

송사리과 Swordtail (*Xiphophorus hellerii*)의 난모세포 성숙과정에 관한 미세구조 연구

황 우 섭 · 김 완 종* · 류 동 석
청주대학교 생물학과, *순천향대학교 생물학과

Ultrastructural Study on the Oocyte Maturation of Swordtail (*Xiphophorus hellerii*)

Woo Sub Hwang, Wan Jong Kim* and Dong Suck Reu
Dept. of Biology, Chongju University,
*Dept. of Biology, Soonchunhyang University
(Received April 13, 1998; revised May 18, 1998)

ABSTRACT

Oocyte maturation of the swordtail (*Xiphophorus hellerii*) was investigated by light and electron microscopy. In the ovary of the swordtail, various staged oocytes were observed. Mature oocytes were located in ovarian cortex, meanwhile immature ones were positioned in ovarian medulla. The oocyte was surrounded by several structures or cells such as chorion, follicle cells, follicular theca and ovarian epithelium, respectively, from the inside toward outside. Growing and maturing oocytes beared numerous microvilli which interconnected the oocyte and the follicle cells to communicate each other. The mature oocyte had the electron dense chorion which appeared to be ultrastructure of two layers and contained pore canals. Oocyte maturation was characterized by not only the enlarged cell size and well differentiated cell organelles, but also the increases of fat droplets, pinocytotic vesicles and yolk granules.

Key words : *Xiphophorus hellerii*, Oocyte maturation, Chorion

서 론

어류의 발생방법은 난생, 반태생, 난태생 및 태생으로 구분된다. 난생을 하는 대부분의 경골어류는 체외수정을 통하여 배자를 형성하고 부화과정을 통하여 자어가 되며, 반태생을 하는 어류는 체내수정

을 통하여 수정란을 형성하고 발생초기에는 모체로부터 성장에 필요한 물질을 공급받으면서 물리적인 보호를 받다가 부화 직전에 체외로 나온다. 태생을 하는 종들은 체내에서 수정이 일어나고 모체의 생식수관 내에서 발생 및 분화과정을 거친다(Hirose *et al.*, 1979; Lee *et al.*, 1985; Yoon *et al.*, 1993). 난태생의 생식방법을 수행하는 종은 체내수정을 통

하여 수정란을 형성하고, 모체 내에서 부화를 마친 후 자어가 되어 출생하게 되는데, 송사리과의 swordtail은 여기에 속한다. 멕시코와 과테말라 등에 분포하는 swordtail은 pH 7.0~7.4, 수온 27~29°C 정도의 환경에서 서식하며 성장속도가 빠르고, 생식주기가 일정하며 외형상 암수의 구별이 용이하다. 최근에는 swordtail을 이용하여 성전환의 기전, 색소세포와 내분비기관과의 관계, 환경변화에 따른 생식주기의 변화 유형, 자외선 조사에 따른 중앙유발기전, 유전자이식을 통한 형질전환 등에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다(Petry *et al.*, 1992).

