

다슬기, *Semisulcospira libertina libertina*의 난자형성과정에 관한 미세구조적 기재

김은경, 이정식¹

메드빌 수생태독성팀, ¹전남대학교 수산생명의학과

Ultrastructural Description on Oogenesis of the Melania Snail, *Semisulcospira libertina libertina* (Gastropoda: Pleuroceridae)

Eun Kyoung Kim and Jung Sick Lee¹

Medvill Co., Ltd., Gasan-dong, Geumcheon-gu, Seoul 153-801, Korea

¹Department of Aqualife Medicine, Chonnam National University, Yeosu 550-749, Korea

ABSTRACT

The ultrastructural changes in germ cells during oogenesis of the melania snail, *Semisulcospira libertina libertina* have been investigated by light and electron microscopy. The ovary is located on the surface of the hepatopancreas in the spiral posterior region. The ovary exhibited greenish color in the gonadal mature season. The ovary was composed of a number of oogenic follicles. Oogenesis was divided into five stages with histological features: (1) oogonia, (2) previtellogenic, (3) initial vitellogenic, (4) active vitellogenic, and (5) mature stages. Oogonia were oval in shape, 4-6 μm in diameter, and had a large nucleus. Previtellogenic oocytes were about 20 μm in diameter and the cytoplasm reacted with hematoxylin in H-E stain. Initial vitellogenic stage, oocytes were 60-80 μm in diameter, and small yolk granules of low electron density are scattered in the cytoplasm. Oocytes in the initial vitellogenic stage were connected with ovarian follicle by egg stalk. Active vitellogenic oocyte were 100-120 μm in diameter. Electron density, size and quantity of yolk granules that are distributed in the cytoplasm have increased from the previous stage. Result of TEM observations, the oocyte contains well-developed Golgi complex, endoplasmic reticula and tubular mitochondria in the cytoplasm. Cytoplasm of mature oocyte was filled with proteinaceous yolk globules of high electron density. In this stage, the length of microvilli in the egg envelope was approximately 1.1 μm.

Key words: *semisulcospira libertina libertina*, oogenesis, ultrastructure.

서 론

다슬기, *Semisulcospira libertina libertina*는 복족강 (Gastropoda), 전새아강 (Prosobranchia), 중복족목 (Mesogastropoda), 다슬기과 (Pleuroceridae) 에 속하는 종으로써 한국을 비롯하여 일본, 대만, 중국 등에 분포하며, 하천, 호수, 연못 등에 서식 한다 (NFRDI, 1999). 이들은 자웅이체로 체내수정을 하며, 난태생으로 혹서기와 혹한기를 제외한 연 2회의 생식시기를 가진다 (Chang *et al.*, 2000). 다슬

기는 하천 바닥에 살면서 돌이나 모래에 붙어 있는 유기물질 등을 섭이하는 습성으로 물에 유입된 오염물질에 일차적인 노출 대상이 된다.

복족류의 생식생물학적 특성은 다른 생물군에서와 마찬가지로 종에 따라 다양하다 (Jong-Brink and Geraerts, 1982; Eckelbarger and Young, 1997; Hodgson and Eckelbarger, 2000). 다슬기의 생태 및 생식에 관해서는 *Semisulcospira libertina*에 관한 생태학적 연구 (Habe and Itagake, 1978), 생식기관의 해부-조직학적 연구 (Nakano and Nishiwaki, 1989)와 번식생태에 관한 연구 (Nakano and Izawa, 1996) 등이 국외에서 보고되어 있으며, 국내에서는 다슬기, *Semisulcospira libertina libertina*의 번식주기에 관한 연구 (Chang *et al.*, 2000) 등이 보고되어 있으나 미세구조적 연구는 찾아보기 어렵다.

