

## 한국 연근해산 두족류 (*Octopus minor*, *Octopus ocellatus* and *Todarodes pacificus*) 성숙정자의 미세구조 II

김 상 원, 장 남 섭\*  
목원대학교 자연과학대학 생명과학부

### Fine Structure of Mature Sperms of Cephalopods (*Octopus minor*, *Octopus ocellatus* and *Todarodes pacificus*) Inhabiting the Korean Waters II

Sang-Won Kim and Nam-Sub Chang\*  
Department of Life Science, College of Natural Science, Mokwon University,  
Taejon 302-729, Korea  
(Received October 30, 2001)

#### ABSTRACT

The mature sperms of three species of cephalopods (*Octopus minor*, *Octopus ocellatus*, *Todarodes pacificus*) were observed by electron microscopy. The results obtained are as follows:

The sperm lengths of *Octopus minor* and *Octopus ocellatus* of octopods are long and they are about 390  $\mu\text{m}$  and 125~130  $\mu\text{m}$ , respectively, but the sperm length of *Todarodes pacificus* is short and about 35  $\mu\text{m}$ . The sperm of *Octopus minor* has a helical acrosome and a head bent a little like a banana while *Octopus ocellatus* of octopod has a twisted acrosome and a long rod-shaped head. A number of horizontal stripes are observed as a periodic structure in their subacrosome cavities and dense plugs are formed in the cavities of their heads. On the other hand, the acrosome of *Todarodes pacificus* is circular cap-shaped, and its head is long and oval. It is notable that two small cavities were observed in its basal acrosome. Juxtannuclear acrosomal materials of high electron density filled the subacrosomal cavity.

In the middle piece of mature sperms of *Octopus minor* and *Octopus ocellatus*, the mitochondria form the mitochondrial sleeve, but the numbers of mitochondria differ between the species so that they are 11~12 and 8~9, respectively. Meanwhile, in the middle piece of mature sperms of *Todarodes pacificus*, the mitochondria are separated from the axoneme, forming a mitochondrial spur in which 10~13 mitochondria and some electron dense materials concentrate.

The axoneme of *Octopus minor*, *Octopus ocellatus* and *Todarodes pacificus* are of 9+2 type in common, surrounded by 9 coarse fibres. A number of glycogen were observed only in the axoneme of *Todarodes pacificus*. The coarse fibres were found as far as the main piece of sperm tail in *Octopus minor* and *Todarodes*

\* Correspondence should be addressed to Dr. Nam-Sub Chang, Department of Life Science, College of Natural Science, Mokwon University, Taejon 302-729, Korea. Ph.: 042-829-7582, FAX: 042-829-7580

Copyright © 2001 Korean Society of Electron Microscopy

*pacificus*, while to the end piece of sperm tail in *Octopus ocellatus*.

**Key words** : Cephalopods, Mature Sperms, Ultrastructure

## 서 론

두족류(cephalopod)의 정자발생과 성숙정자에 관한 광학현미경을 이용한 연구는 Chun (1903)을 필두로 많은 연구가 있었다(Franzén, 1955, 1967; Austin et al., 1964; Martin et al., 1970). 전자현미경적 연구는 Galangau와 Tuzet (1968a, b)에 의해 시작되었고, 이후 성숙정자에 관한 상세한 연구가 많은 학자들에 의해 활발히 연구되어 왔다 (Anderson & Personne, 1970; Longo & Anderson, 1970; Martin et al., 1970; Brocco, 1971; Maxwell, 1974, 1975; Fields & Thompson, 1976; Arnold, 1978; Arnold & Williams-Amold, 1978; Fioroni, 1981; Healy, 1988, 1990a).

Maxwell (1974)은 낙지류인 *Eledone cirrhosa*에서 정자의 침체와 머리부위가 나선형으로 꼬여 있음을 확인한 바 있으며, 이어 1975 (Maxwell)에는 오징어류 3종 (*Eusepia officinalis*, *Loligo forbesi*, *Alloteuthis subulata*)의 정자 침체 및 머리부위의 구조가 약간 굽어 있어 바나나 모습을 하고 있다고 하였다. 그러나 Healy (1990b)는 갑오징어류 *Spirula spirula*의 성숙정자의 침체는 구형이며, 그 침체 하단부에서 전자 밀도가 낮은 subacrosomal material을 관찰한 바 있다고 하였다.

두족류 두부의 하단부 중심소체에 관한 연구는 *Eledone cirrhosa* 및 *Eusepia officinalis* (Maxwell, 1974, 1975) 등이 있는데, 이들은 핵의 하단 centriolar pit에서 한 개의 중심소체가 형성되고 이들로부터 편모가 형성된다고 한 반면, Franzén (1967)과 Healy (1989)는 2개의 중심소체가 핵의 하단부에서 관찰되고, 그 중 원위중심소체로부터 축사가 형성된다고 하였다.

정자의 중편을 구성하는 미토콘드리아에 관한 연구는 Franzén (1955)이 미토콘드리아가 핵의 기저부에 마개모양의 부속지를 형성하여 mitochondrial spur를 형성한다고 하였고, 이후 Maxwell (1975)은 축사와

mitochondrial pocket이 분리되어 mitochondrial spur를 형성한다고 언급한 반면, Healy (1990b)는 *Spirula spirula*에서 미토콘드리아가 축사를 감싸기 위해 mitochondrial sleeve를 형성한다고 하였다.

정자의 꼬리부위 축사의 구조는 9+2형이고, 그 주위를 9개의 굵은섬유(coarse fibres)들이 둘러싸고 있다는 많은 연구 결과도 있었다(Franzén, 1967; Leik, 1970; Fields & Thompson, 1976; Maxwell, 1974, 1975; Healy, 1989, 1990a, b; Hou & Maxwell, 1992). 성숙정자의 축사에서 PA-TSC-SP (periodic acid thiosemicarbazide-silver proteinate) 기술을 이용하여 글리코겐의 침착에 관한 연구도 있으며, 꼬리 전체에서 글리코겐이 관찰된다고도 하였다 (Drochmans, 1962; Thiéry, 1967; Anderson & Personne, 1970; Vye & Fischman, 1971; Maxwell, 1975). 한편 Fields & Thompson (1976)은 PAS (periodic acid-Schiff) 염색 방법을 이용하여 머리 부위와 중편에서 글리코겐을 확인한 바 있다.

