

## 물가자미 (*Eopsetta grigorjewi*)의 정자변태 및 정자 미세구조

안철민 · 이정식\* · 허성희\*\*

국립수산진흥원 양식개발과, \*여수대학교 어병학과, \*\*부경대학교 해양학과

### Spermiogenesis and Spermatozoal Ultrastructure of the Roundnose Flounder, *Eopsetta grigorjewi* (Teleostei: Pleuronectidae)

Cheul Min AN, Jung Sick LEE\* and Sung-Hoi HUH\*\*

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

\*Department of Fish Pathology, Yosu National University, Yosu 550-749, Korea

\*\*Department of Oceanography, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

The roundnose flounder's (*Eopsetta grigorjewi*) spermiogenesis and fine structure of the spermatozoon were examined by means of the scanning and transmission electron microscopy. During the spermiogenesis, the chromatin of the spermatid became fine granular form, and progressively condensed into many large globules, finally homogeneously condensed in the spermatozoan head. The main characteristics of the spermiogenesis were the disappearance of Golgi complex, the appearance of microfilament, the reduction of mitochondria and the appearance of lysosome in the cytoplasm. A spermatozoon consisted of head and tail, but the acrosome was absent. The cytoplasmic collar containing seven mitochondria was observed in the posterior part of the head. The well-developed axonemal lateral fins were observed in the tail. The cross section of the axial filament showed "9+2" axonemal structure of microtubules, and the numerous vesicles were observed in the cytoplasm.

Key words: *Eopsetta grigorjewi*, spermiogenesis, microfilament, lysosome, spermatozoon

#### 서 론

어류의 정자형태, 미세구조 및 정자형성과정은 중간 또는 그들의 생식생태와 관련하여 그 변이가 아주 다양하다. 일반적으로 어류의 정자는 수정장소에 따라 체외수정형 (aquasperm type)과 체내수정형 (introsperm type)으로 나뉘고, 이는 다시 침체의 유무에 따라 침체형 (acrosomal type)과 무침체형 (anacrosomal type)으로 나누어지는데 (Jamieson, 1991), 노래미, *Agrammus agrammus*를 비롯한 대부분 경골어류의 정자는 무침체형에 속한다 (Chung and Lee, 1985). 이처럼 경골어류의 정자에 침체가 없는 것은 난모세포에 난문 (micropyle)이 있기 때문이다.

일반적으로 포유류와 무척추동물 정자의 침체는 수정시 난막을 용해하는 기능을 가지며, 침체의 형성은 정자변태기 동안 핵 형태의 변형, 편모의 형성 등과 함께 주요한 변화현상의 하나로 골지체의 작용에 의한 것으로 알려져 왔다. 하지만 경골어류의 경우는 정자변태기 동안 핵의 변형과 편모의 형성에 관한 미세구조적 연구들이 보고되고 있지만, 골지체의 뚜렷한 변화양상은 보고되지 않고 있는 실정이다.

물가자미, *Eopsetta grigorjewi*는 붕넛치과 (Pleuronectidae)에 속하는 체외수정 경골어류로서 산란 및 방정기는 2~3월 (Chyung, 1977)이다.

본 연구는 물가자미 정자의 변태과정과 정자의 외부형태 및 내부구조를 전자현미경을 통하여 밝힘으로서 체외수정 경골어류의 정자형성 과정에 관한 기초생물학적 자료를 마련하고자 함이다.

인근해역에서 정치망에 의해 어획된 전장 27.3~29.7 cm, 체중 236.2~270.6 g 범위의 성숙 개체 12마리이다. 구입된 재료는 활어상태로 실험실로 옮겨 연수절단 방법으로 죽인 다음, 정소를 적출하여 조직표본을 제작하였다.

#### 2. 방법

##### 1) 투과전자현미경 관찰

투과전자현미경 (TEM)의 조직표본 제작은 우선 적출한 정소를 얇게 자른 후 (1 mm<sup>3</sup>), 0.1 M phosphate buffer (pH 7.2)로 완충시킨 2.5% glutaraldehyde용액으로 4°C에서 2~4시간 동안 전고정하였다. 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 epon 812에 포매하였다. 포매된 조직은 두께 0.5 μm의 semithin section과 70 μm의 ultrathin section을 하였으며, ultrathin section은 copper grid (200 mesh)에 올려 uranylacetate와 lead citrate용액으로 이중염색하여 투과전자현미경 (JEM-1200EXII, JEOL)으로 관찰하였다.

