

꼬막, *Tegillarca granosa* 소화맹낭의 미세구조

주선미, 전미애, 김혜진, 구가연, 이정식

전남대학교 수산생명의학과

Ultrastructure of the Digestive Diverticulum of *Tegillarca granosa* (Bivalvia: Arcidae)

Sun Mi Ju, Mi Ae Jeon, Hyejin Kim, Kayeon Ku and Jung Sick Lee

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

ABSTRACT

The anatomy and ultrastructure of the digestive diverticulum of *Tegillarca granosa* were described using light and electron microscopy. The digestive diverticulum was situated on the gonad and connected to stomach by a primary duct. Digestive diverticulum is composed of numerous digestive tubules. The epithelial layer of digestive tubule, which is simple, is composed of basophilic cells and digestive cells. Basophilic cells are columnar in shape, and the electron density is higher than that of the digestive cell. The cytoplasm has a well-developed endoplasmic reticulum, tubular mitochondria, Golgi complex and of membrane-bounded granules of high electron density. Digestive cells were classified into three types. According to cell shape, electron density and cell organelles. However, three types of epithelia was same that striated border was observed in free surface and lysosome was observed in cytoplasm. The results of this study suggest that basophilic cells and digestive cells in the digestive tubule are specialized in the extracellular and intracellular digestions, respectively.

Key words: ultrastructure, digestive diverticulum, *Tegillarca granosa*, basophilic cell, digestive cell

서론

이매패류는 이동성에 따라 부착형과 이동형으로 구분되며, 서식지에 따라 크게 표재형 (epifauna) 과 내재형 (infauna) 으로 구분 할 수 있다 (Gosling, 2004). 부착형에는 굴, *Crassostrea gigas*, 가리비, *Patinopecten yessoensis*, 지중해담치, *Mytilus galloprovincialis*, 진주담치, *M. edulis* 등이 있으며, 이동형에는 개조개, *Saxidomus purpuratus*, 바지락, *Ruditapes philippinarum*, 꼬막, *Tegillarca granosa* 등이 있는데 이들은 서식생태의 차이에 따라 섭이와 소화기작 또한 다를 것으로 생각된다.

이매패류의 소화맹낭은 위와 연결된 관 구조로 해부학적 특

징이 서로 다른 일차소관 (primary duct) 과 이차소관 (secondary duct) 및 소화선세관 (digestive tubule) 들로 구성되어 있다. 일차소관에서는 방출 흐름을 만들고 이차소관에서는 흡수 흐름을 만들어 소화선세관을 구성하는 소화세포의 흡수기능에 의해 세포내 소화가 이루어진다 (Owen, 1955). 하지만 세포의 소화는 물리적 소화보다는 주로 화학적 소화과정을 거치게 되는데, 이는 주요 먹이원인 식물성 부유생물들은 세포벽을 가지기 때문에 이를 분해하기 위한 소화기작이 필요하기 때문이다. 따라서 이매패류들은 소화맹낭과 당면체의 소화효소를 이용하여 화학적 소화를 수행하게 된다 (Reid and Sweeney, 1980; Brock, 1989; Ibarrola *et al.*, 1998; Alyakrinskaya, 2001; Ju and Lee, 2011).

이매패류의 소화맹낭에 관한 연구는 주로 소화효소의 분석에 초점이 맞추어져 있으며 (Seiderer *et al.*, 1982; Brock and Kennedy, 1992; Fernández-Reiriz *et al.*, 2001; Albentosa and Moyano, 2009), 이매패류의 소화맹낭의 미세구조에 관한 연구는 *Cardium edule* (Owen, 1970), *Pecten maximus* (Henry *et al.*, 1991), *Mercenaria mercenaria* (Eble, 2001), 지중해담치 (Dimitriadis *et al.*, 2004) 및 개조개의 소화선세관 미세구조에 관한 보고 (Ju

Received: March 10, 2015; Revised: March 23, 2015;
Accepted: March 30, 2015

Corresponding author : Jung Sick Lee

Tel: +82 (61) 659-7172 e-mail: ljs@jnu.ac.kr
1225-3480/24563

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.

and Lee, 2011) 가 있을 뿐 이매패류의 화학적 소화기작과 연관한 구조적 정보는 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 조간대에 서식하는 이동, 내재형 이매패류인 꼬막의 화학적 소화를 보다 잘 이해하기 위하여 소화맹낭의 해부학 및 미세구조적 특징을 광학 및 전자현미경을 이용하여 기재하고 이를 서식지 차이와 연관하여 비교하고자 하였다.

재료 및 방법

본 연구에 사용된 꼬막은 여수시 화양면 장수리 (34°39' 1.04" N, 127°35' 29.4" E) 의 조간대에서 2010년 5월에 채집하였다. 분석에 사용된 표본은 각장 35.67 ± 1.22 mm, 전중 16.57 ± 1.38 g인 성체 20개체이다.

꼬막의 각장과 각고는 vernier calipers로 0.01 mm까지 측정하였으며, 전중과 육중은 전자저울로 0.01 g까지 측정하였다. 내장낭 기관계와 소화맹낭, 위의 위치는 해부하여 육안과 해부현미경을 통하여 기재하였다.

