

## 황소개구리 (*Rana catesbeiana*)의 세정관 상피의 분화와 정자변태

고 송 향, 이 정 훈\*  
경남대학교 자연과학대학 생명과학부

### Differentiation of Seminiferous Epithelium and Spermiogenesis in the Testis of *Rana catesbeiana*

Song-Haang Go and Jung-Hun Lee\*  
Division of Life Sciences, College of Natural Sciences, Kyungnam University,  
Kyungnam 630-701, Korea  
(Received March 7, 2001)

#### ABSTRACT

The aim of this study was to clarify the differentiation of seminiferous epithelial cells and spermiogenesis in the testis of *Rana catesbeiana*. Spermatogenesis of *R. catesbeiana* consists of primary spermatogonia, secondary spermatogonia, primary spermatocytes, secondary spermatocytes and spermatids. They were subdivided into eight stages on the basis of the morphological features of the germ cell differentiation. From the spermatocytes except primary spermatogonia to before the spermiation of spermatids were surrounded by spermatocyst. Spermiogenesis of *R. catesbeiana* can also be divided into three stages on the basis of morphological features of the nucleus and the cytoplasm organelles. Spermatozoon contained a saccular acrosome, a cylindrical and tapered slightly at both ends head, and a tail with only the axoneme.

**Key words** : *Rana catesbeiana*, Spermatocyst, Spermiogenesis

#### 서 론

양서류의 정자는 대개 침체와 perforatorium 그리고 미성숙한 경부에 ring 구조물을 갖고 있으며, 다른 척추동물과는 달리 파동막(undulating membrane)이라 불리는 얇은 세포질막과 axial rod를 보유한 편모를 갖고 있다는 점에서 특이하다. 특히, 무미류 정자는 종에 따라 형태적인 다양성을 보이는데, 특히 두부

및 침체의 모양, perforatorium, ring 구조물, 꼬리의 파동막 및 axial rod의 유무 등을 들 수가 있다. 이러한 정자의 형태적 특징들은 각 종마다 뚜렷한 차이를 보이기 때문에 종을 규명하는데 중요한 지표가 된다.

한편, 무미류의 정자미세구조에 관한 연구로는 Burgos & Fawcett (1956)에 의해 처음 보고 되었다. 그 후에 무당개구리과(Discoglossidae)의 *Discoglossus pictus* (Sandoz, 1974)와 *Bombina variegata* (Furieri, 1975) 및 *Bombina orientalis* (Kwon & Lee,

\* Correspondence should be addressed to Dr. Jung-Hun Lee, Division of Life Sciences, College of Natural Sciences, Kyungnam University, Kyungnam, 630-701 Korea. Ph.: 055-249-2243, FAX: 055-249-2238, E-mail: jhlee@kyungnam.ac.kr  
Copyright © 2001 Korean Society of Electron Microscopy

1995), 두꺼비과(Bufonidae)의 *Bufo bufo gararizans* (Kwon et al., 1993), 청개구리과(Hylidae)의 *Hyla japonica* (Lee & Kwon, 1992), 피파과(Pipidae)의 *Xenopus laevis* (Bernardini et al., 1986), 개구리과(Ranidae)의 *Rana nigromaculata*와 *Rana dybowskii* 및 *Rana rugosa* (Kwon & Lee, 1995) 등이 다수 보고되었다. 황소개구리(*Rana catesbeiana*)에 관한 연구로는 정자변태과정 중의 세포질의 양적인 변화(Sprando & Russell, 1988)에 관한 것 이외에는 정자변태과정 중의 정자형성세포분화 단계를 구체적으로 제시한 바는 없다.

따라서 본 연구는 황소개구리의 세정관 상피의 분화와 정자변태과정 중의 정자의 형태적 특징을 조사하여 다른 무미류 종과 어떠한 차이점이 있는가를 알아보기 위하여 실시하였다.