본 연구에서는 1급수에 서식하는 지표생물종인 다슬기의 난

Received Jul 18, 2009; Revised Jul 30, 2009; Accepted Aug 02, 2009

Corresponding author: Jung Sick Lee

Tel: +82 (61) 659-3172 e-mail: ljs@chonnam.ac.kr

1225-3480/25209

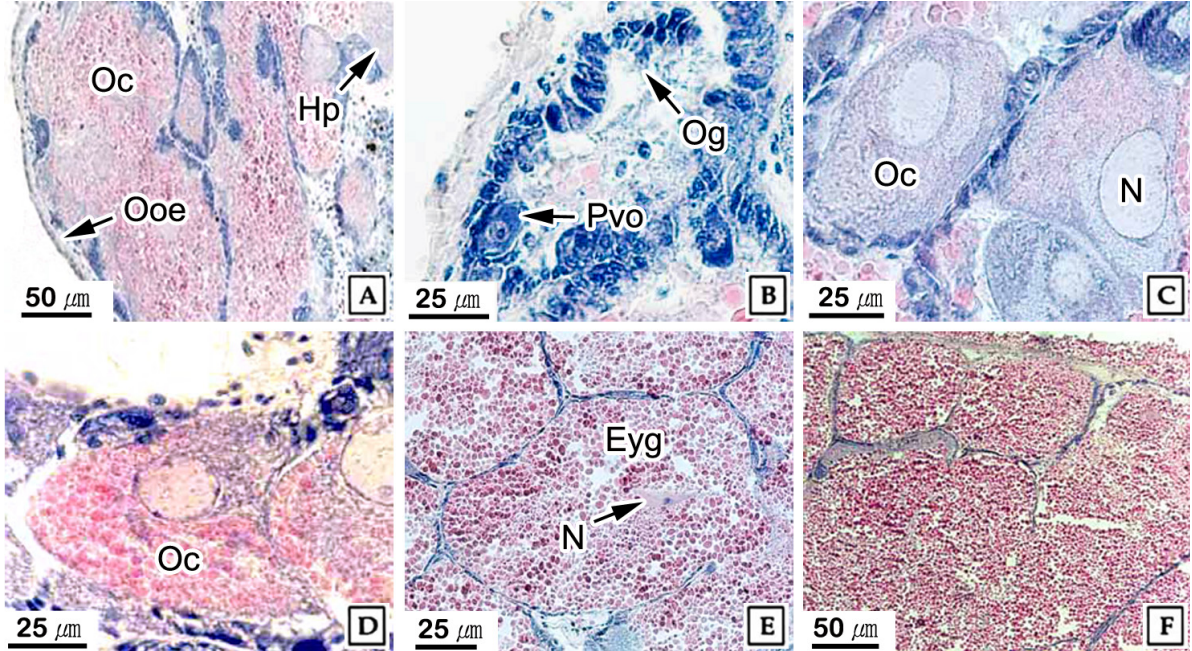


Fig. 1. Photomicrographs of ovarian structure and development of the melania snail, *Semisulcospira libertina libertina*. A: Ovary is composed of a number of oogenic follicles. B: Oogonial and previtellogenic stage. Note the large nucleus and basophilic cytoplasm. C: Initial vitellogenic stage. D: Early active vitellogenic stage. E: Lately active vitellogenic stage. F: Maturation stage. Eyg: eosinophilic yolk granules, Hp: hepatopancreas, N: nucleus, No: nucleolus, Oc: oocyte, Og: oogonium, Ooe: ovarian outer envelope, Pvo: previtellogenic oocyte.

자형성과정에 관한 미세구조적 연구를 통하여 복족류의 생식 세포의 형성에 관한 기초 자료와 오염원의 유입에 따른 생식세포 변형 유무 등을 확인하는데 필요한 기초 자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

본 연구에 사용한 다슬기, *Semisulcospira libertina libertina*는 전라남도 순천시 송광면에 위치한 조계산 계곡에서 채집된 각고 23 mm 이상의 성체였다. 채집된 재료는 크기를 측정된 후, 패각을 제거하고 외부강 기관계의 형태를 기재한 후 암컷만을 구분하여 난소 부위를 고정하였다.

광학현미경 관찰용 조직표본의 제작은 시료를 Bouin 용액에 고정하여 파라핀 절편법에 의해 4-6 μm 두께로 연속 절편하여 Mayer's hematoxylin과 0.5% eosin (H-E) 비교염색과 Masson 삼중염색을 실시하였다. 투과전자현미경 (TEM) 조직표본 제작은 0.1M phosphate buffer (pH 7.2) 로 완충시킨 2.5% glutaraldehyde 용액으로 4°C에서 2~4시간 동안 전 고정하였으며, 1% osmium tetroxide (OSO₄) 로 4°C에서 2-4시간 동안 후 고정한 후, 0.1M phosphate buffer로 세척하고 ethanol로 단계별 탈수하여 Epon 812에 포매하였다. 그리고 두께 약 70 nm의 ultrathin section을 제작하여

TEM (JEM-1200EXII, JEOL) 으로 관찰하였다. 세포의 크기 등 측정형질의 계측은 화상분석장치 (IMT, Visus, USA) 를 이용하였다.

결 과

1. 생식소의 구조

다슬기의 생식소는 패각 내 나선상 육질부의 후반부에 위치하며 후부 끝까지 연장되어 있다. 내측의 간체장과 외측의 상피층 사이에 있으며, 상피층의 기저부로부터 내측의 간체장을 향하여 발달하였다. 외형적으로 다슬기의 암컷과 수컷을 구별하는 것은 어렵다. 하지만, 성숙시기에 생식소 부위는 암컷은 청록색, 수컷은 황색으로 성 구별이 가능하였다. 조직학적 관찰한 결과, 난소는 다수의 난자형성소낭 (oogenic follicle) 으로 이루어져 있었다. 난자형성소낭은 난소외막으로부터 시작되며, 결합섬유와 근섬유 및 상피세포들로 구성된 결체조직으로 이곳으로부터 난원세포들이 발달 된다 (Fig. 1-A).