광학현미경 표본제작은 시료를 Bouin 용액에 24시간 동안 고정하여 파라핀절편법으로 5 µm 두께로 연속절편 후 Mayer's hematoxylin-eosin (H-E) 과 Masson 삼중염색 및 alcian blue-periodic acid and Schiff's solution (AB-PAS, pH 2.5) 과 aldehyde fuchsin-alcian blue (AF-AB, pH 2.5) 반응을 실시하였다. 조직화학적 반응 후 점액세포의 염색 친화도 판정은 Pantone® Formula Guide (Coated first edition 2002; Pantone Inc., USA) 를 기준으로 고유번호를 괄호 안에 표시하였다.

투과전자현미경 (TEM) 조직표본 제작은 시료를 phosphate buffer (pH 7.5) 로 완충시킨 2.5% glutaraldehyde 용액으로 2시간 동안 전 고정하였으며, 0.1M phosphate buffer (pH 7.5) 로 20분씩 3회 수세하였다. 그 후 1% osmium tetroxide (OSO₄) (Sigma) 로 2시간 동안 후 고정한 후, 0.1M phosphate buffer로 20분씩 3회 세척하고, 에탄올을 이용하여 단계별로 탈수하였다. 그 후 에폭시 수지로 포매 한 후 1 µm 두께의 semithin section을 toluidine blue로 염색하여 광학현미경으로 관찰하였다. 그 후, TEM 관찰 절편은 ultramicrotome (MT-X, RMC, Germany) 을 이용한 두께 70 nm로 ultrathin section 한 다음 uranyl acetate-lead citrate으로 염색하고, TEM (H-7500, Hitachi, Japan) 으로 관찰하였다.

주사전자현미경 (SEM) 표본제작은 소화맹낭을 횡단 후 TEM 관찰을 위한 시료와 같은 방법으로 전 처리하였다. 그 후 amyl acetate로 30분씩 2회 치환하고, CO₂ 가스로 임계 건조 (critical point drying) 한 다음 1분 동안 금이온 증착

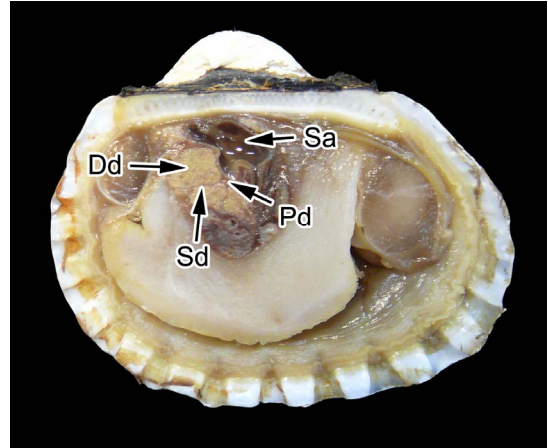


Fig. 1. Anatomy of the visceral mass of *Tegillarca granosa*. Dd, digestive diverticulum; Pd, primary duct; Sa, stomach; Sd, secondary duct.

(gold ion particle coating) 하여 SEM (JSM-7500F, Hitachi, Japan) 으로 관찰하였다.

결 과

1. 해부학적 특징

꼬막 내장낭 기관계의 중단면을 해부학적으로 관찰한 결과, 소화맹낭은 각정부 바로 아래에 담황색의 포도송이 모양으로 위의 왼쪽 측면에 위치하고 있었다. 소화맹낭의 중심부에는 일차소관이 형성되어 있으며, 일차소관은 후방의 위와 연결되어 있었다 (Fig. 1). 광학현미경 조직표본에서 소화맹낭은 위와 연결된 관 구조인 일차소관으로부터 이차소관 및 소화선세포들로 분지된 집합적 구조들로 구성되어 있었다 (Fig. 2).

2. 미세구조

꼬막의 소화맹낭은 다수의 소화선세포들이 모인 집합적 구조이다. 각각의 소화선세포는 기저막 위에 단층 상피층이 원을 이루고 있는 구조이다. 이들 상피층에서는 소화세포와 호염기성세포로 구분할 수 있었다 (Fig. 3, 4).

소화선세포의 소화세포들은 원주형으로 중앙 하부에 뚜렷한 원형의 핵과 인을 가지며, 세포질의 상부에는 다수의 과립을 가지고 있었다. 핵과 인은 H-E 염색에서 강한 호염기성을 나타냈다. 세포질 상부에 존재하는 대부분의 과립들은 H-E 염색, Masson 삼중염색, AB-PAS (pH 2.5) 반응 및 AF-AB (pH 2.5) 반응에서 모두 공포상으로 나타났다 (Fig. 4). 하지만, 일부 과립들은 H-E 염색에서 연한 갈색 (256C) 으로 나타났으며 (Fig. 4A), Masson 삼중염색에서는 적자색 (220C) 으로 나타났다 (Fig. 4B). 그리고 AB-PAS (pH 2.5) 반응에서는 주로 붉은색 (2665C) 으로 나타나 중성 점액물질임을 확인

