

黑脊倒刺 精巢结构和精子发生的研究

林丹军 尤永隆 苏敏

(福建师范大学生物学系, 福州 350007)

摘要: 用光学显微镜和电子显微镜研究了黑脊倒刺 精巢的组织结构和精子发生过程。精巢属于小叶型, 由精小叶、小叶间质、壶腹腔和输出管构成。精小叶由各期生精细胞和支持细胞构成。除初级精原细胞以外的各期生精细胞和支持细胞组成了精小囊。每一精小囊中的生精细胞发育同步。成熟的精子从精小囊中释放出来, 进入小叶腔中。在精巢的腹侧, 小叶腔与壶腹腔连接。在壶腹腔的外侧, 有一条与壶腹腔平行的输出管。壶腹腔与输出管相通。在壶腹腔和输出管中都充满精子。精巢的后端与贮精囊相连。贮精囊中充满形状不规则的腔隙。腔隙中有精子分布。输出管从精巢延伸出来, 进入贮精囊中, 位于贮精囊的一侧。左右两个贮精囊通向一条共同的输精管。输精管上皮具有分泌功能。精子发生在精小叶中进行。精子发生经历了初级精原细胞、次级精原细胞、初级精母细胞、次级精母细胞和精子细胞阶段。精子细胞经过精子形成过程, 形成精子。

关键词: 黑脊倒刺 ; 精巢; 组织结构; 精子发生

中图分类号: Q959.46⁸ 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2003)06-0563-09

黑脊倒刺 *Spinibarbus caldwelli* (Nichols) 属鲤科, 亚科。分布于我国长江及长江以南的广大水域^[1]。由于黑脊倒刺 生长快, 个体大, 肉质鲜美并有药用价值, 近年来逐渐被开发成新的养殖品种。关于黑脊倒刺 精巢结构和精子发生的研究, 未见报道。本文对黑脊倒刺 精巢的显微和亚显微结构以及精子发生过程进行研究, 为黑脊倒刺 的生殖生物学和人工繁殖提供理论基础。

1 材料与方法

实验用雄鱼由福建省淡水水产研究所提供。在2001年5, 6月间黑脊倒刺 的生殖季节, 采集野生驯养的雄鱼共5尾, 其体长范围为32—34.5cm, 体重范围为600—810g, 鱼龄2—3年, 已达性成熟, 有的可以挤出乳白色的精液。鱼体经测量称重后, 剖开腹部, 取出精巢, 用生理盐水洗净备用。

光学显微镜标本的制备 按研究要求取精巢的不同部位, 切成4mm×4mm×4mm 的组织块, 用Bouin氏液固定, 石蜡包埋切片, H. E. 染色, OLYMPUS BH-2型显微镜观察, 拍摄。

电子显微镜标本的制备 精巢组织切成1mm³

见方的组织块, 置于2.5% 戊二醛(pH7.4)中, 4℃固定12h, 1% 铁酸后固定, 梯度乙醇脱水, Epon 812环氧树脂包埋。切片经醋酸铀和柠檬酸铅染色后, 置JEOL, JEM-1200EX型透射电镜观察。

2 结果

黑脊倒刺 的一对精巢由系膜悬挂于腹腔中。精巢呈长条状, 前端较宽大, 后端逐渐变窄小。精巢有背腹之分, 系膜所在的一侧为精巢的腹面, 腹面较平坦。其相对的一侧则为背侧, 背侧呈弧形状。在每个精巢的后端都与一个贮精囊(Seminal vesicle)相连, 但是在外形上两者没有明显的界限。左右贮精囊的后端通入一条共同的输精管。性成熟的雄鱼精巢长度范围为7—8cm, 贮精囊长度范围为2—3cm, 输精管长度范围为1.5—2cm。输精管的末端通向泄殖孔(图1)。

2.1 精巢的组织学结构

黑脊倒刺 的精巢属于小叶型(Lobular type)精巢。观察精巢的纵切面和横切面, 可以看到精巢的内部有许多管状的精小叶(Seminiferous lobuli)分布(图版I: 1, 2, 3)。精小叶之间是小叶间质(Interlobular stroma)。

收稿日期: 2002-01-15; 修订日期: 2003-06-20

基金项目: 福建省科技厅项目(K200091)资助

作者简介: 林丹军(1950—), 女, 福建省福州市人; 高级实验师; 从事鱼类生殖生物学的研究

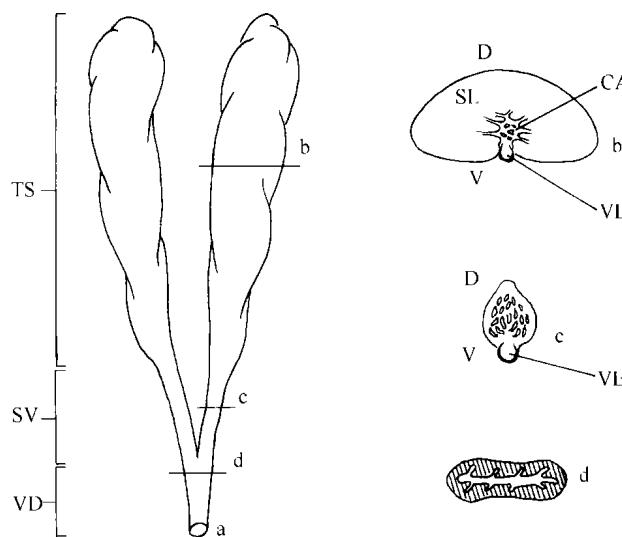


图 1 黑脊倒刺 雄巢结构示意图

Fig. 1 A diagram of the morphology of *Spinibarbus caldwelli*'s testes

a: 背面观(Dorsal view); b: 雄巢横切面(Cross section of the testis);

c: 贮精囊横切面(Cross section of the seminal vesicle); d: 输精管横切面(Cross section of vas deferens);

CA: 壶腹腔; D: 雄巢背侧; SL: 雄巢中精小叶分布区; SV: 贮精囊; TS: 雄巢; V: 雄巢腹侧;

