sup>1,3</sup>, 冯广朋<sup>1,2</sup>, 张涛<sup>1</sup>, 赵峰<sup>1,2</sup>

(1 中国水产科学研究院东海水产研究所农业部海洋与河口渔业重点开放实验室, 上海 200090)

2 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306 3 大连水产学院生命科学与技术学院, 辽宁 大连 116023)

**摘要:** 选取健康成熟的纹缟虾虎鱼 (*Tridentiger trigonocephalus*) 进行人工采精, 设定不同的盐度和温度梯度, 观察其对精子活力及寿命的影响。测定了精子的大小、密度, 并观察了精子的超微结构。结果表明, 随着盐度和温度的上升, 精子的活力和寿命都先增加后降低, 在盐度 5 和温度 19 °C 时, 精子的活力和寿命分别达到最高。测得精子密度为  $(1.73 \times 10^9 \pm 0.08 \times 10^9) / \text{ml}$ , 细胞核长为  $(0.98 \pm 0.12) \mu\text{m}$ ; 短径为  $(0.81 \pm 0.08) \mu\text{m}$ ; 鞭毛的长度为  $(7.28 \pm 1.06) \mu\text{m}$ 。电镜结果表明: 纹缟虾虎鱼精子由头部和尾部(鞭毛)二部分组成, 头部的细胞核近圆形, 内有核空泡。精子细胞质膜与核膜间有较大间隙, 两者之间分布有细胞质和线粒体。中心粒复合体位于植入窝中, 由近端中心粒和基体两部分组成。袖套位于核后端, 呈一筒状, 两侧不对称, 袖套腔较为狭窄, 两侧分布有线粒体和少量囊泡。鞭毛的核心结构是轴丝, 轴丝为典型的“9+2”结构, 从轴丝的横切面观察到轴丝外面的质膜呈不规则分布。

**关键词:** 纹缟虾虎鱼; 精子活力; 超微结构; 中心粒复合体; “9+2”微管结构  
**中图分类号:** S917 **文献标识码:** A

## Studies on main biological characteristics of *Tridentiger trigonocephalus* sperm

HUANG Xiaorong<sup>2</sup>, ZHUANG Ping<sup>2,3</sup>, ZHANG Longzhen<sup>2,3</sup>, YAN Wengang<sup>2</sup>,  
JIANG Qi<sup>2</sup>, CHEN Lihui<sup>3</sup>, FENG Guangpeng<sup>2</sup>, ZHANG Tao<sup>1</sup>, ZHAO Feng<sup>2</sup>

(1. Key and Open Laboratory of Marine and Estuarine Fisheries, Ministry of Agriculture,  
East China Sea Fisheries Research Institute, Shanghai 200090, China)

2. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

3. College of Aquaculture Science and Technology, Dalian Fisheries University, Dalian 116023, China)

**Abstract:** Healthy male *Tridentiger trigonocephalus* were selected and their sperm were collected. The effects of salinity and temperature on the motility and longevity of spermatozoa were studied. The density and size of the sperm were also measured and the ultrastructure of the spermatozoa was observed. The results showed when salinity and temperature rose, the spermatozoa motility and longevity first increased then dropped. At the

收稿日期: 2008-09-28

基金项目: 国家科技基础条件平台(2006DKA30470-004); 国家自然科学基金(NSFC30490230WP4-003); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(2007T02); 上海市高校水产养殖学 E-研究院建设项目(E03009); 上海市长江口中华鲟自然保护区科研专项

作者简介: 黄晓荣(1978-), 女, 湖北应城人, 助理研究员, 在读博士, 从事鱼类生理及低温生物学研究。Tel: 021-65807898  
Email: hx828@126.com