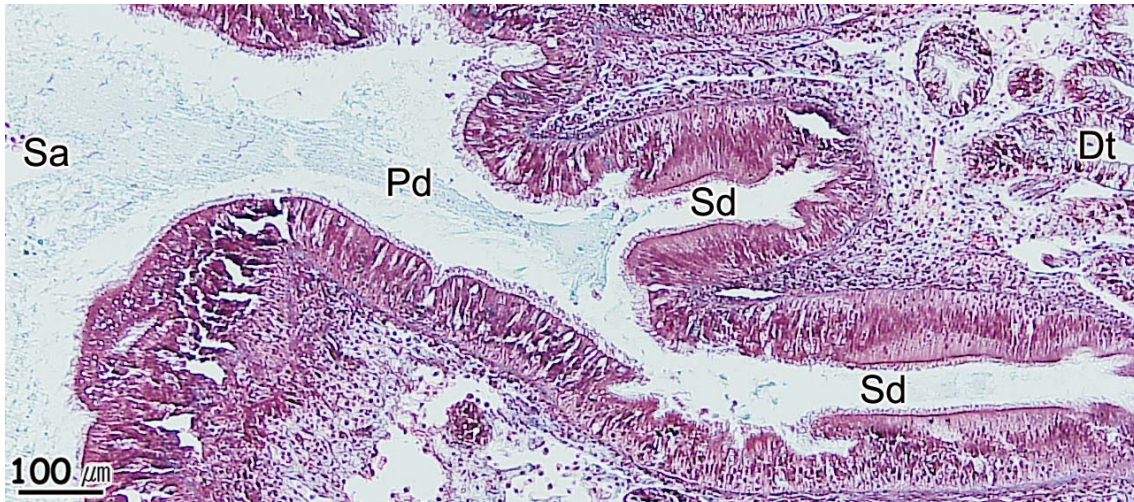


Fig. 2. Light microscopical feature of the duct system between stomach and digestive diverticulum of *Tegillarca granosa*. Dt, digestive tubule; Pd, primary duct; Sa, stomach; Sd, secondary duct.

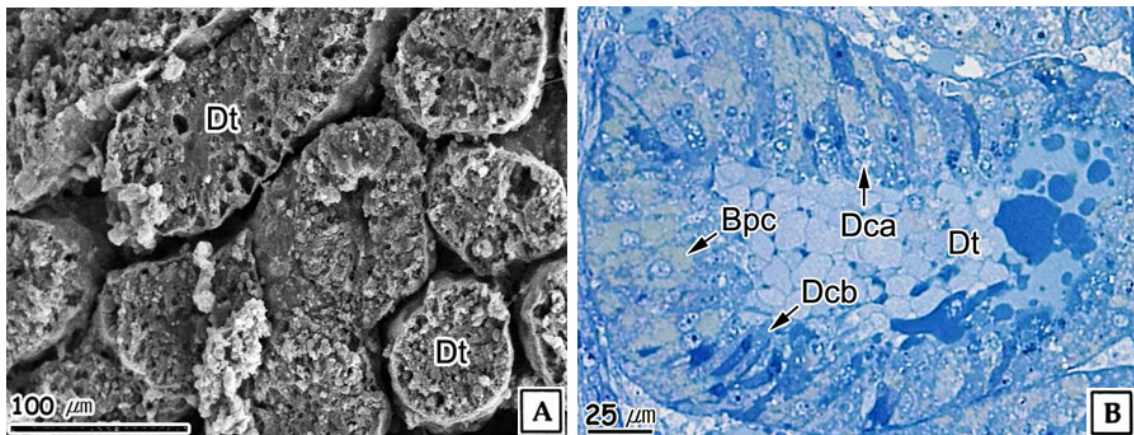


Fig. 3. Scanning electron micrograph (A) and semithin section (B) of the digestive diverticulum of *Tegillarca granosa*. A: Showing the numerous digestive tubules (Dt). B: Showing the basophilic cell (Bpc) and digestive cell of Type A (Dca), Type B (Dcb) in the epithelial layer.

할 수 있었으며 (Fig. 4C), AF-AB (pH 2.5) 반응에서는 푸른색 (318C) 으로 나타나 비황화 점액물질임을 확인할 수 있었다 (Fig. 4D).

호염기성세포들은 H-E 염색 결과, 소화세포들과 마찬가지로 중앙 하부에 H-E 염색에서 강한 호염기성을 나타내는 뚜렷한 원형의 핵과 인을 가지며, 세포질의 상부에는 다수의 과립을 함유하고 있었다. 이들 과립의 대부분은 H-E 염색, Masson 삼중염색, AB-PAS (pH 2.5) 반응 및 AF-AB (pH 2.5) 반응에서 모두 공포상으로 나타났다 (Fig. 4). 하지만, 일부 과립들은 H-E 염색 결과, 연한 갈색 (265C) 으로 나타났으며 (Fig. 4A), Masson 삼중염색에서는 적자색 (220C) 으로 나타났다 (Fig. 4B). 그리고 AB-PAS (pH 2.5) 반응 (Fig. 4C) 과 AF-AB (pH 2.5) 반응 (Fig. 4D) 에서는 각각 붉은색

(2665C) 과 푸른색 (318C) 으로 나타나 이들 과립은 중성의 비황화 점액성분을 함유하고 있음을 알 수 있었다.