이와 같이 두족류 성숙정자의 머리, 중편 그리고 꼬리 등의 미세구조가 종에 따라 매우 다양하게 나타난 바 있어, 본 연구에서는 한국의 연근해에서 서식하고 있는 두족류 3종 (*Octopus minor*, *Octopus ocellatus* and *Todarodes pacificus*)을 대상으로 성숙정자의 미세구조를 관찰하였기에 이를 보고하고자 한다.

## 재료 및 방법

한국의 연근해에서 서식하는 서해낙지 (*Octopus minor*), 주꾸미 (*Octopus ocellatus*) 그리고 살오징어 (*Todarodes pacificus*)를 채집하여 실험실로 옮긴 다음 실험재료로 사용하였다.

실험재료를 30% ethyl alcohol로 마취시킨 후 개복하고 정소를 적출 하였다. 정소는 실험에 사용할 수 있도록 적당한 크기로 잘라낸 다음, 2.5% paraformal-

dehyde-3% glutaraldehyde로 1시간 30분 전고정하고, 이어 OsO<sub>4</sub>로 2시간 후고정하였다. 고정이 끝난 재료는 0.2 M phosphate buffer (pH 7.3)로 3회 세척하고, ethanol 농도 순으로 탈수시킨 다음, 통상법에 따라 Epon 812로 포매하였으며 60°C 파라핀 오븐에서 40시간 경화시켰다.

Epon블록은 LKB-V ultramicrotome을 사용하여 1 μm 두께의 박절편을 만들고 이를 methylene blue로 단일염색 한 후 광학현미경하에서 정확한 부위를 확인하고, 초박절편을 만들었다. 초박절편은 uranyl acetate와 lead citrate로 이중염색을 하고, 투과전자현미경 (Hitachi H-600, 75 KV)으로 관찰하였다.

## 결 과

### 1. 서해낙지

서해낙지의 성숙정자 길이는 390 μm 정도이고, 일부 낙지류들처럼 첨체는 길이가 5 μm 정도로 꼬여 있으나, 머리는 꼬여 있지 않았다. 머리의 길이는 65~70 μm 정도로 약간 굵은 형태를 하고 있어 바나나 모양이었으며, 꼬리는 그 길이가 약 310~330 μm로 나타났다 (Table 1).

첨체 내강에는 많은 수의 규칙적 구조 (periodic structure)인 가로무늬가 형성되면서 원뿔형으로 변모되었다. 이 규칙적 구조는 첨체 내강 전체를 통해 존재하는 것으로 확인되었다 (Fig. 2).

성숙정자 두부의 상단부 횡단면은 그 형태가 구형 (직경 0.6 μm)의 가락지 모양이었으며, 핵은 농축되어 전자밀도가 매우 높게 나타났다. 근위중심소체로부터 형성되어 핵의 상단부까지 신장된 extra-nuclear rod (이후 enr이라 칭함)는 성숙된 후에는 치밀전 (dense plug)을 형성하여 농축되었지만, 핵보다는 전자밀도가 약간 낮아서 핵과 구분되었다 (Fig. 3).

두부의 하단부 횡단면은 전자밀도가 매우 높은 도우넛 형태였으며 9개의 굵은섬유 (coarse fibres)와 9+2형의 축사 (axoneme)가 관찰되었다 (Fig. 4). 이들의 종단면에서는 축사 주위를 둘러싸고 있는 미토콘드리아가 관찰되었는데, 이들은 mitochondrial sleeve

를 형성하였다 (Fig. 5). 이어, 중편 횡단면에서도 11~12개의 미토콘드리아가 굵은섬유와 축사를 둘러싸고 있는 모습이 관찰되었는데, 이들 미토콘드리아 (직경 0.1 μm) 내강에는 변형된 약간의 크리스테 (cristae)가 관찰될 뿐, 전자밀도는 낮아서 밝게 보였다 (Fig. 3). 꼬리의 굵은섬유들은 대부분 구형이었으며 직경은 90 nm였다. 이들은 꼬리의 주편 (main piece) 에서도 관찰되었으나 (Figs. 6, 7), 꼬리의 단편 (end piece) 에서 9+2형의 축사만 존재하였다 (Fig. 6).

### 2. 주꾸미

주꾸미의 성숙정자는 전체의 길이가 200~220 μm 정도였다. 그 중 첨체의 길이는 8~9 μm 정도였고 1.5 μm 간격으로 꼬인 나선형 구조였으나, 머리부위는 길이가 11 μm 정도로서 꼬여 있지 않았다 (Table 1).

첨체는 전자밀도가 두터운 막과 솜털모양의 물질들로 둘러싸여 있는 반면, 내강은 일정한 간격의 가로무늬로 구성된 규칙적 구조물과 전자밀도가 낮아 밝게 보이는 물질들로 구성되어 있었고, 머리부위와는 60 nm 정도 간격을 유지하고 있었다 (Fig. 8).

성숙정자의 머리부위 종단면은 전자밀도가 어두운 긴 막대 모양으로 나타났으며, 그 내강에서 enr 대신 정자의 머리와 전자밀도가 거의 같은 치밀전이 머리의 하단부에서 1/3 정도까지 신장된 특이한 모습을 보였다. 또한 머리의 외측에는 불규칙한 형태의 원형 질막이 둘러싸고 있었다 (Fig. 9).

머리 상단부 횡단면은 직경 0.8 μm 정도인 둥근 형태로서, 전자밀도가 높게 관찰된 반면 (Fig. 11), 하단부의 횡단면은 도우넛 형태를 하고 있었고 (Figs. 11 and 12), 그 내강에서는 9+2형의 축사로 형성된 꼬리 부위가 존재하였다 (Fig. 12).