通讯作者: 庄平, Email: pzhuang@online.sh.cn

salinity 5 and at the temperature 19 °C, the sperm had the best motility and longest life respectively. Average density of the spermatozoa was  $1.73 \times 10^9 \pm 0.08 \times 10^9$  /mL. Long diameter of karyon was  $(0.98 \pm 0.12) \mu\text{m}$  and short diameter was  $(0.81 \pm 0.08) \mu\text{m}$ . Flagellum length was  $(7.28 \pm 1.06) \mu\text{m}$ . Ultrastructure showed that the sperm of *Tridentiger trigonocephalus* consisted of two parts: head and flagellum. The spermic head was almost round in shape. Within condensed chromatin there are some less dense areas called nuclear vacuoles. The space between the membrane of the nucleus and cytoplasm was relatively large, in the space there were some cytoplasm and mitochondria. The centriolar complex was inside implantation fossa and consisted of proximal centriole and basal body. The proximal centriole and basal body were located on the upside and underside of the implantation fossa respectively. The sleeve was located in the back end of the nucleus, and the two wings of the sleeve were asymmetry. The central space of sleeve was incommodious, and there were some mitochondria and vesicle on the two sides. The central structure of the tail was axoneme, and the axoneme formed a typical 9+2 pattern. A cross section of the axoneme showed the cytoplasm membrane outside the axoneme was irregular.

**Key words:** *Tridentiger trigonocephalus*; sperm motility; ultrastructure; proximal centriole; 9+2 canalculus structure

纹缟虾虎鱼 (*Tridentiger trigonocephalus*) 属鲈形目 (Perciformes)、虾虎鱼科 (Gobiidae)、缟虾虎鱼属 (*Tridentiger*)。为沿岸底栖性鱼类, 主要分布于亚洲东北部的太平洋沿岸, 在我国主要见于黄渤海、东海、南海和台湾海峡等水域, 是长江口浅滩咸淡水水域常见的一种小型鱼类<sup>[1-2]</sup>。虾虎鱼是长江口广泛分布的优势种, 由于它摄食底栖生物, 同时又是许多经济鱼类的饵料生物, 在食物链中处于重要地位; 长江口虾虎鱼又是国家一级重点保护动物——中华鲟幼鱼 5月到 9月的主要饵料生物<sup>[3]</sup>, 此阶段虾虎鱼的丰欠直接影响到当年降海洄游中华鲟幼鱼成活率的高低, 对保护中华鲟具有重大意义。国内外有关虾虎鱼的报道主要集中于生物学<sup>[4-6]</sup>和分子生物学<sup>[7-8]</sup>等研究, 精子的生物学特性尚未见报道。笔者在开展纹缟虾虎鱼人工繁殖的基础上, 观察了精子的基本生物学特性, 旨在完善纹缟虾虎鱼的生殖生物学资料, 为纹缟虾虎鱼的人工繁殖和开展增殖放流提供一定的依据和参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料来源

2007年 4月从上海崇明岛收集野生的纹缟虾虎鱼数百尾, 从中挑选出健康正常, 发育成熟的雄性亲本 40余尾 [体长  $(76.47 \pm 7.12) \text{mm}$ ; 体重  $(9.04 \pm 3.48) \text{g}$ ], 一部分用来进行人工繁殖, 另一部分用作实验鱼。所有亲本均暂养于本实验室长方形的水泥池中, 循环水过滤, 增氧泵充氧。选取其中 10尾鱼的精子作为实验材料。

### 1.2 采精及样品制备

用干毛巾擦干鱼体生殖孔周围的水分, 解剖后取出成熟的精巢, 放入培养皿中, 培养皿置于有冰块的冰瓶中, 用解剖针沾取完全游离的精子立即进行活力观察。取部分游离的精子样品用 2.5%的戊二醛 (PH 7.4) 固定。

#### 1.2.1 光镜样品的制备

取少量的精子做精子涂片, 每尾鱼做 5张涂片, 涂片经吉姆莎和瑞氏复合染液染色, NIKON TE 2000倒置显微镜下观察、拍照并对精子的大小进行测量。同时, 将游离精子分别稀释 100倍、1 000倍、2 000倍, 用平板计数法测量精子的密度。

### 1.2.2 透射电镜样品的制备

将固定的精子经 3 000 r/min 离心 5 min 弃上清液, 再加等量 2.5% 的戊二醛。30 min 后将沉淀从离心管中剥离出来, 置 2.5% 的戊二醛中, 保存在 4 °C 下备用。样品经 PBS 液漂洗 3 次后, 用 2% 的锇酸固定, 各级酒精梯度脱水, Epon812 树脂包埋, ULTRACUTE 超薄切片机切片, 厚度为 70~80 nm。样本经醋酸铀和柠檬酸铅染色, 置 HITACHI H-600 型透射电镜观察并拍照。