VD: 输精管; VE: 输出管

CA: Cavum ampulla; D: Dorsal side of the testis; SL: Seminiferous lobulus area in the testis;

SV: Seminal vesicle; TS: Testis; V: Ventral side of the testis; VD: Vas deferens; VE: Vas efferens

ular septum) (图版 I : 2, 7)。在精巢的腹侧, 可见壶腹腔和输出管(图版 I : 8)。

2.1.1 精小叶 精小叶呈盲管状。在精巢的皮层, 精小叶呈辐射状排列, 分布较规则。在皮层之内, 精小叶则纵横交错, 分布渐不规则。小叶的中央为小叶腔。各精小叶与壶腹腔相通。

在精小叶内壁分布着各期生精细胞(Spermatogenic cell)和支持细胞(Sertoli cell)。生精细胞的类型包括初级精原细胞(Primary spermatogonium)、次级精原细胞(Secondary spermatogonium)、初级精母细胞(Primary spermatocyte)、次级精母细胞(Secondary spermatocyte)和精子细胞(Spermatid)。初级精原细胞大多单个分布于小叶壁的边缘, 但是有时在靠近小叶腔的内壁上也可见到(图版 I : 2)。其他各期生精细胞都位于精小囊(Spermatogenic cyst)中。精小囊是由支持细胞围成的囊状结构(图版 I : 2, 3, 4)。在一个精小叶中有许多精小囊, 每个精小囊中的生精细胞发育同步。而不同的精小囊, 其中的生精细胞的发育不一定同期。随着生精细胞的增殖和生长, 精小囊的体积明显增大, 精小囊壁则逐渐变薄。当精小囊中的生精细胞发育成熟, 形成精子, 精小囊就破裂, 成熟的精子从精小囊中释放出来, 进入小叶腔

中, 小叶腔扩大, 其中充满精子(图版 I : 2, 3)。

在精小叶中, 支持细胞位于初级精原细胞周围或构成精小囊的壁。支持细胞较大, 形状不规则。在细胞核所在的位置, 胞质较多。其余的部位则呈薄层状, 包于生精细胞的外方。在胞质中有丰富的线粒体、高尔基体和大量的电子致密状的颗粒。这些颗粒大小不一, 有的颗粒较大, 与精子细胞的核相当, 有的则较小。有些颗粒有双层膜包被, 有些则无膜(图版 I : 5, 6)。

2.1.2 小叶间质 精小叶之间由结缔组织分隔, 称为小叶间质。其中含有间质细胞、成纤维细胞和毛细血管等(图版 I : 2, 3, 7)。间质细胞的细胞核形状不规则, 强嗜碱性。电镜下观察, 染色质呈致密斑块状。胞质中含有较多的线粒体。

2.1.3 壶腹腔和输出管 在精巢的腹侧, 精小叶的小叶腔与壶腹腔连接。壶腹腔的走向与精巢的长轴一致, 即从精巢的前端延伸到后端。壶腹腔的形状不甚规则, 其中有许多嵴(图版 I : 8)。嵴的表层为单层立方上皮, 其中为疏松结缔组织和毛细血管构成(图版 II : 9)。在壶腹腔中布满精子。

在壶腹腔的外侧, 有一条与壶腹腔平行的输出管。输出管与壶腹腔相通(图版 I : 8)。输出管和壶

腹腔一样, 从精巢的前端延伸到后端。输出管的管壁较厚, 由平滑肌和结缔组织组成(图版 II: 10)。内壁也由单层立方上皮组成。

2.1.4 贮精囊 贮精囊位于精巢的后方并与精巢相连(图 1)。在贮精囊中没有生精组织, 即没有精小叶。贮精囊的组织结构与壶腹腔相似, 内有许多嵴和不规则的腔隙, 呈蜂窝状(图版 II: 11, 12)。腔隙中有精子分布。输出管从精巢延伸出来后也进入贮精囊, 并位于贮精囊的一侧(图版 II: 11)。其管壁较厚, 由平滑肌和结缔组织构成。内壁为单层柱状上皮, 有精子附着其上(图版 II: 13)。

2.1.5 输精管 左右贮精囊的后端通向一个共同的输精管(图 1)。输精管管壁较厚, 且多陷窝(图版 II: 14)。管壁由平滑肌和结缔组织组成。内壁上皮具有分泌功能。在管腔的近上皮处, 有一层黏液状物质分布, 其间可见精子(图版 II: 15, 16)。输精管的管腔中布满精子。

2.2 精子发生

和一般硬骨鱼相似, 黑脊倒刺 的精子发生经历了精原细胞增殖, 精母细胞完成两次成熟分裂和精子细胞形成精子的过程。与其他鱼类对比, 黑脊倒刺 的精子发生又有其种的特点。

初级精原细胞 初级精原细胞是生精细胞中体积最大的细胞, 圆形或椭圆形。细胞核位于细胞的中央, 弱嗜碱性。核仁明显可见。超微结构显示, 初级精原细胞细胞核的染色质均匀分散, 电子密度较低。核表面有多处凹陷。在细胞质中有大量寡嵴的线粒体, 基质的电子密度低。在胞质中还可见到数量不等的拟染色体(Chromatoid body), 它是由颗粒状的物质组成。拟染色体常分布于细胞核表面的凹陷中或与线粒体在一起。此外, 胞质中还可见到高尔基体和一些膜状结构(图版 II: 17)。

次级精原细胞 初级精原细胞分裂形成次级精原细胞。次级精原细胞的体积比初级精原细胞的小, 细胞圆形或椭圆形。细胞核中染色质电子密度明显增高, 核仁可见。核表面的凹陷减少。胞质中也可见到丰富的线粒体。线粒体内嵴增多, 基质的电子密度也增高。拟染色体的分布与初级精原细胞的相似(图版 III: 18)。

初级精母细胞 次级精原细胞停止分裂, 进入生长期形成初级精母细胞。初级精母细胞体积增大。细胞核圆形或椭圆形。核表面较平滑, 无凹陷。染色质产生第一次成熟分裂前期的变化。处于粗线期的染色质呈现联会复合体(Synaptonemal complex)