## 재료 및 방법

본 연구에 사용된 재료는 경남 창녕 우포늪에서 1999년 10월경에 채집한 황소개구리(*Rana catesbeiana*) 수컷 4개체를 사용하였으며, 채집 즉시 실험실로 운반하여 ethyl ether로 마취 후 정소를 적출하였고, 생식세포 분화단계와 정자변태과정 중의 정자의 형태적 특징을 알아보기 위하여 정소조직들을 세절한 다음 3%-glutaraldehyde (4°C, pH 7.4, Milloning's buffer)와 1.33%-OsO<sub>4</sub> (4°C, pH 7.4, Milloning's buffer)로 각각 3시간 전고정 및 후고정을 하였다. 고정이 끝난 조직들은 동일한 완충액(4°C, pH 7.4, Milloning's buffer)으로 수세한 다음 acetone농도 상승순으로 탈수하여 Epon 812 혼합액으로 포매하여 굳혔다. 포매된 조직은 ultramicrotome (Sorvall, MT-6000)을 이용하여 1 µm 두께로 세절한 다음 0.5%-toluidine blue로 염색하여 세포분화의 각 단계를 광학현미경으로 확인하였고, 이어 60~90 nm의 두께로 연속적인 절편을 얻어 uranyl acetate와 lead citrate 용액으로 이중 염색하여 전자현미경(TEM, H-600, Hitachi)으로 관찰하였다.

## 결 과

황소개구리의 정자형성세포의 분화단계는 총 8단

계로 구분되어 졌으며(Figs. 1-8), 정자변태과정은 핵과 세포질 소기관의 형태적 특징을 토대로 하여 3단계로 구분하였다(Figs. 9-11).

### 정자형성세포의 분화 단계

**I 단계:** 세정관의 기저막 가까이에 제1정원세포(primary spermatogonia), 제2정원세포(secondary spermatogonia)가 위치하고 있었으며, 이들 세포의 인접부에는 제2정모세포(secondary spermatocytes), 정자세포(spermatid)들을 비롯하여 성숙한 정자세포들이 다수 관찰되었다. 이 시기의 제1정원세포는 정낭(spermatocyst)을 형성하지 않았다(Fig. 1).

**II 단계:** 정낭을 형성한 다수의 제2정원세포가 기저막 가까이에 위치하고 있으며, 이들 세포의 주변에는 다수의 세르톨리 세포(Sertoli cell)들이 존재하고 있었고, 세정관과 세정관 사이에는 간질세포(interstitial cell)들이 관찰되었다(Fig. 2).

**III 단계:** 여전히 정낭내에는 다수의 제1정모세포(primary spermatocytes)들이 존재하고 있었으며, 이들 정모세포들은 연속적인 세포분화의 차이로 인해 핵질(nucleoplasm)의 농도가 다소 차이를 나타내었고, 세르톨리 세포가 이들 세포 사이에서 관찰되었다(Fig. 3).

**IV 단계:** 기저막 가까이에 있는 정낭 구조물 내에는 제1정모세포가 관찰되고, 그 위로는 제2정모세포들이 나타났는데, 이들 세포 역시 정낭 내에 존재하고 있었다. 이들 제2정모세포는 제1정모세포에 비해 세포의 크기가 작을 뿐 아니라 염색질의 농도가 훨씬 짙으며, 핵의 크기도 작았다(Fig. 4).

**V 단계:** 기저막 가까이에 다수의 제1정모세포들이 존재하였고, 핵질은 전 단계보다 다소 농축되어 나타났다(Fig. 5).

**VI 단계:** 이 시기에는 제2정모세포가 더욱 분화되어 둥근 모양의 정자세포(round spermatid)들을 형성하고 있었으며, 이들 역시 정낭 구조물 내에 존재하고 있었다(Fig. 6).

**VII 단계:** 기저막 가까이의 정자세포들은 전 단계보다 핵질이 더욱 농축되어 나타났으며, 이들 역시 정낭 구조물 내에 존재하면서 정낭 벽(spermatocyst wall)쪽에 가지런히 배열되어 있었다(Fig. 7).