##### 2) 주사전자현미경 관찰

주사전자현미경 (SEM)의 조직표본 제작과정 가운데 고정과 탈수는 TEM 조직표본 제작과 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.

#### 재료 및 방법

##### 1. 재료

본 연구에 사용된 물가자미, *Eopsetta grigorjewi*는 부산 수영만

#### 결 과

TEM 관찰 결과 제 2 정모세포는 직경 3.5 μm 내외의 원형으로 세포의 상당부분을 핵이 차지하고 있었다. 핵질은 진정염색질

(euchromatin) 보다는 이질염색질 (heterochromatin) 부분이 더 넓게 차지하고 있으며, 세포질에서는 골지체와 미발달된 여러 종류의 세포소기관들이 존재하고 있었다 (Fig. 1, A).

정자변태과정 (spermiogenesis)이 시작되기 전의 정세포는 약  $8.0 \times 6.0$  (장경  $\times$  단경)  $\mu\text{m}$  크기의 난형으로 핵은 세포 전체의 약 1/4을 차지하고 있었다. 핵질에서는 전자밀도가 높은 인이 관찰되었으며, 이질염색질은 핵질 전체에 분산된 상태였다. 세포질에서는 골지체와 잘 발달된 미토콘드리아들이 무리지어져 있는 것이 관찰되었다 (Fig. 1, B).

정자변태과정이 시작되면서 정세포는 전체적으로 길게 신장되었고, 핵은 한쪽으로 치우쳐 세포막과 인접하게 되었으며, 염색질은 미세한 과립형태로 응축되어 핵내에 고르게 분포하고 있었다. 세포질내의 미토콘드리아들은 무리지어 핵의 하방으로 이동되었으며, 일부 크고 작은 공포의 출현이 관찰되었다 (Fig. 1, C). 정자변태과정이 계속 진행되면서 정세포는 더욱 신장된 형태로 되었고, 핵내의 미세한 과립형태의 염색질들은 서로 융합되어 커지면서 더욱 높은 전자밀도를 나타내게 되었다. 세포질에서는 다양한 크기의 공포 (vacuole)들이 더욱 증가되었고, 특히 주목할 만한 것은 정세포의 장축을 따라 미세섬유 (microfilament)들이 융합되어 나타났다 (Fig. 1, D). 그후 정세포의 핵은 차츰 말굽형으로 바뀌었으며, 핵이 오목하게 들어간 가장자리 기저부의 세포질에서는 추후 편모의 기저부가 될 전자밀도가 높은 기저중심립 (proximal centriole)이 관찰되었다. 세포질에는 장축으로 발달된 미세섬유를 중심으로 좌우에 TEM의 한 단면에서 10~15개 정도의 미토콘드리아들이 무리지어 위치하고 있었고, 단일막구조를 가진 이차용해소체 (secondary lysosome)들도 관찰되었다 (Fig. 2, A). 정자변태과정의 후기로 가면서 핵의 하방에서는 편모축사가 신장되면서 편모를 형성하고 있고, 편모 좌우에서는 추후 정자두부의 후방에서 cytoplasmic collar가 만들어질 세포질 부분이 신장된 상태로 구분되고 있으며, 공포들도 관찰되었다 (Fig. 2, B). 정자변태과정의 말기에 핵 주변의 세포질은 거의 소실되었고, 과립상의 염색질들은 30~50 nm 정도 크기로 융합되면서 전자밀도는 더욱 높아졌으며 (Fig. 2, C), 마지막에 염색질들은 서로 완전히 융합되어 균질하게 되면서 핵을 구성하고 있었다. 그리고 이 시기에는 기저중심립과 원위중심립 (distal centriole)이 구별되고 있으며, 전체적으로 완성된 정자의 형태를 보였다 (Fig. 2, D).

SEM으로 관찰된 정자변태과정이 완료된 완숙정자는 두부와 미부로 구성되어 있는데 (Fig. 3, A), 정자의 두부는 난형이며 크기는  $1.7 \times 1.1$  (길이  $\times$  폭)  $\mu\text{m}$  정도이고, 두부 하방에는 cytoplasmic collar가 형성되어 있었으며, 미부에서는 편모축사를 중심으로 좌우에서 axonemal lateral fin이 관찰되었다 (Fig. 3, B).

정자두부의 종단면을 TEM으로 관찰 결과, 물가자미의 정자는 두부에 첨체를 가지지 않는 무첨체형 (anacrosomal sperm type)으로 확인되었으며, 두부 하방의 cytoplasmic collar에는 미토콘드리아들이 한 층으로 존재하는 것이 관찰되었다 (Fig. 3, C). 그리고 cytoplasmic collar 부분의 횡단면에서는 편모축사를 중심으로 7개의 미토콘드리아가 관찰됨으로써 (Fig. 3, D), 이 부분을 구성하는 미토콘드리아의 숫자는 7개로 확인되었다.