성숙정자의 중편부위는 길이가 4 μm 정도로 관찰되고, 횡단면에서는 축사를 둘러싸고 있는 8~9개의 미토콘드리아가 관찰되었는데, 특이하게도 이들은 모두가 여러 층의 원형질막으로 둘러싸여 있었다. 이들은 성숙된 후 원형질막들이 없어지면서 미토콘드리아가 크게 팽창하는 모습을 보였다 (Figs. 10, 13, 14). 한편, 중편의 종단면에서는 미토콘드리아들이 뒤로 길게 신장되어 mitochondrial sleeve를 형성하였는데,

**Table 1.** Comparison of the whole lengths of mature sperms between octopods and decapod

	Whole length	Acrosome	Head	Middle piece	Tail
<i>Octopus minor</i>	390 $\mu\text{m}$	5 $\mu\text{m}$ Helical keel periodic structure	65~70 $\mu\text{m}$ Banana shaped	Mitochondrial sleeve (11~12 mitochondria)	315~320 $\mu\text{m}$ 9+2 type axoneme + 9 coarse fibres
<i>Octopus ocellatus</i>	200~220 $\mu\text{m}$	8~9 $\mu\text{m}$ Helical keel periodic structure	11 $\mu\text{m}$ Long rod shaped	Mitochondrial sleeve (8~9 mitochondria)	180~200 $\mu\text{m}$ 9+2 type axoneme + 9 coarse fibres
<i>Todarodes pacificus</i>	35 $\mu\text{m}$	0.7 $\mu\text{m}$ Cup-shaped	4.2 $\mu\text{m}$ Long oval shaped	Mitochondrial spur (10~13 mitochondria)	30 $\mu\text{m}$ 9+2 type axoneme + 9 coarse fibres

이들은 전자밀도가 높아서 겹겹이 관찰되었다(Fig. 10).

꼬리를 형성한 축사는 전형적인 9+2형이었으며 그 주위를 둘러싸고 있는 9개의 굵은섬유들은 직경이 75 nm 정도인 둥근 형태로서 이들은 특이하게도 단편에서도 관찰되었다(Figs. 15, 16).

### 3. 살오징어

살오징어의 성숙정자는 전체 길이가 35  $\mu\text{m}$  정도로, 머리는 길쭉한 장타원형을 하고 있고(Table 1), 첨체의 길이는 0.7  $\mu\text{m}$  정도로서 둥근 모자 모양을 하고 있었다. 첨체막은 전자밀도가 매우 높은 두터운 물질과 작은 소포들로 싸여 있는 특이한 모습이었으며, 내강에는 약간의 섬유상의 물질과 전자밀도가 비교적 낮은 물질들이 산재되어 있어 밝게 보였다. 첨체의 하단부에서는 또 다른 작은 강이 관찰되었는데, 이들은 성숙정자가 되면서 핵의 상단부와 보다 가깝게 인접하면서 2개의 강으로 나누어진 모습을 보였다. 내강에는 직경 25 nm인 전자밀도가 높은 물질들(juxtannuclear acrosomal materials)로 채워져 있었다(Figs. 17, 18, 19).

성숙정자의 머리부위는 염색질이 농축되어 전자밀도가 어둡게 관찰되고(Figs. 17, 18, 19), 길이는 4.2  $\mu\text{m}$  정도였다(Fig. 18). 특히 두부의 하단부에서는 전자밀도가 높은 다양한 크기(직경 50~100 nm)의 작은 과립들이 머리를 둘러싼 원형질막 주위에 인접해 있었다(Fig. 21). 이들 횡단면은 도우넛 모양이었으며, 그 내강에는 원위중심소체로부터 형성된 9+2구조의 축사가 위치해 있었다(Fig. 20).

성숙정자의 중편 부위는 10~13개의 불규칙한 형태의 미토콘드리아가 머리 하단으로 길게 뻗어 있어,

축사와 분리된 모습이었으며(Figs 18, 21, 22), 길이는 7  $\mu\text{m}$  정도로 나타났다(Figs. 18, 22). 이들 mitochondrial spur들은 하단부로 내려가면서 점점 뾰족한 모습을 보였으며, spur내에는 전자밀도가 높은 작은 과립들(직경 25 nm)이 밀집되어 있어 어둡게 관찰되었다(Figs. 18, 22).

축사는 전형적인 9+2형 구조였으며, 그 주위를 9개의 굵은섬유가 둘러싸고 있고(Figs. 23, 24), 축사 내에는 작은 입자형의 글리코겐들(직경 25 nm)이 많이 산재되어 있어 약간 어둡게 관찰되었다(Fig. 24). 둥근형태의 굵은섬유들은 꼬리부위로 내려 갈수록 크기가 점점 줄어들었으며, 이들은 꼬리의 주편에서는 삼각형 모양으로 변모되었고(Figs. 23, 24), 단편에는 9+2형의 축사만이 관찰되었다(Fig. 25).

## 고 찰

두족류 octopod의 성숙정자에 관한 미세구조적 연구는 Franzén(1967)에 의해 시작된 이래, Maxwell(1975)도 decapod 3종(*Loligo forbesi*, *Eusepia officinalis*, *Alloteuthis subulata*)의 성숙정자의 길이가 다양함을 확인한 바 있다.

본 연구의 *Octopus minor*와 *Octopus ocellatus* 그리고 *Todarodes pacificus*에서도 성숙정자의 길이가 다양하게 나타난 바 있어 종간 많은 차이가 인정되었다(Fig. 1).

본 연구에서 서해낙지(*Octopus minor*)와 주꾸미(*Octopus ocellatus*)의 핵대비 첨체의 길이는 각각 1/13과 7/10~8/10로 관찰되어 상당한 차이를 보였지만, 두 종에서 성숙정자 첨체는 공히 나선형으로 꼬

여 있었다. 이는 Franzén (1967)과 Maxwell (1974) 그리고 Selmi (1996) 등이 *Octopus vulgaris*, *Octopus defilipp*, *Eledone moschata* 그리고 *Eledone cirrhosa* 등의 침체를 superficial keel 또는 helical keel 등으로 표현한 바 있어 본 실험 결과와 같았지만, *Octopus macropus*와 *Octopus tetracirrus* (Franzén, 1967)의 침체는 끝이 둥글고 길쭉하며 비나선형이어서 본 실험과는 달랐다.