어류의 난소는 난소막에 의해 등쪽 체강벽으로부터 체강내에 매달려 있고 종에 따라 형태가 다양한데, 일반적으로 체강 등쪽에 좌우 한쌍이 길게 뻗어 있다. 난소는 흔히 소화관 등쪽에 위치하지만 뱀장어나 연어과의 어류에서는 체강의 앞쪽부터 신장하는 경우도 있다. 또 은어과, 바다빙어과, 뱀어과 등에 속하는 어류들은 좌측 난소와 우측 난소의 크기가 차이를 보이며, 성숙이 진행되어 난소의 크기가 커지면 소화관 아래쪽에 위치하게 된다. 넙치의 경우 난소가 발달함에 따라 양쪽 난소의 뒷부분은 몸의 정중격 벽을 따라 체강의 후방까지 신장하며, 성어에서는 쌍각모양을 나타내는 예도 있다. 이와 같이 어류는 종에 따라 난소의 위치와 모양이 다르며 같은 종이라도 발달단계에 따라 모양과 위치가 변하게 된다. 성어의 난소는 나출형(gynovarian type)과 낭상형(cystovarian type)으로 구분되는데 나출형은 난소 실질부의 일부가 직접 체강에 노출되어 있고, 낭상형은 주머니 모양의 난소 일부가 체벽에 밀착되어 있으며 난소 피막에는 평활근이 발달되어 있지 않다. 산란된 난자의 난막(chorion)은 난모세포에서 생성된 위란액과 함께 발생중 배의 물리적 보호에 중요한 역할을 하게 된다(Guraya *et al.*, 1975; Tesoriero, 1977; Kjesbu and Kryvi, 1989; Yoon *et al.*, 1993; Jang, 1994). 난소내의 난원세포는 체세포분열을 통하여 제1난모세포가 되며 제1난모세포에는 난황포(yolk vesicle)가 세포질 가장자리에 형성되어 다당류를 축적하는 것으로 알려져 있다. 난황은 제2감수분열 과정 중에 형성되며 난황형성과정은 난황물질이 난자에서 합성되는 자가합

성(autosynthesis)과 난자가 아닌 다른 세포에서 합성되어 혈액이나 체액을 통하여 난자 내로 이동되어 축적되는 타가합성(heterosynthesis)으로 구분된다.

어류의 난자형성과정은 *Linmanda yokohamae* (Hirose *et al.*, 1979), *Boleophthalmus pectinirostris* (Chung *et al.*, 1991) 및 피라미(Jang, 1994) 등에서 보고되었는데, 일반적으로 초기성장(primary growth), 난황포 형성, 난황형성 및 성숙의 4단계로 구분되며 배란과 산란은 수온, 광량 및 계절에 따른 호르몬의 변화 등과 관련이 있는 것으로 알려져 있다(Yoon *et al.*, 1991a, b, c).

어류의 난모세포는 난막, 여포세포(follicle cell), 여포막(theca) 및 여포상피(follicle epithelium)로 싸여 있으며 특히 난막은 chorion (Hisaoka and Battle, 1958), capsule (Anderson, 1974), egg envelope (Wourms and Sheldon, 1976), egg membrane (Stehr and Hawkes, 1979), outer envelope (Dumont and Brummet, 1980), egg shell (Grierson and Neville, 1981), zona radiata (Schmehl and Graham, 1987), zona pellucida (Hamazaki *et al.*, 1989) 등으로 표현되어져 왔다. 난막의 구조는 종 특이성이 있으며, 일반적으로 부착성 난은 난막이 얇으나, 침란성 난은 난막이 두껍고 층판구조를 이루는 것으로 알려져 있다(Wourms and Sheldon, 1976; Stehr and Hawkes, 1979; Dumont and Brummet, 1980; Grierson and Neville, 1981; Schmehl and Graham, 1987; Hamazaki *et al.*, 1989; Kim, 1993).

본 연구에서는 상기의 연구들을 토대로 하여, 체내수정을 하는 swordtail의 난모세포 성숙과정과 난막구조가 체외수정하는 난생어류와 차이를 보일 것으로 생각되어, 광학현미경과 전자현미경을 사용하여 관찰한 성숙과정을 미세구조적 결과를 보고하고자 한다.

재료 및 방법

1. 실험재료

본 실험에 사용한 swordtail (*Xiphophorus hellerii*)의 종어는 pH 7.4±0.5 및 수온 28.0±0.5°C

의 수조에서 하루에 8시간씩 낮 환경을 유지시키며 양어하였고, 먹이는 실지렁이와 유기사료를 오전 9시와 오후 5시에 공급하였다. 양어수는 sodium thio-sulfate로 상수의 염소를 제거한 후 사용하였고 일주일에 1/4씩 환수시켰다.