### 1.2.3 扫描电镜样品的制备

将样品用 2.5% 的戊二醛固定 (1.5 h) 以上, pH 7.4 的 PBS 液漂洗 3 次, 1% 的锇酸固定 1.5 h, PBS 液洗一次, 梯度酒精脱水, 醋酸异戊酯过渡, 自然干燥, JEOL-6380 LV 扫描电镜观察。

## 1.3 精子活力观察

用蒸馏水和海水晶 (广东徐闻盐场产品) 调节水体的盐度, 设置盐度梯度为 0、5、10、15、20、25、28。激活精子的溶液温度在 18.2~18.6 °C。将小烧杯中的激活溶液 (盐度为 5) 置于不同温度的恒温箱中, 设置温度梯度为 17、19、21、23、25 °C。

用解剖针蘸取少量的精子到载玻片上, 放在显微镜下, 用滴管分别取不同盐度和温度的溶液, 滴加在精子上, 用针头搅散, 同时开始计时, 显微镜下观察精子运动情况, 活力指标分为活力: 给定视野中被激活的精子数量占全部精子数量的百分比; 寿命: 精子自激活开始到 90% 以上精子停止运动。取 10 尾成熟纹缟虾虎鱼的精子进行试验, 每个处理重复 3 次, 结果取平均值。

## 1.4 数据处理与分析

试验数据通过 STATISTICA (Version 6.0) 统计软件进行分析处理。

# 2 结果

## 2.1 精子活力的观察

### 2.1.1 盐度对精子活力的影响

由图 1 可见, 淡水也可以激活纹缟虾虎鱼精子, 当盐度增加到 5 时, 精子的活力最好, 平均可达到 80% 左右, 此后随着盐度的上升, 精子的活力逐渐下降, 当盐度达到 28 时, 精子的活力降至 30% 左右。

由图 2 可见, 用淡水激活精子后, 精子的平均寿命达到 1 440 s 左右, 当盐度增加到 5 时, 精子的寿命最长, 平均可达到 1 550 s, 此后随着盐度的继续上升, 精子的寿命逐渐下降, 当盐度达到 28 时, 精子的寿命降至 1 200 s 左右。

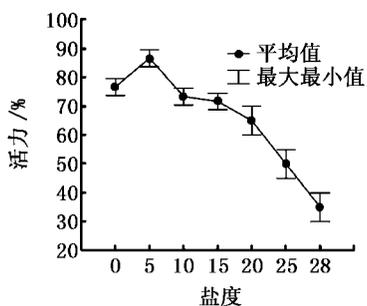


图 1 盐度对精子活力的影响  
Fig 1 Effects of salinity on the motility of spermatozoa

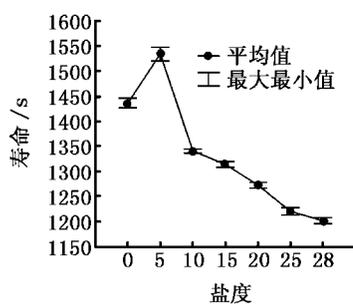


图 2 盐度对精子寿命的影响  
Fig 2 Effects of salinity on the longevity of spermatozoa

### 2.1.2 温度对精子活力的影响

由图 3 可见, 随着激活溶液温度的升高, 纹缟虾虎鱼精子的活力呈逐渐下降的趋势。当水温在 19 °C 时, 精子的活力最好, 平均可达到 70% 左右, 此后随着温度的继续上升, 精子的活力逐渐下降, 当温

度升至 25 °C 时,精子的活力降到 30% 左右。

由图 4 可见,随着激活溶液温度的升高,纹缟虾虎鱼精子的寿命呈逐渐下降的趋势。当水温在 19 °C 时,精子的寿命最长,平均可达到 1 500 s 以上,此后随着温度的继续上升,精子的寿命逐渐下降,当温度升至 25 °C 时,精子的寿命降至 500 s 左右。