Healy (1989)와 Selmi (1996)도 octopod인 *Vampyroteuthis infernalis*와 *Eledone moschata* 그리고 *Eledone cirrhosa*의 침체 하단부에서 많은 수의 가로 무늬를 소지하고 있는 원뿔모양의 특이한 구조물을 관찰하였고, 그 이외도 침체의 내강에서 많은 가로무

늬를 확인한 바 있었다 (Galangau & Tuzet, 1968a; Leik, 1970; Longo & Anderson, 1970). 본 연구에서도 침체 내강에서 규칙적 구조물이 관찰되어, 같은 결과를 보였다.

반면, Fields & Thompson (1976)는 오징어류인 *Rossia pacifica*를 대상으로 한 연구에서 침체는 긴 막성 액포로 이루어져 있고 침체의 하단부에서 컵모양의 함입 (cup-shaped depression)을 관찰하고, 그 내강에는 전자밀도가 높은 물질들 (juxtannuclear periacrosomal materials)이 충전되어 있다고 하였다. 그러나 Healy (1990b)는 감오징어류인 *Spirula spirula*의 침체가 구형으로, 침체의 하단부 내강에서 전자밀도가 낮은 침체하물질 (subacrosomal material)들을 관찰된 바 있다고 하였다. 그러나 살오징어의 침체는 둥근 모자 모양이고 비교적 단순하게 관찰되어 Healy (1990b)의 연구 결과와 비슷하였으나, 한 개의 내강속에 전자밀도가 높은 물질들 (juxtannuclear periacrosomal materials)이 밀집되어 있다는 Fields & Thompson (1976)의 연구 결과와는 약간 달랐다.

서해 낙지와 주꾸미의 두부는 길이가 각각 65~70  $\mu\text{m}$ 와 11  $\mu\text{m}$  정도로 관찰되어 서해낙지가 주꾸미보다 6배 정도 길게 관찰되었다. 그러나 살오징어의 머리는 4.2  $\mu\text{m}$ 로, 서해낙지와 주꾸미의 머리 길이에 비해 각각 1/16~1/17과 1/3 정도로 작아 octopod와 decapod 간 종의 차이가 인정되었다.

Maxwell (1974), Healy (1989) 그리고 Selmi (1996)는 두부의 하단부 근위중심소체로부터 유도된 것으로 보이는 enr이 농축되어 치밀전을 형성한다고 하였다. 특히 Healy (1989)는 두부의 하단부 1/3까지만 enr이 신장한 후 치밀전을 형성한다고 하였다. 서해낙지와 주꾸미를 재료로한 본 연구에서도 두부의 내강에서 치밀전이 관찰되어 Healy (1989)의 연구 결과와 같았으나, 특이하게도 서해낙지에서는 치밀전이 머리의 최상단부까지 확장되어 있었다. 반면, 오징어류에서는 두부 내강의 치밀전에 관한 연구 보고가 지금까지 거의 없었으며, 살오징어를 대상으로 한 본 연구에서도 두부내에서 치밀전과 같은 흔적기관은 관찰되지 않았다. 살오징어의 두부 하단부에서는 전자밀도가 높은 다양한 크기의 작은 둥근 과립들이 원형질막 주위에서 관찰되었는데, 이 과립들의 역할에

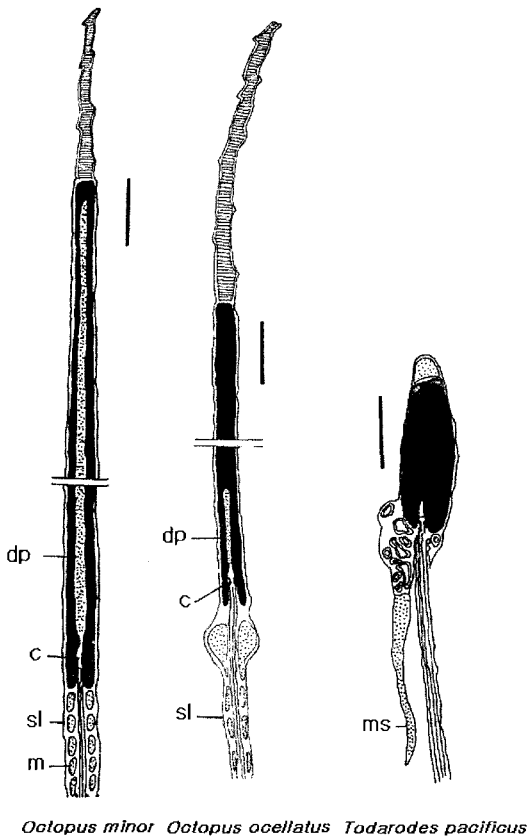


Fig. 1. Schematic diagram of mature sperms of *Octopus minor*, *Octopus ocellatus* and *Todarodes pacificus*. c, centriole (s); dp, dense plug; m, mitochondria; ms, mitochondrial spur; sl, mitochondrial sleeve. Scale bar = 2  $\mu\text{m}$ .

관해서는 앞으로 좀더 심도있는 연구가 필요하다 하겠다.

성숙정자의 중편부위에 관한 연구는 Franzen(1967)이 *Octopus vulgaris*의 머리의 하단부에서 8개의 미토콘드리아가 고리모양으로 축사와 굵은섬유들을 둘러싸고 있음을 관찰했으며, Maxwell(1974)도 *Eledone cirrhosa*의 중편에서 축사와 분리된 mitochondrial sleeve를 관찰한 바 있다. 그러나 Healy(1989)는 *Vampyroteuthis infernalis*의 중편에서 3~4개의 미토콘드리아가 mitochondrial sleeve를 형성한다고 하였다. 본 실험에서도 서해낙지와 주꾸미의 중편에서 mitochondrial sleeve가 관찰되어 Maxwell(1974)과 Healy(1989)의 연구 결과와 일치하였으나, 중편을 구성하고 있는 미토콘드리아의 수가 각각 11~12와 8~9개로 관찰되어 수의 차이가 있었다. 또한 주꾸미의 중편에서는 원형질막으로 싸여 있던 미토콘드리아가 원형질막이 소실되면서 크게 팽창하였고, 꼬리부위로 내려가면서 이들은 점차 가늘게 변모되어 서해낙지의 mitochondrial sleeve와는 조금 다른 양상이었다.