종단면과 횡단면의 TEM 관찰 결과, 정자의 미부는 중심립 기

저체 (basal body)로부터 편모축사가 길게 신장되었고, cytoplasmic canal 부위부터 세포질이 막상구조로 미부의 편모축사를 둘러싸고 있었다. 편모축사의 구조는 횡단면에서 주변미세소관과 중심미세소관의 "9+2"로 나타났으며 (Fig. 3, E), SEM에서 관찰되었던 편모축사 좌우로 신장된 axonemal lateral fin이 확인되었다 (Fig. 3, E). 그리고 종단면에서 편모축사를 둘러싸고 있는 세포질에서 다수의 공포들이 관찰되었다 (Fig. 3, F).

## 고 찰

경골어류를 포함한 척추동물의 정자형성과정 가운데 정자의 변태과정과 정자의 미세구조는 종에 따라 특징적인 차이점을 보인다. 특히, 고등 척추동물의 경우는 정세포의 분화과정인 정자변태기 동안에 골지체를 비롯한 다양한 세포소기관들의 변화가 보고되고 있다 (Clermont et al., 1980; Tang et al., 1982; Choi et al., 1998). 하지만 경골어류의 경우에는 이러한 세포소기관들의 변화와 함께 염색질의 응축과정과 편모의 형성에 그 초점이 맞추어지고 있다.

Lou and Takahashi (1989)는 Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*의 정자변태과정을 염색질 응축 단계로 구분하여 설명하고 있는데, 물가자미에서도 정세포 핵의 이형 과립성 염색질들이 점차로 전자밀도가 높은 동형의 과립성 염색질로 되고 이후 구상으로 융합된 후 최종적으로는 하나의 균질한 상태로 응축하게 된다. 이와는 달리 송어류인 *Liza aurata* (Brusle, 1981)의 정자 두부의 염색질은 전자밀도가 높은 과립들의 덩어리로 존재하며, 연어류인 *Oncorhynchus tshawytscha*와 무지개송어, *Salmo gairdneri*에서는 정자변태과정중의 염색질은 두꺼운 섬유상에서 성숙 정자에서는 치밀하고 균질화 된다 (Zirkin, 1975; Billard, 1983).

Grier (1976)는 정자형성과정에서 제 2차 정원세포기로부터 정자변태가 완료될 때까지 모든 발달 단계에 있는 생식세포에 세포간교 (intercellular bridge)가 유지될 것이라 하였으며, Billard (1984)도 guppy, *Poecilia reticulata*에서 생식세포사이에 세포간교가 존재한다고 보고한 바 있는데, 물가자미에서는 정자변태기 동안 세포간교를 관찰할 수 없었다.

본 연구 결과, 물가자미에서는 초기 정세포가 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 일부 세포질과 공포들은 정자의 미부로 이동되어 axonemal lateral fin의 형성과 정자의 운동을 돕는 역할을 하는 것으로 생각된다. 그러나 Nile tilapia (Lou and Takahashi, 1989)에서는 vesicular structure가 정세포의 정단부로부터 세포 밖으로 떨어져 나와 세포질이 소실되는 것으로 보고되어 있다. 따라서 정자변태과정중 세포질 소실에 관한 기작은 종 특이성이 있을 것으로 생각되나 추후 상세한 연구가 진행되어야 할 것이다.

