

## 왕우럭(*Tresus keenae*) (Mactridae: Bivalvia)의 배우자형성과정의 미세구조

김진희 · 김대희<sup>1</sup> · 유명숙<sup>2</sup> · 양문호<sup>3</sup>

부경대학교 수산과학연구소, <sup>1</sup>국립수산과학원 내수면생태연구소, <sup>2</sup>부경대학교 자원생물학과, <sup>3</sup>국립수산과학원 제주수산연구소

### Ultrastructure of Gametogenesis of the Surf Clam (*Tresus keenae*) (Mactridae: Bivalvia)

Jin-Hee KIM, Dae Hee KIM<sup>1</sup>, Myong-Suk YOO<sup>2</sup> and Moon-Ho YANG<sup>3</sup>

*Institute of Fisheries Science, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea*

*<sup>1</sup>Inland Fisheries Ecological Research Institute, National Fisheries Research & Development Institute Gyeonggi-do 477-810, Korea*

*<sup>2</sup>Department of Marine Biology, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea*

*<sup>3</sup>Jeju Fisheries Research Institute, National Fisheries Research & Development Institute, Jeju 699-810, Korea*

The gametogenesis of the surf clam, *Tresus keenae*, were investigated by SEM and TEM. Both the testis and the ovary had follicle tubes surrounded by inter-tubal tissue composed of adipogranular cells that provided storage function. In the vitellogenic oocyte, lipid droplets and lipid yolk granules were found in the vacuoles formed by the Golgi apparatus. Proteid yolk granules were formed by the endoplasmic reticulum and cortical granules in the cytoplasm during vitellogenesis. The mature sperm was primitive and resembled a jar with a cover. The sperm heads were approximately 2.00-2.30  $\mu\text{m}$ . The acrosomal rod projected in front of the acrosome. In addition, four large mitochondria were in the midpiece.

Key wards: *Tresus keenae*, Gametogenesis, Sperm morphology, Surf clam

### 서 론

왕우럭(*Tresus keenae*)은 우리나라 남해안과 일본 등에 분포하며 수심 20 m 정도의 진흙에 깊게 잠입하여 서식한다. 조개류의 배우자형성과정에서 보면 난모세포는 시간이 경과하면서 세포질 내 세포소기관이나 세포함유물(cytoplasmic inclusions)의 변화가 뚜렷하고 수정기작에 따라 난세포물질의 함유물의 차이가 있을 수 있으며, 정자형성과정은 과(family)수준에서 차이가 있다(Kim et al., 2003).

조개류의 정자는 일반적으로 표준형정자(primitive type)이며, 형태적 특이성을 가져 분류목적으로 사용가능하다(Franzen, 1977; Phoam, 1979; Kim and Yoo, 2002; Kim et al., 2003). 표준형정자는 두부, 중편, 그리고 미부로 나누며, 두부는 다양한 모양을 가지고, 중편에는 4-5개의 미토콘드리아, 그리고 꼬리길이는 50  $\mu\text{m}$  정도이다. 조개류 정자는 첩체와 핵의 모양 그리고 중편에 위치한 미토콘드리아의 수 등에서 종 특이성 및 과 특이성을 가진다(Franzen, 1983; Kim and Yoo 2002; Kim et al., 2003).

조개류의 생식세포에 관한 미세구조적 연구는 국·내외적으로 형태에서 뚜렷한 차이를 보이는 웅성세포의 형태나 형성과정에 대한 연구는 다양하게 수행되어 *Mytilus edulis* (Longo

and Dornfield, 1967), *Spisula solidissima* (Longo and Anderson, 1969), *Corbicula sandai* (Hachiri and Higashi, 1970), *Crassostrea virginica* (Galtsoff, 1964; Galtsoff and Philpott, 1960; Daniels et al., 1971), 그리고 *Bathymodiolus childressi* (Eckelbarger and Young, 1999)에 관한 보고와 Lee et al. (1999)의 민들조개, *Gomphina melanaeigis*와 Kim and Yoo (2000)의 참재첩, *Corbicula leana*의 연구, Kim and Yoo (2002)의 개량조개과 4종의 정자형태 비교, 그리고 Kim et al. (2003)의 참굴, *Crassostrea gigas*의 정자의외부 형태 등의 연구가 있다.

