한국전자현미경학회지 제 28 권 제 2 호 1998
Korean J. Electron Microscopy 28(2), 181~191(1998)

피라미(*Zacco platypus*)의 정자형성과정에 관한 미세구조적 연구

조 장 현 · 류 동 석
청주대학교 생물학과

Ultrastructural Study on the Spermatogenesis of Pale Chub (*Zacco platypus*)

Jang Hyeon Cho and Dong Suck Reu
Department of Biology, Chongju University, Chongju 360-764, Korea
(Received February 20, 1998)

ABSTRACT

The spermatogenesis of pale chub (*Zacco platypus*) was investigated morphologically.

The testis of pale chub contained numerous testicular sacs. These testicular sacs were bounded on neighboring sacs by single layer of squamous cells. Also, differentiated sperms were filled in the sacs. In the stage of spermatogonium, the germ cells had a large nucleus and a distinct nucleolus, and mitochondrial development was prominent. In the primary and secondary spermatogonia, these cells had a round electron-dense nucleus, reduced cytoplasm, and mitochondria were congregated in the side of cytoplasm. The highly condensed chromatin of sperms was electron-dense, the acrosome was not found in the head of the sperm and a motile flagellum consisted of an axoneme with a typical 9+2 pattern of microtubules.

Key words : Spermatogenesis, Pale chub, Ultrastructure

서 론

피라미(*Zacco platypus*)는 경골어강(*Osteichthyes*)의 잉어목(*Cypriniformes*)에 속하는 담수어로 서해와 남해로 유입하는 하천의 상류와 중류 및 내륙의 저수지에 서식하며 중국, 대만 및 일본에도 분포하는 것으로 알려져 있다. 피라미는 6월에서 8월 사이에 산란하며 산란시기에 암컷은 등쪽이 청갈색이고 몸통의 옆쪽과 배쪽은 은백색을 띄고 있다. 성숙한 수컷은 등지느러미, 가슴지느러미, 배지느러미 및 뒷지느러미의 가장자리와 몸통에 적색을 띄어 암수구별이 용이하지만 산란기를 제외한 시기에는 암수 구별이 어려운 것으로 알려져 있다(최 등, 1990; 김과 강, 1993).

어류의 정소는 정소낭(testicular sac)을 보유하는 것이 특징으로 정자는 정소낭 내에서 형성되며 정소낭은 Sertoli 세포가 생식세포를 둘러쌈으로서 형성되고 (van den Hurk *et al.*, 1978; Gwo and Gwo,

1993), 정소낭내의 인접한 생식세포들은 세포질교를 형성한다(Billard, 1984). 또한, 정자완성과정(spermiogenesis) 동안에 정세포의 세포질 잔여체(residual body)는 표면쪽으로 배열된 후 정소낭의 내강쪽으로 배출되고 결국 인접한 Sertoli 세포에 의해서 phagocytic vacuole이 형성된 후 내포작용(endocytosis)으로 제거된다고 알려져 있다(Billard, 1983a; Sprando and Russell, 1988). 정자완성을 마친 정자는 난자가 위치하는 곳으로 이동하도록 운동성을 부여하는 편모(flagellum)를 보유하게 되는데 대부분의 경골어류는 1개의 편모를 보유하고 있으나 2개의 편모를 보유하는 경우도 있다(Poirier and Nicholson, 1982). 편모의 기저부는 근위중심체(proximal centriole)와 원위중심체(distal centriole)로 구성되고 편모의 미세소관도 대부분은 9+2구조로 나타나지만 뱀장어의 경우 9+0의 구조를 보이는 등 어종에 따라 차이가 있는 것으로 알려져 있다(Todd, 1976). 이처럼 어류의 정자형성과정은 종간의 차이를 보일 뿐만 아니라 동종간에도 수정방식이나 생식습성에 따라 상이한 과정을 보인다고 알려져 있으며(Yoneyama and Iwasawa, 1985; Wolenski and Hart, 1987), 환경요인의 변화에 따라 호르몬의 영향을 받게되는데, 성선자극호르몬을 분비하는 성선자극세포(gonadotroph)의 발달은 주기적으로 발달하는 정소의 변화단계와 시기적으로 거의 일치하는 것으로 보고된 바 있다(Yoon *et al.*, 1994). 그리고 일년 중 일정한 시기에만 번식하는 동물인 상어(Parson and Grier, 1992), 무지개송어(Yoon *et al.*, 1994), 개구리(Ko *et al.*, 1993) 및 말(Johnson, 1991) 등의 정자형성과정은 내분비 조절기능과 연관하여 정소내의 미세구조변화에 대한 연구가 보고되고 있다. 또한 정자형성의 형태적인 차이점을 밝히기 위하여 정소내 생식세포들의 분화양상을 정량적으로 계측하는 방법이 이용되기도 하였다(Billard, 1983b).

국내에서는 문치가자미(Lee *et al.*, 1985), 짱둥어(Chung *et al.*, 1991), zebrafish(Deung *et al.*, 1993), 무지개송어(Yoon *et al.*, 1994), swordtail(Lim, 1994) 등의 정자형성과정이 보고되었었지만 국내에 서식하는 담수어에 대한 정자형성과정의 연구는 성어의 채집과 암수구별, 그리고 실내양어 등이 어렵기 때문에 외국의 연구에 비해 매우 미흡한 실정이며, 또한 일부 해수어와 담수어를 제외하고는 사계절이 뚜렷하게 구분되는 환경에 서식하는 국내담수어의 정자형성과정에 대한 형태학적 기준이 마련되어 있지 못한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 국내에 서식하는 담수어 중 출현빈도가 가장 높은 피라미를 시기별로 채집한 후 광학현미경과 투과전자현미경으로 규명하여 어류의 배우자 형성과정의 연구와 종분류학분야 연구 등의 기초 자료로 제시하고자 한다.