Maxwell(1975)은 3종의 오징어류(*Loligo forbesi*, *Eusepia officinalis*, *Alloteuthis subulata*)에서 축사와 분리된 mitochondrial pocket를 관찰한 반면, Fields & Thompson(1976)은 *Rossia pacifica*의 중편에서 미토콘드리아가 발톱 모양의 부속지를 형성하여 이를 mitochondrial spur라 칭한바 있다.

살오징어를 대상으로 한 본 연구에서도 mitochondrial spur가 관찰되어 Fields & Thompson(1976)의 결과를 뒷받침 할 수 있었으나, 미토콘드리아 측면에서 annulus는 관찰되지 않았다. 중편내 미토콘드리아의 수는 본 실험의 살오징어와 서해낙지 사이에서도 약간의 차이를 보였다.

정자의 꼬리 부위를 구성하는 축사는 전형적인 9+2형의 미세소관에, 9개의 굵은섬유들이 주변까지만 둘러싸고 있다는 연구 결과는 많이 있다(Franzen, 1967; Fields & Thompson, 1976; Maxwell, 1974, 1975; Healy, 1989, 1990a, b; Hou & Maxwell, 1992).

본 연구에서도 3종의 축사는 전형적인 9+2형이었고, 이들은 9개의 굵은섬유들이 주변까지만 둘러싸고 있어 동일한 결과를 보였으나, 주꾸미에서는 굵은섬

유들이 단편에서도 관찰되어 지금까지 알려진 다른 두족류와는 그 양상이 달랐다.

## 참 고 문 헌

- Anderson WA, Personne P: The localisation of glycogen in the spermatozoa of various invertebrate species. *J Cell Biol* 44: 29-51, 1970.
- Arnold JM: Spermatogenesis in *Nautilus pompilius*. II. Sertoli cell-spermatid functional complexes. *Anat Rec* 191: 261-268, 1978.
- Arnold JM, Williams-Arnold LD: Spermatogenesis of *Nautilus pompilius*. I. General survey. *J exp zool* 205: 13-26, 1978.
- Austin CR, Lutwak-Mann C, Mann T: Spermatozoa and spermatozoa of the squid *Loligo pealii*. *Proc R Soc Lond B* 161: 143-152, 1964.
- Brocco SL: Aspects of the biology of the sepiolid squid *Rossia pacifica* Berry MA Thesis. University of Victoria, Victoria, B C, 1971.
- Chun C: Über Leuchtorgane und Augen von Tiefsee-Cephalopoden. *Verh Dtsch Zool Ges* 13: 67-91, 1903.
- Drochmans P: Morphologie du glycogene. Etude au microscope électronique de colorations négatives du glycogene particulare. *J Ultrastruct Res* 6: 141-163, 1962.
- Fields WG, Thompson KA: Ultrastructure and functional morphology of spermatozoa of *Rossia pacifica* (Cephalopoda, Decapoda). *Can J Zool* 54: 908-932, 1976.
- Fioroni P: Die Sonderstellung der Sepiolen, ein Vergleich der Ordnungen der rezenten Cephalopoden. *Zool J b Syst* 108: 178-228, 1981.
- Franzen Å: Comparative morphological investigations into the spermiogenesis among Mollusca *Zool Bidr Upps* 30: 399-456, 1955.
- Franzen Å: Spermatogenesis and spermatozoa of the Cephalopoda. *Ark Zool* 19: 323-334, 1967.
- Galangau V, Tuzet O: L'acrosome d' *Octopus vulgaris* Lmk. Observations au microscope électronique. *-C r heb Séanc Acad Sci, Paris (D)* 267: 1462-1467, 1968a.
- Galangau V, Tuzet O: Les mitochondries pendant la spermatogenése d' *Octopus vulgaris* Lmk. Recherches au microscope électronique. *-C r heb Séanc Acad Sci Paris*

- (D) 267 : 1735-1737, 1968b.
- Healy JM: Sperm morphology and its systematic importance in the Gastropoda. *Malacol Rev* 4 : 251-266, 1988.
- Healy JM: Spermatozoa of the deep-sea cephalopod *Vampyroteuthis infernalis* Chun: Ultrastructure and possible phylogenetic significance. *Philos Trans R Soc Lond Biol* 323 : 589-600, 1989.
- Healy JM: Ultrastructure of spermiogenesis in *Vampyroteuthis infernalis* Chun - a relict cephalopod mollusc. *Helgolander Meeresunters* 44 : 95-107, 1990a.
- Healy JM: Ultrastructure of spermatozoa and spermiogenesis in *Spirula spirula* (L.): systematic importance and comparison with other cephalopods. *Helgol Wiss Meeresunters* 44 : 109-123, 1990b.
- Hou ST, Maxwell WL: Evidence for an intermediate type of spermatozoon: ultrastructural studies of spermiogenesis in the cuttlefish *Rossia macrosoma* (Cephalopoda, Decapoda). *Zoomorphology* 112 : 207-215, 1992.
- Leik J: Observations on spermatozoa of the giant Pacific *Octopus* (*Octopus dofleini* Martin): Fine structure and histochemistry. *J Cell Biol* 47 : 118a (311), 1970.
- Longo FJ, Anderson E: Structure and cytochemical features of the sperm of the cephalopod *Octopus bimaculatus*. *J Ultrastruct Res* 32 : 94-106, 1970.
- Maxwell WL: Spermiogenesis of *Eledone cirrhosa* Lamarck (Cephalopoda, Octopoda). *Proc R Soc Lond Biol* 186 : 181-190, 1974.
- Maxwell WL: Spermiogenesis of *Eusepia officinalis* (L.), *Loligo forbesi* (Steenstrup) and *Alloteuthis subulata* (L.) (Cephalopoda, Decapoda). *Proc R Soc Lond Biol* 191 : 527-535, 1975.
- Martin AW, Thiersch JB, Dott HM, Harrison RAP, Mann T: Spermatozoa of the giant octopus of the North Pacific *Octopus dofleini* Martini. *Proc Roy Soc Lond B* 175 : 63-68, 1970.
- Selmi MG: Spermatozoa of two *Eledone* species (Cephalopoda, Octopoda). *Tissue and Cell* 28(5) : 613-620, 1996.
- Thiéry J: Mise en évidence des polysaccharides sur copes fines en microscope électronique. *J Microscopie* 7 : 987-1019, 1967.
- Vye MV, Fischman DA: A comparison of glycogen in thin sections. *J Cell Sci* 9 : 724-749, 1971.