的结构。核仁不见。胞质中可见线粒体和极少量的拟染色体分布(图版 III: 19)。

次级精母细胞 次级精母细胞由初级精母细胞完成第一次成熟分裂后形成。细胞体积比初级精母细胞小。细胞器(包括拟染色体)的数量也比较少(图版 III: 20)。

精子细胞 次级精母细胞完成第二次成熟分裂, 形成精子细胞。刚形成的精子细胞, 细胞核还保持染色体的雏形, 细胞质中细胞器较少, 仅可见少量线粒体。拟染色体偶尔可见(图版 III: 21)。精子细胞经历精子形成(Spermiogenesis)过程的各种变化, 包括鞭毛形成, 细胞核浓缩, 线粒体构成袖套等等。精子细胞的染色质变为间期细胞染色质的形态, 染色质呈均匀分布。此时, 两个中心粒移位, 位于细胞核的一侧。该处核膜内陷, 形成植入窝。两个中心粒(近端中心粒与基体)就位于植入窝中。近端中心粒与基体相互垂直(图版 III: 22)。从基体的后端产生鞭毛, 线粒体移到细胞核的后端, 并围绕鞭毛, 形成袖套(图版 III: 23)。随后, 染色质浓缩, 核中出现一些电子透明的区域即核泡(图版 III: 24)。至此, 精子形成过程基本完成。

精子 成熟精子位于小叶腔中。精子由头部、中片和尾部构成(图版 III: 25, 26)。头部主要结构是细胞核。核的前端没有顶体。核中有一些核泡。核的后端与中片相连。中片包括中心粒复合体和袖套两部分。中心粒复合体(近端中心粒和基体)位于植入窝中。袖套一侧宽厚, 另一侧狭窄, 其中主要分布着线粒体。尾部即鞭毛。鞭毛从袖套腔中伸出。鞭毛的主要结构是轴丝。轴丝周围有一些囊泡。

3 讨论

3.1 精小叶的结构特点

黑脊倒刺 的精巢和其他多数硬骨鱼类的精巢一样, 属于小叶型^[2, 3]。但是, 精小叶的排列不像典型的小叶型精巢那样有规则。在精巢的皮层, 精小叶辐射排列(图版 I: 1), 类似于大黄鱼等鲈形目鱼类^[4, 5], 在精巢的深层, 精小叶的排列则显得不规则, 与大多数鲤科鱼类相似^[6]。在小叶型精巢中, 精小囊是精小叶的结构单位。除了初级精原细胞以外, 其他的生精细胞都位于精小囊中。但是在光学显微镜下观察, 黑脊倒刺 精巢的精小囊边缘结构不易区别(图版 I: 2, 3)。这可能是因为构成精小囊囊壁的支持细胞极薄的缘故。

在支持细胞的细胞质中可观察到许多电子致密

度高的颗粒状的结构。这种结构在以往的同类研究中未见报道。根据其形态特征, 以及在某些支持细胞的胞质中存在精子细胞的袖套和鞭毛(图版 I : 6), 作者认为该颗粒可能是精子细胞的细胞核。可能是支持细胞将处于发育阶段的精子细胞吞噬。在支持细胞中, 精子细胞逐渐遭解体。细胞核被分解成大小不等的电子致密颗粒。关于支持细胞在精子发生中的功能, 已有报道除了构成精小囊的囊壁, 输送代谢物质或激素到生精细胞以外, 还有一个很重要的作用是否噬和清除退化的生精细胞及精子^[3,7]。在某些鱼类, 如硬鱈(*Salmo gairdneri*)的精巢结构上还观察到支持细胞向精小叶腔中伸出许多突起, 可能起着吞噬生精细胞的作用^[8]。本研究的实验材料是在黑脊倒刺 的生殖季节采集的, 精巢中有许多成熟的精子, 轻压鱼体腹部可以挤出乳白色精液, 说明精巢发育是正常的。为何在产生大量精子的同时又有许多生精细胞或精子被支持细胞所吞噬? 有待对精巢发育的进一步观察。

3.2 壶腹腔和输出管

有些鱼类精小叶的小叶腔直接通向输出管^[9]。黑脊倒刺 的精小叶却不是直接通向输出管, 而是汇聚成一个壶腹腔。这与鲤科鱼类的精巢结构相似^[7]。关于壶腹或壶腹腔, 不同的作者有不同的含意, 有的作者将精小叶称为壶腹, 而小叶腔则称为壶腹腔^[6,10], 而大多数作者将其称为精小叶。小叶腔的精子汇集到精巢腹侧的特定部位, 称其为壶腹腔^[2,3,7]。根据对黑脊倒刺 精巢结构的观察, 故采用此方法描述之。

输出管与壶腹腔相平行, 两者都呈管道状, 两者的侧面相通(图版 I : 8)。从组织结构看, 输出管和壶腹腔没有根本的差别。两者都由结缔组织形成。从形态看, 壶腹腔的形状不太规则, 而输出管则较明显是一条管道状结构。两者都充满精子。

3.3 贮精囊

在精巢的后方有一段呈蜂窝状组织的结构, 其中没有生精组织, 但是有精子贮存, 称其为贮精囊。该组织结构与精巢中的壶腹腔结构相似。此外, 贮精囊中还有输出管。根据贮精囊的组织结构特点, 似可认为, 贮精囊是精巢的壶腹腔和输出管延伸而成。并非所有的硬骨鱼类的精巢都有贮精囊。一般认为, 鲤科鱼类没有独立的贮精囊。壶腹腔起到贮精囊的作用^[7]。而像长吻 、黄颡鱼等鲶鱼类就有贮精囊^[11], 而且贮精囊结构较特殊, 极易辨认。黑脊倒刺 虽然属于鲤科鱼类, 却有独立的贮精囊。

