

## 문치가자미 (*Limanda yokohamae*)의 정자형성에 관한 미세구조적 연구

안 철 민, 이 정 식<sup>1,\*</sup> 허 성 회<sup>2</sup>

국립수산진흥원 양식개발과, <sup>1</sup>여수대학교 어병학과, <sup>2</sup>부경대학교 해양학과

### Ultrastructural Study on the Spermatogenesis of the Marbled Sole, *Limanda yokohamae* (Teleostei: Pleuronectidae)

Cheul Min An, Jung Sick Lee<sup>1,\*</sup> and Sung-Hoi Huh<sup>2</sup>

Aquaculture division, National Fisheries Research and Development Institute, Pusan 619-900, Korea

<sup>1</sup>Department of Fish Pathology, Yosu National University, Yosu 550-749, Korea

<sup>2</sup>Department of Oceanography, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

(Received August 16, 1999)

#### ABSTRACT

Spermatogenesis and fine structure of the spermatozoon of the marbled sole, *Limanda yokohamae* were examined by means of the scanning and transmission electron microscopy. The process of spermatogenesis of the marbled sole is similar to that of other teleost with external fertilization. During the spermiogenesis, chromatin that has been become finely granular progressively condenses into many large globules and that homogeneously condensed in the spermatozoon head. A spermatozoon consists of head and tail, and the acrosome is absent. The cytoplasmic collar contained eight mitochondria is observed in the posterior part of the head. The well-developed axonemal lateral fins are observed in the tail. In the TEM observations, the cross section of the axial filament shows "9+2" axonemal structure of microtubules, and the numerous vesicles are observed in the cytoplasm.

**Key words :** *Limanda yokohamae*, Spermatozoon, Ultrastructure

#### 서 론

경골어류의 정자형성과정과정과 정자의 형태 등은 고등 척추동물과는 다르며, 경골어류들 사이에도 정자형태는 다양하게 나타나고 있어 이에 대한 형태학적 연구

결과들이 많이 보고되고 있다.

경골어류의 정자에 관한 연구는 molley, *Mollienesia latipinna* (Mizue, 1968a), 썸벵이, *Sebastiscus marmoratus* (Mizue, 1968b)에 관한 보고를 비롯해, Grier et al. (1978)이 goodeid류를 대상으로 정자형성과 정소의 미세구조에 관하여 연구하였으며, 무지개송어, *Salmo*

\* Correspondence should be addressed to Dr. Jung Sick Lee, Department of Fish Pathology, Yosu National University, Yosu 550-749, Korea.

Ph: (0662) 640-6270, FAX: (0662) 640-6270, E-mail: LJS@yosu.ac.kr

Copyright © 1999 Korean Society of Electron Microscopy

*gairdneri*의 정자변태과정(Billard, 1983), turbot, *Scophthalmus maximus*의 정자미세구조(Suquet et al., 1993), perch의 정자미세구조(Lahsteiner et al., 1995) 등 1960년대 말부터 현재에 이르기까지 수많은 연구들이 있으나 대부분의 연구들은 정자미세구조를 밝히는데 치중되어 있다. 이러한 이유로는 연중 정자형성과정이 계속하여 일어나는 포유동물과는 달리, 대다수의 경골어류는 생식세포의 발달이 1년을 주기로 어떤 특정 시기에 생식세포가 점진적으로 성장·성숙하기 때문에 채집의 어려운 점이 원인이라 생각된다.

따라서 본 연구는 미세구조적 관찰을 통해서 문치가자미의 정자형성과정에서 나타나는 특징을 알아보고자 실시하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 재료

본 연구에 사용된 문치가자미, *Limanda yokohamae*는 Lee et al. (1985)이 밝힌 생식주기에 따라 휴지기인 3월과 성장기인 10월 그리고 성숙기인 12월에 부산수영만 인근해역에서 정치망에 의해서 채집된 성숙개체들이다. 채집된 재료는 활어상태로 실험실로 옮겨 연수절단 방법으로 죽인 다음, 정소를 추출하여 조직표본을 제작하였다.