아울러 물가자미의 정자변태과정이 진행됨에 따라 미토콘드리아의 수적 감소와 이차용해소체 그리고 미세섬유의 발달이 두

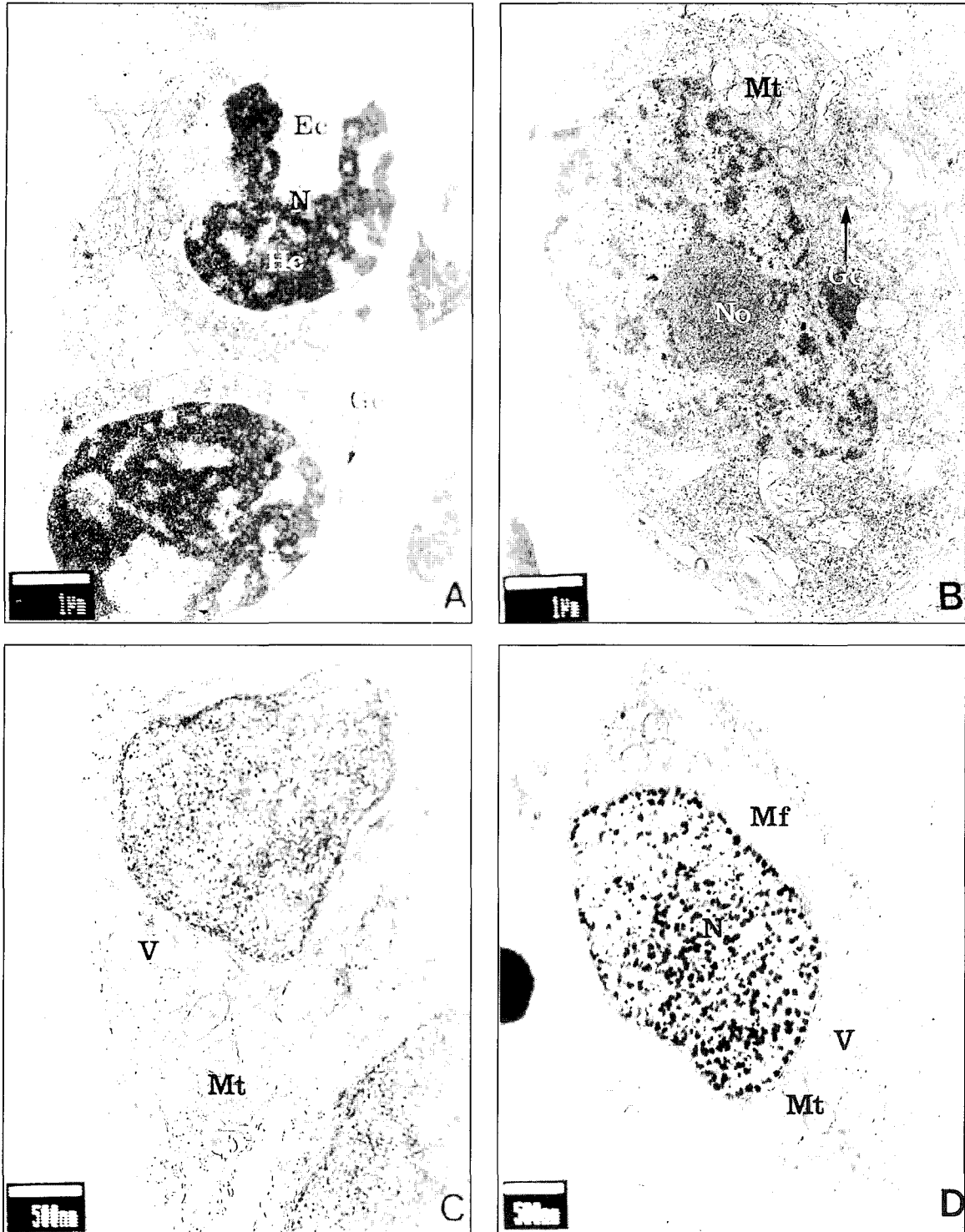


Fig. 1. Electron micrographs on the spermiogenesis of the roundnose flounder, *Eopsetta grigorjewi*. A. Secondary spermatocytes. Note the condensed heterochromatin in the nucleus. B. Early spermatid has a well-developed mitochondria and Golgi complex in the cytoplasm. C. Spermatid in the early spermiogenesis. Note the granular chromatin condensation in the nucleus and the mitochondria beneath the nucleus. D. Spermatid in the spermiogenesis. Note the microfilament in the cytoplasm. Ec, euchromatin; Gc, Golgi complex; Hc, heterochromatin; Mf, microfilament; Mt, mitochondria; N, nucleus; No, nucleolus; V, vacuoles.