모든 생물의 생식전략은 종특이성을 가지므로 생식세포 형성과정이나 형태는 일정한 차이를 가진다고 가정하여 왕우럭의 배우자형성과정을 미세구조를 조사하여 세포함유물의 축적과정, 세포소기관의 변화, 그리고 정자의 미세구조 및 외부형태를 조사하였다.

### 재료 및 방법

왕우럭의 배우자형성과정과 정자의외부형태를 조사하기 위해 투과전자현미경(TEM)과 주사전자현미경(SEM)을 사용하였다. TEM 관찰을 위하여 왕우럭의 정소와 난소 부위를 약 1 mm<sup>3</sup>로 세절한 후, 2.5% glutaraldehyde (0.1 M phosphate buffer, pH 7.3) 용액에 2-4시간(4°C) 동안 전고정(pre-fixation) 후, 0.1 M phosphate buffer (pH 7.3)로 매회 10분씩 3번씩 씻었

\*Corresponding author: jiny90000@hotmail.com

다. 이후 시료는 1% OsO<sub>3</sub> (0.1 M phosphate buffer, pH 7.3)에 2시간 동안(4°C) 후고정(post-fixation)을 하였으며, 단계적으로 ethyl alcohol (50% → 70% → 80% → 90% → 95% → 100%)로 탈수 과정 거친 후, propylene oxide로 30분간 2회에 걸쳐 치환 후 propylene oxide와 epon 혼합물과 그리고 epon A+B 혼합물에 1-3시간 침투시킨 후, epon 812에 포매하였다. 이후 열중합(polymerization, em oven 37°C, 12시간; 45°C, 12시간; 60°C, 48시간)을 실시하였다.

LKB-V ultramicrotome을 이용하여 0.5-1 μm 두께의 박절편을 만들고, 정확한 조직관찰을 하기 위하여 박절편을 toluidine blue로 염색하여 광학현미경에서 부위를 확인한 후, 전자현미경 관찰용 초박절편(60-90 nm)을 200 mesh copper grid에 부착하였다. grid에 부착한 초박절편은 uranyl acetate와 lead citrate로 이중 염색한 후 JEOL JEM 1200 EX-II TEM (80 KV)으로 관찰하였다.

SEM 관찰을 위해 방정 또는 절개로 얻는 완속정자를 PC membrane에 도달한 후 전술한 일련의 과정을 거쳐 탈수, Isoamyl acetate에 수용하고 금박 처리 후 SEM으로 관찰하였다.

## 결 과

왕우력(*Tresus keenae*)은 암수딴몸이며, 암수생식소는 상동기관으로 내장낭과 외피사이의 결체조직 내 가늘고 긴 형태로 단순한 원통구조이며, 초기발달기에는 과립성영양세포(adipogranular cell)와 혼재하며 생식소관은 과립성영양세포와의 상호 관계에 따라 발달, 성장한다. 과립성영양세포는 암수 모두 초기에 나타나며, 불규칙한 모양으로 한 개의 핵을 가지며, 가장자리는 전자밀도가 높고 가운데는 전자밀도가 낮은 세포질에는 많은 글리코겐 과립과 지질성구체(0.8-1.3 μm)가 풍부하다(Fig. 1A, B). 그리고 지질성구체는 세포질상에 골지체와 유사한 형태를 한 세포소기관에서 형성된다(Fig. 1B, ↓).

### 난자형성과정(Oogenesis)

난소소관의 내벽에는 서로 다른 발달단계를 가진 난원세포, 난황형성전기 난모세포(previtellogenic oocyte) 그리고 난황형성단계 난모세포(vitellogenic oocyte)가 있다. 또한 완속상태의 난모세포는 난황막이 뚜렷이 구분된다(Fig. 1C). 난모세포의 발달과 관계가 있는 여포세포는 초기생식세포를 둘러싸고 있으며 왕우력의 여포세포는 생식세포에 대해 상대적으로 모양이 일정하지 않고 체적과 형태는 다양하다. 핵은 구형이나 타원형으로 세포함유물과 글리코겐 물질 등이 세포질에 풍부하다(Fig. 1C).