### 2. 방법

#### 1) 투과전자현미경 관찰

투과전자현미경(TEM)의 조직표본 제작은 우선 적출한 생식소를 얇게 자른 후(1 mm<sup>3</sup>), 0.1 M phosphate buffer (pH 7.2)로 완충시킨 2.5% glutaraldehyde 용액으로 4°C에서 2~4시간 동안 전고정 하였다. 고정된 조직절편을 phosphate buffer로 약 10분간 충분히 세척한 후, 1% osmium tetroxide (OsO<sub>4</sub>)로 4°C에서 2시간 동안 후고정 하였으며, 고정이 끝난 재료는 0.1 M phosphate buffer로 세척하고 ethanol을 이용하여 단계별로 탈수하여 epon812에 포매하였다. 포매된 조직은 두께 0.5 μm의 semithin section과 70 nm의 ultrathin section을 하였으며, ultrathin section은 copper grid (200 mesh)에 올려 uranylacetate와 lead citrate 용액으로 이중염

색하여 투과전자현미경(JEM-1200 EXII, JEOL)으로 관찰하였다.

#### 2) 주사전자현미경 관찰

주사전자현미경(SEM)의 조직표본 제작과정 가운데 고정과 탈수는 TEM 조직표본제작과 동일하게 처리되었다. 탈수된 조직은 critical point dryer로 건조시킨 후 ion sputter를 이용하여 gold ion particle을 두께 20 nm로 피막을 입힌 후, 주사전자현미경(DSM 940A, Carl Zeiss)으로 관찰하였다.

## 결 과

문치가자미의 정소는 소엽형이며, 각 소엽은 다수의 포낭을 가지는데 각 포낭내에서 생식세포들은 같은 발달단계를 보인다. 정자형성과정은 생식세포의 발달 단계에 따라 정원세포기, 정모세포기, 정세포기, 정자기로 나눌 수 있다.

### 1. 정원세포기

정원세포들은 포낭(cyst)을 구성하고 있는 포낭세포(cyst cell)에 의해 둘러싸여 있으며 이 속에서 발달하고 있다. 간기의 정원세포는 난형을 하고 있으며, 장경 약 7.7 μm의 타원형의 핵과 핵 내에는 직경 약 2.1 μm되는 원형의 인을 가지고 있다. 인은 핵의 한쪽에 위치하고 있으며 전자밀도가 높은 과립들이 응축되어 있어 핵질과 쉽게 구별된다. 핵질의 전자밀도는 세포질의 전자밀도와 유사하다. 핵에 비하여 상대적으로 작은 세포질에는 핵막을 따라 둥근 형태의 미토콘드리아들이 다수 위치하고 있으며, 소포체와 골지체도 관찰된다. 그리고 미토콘드리아 사이에서 전자밀도가 높은 물질들이 관찰된다(Fig. 1).

### 2. 정모세포기

투과전자현미경으로 관찰된 제1감수분열 전기의 쌍사기(zygotene)에 해당되는 제1정모세포의 직경은 약 4.6 μm, 핵경은 3.8 μm로 정원세포에 비하여 작지만 감수분열을 시작한 관계로 정원세포의 세포질과 핵의 비율보다 핵이 차지하는 면적이 매우 크다. 그리고 핵 내에 있었던 인은 소실되어 관찰할 수 없으며,

핵질은 진정염색질과 이질염색질로 뚜렷이 구분된다 (Fig. 2). 감수분열 말기 (telophase)의 핵분열이 완료된 정모세포는 직경 약 2.3  $\mu\text{m}$ 의 핵을 가지는데, 핵막은 뚜렷한 이중막 구조를 보였고, 핵 내에는 진정염색질과 이질염색질이 명확하게 구분되었다 (Fig. 3). 그리고 핵분열이 완료된 후 이들 세포는 세포질 함입에 의하여 둘로 나누어지게 된다 (Fig. 4).

