

# 한국 서해산 암컷 떡조개, *Phacosoma japonicus* (Bivalvia: Veneridae) 의 난모세포 발달과 난황형성과정의 미세구조적 연구

전제천<sup>1</sup>, 김성한<sup>2</sup>

<sup>1</sup>국립수산과학원 서해수산연구소, <sup>2</sup>군산대학교 해양생명응용과학부

## Ultrastructural Studies of Oocyte Differentiation and Vitellogenesis in female *Phacosoma japonicus* (Bivalvia: Veneridae) in Western Korea

Je-Cheon Jun<sup>1</sup> and Sung-Han Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>West Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Incheon 22383, Korea

<sup>2</sup>Faculty of Marine Applied Biosciences, Kunsan National University, Gunsan 54150, Korea

### ABSTRACT

Ultrastructural studies of oocyte development and vitellogenesis associated with the follicle cells in female *Phacosoma japonicus* were investigated by electron microscope observations. Vitellogenesis in the oocytes occurred by way of endogenous autosynthesis and exogenous heterosynthesis: vitellogenesis occurred through a process of endogenous autosynthesis, which involves a combined activity of the Golgi complex, rough endoplasmic reticulum, and mitochondria. However, the process of exogenous heterosynthesis involved endocytotic incorporation of extraovarian precursors into the basal region of the early vitellogenic oocytes. In this study, follicle cells, which attached to the previtellogenic and vitellogenic oocytes, were easily found. In particular, the follicle cells were involved in the development of previtellogenic oocytes by the supply of nutrients, and vitellogenesis in the early and late vitellogenic oocytes by endocytosis of yolk precursors. The functions of follicle cells, which attached to mature oocytes, accumulate reserves of lipid granules and glycogen particles for vitellogenesis in the cytoplasm of the follicle cells.

**Key words:** *Phacosoma japonicus*, Oogenesis, Vitellogenesis, Follicle cells

### 서 론

떡조개, *Phacosoma japonicus* (Reeve, 1850) 는 한국, 중국, 일본 등 동아시아의 연안에 분포, 서식하고 있는데, 특히, 우리나라에서 주로 조간대와 조하대의 모래가 많은 사니질에

서식하는 수산업상 중요한 식용 이매패류이다 (Yoo, 1976; Chung *et al.*, 1997). 최근 연안의 대규모 간척사업과 환경 수질오염 및 무분별한 남획 등으로 인한 자원량 감소로 어업생산량 통계가 없는 실정이다. 따라서 본 종은 적절한 어획 정책에 의해 관리되어야하며, 개체군의 적극적인 자원증강 방안의 강구가 요구된다. 따라서 이를 위한 기초적 연구로 생식기작을 이해하기 위해서는 무엇보다도 난형성 중 난황형성과정과 난모세포발달 중에 일어나는 특히, 난황형성을 위해 영양물질을 흡수할 때 이에 관여하는 보조세포들 (follicle cells) 의 기능과 같은 생식생리를 충분히 구명하는 것이 중요하다.

지금까지 떡조개에 관한 연구는 생식분야는 성숙과 산란 (Chung *et al.*, 1997), 수컷의 정자형성과정과 성숙정자의 미세구조적 특징 (Kim *et al.*, 2011) 에 관한 연구들이 보고되어 있다. 그리고 생태에 관해서 분포와 서식지 (Kwon *et al.*,

Received: March 16, 2016; Revised: March 23, 2016;  
Accepted: March 31, 2016

Corresponding author : Je-Cheon Jun

Tel: +82 (41) 675-3773, e-mail: boojada@korea.kr  
1225-3480/24605

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License with permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproducibility in any medium, provided the original work is properly cited.

1993; Min *et al.*, 2004) 에 대해 단편적 보고가 되어 있을 뿐이다. 비록, 생식생태에 대해 상기의 Chung *et al.*, (1997) 및 Kim *et al.*, (2011) 등 몇가지 연구가 되어 있긴 하지만 투과전자현미경을 이용한 미세구조적으로 난황형성 과정 및 보조세포의 역할에 관해 상세한 연구가 많이 필요하다. 특히, 떡조개의 난모세포들 속에서 종에 따라 미세구조적으로 어떤 특징을 보이는지를 발달단계별 난황형성과정을 통해 상세히 구명할 필요가 있다 (Chung, 2008). 최근 난황형성 중 난모세포 내의 보조세포들 (follicle cells) 은 난황형성 중에 영양물질을 저장하는 중요한 역할을 하며, 난황전구체 (yolk precursors) 의 합성에 관여하는 것으로 알려져 있어 (Wourms, 1987; Chung, 2008), 본 연구에서는 떡조개의 난모세포의 발달과정을 전자현미경에 의해 미세구조적으로 자세하게 관찰하여, 난모세포 내에서의 난황형성과정을 밝히는 동시에 난형성 중 보조세포 (follicle cell) 의 역할을 구명하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 시료