재료 및 방법

1. 실험재료

본 실험에 사용된 피라미(*Zacco platypus*)는 충북 괴산군 청천면 화양리의 하천에서 1994년 9월부터 1995년 8월까지 채집하였으며 길이가 10~15 cm인 수컷을 선별하여 실험실로 옮긴 후, 정소를 적출하여 재료로 사용하였다.

2. 실험방법

1) 광학현미경 시료

적출된 정소는 4% NBF (neutral buffered formalin)로 24시간 고정한 후 흐르는 물로 12시간 세척하였다. 세척한 후 ethanol 농도 상승순으로 탈수하여 xylene으로 치환시키고 paraffin으로 포매하여 절편기(Reichert-Jung 820)를 이용해서 2~3 μm 두께로 절편을 만들어 hematoxylin과 eosin으로 이중 염색하여 광학현미경으로 관찰하였다.

2) 전자현미경 시료

적출된 정소는 0.1 M 인산완충액(pH 7.4)으로 조정된 2.5% glutaraldehyde로 4°C에서 2시간 전고정한 후 동일 완충액으로 세척하였으며, 1% 오스뮴산(OsO_4)으로 2시간 후고정한 다음 동일 완충액으로 세척시키고 ethanol 농도 상승순으로 탈수한 후 propylene oxide로 치환하여 epon 혼합액에 포매하였다. 포매된 조직은 초박절편기(Reichert-Jung, Ultracut E)를 사용하여 50~60 nm 두께의 초박절편을 만든 후 uranyl acetate와 lead citrate로 이중 염색하여 투과전자현미경(JEOL, JEM-1200 EXII)으로 80 kv

에서 관찰하였다.

결 과

피라미의 정소는 좌우 한 쌍으로 부레의 복측 벽에 길게 늘어져 장간막에 의해 붙어 있었으며 좌우 크기는 비슷하였다. 좌측과 우측의 정소는 꼬리 쪽에서 만나 정관(spermatic duct)을 형성하여 생식구(genital aperture)로 개구되어 있었으며 붉은 빛을 띤 옅은 노랑색이었다.

산란 초기인 6월부터는 피라미가 혼인색을 띄기 시작하여 암수의 구별이 용이하였으며, 정소는 점점 붉어지고 부피가 증가하여 8월에는 부피가 최고에 달했고 9월 이후로는 급격히 감소하여 육안으로 정소를 구분하기가 어려웠다.

1. 광학현미경적 소견

정소는 모양과 크기가 다양한 정소낭(testicular sac)들로 구성되어 있었으며 각각의 정소낭들은 편평한 세포들에 의해 인접한 정소낭들과 경계를 이루고 있었다.

11월부터 2월까지 채집된 피라미의 정소낭은 분화정도가 비슷한 정원세포들로 구성되어 있었고 일부 정소낭에서는 제1정모세포가 관찰되었다. 정원세포의 핵은 뚜렷한 인을 보유하고 있었고 세포질과 핵질의 염색정도는 비슷하였으며 제1정모세포의 핵은 인을 보유하고 있었으나 정원세포에 비하여 뚜렷이 구분되지 않았다(Fig. 1). 3월부터 4월까지 채집된 피라미의 정소낭에서는 제1정모세포가 매우 증가하였으며 제2정모세포도 관찰되기 시작하였다. 제2정모세포는 인이 뚜렷하지 않았으며 핵은 hematoxylin에 강하게 염색되어 세포질과 명확하게 구분되었다(Fig. 2). 5월부터 6월까지 채집된 피라미의 정소낭에는 제2정모세포가 매우 증가하였으며 정세포도 관찰되었다. 정세포는 eosin에 염색된 호산성인 세포질을 보유하고 있었지만 모든 정소낭 내에서 관찰되지는 않았다(Fig. 3). 7월부터 8월까지 채집된 피라미의 정소낭에서는 정원세포, 제1정모세포, 정세포 및 정자가 분포하였는데 정자는 정소낭의 내강에 집적되어 있었다(Fig. 4).

2. 투과전자현미경적 소견

정원세포의 직경은 약 6.77 μm로 매우 큰 핵을 보유하였으며 인의 분포도 뚜렷하였고 핵질과 세포질의 전자밀도는 차이가 없었다. 또한 세포질에는 미토콘드리아 발달이 현저하였다(Fig. 5). 제1정모세포는 직경이 5.02 μm로 핵질의 전자 밀도는 세포질의 전자밀도보다 높은 것으로 나타났으며 핵은 구형으로 전자밀도가 높았다. 또한, 세포질은 크게 감소하였고 미토콘드리아는 수가 줄어들어 세포질의 한쪽에만 분포하였으며 편모는 관찰되지 않았다(Fig. 6). 제2정모세포는 직경이 약 3.05 μm로 인을 보유하지 않았고 핵의 염색질은 응축되어 전자밀도가 제1정모세포에 비해 높았으며 세포의 모양은 구형이었다. 세포질은 제1정모세포에 비해 더욱 감소하였고 미토콘드리아는 제1정모세포와 마찬가지로 세포질의 한쪽에서 관찰되었다. 편모의 기저부분(basal part)이 세포질의 한쪽 부위에서 관찰되었다(Figs. 6, 7). 정세포의 직경은 약 2.04 μm로 핵의 전자밀도는 높았으며 세포의 모양은 구형이었고 세포질은 감소되어 세포의 한쪽에 위치하였다. 정세포단계에서 미토콘드리아는 정자의 중편으로 분화될 부분에 집중되었다(Figs. 7-9). 정자의 두부는 구형이었으며 편모의 미세소관은 전형적인 9+2 구조를 하고 있었다(Fig. 10).