该贮精囊在组织学上容易区别, 但是在外形上却与其前方的精巢不易区分开。关于贮精囊, Nagahama 认为, 鱼类贮精囊可能不起贮精作用, 不和高等脊椎动物的贮精囊同源。鱼类贮精囊可能仅产生对精子运输等起重要作用的分泌物^[2]。在黑脊倒刺 的贮精囊中观察到精子分布其中, 似可认为有贮精作用。

3.4 精子发生的特点

黑脊倒刺 的初级精原细胞与一般硬骨鱼类相似, 是精巢中的生精干细胞, 由它分裂形成了以后各期的生精细胞。因此, 有的作者将初级精原细胞称为 A 型精原细胞^[13,12]。黑脊倒刺 的初级精原细胞是所有生精细胞中最大的。它的细胞核也很大, 弱嗜碱性。染色质的电子密度极低。核仁却明显可见。在细胞核的表面往往出现多处凹陷, 因此核的形状不规则。在细胞质中含有丰富的线粒体。这些线粒体往往峰很少, 基质的电子密度低。同时, 胞质中含有大量的拟染色体, 而其他类型的生精细胞中则没有如此大量的拟染色体。

在小叶型精巢中, 初级精原细胞一般位于精小叶的边缘。而黑脊倒刺 的初级精原细胞却并非仅分布于精小叶的边缘。在靠近小叶腔的位置, 也有分布(图版 I : 2)。

在黑脊倒刺 精子细胞的发育过程中, 鞭毛的发育比细胞核的浓缩要早得多, 这与大黄鱼、褐菖的相似^[13,14]。当细胞核还处于未浓缩状态, 染色质呈均匀的细小颗粒状态时, 鞭毛就已形成(图版 III 23)。以后, 染色质才浓缩, 在核中产生无染色质的核泡(图版 III 24)。这与其他鱼类的精子形成有所不同。在长吻 等鱼类的精子形成过程中, 核先浓缩, 以后才形成鞭毛^[15,16]。黑脊倒刺 成熟精子的结构与鲤鱼精子的结构十分相似^[17], 因此, 从精子的结构也可以说明它们同属鲤科鱼类, 在系统发育上亲缘关系较近。

参考文献:

- [1] Chu Y D. The fishes of Fujian Province (Part II) [M]. Fuzhou: Fujian Science and Technology Press, 1985, 328—331. [朱元鼎. 福建鱼类志(下卷). 福州: 福建科学技术出版社, 1985, 328—331]
- [2] Nagahama Y. The functional morphology of teleost gonads. In: Hoar W S, Randall D J, Donaldson E M (eds), Fish physiology. Vol. IX, Part A [M]. New York: Academic Press, 1983, 223—250
- [3] Billard R. Spermatogenesis and spermatology of some teleost fish species [J]. *Reprod. Nutr. Develop.*, 1986, 26(4): 877—920
- [4] Lou Y D. Histology and Embryology [M]. Beijing: China Agricultural Publishing House, 1994, 126—137. [楼允东. 组织胚胎学. 北

京: 中国农业出版社, 1994, 126—137]

[5] Lin D J, Zhang J, Luo J et al, Studies on the gonadal development and annual reproductive cycle of the cultured large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea* (Richardson) [J]. *J. Fujian Normal Univ. (Natural Science)*, 1992, 8(3): 81—87. [林丹军, 张健, 骆嘉, 等. 人工养殖的大黄鱼性腺发育及性周期研究. 福建师范大学学报(自然科学版), 1992, 8(3): 81—87]

[6] Lin G H, Zhang F W. Studies on the development of the testis of Xing guo red carp (*Cyprinus carpio* var. *singuonensis*) [J]. *J. Jiangxi Univ. (Na rural Science)*, 1989, 13(3): 1—9. [林光华, 张丰旺. 兴国红鲤精巢发育的研究. 江西大学学报(自然科学版), 1989, 13(3): 1—9]

[7] Liu J. Propagation physiology of main cultivated fish in China [M]. Beijing: Agricultural Publishing House, 1993, 29—32. [刘筠. 中国养殖鱼类繁殖生理学. 北京: 农业出版社, 1993, 29—32]

[8] Hunk R Van den. Morphological and enzyme cytochemical aspects of the testis and vas deferens of the Rainbow trout, *Salmo gairdneri* [J]. *J. Cell. Tiss. Res.*, 1978, 186: 309—325

[9] Lin D J, You Y L, Chen L Y. The testicular cycle development of ovoviparous teleost, *Sebastiscus marmoratus* [J]. *Zool. Res.*, 2000, 21(5): 337—342. [林丹军, 尤永隆, 陈莲云. 卵胎生硬骨鱼褐菖精巢的周期发育. 动物学研究, 2000, 21(5): 337—342]

[10] Lin D, Lin H R. Studies on the breeding biology of the eel (*Anguilla japonica* Temminck and Schlegel). 3. Histological and cytological studies on the gonadal development of eel [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1984, 8(2): 157—166. [林鼎, 林浩然. 鳗鲡繁殖生物学研究. III: 鳗鲡性腺发育组织学和细胞学研究. 水生生物学集刊, 1984, 8(2): 157—166]

[11] Zheng X Z, Lin D J, You Y L. The annual cycle in the testes of *Pseudobagrus fulidraco* (Richardson). I. The annual cycle of the spermatogenic part [J]. *J. Fujian Normal Univ. (Natural Science)*, 2000, 16(2): 97—101. [郑小真, 林丹军, 尤永隆. 性成熟黄颡鱼精巢的年周期变化. I : 生精部的周年变化. 福建师范大学学报(自然科学版), 2000, 16(2): 97—101]

[12] Zhang X C, Wang S A. Ultrastructure of the testis and spermatogenesis in *Brachymystax lenok* (Pallas) [J]. *Acta Zool. Sin.*, 1992, 38(4): 355—358. [张旭晨, 王所安. 细鳞鱼精巢超微结构和精子发生. 动物学报, 1992, 38(4): 355—358]

[13] You Y L, Lin D J, Chen L Y. Spermatogenesis of teleost, *Pseudosciaena crocea* [J]. *Zool. Res.*, 2001, 22(6): 461—466. [尤永隆, 林丹军, 陈莲云. 大黄鱼的精子发生. 动物学研究, 2001, 22(6): 461—466]