**VIII 단계:** 다수의 신장된 정자세포의 두부가 정낭 벽쪽으로 향하고 있었으며, 이들 정자세포의 세포질은 정낭의 중심부로 향하고 있었다(Fig. 8).

**정자변태**

**I 단계:** 정자변태 초기 단계에서 정자세포의 핵은 구형 또는 타원형으로 정낭내에 가지런히 배열되어 있었고, 세포질에는 다수의 미토콘드리아가 나타났으며, 세정관의 내강에는 정자의 꼬리가 관찰되었다(Fig. 1).

**II 단계:** 이 시기의 정낭 내 정자세포의 핵은 다소 신장되어 있었으며, 정자세포들의 두부가 정낭 벽쪽

으로 배열되어 있었다(Fig. 2a). 핵 후반부 쪽의 세포질 내에는 기부중심립(proximal centriole)과 단부중심립(distal centriole)이 나타났고, 정자의 편모(flagellum)가 세포질 밖으로 나와 있었다(Fig. 2b). 침체는 핵의 전반부로 돌출 되어 있었으며, 핵의 후반부 세포질 내에는 다수의 미토콘드리아가 관찰되었다(Fig. 2c). 정자세포는 더욱 신장되고(Fig. 2d), 세포질도 정낭의 중심 쪽으로 향하고 있었다(Fig. 2a).

**III 단계:** 정낭 내의 정자세포들은 이 시기에 정낭 밖으로 이탈하여 두부는 세르톨리 세포의 세포질 내에 박혀져 있었고, 정자세포의 세포질은 세정관의 내강 쪽으로 길게 뻗어져 있었다. 핵질은 제I, II 단계 보

**Table 1.** Comparison of ultrastructural characters of the sperm in 11 species of Anurans

Species		Discoglossidae			Bufonidae		Hylidae	Pipidae	Ranidae				
		Dp	Bv	Bo	Ba	Bbg	Hj	Xl	Rn	Rd	Rr	Rc	
Head	S	trypanosome	(3)	(7)									
		cylinder	(8)			(2)	(5)			(4)	(4)	(4)	(9), *
		curved						(6)					
		helical							(1)				
A	truncated		(3)	(7)									
	conical	(8)			(2)	(5)	(6)	(1)					
	saccular								(4)	(4)	(4)	*	
Neck	Mp	mitochondria -axial rod	(8)	(3)	(7)								
		mitochondria -axoneme				(2)	(5)	(6)	(1)	(4)	(4)	(4)	(9), *
	R	ring structure	(8)										
Tail	C	undulating membrane	(8)	(3)	(7)	(2)	(5)						
		axial rod	(8)	(3)	(7)	(2)	(5)	(6)					
		axoneme	(8)	(3)	(7)	(2)	(5)	(6)	(1)	(4)	(4)	(4)	(9), *

A, acrosome; Ba, *Bufo arenarum*; Bbg, *Bufo bufo gararizans*; Bo, *Bombina orientalis*; Bv, *Bombina variegata*; C, composition; Dp, *Discoglossus pictus*; Hj, *Hyla japonica*; Mp, mitochondrial position; N, nucleus; P, perforatorium; Rc, *Rana catesbeiana*; Rd, *Rana dybowskii*; Rn, *Rana nigromaculata*; Rr, *Rana rugosa*; S, shape; Xl, *Xenopus laevis*. (1), Bernardini et al. (1986); (2), Burgos & Fawcett (1956); (3), Furieri (1975); (4), Kwon & Lee (1995); (5), Kwon et al. (1993); (6), Lee & Kwon (1992); (7), Lee & Kwon (1996); (8), Sandoz (1974); (9), Sprando & Russell (1988); \*, This study.

다 농축되어 있었고, 핵은 더욱 신장되어 양끝이 가는 원통형을 하고 있었다. 침체는 낭상형을 취하며, 꼬리는 축사(axoneme)를 형성하였다(Fig. 3).