고 찰

산란기에 2차 성징이 발현되어 나타나는 어류의 특징은 종에 따라서 차이를 보이기는 하지만 대체적으로 외형이나 체색이 변하게 된다. 예를 들어 연어의 수컷은 코의 형태가 변하는 현상이 일어나며, 납자루속의 수컷들은 체색이 화려하게 변화되어 이를 혼인색을 나타낸다고 한다. 본 실험에 사용된 피라미는 수컷에 혼인색이 나타나는 것이 특징적이었지만 다른 형태적인 변화는 관찰할 수 없었다. 이와 같이 혼인색을 나타내는 어종으로는 피라미 외에도 참붕어, 황어 등이 있고 살망둑의 경우는 다른 어종과 달리 암컷에 혼인색이 나타나는 것으로 알려져 있다(최 등, 1990; 김과 강, 1993). 이러한 2차 성징의 발현으로 유도되는 정자형성과정은 생식주기와 계절변화를 중심으로 연구가 계

속되어 왔다(Sanwal and Khanna, 1972; Johnson, 1991; Parsons and Grier, 1992; Ko *et al.*, 1993; Lee *et al.*, 1993). 본 실험에 사용된 피라미의 정소는 산란시기가 가까워질수록 발달이 현저해지고 정소내 생식세포의 분화단계가 다양해졌는데 이러한 결과는 북방산개구리(Ko *et al.*, 1993), 문치가자미(Lee *et al.*, 1995), 한국산 관박쥐(Lee *et al.*, 1993)의 생식세포에 대한 연구에서 산란기 및 교미시기가 다가올수록 생식세포의 분화가 다양해지는 반면 산란기가 아닌 시기에는 정원세포와 제1정모세포가 주로 관찰되는 결과와 일치하였다. 이것은 피라미의 정자형성도 환경의 영향을 받는다는 것을 지적해주며 앞으로 환경변화에 대한 내분비작용과 관련된 생리적인 측면에서의 실험이 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

포유류의 경우 정자형성은 세정관에서 일어나지만 본 실험에 사용된 피라미는 *Channa gachua* (Sanwal and Khanna, 1972), *Oryzias latipes* (Grier, 1976), block porgy (Gwo and Gwo, 1993), zebrafish (Deung, 1993), swordtail (Lim, 1994)과 같이 정소낭 내에서 정자형성이 이루어지는 것으로 나타났다. 정소낭은 편평한 한 층의 세포들이 경계를 이루고 있는데 이 경계는 포유동물의 Sertoli 세포와 상동한 세포로 보고된 바 있으며(Gwo and Gwo, 1993), 정소낭내의 인접한 생식세포들은 세포간교(intercellular bridge)를 형성하여 동일하게 분화되고 정자완성과정(spermiogenesis)이 종료할 때까지 세포간교는 계속하여 존재하는 것으로 알려져 있다(Grier, 1976).

피라미의 경우, *Oryzias latipes* (Grier, 1976), *Liza aurata* (Brusle, 1981), *Anguilla japonica* (Miura *et al.*, 1991) 등과 같이 정소낭내의 생식세포가 동시에 분화되지만 *Salmo gairdneri* (Billard, 1983a)와 *Acanthopagrus schlegeli* (Gwo and Gwo, 1993)의 경우는 한 정소낭내의 생식세포가 동시에 분화하지 않는 것으로 보고되어 있다. 한 정소낭에서 동일하게 정자가 분화하는 것은 산란시기에 정자가 일시에 체외로 방출되어 수정률을 높이기 위한 적응 현상으로 사료되며, 어류를 포함한 일부 하등동물에서 관찰되는 정소낭은 포유류의 정자형성과정시에 형성되는 syncytium과 동일한 역할을 수행하는 것으로 보인다.

피라미 정자 두부는 구형으로 zebrafish (Deung *et al.*, 1993)와 일치하였지만 타원형인 무지개 송어 (Billard, 1983a), 신장모양인 *Liza aurata* (Brusle, 1981), 초승달모양인 뱀장어(Todd, 1976)와는 차이를 나타냈다. 피라미 정의 두부는 첨체를 보유하고 있지 않았는데 이는 전형적인 경골어류의 특징으로 이처럼 첨체를 유하지 않는 어종으로는 garfish (Afzelius, 1978), zebrafish (Wolenski and Hart, 1987; Deung *et al.*, 1993), rainbow trout (Billard, 1983a), black porgy (Gwo and Gwo, 1993), *Pantodon buchholzi* (Deurs and Lastein, 1973) 등이 알려져 있다.

정자의 두부에 첨체를 보유하지 않는 어종은 난자의 구조에 의존하여 수정이 이루어지는데 난자에는 그 정자의 두부 크기와 비슷한 크기의 난문(micropyle)을 난막의 동물극쪽에 보유하여 정자의 진입통로서의 기능을 수행하는 것으로 알려져 있다(Brummett and Dumont, 1979; Stehr and Hawkes, 1979; Iwamatsu and Ohta, 1981).

정자완성을 마친 정자의 기저부는 근위중심체(proximal centriol)와 원위중심체(distal centriol)로 구성되어 있지만 종에 따라 중심체에서 형성된 미세소관(microtubule)은 구조적 차이를 보이는데, 피라미 정자의 편모는 대부분의 어류에서처럼 9+2의 미세소관을 보유하여 9+0구조의 미세소관을 보유하는 뱀장어(Todd, 1976)와 차이를 나타냈다. 이러한 사실로 미루어 보아 피라미 암컷의 난자는 난문을 보유하고 있을 것으로 판단되며 산란시기에 수컷의 정자는 운동성 기관인 편모를 이용하여 산란된 난자로 이동한 다음 난문을 통과한 후 난자내로 진입해서 수정이 이루어질 것으로 추정되며 피라미의 정자구조와 연관된 난자의 구조에 대한 계속적인 연구가 수행되어져야 할 것으로 사료된다.