암컷 떡조개, *P. japonicus* (Reeve, 1850) 의 시료는 2010년 1월부터 12월까지 전라북도 김제시 심포면 조간대와 조하대에서 월별로 20개체씩 채집하여 즉시 실험실로 운반한 후 전자현미경 시료 고정 처리가 완료될 때까지 사육수조에서 해수 수온을 20 °C로 유지시키면서 관리하였다.

### 2. 시료처리

투과전자현미경 (TEM) 조직표본의 제작은 2.5% glutaraldehyde-2% paraformaldehyde (0.1 M cacodylate buffer, pH 7.5) 에 12시간 전 고정한 후 10% Sucrose (0.1 M cacodylate buffer, pH 7.5) 로 약 10분간 충분히 세척하고, 2% Osmium tetroxide와 0.2 M Cacodylate 1 : 1 용액에서 90분간 후고정시켰다. 고정이 끝난 조직소편은 Ethanol에 의해 탈수한뒤 Propylen oxide로 치환하고 Epon-812 혼합액에 포매하여 Sorvall MT-2 Ultramicrotome으로 두께 80-100 nm의 초박절편을 제작하였다. 초박절편은 Uranyl acetate와 Lead citrate로 전자염색하여 JEM 100 CX-II 전자현미경 (100 KV) 으로 관찰하였다.

## 결 과

### 1. 난소의 위치 및 형태

암컷 떡조개, *P. japonicus* 난소의 일반적 형태 및 내부구조는 다른 이매패류의 것들과 유사하다. 난소는 소화맹낭 (digestive diverticula) 과 섬유성결체조직과 근섬유조직으로

이루어진 외측 섬유근층사이에 위치한다. 난소는 여러 단계 (stage) 들로 이루어진 난소소낭 (follicle) 으로 이루어진 기관이다. 난소와 정소의 외형적 색깔은 동일한 흰색이기 때문에 이들 생식소의 암, 수 확인은 해부에 의해서만 구별이 가능하였다.

### 2. 난모세포들과 보조세포들 (follicle cells) 의 미세구조적 특징

미세구조적 특징에 근거하여 발달 중인 난모세포들의 난형성 과정은 편의상 (1) 난원세포 (oogonia), (2) 전난황형성 난모세포 (previtellogenic oocytes), (3) 난황형성난모세포 (vitellogenic oocytes), (4) 성숙난모세포 (mature oocyte) 의 4단계로 구분할 수 있었다 (Eckelbarger and Davis, 1996).