## 고 찰

본 연구에서 생식세포 분화단계는 Burgos & Fawcett (1956)의 발생단계와 마찬가지로 제1정원세포, 제2정원세포, 제1정모세포, 제2정모세포, 정자세포로 구분되어졌고, 이들 생식세포의 분화단계는 세포의 형태적 특징을 토대로 더욱 세분하여 8단계로 나누었다. 또한 정모세포 발생단계에서 중 제1정원세포에서 제2정모세포로 되기까지 핵질은 농축되고, 세포의 크기는 작아지는 반면에, 정자변태 초기 단계의 정자세포에서부터 성숙 중의 정자세포는 핵질의 농축과 더불어 핵과 세포질은 신장화 되어졌다. 특히, 제1단계의 제1정원세포에서는 정낭을 형성하지 않았지만 제2정원세포에서부터 정자세포까지는 정낭을 형성하여 정낭 내에 내재되어 있다가 성숙이 완료되었을 때는 정낭으로부터 이탈되어 있었는데 이러한 점은 포유동물에서 볼 수 없는 특이한 점이라고 할 수가 있다. Burgos & Fawcett (1956)는 생식세포분화단계에서 이러한 follicular cell에 의해 정낭이 형성된다고 하였고, Sprando & Russell (1988)은 세르톨리 세포의 돌기에 의해 만들어진다고 보고하였다. 그러나 두꺼비과(Bufonidae)인 *Bufo arenarum*는 제1정원세포에서도 정낭을 형성하는 것으로 보아(Burgos & Fawcett, 1956) 정낭의 형성시기는 종에 따라 차이가 있음을 의미하며, van Tienhoven (1983)는 웅성생식세포의 분열 양상은 종과 이들의 서식지 환경조건에 기인한다고 하였다.

특히, 황소개구리의 정자변태과정은 골지, 두모, 침체 및 성숙단계의 구분이 뚜렷하지 않아 본 연구에서는 핵과 세포질의 변화가 뚜렷한 시기를 토대로 하여 정자변태과정을 3단계로 구분하였다. 즉 정자변태 초기 단계의 정자세포는 구형 또는 타원형의 모양을 취하였고, 핵 모양 변화에 있어 다른 척추동물의 핵의 형태변화와 달리 불규칙한 핵의 모양을 취하다가 성숙기에는 긴 원통형 모양을 취하였다. 뿐만 아니라 성숙기의 정자세포의 세포질 내에는 크고 작

은 다수의 공포들이 밀집되어 나타나 있는데 이는 아마도 세포내 물질의 저장장소로 여겨지는데, 이러한 구조물을 Sprando & Russell (1988)은 cytoplasmic lobe라고 표현하였고, Sprando et al. (1988)은 cytoplasmic packet라고 기술하고 있지만 이에 대한 구체적인 기능은 잘 알려져 있지 않다.

한편, 무미류 정자두부의 형태적 특징을 비교해 보면, 무당개구리과(Discoglossidae)의 *Bombina variegata* (Furieri, 1975)와 *Bombina orientalis* (Lee & Kwon, 1996)는 trypanosome모양을 취하고 있는 반면에 *Discoglossus pictus* (Sandoz, 1974)와 두꺼비과(Bufonidae)의 *Bufo arenarum* (Burgos & Fawcett, 1956)와 *Bufo bufo gararizans* (Kwon et al., 1993), 개구리과(Ranidae)의 *Rana nigromaculata*와 *Rana dybowskii* 및 *Rana rugosa* (Kwon & Lee, 1995) 역시 원통형의 두부를 취하며, 본 연구에서도 개구리과(Ranidae)의 다른 종과 마찬가지로 원통형 모양을 취하고 있었다. 청개구리과(Hylidae)의 *Hyla japonica* (Lee & Kwon, 1992)는 다소 굽은 형태를 취하는 반면에, 피파과(Pipidae)의 *Xenopus laevis* (Bernardini et al., 1986)와 Megophryidae의 *Megophrys montana* (Asa & Phillips, 1988)는 나선형을 취하는 것이 특징적이다.