결 론

피라미(*Zacco platypus*)의 정자형성과정을 형태학적으로 조사하였다.

정소는 많은 정소낭들로 구성되었으며 정소낭은 편평한 한 층의 세포들에 의해 인접한 정소낭과 경계를 이루고 있었다. 또한 분화를 마친 정자는 정소낭내에

집적되어 있었다. 정원세포는 큰 핵을 가졌으며 인의 발달도 뚜렷하였고 세포질에는 미토콘드리아의 발달이 현저하였다. 제1정모세포와 제2정모세포의 핵은 전자밀도가 높은 구형이었으며 세포질은 정원세포에 비해 감소하였고 미토콘드리아는 세포질의 한쪽부위로 모이는 것으로 나타났다. 정세포의 핵은 응축되어 전자밀도가 매우 높았으며 세포질의 감소가 뚜렷하였다. 또한 정자의 두부는 핵의 응축으로 전자밀도가 매우 높았으며 운동기관인 편모는 전형적인 9+2구조의 미세소관으로 구성되어 있었고 첨체는 보유하지 않는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

金益秀, 姜彦鍾, 原色 韓國魚類圖鑑, 1993. 아카데미書籍 pp. 136-186

崔基哲, 田祥麟, 金益秀, 孫永牧, 1990. 原色 韓國淡水魚圖鑑, 鄕文社 pp. 27-107

Afzelius BA, 1978. Fine structure of the garfish spermatozoon, J. Ultrastruc. Res. 64, 309-314

Billard R, 1983a. Spermiogenesis in the rainbow trout (*Salmo gairdneri*) : An ultrastructural study, Cell Tissue Res. 233, 265-284

Billard R, 1983b. A quantitative analysis of spermatogenesis in the trout (*Salmo trutta fario*) : An ultrastructural study, Cell Tissue Res. 230, 495-502

Billard R, 1984. Ultrastructural changes in the spermatogonia and spermatocytes of *Poecilia reticulata* during spermatogenesis, Cell Tissue Res. 237, 347-355

Brummett AR, Dumont JN, 1979. Initial stages of sperm penetration into the egg of *Fundulus heteroclitus*, J. Exp. Zool. 210, 417-434

Brusle S, 1981. Ultrastructure of spermatogenesis in *Liza aurata* Risso, 1810 (Teleostei, *Mugilidae*), Cell Tissue Res. 217, 415-424

Chung EY, An CM, Lee TY, 1991. Sexual maturation of the bluespotted mud hopper, *Boleophthalmus pectinirostri* (Linnaeus), Bull. Korean Fish Soc. 24(3), 167-176

Deung YK, Kim WJ, Kim DH, Song SB, Reu DS, 1993. An ultrastructural study on the spermatogenesis of the zebrafish (*Brachydanio rerio*), J. Wonju College Medicine 6(1), 186-194

Deurs BV, Lastein U, 1973. Ultrastructure of the spermatozoa of the teleost *Pantodon buchholzi* Peters, with particular reference to the midpiece, J. Ultrastruc. Res. 42, 517-533.

Grier HJ, 1976. Sperm development in the teleost *Oryzias latipes*, Cell Tissue Res. 168, 419-431

Gwo JC, Gwo HH, 1993. Spermatogenesis in the black porgy, *Acanthopagrus schlegeli* (*Teleostei*: *Perciformaes*: *Sparidae*), Mol. Rep. Dev. 36, 75-83

Iwamatsu T, Ohta T, 1981. Scanning electron microscopic observation on sperm penetration in teleostean fish, J. Exp. Zool. 218, 261-277.

Johnson L, 1991. Seasonal differences in equine spermatocytogenesis, Biol. Reprod. 44, 284-291

Jones PR. Butler RD, 1988. Spermatozoon ultrastructure of *Platichthys flesus*, J. Ultrastruc. Molecular Struc. Res. 98, 71-82

Ko SK, Kim JW, Kwon HB, 1993. Seasonal cycl-es in testicular activity in the frog, *Rana dybo-wskii*, Korean J. Zool. 36, 580-587

Lee JH, Son SW, Mori T, Shiraishi S, 1993. Study on the reproductive pattern in the male of Korean greater horseshoe bat, *Rhinolopus ferrumequinum korai* : I. The cycle of seminiferious epithelium and histological changes of testis, Korean J. Zool. 36(1), 36-50

Lee TI, Kang YJ, Lee BD, 1985. Reproduction and population dynamics of marbled sole *Limanda yokohamae*, Bull. Korean Fish Soc. 18(3), 253-261

Lim SH, 1994. A study on the spermatogenesis of swordtail (*Xiphophorus hellerii*, Oryziidae), Master Thesis, Chongju Univ. 1-18

Miura T, Yamauchi K, Nagahama Y, 1991. Induction of spermatogenesis in male Japanese eel, *Anguilla japonica*, by a single injection of human chorionic gonadotropin, Zool. Sci. 8, 63-73

Parsons GR, Grier HJ, 1992. Seasonal changes in

shark testicular structure and spermatogenesis, J. Exp. Zool. 261, 173-184

Poirier GR, Nicholson N, 1982. Fine structure of the testicular spermatozoa from the channel catfish, J. Ultrastru. Res. 80, 104-110

Sanwal R, Khanna SS, 1972. Seasonal changes in the testes of a freshwater fish *Channa gachua*, Acta anat. 83, 139-148

Sprando RL, Russell LD, 1988. Spermiogenesis in the bluegill (*Lepomis macrohirus*) : A study of cytoplasmic events including cell volume changes and cytoplasmic elimination, J. Morphol, 198, 165-177