[14] You Y L, Lin D J, Zhong X R. Ultrastructure of spermatogenesis of ovoviparous teleost, Japanese stingfish *Sebastis marmoratus* Cuvier et Valenciennes [J]. *J. Trop. Ocean*, 2002, 21(1): 70—75. [尤永隆, 林丹军, 钟秀容. 卵胎生硬骨鱼褐菖精子发生的超微结构研究. 热带海洋学报, 2002, 21(1): 70—75]

[15] Zhang Y G, Luo Q S, Zhong M C. Studies on the developmental stages of testis, spermatogenesis and spermatogenesis in *Leiocassis longirostris* [J]. *Zool. Res.*, 1992, 13(3): 281—287. [张耀光, 罗泉笙, 钟明超. 长吻精巢发育的分期及精子的发生和形成. 动物学研究, 1992, 13(3): 281—287]

[16] Hong W S, Zhang Q Y, Ni Z M. Spermatogenesis and spermatogenesis of yellowfin seabream in Xipu bay [J]. *J. Fish. China*, 1991, 15(4): 302—307. [洪万树, 张其永, 倪子绵. 西浦湾黄鳍鲷精子发生和形成. 水产学报, 1991, 15(4): 302—307]

[17] You Y L, Lin D J. A study on the fine structure of the spermatozoa of teleost *Cyprinus carpio* (Linnaeus) [J]. *Zool. Res.*, 1996, 17(4): 377—383. [尤永隆, 林丹军. 鲤鱼精子超微结构的研究. 动物学研究, 1996, 17(4): 377—383]

STUDIES ON TESTICULAR HISTOLOGY AND SPERMATOGENESIS OF TELEOST, *SPINIBARBUS CALDWELLI* (NICHOLS)

LIN Darr Jun, YOU Yong Long and SU Min

(Department of Biology, Fujian Normal University, Fuzhou 350007)

Abstract: *Spinibarbus caldwelli* (Nichols) belongs to the family Cyprinidae, Barbinae. It is now becoming an important fish for aquaculture in China. The testicular histology and spermatogenesis of the fish have not been reported. In May and June 2001, the testes of 5 male *Spinibarbus caldwelli* were sampled for histological observation under both light microscope and transmission electron microscope.

The testis was lobular type, which was typical of most teleosts. It consisted of seminiferous lobuli, interlobular septum, cavum ampulla and vas efferens. In the outer layer of the testicular cortex, the seminiferous lobuli arranged radially, similar to that of the order Perciformes. However in the inner layer of the cortex, the distribution of the seminiferous lobuli was more irregular. That was similar to those in most fishes of Cyprinidae. The seminiferous lobulus consisted of various stages of spermatogenic cells and Sertoli cells. The spermatogenic cells consisted of primary spermatogonia, secondary spermatogonia, primary spermatocytes, secondary spermatocytes and spermatids. The primary spermatogonia distributed

singly. Besides primary spermatogonia, other stages of spermatogenic cells were in the spermatogenic cysts. The wall of the spermatogenic cysts was made of Sertoli cells. Within a spermatogenic cyst, all the spermatogenic cells were at the same developmental stage. Mature sperms were released from the cysts and transferred into the lobular lumen. Within the cytoplasm of the Sertoli cells, there were lots of electron dense granules. One of the important functions of the Sertoli cells was to engulf and eliminate degenerated spermatids. According to the morphology of the granules and spermatogonia's sleeves and flagella existing in the cytoplasm of the Sertoli cells, the granules might be the nuclei of the spermatids, which were engulfed by the Sertoli cells.

All the lobular lumen converged at the ventral side of the testis, and formed cavum ampulla, which was at the orientation from anterior end to the posterior end of the testis. The morphology of the cavum ampulla was irregular. There were many ridges on the inner surface of it. Outside the cavum ampulla, there was a vas efferens which ran parallel to the cavum ampulla. The cavum ampulla and the vas efferens communicated with each other. Both cavum ampulla and vas efferens were full of sperms.