침체의 모양을 비교하여 보면, 무당개구리과(Discoglossidae)의 *Bombina variegata* (Furieri, 1975)와 *Bombina orientalis* (Lee & Kwon, 1996)의 침체는 앞쪽 끝이 잘려진 모양을 취하는 반면 *Discoglossus pictus* (Sandoz, 1974), 두꺼비과(Bufonidae)의 *Bufo arenarum* (Burgos & Fawcett, 1956)와 *Bufo bufo gararizans* (Kwon et al., 1993), 청개구리과(Hylidae)의 *Hyla japonica* (Lee & Kwon, 1992), 피파과(Pipidae)의 *Xenopus laevis* (Bernardini et al., 1986) 등은 원추형을 취하는 반면에, 개구리과(Ranidae)의 *Rana nigromaculata*와 *Rana dybowskii* 및 *Rana rugosa* (Kwon & Lee, 1995) 그리고 본 연구에서도 역시 낭상의 형태를 취하고 있었다.

Perforatorium의 형태적인 특징을 보면, 무당개구리과(Discoglossidae)의 *Bombina variegata* (Furieri, 1975)와 *Bombina orientalis* (Lee & Kwon, 1996) 및 *Discoglossus pictus* (Sandoz, 1974)는 endonuclear

*perforatorium*을 가지며, 두꺼비과(Bufonidae)의 *Bufo arenarum* (Burgos & Fawcett, 1956)와 *Bufo bufo gararizans* (Kwon et al., 1993), 청개구리과(Hylidae)의 *Hyla japonica* (Lee & Kwon, 1992)는 *extranuclear perforatorium*을 가진다. 반면, 피파과(Pipidae)의 *Xenopus laevis* (Bernardini et al., 1986), 개구리과(Ranidae)의 *Rana nigromaculata*와 *Rana dybowskii* 및 *Rana rugosa* (Kwon & Lee, 1995) 모두는 *perforatorium*이 나타나지 않았고, 본 연구에서도 마찬가지로 존재하고 있지 않았다.

경부의 특징을 비교하여 보면 무당개구리과(Discoglossidae)의 *Bombina variegata* (Furieri, 1975)와 *Bombina orientalis* (Lee & Kwon, 1996) 및 *Discoglossus pictus* (Sandoz, 1974)는 미토콘드리아가 axial rod에 연관되어 나타났고, 두꺼비과(Bufonidae)의 *Bufo arenarum* (Burgos & Fawcett, 1956)와 *Bufo bufo gararizans* (Kwon et al., 1993), 청개구리과(Hylidae)의 *Hyla japonica* (Lee & Kwon, 1992), 피파과(Pipidae)의 *Xenopus laevis* (Bernardini et al., 1986), 개구리과(Ranidae)의 *Rana nigromaculata*와 *Rana dybowskii* 및 *Rana rugosa* (Kwon & Lee, 1995) 모두는 축사에 연관되어 나타났다. 경부에 위치한 ring 구조는 *Cryptobranchus alleganiensis bishopi*와 *Necturus maculosus maculosus* (Baker, 1963), *Amphiuma tridactylum* (Baker, 1962; Barker & Biesele, 1967), 도롱뇽(Kim et al., 1995) 등과 같은 유미류(urodele)의 정자에 전형적으로 나타나는데 (Barker and Baker, 1970), 본 연구에서는 본 연구에서도 나타나지 않았다. 이러한 부분이 유미류와 무미류 정자의 형태적 차이를 나타내는 하나의 형질로 여겨지는데, 특히 무당개구리과(Discoglossidae) 중 *Discoglossus pictus*에는 ring 구조물이 나타나는 것으로 보아 *Bombina*보다 더 조상형질이라고 간주하고 있다 (Kwon & Lee, 1995), 그러나 무당개구리과의 모든 종에서 나타나는 것인지에 대한 조사가 미흡함으로 이에 대한 세부적인 조사가 절실하다고 여겨진다.