2. 실험방법

광학현미경 표본을 제작하기 위해, 성숙한 swordtail의 난소를 적출하여 4% formalin로 고정된 후 흐르는 물에 12시간 세척하고 에탄올 농도상승순으로 각 1시간씩 탈수시켰다. 조직은 xylene으로 치환시킨 후 paraffin에 포매하여 microtome (Reichert-Jung 820)을 사용하여 3~4 μm 두께의 절편을 제작한 후 hematoxylin과 eosin으로 이중염색하여 관찰하였다. 전자현미경 시료는 적출한 난소를 0.1 M 인산완충액 (pH 7.4)으로 조정된 고정액 (2% glutaraldehyde, 2% paraformaldehyde)으로 4°C에서 1시간 고정된 후 난소로부터 난자를 분리해내어 동일한 용액으로 다시 3시간 고정하여 0.1 M 인산완충액으로 세척하였다. 이어서 1% OsO_4 로 2시간 고정된 후 에탄올 농도 상승순으로 탈수하고 propylene oxide로 치환하여 epon 혼합액에 포매하였다. Ultramicrotome (Reichert-Jung, Ultracut E)을 사용하여 50~60 nm 두께의 초박절편을 만든 후 uranyl acetate와 lead citrate로 이중염색 (Millonig, 1961; Reynold, 1963)하여 투과전자현미경 (JEOL, JEM-1200EXII)으로 관찰하였다.

결 과

1. 광학현미경 관찰

송사리와 swordtail의 난소는 회백색의 원추형으로 소화관의 등쪽에 쌍으로 위치하였다. 난소에는 다양한 발달 단계에 있는 난모세포들이 분포하였으며 발달이 진행될수록 피질부에 위치하고 있었다 (Fig. 1). 미성숙 난모세포는 직경이 0.05~0.15 mm로 주로 난소의 실질부에 위치하였다. 성숙과정이 진행되어 난황포를 형성한 난모세포의 직경은 0.2~0.4 mm였으며 난황포들이 세포질에 고르게 분포하였다. 난황형성을 마친 성숙한 난모세포의 직경

은 0.5~0.6 mm 정도였으며 다양한 크기의 난황과립을 보유하고 있었다 (Fig. 2).

2. 전자현미경 관찰

Swordtail의 미성숙한 난모세포는 구형이었고, 주로 진염색질로 채워져 있는 핵내에서 전자밀도가 높은 인이 뚜렷하였고, 핵막에는 다수의 핵공들이 분포하였다. 또한 세포질내에서는 구형의 미토콘드리아가 다수 관찰되었고, 지방적도 드물게 나타나며, 유리 리보솜들이 다수 분포하고 있는 모습을 관찰할 수 있었다 (Fig. 3). Swordtail의 미성숙 난모세포는 난막, 여포세포, 여포막 그리고 상피세포로 둘러싸여 있었다. 상피세포는 편평하였으며 안쪽에는 전자밀도가 균일한 5~6층의 여포막이 존재하였고 여포막의 안쪽에는 편평한 여포세포가 난모세포를 둘러싸고 있었으며 여포세포의 세포질에는 조면소포체와 미토콘드리아가 발달되어 있었다. 여포세포와 난모세포 사이에서는 좁은 공간이 존재하였으며 이 공간 내에서는 난모세포의 발달된 미세용모가 관찰되었다. 난모세포 표면에서는 전자밀도가 균일한 난막이 형성되기 시작하였으며 난모세포의 많은 미세용모들이 난막을 관통하고 있었다. 난모세포의 세포질에는 유리 리보솜들이 고르게 분포하고 있었으며 골지복합체 및 미토콘드리아도 발달하였다 (Fig. 4).