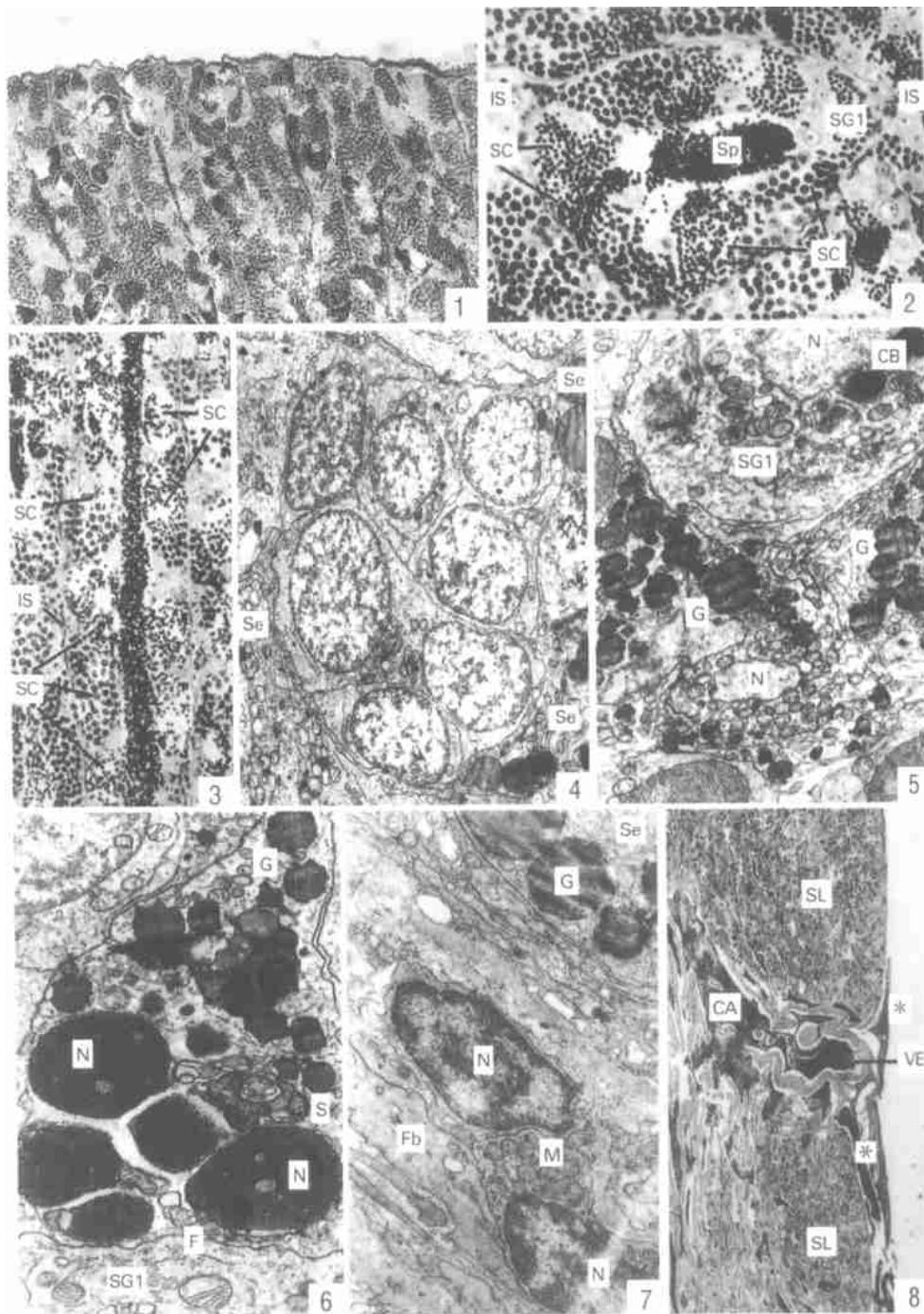
A seminal vesicle connected with the posterior end of either testis. Within the seminal vesicle there were many irregular cavities which were full of sperms. There were, however, no spermatogenic cells in the seminal vesicle. So the function of the seminal vesicle was to store sperms. It was believed that there was no seminal vesicle in the fish of family Cyprinidae. Although *Spinibarbus caldwelli* belongs to the family Cyprinidae it possessed seminal vesicle. The vas efferens extended from the testis, and entered into the seminal vesicle. It was oriented at one side of the seminal vesicle. Both seminal vesicles connected with a vas deferens. The epithelium of the vas deferens was secretory.

The spermatogenesis, similar to that of other teleosts, included the spermatogonia proliferation, two meiotic divisions of spermatocytes, and the spermogenesis. Primary spermatogonia were the largest germ cells in the testis. Their nuclei were characterized by uncondensed chromatin. There were many concaves on the surface of the nuclei. In each concave there was a electron dense chromatoid body. The chromatoid bodies also could be seen in the cytoplasm, which were generally associated with mitochondria. Like other teleosts, primary spermatogonia of *Spinibarbus caldwelli* were stem germ cells in the testis. Each primary spermatogonium proliferated, resulted in the formation of a spermatogenic cyst, in which there were many secondary spermatogonia. The nuclei of the secondary spermatogonia were generally more electron dense than that of the primary spermatogonia. The distribution of the chromatoid bodies in the cytoplasm of the secondary spermatogonia was similar to that in the primary spermatogonia.

Each secondary spermatogonium stopped division and entered the stage of growth, forming primary spermatocyte. During meiotic pachytene, synaptonemal complexes appeared in the nuclei. The chromatoid bodies were observed infrequently in the cytoplasm. The first meiotic division produced two daughter cells, secondary spermatocytes. The secondary spermatocytes then transformed into spermatids through the second meiotic division. These spermatids, although possessing a haploid set of chromosomes, were still not capable of functioning as male gametes. They underwent differentiation into spermatozoa, a process termed spermogenesis. The spermogenesis included formation of a flagellum, condensation of the nucleus, the formation of the sleeve which contained some mitochondria, etc. The spermogenesis of *Spinibarbus caldwelli* was characterized by early formation of a flagellum. In some other teleosts, condensation of nucleus was earlier than the formation of the flagellum. However in *Spinibarbus caldwelli*, the nucleus began to condense after the formation of the flagellum.

The spermatozoa could be morphologically subdivided into head, midpiece, and tail. They lack an acrosome in the head. The ultrastructure of the spermatozoa of *Spinibarbus caldwelli* was like that of carp.