TEM 관찰 결과, 소화선세포의 소화세포는 세 가지 종류로 구분되었다. Type A의 소화세포는 다수의 섬모를 갖는 세포로 섬모아래 세포질 상부에 다수의 미토콘드리아가 존재하였으며, 핵은 중앙 하부에 위치하였다. 핵은 진정염색질과 이형염색질이 뚜렷이 구분되었고, 핵 주변에 다수의 전자밀도가 낮은 과립들이 관찰되었다. 그리고 세포질 전역에는 소수의 전자밀도가 높은 단백질성 과립들이 관찰되었다 (Fig. 5A). 세포질 하부에는 잘 발달한 미토콘드리아, 조면소포체 및 미소체들이 관찰되었다 (Fig. 5E). Type B의 소화세포는 다수의 미세융모를 갖는 세포로 핵은 중앙에 위치하였고 핵의 내부에는 진정염색질과 이형염색질이 뚜렷이 구분되었다 (Fig. 5C-D). Type C

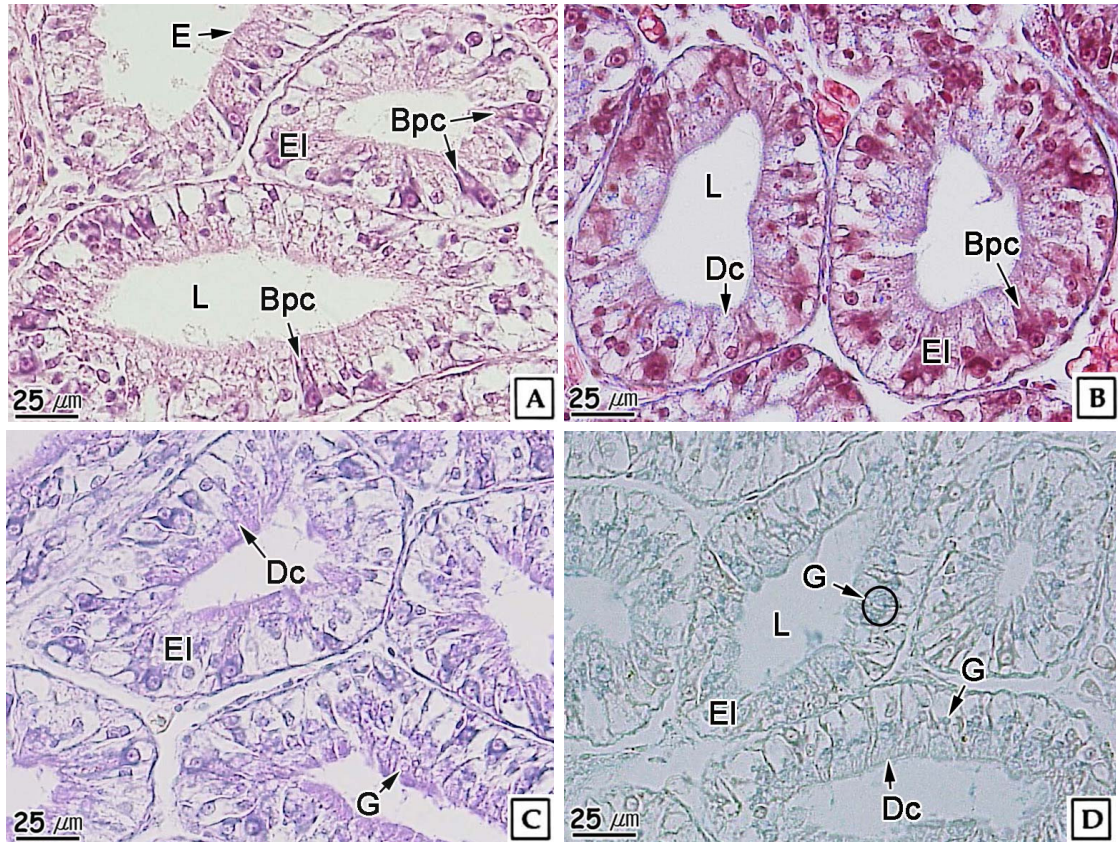


Fig. 4. Light microscopical feature of the digestive tubule of *Tegillarca granosa*. Showing the basophilic cells (Bpc), digestive cells (Dc) and the cytoplasmic granules (G) in the epithelial layer (EI). **A:** H-E stain. **B:** Masson's trichrome stain. **C:** AB-PAS (pH 2.5) reaction. **D:** AF-AB (pH 2.5) reaction. L, lumen.

의 소화세포는 세 종류의 소화세포 가운데 전자밀도가 가장 높았다. 핵은 원형으로 중앙 하부에 위치하였고 자유면은 다수의 미세융모와 섬모로 덮여 있었다. 세포질내에는 미토콘드리아, 조면소포체, 골지체 및 다수의 미세과립들이 관찰되었다 (Fig. 5B).

호염기성세포의 전체적인 전자밀도는 소화세포에 비해 높은 편이었으며, 세포질 정단측면에 발달된 세포연접으로 주변의 세포들과 연계되어 있었다. 세포질은 전체적으로 발달된 조면소포체, 골지체 및 관상 미토콘드리아들이 차지하고 있었으며, 다수의 전자밀도가 높은 과립들이 관찰되었다 (Fig. 6A-B). 핵은 원형으로 세포질 하부에 위치하였고 핵질은 진정 염색질이 대부분을 차지하여 전자밀도는 낮았으며, 핵의 중앙에는 전자밀도가 높고 뚜렷한 인이 출현하였다 (Fig. 6C).