#### 1) 난원세포 (Oogonia)

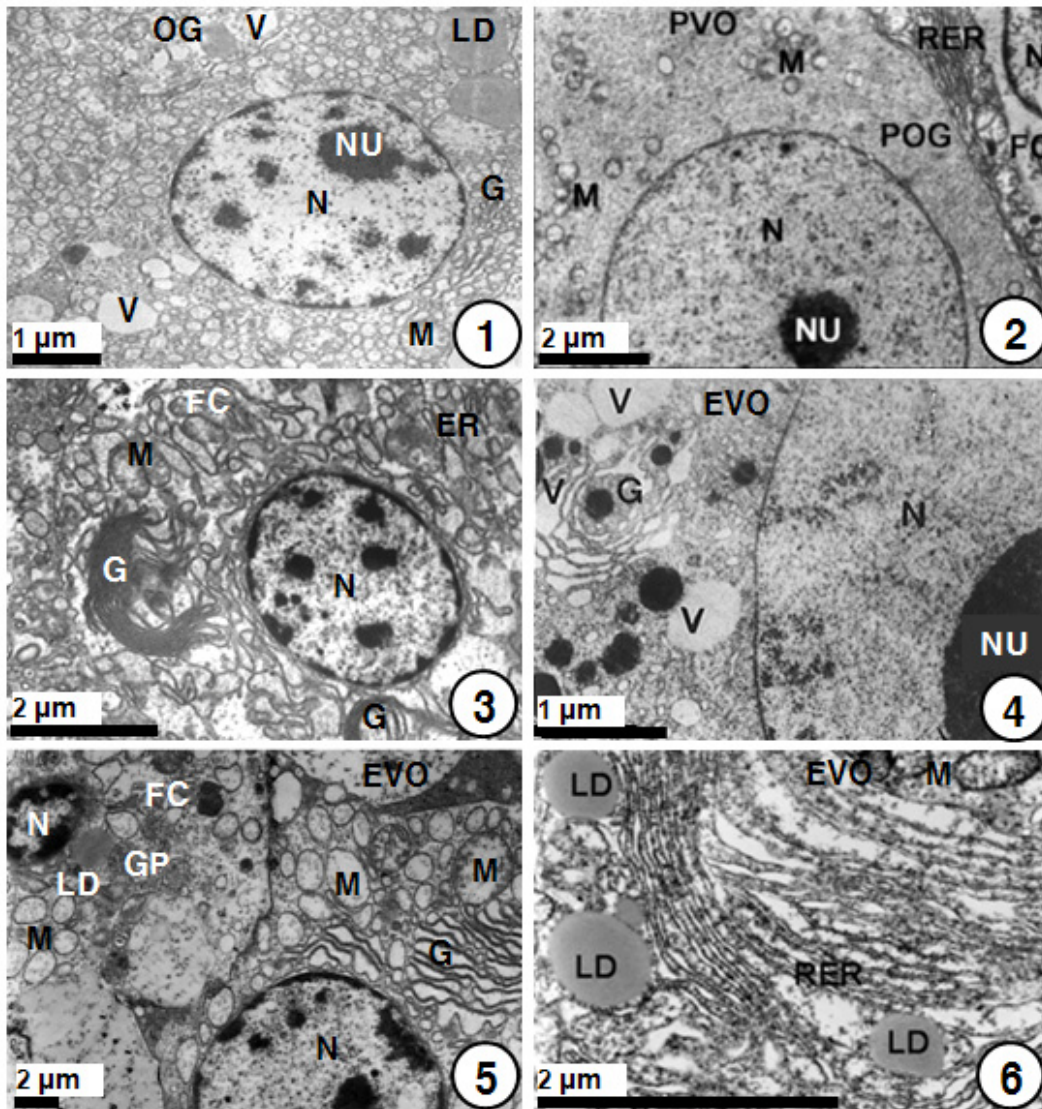
줄기세포들 (stem cells) 이 난원세포들을 생성한다. 난원세포 단계의 난원세포들은 직경 9-11  $\mu\text{m}$  으로 난소소낭 벽 (follicular wall) 위에 1개 또는 여러개가 무리를 지어 나타나고 있다. 각각의 난원세포는 핵 속에 1개의 인을 가지며, 세포질 내에는 다수의 미토콘드리아와 골지체, 여러개의 지방적들과 공포들이 다수 출현하고 있다. 난원세포는 유사분열에 의해 생성되는데, 세포질 내의 세포소기관자들 (cell organelles) 의 세포 발달 상태는 매우 미약하다 (Fig. 1).

#### 2) 전난황형성난모세포 (Previtellogenic oocytes)

난원세포는 제1감수분열 전기를 거쳐 전난황형성난모세포들로 발달한다. 전난황형성단계 난모세포들은 작고 모양이 둥글며, 핵 내에는 비교적 큰 인을 가진다. 이 단계의 난모세포들과 핵의 직경들은 각각 16-30  $\mu\text{m}$  와 4-5  $\mu\text{m}$  이었고, 난황형성활성은 아직 미약하게 나타났다. 이때 전난황형성난모세포에 부착되어 있는 보조세포들 (follicle cells) 의 직경은 4-5  $\mu\text{m}$  정도이었다. 이 시기의 보조세포들의 형태적 특징은 전자밀도가 높은 크로마틴 (chromatin) 물질이 핵의 경계부에 나타났으며, 잘 발달된 조면소포체 (endoplasmic reticula) 와 미토콘드리아들이 보조세포들의 세포질에 나타나고 있다 (Fig. 2). 전난황형성난모세포에 부착된 보조세포들은 점차적으로 그 수가 확대되어 분포되고 있다. 특히, 핵 내에서는 경계부에 전자밀도가 높은 크로마틴을 가지며, 세포질 내에는 조면소포체, 골지체와 여러개의 미토콘드리아가 나타나고 있다 (Fig. 3).