2. 난자형성과정

다슬기의 난자형성과정은 광학현미경과 투과전자현미경 조직표본 관찰 결과, 난막, 핵, 세포 소기관의 변화와 난황축적 정도에 따라 다음의 5 단계로 구분하였다. 1) 난원세포기 (oogonial stage), 2) 난황형성전기 (previtellogenic

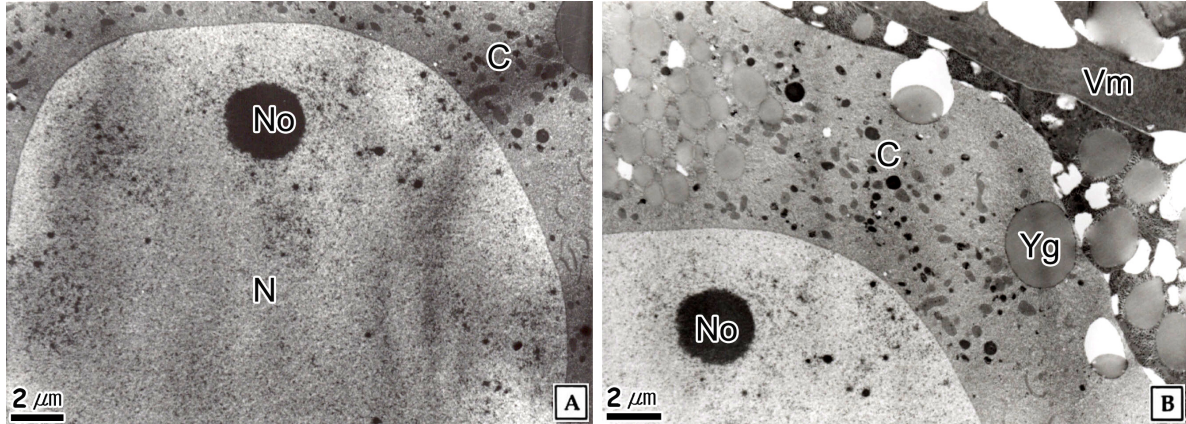


Fig. 2. Electron micrographs of early growing oocyte of the melania snail, *Semisulcospira libertina libertina*. A: Section of previtellogenic oocyte showing a large nucleus (N) with electron dense nucleolus (No). B: Section of initial vitellogenic oocyte showing a few yolk granule (Yg) in the cytoplasm (C) and vitelline membrane (Vm).

stage), 3) 난황형성개시기 (initial vitellogenic stage), 4) 난황형성활성기 (active vitellogenic stage), 5) 성숙기 (mature stage).

1) 난원세포기

난원세포들은 주로 비활성기의 난소에서 관찰할 수 있었다. 형태는 원형이고 크기는 직경 4-6 μm 이며, 주로 난자형성소낭의 소낭 벽 주변에 분포한다. H-E 염색 결과 세포질은 강한 호염기성을 나타내었다. 핵은 세포의 약 90% 이상을 차지하였다 (Fig. 1-B).

2) 난황형성전기

난황형성전기의 난모세포들은 주로 비활성기와 초기활성기의 난소에서 관찰할 수 있었다. 난모세포는 난병에 의하여 난자형성소낭의 벽에 부착한 채 중앙내강을 향해 발달하며, 형태는 타원형이었다. 난모세포의 크기는 직경 약 20 μm이었다. H-E 염색 결과, 세포질은 hematoxylin에 반응하는 호염기성을 나타내며, 양적 증가를 보였다. 핵이 차지하는 비율이 난원세포에 비하여 감소하였다. 핵 내에서는 난원세포와 같이 호염기성 반응을 나타내는 인을 관찰할 수 있었다 (Fig. 1-B).

투과전자현미경 표본에서 난황형성전기의 난모세포는 핵에 전자밀도가 높은 인을 가지나 뚜렷한 핵공의 관찰은 어려웠다. 난황막 근처의 세포질에서는 직경 200 nm 내외의 전자밀도가 다양한 소형의 난황과립들과 미토콘드리아들이 관찰되었다 (Fig. 2-A).

3) 난황형성개시기

난황형성개시기의 난모세포는 장경 60-80 μm 크기의 타원형이며, 핵과 세포질의 급속한 양적 증가를 보였다. 이 시기에

난모세포는 핵막부위의 핵 내에서는 인이 다수 관찰되었다. 세포질은 균질하지 못하며, H-E 염색에서 hematoxylin에 반응하여 호염기성으로 관찰되었던 세포질에는 eosin에 반응한 일부 호산성과립과 공포형의 과립이 혼재되어 분포하였다 (Fig. 1-C).