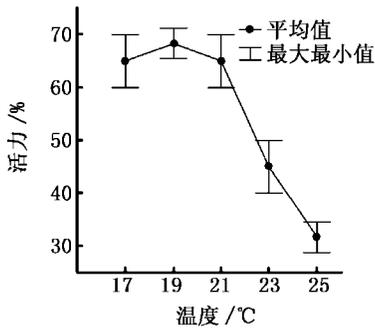


图 3 温度对精子活力的影响

Fig 3 Effects of temperature on the motility of spermatozoa

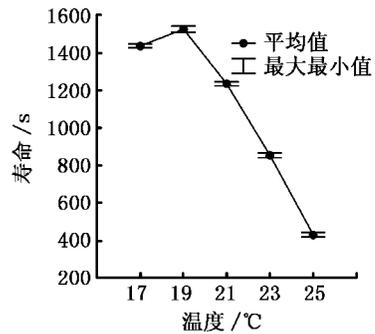


图 4 温度对精子寿命的影响

Fig 4 Effects of temperature on the longevity of spermatozoa

## 2.2 精子的大小及密度

光镜下观察到纹缟虾虎鱼精子由头部和尾部组成,头部细胞核呈圆形或卵圆形,尾部细长。测量了 100 个精子,细胞核的平均长径为  $(0.98 \pm 0.12) \mu\text{m}$ ,平均短径为  $(0.81 \pm 0.08) \mu\text{m}$ ,平均鞭毛长为  $(7.28 \pm 1.06) \mu\text{m}$ ,头部平均体积为  $(2.74 \pm 0.73) \mu\text{m}^3$ 。通过平板计数法测得精子平均密度为  $(1.73 \times 10^9 \pm 0.08 \times 10^9) / \text{mL}$ 。

## 2.3 精子的超微结构

纹缟虾虎鱼精子由头部和尾部(鞭毛)两部分组成(图版-1, 2)。头部可以观察到细胞核、中心粒复合体、线粒体和袖套等。尾部结构简单而细长,由轴丝组成。

### 2.3.1 头部结构

纹缟虾虎鱼精子头部的顶端无顶体。中心粒复合体位于细胞核底端向中凹陷的植入窝内,线粒体和袖套位于细胞核的下端(图版-3, 4)。

### 2.3.2 细胞核

精子头部的主要结构是细胞核,精子细胞核呈圆形或近似圆形,细胞核很大,几乎占据了头部的整个空间。核膜单层,核膜与质膜的表面并不平整,呈波浪状(图版-6)。精子质膜与核膜中间有较大空隙存在,两者之间有较多细胞质和线粒体(图版-4)。细胞核中可见核空泡存在(图版-5)。细胞核前端无顶体,细胞核后端有一较浅的凹痕,称为植入窝,是中心粒复合体存在的位置。

### 2.3.3 中心粒复合体

中心粒复合体包括近端中心粒和基体 2 部分。近端中心粒位于沟状植入窝的上段,基体位于植入窝的后半段,鞭毛的顶端(图版-2)。

### 2.3.4 袖套

袖套位于核后端,呈一筒状,两侧不对称,围绕轴丝形成的空腔称为袖套腔,袖套腔较为狭窄,根据位置可将袖套的质膜分为袖套内膜和袖套外膜,袖套内膜位于袖套腔一侧,袖套外膜在袖套的另一侧,两者在袖套的下缘相连续。袖套腔的中间是轴丝的起始端,袖套腔两侧分布有线粒体和囊泡(图版-2, 3, 4)。

### 2.3.5 尾部结构

精子的尾部有一条细长的鞭毛, 尾部的起始端位于袖套腔中, 轴丝的起始端与基体尾部相连, 位于植入窝下段。鞭毛的核心结构是轴丝, 在细胞质膜与轴丝之间分布有小的细胞质颗粒(图版-8), 在尾部的横切面上, 未观察到轴丝两侧的侧鳍结构, 轴丝为典型的“9+2”结构(图版-7)。从轴丝的横切面观察到轴丝外面的质膜呈不规则分布。