성숙중인 난모세포는 한층으로 배열되어 있는 입방형의 여포세포로 둘러싸여 있었다. 여포세포들의 핵은 원형 또는 난형이었고 세포질에는 미성숙 난모세포에 비해 미토콘드리아의 수가 증가하였으며 당단백질성 물질로 보이는 난막은 전자밀도가 증가하여 더욱 뚜렷하게 관찰되었다. 난황형성중인 난모세포의 세포질내 일부 난황포에서는 전자밀도가 비교적 높은 난황과립이 형성되기 시작하였으며 미토콘드리아가 난황포 주변으로 밀집되는 경향을 보였다. 난모세포내에는 전자밀도가 매우 높은 난황과립들과 전자밀도가 비교적 낮은 지방적들이 함께 밀집되어 있는 모습도 관찰할 수 있었다 (Fig. 5). 또한, 이 시기의 난막은 두꺼워졌으며 전자밀도가 높은 외층과 전자밀도가 낮은 내층으로 뚜렷이 구분되었고 다수의 난막공들은 규칙적으로 분포하였다 (Fig. 6). 한편, 난모세포의 미세용모는 더욱 발달하였으며 세

포질에서는 난황포들이 나타나기 시작하였고, 작은 난황포들은 서로 융합하여 큰 난황포를 형성하는 양상도 관찰되었다. 또한 미토콘드리아의 크리스테가 뚜렷해졌으며 유리 리보솜 및 골지복합체도 증가되어 있었고 세포질의 가장자리에서는 음소포(pinocytotic vesicle)들이 다수 관찰되었다. 성숙한 난모세포의 난막은 외막이 얇아졌고 전자밀도는 낮아졌으며 난모세포와 여포세포의 미세용모들은 난막공을 관통하고 있었으며 이들의 일부는 서로 접촉하는 것으로 관찰되었다(Fig. 7).

고 찰

척추동물의 난자형성과정은 양막류와 무양막류에서 서로 다르며 어류의 경우에 있어서도 종과 생활 환경에 따라서 다르다. 대부분의 경골어류는 난생을 통하여 발생하지만 송사리과의 swordtail은 난태생 과정을 통하여 발생한다.

광학현미경으로 관찰한 결과 swordtail의 난소에는 다양한 성숙 단계에 있는 난모세포들이 산재되어 있었고, 발달이 진행될수록 난소의 피질부쪽에 분포하였는데 이는 성숙한 난모세포가 배란되기 위하여 위치를 변화시킨 것으로 생각되며, 난모세포가 성숙 과정을 거치면서 크기가 증가하는 것은 수정 후 배 발생을 용이하게 하기 위해 난황물질을 저장하고 난할과정에서 세포크기의 동반을 생략하기 위한 준비 단계로 생각된다.

미성숙한 상태의 난모세포 주변에 위치하는 여포 세포들은 편평하였으나 성숙됨에 따라 입방형으로 변하는데 이러한 세포의 형태 변화는 다른 동물에서도 일반적으로 관찰되지만 swordtail의 경우 다층의 여포세포들을 갖는 포유동물과는 다르게 단층을 이루고 있었다. 미성숙한 난모세포의 난막은 전자밀도가 낮고 균질한 한층으로 관찰되어 아직 완전한 형태를 이루고 있지 않음을 확인하였으며 난모세포의 세포질에는 유리리보솜, 미토콘드리아 및 골지복합체 등이 고르게 분포하고 있었다. 또한, 난모세포의 핵내에는 진염색질이 넓게 분포하며, 핵막에는 다수의 핵공들이 분포하고 있었다. 이는 핵주변부 세포질에서 난모세포의 성숙에 필요한 물질들의 합성이

매우 활발하게 일어나고 있음을 보여주는 것이며 특히 핵공의 발달은 핵과 세포질간의 물질교환이 빠르게 이루어져야 한다는 사실과 밀접한 관련이 있을 것으로 생각된다. 이러한 구조적 특징은 *Gadus morhua* 등에서도 보고된 바 있다(Kjesbu and Kryvi, 1989).