투과전자현미경 관찰결과, 난황막 근처의 세포질에서는 직경 2 μm 내외의 난황과립들이 확인 되었다 (Fig. 2-B). 또한 난황막에서는 미세한 미세융모의 형성이 확인되었으며 (Fig. 3-A), 세포질에서는 발달된 관상의 미토콘드리아와 직경 500 nm 내외의 전자밀도가 다양한 난황과립들이 관찰되었다 (Fig. 3-B). 그리고 핵막 주변 세포질에는 잘 발달된 골지체들이 나타났다 (Fig. 3-C).

4) 난황형성활성기

난황형성활성기의 난모세포는 직경 100-150 μm 크기로 세포질 내에 난황과립의 축적 정도에 따라 전기와 후기로 나누어 구별할 수 있었다. 난황형성활성 전기의 난모세포는 난황형성개시기의 난모세포에서 관찰되었던 일부 호염기성과립들은 사라지고 서서히 호산성과립구들이 증가하기 시작한다. 핵의 수질부에서는 다수의 인이 관찰되며, 세포질은 증가하였다 (Fig. 1-D). 후기의 난모세포 세포질은 더욱 증가하였으며, 호산성과립으로 가득 채워졌다 (Fig. 1-E).

투과전자현미경 표본에서 난황형성활성 전기 난모세포의 난황막 주변에서는 미세융모들이 확인되었다 (Fig. 4-A). 이종의 핵막에서는 핵공이 뚜렷하게 관찰되었으며, 세포질에는 1-2 μm 크기의 난황과립이 다수 관찰되었다 (Fig. 4-B). 난병 구성세포들의 세포질에서는 발달된 골지체, 미토콘드리아, 조면소포체가 관찰되었다 (Fig. 4-C). 난황형성활성 후기 난모세포의 세포질에서는 환층판, 조면소포체, 골지체 및 관상의 미토

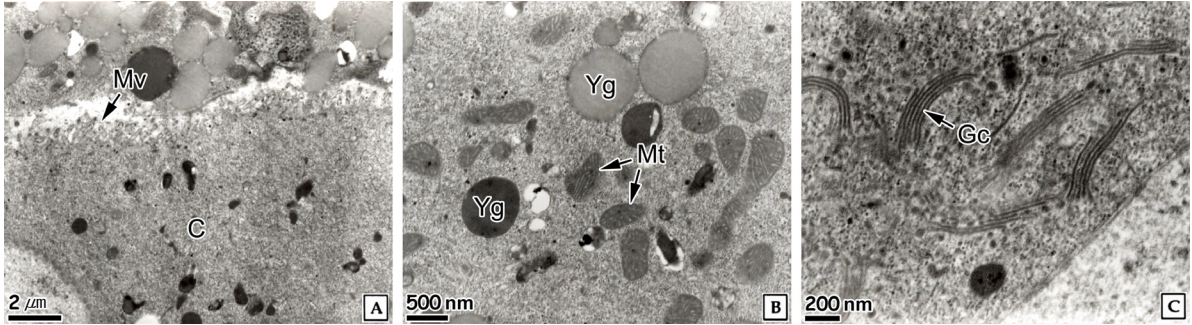


Fig. 3. Electron micrographs of initial vitellogenic oocyte of the melania snail, *Semisulcospira libertina libertina*. A: Note the microvilli (Mv) in the vitelline membrane. B: Note the several mitochondria (Mt) and yolk granules (Yg) in the cytoplasm. C: Note the well-developed Golgi complex.