세포질의 여러 부위에서 활성화된 조면소포체와 골지체들이 관찰되었는데, 특히 골지체 수조의 내강에서는 여러 단계의 분비과립 형성과정이 확인되었다. 우선 골지체 수조의 내강에서는 여러 단계의 분비과립 형성과정이 확인되었다. 우선 골지체

수조 내강에서 전자밀도가 낮고 균질화된 초미세과립들이 관찰되며, 그 후 이들 과립들은 크기와 전자밀도가 증가하고 마지막에는 골지체 외부에서 전자밀도가 높고 막을 가진 단백질성의 분비과립들이 관찰되었다 (Fig. 6D-E).

고 찰

이매패류의 화학적 소화는 세포외 소화와 세포내 소화의 해 이루어진다 (Brock and Kennedy, 1992). 소화망의 소화선세포는 주로 호염기성세포와 소화세포로 구성되어 있는데, 호염기성세포는 효소를 분비하는 세포로 이들의 분비과립에는 효소가 함유되어 있어 주로 세포외 소화기능을 가진다 (Lobo-da-Cunha, 1999). 소화세포는 주기적으로 변화하고 흡수와 관련된 잘 발달된 용해소체의 액포 시스템을 내포하고 있어 위에서 먹이 입자의 세포외 소화에서 나온 물질을 흡수하는 세포내 소화를 담당한다 (Owen, 1972; Morton, 1983; Lobo-da-Cunha, 2000).