## 3 讨论

### 3.1 纹缟虾虎鱼精子活力

鱼类的精子在精巢和精原液中几乎是不活动的, 只有被释放到体外, 处于水环境中才被激活, 海水鱼类的精子在高渗透压溶液中运动, 活动能力最强时的环境渗透压高于精子本身的渗透压, 淡水鱼类的精子在低渗透压溶液中运动<sup>[9]</sup>。鱼类精子活力受渗透压、pH无机离子、有机物等多种因子的调节, 不同的鱼有不同的调节方式<sup>[10]</sup>。从鱼类精子的适盐性与环境盐度的关系来看, 鱼类精子激活所需的最低盐度与其所需的最低栖息盐度相关, 二者呈现相似的变化规律, 而精子活动所需的最适盐度则与该种类的繁殖盐度密切相关<sup>[11]</sup>。本研究中, 淡水和盐度 28 的海水都能激活精子, 说明纹缟虾虎鱼对盐度的耐受力较强, 既不同于一般海水鱼类, 也不同于淡水鱼类。纹缟虾虎鱼栖息于长江口浅滩咸淡水水域<sup>[1]</sup>, 从本研究的结果可以推测, 纹缟虾虎鱼应该属于一种广盐性鱼类, 可以在较高盐度的水体中生存繁殖, 但最适盐度在 5 左右, 这也与其在长江口的生态特征基本相符合。

温度对精子活力的影响较为复杂。有学者认为, 温度与精子快速运动时间的关系是一个开口向下的二次曲线函数关系<sup>[12]</sup>; 而另外一些学者认为, 高温可促进精子运动, 低温抑制精子运动, 但低温条件下精子消耗的 ATP 减少, 降低精子能量消耗, 因此低温下精子的运动时间延长<sup>[13]</sup>。本研究表明, 19 °C 时, 纹缟虾虎鱼精子的活力和寿命都最高, 在这一温度的两侧, 无论升温或降温, 纹缟虾虎鱼精子活力均呈下降趋势, 温度越高, 精子活力和寿命下降越快, 表明高温可能抑制精子的活力, 缩短精子寿命。自然条件下, 纹缟虾虎鱼在 4—5 月份开始繁殖, 此阶段长江口水域的水温也在 18~20 °C, 因此纹缟虾虎鱼精子的这一特性与其在自然环境中的生态特征相一致。

### 3.2 纹缟虾虎鱼精子超微结构

硬骨鱼种类繁多, 约有 21 000 多种, 其受精方式有体内受精和体外受精两大类, 体内受精硬骨鱼的精子结构较为复杂<sup>[14]</sup>, 而体外受精硬骨鱼类的精子结构则较为简单, 纹缟虾虎鱼的精子受精方式属于后者。

#### 3.2.1 细胞核

硬骨鱼类精子头部的主要结构为细胞核, 体外受精类型的精子头部形态多为近似圆形, 而体内受精类型的精子头部较长<sup>[15-16]</sup>。纹缟虾虎鱼精子头部细胞核可见核空泡, 其它一些鱼类如斜带石斑鱼 (*Epinephelus coioides*)、平鲷 (*Rhabdosargus sarba*)、大黄鱼 (*Pseudosciaena crocea*)、鲤 (*Cyprinus carpio*) 等精子头部的细胞核中也有类似结构<sup>[17-20]</sup>。Poirie 等<sup>[21]</sup>认为这是由于核质部分高度凝聚的结果。尤永隆等<sup>[22]</sup>认为这种结构并非核泡, 而是浓缩的染色质中的空隙, 原因是周围无膜存在。另外, 纹缟虾虎鱼精子的核膜和质膜之间有较大的空隙, 两者之间有细胞质、线粒体和少量囊泡, 与斜带石斑鱼<sup>[17]</sup>精子类似, 不像鲤<sup>[20]</sup>、草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*)、兴国红鲤 (*Cyprinus carpio var. singuonensis*)<sup>[22]</sup>那样核膜和质膜之间紧贴, 也不象金鱼精子核膜和质膜之间存在着许多液泡<sup>[23]</sup>, 这和其他鱼类精子结构有明显的区别。林光华等<sup>[22]</sup>观察革胡子鲶 (*Carias kareza*) 精子头部核后端也有较为丰富的细胞质。硬骨鱼精子头部核膜与质膜间空间的大小及细胞质的多少有何生理意义尚待进一步研究。