#### 3)난황형성난모세포 (Vitellogenic oocytes)

전난황형성난모세포가 좀 더 성장 발달하면 난황형성난모세포들이 된다. 난황형성난모세포는 세포의 미세구조적 발달에 따라 (1) 초기난황형성난모세포 (early vitellogenic oocyte) 와 후기난황형성난모세포 (late vitellogenic oocyte) 의 2가지 난모세포로 구분되었다.



**Figs.1-6.** Electron micrographs showing oocyte development and vitellogenesis in the oocytes during oogenesis in female *Phacosoma japonicus*. **Fig. 1.** An oogonium, showing the nucleus and the cytoplasm; **Fig. 2.** A previtellogenic oocyte and the attached follicle cell, showing some ultrastructures of their cells; **Fig. 3.** An attached follicle cell to the previtellogenic oocyte; **Fig. 4.** An early vitellogenic oocyte containing a large nucleus and the cytoplasm; **Fig. 5.** The ultrastructure a few follicle cells attached to an early vitellogenic oocyte; **Fig. 6.** the ultrastructure of an early vitellogenic oocytes showing the beginning of lipid droplets formation in the cytoplasm. Abbreviations: ER, endoplasmic reticulum; EVO, early vitellogenic oocyte; FC, follicle cell; G, Golgi complex; GP, glycogen particle; LD, lipid droplet; M, mitochondrion; N, nucleus; NU, nucleolus; OG, oogonium; PVO, previtellogenic oocyte; RER, rough endoplasmic reticulum; V, vesicle.

(1) 초기난황형성난모세포 (Early vitellogenic oocyte)

초기난황형성단계 난모세포들은 성장과 분화를 계속하였다. 초기난황형성난모세포 (직경 30-40 μm) 는 타원형으로 한 개의 큰 인이 핵 내에서 나타나고 있다. 특히, 크로마틴물질들이 점차 핵 전체에 분산되었다. 난황형성이 시작되면서 초기난황

형성 난모세포질 내에서 다수의 공포들 (vacuoles) 과 지방적들 (lipid droplets) 그리고 미토콘드리아들이 핵 주변에 출현하고 있으며, 골지체를 가까이에서 나타나는 특징을 보였다 (Fig. 4). 이 시기에 초기난황형성난모세포들은 부분적으로 보조세포들과 밀접하게 접촉하고 둘러싸여있다. 보조세포들의 처

음 출현은 난황막 (vitelline envelope) 물질이 비어있는 난병 (egg stalk) 구역에 한정되어 나타났다. 이때에 각 보조세포 (follicle cell) 는 전자밀도가 높은 크로마틴 물질을 가지며 핵 내 경계부에도 크로마틴을 가지며, 세포질 내에 미토콘드리아, 글리코겐입자 (glycogen particles) 와 지방적들을 가진다 (Fig. 5). 이와 동시에 미토콘드리아에 의해 둘러싸이는 지방적들과 다량의 잘 발달된 조면소포체가 피질층에 나타나고 있다 (Fig. 6). 난황막의 형성은 난황형성초기에 시작되었으며, 초기난황형성난모세포들이 난황막형성 전인 난황막 (oolemma) 위에 미세용모가 형성되기 시작하였다. 미세용모의 처음 윤곽은 타원형이거나 약간 긴 모양이다. 여러개의 피복소포 (coated vesicle) 들이 내포작용 (endocytosis) 에 의해 나타나기 시작하였고 또한 난모세포의 난황막 기저부위에서도 나타났다. 피복소포들에 의해 외인성 영양물질의 흡수가 난황형성 중 난황막에 출현하는 피복피트 (coated pits) 의 형성을 통해 일어났다. 이들 외인성 물질들 (글리코겐입자들) 은 난황막의 외부로부터 세포질 속으로 통과해 들어왔다. 이들 외인성 난황물질들은 세포질 내 세포소기관자들에 의해 발견되었다 (Figs. 7, 8).