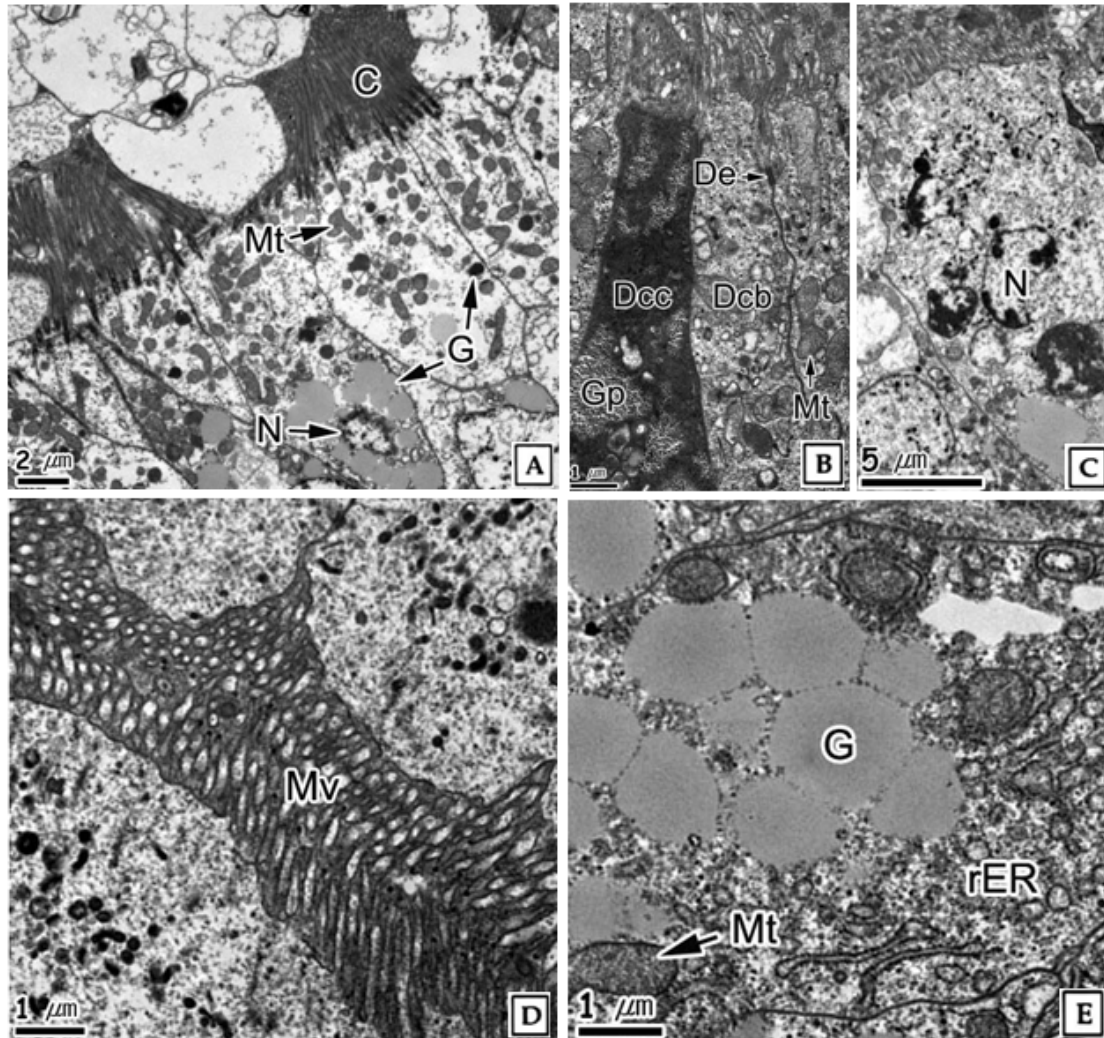


Fig. 5. The ultrastructure of the digestive cell in the digestive tubule of *Tegillarca granosa*. **A:** Type A columnar digestive cell, showing the developed cilia (C), mitochondria (Mt) and numerous granules (G). **B:** Type B and C digestive cell. **C and D:** Type B digestive cell, section of the microvilli (Mv) on free surface. **E:** Type A digestive cell, showing the granules (G) of low electron density. Dcb, Type B digestive cell; Dcc, Type C digestive cell; De, desmosome; Gp, glycogen particles; N, nucleus; rER, rough endoplasmic reticulum.

본 연구 결과, 꼬막은 소화맹낭의 일차소관이 위와 연결되어 있었으며, 소화맹낭은 일차소관과 이차소관 그리고 소화선세관으로 구성되어 있었다. 이러한 결과는 이매패류 *Placopecten magellanicus* (Wojtowicz, 1972), 굴, *Crassostrea gigas* (Bernard, 1973), *Macomona liliana*와 *Amphidesma australe* (Judd, 1979), 진주담치, *Mytilus edulis* (Xu, 2002), 대북, *Gomphina veneriformis* (Park et al., 2010), 개조개, *Saxidomus purpuratus*와 지중해담치, *M. galloprovincialis* (Ju and Lee, 2011) 의 해부학적 특징과 유사한 결과를 보였다.

또한, 꼬막 소화맹낭의 소화선세관은 단층 상피층으로 호흡

기성세포와 소화세포들로 이루어져 있었다. 소화선세관에 존재하는 분비세포들은 주로 중성의 비황화 당단백질 성분을 함유하는 것으로 확인되었다. 그리고 TEM 관찰 결과, 호흡기성세포는 조면소포체, 골지체, 미토콘드리아 및 분비과립 등 분비기능의 미세구조적 특징을 보여 세포의 소화를 담당하는 것으로 나타났다. 소화세포는 이들의 형태, 섬모와 미세융모의 발달 정도 및 세포질의 미세구조 등을 기준으로 세 가지 종류 (A, B, C) 로 구분 할 수 있었는데, 미세융모, 용해소체 및 미토콘드리아의 발달 등 흡수 및 소화의 미세구조적 특징을 보여 세포내 소화기능을 담당하는 것으로 나타나 기존에 보고된 이매패류들 (Morton, 1983; Henry et al., 1991; Eble, 2001;

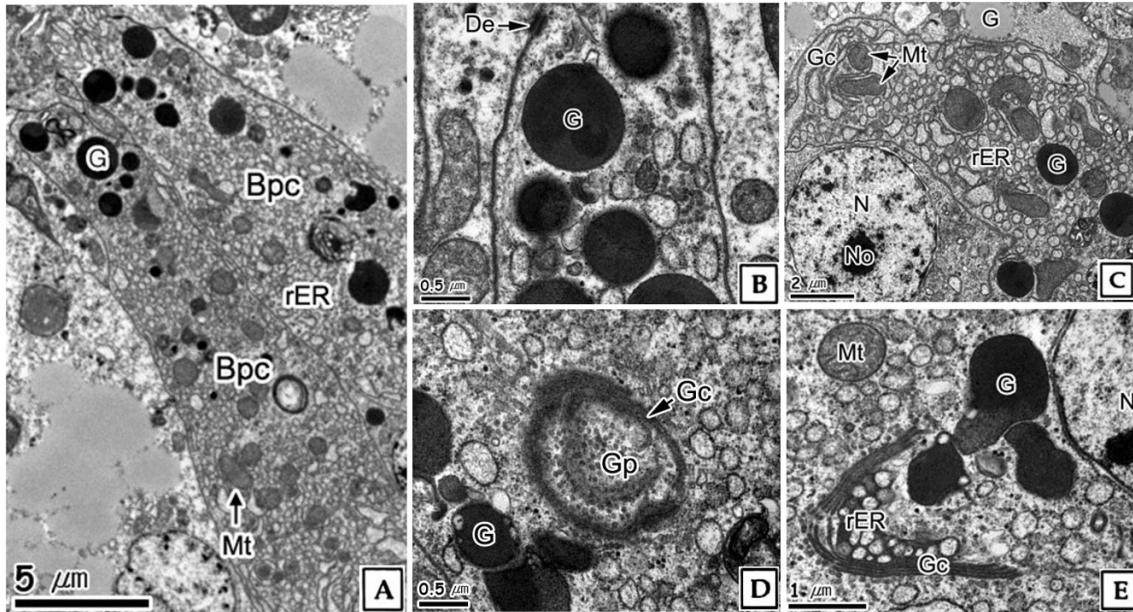


Fig. 6. The ultrastructure of the basophilic cell (Bpc) in the digestive tubule of *Tegillarca granosa*. **A:** Section of the well-developed mitochondria (Mt) and rough endoplasmic reticulum (rER). **B:** Section the membrane-bounded granule (G) of high electron density in the cytoplasm. **C:** Section of the well-developed mitochondria, rough endoplasmic reticula and Golgi complex (Gc) in the cytoplasm. **D:** Section of the granular particle (Gp) of lumen of Golgi cisternae. **E:** Showing the rough endoplasmic reticula, Golgi complex (Gc) and granule of high electron density. De, desmosome; N, nucleus; No, nucleolus.