경골어류의 난막은 두층(Flegler, 1977; Kobayashi and Yamamoto, 1981; Jang, 1994) 또는 세층(Anderson, 1974; Cotelli *et al.*, 1986)으로 구성되어 있는데 *Gadus morhua*의 난막은 세층으로 알려졌으며(Kjesbu and Kryvi, 1989), 무지개 송어(Yoon *et al.*, 1993)와 피라미(Jang, 1994)의 난막은 두층으로 알려졌다. 난생어류인 *Cynolebias melanoaenia*의 난막은 세층으로 구성되어 있으며 난모세포의 크기가 250 μm 에 이르면 외층이 형성되기 시작하며 난모세포의 크기가 360 μm 가 되면 지질 난황과 단백질이 축적되면서 난모세포에 의해 내층이 형성된 후 각 층이 서로 융합되는 것으로 보고되었으며(Wourm and Sheldon, 1976), 난막의 층이 두층 혹은 세층으로 분화되는 기능적 의미에 대해서는 아직 알려져 있지 않다.

난생어류인 swordtail의 난막은 두층으로 전자밀도가 높은 외층과 전자밀도가 낮은 내층으로 구성되어 있으며 난막공이 존재하여 난모세포와 여포세포의 미세용모가 관통하고 있었다. 난황형성중인 swordtail의 난막은 두께가 0.4 μm 로 난생어류인 피라미의 난막두께 약 1.5 μm 보다 얇았으며 난생어류의 난막에 존재하는 정자의 통로인 난문(micropyle)은 관찰할 수 없었다. 이는 swordtail의 정자가 침체를 보유하고 있어서(Lim, 1994), 난막을 뚫고 들어갈 수 있기 때문인 것으로 생각된다. 난막의 주 구성성분은 단백질로 그 구성비율은 *Gadus morhua*의 경우 전조중량의 95%에 이르는 것으로 알려졌다(Kjesbu and Kryvi, 1989).

난황형성에 필요한 난황물질은 주로 간에서 만들어져 혈액을 통하여 난소로 운반되어진다. 본 연구의 성숙중인 난모세포에서 관찰한 바와 같이 미세용모와 미세음소포의 발달은 이러한 난황물질의 흡수 기능을 촉진시키기 위한 장치로 판단된다. 또한 난모세포와 여포세포의 미세용모간의 밀접한 구조적

연관성은 이러한 난황형성 물질의 유입에 여포세포가 관여하고 있음을 시사하고 있다. 성숙한 난모세포의 세포질에는 지방적들도 관찰되었는데 그 성분은 조직화학적으로 인지질로 알려져 있고(Guraya, 1965), 세포질의 난황물질은 수정 후 배발생을 위한 영양물질로서 기능을 수행할 것으로 생각된다.

결론적으로 swordtail의 난모세포 성숙과정에 있어서는 세포질내 세포소기관들이 증가하였으며 난막은 점차 발달되어 난황형성과정중 전자밀도가 서로 다른 두층을 이루었다가 성숙 난모세포단계에 이르면 난막 외층의 두께는 얇아졌다. 또한 여포세포와 난모세포간의 미세융모를 통한 접촉면을 증가시킴으로써 난모세포 발달에 요구되는 물질들의 유입을 촉진하는 특징들이 확인되었다. 이러한 결과들은 swordtail의 난모세포 성숙과정과 배발생 과정에 필요한 물질들을 합성하고 유입하기 위한 미세구조상의 변화로 생각된다.

결 론

송사리과 swordtail (*Xiphophorus hellerii*, Oryziidae)의 난모세포 성숙과정을 광학현미경과 투과전자현미경을 이용하여 형태적으로 관찰하여 다음과 같은 결과들을 얻었다.

1. Swordtail의 난소에는 다양한 성숙단계에 있는 난모세포들이 분포하였으며 성숙한 난모세포일수록 피질부에 분포하였고 난모세포는 여포상피, 여포막, 여포세포층 및 난막으로 둘러싸여 있었다.

2. 난모세포는 성숙과정을 통하여 크기가 증가하고 유리 리보솜, 미토콘드리아, 조면소포체 및 골지복합체 등의 세포소기관들이 발달하였으며, 성숙중인 난모세포는 음소포들을 형성하고 미세융모를 발달시켜 여포세포들의 미세융모와 난막공을 통해 접촉함으로써 외부로부터 필요한 물질의 유입을 촉진하는 것으로 생각되었다.