(2) 후기난황형성난모세포 (Late vitellogenic oocytes)

후기난황형성난모세포단계에 출현하는 난모세포들은 직경이 40-50  $\mu\text{m}$  정도이다. 특히, 피질과립들 (cortical granules) 이 후기난황형성난모세포의 난황막 근처인 피질층에서 출현하였다. 이때 난황형성이 타가합성과정 (process of heterosynthetic vitellogenesis) 을 거쳐 생성된 외생적 난황전구체가 단백질성 난황과립들로 전환되게 된다. 수많은 단백질성 난황과립들과 지방적, 그리고 미토콘드리아가 후기난황형성난모세포의 세포질 내에서 출현하였다 (Fig. 9). 그 후 여러 가지 다른 성분을 함유하는 단백질성 난황과립들은 세포질 내에서 좀 더 큰 미성숙 난황과립들이 되었다 (Fig. 10). 보조세포들-난황형성 난모세포가 부착되는 부분에서 지방적들이 난모세포의 세포질 내에서 미엘린모양 소체 (myelin figure) 에 의해 둘러싸였다. 특히, 이때 수많은 공포들과 미엘린모양-소체들이 막파열을 나타내어, 보조세포 (follicle cell) 내에서 출현하였다 (Fig. 11). 보조세포들은 난모세포들이 성숙되면 난모세포와 점차 친화력이 소실되어 붙어있던 성숙 중에 있는 모세포로부터 차후 퇴출되게 된다.

4) 성숙난모세포 (Mature oocytes)

성숙단계에 성숙난모세포에 부착되었던 보조세포들은 난모세포의 표면과 친화력을 소실하게 되나, 붙어있던 난모세포의 표면부위에는 미세용모가 난황막을 따라 출현하게 된다. 그 대신 보조세포들은 성숙난모로부터 점차 퇴출되게 된다. 난황막을 따라 수많은 공포들, 미엘린-모양소체 (myelin-figures) 가 성숙

난모세포들 (직경 약 55-65  $\mu\text{m}$ ) 에 부착되어 보조세포들의 세포질 내에서 나타났다.

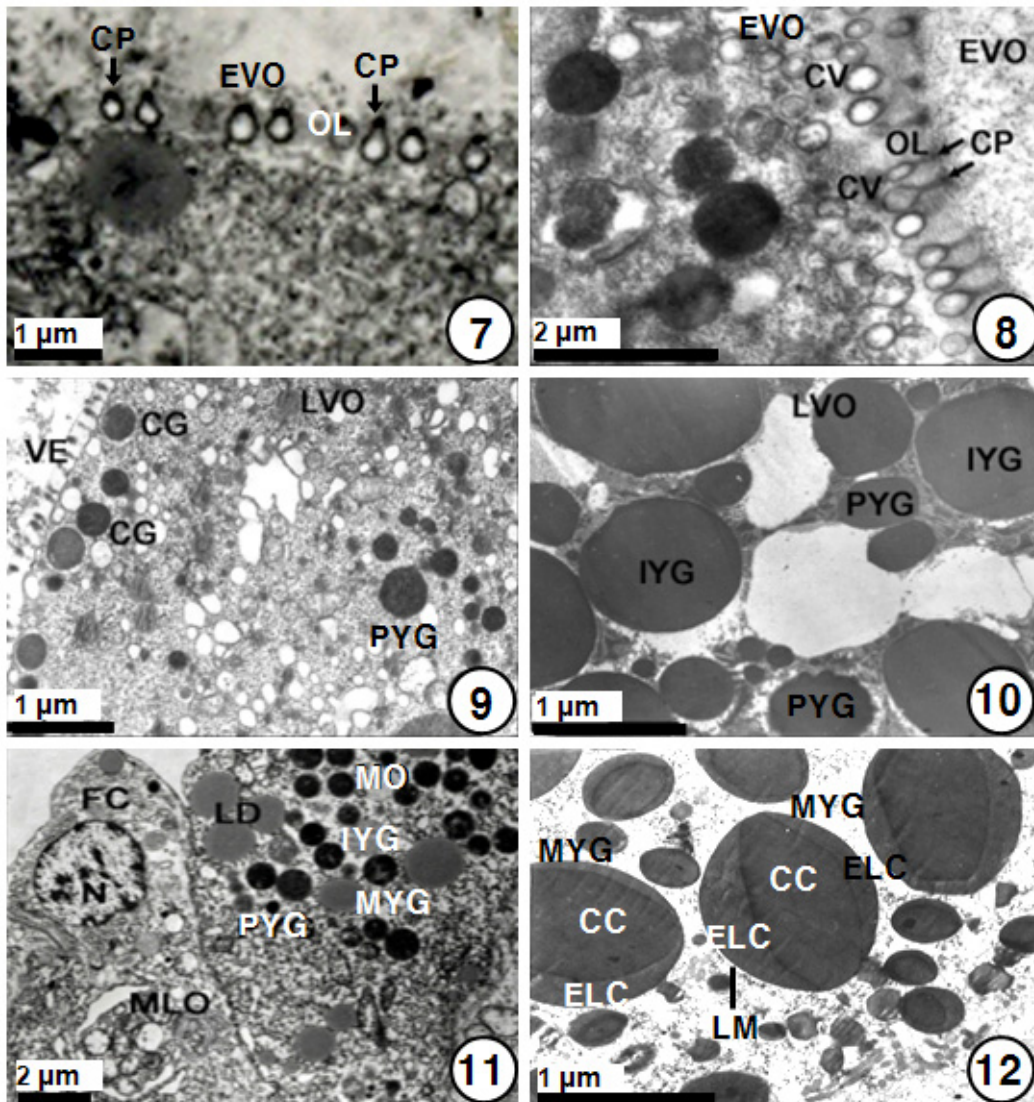
성숙난모세포들의 세포질 내에서는 작은 난황과립들이 계속하여 다른 난황과립들과 혼합되어 좀 더 큰 성숙난황과립구가 된다. 성숙난모세포들 내의 성숙난황과립구들은 3가지 성분 즉, (1) 결정주심체 (crystalline core), (2) 전자 투명체 (electron-lucent cortex), 그리고 (3) 한계막 (limiting membrane) 의 3가지 성분으로 구성되어 있다. 성숙난모세포의 난황막은 두께가 약 0.45  $\mu\text{m}$  이고, 젤리층 (jelly coat) 에 의해 둘러싸여 있다 (Fig. 12).