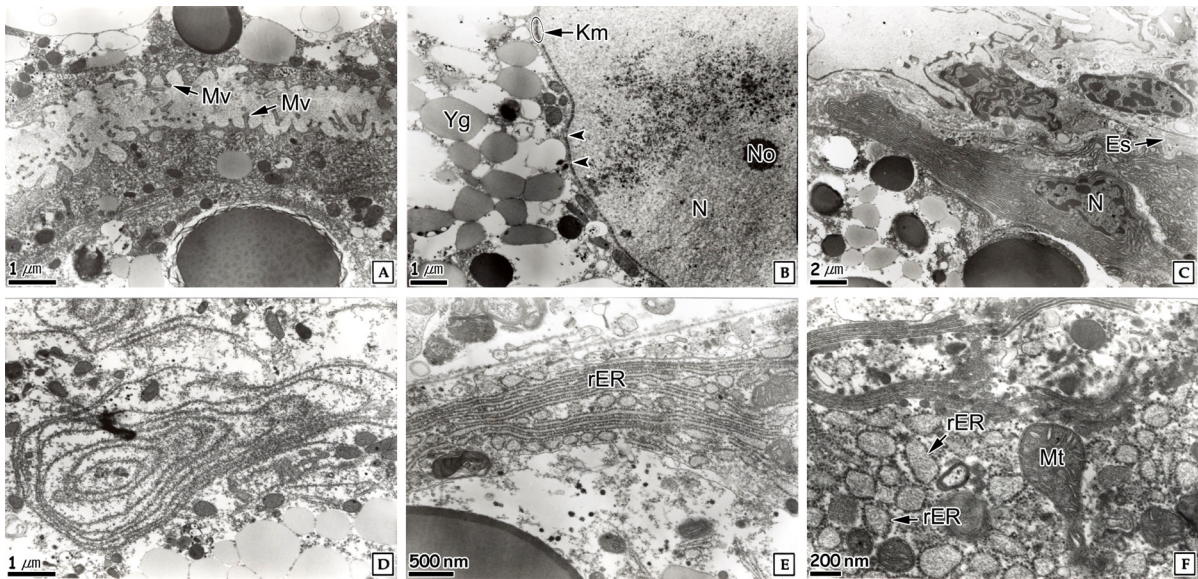


Fig. 4. Electron micrographs of active vitellogenic oocyte of the melania snail, *Semisulcospira libertina libertina*. A: Note the microvilli (Mv) in the vitelline membrane. B: Note the expanded nucleopore (arrows). C: Note the structure of ovarian membrane near egg stalk (Es). D-F: Note the rough endoplasmic reticulum (rER), mitochondria (Mt) and Golgi complex. Km: karyomembrane, N: nucleus, No: nucleolus, Yg: yolk granule.

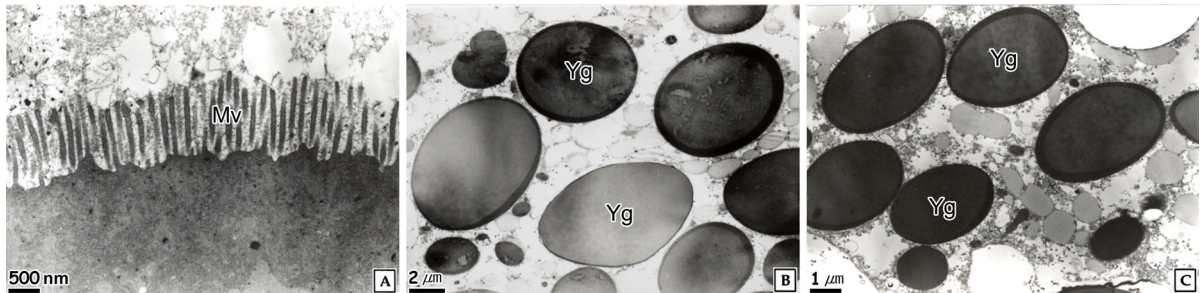


Fig. 5. Electron micrographs of a mature oocyte of the melania snail, *Semisulcospira libertina libertina*. A: Note the microvilli (Mv) in the vitelline membrane. B and C: Note the several yolk globules (Yg) in the cytoplasm.

콘드리아들이 발달되어 있었다 (Figs. 4-D, E and F).

5) 성숙기

성숙기의 난모세포는 직경 약 200 μm 로서 세포질의 양적 증가가 최대로 이루어지며, 세포질 내에는 호산성과립구조가 가득하였다. 핵은 처음에는 중심에서 관찰이 가능하나 차차 한쪽으로 치우쳐 관찰되며, 타원형이던 핵이 불규칙한 모양으로 관찰되었다 (Fig. 1-F).

투과전자현미경 표본에서 난막에는 길이 약 1.1 μm 의 미세융모가 관찰되었다 (Fig. 5-A). 세포질에서는 직경 5-10 μm 의 다양한 전자밀도를 가진 난황구들이 관찰되었는데, 이들 난황구들은 피질부의 전자밀도가 수질부의 전자밀도보다 높았다 (Figs. 5-B and C).

고 찰

다슬기의 성은 자웅이체이며, 생식소는 폐각 내 나선상 육질부의 후반부에 위치하며 후부 끝까지 연장되어 있다. 난소는 다수의 난자형성소낭 (oogenic follicle) 으로 이루어져 있었는데, 이와 같은 특징은 구멍뱀고둥, *Chlorostoma argrostoma turbinata* (Kim *et al.*, 1996), 대수리, *Reishia (Thais) clavigera* (Lee, 1999), 보말고둥, *Omphalius rusticus* (Lee, 2001), 소라, *Batillus cornutus* (Jung *et al.*, 2007) 등의 복족류와 유사하였다.

다슬기의 난원세포는 난소소엽의 벽에서 발달하며, 난원세포는 성장하면서 내강 쪽으로 돌출되어 난병 (egg stalk) 에 의해 매달려지는데, 난병은 난모세포의 부착 및 지지기능 뿐만 아니라 난모세포의 외재적 난황축적 (exogenous vitellogenesis)과 밀접한 관계가 있다 (Beams and Sekhon, 1966). 이러한 난병 구조는 복족류에서는 전복류, *Haliotis* (Lee, 1974), 대수리, *Reishia (Thais) clavigera* (Lee, 1999), 보말고둥, *Omphalius rusticus* (Lee, 2001), 눈알고둥, *Lunella coronata coreensis* (Lee, 2000), 서해비단고둥, *Umbonium thomasi* (Lee, 2002), 피뿔고둥, *Rapana venosa* (Chung *et al.*, 2002), 소라, *Batillus cornutus* (Jung *et al.*, 2007)에서 보고되었다. 또한 난병 구조는 이매패류인 *Anodonta* (Beams and Sekhon, 1966), 새조개, *Fulvia mutica* (Chang and Lee, 1982), 대북, *Gomphina veneriformis* (Park *et al.*, 2003) 등에서도 보고되었다.