3. 난모세포의 발달이 진행될수록 난막은 전자밀도가 증가하였으며, 성숙한 난모세포는 두층으로 뚜렷이 구분되었고, 규칙적으로 배열된 난막공들을 보유하고 있었으나 난막에서 난문은 관찰되지 않았다.

이상과 같이 swordtail의 난모세포 성숙과정은 세

포질내 세포소기관들이 증가하면서 난막이 뚜렷해지고 성숙중인 난모세포에서는 미세융모가 발달하여 여포세포들의 미세융모와 접촉함으로써 난황형성에 필요한 물질을 유입하는 것으로 생각되며 난황형성과정중 난막은 두층으로 분리되고 난황이 형성된 난모세포에서는 전자밀도가 높은 난막의 외층의 두께가 오히려 얇아지는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

- Anderson E, 1974. Comparative aspects of the ultrastructure of the female gamete, Int. Rev. Cytol. Suppl. 4, 1-70
- Chung EY, An CM, Lee TY, 1991. Sexual maturation of the bluespotted mud hopper (*Boleophthalmus pectinirostris*, Linnaeus), Bull. Korea Fish. Soc. 24(3), 167-176
- Cotelli FF, Andronico RB, Brivio M, Ceccagno C, Denis-Donini SM, Rosa L, Lamia DCL, 1986. Studies on the composition, structure and differentiation of fish egg chorion, Cell Biol. Int. Rep. 10(6), 471
- Dumont JN, Brummet AR, 1980. The vitelline envelope, chorion, and micropyle of *Fundulus heteroclitus* eggs, Gamete Res. 3, 25-44
- Flegler C, 1977. Electron microscopic studies on the development of the chorion of the viviparous teleost *Dermogenys pusillus* (Hemirhamphidae), Cell Tissue Res. 179, 255-270
- Grierson JP, Neville AC, 1981. Helicoidal architecture of fish eggshell, Tissue Cell 13, 818-830
- Guraya SS, 1965. A comparative histochemical study of fish (*Channa marulius*) and amphibian (*Bufo stomaticus*) oogenesis, Z. Zellforsch. Mikrosk. Anat. 65, 662-700
- Guraya SS, Kaur R, Saxena PK, 1975. Morphology of ovarian changes during the reproductive cycle of the fish, *Mystus tengara*, Acta Anat. Basel 91(2), 222-260
- Hamazaki TS, Nagahama Y, Yamagami K, 1989. A glycoprotein from the liver constitutes the inner layer of the egg envelope (zona pellucida interna) of the fish, *Oryzias latipes*, Dev.