고 찰

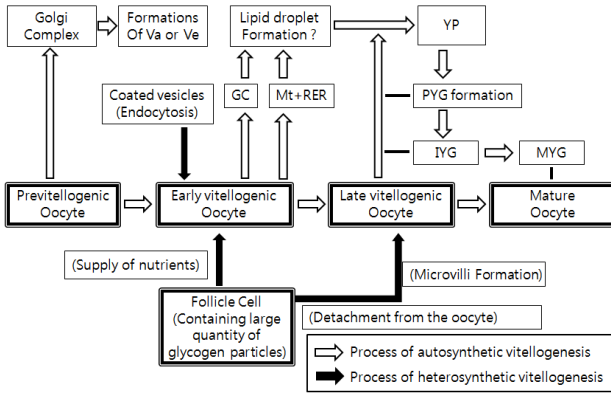
떡조개, *P. japonicus*의 난형성과정 중 난모세포의 난황형성과정은 Fig. 13과 같이 요약할 수 있었다. 초기난황형성난모세포들의 난황막에 출현하는 미세용모들을 통해 내포작용 (endocytosis) 에 의해 난황형성의 활성화 특징이 나타났다. 떡조개의 초기난황형성난모세포 내에서 나타나는 난황형성과정은 다른 이매패류 종들에서 나타나는 현상과 유사하였다 (Pipe, 1987; Chung, 2008; Chung *et al.*, 2005). 비록 여러 연구자들이 이매패류를 대상으로 지방적 형성과정 (the process of the formation of lipid droplets during vitellogenesis) 에 대해서 전자현미경적 관찰에 의해 미세구조적으로 많은 연구가 있었으나 지방적 형성과정을 설명할 뚜렷한 형태학적 증거는 확인하지 못하였다 (Pipe, 1987; Dorange and Lepenec, 1989; Gaulejac *et al.*, 1995; Eckelvarger and Davis, 1996; Eckelvarger and Young, 1999; Chung, 2007). 그러나 떡조개의 경우, 지방적은 초기난황형성 난모세포들에서 나타나는 골지복합체, 발달된 조면소포체, 미토콘드리아들 사이에서 나타나고 있어 다른 이매패 종들과 같이 난황형성의 자율합성과정과 타가합성과정 현상이 나타나고 있다. 그러므로 이들 세포소기관자들이 지방적 형성에 관여하는 것으로 보고되어 있다 (chung, 2008; Chung, *et al.*, 2005, 2007). Fig. 13에 나타난 바와 같이, 떡조개 (*P. japonicus*) 의 경우는 초기난황형성난모세포 단계에 소수의 보조세포들 (follicle cells) 로부터 외인성 난황전구체 물질을 받아들여 난황형성의 타가합성과정을 통해 난황형성이 일어난다고 있음을 관찰할 수 있었다 (Chung *et al.*, 2005; Chung, 2007). 그러므로 떡조개는 난황형성이 일어날 때는 자율합성과정과 타가합성과정에 의해서 일어남을 알 수 있다.