### < 국문 초록 >

두족류 3종 (*Octopus minor*, *Octopus ocellatus*, *Todarodes pacificus*)의 성숙정자를 전자현미경을 통해 관찰한 결과 다음과 같았다.

팔완류인 서해낙지와 주꾸미의 성숙정자 전체 길이는 각각 390  $\mu\text{m}$ 와 125~130  $\mu\text{m}$  정도였고, 십완류인 살오징어의 길이는 35  $\mu\text{m}$  정도로 매우 짧았다. 서해낙지는 나선형의 첨체와 약간 굽은 바나나 모양의 머리를 소지하고 있었으며, 주꾸미는 꼬인 첨체와 막대 모양의 긴 머리를 가지고 있었다. 이들 첨체 내강에는 규칙적 구조(periodic structure)인 많은 가로무늬가 관찰되었고, 머리의 내강에는 치밀전(dense plug)을 형성하였다. 그러나 살오징어의 첨체는 전자밀도가 낮은 둥근 모자 모양이었으며, 머리는 길쭉한 장타원형을 나타내었다. 특히 첨체 하단부에는 2개의 작은 강(cavity)이 관찰되었고, 이들 내강에는 전자밀도가 높은 물질들(juxtenuclear acrosomal materials)로 채워져 있었다.

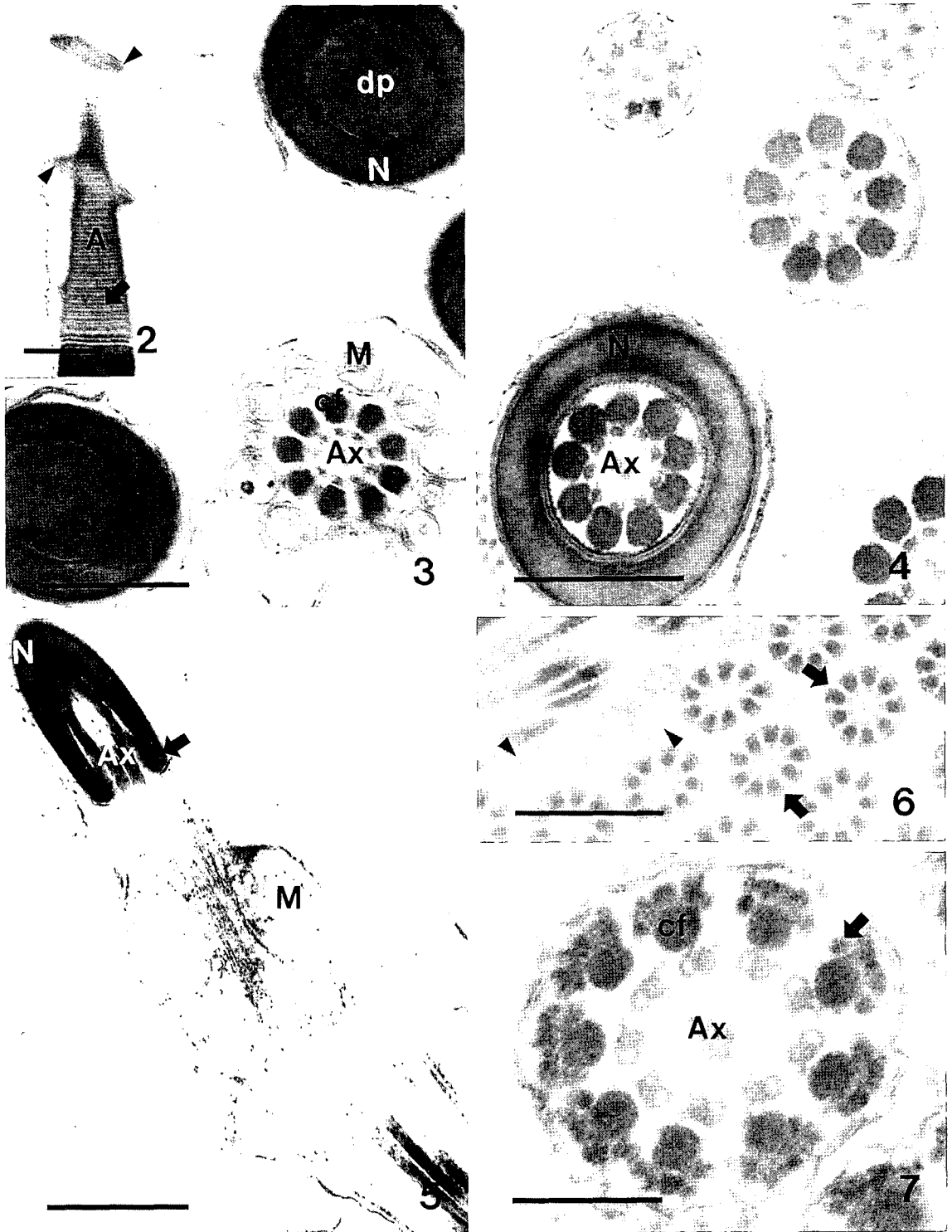
3종의 성숙정자 중편은 서해낙지와 주꾸미에서 미토콘드리아가 mitochondrial sleeve를 형성하였지만, 두 종간 미토콘드리아의 수는 각각 11~12개와 8~9개로 관찰되어 수의 차이를 보였다. 반면, 살오징어는 미토콘드리아가 축사와 분리되어 mitochondrial spur를 형성하였고, 이들 spur 내에는 10~13개의 미토콘드리아와 전자밀도가 높은 물질들이 밀집되어 있었다.