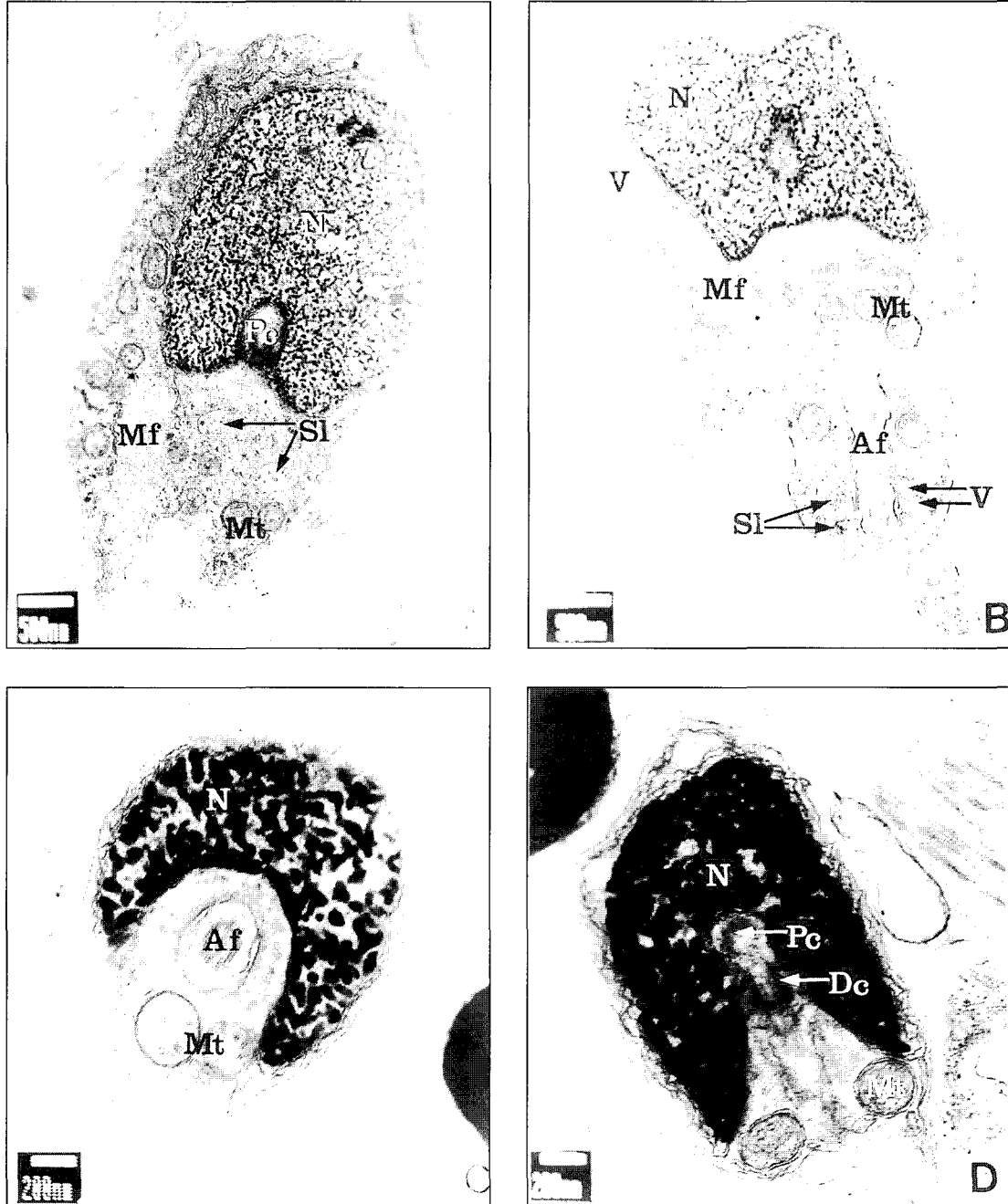


Fig. 2. Electron micrographs on the spermiogenesis of the roundnose flounder, *Eopsetta grigorjewi*. A. Spermatid in the spermiogenesis. Note the proximal centriole, numerous mitochondria and secondary lysosome. B. Spermatid in the spermiogenesis. Note the reduced mitochondria and the axial filament. C. Spermatid in the late spermiogenesis show the globular chromatin condensation in the nucleus. D. Longitudinal section of the head part of a spermatozoon. Note the homogeneously chromatin condensation in the nucleus. Af, axial filament; Dc, Distal centriole; Mf, microfilament; Mt, mitochondria; N, nucleus; Pc, proximal centriole; Sl, secondary lysosomes; V, vacuoles.