난자형성과정의 세부적인 단계 구분은 연구자에 따라 다소 다르다. *Reishia (Thais) clavigera*에서는 광학현미경적 기준으로 oogonium, early growing oocyte, mature oocyte 및 ripe oocyte의 4 단계로 구분되었다 (Lee, 1999). 피뿔고둥 (Chung *et al.*, 2002)과 소라 (Jung *et al.*, 2007)의 경

우에는 전자현미경적 기준을 통하여 난원세포, 난황형성전기, 난황형성개시기, 난황형성후기 및 성숙기의 5 단계로 구분되었다. 그리고 *Bolinus brandaris*에서는 전감수분열 (premeiosis), 감수분열 (meiosis), 난황기 (vitellogenesis), 성숙란 (mature oocyte)의 4 단계로 구분되었다 (Amor *et al.*, 2004).

본 연구에서는 난자형성과정을 난원세포기 (oogonium stage), 난황형성전기 (previtellogenic stage), 난황형성개시기 (initial vitellogenic stage), 난황형성활성기 (active vitellogenic stage), 성숙기 (mature stage)의 5 단계로 구분하였다. 하지만, 본 연구에서 난자형성과정 가운데 기존의 광학현미경적 기준에서 난황형성전기의 난모세포들은 전자현미경 관찰 결과, 세포질에 소형의 난황과립들이 분포하고 있었는데, 이러한 결과는 소라에서도 보고된 바 있다 (Jung *et al.*, 2007).

난자형성과정의 중요한 결과 가운데 하나는 세포질에 난황물질의 축적인데, 난모세포의 난황축적 방법은 난황전구물질의 기원 부위에 따라 외재적 난황축적 (exogenous vitellogenesis) 과 내재적 난황축적 (endogenous vitellogenesis) 으로 구분된다. 난모세포 발달과정에서 난황축적과 관련 있는 구조로는 난병, 난막, 난황핵 (yolk nucleus), 인 및 조면소포체 등의 세포질 내 소기관 등이 있다. 이 가운데 난병과 난막은 난모세포의 외재적 난황축적과 밀접한 관계가 있으며, 난황핵과 인을 포함한 세포소기관들은 난모세포의 내재적 난황축적과 밀접한 관계가 있다 (Beams and Sekhon, 1966; Wallace and Selmen, 1981).

외재적 난황축적 방법은 여포세포층과 난막 사이의 pore canal system, 음세포작용 (pinocytosis) 및 난병을 통한 방법이 보고되었다 (Selman and Wallace, 1982, 1983, 1986). 난병에 의한 방법은 *Anodonta*에서 난병 부위에서부터 직경 250-300 Å의 미세소관들이 난모세포질까지 발달되어 난모세포의 부착 및 지지기능을 담당한다. 아울러 이 부위에서 난황전구물질들이 관찰됨으로써 외부에서 합성된 난황전구물질이 난세포질내로 이동되는 통로임을 보고하였다 (Beams and Sekhon, 1966).

내재적 난황축적은 인과 Balbiani body를 비롯한 세포내 소기관에 의해 주로 이루어지는데 (Wallace and Selman, 1981), *Neomacheilus barbatus*에서는 난모세포 내부의 미토콘드리아와 multivesicular body가 관여한다 (Riehl, 1978).

원시복족목 패류 난모세포의 난황축적에 관하여 Eckelbarger and Young (1997) 은 난모세포의 난황물질 축적은 비대성 여포세포와 관계가 있다고 하였는데, 이들은 세 가지 형태의 난황형성 방법을 보고하였다. 첫째 조면소포체와

골지체의 결합작용을 통한 세포질 내의 자가합성화합물의 형태와 둘째 명확하지는 않지만 미토콘드리아와 같은 다양한 미세구조에 의한 것, 마지막으로 endocytosis을 통한 타가합성이다.

뿔소라과의 *Bolinus brandaris*의 경우에도 난황축적 방법은 동일한 난모세포에서 동시에 여포세포에 의한 외재적 방법과 조면소포체에 의한 내재적 방법에 의한다 (Amor *et al.*, 2004). 이매패류인 백합, *Meretrix lusoria*의 경우에도 세포소기관들에 의한 내재적 방법과 난막의 미세용모를 통한 외재적 방법에 의하여 난황이 축적된다 (Chung and Kim, 2000).