난원세포와 난황형성전기난모세포는 5-10 μm 전후의 구형 또는 타원형 세포이다. 이 시기에는 하나의 인과 핵 안에는 이형염색질이 관찰된다. 그리고 세포질은 아주 미약하고, 글리코겐이 산재해 있으며, 여러 형태의 미토콘드리아가 핵막 주위에 나타난다(Fig. 1D)

난모세포가 계속 성장하면서 난황형성이 시작되고, 난모세포는 타원형으로 난방이 난소소관의 상피에 붙어 성장한다. 이 시기의 여포세포는 난모세포와 연계되어 퇴화하고 초기난황형성기난모세포의 세포질에는 2가지 종류의 난황물질이 관찰된다. 세포질에는 분비와 생성에 관련이 있는 소포체와 골지체가 발달하고, 조면소포체에서 분비되는 단백질성 과립과 골지체에서 유래된 지방과립(oil droplet)이 출현한다(Fig. 1E, F, G).

후기난황형성기난모세포가 되면 난모세포는 점차적으로 변화가 축적되어 초기 난황형성단계난모세포와는 다른 몇 가지의 세포소기관이 합성되어 막의 구분이 모호한 지질성 과립인 유구, 전자밀도가 높고 막성인 단백질성과립, 난막주위에 형성되는 피질과립, 그리고 미세융모가 발달하여 외부와 영양물질을 교환한다. 난모세포의 발달은 시간적으로 세포함유물 변화가 생겨 0.5-0.7 μm 전후의 막의 경계가 불분명한 지방과립, 이후 유사한 크기의 단백질성 과립이 형성된다. 피질과립은 세포막 가장자리를 따라 생기며 원형으로 0.5-0.8 μm 정도이며, 전자밀도가 높고 막성 구조를 가진다. 후기난황형성단계에는 미세융모가 형성되고 난모세포는 외부와 영양물질을 교환한다(Fig. 1I(↓), J).

### 정자형성과정(Spermatogenesis)

정소 역시 가는 관의 형태인 다수의 정소세관으로 구성되면 과립성영양세포와 연결해 있다. 정소세관에는 다양한 발달단계의 웅성생식세포가 세관의 상피에서 내강으로 발달하고, 정원세포는 생식상피에 가장 가깝게 위치하며, 정모세포와 정세포는 정원세포와 내강 사이에 위치한다. 완속정자는 거의 소관 가운데 자리한다(Fig. 2A).

정원세포의 크기는 10 μm 전후이며, 세포의 대부분을 차지하는 큰 핵에는 하나의 인과 이형염색질이 산재해 있고, 세포질에는 많은 미토콘드리아가 관찰된다. 그리고 부정형의 보조세포도 존재한다(Fig. 2B, C).

제1차정모세포의 크기는 5 μm 정도이며 핵이 세포의 대부분을 차지하고 핵내에는 이형염색질과 synaptonemal complex가 출현하며, 세포질의 세력은 더욱 약해지고 세포질에는 이후 침체포를 형성하는 구형의 전자밀도가 높은 침체형성과립(pag)이 산재해 있고 미토콘드리아가 융합된다(Fig. 2D).

정세포는 정자변태과정이 진행되면서 보다 극적인 형태변화를 겪는다. 초기에는 약 3 μm 전후로 타원형이나 원형의 핵을 가지며, 세포질에서는 많은 침체형성과립이 관찰되고(Fig. 2E), 이후 핵은 거의 구형으로 되고 서로 융합되어 형성된 침체형성포(pav)는 정자의 앞쪽에, 미토콘드리아는 핵의 뒤에 위치한다. 침체는 침체포의 고밀도부가 침체 뒤쪽에 자리하며 basal ring이 발달하고 합입에 의해 침체간이 형성되어 앞쪽으로 돌출된다(Fig. 2F, K). 변태가 종료되기 전의 정세포(두부+중편)는 약 2.00-2.30 μm 전후이며, 전체적으로 뚜껑이 있는 항아리 모양이다(Fig. 2G). 침체는 후방부에 basal ring이 발달하고 SEM 그림으로 보면 마치 울타리를 쳐 놓은 것처럼 보인다