### 3. 정세포기

감수분열을 마친 초기의 정세포는 핵이 세포질 한 쪽에 치우쳐 있으며, 핵 내의 이질염색질은 진정염색질에 비하여 핵의 많은 부분을 점유하고 있다. 그리고 세포질의 한 쪽에서는 발달된 미토콘드리아와 골지체들이 관찰된다 (Fig. 5). 그 후 정자변태기 동안 정세포의 핵은 원형을 갖추면서 핵질에는 전자밀도가 높은 과립성 염색질들이 거의 균질하게 분포하고 있다. 그리고 세포질은 한쪽이 신장되면서 반대쪽 세포막은 핵막과 접하게 되고, 세포질에는 발달된 골지체와 직경 100~150 nm 정도의 공포들이 출현하고 있으며, 앞으로 편모축사의 기부가 될 중심립이 출현한다 (Fig. 6). 변태가 계속 진행되면서 핵의 과립성 염색질은 서로 융합하여 전자밀도가 더욱 높아지며, 미토콘드리아들은 핵의 반대편에 위치하고 있는 편모축사의 기저부 주위에 모이게 된다. 그리고 세포질의 공포들은 점차 증가하여 미토콘드리아의 하방으로 집중되며, 편모축사는 세포질 밖으로 신장된다 (Fig. 7).

정자변태가 완료되면서 핵내의 염색질들이 완전히 응축되어 과립형태가 소실되어 균질하게 되어 동일한 높은 전자밀도를 나타낸다. 그리고 핵의 정단면에서 첨체는 관찰되지 않는다. 미토콘드리아들은 핵의 아래쪽에서 편모축사를 한 층으로 둘러싸며, 편모축사 기저부의 핵막은 함입되면서 cytoplasmic canal을 형성한다. 그리고 핵 주변의 세포질은 대부분 소실되어 세포막과 핵막은 접하게 된다 (Fig. 8).

### 4. 정자기

체외로 방출된 정자의 전체 길이는 55~60  $\mu\text{m}$ 이며 (Fig. 9), 정자는 두부와 미부로 구성되며, 두부의 형태는 난형이다 (Fig. 10). 주사전자현미경 관찰 결과, 두부의 하방에는 cytoplasmic collar가 형성되어 있으며,

미부는 편모축사를 둘러싸고 있는 세포질이 좌우로 신장되어 axonemal lateral fin을 형성하고 있었다 (Fig. 11). 종단면과 횡단면의 투과전자현미경 관찰 결과, 두부 하방의 cytoplasmic collar 부분은 미토콘드리아가 함유된 부분으로서 여덟 개의 미토콘드리아들이 한 층으로 편모축사를 둘러싸고 있었다 (Figs. 12, 13). 정자의 미부는 중심립 기저체 (basal body)로부터 편모축사가 길게 신장되고, cytoplasmic canal 부위부터 세포질이 막상구조로 미부의 편모축사를 둘러싸고 있다 (Fig. 13). 편모축사의 구조는 횡단면에서 주변미세소관과 중심미세소관의 "9+2"로 나타났으며 (Figs. 12, 15), 편모축사를 둘러싸고 있는 세포질에서는 다수의 공포들이 관찰되었다 (Fig. 14). 그리고 주사전자현미경으로 관찰되었던 편모축사 좌우로 신장된 axonemal lateral fin이 투과전자현미경으로 다시 확인되었다 (Fig. 15).

## 고 찰

일반적으로 경골어류의 정자형성은 정소의 포낭 (cyst) 내에서 이루어져 정자변태가 완료되면 정소낭 내강으로 이탈하여 나온다 (Burke & Leatherland, 1984). 문치가자미도 정소낭내에 동일 생식세포 단계별로 포낭을 형성하여 정자형성을 한다. 그리고 다른 대부분의 경골어류와 마찬가지로 문치가자미도 뚜렷한 생식주기를 가지는데 (Lee et al., 1985), 이에 따라 각 단계의 생식세포를 쉽게 관찰할 수 있었다.