난모세포-보조세포들 (oocyte-follicle cells) 의 기능은 다음과 같다. 일반적으로 보조세포들은 난소소낭 (oogenic follicle) 내에서 난황형성 초기에 전난황형성난모세포들의 주변에서 나타나고 그 후 점차 난모세포의 주변으로 확산된다.





**Figs. 7-12.** Electron micrographs showing oocyte development and vitellogenesis in the oocytes during oogenesis in female *Phacosoma japonicus*. **Fig. 7.** An early vitellogenic oocyte containing the coated vesicles through the coated endocytotic pits formed by endocytosis at the cortical region near the oolemma; **Fig. 8.** An early vitellogenic oocyte showing the well-developed coated vesicles near the coated endocytotic pits on the oolemma of the oocyte; **Fig. 9.** A late vitellogenic oocyte showing several cortical granules, a number of lipid droplets, several proteinaceous yolk granules and a number of microvilli on the vitellogenic envelope of the oocyte; **Fig. 10.** A late vitellogenic oocyte containing a number of proteinaceous yolk granules and several immature yolk granules in the cytoplasm; **Fig. 11.** An attached well-developed follicle cell and a mature oocyte containing several immature and mature yolk granules in a mature oocyte and a well-developed follicle cell containing a large round nucleus remarkable myelin-like organelle and several lipid droplets in the follicle cells; **Fig. 12.** A mature oocyte, containing a number of mature yolk granules being composed of three parts: (1) crystalline core (2) electron lucent cortex and (3) a limiting membrane in the cytoplasm. Abbreviations: CC, crystalline core; CG, cortical granule; CP, coated pit; CV, coated vesicle; ELC, electron lucent cortex; EVO, early vitellogenic oocyte; FC, follicle cell; IYG, immature yolk globule; LD, lipid droplet; LM, limiting membrane; LVO, late vitellogenic oocyte; MLO, myelin-like organelle; MYG, mature yolk granule; N, nucleus; OL, oolemma; PYG, proteinaceous yolk granule; VE, vitelline envelope.



**Fig. 13.** Schematic diagrams of the process of vitellogenesis during oogenesis in female *Phacosoma japonicus*. Abbreviations: GC, golgi complex; IYG, immature yolk granule; M, mitochondrium; MYG, mature yolk granule; PYG, proteinaceous yolk granule; Va, vacuole; Ve, vesicle; YP, yolk precursor.

이 시기에 소수의 공포들이 인접구역에 있는 보조세포들의 세포질 내에서 출현한다. 진주담치 (*Mytilus edulis*) 와 버지니아 굴 (*Crassostrea virginia*) 의 경우, 세포질의 용량이 증가 되면 부착된 보조세포들 역시 세포질 변형이 일어나게 되는 것을 볼 수 있었다고 한다 (Eckelbarger and Davis, 1996; Pipe, 1987). 난모세포들이 초기발달시기에는 보조세포들이 영양세포로 기능을 하는 것으로 추정되었으나 (Chung *et al.*, 2005; Chung, 2007), 성숙난황난모세포가 되면 보조세포와 성숙난모세포와 친화력이 떨어져 난황형성난모세포들에서 보조세포들이 떨어져나아가야 난황막의 자리에 다량의 미세용모가 출현하게 되는 것을 관찰할 수 있었고, 비로써 충분히 성숙한 이매패류의 난모세포들이 될 수 있는 것으로 판단되었다.

**요 약**

암컷 딱조개, *Phacosoma japonicus*의 난모세포 발달과 보조세포들과 관련된 난황형성과정의 미세구조적 연구를 위해 전자현미경적 관찰에 의해서 조사를 하였다. 난모세포들 내에서의 난황형성과정은 내인성 자율합성과정과 외인성 타가합성에 의해 일어나고 있다. 내인성 자율합성과정을 통해 일어나는 난황형성은 난모세포질 내의 골지복합체, 조면소포체 그리고 미토콘드리아가 결합된 작용에 의해서 일어난다. 그러나 외인성 타가합성과정은 초기난황형성난모세포들의 기저부로 들어오는 난소외부의 난황전구체물질들의 내포작용 (endocytosis) 의 결합이 관여하고 있다.

본 연구에서 전난황형성난모세포들과 난황형성난모세포들에 부착된 보조세포들이 용이하게 관찰되었다. 특히, 보조세포들은 영양공급에 의해 전난황형성 난모세포들의 발달에 관여하

며, 난황전구체의 엔도시토시스에 의해 초기 및 후기 난황형성 난모세포들 내에서 난황형성에 관여한다. 성숙난모세포에 부착된 보조세포들의 기능은 보조세포들의 세포질 내에서 난황형성을 위해 지질과립들과 글리코겐입자들을 축적한다.