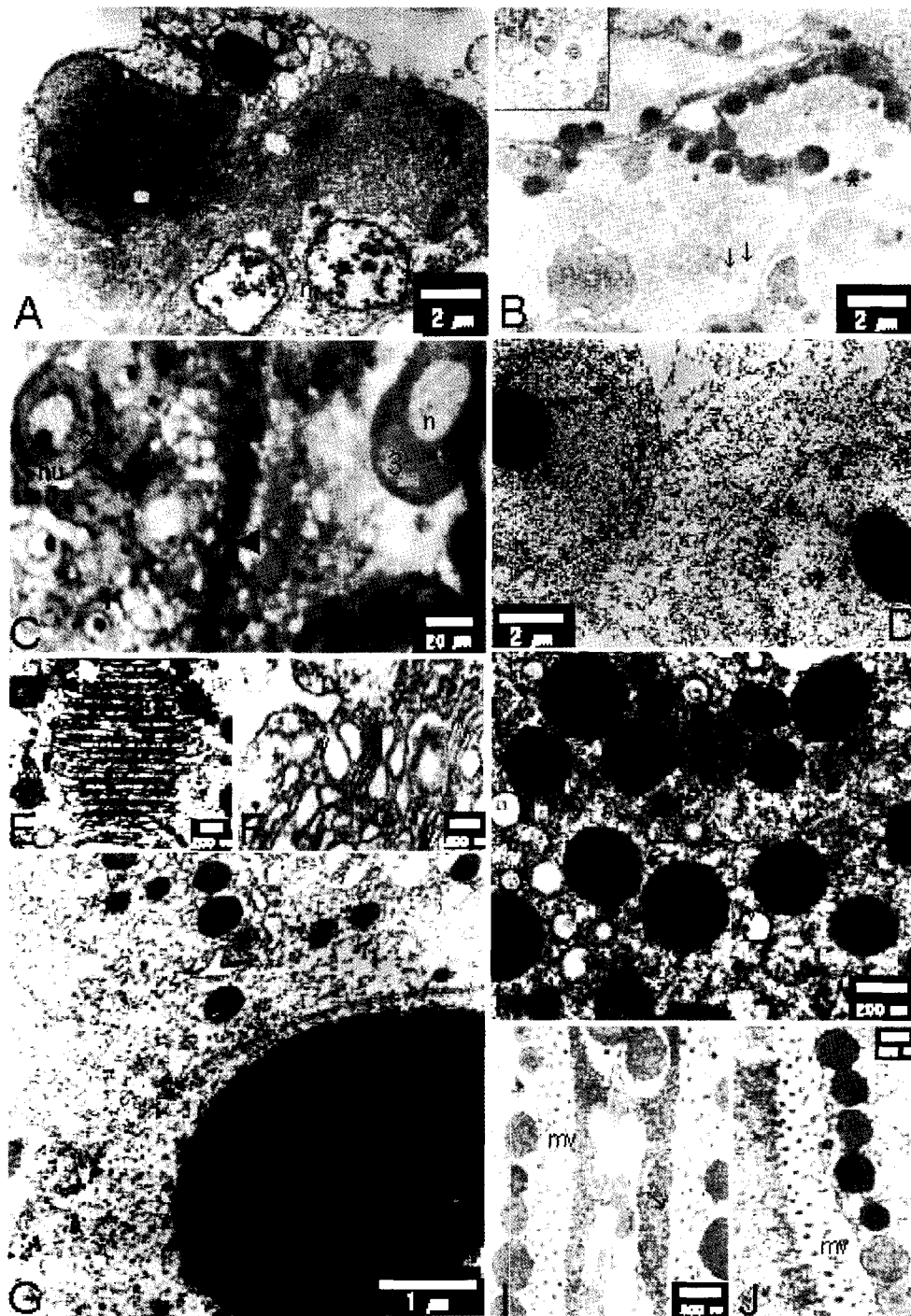


Fig. 1. *Tresa keane*. A and B, Adipogranular cells (adg). The cells had looks like lipid droplates (\*) and many glycogen in the cytoplasm. Lipid droplates forms like-Golgi apparatus in the cytoplasm (↘). To show higher magnification in the box.; C, Photomicroscopic of transverse section of the ovary showing oocytes in early stage (1), middle late stage (2) and mature oocyte (3) during vitellogenesis. nucleus (n), nucleolus (nu), germ layer (◄); D, E, F, and G Previtellogenic oocyte showing large nucleus and single nucleolus and speared mitochondria in the cytoplasm (D); Golgi apparatus and rough endoplasmic reticulum occurred in the cytoplasm (E, F) protein yolk granules and lipid yolk granules appeared in the cytoplasm (G). Golgi apparatus (g), lipid yolk granules (Ly), mitochondria (mt), nucleolus (nu), nucleus (n), nucleus envelope (ne), proteid yolk granule (py), rough endoplasmic reticulum (rer), vacuole (v); H, I, J, Mature oocyte showing yolk and microvilli and cortical granules. abundant glycogen showed the egg inside and outside. cortical granules (cg), microvilli (mv), vacuole (v).