#### 3.2.2 植入窝及中心粒复合体

纹缟虾虎鱼精子植入窝是细胞核低端向中间凹陷形成的一深沟状, 植入窝的长轴与细胞核的长轴平行。近端中心粒与基体相互对应于植入窝中。不同于鲤精子的植入窝, 鲤精子的植入窝位于细胞核

的一侧<sup>[20]</sup>,也不同于大黄鱼精子的植入窝,大黄鱼精子的植入窝位于细胞核背面<sup>[19]</sup>,而与日本鳗鲡(*Anguilla japonica*)、平鲷和黄颡鱼(*Pseudobagrus fulvidraco*)精子的植入窝极为相似<sup>[18,24-25]</sup>。这三种鱼类精子的植入窝都是从核的后端向前端陷入核中形成一“井”状,但与这三种鱼相比,纹缟虾虎鱼精子的植入窝较浅,与斜带石斑鱼<sup>[17]</sup>相似。

与绝大多数硬骨鱼一样,纹缟虾虎鱼精子的中心粒复合体包括近端中心粒和基体。褐菖鲉(*Sebastes marmoratus*)精子的中心粒复合体仅由基体和基体帽组成<sup>[26]</sup>。平鲷精子的近端中心粒和基体之间还存在着另一结构,即中心粒间体<sup>[18]</sup>。在近端中心粒和基体的排列方式上,纹缟虾虎鱼精子两者的排列呈“T”字型,与平鲷<sup>[18]</sup>、大黄鱼<sup>[19]</sup>等相似,不同于斜带石斑鱼<sup>[17]</sup>和黄颡鱼<sup>[25]</sup>,其中斜带石斑鱼精子的近端中心粒和基体呈“>”形排列<sup>[17]</sup>,黄颡鱼精子的近端中心粒和基体排列在同一直线上,呈现“—”字形<sup>[25]</sup>。中心粒复合体的有无及排列方式可能是种的分类特征之一,这也有待于更进一步研究。