Grier (1976)는 정자형성에서 정원세포를 제외하고 정자변태가 완료될때까지 모든 발달 단계에 있는 생식세포에 intercellular bridge가 유지될 것이라 하였고, Billard (1984)는 Guppy에서 1개의 생식세포에 여러개의 intercellular bridge가 존재한다고 보고한 바 있는데, 문치가자미에서는 intercellular bridge를 관찰할 수 없었다.

정세포가 정자로 변태 되면서 문치가자미에서는 핵의 변화와 세포질 탈락 그리고 편모의 분화 등 세 가지의 형태변화가 일어나는데, 이는 다른 어종들의 정자변태과정과 비슷하다. 따라서 연구자에 따라서는 정자변태과정에서 나타나는 가장 특징적인 부분을 중심으로 정자형성을 설명한다. Lou & Takahashi (1989)는 틸라피아, *Oreochromis niloticus*의 정자변태과정을 염

색질 응축 단계로 구분하여 설명하고 있는데, 문치가 자미에서도 정세포 핵내에 이형적으로 분포하는 과립 성 염색질들이 점차로 전자밀도가 높은 동형의 과립 성 염색질로 되고 이후 큰 globule 상태로 융합된 후 최종적으로 응축하게 된다. 이와는 달리 송어류인 *Liza aurata* (Brusle, 1981)의 정자 두부의 염색질은 전자밀도가 높은 과립들의 덩어리로 존재하며, *Oncorhynchus tshawytscha* (Zirkin, 1975)와 *Salmo gairdneri* (Billard, 1983)에서는 정자변태과정중에 염색질은 두꺼운 섬유상으로 모여있고 성숙 정자에서는 치밀하고 균질화 된다. Baccetti et al. (1984)은 핵과 세포질 변화 및 세포 소기관의 이동을 중심으로 서술하고 있다.

문치가자미에서는 초기 정세포의 세포질에 골지체가 매우 발달하여 있고, 정자로 변태됨에 따라 세포질의 양은 감소되면서 vesicular material들이 점차 많아지고 있는데, 이들 vesicular material들은 변태를 마친 정자의 미부에 있는 axonemal lateral fin에서 관찰할 수 있었다. 따라서 정자변태가 진행됨에 따라 소실될 세포질은 골지체에 의해 vesicular material로 만들어져 정자의 미부 세포질로 이동되어 정자의 운동을 돕는 역할을 하는 것으로 생각된다. 그러나 일반적으로는 정자변태과정에서 세포질은 공포화를 되풀이하여 소실되는 것으로 알려져 있으며, 킬라피아(Lou & Takahashi, 1989)에서는 vesicular structure가 정세포의 정단부로부터 세포 밖으로 떨어져 나와 세포질이 소실되는 것으로 보고되어 있다. 따라서 정자변태과정중 세포질 소실에 관한 기작은 좀 특이성이 있을 것으로 생각되나 상세한 연구가 진행되어야 할 것으로 생각된다.

Billard (1970)는 경골어류의 정자를 형태적인 특징을 근거로 세가지 형으로 구분하고 있다. 문치가자미는 그 중 첫 번째에 해당되는 가장 단순한 형으로 정자의 두부는 난형이다. 같은 자미목에 속하는 *Scopthalmus maximus* (Suquet et al., 1993) 정자의 두부는 원형이며, *Perusa triophthalmus* (Mattei, 1970)는 난형, *Platichthys flesus* (Jones & Butler, 1988)는 원주형의 정자 두부를 가지고 있다. 그리고 무지개송어(Billard, 1983)는 난형, 킬라피아, *Oreochromis* spp. (Bern & Avtalion, 1990)는 원형의 정자두부를 가지는 등 서식환경에 따른 공통점을 찾아보기 힘들다. 그리고 이들 경골어류와 마찬가지로 문치가자미의 정자두부에도 첨체가 없는

특징을 갖고 있다. 따라서 정자두부의 다양한 형태는 난문을 통한 수정이라는 경골어류의 독특한 수정 방법에 기인하는 것으로 생각된다.