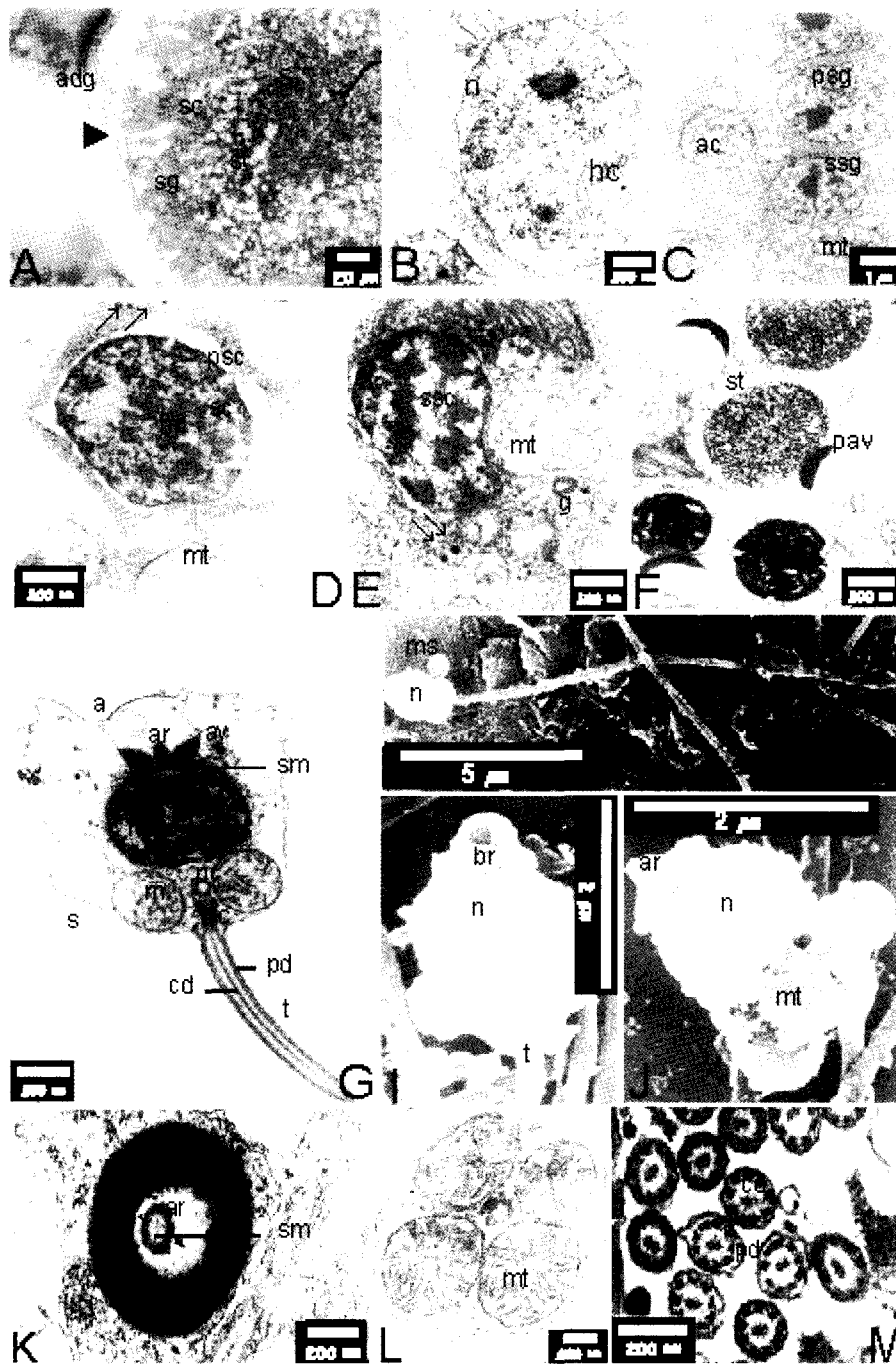


Fig. 2. *Tmesus keeane*. A, Photomicroscopic of testis acinus. Showing spermatogonia (sg), spermatocyte (sc), spermatid (st) and sperm (s). adipogranular cell (adg). germ layer (▶); B and C, Spermatogonia containing the nucleus with single nucleolus, auxiliary cell (ac), heterochromatin (hc), mitochondria (mt), nucleus (n), primary spermatogonia (psg), secondary spermatogonia (ssg); D, Primary spermatocyte with synaptonemal complex (sc) in the nucleus and mitochondria. Arrow indicates small proacrosomal granule; E, Secondary spermatocyte (ssc) with Golgi apparatus (g) and proacrosomal granule (↑); F, spermatid (st) showing proacrosomal vesicle (pav); G, Spermatid with cap-like acrosome was like a jar with a cover. acrosome (a), extensive subacrosomal material (sm), rounded nucleus (n), proximal centriole (pc) and distal centriole (dc). acrosomal rod (ar), acrosomal vesicle, central doublets (cd), peripheral doublets (pd), tail (t); H, I and J, Mature spermatozoon (sm) by SEM. The acrosomal rod extrude the front. The surface of nucleus is rough. acrosomal rod (ar), basal ring (br), mitochondria (m), nucleus (n), tail (t); K, Transverse section the acrosome showing acrosomal vesicle (av), acrosomal rod (ar) and subacrosomal materials (sm); L, Transverse section of midpiece showing four large mitochondria (m); M, Transverse section of tails showing 9+2 structure. central doublets (cd), peripheral doublets (pd).