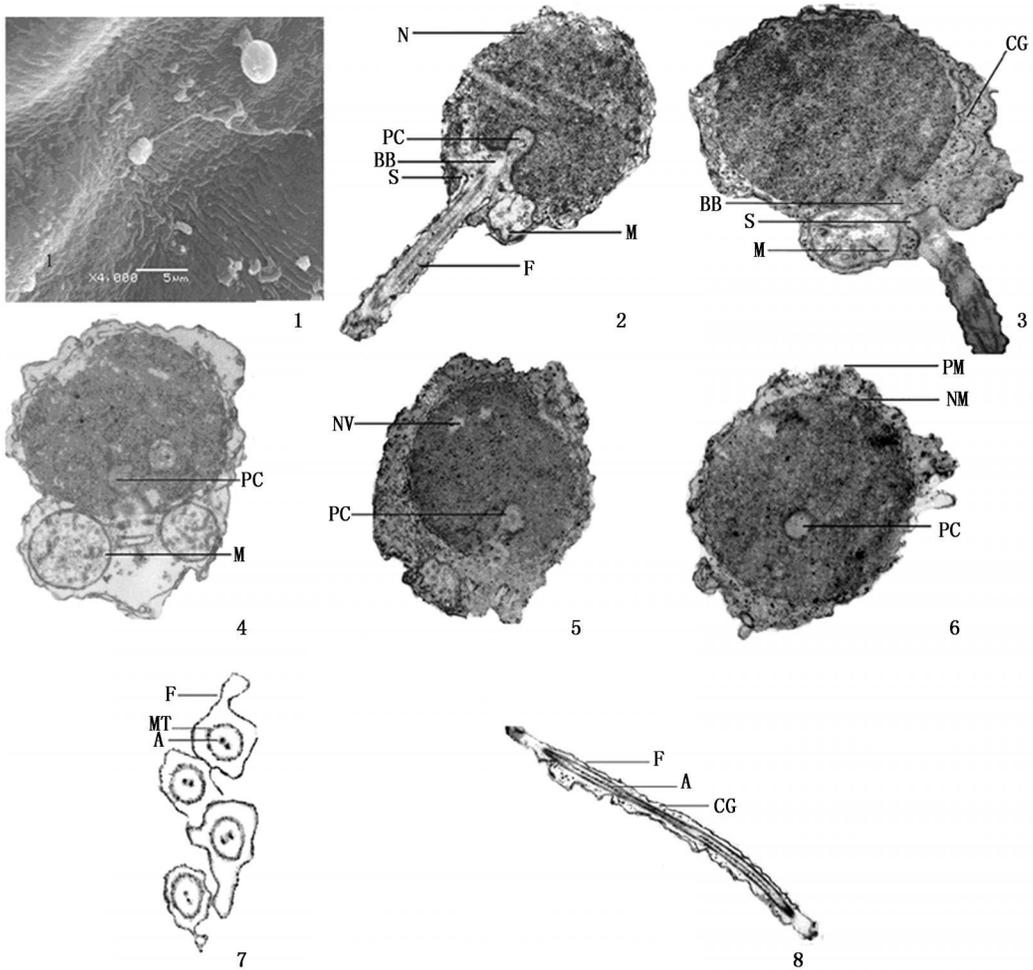
### 3.3 精子的袖套及尾部结构

硬骨鱼精子细胞核紧接着的袖套呈圆筒状结构。一般硬骨鱼类的袖套腔较大,但纹缟虾虎鱼精子的袖套腔较为狭窄,袖套较为宽厚,线粒体呈环行排列。袖套外膜一侧与线粒体膜紧贴,而另一侧线粒体与袖套外膜之间有较大的空隙,在线粒体之间往往有囊泡分布,内无电子致密物质。纹缟虾虎鱼精子袖套的这种结构与平鲷精子结构极为相似<sup>[18]</sup>。纹缟虾虎鱼精子尾部的主要结构是轴丝,为典型的“9+2”结构,与大多数鱼类相同。轴丝起始段有中央微管对结构,与斜带石斑鱼相似<sup>[17]</sup>,不同于大黄鱼<sup>[19]</sup>、红鳍东方鲀(*Fugu rubripes*)<sup>[27]</sup>。此外,纹缟虾虎鱼精子的细胞质膜与袖套膜相连,尾部除轴丝外,未发现其它明显结构,不存在如平鲷<sup>[18]</sup>、红鳍东方鲀<sup>[27]</sup>等精子尾部的侧鳍结构,也没有大黄鱼精子尾部的篓状结构<sup>[19]</sup>。