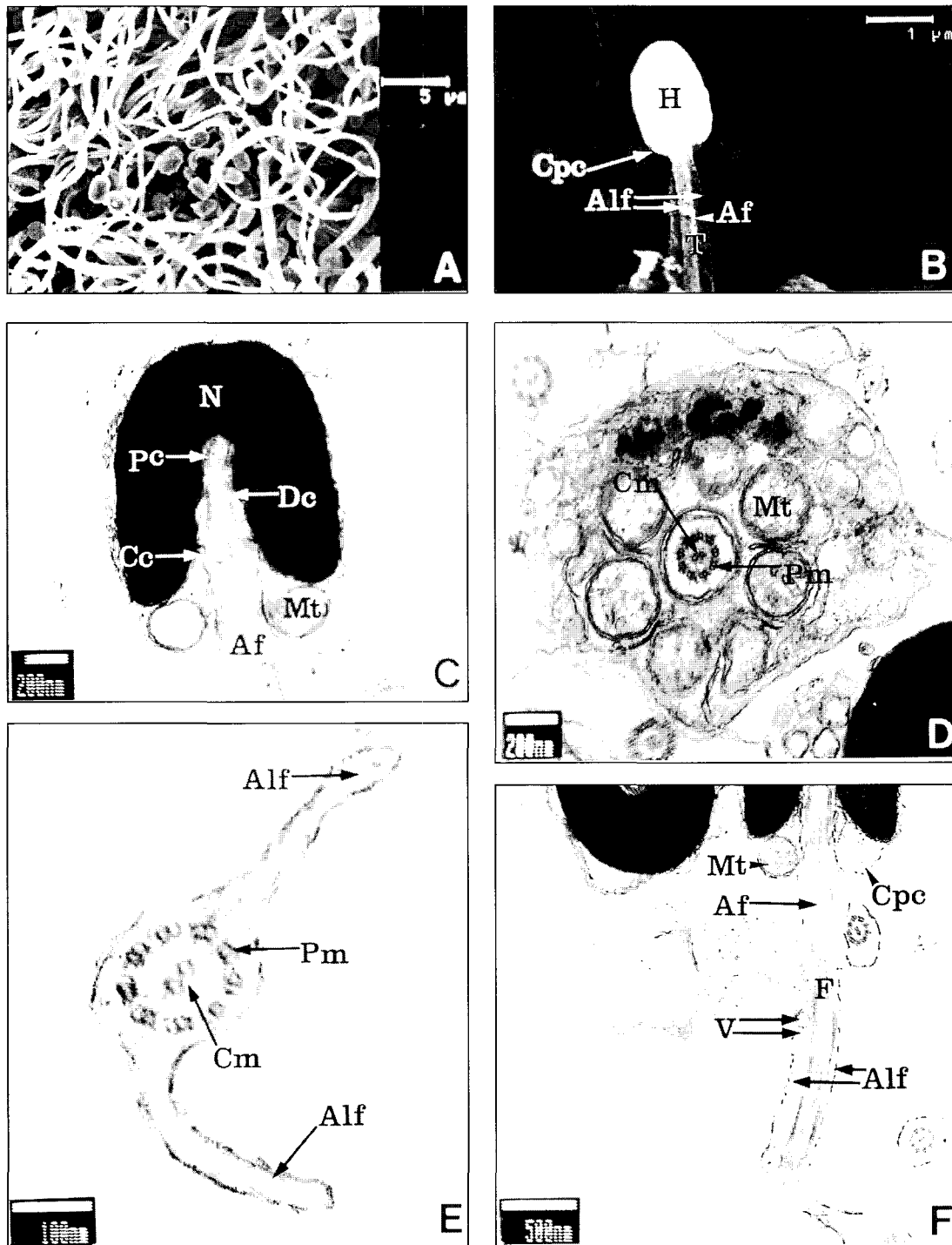


Fig. 3. Electron micrographs on the spermatozoal ultrastructure of the roundnose flounder, *Eopsetta grigorjewi*. A. Scanning electron micrograph of spermatozoa in testis. B. External morphology of spermatozoon. Spermatozoon consists of head in ovoid form and tail. C. Longitudinal section of spermatozoon. An acrosom is absent. D. Cross section of cytoplasmic collar. Axial filament surround by seven mitochondria. E. Cross section of flagellum. Axial filament of the flagellum consists of nine pairs of peripheral microtubules and one pair of central microtubules. Note the well-developed axonemal lateral fin. F. Longitudinal section of flagellum. Note the cytoplasmic collar in head part and axonemal lateral fin and vacuoles. Af, axial filament; Alf, axonemal lateral fin; Cc, cytoplasmic canal; Cm, central microtubules; Cpc, cytoplasmic collar; F, flagellum; H, head; Mt, mitochondria; N, nucleus; Pc, proximal centriole; Pm, peripheral microtubules; T, tail.