다(Fig. 2H, I). 그리고 침체의 앞쪽은 침체포의 얇은 막으로 덮혀있어 약간 부풀려 오른 상태, 또는 밀착된 상태로 나타나고 중앙에는 침체간이 잘 발달해 앞쪽으로 돌출되어 있다(Fig. 2J). 핵의 표면은 염색체의 응축으로 거칠고 중편에는 비교적 큰 4개의 미토콘드리아가 있다(Fig. 2L). 근위중심립과 원위중심립은 직각으로 위치하고 원위중심립에서 기원한 하나의 편모를 가지며 편모축사는 9+2 구조가 뚜렷하다(Fig. 2M).

## 고 찰

조개류의 생식생물학적 연구는 주로 광학현미경을 통해 생식주기를 밝히는 연구가 많이 행해졌으며, 왕우럭, *Tresus keeane*에 대한 연구는 생식주기에 관한 연구(Kim et al., 1999)와 정자형태(Kim and Yoo, 2002)의 연구 등이 있다.

난자형성과정은 일반적으로 조개류에서 유사하다(Eckelbarger and Young, 1999). 생식소 발달초기에 난소소관은 작은 관의 형태이나 난원세포가 성장하면서 난소소관벽은 일시적으로 두터워진다. 이때 자성생식세포는 형태적으로 커지고, 세포내 함유물의 변화가 진행된다. 일반적으로 조개류의 생식세포의 발달은 여포세포와 밀접한 관계가 있다.

본 조사의 경우, 생식세포의 발달과 밀접한 관계가 있는 것으로 추정되는 글리코겐 과립이 풍부하고 지방과립 같은 구형의 세포함유물(cytoplasmic inclusion)을 가진 과립성영양세포가 있다. 이 세포는 초기생식세포와 뚜렷한 차이점을 논하기는 어렵지만 세포함유물의 차로 구별이 가능하다. 세포모양은 주로 부정형이며 일시적으로 지방과립과 유사한 많은 구형의 세포함유물을 가짐으로 생식세포와 관련이 있는 것으로 판단된다. 이 세포는 난소나 정소에서 모두 나타나고 생식소관이 발달하면 점차 사라진다. 이것의 생식소관 내에 위치하는 것이 아니라 생식소관의 바깥쪽에 위치하며 여포세포와 유사한 역할을 하는 것으로 추정된다. Eckelbarger and Young (1999)의 연구에서도 지방과립모양의 세포함유물을 가진 과립성영양세포가 있다. 이 함유물은 거의 유사하나 다른 세포 함유물은 다소 차이가 있다. 그러나 이것이 종특이성으로 판단할 근거는 미약하다.

난모세포가 성장하면 세포함유물의 증가와 변화를 수반하여 세포소기관의 발달정도가 달라진다. 본 종의 경우, 난황이 축적되는 시점에는 조면소포체와 활면소포체의 발달이 뚜렷하고 골지체도 발달한다.

난황형성과정을 통해 난모세포가 완숙난자가 되는 과정에서 가장 극적인 변화를 겪어, 첫째, 지질성 과립인 지방과립이 형성된다. 지방과립의 형성이 세포외부 유래인지 세포질에서 형성되는지 여부는 명확하지 않다. 초기 과립성영양세포에 지방과립과 유사한 형태의 세포함유물이 존재하여 이것이 내부로 유입되는가에 대해 조사하였으나 지방과립의 생성시기와 과립성영양세포 존재시기와 시간적 차이가 있어 명확한 결론을 내기는 어려워 차후 지속적 연구가 수행되어야 한다.