꼬리의 형태적 특징을 보면, 무당개구리과(Discoglossidae)의 *Bombina variegata* (Furieri, 1975)와 *Bombina orientalis* (Lee & Kwon, 1996) 및 *Discoglossus pictus* (Sandoz, 1974), 두꺼비과(Bufonidae)의

*Bufo arenarum* (Burgos & Fawcett, 1956)와 *Bufo bufo gararizans* (Kwon et al., 1993)의 꼬리는 축사, 파동막과 axial rod으로 구성되어 있었다. 청개구리과(Hylidae)의 *Hyla japonica* (Lee & Kwon, 1992)는 축사와 axial rod으로 구성되어 있었으며, 피파과(Pipidae)의 *Xenopus laevis*, 개구리과(Ranidae)의 *Rana rugosa*와 *Rana dybowskii* 및 *Rana nigromaculata* (Kwon & Lee, 1995) 그리고 본 연구에서도 단지 축사로만 구성되어 있었다.

## 참 고 문 헌

- Asa CS, Phillips DM: Nuclear shaping in spermatids of the Thai leaf frog *Megophrys montana*. Anat Rec 220 : 287-290, 1988.
- Baker CL: Spermatozoa of Amphiumae: Spermateleosis, helical motility and reversibility<sup>1</sup>. J Tenn Acad Sci 37 : 23-39, 1962.
- Baker CL: Spermatozoa and spermateleosis in Cryptobranchus and Necturus<sup>1</sup>. J Tenn Acad Sci 38 : 1-11, 1963.
- Barker KR, Baker CL: Urodele spermateleosis: A comparative electron microscope study. In: Baccetti B, ed. Comparative Spermatology, pp. 81-87, Academic Press, New York, 1970.
- Barker KR, Biesele JJ: Spermateleosis of a Salamander *Amphiuma tridactylum cuvier*. La Cellule 67 : 91-129, 1967.
- Bernardini G, Stipani R, Melone G: The ultrastructure of *Xenopus* spermatozoon. J Ultrastr Mol Res 94 : 188-194, 1986.
- Burgos MH, Fawcett DW: An electron microscope study of spermatid differentiation in the Toad, *Bufo arenarum* Hensel. J Biophysic Biochem Cytol 2 : 223-253, 1956.
- Furieri P: The peculiar morphology of the spermatozoon of *Bombina variegata* (L.). Monitore Zool Ital 9 : 185-201, 1975.
- Kim KH, Park WH, Lee YH: Ultrastructure of spermatozoa in Urodeles, *Hynobius leechii* (Amphibia: Urodela). Korean J Electron Microscopy 25 : 111-121, 1995. (Korean)
- Kwon AS, Lee YH: Comparative spermatology of Anurans with special references to phylogeny. Mém Mus Natn Hist Nat 166 : 321-332, 1995.

- Kwon AS, Kim HJ, Lee YH: Fine structure of the neck of spermatozoa and spermiogenesis in *Bufo bufo gargarizans* (Amphibia, Anura). *Nature and Life* 23 : 95-105, 1993.
- Lee YH, Kwon AS: Ultrastructure of spermiogenesis in *Hyla Japonica* (Anura, Amphibia). *Acta Zoologica* 73 : 49-55, 1992.
- Lee YH, Kwon AS: Ultrastructure of spermatozoa in Urodela and *primitive Anura* (Amphibia) with phylogenetic considerations. *Korean J Syst Zool* 12 : 253-264, 1996.
- Sandoz D: Modifications in the nuclear envelope during spermiogenesis of *Discoglossus pictus* (Anuran Amphibia). *J Submicr Cytol* 6 : 399-419, 1974.
- Sprando RL, Heidinger RC, Russell LD: Spermiogenesis in the bluegill (*Lepomis macrochirus*): A study of cytoplasmic events including cell volume changes and cytoplasmic elimination. *J Morph* 198 : 165-177, 1988.
- Sprando RL, Russell LD: Spermiogenesis in the bullfrog (*Rana catesbeiana*): A study of cytoplasmic events including cell volume changes and cytoplasmic elimination. *J Morph* 198 : 303-319, 1988.
- van Tienhoven A: Reproductive physiology of vertebrates second edition. Cornell University Press, New York, 137-169, 1983.