Stehr CM, Hawkes JW, 1979. The comparative ultrastructure of egg membrane and associated pore structure in the starry flounder, *Platichthys stellatus* (Pallas), and pink salmon, *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum), Cell Tissue Res. 202, 347-356

Todd PR, 1976. Ultrastructure of the spermatozoa and spermiogenesis in the New Zealand frash-water eels (*anguillidae*), Cell Tissue Res. 171, 221-232

Wolenski JS, Hart NH, 1987. Scanning electron microscope studies of sperm incorporation into the zebrafish (*Brachydanio*) egg, J. Exp. Zool., 243, 259-273

van den Hurk R, Peute J, Vermeij JAI, 1978. Morphological and enzyme cytochemical aspects of the testis and vas deferens of the rainbow trout, *Salmo gairdneri*, Cell Tissue Res. 186, 309-325

Yoneyama H, Iwasawa H, 1985. Annual changes in the testis and accessory sex organs of the bullfrog *Rana catesbeiana*, Zool. Sci. 2, 229-237

Yoon JM, Kim GY, Park CK, Roh SC, 1994. Cell structures of spermatogenesis of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* in reproductive cycles, Korean J. Electron Microscopy, 24(3), 55-66

FIGURE LEGENDS

Fig. 1. A light micrograph of the testis of *Zacco platypus*. SG, spermatogonium; PS, primary spermatocyte; Arrow, boundary cell. ×400

Fig. 2. A light micrograph of the testis of *Zacco platypus*. SG, spermatogonium; PS, primary spermatocyte; SS, secondary spermatocyte. ×400

Fig. 3. A light micrograph of the testis of *Zacco platypus*. PS, primary spermatocyte; SS, secondary spermatocyte; St, spermaid. ×400

Fig. 4. A light micrograph of the testis of *Zacco platypus*. PS, primary spermatocyte; SS, secondary spermatocyte; St, spermatid; S, sperm. ×400

Fig. 5. An electronmicrograph of spermatogonia of *Zacco platypus*. Cy, cytoplasm; N, nucleus; Nu, nucleolus; Arrow, mitochondria.

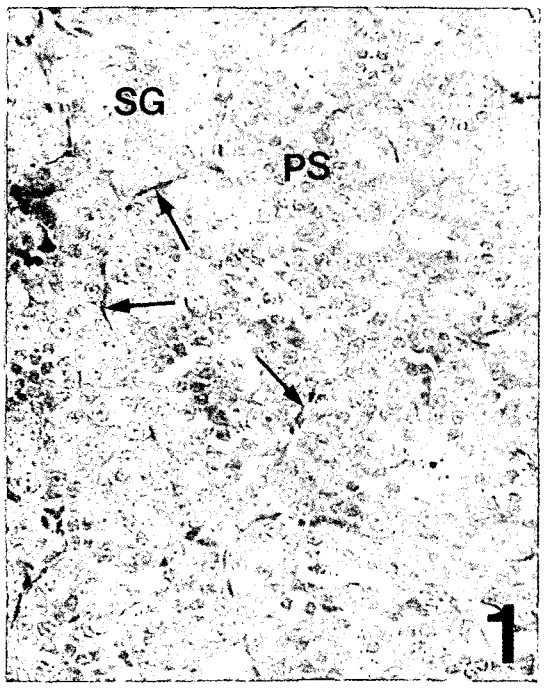
Fig. 6. An electronmicrograph of primary spermatocytes and secondary spermatocytes of *Zacco platypus*. PS, primary spermatocyte; SS, secondary spermatocyte; Arrow, mitochondria; Arrowhead, basal part of flagellum.

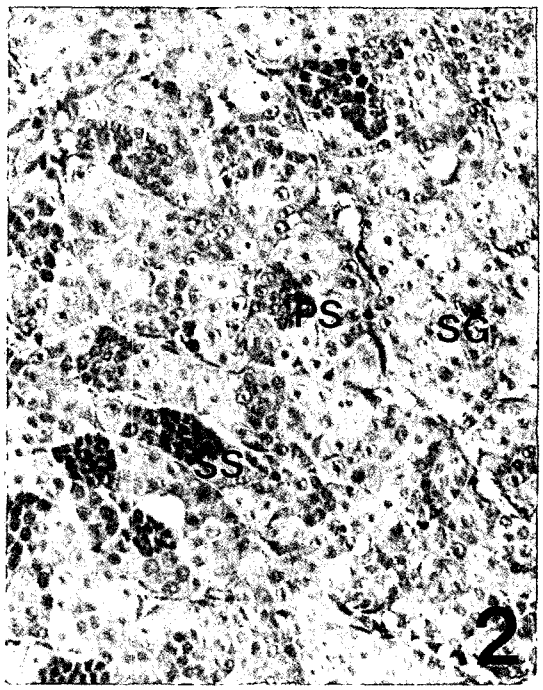
Fig. 7. An electronmicrograph of secondary spermatocytes and spermatids of *Zacco platypus*. SS, secondary spermatocyte; St, spermatid; F, Flagellum; Arrowhead, basal part of flagellum.