일반적으로 경골어류의 정자는 포유류의 정자와 마찬가지로 두부(head), 중편(mid piece), 미부(tail)로 구성된다고 보고되고 있다. 하지만 경골어류 정자의 경우 중편이라는 개념은 포유동물과는 다소 차이가 있다. 포유류의 정자에서 중편이라는 의미는 미토콘드리아를 가지는 부분으로 두부와 미부와는 별개 부위라고 할 수 있다. 하지만 대부분 경골어류의 정자에서 중편이라고 표현하는 부위는 핵 하방의 미토콘드리아를 함유하는 부위이며, 외형적으로는 cytoplasmic collar라는 부위로서 정확히 표현하면 대부분 경골어류 정자의 두부는 크게 핵과 미토콘드리아로 구성된다고 할 수 있다. 따라서 미토콘드리아를 함유하는 cytoplasmic collar를 가지는 경골어류의 정자에서 중편이라는 용어는 적당하지 않다고 생각된다. 물론 경골어류 가운데 체내수정을 하는 망상어, *Ditrema temmincki*와 인상어, *Neoditrema ransonneti* (Lee, 1999)의 정자처럼 포유류에서 볼 수 있는 형태의 중편을 가지는 경우도 있다.

문치가자미의 정자는 두부와 미부로 구성되며, 두부에는 cytoplasmic collar를 가지며 이곳에는 여덟 개의 미토콘드리아를 포함하고 있다. 경골어류의 정자가 가지는 미토콘드리아 수는 turbot (Suquet et al., 1993) 및 킬라피아(Lou & Takahashi, 1989)는 8~10개 등으로 종에 따라 다소 차이가 있는 것으로 보고되었다.

이와 같은 정자의 미토콘드리아는 cytoplasmic collar의 형태와 크기 그리고 cytoplasmic canal의 깊이와도 연관이 있는 것으로 판단되며, 미토콘드리아가 정자운동에 필요한 에너지를 제공한다는 점에서 미토콘드리아의 수와 두부의 미세구조적 차이는 종에 따른 정자의 운동시간, 운동능력 및 난자의 수정기구와 밀접한 연관이 있을 것으로 생각된다.

문치가자미의 편모는 한 개이며, 편모축사는 9+2의 미세소관 구조를 갖고 있으나, 뱀장어, *Anguilla japonica* (Colak & Yamamoto, 1974)는 9+0의 구조이며, 킬라피아(Bern & Avtalion, 1990)는 9+1의 구조를 갖고 있는 것으로 보고되어 있다. 그리고 문치가자미의 편모에서 관찰할 수 있는 axonemal lateral fin은 turbot

(Suquet et al., 1993)와 guppy (Billard, 1970), 틸라피아 (Lou & Takahashi, 1989)를 비롯한 일부 어종에서 볼 수 있으나, channel catfish, *Ictalurus punctatus* (Jaspers et al., 1976), *Poecilia latipinna* (Grier, 1973) 등에서는 없는 것으로 보고되고 있다.

이처럼 경골어류 정자의 미부 미세구조도 종에 따라 차이가 있는데, 이는 각 어종 특유의 생식전략에 따라 적응된 결과로 정자의 운동효율을 높이기 위한 구조로 판단된다.