#### < 국문 초록 >

본 연구는 황소개구리의 정소내 생식세포분화 단계와 정자변태과정중의 정자의 형태적 특징을 알아보기 위하여 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 황소개구리의 정자형성과정 중 생식세포는 제1정원세포, 제2정원세포, 제1정모세포, 제2정모세포 및 정자세포로 구성되어 있으며, 이들 생식세포의 분화단계는 세포의 형태적 특징을 기초로 하여 총 8단계로 구분되어졌다. 제1정원세포를 제외한 정모세포발생 단계에서부터 이탈 전까지의 정자세포는 정낭내에 존재하고 있었다. 정자변태과정은 3단계로 구분되어졌다. 성숙기의 정자의 침체는 낭상이고, 두부의 모양은 양끝이 가는 원통형이었으며, 꼬리는 단지 축사로만 구성되어 있었다.

## FIGURE LEGENDS

- Fig. 1.** Light micrograph showing the primary spermatogonia (Stage I). Primary spermatogonia located near basal membrane. Mst, maturing spermatid; Psg, Primary spermatogonia; Ssc, secondary spermatocytes; Ssg, secondary spermatogonia; St, spermatid. Scale bar = 50  $\mu$ m.
- Fig. 2.** Light micrograph showing the secondary spermatogonia (Stage II). It was formed spermatocyst ( - - - ). Ic, interstitial cell; Mst, maturing spermatid; Sc, sertoli cell; Ssg, secondary spermatogonia. Scale bar = 50  $\mu$ m.
- Fig. 3.** Light micrograph showing the primary spermatocytes in meiosis I (Stage III). The primary spermatocytes of the left (arrows) are more differentiated than primary spermatocytes of the right. Psc, primary spermatocytes; Sc, Sertoli cell. Scale bar = 50  $\mu$ m.
- Fig. 4.** Light micrograph showing the primary spermatocytes in meiosis I and secondary spermatocytes in meiosis II (Stage IV). Psc, primary spermatocytes; Sc, Sertoli cell; Ssc, secondary spermatocytes. Scale bar = 50  $\mu$ m.
- Fig. 5.** Light micrograph showing the primary spermatocytes in meiosis I located near basal membrane only (Stage V). The primary spermatocytes are more differentiated than Fig. 4. Psc, primary spermatocytes. Scale bar = 50  $\mu$ m.
- Fig. 6.** Light micrograph showing the round spermatids in spermiogenesis (Stage VI). Note the spermatids existed in the spermatocyst ( - - - ). St, spermatid. Scale bar = 50  $\mu$ m.
- Fig. 7.** Light micrograph showing the elongated spermatids (Stage VII). Note the nucleus concentrated and arranged toward the spermatocyst wall. Mst, maturing spermatid; Ssg, secondary spermatogonia; St, spermatid. Scale bar = 50  $\mu$ m.
- Fig. 8.** Light micrograph showing the sperm maturation phase (Stage VIII). The spermatid heads and cytoplasm are more elongated than Fig. 7. St, spermatid. Scale bar = 50  $\mu$ m.
- Fig. 9.** Electron micrograph showing the early-spermatids of spermiogenesis (Stage I): The nuclei of the early spermatids were formed round or oval. They are arranged toward the spermatocyst wall. L, lumen; M, mitochondria; N, nucleus; Sc, Sertoli cell; Spt, sperm tail. Scale bar = 2  $\mu$ m.
- Fig. 10 (a-d).** Electron micrographs showing the mid-spermatids of spermiogenesis (Stage II). (a), Spermatid heads are arranged toward spermatocyst wall. Scale bar = 2  $\mu$ m (b), Note the sperm tail projected outside cytoplasm. Scale bar = 2  $\mu$ m. (c), Mitochondria appeared in the posterior part of nucleus. Scale bar = 1  $\mu$ m. (d), Note elongating acrosome and nucleus. A, acrosome; Fg, flagellum; M, mitochondria; N, nucleus; Sc, Sertoli cell. Scale bar = 1  $\mu$ m.
- Fig. 11.** Electron micrograph showing the spermatids of maturation phase (Stage III). Spermatids are exposed to the lumen of the spermatocysts. A, acrosome; N, nucleus; Sc, Sertoli cell. Scale bar = 2  $\mu$ m.