**사 사**

본 연구는 국립수산과학원의 수산과학연구사업 연구비를 받아 수행된 연구되었음 (RP-2016-AQ-001).

**REFERENCES**

Chung, E.Y., Kim, B.G. and Seo, Y.H. (1997). Maturation and spawning of Japanese dosinia, *Dosinorbis (Phacosoma) japonicus* in coastal waters of western Korea. *The Korean Journal of Malacology*, **13**(1): 43-54.

Chung, E.Y., Park, Y.J., Lee, J.Y. and Ryu, D.K. (2005). Germ cell differentiation and sexual maturation of the hanging cultured female scallop *Patinopecten yessoensis* on the east coast of Korea. *J. Shellfish Res.*, **24**(4): 913-921.

Chung, E.Y. (2007). Oogenesis and sexual maturation in *Meretrix lusoria* (Röding, 1798) (Bivalvia: Veneridae) in western Korea. *J. Shellfish Res.*, **26**(1): 71-80.

Chung, E.Y., Koh, C.H. and Park, G.M. (2007). Oogenesis, oocyte degeneration and sexual maturation in female *Cyclina sinensis* (Gmelin, 1971) (Bivalvia: Veneridae) in Korea. *Integrat. Biosci.*, **11**(2): 191-198.

Chung, E.Y. (2008). Ultrastructural studies of oogenesis and sexual maturation in female *Chlamys (Azumapecten) farreri farreri* (Jones & Preston, 1904) (Pteriomorphia: Pectinidae) on the western coast of Korea. *Malacologia*, **50**(1): 279-292.

Chung, E.Y., Ko, C.H., Kang, H.W., Choi, K.H. and Jun, J.C. (2008). Ultrastructure of oocytes during oogenesis and oocyte degeneration associated with follicle cells in female *Sinonovacula constricta* (Bivalvia: Pharidae) in western Korea. *Animal Cells and Syst.*, **12**(4): 313-319.

Dorang, G. and Le Penec, M. (1989). Ultrastructural study of oogenesis and oocyte degeneration in *Pecten maximus* from the Bay of St. Brieuc. *Mar. Biol.*, **103**: 339-348

Eckelvarger, K.J. and Davis, C.V. (1996) Ultrastructure of the gonad and gametogenesis in the eastern oyster, *Crassostrea virginica*. 1. Ovary and oogenesis. *Mar. Biol.*, **127**(1): 79-87.

Eckelvarger, K.J. and Young, C.M. (1999). Ultrastructure of gametogenesis in a chemosynthetic mytilid bivalve (*Bathymodiolus childressi*) from a bathyal, methane seep environment (northern Gulf of Mexico). *Mar. Biol.*, **135**(4): 635-646.

- Gaulejac, D.B., Henry, M. and Vicente, N. (1995). An ultrastructural study of Gametogenesis of the marine bivalve *Pinna nobilis* (Linnaeus, 1758), 1. Oogenesis. *J. Moluscan Stu.*, **61**(3): 375-392.
- Kim, J.H., Chung, E.Y., Choi, M.S., Lee, K.Y., Lee, I.H. and Seo, W.J. (2011). Germ cell differentiation during spermatogenesis, and ultrastructural characteristics of mature sperm in male *Phacosoma japonicus* (Bivalvia: Veneridae). *Kor. J. Malacol.*, **27**(1): 55-65.
- Kwon, O.K., Park, G.M. and Lee, J.S. (1993). Coloured shells of Korea. Academy Publishing Co., 288 pp. (in Korean).
- Min, D.K., and Lee, J.S., Ko, D.B. and Je, J.G. (2004) Mollusks in Korea. Hanguel Graphics. 566pp.
- Pipe, R.K. (1987). Oogenesis in the marine mussel *Mytilus edulis*: an ultrastructural study. *Mar. Biol.*, **95**(3): 405-414.
- Yoo, J.S. (1976). Korean shells in Colour. Ilgisa, Seoul, pp 132-133.(in Korean).
- Worums, J.P. (1987). Oogenesis, In: Giese, A.C. Pearse, J.S. Pearse, V.B. (eds). Reproduction of marine invertebrates. Vol. IX. General aspects: seeking unity in diversity. Blackwell Scientific Publications, Palo Alto, California, pp.50-157.