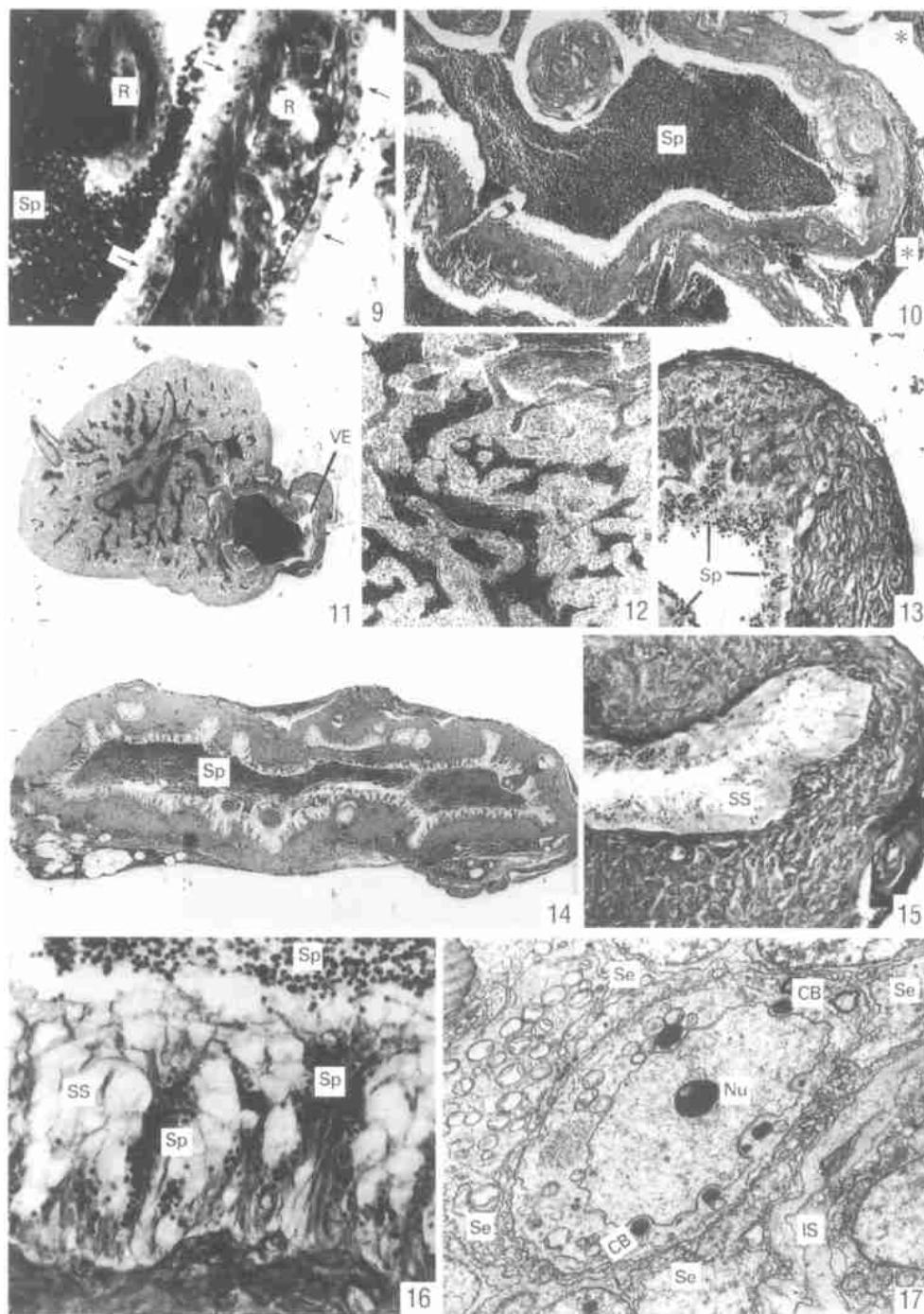
Key words: *Spinibarbus caldwelli*; Testis; Histology; Spermatogenesis



图版 I

1. 精巢皮层切面, 示辐射排列的精小叶。 $\times 130$; 2. 精小叶横切, 示各期精小囊和小叶腔中的精子。初级精原细胞除位于小叶边缘外, 还分布于近小叶腔处。 $\times 300$; 3. 精小叶纵切, 示各期精小囊和小叶腔中的精子。 $\times 250$; 4. 次级精原细胞小囊切面。 $\times 4400$; 5. 支持细胞切面, 示胞质中的颗粒。 $\times 6600$; 6. 支持细胞切面, 示胞质中的颗粒、精子细胞核、鞭毛和袖套。 $\times 8600$; 7. 小叶间质切面, 示间质细胞和成纤维细胞。 $\times 8600$; 8. 精巢腹侧切面, 示壶腹腔和输出管, * 表示粘附的精子。 $\times 25$

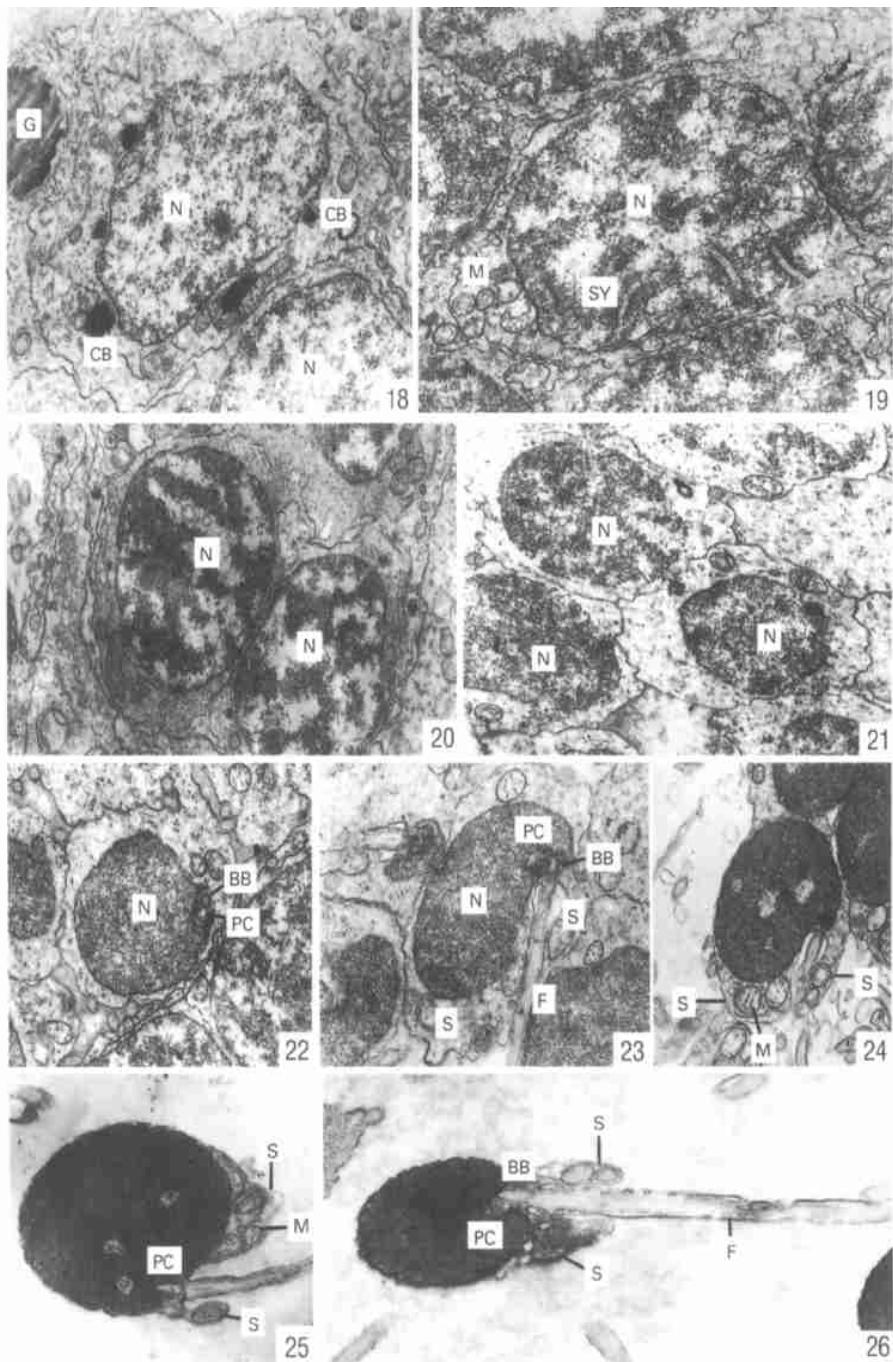
1. A section of testis' cortex, showing radial seminiferous lobuli. $\times 130$; 2. A cross section of a seminiferous lobulus, showing various stages of spermatogenic cysts and sperms in lobular cavity. Besides locating at edge of the lobulus, primary spermatogonia also can be found near the lobular lumen. $\times 300$; 3. A cross section of a seminiferous lobulus, showing various stages of spermatogenic cysts and sperms in lobular cavity. $\times 250$; 4. A section of a secondary spermatogonium cyst. $\times 4400$; 5. A section of Sertoli cells, showing granules in the cytoplasm. $\times 6600$; 6. A section of a Sertoli cell, showing granules, sperm's nuclei, flagella and sleeve. $\times 8600$; 7. A section of interlobular septum, showing interstitial cells and fibroblasts. $\times 8600$; 8. A section of testis in ventral side, showing cavum ampulla and vas efferens, asterisk indicates sperms. $\times 25$