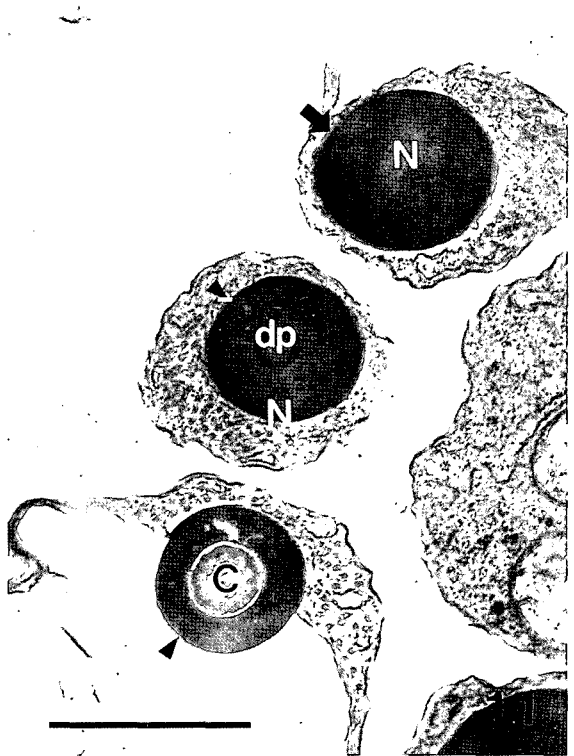
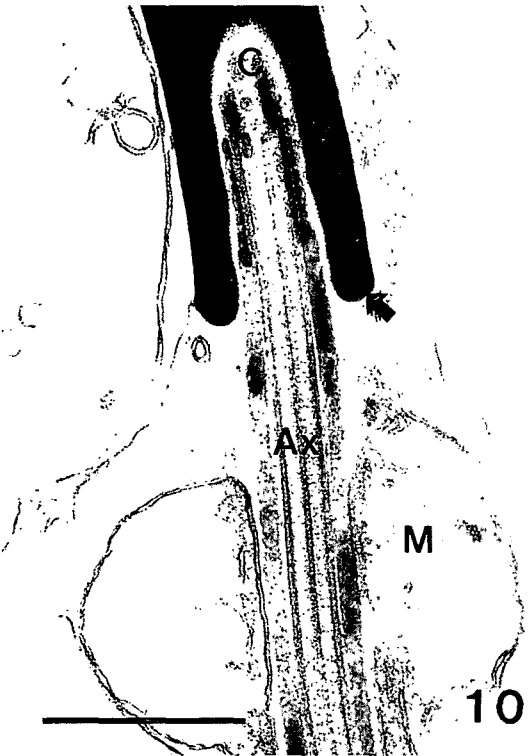
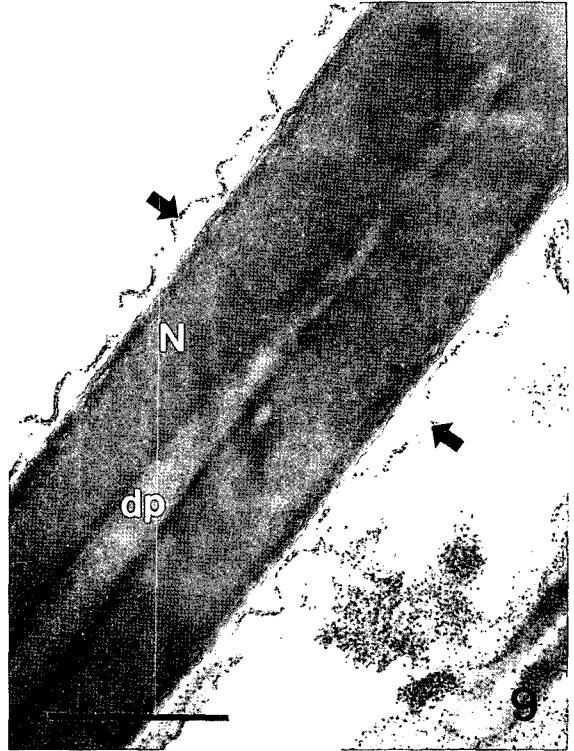
서해낙지, 주꾸미, 그리고 살오징어의 축사는 공히 9+2구조에 9개의 굵은섬유가 둘러싸고 있었고, 살오징어의 축삭내에서만 작은 입자형의 글리코젠이 관찰되었다. 굵은섬유들은 서해낙지와 살오징어에서는 꼬리의 주변까지만 관찰되었으나, 주꾸미에서는 단편에서도 관찰되었다.

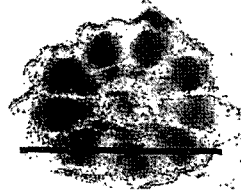
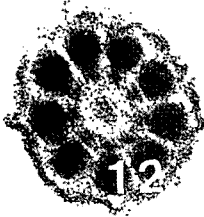
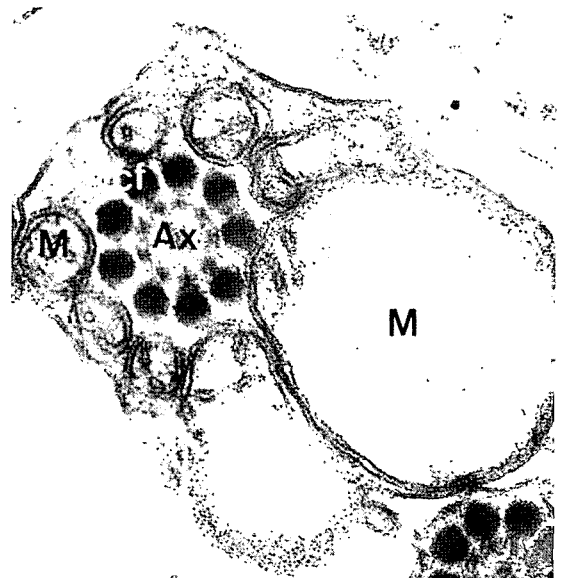
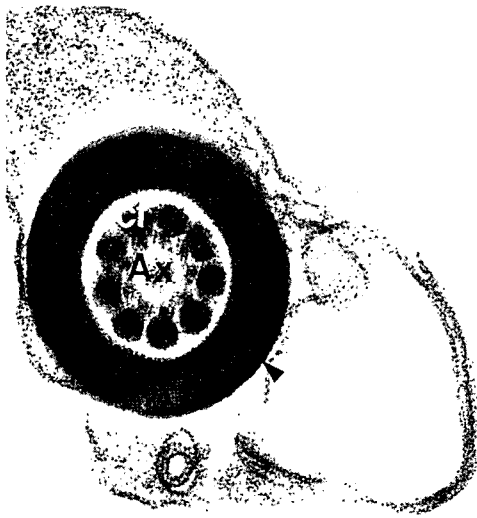
## FIGURE LEGENDS