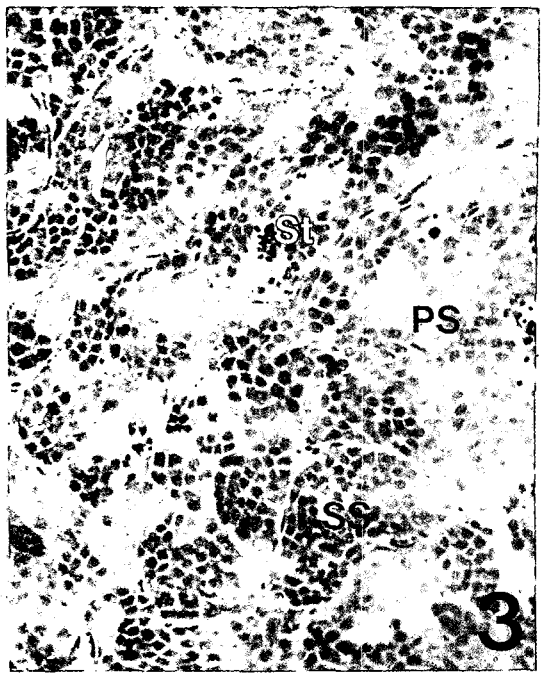
Fig. 8. An electronmicrograph of spermatids of *Zacco platypus*. N, Nucleus; Lu, Lumen; F, Flagellum; M, mitochondria.

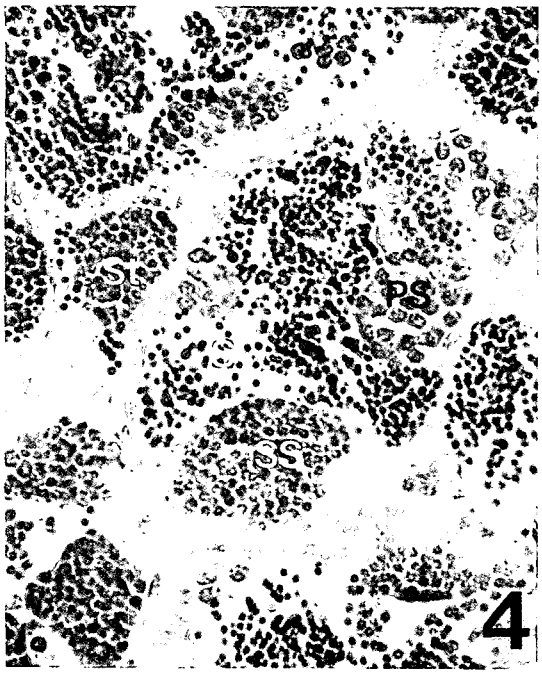
Fig. 9. An electronmicrograph of sperms of *Zacco platypus*. Cy, cytoplasm; N, Nucleus; F, Flagellum; Lu, Lumen.

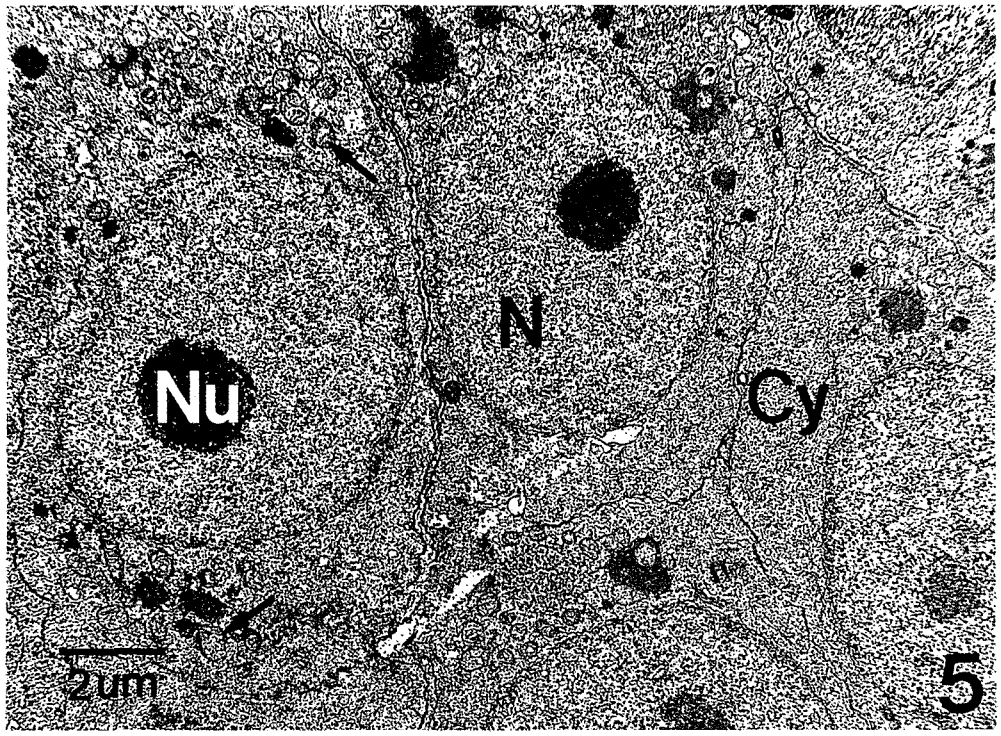
Fig. 10. An electronmicrograph of cross-sectioned flagellum. Arrow, microtubule.