반면 단백질성 난황의 생성은 세포질 내 내막계에 의해 형성되며 세포질에 공포가 형성된 후 여기에 단백질성 물질이 축적되는 것으로 판단된다. 단백질성 난황과립은 난모세포가 성장하면서 세포질에 발달하는 분비성세포소기관인 골지체와 소포체와 연관되며, 지방과립의 기원은 뚜렷하지 않으나 과립성영양세포에서 기원하며 내부로 유입되는 것으로 추정된다.

난모세포가 성숙하면 난세포 주위로 피질과립이 형성된다. 본 종의 경우 지방과립과 유사한 피질과립이 형성되나 막성구조를 가져 유구와 차이가 있고, 또한 지방과립에 비해 상대적으로 전자밀도가 높아 구별이 용이하다. Eckelbarger and Young (1999)은 유구의 형태가 차이가 있다는 보고도 있으나 본 연구에서는 발견하지 못하였으며, 이것이 종특이성인지 등에 관해서는 향후 계속적 연구가 수반되어야 할 것이다.

완숙기의 난모세포는 미세융모가 잘 발달하여 외부환경으로부터 물질교환이 이루어지며 본 조사에서도 잘 관찰되고 이는 글리코겐성 물질로 판단된다. 난자형성과정을 미세구조적으로 연구하는데 있어 문제점은 우리가 취할 수 있는 조직보다 시료가 상대적으로 너무 커 전체를 조사하는데 어려움이 있어 연구자들 사이에 다소 차이를 나타날 수 있으며, 향후 개선된 방법이 필요하다.

정자형성과정은 난자형성과정에 비해 많은 연구가 되어 있고, 모두 유사한 결과를 가진다(Longo and Dornfeld, 1967; Sakker, 1984; Bernard and Hodgson, 1985; Kim and Yoo, 2000; Kim et al., 2003). 정원·정모세포 등 초기 응성생식세포는 크기에서 종에 따라 다소 차이가 있으나 이것이 종의 특징으로 구분하기는 많은 무리가 있으며, 정세포의 경우도 그 크기로서 차이를 논하기는 어렵다(Kim, 2001). 그러나 지속적 연구를 통해 자료가 축적되면 새로운 결과를 얻을 가능성도 있으리라 판단되며, 대체적으로 본 종과 같이 정자가 작으면 초기 생식세포도 작은 경향을 보인다.

정자형성과정 동안 핵의 모양은 염색질의 응축형태에 따라 결정되며(Kim and Yoo, 2000, 2002; Kim et al., 2003; Yasuzumi, 1974) 본 종의 경우도 염색사가 상하보다는 좌우로 두터워지는 양상을 보임으로서 정자핵이 단지 모양으로 발달하여 앞선 결과와 잘 부합된다.

정자변태과정을 통해 정자가 형성되는 과정에서 첫 변화는 침체의 형성이다. 침체는 종에 따라 다르게 형성되어, 정모세포나 정세포의 세포질에 원형의 침체형성과립이 출현하여 서로 융합되어 침체를 형성하거나(Eckelbarger and Young, 1999), 골지체에 의해 직접적으로 침체형성포(PAG)를 형성한다(Kim et al., 2003). 본 종의 경우 정모세포의 세포질에 전자밀도가 높은 작은 구형의 침체형성과립이 형성, 융합되어 침체포가 형성된다.

침체물질은 침체포와 핵 사이에 섬유성 물질 또는 포상의 과립물질로 구성되어 있다. 이 물질의 축적과정은 pulmonate snail, *Euhadra hickonis* (Takaichi and Dan, 1977)에서 보고되었다. 본 종의 경우 침체물질이 생기는 과정은 침체포와 핵 사이

의 공간에 전자밀도 차가 현저한 작은 과립상의 물질이 형성되어 합입에 의해 첨체간을 형성하여 이 기작은 다른 종과 유사하나 참굴(Kim et al., 2003)에서 보고된 섬유상의 소기관은 발견되지 않았다.