렸이 관찰되었다. 이 가운데 미토콘드리아의 수적 감소는 변태중인 정세포와 성숙정자의 미토콘드리아의 크기가 유사한 점으로 보아 미토콘드리아의 용해현상이라기 보다는 골지체의 소실에도 역할을 하는 것으로 생각되는 이차용해소체의 자식작용 (autophagy)에 의한 것으로 판단되지만 이들 세포소기관의 운명에 관해서는 좀 더 세부적인 연구가 진행되어야 할 것이다. 그리고 세포내에서 미세섬유는 일반적으로 세포골격으로서 세포분열, 세포의 형태형성 및 형태유지에 관여한다고 알려져 있으므로 본 연구에서 미세섬유의 발달은 핵이 응축되는 방향에 관하여 정자 두부의 형태형성에 주요한 기능을 하는 것으로 생각된다.

물가자미의 정자는 두부와 미부로 구성되며, 두부에는 침체를 가지지 않는다. 체외수정 경골어류 가운데 정자의 두부에 침체를 가지지 않는 종류는 뱀장어, *Anguilla japonica* (Colak and Yamamoto, 1974), 흰줄납줄개, *Rhodeus ocellatus* (Ohta and Iwamatsu, 1983), 노래미, *Agrammus agrammus* (Chung and Lee, 1985), 송사리, *Oryzias latipes* (Jamieson, 1991), 줄종개, *Cobitis striata* (Kim and Park, 1996), 문치가자미, *Limanda yokohamae* (An et al., 1999) 등이 보고되고 있다. 이처럼 경골어류의 정자가 두부에 침체를 가지지 않는 이유는 이들은 난문 (micropyle)을 통한 수정이라는 경골어류의 독특한 수정 방법에 기인하는 것으로 보고되고 있는데, 물가자미의 경우도 이러한 이유라고 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.

물가자미의 정자는 두부 후방에 cytoplasmic collar를 가지며, 이곳에는 7개의 미토콘드리아를 포함하고 있다. 경골어류의 정자가 가지는 미토콘드리아 수는 Nile tilapia (Lou and Takahashi, 1989)와 turbot, *Scophthalmus maximus* (Suquet et al., 1993)는 8~10개, 줄종개 (Kim and Park, 1996)는 5~8개, 문치가자미는 8개 (An et al., 1999) 등으로 종에 따라 다소 차이가 있는 것으로 보고되었다.

이와 같은 정자의 미토콘드리아수는 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.

물가자미 정자의 편모는 한 개이며, 편모축사의 횡단면은 9+2

의 미세소관 구조를 보이나, 뱀장어, *Anguilla japonica* (Colak and Yamamoto, 1974)는 9+0의 구조이며, tilapia (Bern and Avtalion, 1990)는 9+1의 구조를 갖고 있는 것으로 보고되어 있다. 그리고 물가자미 정자의 편모에서 관찰할 수 있는 axonemal lateral fin은 channel catfish, *Ictalurus punctatus* (Jaspers et al., 1976), guppy, *Poecilia latipinna* (Grier, 1973) 등에서는 보고되지 않았으나, Nile tilapia (Lou and Takahashi, 1989), turbot (Suquet et al., 1993), 볼락, *Sebastes inermis* (Lee, 1996), 볼볼락, *Sebastes thompsoni* (Lee et al., 1997), 문치가자미 (An et al., 1999) 등에서는 보고되고 있다.

이와 같은 경골어류 정자 미부의 미세구조의 차이는 정자의 운동성을 높이기 위한 것으로 이는 각 어종 특유의 생식전략에 따라 적용된 결과로 판단된다.

## 요 약

물가자미의 정자변태과정과 정자의 미세구조를 주사전자현미경과 투과전자현미경으로 조사한 결과는 다음과 같다. 정자변태과정 동안 염색질은 과립형태에서 구상으로 점차 응축하여 성숙 정자의 두부에서는 치밀하고 균질하게 된다. 물가자미 정자변태과정 동안 나타나는 특징은 세포질에서 골지체의 소실, 미세섬유의 출현, 미토콘드리아 수의 감소, 용해소체의 출현이다. 이 과정에서 미세섬유는 정자의 형태형성에 관여하며, 골지체의 소실과 미토콘드리아 수의 감소는 용해소체의 작용에 의한 것이다. 정자는 두부와 미부로 구성되며, 무침체형이다. 두부 후방에서는 cytoplasmic collar가 관찰되었으며, cytoplasmic collar는 7개의 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.