- Fig. 2.** Longitudinal section through the acrosome of *Octopus minor*. Arrow, periodic structure; Arrowhead, helical (= superhelical) keel; A, acrosome. Scale bar = 0.5  $\mu\text{m}$ .
- Figs. 3, 4.** Cross section through the head and middle piece of *Octopus minor*. Ax, axoneme; cf, coarse fibres; dp, dense plug; M, mitochondria; N, nucleus. Scale bars = 0.5  $\mu\text{m}$ , 0.4  $\mu\text{m}$ .
- Fig. 5.** Tangential section through the middle piece of *Octopus minor*. Arrow, nuclear skirt; Ax, axoneme; M, mitochondria; N, nucleus. Scale bar = 1  $\mu\text{m}$ .
- Fig. 6.** Cross section through the regions of tail of *Octopus minor*. Arrow, the main piece of tail; Arrowhead, the end piece of tail. Scale bar = 0.7  $\mu\text{m}$ .
- Fig. 7.** Magnification of Fig. 6. The main piece of tail of *Octopus minor*. Arrow, electron dense granules; Ax, axoneme; cf, coarse fibres. Scale bar = 0.15  $\mu\text{m}$ .
- Fig. 8.** Longitudinal section through the acrosome of *Octopus ocellatus*. Arrow, periodic structure; Arrowhead, helical (= superhelical) keel. Scale bar = 2  $\mu\text{m}$ .
- Fig. 9.** Longitudinal section through the head of *Octopus ocellatus*. Arrow, plasmic membrane; dp, dense plug; N, nucleus. Scale bar = 0.5  $\mu\text{m}$ .
- Fig. 10.** Longitudinal section through the head and the middle piece of *Octopus ocellatus*. Arrow, nuclear skirt; Ax, axoneme; C, centriole; M, mitochondria. Scale bar = 0.8  $\mu\text{m}$ .
- Figs. 11, 12.** Cross section through the head of *Octopus ocellatus*. Arrow, upper region of head; Arrowhead, basal region of head; Ax, axoneme; C, centriole; cf, coarse fibres; dp, dense plug. Scale bars = 1  $\mu\text{m}$ , 0.5  $\mu\text{m}$ .
- Figs. 13, 14.** Cross section through the middle piece of *Octopus ocellatus*.; Ax, axoneme; cf, coarse fibres; M, mitochondria. Scale bars = 0.5  $\mu\text{m}$ , 0.5  $\mu\text{m}$ .
- Figs. 15, 16.** Cross section through the main piece and end piece of tail (*Octopus ocellatus*). Arrow, main piece; Arrowhead, end piece; open arrow, coarse fibres. Scale bars = 0.5  $\mu\text{m}$ , 0.5  $\mu\text{m}$ .
- Fig. 17.** Longitudinal section through the head of *Todarodes pacificus*. Arrow, juxtannuclear acrosomal materials; A, acrosome; N nucleus. Scale bar = 0.5  $\mu\text{m}$ .
- Fig. 18.** Longitudinal section through the sperm the head and middle piece of *Todarodes pacificus*. Arrow, mitochondrial spur; A, acrosome; Ax, axoneme; M, mitochondria; N, nucleus. Scale bar = 3  $\mu\text{m}$ .
- Fig. 19.** Magnification of Fig. 18. openarrow, juxtannuclear acrosomal materials; A, acrosome; N nucleus. Scale bar = 0.6  $\mu\text{m}$ .
- Fig. 20.** Cross section through the head of *Todarodes pacificus*.; Ax, axoneme; M, mitochondria; N, nucleus. Scale bar = 0.6  $\mu\text{m}$ .
- Fig. 21.** Longitudinal section through the head and the middle piece of *Todarodes pacificus*. Arrow, electron dense materials; Ax, axoneme; M, mitochondria; N, nucleus. Scale bar = 0.6  $\mu\text{m}$ .
- Fig. 22.** Longitudinal section through the middle piece of *Todarodes pacificus*. Arrow, mitochondrial spur; M, mitochondria; N, nucleus. Scale bar = 1.5  $\mu\text{m}$ .
- Fig. 23.** Cross section through the middle piece of *Todarodes pacificus*. Arrow, coarse fibres; Ax, axoneme; M, mitochondria. Scale bar = 0.6  $\mu\text{m}$ .
- Fig. 24.** Longitudinal and cross section through the main piece of *Todarodes pacificus*. Arrow, glycogen; Scale bar = 0.2  $\mu\text{m}$ .
- Fig. 25.** Cross section through the end piece of *Todarodes pacificus*. Scale bar = 0.15  $\mu\text{m}$ .

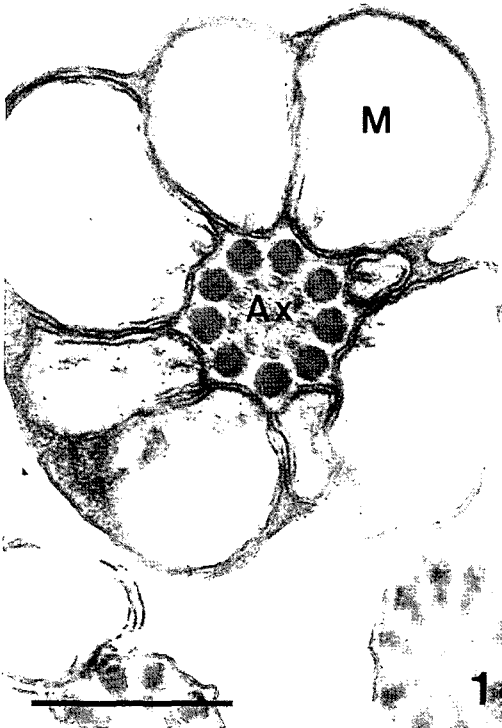




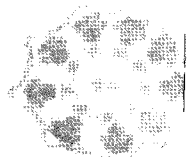
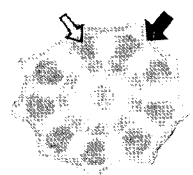




13



16



15

14