왕우력은 조개류 정자가 가지는 전형적인 표준형정자로서 단지형의 두부와 4개의 대형 미토콘드리아와 하나의 편모를 가진다. 그리고 핵의 표면은 거칠고 basal ring과 전방으로 돌출된 첨체간을 가졌으며, 중편의 미토콘드리아는 상대적으로 커 개량조개과의 과특이성과 잘 부합된다.

### 참 고 문 헌

- Bernard, R.T.F. and A.N. Hodgson. 1985. The fine structure of the sperm and spermatid differentiation in the brown mussel, *Perna perna*. S. Afr. J. Zool., 20, 5-9.
- Daniels, E.W., A.C. Longwell, J.M. McNiff and R.W. Wolfgang. 1971. Ultrastructure of spermatozoa from the American oyster *Crassostrea virginica*. Trans. Am. Microsc. Soc., 90, 275-282.
- Eckelbarger, K.J. and C.M. Young. 1999. Ultrastructure of gametogenesis in a chemosynthetic mytilid bivalve (*Bathymodiolus childressi*) from a bathyal, methane seep environment (northern Gulf of Mexico). Mar. Biol., 135, 635-646.
- Franzen, A. 1977. Sperm structure with regard to fertilization biology and phylogenetics. Verh. Dt. Zool. Ges., 123-128.
- Franzen, A. 1983. Ultrastructural studies of spermatozoa in three bivalve species with notes on evolution of elongated sperm nucleus in primitive spermatozoa. Gamete Res., 7, 199-214.
- Galtsoff, P.S. 1964. The American oyster *Crassostrea virginica* Gmelin. US Fish. Wildl. Serv. Fish. Bull., 64, 1-480.
- Galtsoff, P.S. and D.E. Philpott. 1960. Ultrastructure of the spermatozoon of the oyster, *Crassostrea virginica*. J. Ultrastru. Res., 3, 241-253.
- Hachiri, S. and S. Higashi, 1970. Spermiogenesis in the freshwater mussel *Corbicula sandai*. J. Educ. Dept., Shiga Univ., Nat. Sci., 20, 35-39.
- Kim, J.H. and M.S. Yoo. 2002. Spermatozoon ultrastructure of 4 species in Mactridae. J. Kor. Fish. Soc., 35, 504-511.
- Kim, D.H., H.K. Lim, K.S. Min, Y.I. Chang and T.I. Kim. 1999. Reproductive cycle of surf clam (*Tresus keenae*) in southern coast of Koera. J. Kor. Fish. Soc. 32, 659-663.
- Kim, J.H. 2001. Spermatogenesis and comparative ultrastructure of spermatozoa in several species of Korean economic bivalves (13 Families, 34 Species). Pukyong National University, Ph.D. Thesis, pp. 110.
- Kim, J.H. and M.S. Yoo. 2000. Spermatogenesis and sperm morphology in marsh clam, *Corbicula leana* (Prime). J. Kor. Fish. Soc. 33, 171-175.
- Kim, J.H. M.I. Chang and M.S. Yoo. 2003. Spermatogenesis and spermatozoon ultrastructure of pacific oyster (*Crassostrea gigas*). J. Kor. Fish. Soc. 6, 641-645.
- Lee, J.Y., Y.H. Park and Y.J. Chang. 1999. Gonadal development and reproductive cycle of *Gomphina melanaegis* (Bivalvia: Veneridae). J. Kor. Fish. Soc., 32, 198-203.
- Longo, F.J. and E. Anderson. 1969. Spermiogenesis in the surf clam *Spisula solidissima* with special reference to the formation of the acrosomal vesicle. J. Ultrastru. Res., 27, 435-443.
- Longo, F.J. and E.J. Dornfield. 1967. The fine structure of spermatid differentiation in the mussel, *Mytilus edulis*. J. Ultrastru. Res., 20, 462-480.
- Popham, J.D. 1979. Comparative spermatozoon morphology and bivalve phylogeny. Malacol. Rev., 12, 1-20.
- Sakker, E.R. 1984. Sperm morphology, spermatogenesis and spermiogenesis of three species of chitons (Mollusca, Polyplacophora). Zoomorphology, 104, 111-121.
- Takaichi, S. and J.C. Dan. 1977. Spermiogenesis in the pulmonate snail, *Euhadra hickonis*. I. Acrosome formation. Dev. Growth Differ., 20, 301-315.
- Yasuzumi, G. 1974. Electron microscope studies on spermiogenesis in various animal species. Int'l Rev. Cytol., 37, 53-119.

2004년 10월 1일 접수  
2005년 4월 16일 수리