### 참 고 문 헌

- Baccetti B, Burrini AG, Callaini G, Gibertini G, Mazzini M, Zerunian S: Fish germinal cells I. Comparative spermatology of seven cyprinid species. *Gamete Res* 10 : 373-396, 1984.
- Bern O, Avtalion RR: Some morphological aspects of fertilization in tilapia. *J Fish Biol* 36 : 375-381, 1990.
- Billard R: Spermiogenesis in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Cell Tissue Res* 233 : 265-284, 1983.
- Billard R: Ultrastructural changes in the spermatogonia and spermatocytes of *Poecilia reticulata* during spermatogenesis. *Cell Tissue Res* 237 : 219-226, 1984.
- Billard R: Ultrastructure comparee de spermatozoides de quelques poissons teleosteens. In: Baccetti B, ed, Comparative spermatology, pp. 71-79, Academic press, New york, 1970.
- Brusle S: Ultrastructure of spermiogenesis in *Liza aurata* Risso, 1810 (Teleostei, Mugilidae). *Cell Tissue Res* 217 : 415-424, 1981.
- Burke MG, Leatherland JF: Seasonal changes in testicular histology of brown bullheads, *Ictalurus nebulosus* Lesueur. *Can J Zool* 62 : 1185-1194, 1984.
- Colak A, Yamamoto: An electro microscope study of spermiogenesis in the Japanese eel, *Anguilla japonica*. *Bull Fac Fish Hokkaido Univ* 25 : 1-5, 1974.
- Grier HJ, Fitzsimons M, Linton JR: Structure and ultrastructure of the testis and sperm formation in goodeid teleosts. *J Morphol* 156 : 419-438, 1978.
- Grier HJ: Aspects of germinal cyst and sperm development in *Poecilia latipinna* (Teleostei, Poeciliidae). *J Morphol* 146 : 229-250, 1973.
- Grier HJ: Sperm development in the teleost *Oryzias latipes*. *Cell Tissue Res* 168 : 419-431, 1976.
- Jaspers EJ, Avault JW Jr, Roussel JD: Spermatozoal morphology and ultrastructure of channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *Trans Am Fish Soc* 3 : 475-480, 1976.
- Jones RR, Butler RD: Spermatozoon structure of *Platichthys flesus*. *J Ultrastruct Res* 98 : 71-82, 1988.
- Lahasteiner F, Berger B, Weismann T, Patzner R: Fine structure and motility of spermatozoa and composition of the seminal plasma in the perch. *J Fish Biol* 47 : 492-508, 1995.
- Lee JS: Comparative study on the morphology and ultrastructure of the intorsperm. *J Inst Basic Sci Yosu Nat'l Univ* 1 : 37-44, 1999.
- Lee TY, Kang YJ, Lee BD: Reproduction and population dynamics of marbled sole *Limanda yokohamae*. I. Reproduction. *Bull Korean Fish Soc* 18 : 253-261, 1985.
- Lou YH, Takahashi H: Spermiogenesis in the Nile tilapia *Oreochromis niloticus* with notes on a unique pattern of nuclear chromatin condensation. *J Morphol* 200 : 321-330, 1989.
- Mattei X: Spermiogenese comparee des poissons. In: Baccetti B, ed, Comparative spermatology, pp. 57-69, Academic press, New york, 1970.
- Mizue K: Electron-microscopic study on spermatogenesis of black sailfin molley *Mollienesia latipinna*. *Bull Fac Fish Nagasaki Univ* 28 : 1-17, 1968a.
- Mizue K: Studies on a scorpaenous fish *Sebastiscus marmoratus*-VI. Electron-microscopic study of spermatogenesis. *Bull Fac Fish Nagasaki Univ* 25 : 9-24, 1968b.
- Suquet M, Dorange G, Omnes MH, Normant Y, Le Roux A, Fauvel C: Composition of the seminal fluid and ultrastructure of the spermatozoon of turbot (*Scophthalmus maximus*). *J Fish Biol* 42 : 509-516, 1993.
- Zirkin BR: The ultrastructure of nuclear differentiation during spermiogenesis in the salmon. *J Ultrastruct Res* 50 : 174-184, 1975.