Dimitriadis *et al.*, 2004; Robledo *et al.*, 2006; Ju and Lee, 2011) 과 유사한 결과를 보였다.

이매패류의 소화맹낭에서 분비되는 주요 소화효소는 amylase, cellulase, chitinase, laminarinase, lipase, protease가 보고되었다 (Ibarrola *et al.*, 1998; Fernández-Reiriz *et al.*, 2001; Albentosa and Moyano, 2009).

조간대에 서식하는 백합과의 *Ruditapes decussatus*와 조하대에 서식하는 *Venerupis pullastra*에서 소화맹낭의 주요 소화효소는 amylase, cellulase, laminarinase, protease로 보고되었는데, 두 종 모두 amylase의 활성이 가장 높았다. *R. decussatus*의 경우, amylase는 61.8%였으며, *V. pullastra*에서는 41.9%로 나타났다 (Albentosa and Moyano, 2009). 이러한 결과는 미세구조적 특징들과 연관해 보았을 때, 세포의 소화를 담당하는 호염기성세포들과 세포내 소화기능을 가진 소화세포들의 용해소체들은 주로 탄수화물 분해효소들을 함유하는 것으로 판단된다.

Ju *et al.* (2011) 는 지중해담치, 개조개, 꼬막의 소화맹낭에서 amylase와 cellulase의 구성비는 93, 97, 94%로 중간에 커다란 차이를 보이지 않았다. 하지만, 소화맹낭에서 이들의 효소활성도는 지중해담치 (2.6, 0.8 U/mg) 와 개조개 (2.4,

8.8 U/mg) 보다 조간대에 서식하는 꼬막 (7.3, 11.8 U/mg) 에서 훨씬 높았다. 이러한 결과는 조하대의 지중해담치와 개조개 보다 조간대에 서식하는 꼬막의 식물성플랑크톤의 소화능력이 높음을 의미하는 것으로 판단하였다. 본 연구 결과에서 미세구조적 특징들과 연관해 보았을 때, 꼬막의 소화선세포 소화세포의 종류가 다양한 것은 이들이 지중해담치나 개조개보다 다양한 세포내 소화기작을 가질 것으로 추측된다.

또한 이매패류의 화학적 소화는 소화맹낭 뿐만 아니라 당면체의 소화효소를 통하여 이루어지는데, 서식방법이 서로 다른 3종 이매패류 (지중해담치, 개조개, 꼬막) 에서 당면체를 구성하는 소화효소는 amylase와 cellulase가 약 90% 내외를 차지하였으며 (Ju *et al.*, 2011), 고착성인 *Crassostrea virginica*, *Rangia cuneata* 그리고 *Geukensia demissa*와 잠입성인 *Macoma balthica*와 *M. mitchelli*의 당면체에서 amylase의 활성이 전체 탄수화물 분해효소의 활성 중 30-70%로 높은 비율을 나타냈고, cellulase는 15-27%, laminarinase는 14-47%를 나타냈다 (Brocka and Kennedy, 1992).

따라서 이들의 화학적 소화기작을 더 면밀히 이해하기 위해서는 꼬막의 경우에도 추후 당면체의 형성과 당면체낭의 구조적 연구가 필요할 것으로 생각된다.

요약

꼬막 소화맹낭의 해부학적 구조와 미세구조를 광학 및 전자현미경을 이용하여 기재하였다. 소화맹낭은 생식소 위쪽에 위치하며, 일차소관으로 위와 연결되어 있었다. 소화맹낭은 다수의 소화선세포들로 구성되며, 각각의 소화선세포는 단층 상피층으로 호염기성세포와 소화세포들로 이루어져 있었다. 호염기성세포는 원주형으로 소화세포에 비해 전자밀도가 높았다. 세포질에는 잘 발달된 조면소포체, 관상의 미토콘드리아, 골지체 및 전자밀도가 높고 막을 가진 분비과립들을 함유하고 있었다. 소화세포는 세 가지 종류 (A, B, C) 로 구분 할 수 있었는데 이들 소화세포들은 세포형태, 전자밀도, 세포소기관의 발달 차이를 보였으나 자유면에서 세포모와 미세융모의 발달 및 세포질의 용해소체는 세 가지 상피세포에서 동일하게 관찰되었다. 본 연구에서 이러한 결과는 소화선세포의 호염기성세포와 소화세포는 각각 세포의 소화와 세포내 소화에 적당하게 분화되었음을 의미한다.