소라의 난모세포 발달과정에서 외재적 난황축적의 증거인 난병의 발달이 관찰되었으며, 내재적 난황축적의 증거인 인과세포소기관의 활성이 관찰되어 소라의 난모세포 내 난황축적도 외재적 난황축적 방법과 내재적 난황축적 방법인 두 가지로 보고되었다 (Jung *et al.*, 2007).

본 연구에서도 다슬기의 난모세포 발달과정에서 난병 및 난황막의 발달과 세포질내에 조면소포체와 골지체 등의 세포소기관의 발달로 볼 때, 난황축적은 외재적 방법과 내재적 방법에 의한 것으로 판단된다.

연체동물의 난모세포 발달과정 동안 나타나는 중요한 구조적 특징 가운데 하나는 난막의 변화이다. 난막의 변화 가운데 하나는 난자형성과정이 진행되면서 난모세포의 난황막에 미세용모가 발달하는데, 이러한 특징은 민들조개, *Gomphina melanaegis* (Lee *et al.*, 1999), 백합 (Chung and Kim, 2000), 동죽, *Macra veneriformis* (Chung and Ryou, 2000), 북방대합, *Spisula sachalinensis* (Lee *et al.*, 2003) 등의 이매패류와 Patellogastropoda (Hodgson and Eckelbarger, 2000)에서 보고되었다.

요 약

담수 복족류인 다슬기, *Semisulcospira libertina libertina*의 난자형성과정 동안 생식세포의 미세구조 변화를 광학현미경과 전자현미경으로 관찰하였다. 난소는 나뭇 후방부의 간체장의 표면에 위치하며, 성숙시기에는 녹색을 나타내었다. 난소는 다수의 난자형성소낭들로 이루어져 있었다. 난자형성과정은 5단계로, 난원세포기, 난황형성전기, 난황형성개시기, 난황형성활성기, 성숙기로 구분하였다. 난원세포는 직경 4-6 μm 의 원형으로 커다란 핵을 가진다. 난황형성전기의 난모세포는 직경이 약 20 μm 이며, H-E 염색에서 세포질은 호염기성을 나타냈다. 난황형성개시기의 난모세포는 직경 60-80 μm 내외로 세포질에는 전자밀도가 낮은 난황과립들을 가지며, 난병에 의하여 난자형성소낭에 연결되어 있었다. 난황형성활성기의 난모세포는 직경 100-120 μm 로 난황과립의 전자

밀도, 크기, 양이 증가하였으며, 세포질에는 골지체, 미토콘드리아, 조면소포체들이 발달하였다. 성숙기 난모세포의 세포질 대부분은 전자밀도가 높은 단백질성의 난황과립들로 채워져 있었으며, 난막에서는 길이 약 1.1 μm 의 미세용모가 관찰되었다.

REFERENCES

- Amor, M.J., Ramón, M. and Durfort, M. (2004) Ultrastructural studies of oogenesis in *Bolinus brandaris* (Gastropoda: Muricidae). *Scientia Marina*, **68**: 343-353.
- Beams, H.W. and Sekhon, S.S. (1966) Electron microscope studies on the oocyte of the fresh-water mussel (*Anodonta*), with special reference to the stalk and mechanism of yolk deposition. *Journal of Morphology*, **119**: 477-501.
- Chang, Y.J. and Lee, T.Y. (1982) Gametogenesis and reproductive cycle of the cockle, *Fulvia mutica* (Reeve). *Bulletin of Korean Fisheries Society*, **15**: 241-253. [in Korean]
- Chang, Y.J., Chang, H.J., Min, B.H. and Bang, I.C. (2000) Reproductive cycle of the melania snail, *Semisulcospira libertina libertina*. *Development and Reproduction*, **4**: 175-180.
- Chung, E.Y. and Kim, Y.M. (2000) Ultrastructural study of germ cell development and sexual maturation of the hard clam, *Meretrix lusoria* (Bivalvia: Veneridae), on the west coast of Korea. *Journal of Medical and Applied Malacology*, **10**: 181-202.
- Chung, E.Y. and Ryou, D.K. (2000) Gametogenesis and sexual maturation of the surf clam *Macra veneriformis* on the west coast of Korea. *Malacologia*, **42**: 149-163.
- Chung, E.Y., Kim, S.Y., Park, K.H. and Park, G.M. (2002) Sexual maturation, spawning, and deposition of the egg capsules of the female purple shell, *Rapana venosa* (Gastropoda: Muricidae). *Malacologia*, **44**: 241-257.
- Eckelbarger, K.J. and Young, C.M. (1997) Ultrastructure of the ovary and oogenesis in the methane-seep mollusc *Bathynnerita naticoidea* (Gastropoda: Neritidae) from the Louisiana slope. *Invertebrate Biology*, **116**(4): 299-312.
- Habe, S. and Itagake, H. (1978) Ecological study on the freshwater snail, *Semisulcospira libertina* (G.). *Venus*, **37**: 77-82.
- Hodgson, A.N. and Eckelbarger, K.J. (2000) Ultrastructure of the ovary and oogenesis in six species of patellid limpets (Gastropoda: Patellogastropoda) from South Africa. *Invertebrate Biology*, **119**: 265-277.
- Jong-Brink, M. and Geraerts, W.P.M. (1982) Oogenesis in gastropods. *Malacologia*, **22**: 145-149.
- Jung, G.K., Park, J.J., Ju, S.M., Jin, Y.G. and Lee, J.S. (2007) Ovarian structure and oogenesis of the spiny