### < 국문초록 >

문치가자미의 정자형성과정을 미세구조적으로 관찰한 결과 체외수정을 하는 다른 경골어류의 정자형성과정과 유사한 것으로 나타났다. 정자변태과정 동안 염색질은 과립형태에서 구상으로 점차 응축하여 성숙 정자의 두부에서 치밀하고 균질하게 된다. 정자는 두부와 미부로 구

성되며, 첨체는 가지지 않는다. 두부 후방에서는 cytoplasmic collar가 관찰되었으며, cytoplasmic collar는 여덟 개의 미토콘드리아를 가진다. 미부에서는 잘 발달된

axonemal lateral fin을 관찰할 수 있다. 미부 편모축사의 횡단면은 "9+2"의 미세소관 구조를 나타내며, 세포질내에 많은 수의 공포를 가진다.

## FIGURE LEGENDS

**Figs. 1–8.** Electron micrographs on the spermatogenesis of the marbled sole, *Limanda yokohamae*.

**Figs. 9–15.** Photo and electron micrographs on the spermatozoa of the marbled sole, *Limanda yokohamae*.

**Fig. 1.** The spermatogonium in the interphase. Note the single nucleolus (No) in the large nucleus (N) and the mitochondria (Mt) and endoplasmic reticulum (Er) along the nuclear envelope. Gc: Golgi complex.

**Fig. 2.** Primary spermatocyte in the zygotene stage. Note the heterochromatin (Hc) in the large nucleus.

**Fig. 3.** Primary spermatocyte in the telophase. Note the two nucleus. Hc: heterochromatin, Ne: nuclear envelope.

**Fig. 4.** Primary spermatocyte in the telophase. Note the cell division by furrowing action in the cytoplasm. Er: endoplasmic reticulum, Mt: mitochondria.

**Fig. 5.** Early spermatid. Note the well-developed Golgi complex (Gc) and mitochondria (Mt) in the cytoplasm. Er: endoplasmic reticulum, N: nucleus.

**Fig. 6.** Spermatid in the spermiogenesis. Note the Golgi complex (Gc) and centriole (C) beneath the nucleus. N: nucleus, V: vacuole.

**Fig. 7.** Spermatid in the spermiogenesis. Note the globular chromatin condensation in the nucleus (N) and the well-developed vacuoles (v) in the cytoplasm. Mt: mitochondria.

**Fig. 8.** Longitudinal section of the head part of a spermatozoon. Note the homogeneously chromatin condensation in the nucleus (N). Mt: mitochondria, Pc: proximal centriole.

**Fig. 9.** Photomicrograph of spermatozoa. H: head, T: tail.

**Fig. 10.** Scanning electron micrograph of spermatozoa. Sperm consists of head (H) and tail (T).

**Fig. 11.** Scanning electron micrograph of spermatozoa. Note the cytoplasmic collar (Cpc) in the head (H) part and the axonemal lateral fin (Alf) in the tail (T) part.

**Fig. 12.** Cross section of the posterior head part. Note the eight mitochondria (Mt) and the axonemal structure in "9+2" system. Cm: central microtubules, Pm: peripheral microtubules.

**Fig. 13.** Longitudinal section of a spermatozoon. Note the absence of acrosome and the cytoplasmic collar (Cpc) and cytoplasmic canal (Cc). Dc: distal centriole, F: flagellum, Mt: mitochondria, N: nucleus, Pc: proximal centriole, Plm: plasma membrane.

**Fig. 14.** Longitudinal section of the tail part. Note the well-developed axonemal lateral fin (Alf) and vacuoles (V). Af: axial filament.

**Fig. 15.** Cross section of the tail part. Note the well-developed axonemal lateral fin (Alf) and vacuoles (V). Cm: central microtubules, Pm: peripheral microtubules.