### 参考文献:

- [1] 庄平,王幼槐,李圣法,等.长江口鱼类[M].上海:上海科学技术出版社,2006:216-217
- [2] 刘蝉馨.纹缟虾虎鱼的生物学和生态学[J].水产科学,1985,4(4):13-17
- [3] 毛翠凤,庄平,刘健,等.长江口中华鲟幼鱼的生长特性[J].海洋渔业,2005,27(3):177-180
- [4] Seok N K, Huh S H, David W. Partitioning of food resources among *Sillago japonica*, *Diplodus serra* and *Tridentiger trigonocentrus* Hippocampus japonicus and *Petrosites brevicauda* in an eelgrass, *Zostera marina* bed[J]. Environmental Biology of Fishes, 2004, 71: 353-364
- [5] 赵斌,范丽萍,王建.矛尾复虾虎鱼生物学繁殖技术初报[J].渔业现代化,2005,(6):26-27
- [6] Brett J. Breeding and fecundity of the endemic Australian eelgrass, sleepy cod *Oxyeleotris lineolata* [J]. Aquaculture, 2004, 236: 241-252
- [7] 毛连菊,杨良滨,秦克静.两种虾虎鱼染色体核形的研究[J].大连水产学院学报,1993,8(1):1-6
- [8] Izuru K. The role of non-protein nitrogenous compounds in osmotic regulation of *Tridentiger obscurus* and *T. brevispinis* [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology, 1988, 90(1):109-113
- [9] 苏锦祥.鱼类学与海水养殖[M].北京:农业出版社,1979:307-323
- [10] 邓岳松,林浩然.鱼类精子活力研究进展[J].生命科学研究,2000,(1):1-8
- [11] 江世贵,李加儿,区又君,等.四种鲷科鱼类的精子激活条件与其生态习性的关系[J].生态学报,2000,20(3):468-473
- [12] 潘德博,许淑英,叶星,等.广东鲂精子主要生物学特性的研究[J].中国水产科学,1999,6(4):111-113
- [13] Billard R, Cosson M P. Some problems related to the assessment of sperm motility in freshwater [J]. J Exp Biol, 1992, 261: 122-131
- [14] 刘雪珠,杨万喜.硬骨鱼类精子超微结构及其应用前景[J].东海海洋,2002,20(3):32-37
- [15] Wolenski T S, Hart N H. Scanning electron microscope studies of sperm incorporation into the zebrafish (*Brachydanio rerio*) egg [J]. J Exp Zool, 1987, 243: 259-273
- [16] Poirier G R, Nicholson N. Fine structure of the testicular spermatozoa from the channel catfish, *Zelus punctatus* [J]. Ultrastruct Res, 1980, 80: 104-110
- [17] 赵会宏,刘晓春,林浩然,等.斜带石斑鱼精子超微结构及盐度、温度、pH对精子活力及寿命的影响[J].中国水产科学,2003,10(4):286-292
- [18] 刘雪珠,杨万喜.平鲷精子的超显微结构[J].东海海洋,2004,22(1):43-48

[ 19] 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  
 [ 20] 尤永隆, 林丹军. 鲤鱼精子超微结构的研究[ J]. 动物学研究, 1996, 17( 4): 377—383.  
 [ 21] Poirier GR, Nicholson N. Fine structure of the testicular spermatozoa from the chamelecatfish *Tetraodon lineatus*[ J]. J Ultrastruct Res, 1982, 80: 104—110  
 [ 22] 林光华, 林琼, 胡成钰, 等. 草鱼、兴国红鲤和革胡子鲶精子超微结构的比较研究[ J]. 南昌大学学报(理科版), 1998, 22(3): 284—287  
 [ 23] 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—237  
 [ 24] 章龙珍, 乔振国, 庄平, 等. 人工催熟日本鳗鲡精子的显微和超微结构[ J]. 水产学报, 2006, 30(5): 611—617.  
 [ 25] 尤永隆, 林丹军. 黄颡鱼精子的超微结构[ J]. 实验生物学报, 1996, 29( 3): 235—245  
 [ 26] 林丹军, 尤永隆. 褐菟鮑精细胞晚期的变化及精子结构的研究[ J]. 动物学研究, 1998, 9(5): 359—366  
 [ 27] 张筱兰, 姜明, 姚斐, 等. 红鳍东方鲀精子形态的研究[ J]. 青岛海洋大学学报, 1999, 29(2): 255—259.



图版 Plate

1 扫描电镜下精子外部形态, 比例尺 = 5 μm; 2 精子头部的矢状切面, 示近端中心粒、基体、袖套腔和线粒体等, 比例尺 = 1 μm; 3 精子头部纵切, 示线粒体、袖套腔和细胞质颗粒, 比例尺 = 1 μm; 4 精子头部纵切, 示近端中心粒、囊泡和核膜与质膜间的线粒体, 比例尺 = 1 μm; 5 精子头部纵切, 示近端中心粒和核空泡, 比例尺 = 1 μm; 6 精子头部横切, 示近端中心粒, 比例尺 = 1 μm; 7 精子鞭毛横切, 示“9+2”结构, 比例尺 = 1 μm; 8 精子鞭毛纵切, 示轴丝外侧与细胞质膜间的细胞质颗粒, 比例尺 = 1 μm  
 A: 轴丝; BB: 基体; CG: 细胞质颗粒; F: 鞭毛; M: 线粒体; MT: 微管; N: 细胞核; NM: 细胞核膜; NV: 核空泡; PC: 近端中心粒; PM: 细胞质膜; S: 袖套腔; V: 囊泡