## 참 고 문 헌

- An, C.M., J.S. Lee and S.H. Huh. 1999. Ultrastructural study on the spermatogenesis of the marbled sole, *Limanda yokohamae* (Teleostei: Pleuronectidae). Korean J. Electron Microscopy, (in press) (in Korean).
- Bern, O. and R.R. Avtalion. 1990. Some morphological aspects of fertilization in tilapias. J. Fish Biol., 36, 375~381.
- Billard, R. 1983. Spermiogenesis in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Cell Tissue Res., 233, 265~284.
- Billard, R. 1984. Ultrastructural changes in the spermatogonia and spermatocytes of *Poecilia reticulata* during spermatogenesis. Cell Tissue Res., 237, 219~226.
- Brusle, S. 1981. Ultrastructure of spermiogenesis in *Liza aurata* Risso, 1810 (Teleostei, Mugilidae). Cell Tissue Res., 217, 415~424.
- Choi, B.J., S.W. Son, J.H. Lee and K.I. Lee. 1998. Electron microscopic observations on the endoplasmic reticulum and Golgi complex during spermiogenesis in the long-fingered bat (*Miniopterus schreibersi fuliginosus* Hodgson). Korean J. Electron Microscopy, 28, 603~613 (in Korean).
- Chung, E.Y. and T.Y. Lee. 1985. Studies on the reproductive cycle

- of greenling, *Agrammus agrammus*. Bull. Nat'l Fish. Univ. Pusan, 25, 26~42.
- Chyung, M.K. 1977. The fishes of Korea. Ilji-sa Pub. Co. Seoul, 727 pp. (in Korean).
- Clermont, Y., J. McCoshen and L. Hermo. 1980. Evolution of the endoplasmic reticulum in the Sertoli cell cytoplasm encapsulating the heads of late spermatids in the rat. Anat. Rec., 196, 83~99.
- Colak, A. and K. Yamamoto. 1974. An electron microscopic study of spermiogenesis in the Japanese eel, *Anguilla japonica*. Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ., 25, 1~5.
- Grier, H.J. 1973. Aspects of germinal cyst and sperm development in *Poecilia latipinna* (Teleostei, Poeciliidae). J. Morphol., 146, 229~250.
- Grier, H.J. 1976. Sperm development in the teleost *Oryzias latipes*. Cell Tissue Res., 168, 419~431.
- Jamieson, B.G.M. 1991. Fish evolution and systematics: Evidence from spermatozoa. Cambridge University Press. New York, 319pp.
- Jaspers, E.J., J.W. Jr. Avault and J.D. Roussel. 1976. Spermatozoal morphology and ultrastructure of channel catfish, *Ictalurus punctatus*. Trans. Am. Fish. Soc., 3, 475~480.
- Kim, I.S. and J.Y. Park. 1996. Structure of testis and spermatozoon of *Cobitis striata* (Pisces : Cobitidae) from Korea. Korean J. Ichthyol., 8, 1~8 (in Korean).
- Lee, J.S. 1999. Comparative study on the morphology and ultrastructure of the introsperm. J. Inst. Basic Sci. Yosu Nat'l Univ., 1, 37~44 (in Korean).
- Lee, J.S. 1996. Ultrastructural study on spermatogenesis of rockfish, *Sebastes inermis* (Pisces: Scorpaenidae). Korean J. Electron Microscopy, 26, 267~275 (in Korean).
- Lee, J.S., Y.K. Oh and S.H. Huh. 1997. Fine structural observations on spermatogenesis of the goldeye rockfish, *Sebastes thompsoni* (Teleostei: Scorpaenidae). J. Korean Fish. Soc., 30, 1005~1012.
- Lou, Y.H. and H. Takahashi. 1989. Spermiogenesis in the Nile tilapia *Oreochromis niloticus* with notes on a unique pattern of nuclear chromatin condensation. J. Morphol., 200, 321~330.
- Ohta, T. and T. Iwamatsu. 1983. Electron microscopic observations on sperm entry into eggs of the rose bitterling, *Rhodeus ocellatus*. J. Exp. Zool., 227, 109~119.
- Suquet, M., G. Dorange, M.H. Omnes, Y. Normant, A. Le Roux and C. Fauvel. 1993. Composition of the seminal fluid and ultrastructure of the spermatozoon of turbot (*Scophthalmus maximus*). J. Fish Biol., 42, 509~516.
- Tang, X.M., M.F. Lalli and Y. Clermento. 1982. A cytochemical study of the Golgi apparatus of the spermatid during spermiogenesis in the rat. Am. J. Anat., 163, 283~294.
- Zirkin, B.R. 1975. The ultrastructure of nuclear differentiation during spermiogenesis in the salmon. J. Ultrastruct. Res., 50, 174~184.

---

1999년 8월 31일 접수

1999년 10월 21일 수리