- top shell, *Batillus cornutus* (Lightfoot, 1786) (Gastropoda: Turbinidae). *Korean Journal of Malacology*, **23**: 209-216. [in Korean]
- Kim, B.H., Choi, K.S. and Lee, Y.D. (1996) Study on the reproductive cycle of the top shell, *Chlorostoma argrostoma turbinata*. *Bulletin of Marine Research Institute Cheju National University*, **20**: 9-15. [in Korean]
- Koike, K., Kuniyoshi, S., Furuse, K., Umezawa, N., Masuda, A. and Nishiwaki, S. (1992) Seasonal changes in gametogenesis and embryo composition in the brood pouch of *Semisulcospira libertina*. *Venus*, **51**: 279-294.
- Lee, J.H. (1999) Gametogenesis and reproductive cycle of the rock shell, *Reishia (Thais) clavigera* (Neogastropoda: Muricidae), on the west coast of Korea. *Korean Journal of Biological Society*, **3**: 375-383.
- Lee, J.H. (2000) Sexual maturation of the turban shell, *Lunella coronata coreensis* (Gastropoda: Turbinidae), on the west coast of Korea. *Journal of the Korean Fisheries Society*, **33**: 533-540. [in Korean]
- Lee, J.H. (2001) Gonadal development and reproductive cycle of the top shell, *Omphalius rusticus* (Gastropoda: Trochidae). *Korean Journal of Biological Society*, **5**: 37-44.
- Lee, J.H. (2002) Gonadal development and reproductive cycle of the sand snail, *Umbonium thomasi*. *Journal of the Korean Fisheries Society*, **35**: 702-708. [in Korean]
- Lee, J.Y., Chang, Y.J. and Chang, Y.J. (2003) Ultrastructure of germ cell during the gametogenesis in surf clam, *Spisula sachalinensis*. *Journal of the Korean Fisheries Society*, **36**: 157-162. [in Korean]
- Lee, J.Y., Park, Y.J. and Chang, Y.J. (1999) Gonadal development and reproductive cycle of *Gomphina melanaegis* (Bivalvia: Veneridae). *Journal of the Korean Fisheries Society*, **32**: 198-203. [in Korean]
- Lee, T.Y. (1974) Gametogenesis and reproductive cycle of abalones. *Publication of the Marine Laboratory from Pusan Fisheries College*, **7**: 21-50. [in Korean]
- Nakano, D. and Izawa, K. (1996) Reproductive biology of *Semisulcospira libertina* in Iga Basin, Mie Prefecture. *Venus*, **55**: 235-241.
- Nakano, D. and Nishiwaki, S. (1989) Anatomical and histological studies on the reproductive system of *Semisulcospira libertina* (Prosobranchia: Pleuroceridae). *Venus*, **48**: 263-273.
- NFRDI (National Fisheries Research and Development Institute). (1999) Commercial Molluscs from the Freshwater and Continental Shelf in Korea. pp. 197. Gudeok, Busan. [in Korean]
- Park, J.J., Lee, J.Y., Lee, J.S. and Chang, Y.J. (2003) Gonadal development and gametogenic cycle of the equilateral venus, *Gomphina veneriformis* (Bivalvia: Veneridae). *Journal of the Korean Fisheries Society*, **36**: 352-357. [in Korean]
- Riehl, R. (1978) Light and electron microscopical investigations on the oocytes of the freshwater teleost fishes *Noemacheillus barbatulus* L. and *Gobio gobio* L. (Pisces, Teleostei). *Zoologischer Anzeiger*, **201**: 199-219.
- Selman, K. and Wallace, R.A. (1982) Oocyte growth in the sheepshead minnow: uptake of exogenous proteins by vitellogenic oocytes. *Tissue and Cell*, **14**: 555-571.
- Selman, K. and Wallace, R.A. (1983) Oogenesis in *Fundulus heteroclitus* III. Vitellogenesis. *Journal of Experimental Zoology*, **226**: 441-457.
- Selman, K. and Wallace, R.A. (1986) Gametogenesis in *Fundulus heteroclitus*. *American Zoologist*, **26**: 173-192.
- Wallace, R.A. and Selmen, K. (1981) Cellular and dynamic aspects of oocyte growth in teleosts. *American Zoologist*, **21**: 325-343.