REFERENCES

- Albentosa, M. and Moyano, F.J. (2009) Differences in the digestive biochemistry between the intertidal clam, *Ruditapes decussatus* and the subtidal clam, *Venerupis pullastra*. *Aquaculture International*, **17**: 273-282.
- Alyakrinskaya, I.O. (2001) The dimensions, characteristics and functions of the crystalline style of molluscs. *Biological Bulletin*, **28**: 523-535.
- Bernard, F.R. (1973) Crystalline style formation and function in the oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1795). *Ophelia*, **12**: 159-170.
- Brock, V. (1989) *Crassostrea gigas* (Thunberg) hepatopancreas-cellulase kinetics and cellulolysis of living monocellular algae with cellulose walls. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **128**: 157-164.
- Brock, V. and Kennedy, V.S. (1992) Quantitative analysis of crystalline style carbohydases in five suspension-and deposit-feeding bivalves. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **159**: 51-58.
- Dimitriadis, V.K., Domouhtsidou, G.P. and Cajaraville, M.P. (2004) Cytochemical and histochemical aspects of the digestive gland cells of the mussel *Mytilus galloprovincialis* (L.) in relation to function. *Journal of Molecular Histology*, **35**: 501-509.
- Eble, A.F. (2001) Anatomy and histology of *Mercenaria mercenaria*. In: Biology of the hard clam. (ed. by Kraeuter, J.N. and Castagna, M.). pp. 117-220. Elsevier, New York.
- Fernández-Reiriz, M.J., Labarta, U., Navarro, J.M. and Velasco, A. (2001) Enzymatic digestive activity in *Mytilus chilensis* (Hupé 1854) in response to food regimes and past feeding history. *Journal of Comparative Physiology*, **171**: 203-221.
- Gosling, E. (2004) Bivalve molluscs: Biology, Ecology and Culture. 2. Morphology of bivalves. pp. 7-39, Blackwell Publishing Ltd., Oxford.
- Henry, M., Boucaud-Camou, E. and Lefort, Y. (1991) Functional micro-anatomy of the digestive gland of the scallop *Pecten maximus* (L.). *Aquatic Living Resources*, **4**: 191-202.
- Ibarrola, I., Larretxea, X., Iglesias, J.I.P., Urrutia, M.B. and Navarro, E. (1998) Seasonal variation of digestive enzyme activities in the digestive gland and the crystalline style of the common cockle *Cerastoderma edule*. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A*, **121**: 25-34.
- Ju, S.M. and Lee, J.S. (2011) Ultrastructure of the digestive diverticulum of *Saxidomus purpuratus* (Bivalvia: Veneridae). *Korean Journal of Malacology*, **27**(3): 159-165.
- Ju, S.M., Kwon, O-N., Kim, J.W., and Lee, J.S. (2011) Digestive enzyme activity within crystalline style in three species of bivalves. *Korean Journal of Malacology*, **27**(1): 9-14.
- Judd, W. (1979) The secretions and fine structure of bivalve crystalline style sacs. *Ophelia*, **18**: 205-233.
- Lobo-da-Cunha, A. (1999) Ultrastructural and cytochemical aspects of the basophilic cells in the hepatopancreas of *Aplysia depilans* (Mollusca, Opisthobranchia). *Tissue & Cell*, **31**: 8-16.
- Lobo-da-Cunha A. (2000) The digestive cells of the hepatopancreas in *Aplysia delipans* (Mollusca, Opisthobranchia): ultrastructural and cytochemical study. *Tissue & Cell*, **32**: 49-57.
- Morton, B.S. (1983) Feeding and digestion in bivalves. In: The Mollusca Physiology 5th. (ed. by Saleuddin, A.S.M. and Wilburg, M.). pp. 563-586. Academic Press, New York.
- Owen, G. (1955) Observations on the stomach and digestive diverticula of the Lamellibranchia. I. The Anisomyaria and Eulamellibranchia. *Quarterly Journal of Microscopical Sciences*, **96**: 517-537.
- Owen, G. (1970) The fine structure of the digestive tubules of the marine bivalve *Cardium edule*. *Philosophical Transactions of Royal Society B: Biological Sciences*, **258**: 245-260.
- Park, J.J. and Lee, J.S. (2010). Ultrastructural changes in digestive gland and lipofuscin accumulation of the equilateral venus, *Gomphina veneriformis* (Bivalvia: Veneridae) on tributyltin chloride (TBTCl) toxicity. *Korean Journal of Malacology*, **26**(1): 63-78.
- Reid, R.G.B. and Sweeney, B. (1980) The digestibility of the bivalve crystalline style. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part B*, **65**(2): 451-453.
- Robledo, Y., Marigómez, I., Angulo, E. and Cajaraville, M.P. (2006) Glycosylation and sorting pathway of lysosomal enzymes in mussel digestive cells. *Cell and Tissue Research*, **324**: 319-333.

Seiderer, L.J., Newell, R.C. and Cook, P.A. (1982) Quantitative significance of style enzymes from two marine mussels (*Choromytilus meridionalis* Krauss and *Pern aperna* Linnaeus) in relation to diet. *Marine Biology Letters*, **3**: 257-271.

Wojtowicz, M.B. (1972) Carbohydrases of the digestive gland and the crystalline style of the Atlantic

deep-sea scallop (*Placopecten magellanicus* Gmelin). *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A*, **43**(1): 131-141.

Xu, B. (2002) Endoglucanase and mannanase from blue mussel, *Mytilus edulis* purification, characterization, gene and three dimensional structure. *Acta Universitatis Upsaliensis*, Sweden, pp. 57.