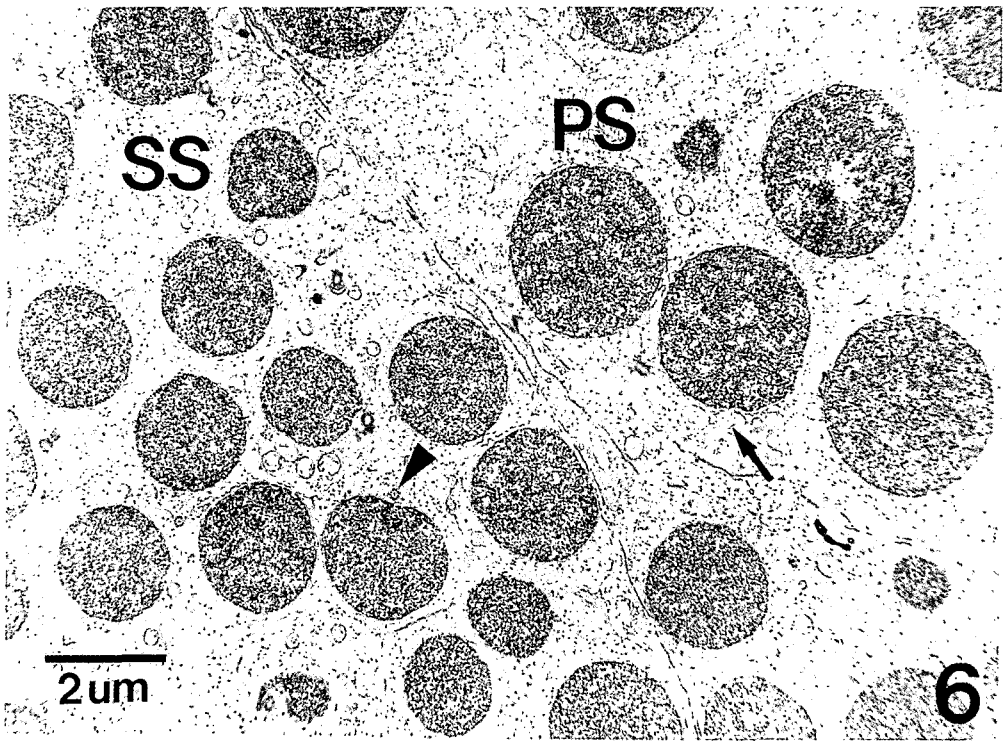

SG
PS
1

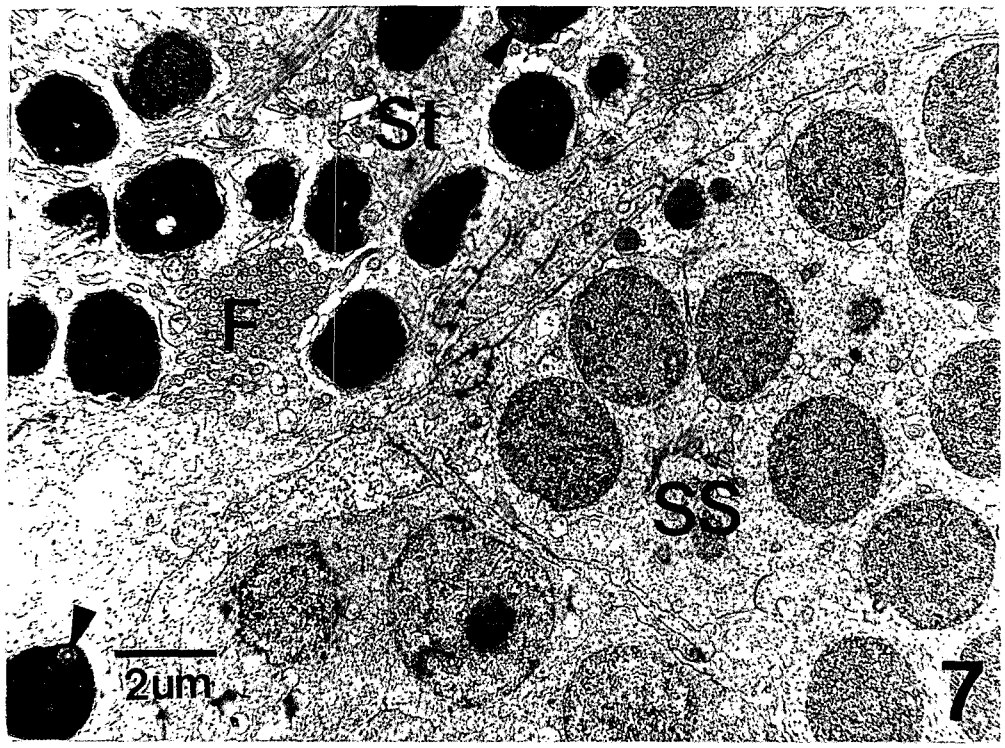

PS
SG
SS
2

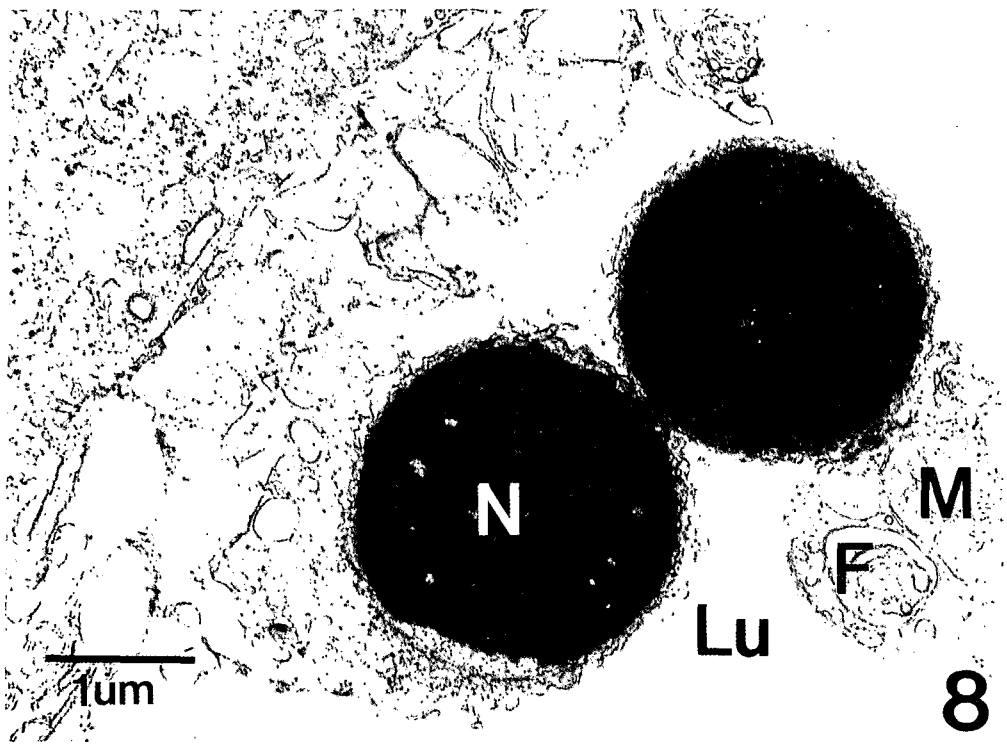

St
PS
SS
3