图版 II

9. 壶腹腔切面, 示嵴的上皮(箭号)和精子。 $\times 480$; 10. 输出管横切,* 表示粘附的精子。 $\times 120$; 11. 贮精囊横切, 示蜂窝状组织和位于一侧的输出管。 $\times 30$; 12. 贮精囊蜂窝状组织, 示其中的精子。 $\times 65$; 13. 贮精囊中输出管横切。 $\times 240$; 14. 输精管横切。 $\times 25$; 15. 输精管横切面局部, 示陷窝中的分泌物和精子。 $\times 220$; 16. 输精管横切面局部, 示管腔中的分泌物和精子。 $\times 500$; 17. 初级精原细胞。 $\times 5000$

9. A section of cavum ampulla, showing the epithelium (arrow) of the ridge and spems in the cavity. $\times 480$; 10. A cross section of the vas efferens, asterisk indicates spems. $\times 120$; 11. A cross section of a seminal vesicle, showing areolar tissue and vas efferens on one side. $\times 30$; 12. The areolar tissue of a seminal vesicle, showing spems. $\times 65$; 13. A cross section of the vas efferens in the seminal vesicle. $\times 240$; 14. A cross section of vas deferens. $\times 25$; 15. A portion of the cross section of vas deferens, showing secretion substance and spems in a pit. $\times 220$; 16. A portion of the cross section of vas deferens, showing secretion substance and spems in the lumen. $\times 500$; 17. A primary spermatogonium. $\times 5000$



图版 III

18 次级精原细胞。 $\times 8600$; 19. 初级精母细胞。 $\times 8600$; 20. 次级精母细胞。 $\times 8600$; 21. 精子细胞。 $\times 8600$; 22. 精子细胞横切, 示位于细胞核一侧的中心粒复合体。 $\times 8600$; 23. 精子细胞纵切, 示植入窝中的中心粒复合体、鞭毛和袖套。 $\times 8600$; 24. 精子细胞纵切, 示染色质浓缩, 核中出现核泡。 $\times 8600$; 25. 精子矢状切面。 $\times 10000$; 26. 精子额状切面。 $\times 13000$

18. A secondary spermatogonium. $\times 8600$; 19. A primary spermatocyte. $\times 8600$; 20. Two secondary spermatocytes. $\times 8600$; 21. Spermatids. $\times 8600$; 22. A cross section of a spermatid, showing centriolar complex at one side of the nucleus. $\times 8600$; 23. A longitudinal section of a spermatid, showing centriolar complex in the implantation fossa, flagellum and sleeve. $\times 8600$; 24. A longitudinal section of a spermatid, showing the condensation of the chromatin, and the nuclear vesicles in the nucleus. $\times 8600$; 25. A sagittal section of a sperm. $\times 10000$; 26. A horizontal section of a sperm. $\times 13000$

BB: 基体; CA: 壶腹腔; CB: 拟染色体; F: 鞭毛; Fb: 成纤维细胞; G: 支持细胞中的颗粒; IS: 小叶间质; M: 线粒体; N: 细胞核;

Nu: 核仁; PC: 近端中心粒; R: 壶腹腔中的嵴; S: 袖套; SC: 精小囊; Se: 支持细胞; SG1: 初级精原细胞; SL: 精小叶; Sp: 精子; SS: 分泌物; SY: 联会复合体; VE: 输出管

BB: Basal body; CA: Cavum ampulla; CB: Chromatoid body; F: Flagellum; Fb: Fibroblast; G: Granules in Sertoli cell; IS: Interlobular septum; M: Mitochondrion; N: Nucleus; Nu: Nucleolus; PC: Proximal centriole; R: Ridges in cavum ampulla; S: Sleeve; SC: Spermatogenic cyst; Se: Sertoli cell; SG1: Primary spermatogonium; SL: Seminiferous lobuli; Sp: Sperm; SS: Secretion substance; SY: Synaptonemal complex; VE: Vas efferens