- Biol. 133, 101-110
- Hirose K, Machida Y, Donaldson EM, 1979. Induced ovulation of Japanese flounder (*Linman-da yokohamae*) with human chorionic gonadotropin and salmon gonadotropin, with special reference to changes in quality of eggs retained in the ovarian cavity after ovulation, Bull. Japan Soc. Fish. 45(1), 31-36
- Hisaoka KK, Battle HI, 1958. The normal developmental stages of zebrafish, *Brachydanio rerio* (Hamilton-Buchanan), *J. Morphol.* 102, 311-328
- Jang SJ, 1994. A study on the oogenesis of pale chub (*Zacco platypus*), Master Thesis, Chongju Univ. 1-23
- Kim DH, 1993. A comparative study on the ultrastructures of the zona radiata in fertilized eggs of angelfish and zebrafish, Master Thesis, Chongju Univ. 1-30
- Kjesbu OS, Kryvi H, 1989. Oogenesis in cod, *Gadus morhua* L., studied by light and electron microscopy, *J. Fish Biol.* 34, 735-746.
- Kobayashi W, Yamamoto TS, 1981. Fine structure of the micropylar apparatus of the chum salmon egg, with a discussion of the mechanism for blocking polyspermy, *J. Exp. Zool.* 217, 265-275
- Lee TY, Kang YJ, Lee BD, 1985. Reproduction and population dynamics of marbled sole *Linman-da yokohamae*. 1. Reproduction, 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
- Millonig G, 1961. A modified procedure for lead staining of the thin sections, *J. Biophys. Biochem.* 11, 736-739
- Reynold ES, 1963. The use of lead citrate at high pH as electron opaque stain in electron microscopy, *J. Cell Biol.* 17, 208
- Schmehl MK, Graham EF, 1987. Comparative ultrastructure of the zona radiata from eggs of six species of salmonids, *Cell Tissue Res.* 250, 513-519
- Stehr CM, Hawkes JW, 1979. The comparative ultrastructure of the 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
- Tesoriero JV, 1977. Formation of the chorion (zona pellucida) in the teleost, *Oryzias latipes*. II. Polysaccharide cytochemistry of early oogenesis, *J. Histochem. Cytochem.* 25, 1376-1380
- Wourms JP, Sheldon H, 1976. Annual fish oogenesis; Formation of the secondary egg envelope, *Dev. Biol.* 50, 355-366.
- Yoon JM, Kim GY, Huh HT, Kim JM, Park HY, 1993. Studies on genetics and breeding in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. IX. Ultrastructural changes of ovarian follicle during oocyte growth, *Korean J. Zool.* 36(2), 304-317
- Yoon JM, Kim GY, Park HY, 1991a. Studies on genetics and breeding in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. II. Relationships between levels of serum LH, FSH and estradiol-17 β ; and levels of albumin, total protein, and triglycerides; and their effect on the changes of gonadostomatic indices in the ovarian development in the rainbow trout, *J. Aquacul.* 4(2), 97-110
- Yoon JM, Kim GY, Park HY, 1991b. Studies on genetics and breeding in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. VI. Developmental stages of oocyte in reproductive cycles, *Korean J. Ichth.* 3(2), 148-165
- Yoon JM, Kim GY, Park HY, 1991c. Studies on genetics and breeding in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. VIII. Ultrastructural changes of oocytes in reproductive cycles, *Korean J. Anim. Rep.* 15(3), 207-220

FIGURE LEGENDS

- Fig. 1.** Light micrograph of swordtail ovary. A cross-sectioned ovary contains various staged oocytes which are characterized by the enlarged size and congested cell components. Mature oocytes are located at ovarian cortex, meanwhile immature ones are positioned at ovarian medulla. Hematoxylin-eosin stain. $\times 100$
- Fig. 2.** Light micrograph of a mature ovum in the swordtail ovary. Note the numerous yolk granules and fat droplets in the cytoplasm. Hematoxylin-eosin stain. $\times 200$
- Fig. 3.** Electron micrograph of a part of an immature oocyte showing electron lucent nucleoplasm and numerous nuclear pores (arrows). There are oval mitochondria and free ribosomes in the cytoplasm.
- Fig. 4.** Electron micrograph of the immature oocyte and its surrounding structures: Flattened ovarian epithelial cells, electron dense theca layers, and a flattened follicle cell are observed. Transported vesicles (arrow) are seen outside the cell and well developed cell organelles, particularly Golgi complex, are prominent.
- Fig. 5.** Electron micrograph of the mature oocyte cytoplasm showing large and electron lucent fat droplets and small electron dense yolk granules.
- Fig. 6.** Electron micrograph of the chorion of a mature oocyte. The outer layer is more electron dense than the inner layer and there are numerous pores within the both layers.
- Fig. 7.** Electron micrograph of the oocyte in vitellogenesis showing outer and inner layers of chorion, and the increase of yolk granules. And the chorion has numerous pores through which microvilli extended toward the follicle cells.

Each scale bar on the electron micrographs represents $1\mu\text{m}$.

Abbreviations

Ch : chorion	Ep : epithelial cell
FC : follicle cell	FD : fat droplet
Go : Golgi complex	Ich : inner layer of chorion
Lu : lumen of ovary	MV : microvillus
Mi : mitochondrion	No : nucleolus
Nu : nucleus	OCh : outer layer of chorion
P : pore	T : theca
YG : yolk granule	YV : yolk vesicle