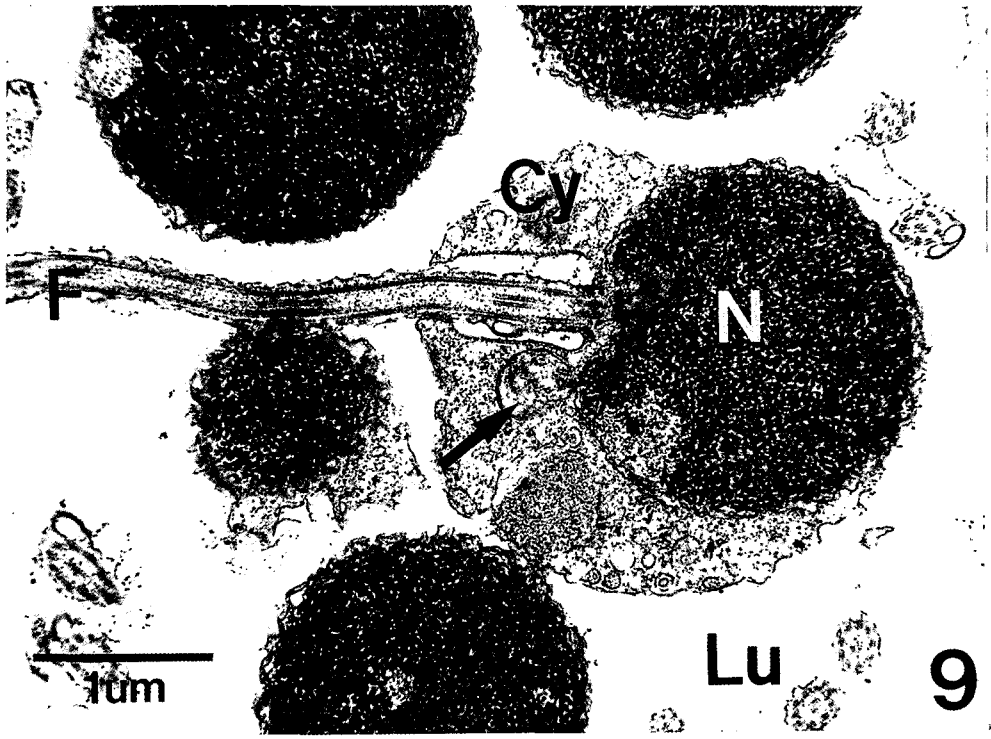

PS
4

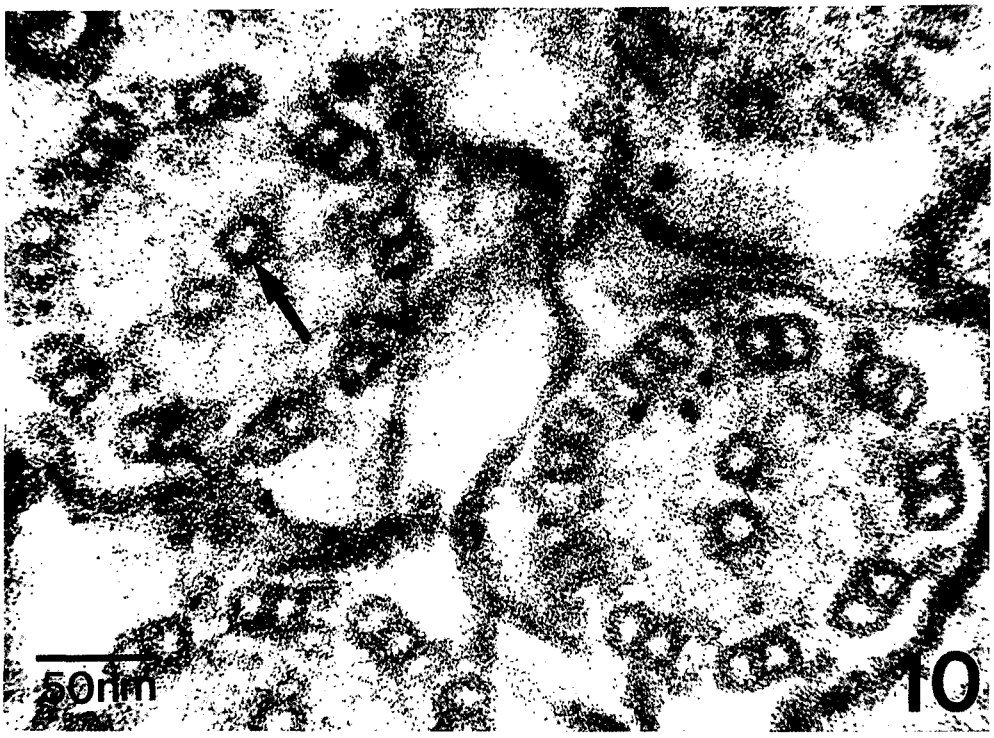

Nu
N
Cy
2um
5


SS
PS
2um
6


St
F
SS
2um
7


N
M
F
Lu
1um
8


Cy
F
N
1um
Lu
9


50nm
10