

한국 섬진강 기수역 암컷 피빨고둥 *Rapana venosa* (복족류 : 빨소라과)의 생식세포 발달에 따른 난황형성과정의 미세구조적 연구 및 교미 시기와 산란 활성

손팔원 · 이일호* · 김성한*

(한국해양생태연구소 · *HJ 컴퍼니 환경디자인개발연구소 · *군산대학교)

Ultrastructural Studies of Vitellogenesis According to Germ Cell Development, and Mating Period and Spawning Activity in Female Rapa Whelk, *Rapana venosa* (Gastropoda: Muricidae) in the Brackish Water Area of Seomjin River, Korea

Pal-Won SON · Il-Ho LEE* · Sung-Han KIM*

(Korea Marine Ecology Institute · *Environment Design Development Institute, HJ Company ·

*Kunsan National University)

Abstract

Ultrstructural studies of germ cell differentiation and vitellogenesis in the oocytes of the female *Rapana venosa* in the brackish water area of Seomjin River were investigated by transmission electron microscope observations. In the early vitellogenic oocytes, the Golgi complex and mitochondria were involved in the formation of glycogen particle, lipid droplets, and yolk granules. In the late vitellogenic oocytes, the rough endoplasmic reticulum and multivesicular bodies were involved in the formation of proteid yolk granules in the cytoplasm. However, heterosynthetic vitellogenesis in this species were not observed in vitellogenic oocytes during oogenesis. A mature yolk granule was composed of three components: crystalline core, electron lucent cortex and the limiting membrane. As shown in some large gastropods, vitellogenesis in *R. venosa* occurred by way of endogenous autosynthesis without heterosynthetic vitellogenesis (exogeneous endocytosis), which are found in the oocytes in bivalves. The mating period and spawning activity were related with the increases of seawater temperatures and salinities.

Key words : *Rapana venosa*, Germ cell differentiation, Vitellogenesis, Mating period, Spawning activity

I. 서론

피빨고둥(*Rapana venosa*)은 동남아시아에서 가장 중요한 대형 해산식용복족류 중 하나로써

(Yoo, 1976; Kwon et al., 1993), 한국, 일본, 중국의 연안에 서식하고 있다. 특히, 최근 여러 연구자들(Zolotarev, 1996; Mann & Harding, 2000; Mann et al., 2004; Harding et al., 2007)에 의하면,

† Corresponding author : 010-8634-3154, lee21544@nate.com

※ 이 논문은 2009~2011년도 한국해양생태연구소 연구비로 수행되었음.

피빨고등의 원서식지는 한반도와 일본 해역인데, 미국, 캐나다, 멕시코와 같은 북아메리카까지 이주, 확산되었고, 제2차 세계대전 후 흑해로 이주하였으며, 지중해, 에게해, 아드라틱해 전역에 걸쳐 퍼져나가고 있는 것으로 보고되어 있다 (Rawling, 1990, 1994, 1995; Zolotarev, 1996; Mann & Harding, 2000; Pastorino et al., 2000; Harding, 2003; Vink et al., 2005; Harding et al., 2007). 우리나라의 경우, 조간대와 조하대의 사니질에 주로 서식하고 있다. 그러나 대단위 간척사업과 남획으로 서식지를 잃어가고 있으며 어획량이 점차 감소되고 있는 실정이다. 따라서 합리적인 어획 정책에 따라 자원관리가 이루어져야할 대상생물로서 부각되고 있는 종들 중 하나이다. 염분농도가 서로 다른 지역에 서식하는 해산복족류인 피빨고등의 형태·생리학적 변화에 미치는 영향을 밝히기 위해서는 염분농도가 낮은 섬진강 기수역에서 서식하는 암컷 피빨고등을 대상으로 생식기작을 확인하여야 한다. Lee et al.(2014)은 피빨고등의 생식기작을 비교조사하기 위해 고염분 지역과 저염분 지역에 서식하는 개체군들로 나누어 난낭 산출(deposition)을 조직학적 및 육안적 관찰에 의해 조사하여 염분농도와 수온변화, 그리고 먹이용 가능성을 대상으로 이들 요인과 피빨고등의 지역별 생식소 잠재능(reproductive potential) 및 생식전략을 비교 조사한 바 있다.

지금까지 피빨고등에 관하여 보고된 것은 생식에 관한 연구로 생식주기(Chung et al., 1993; Chung and Kim, 1999; Ware, 2002; Lee et al., 2014), 산란과 난낭(Knudsen, 1950; Habe, 1960, 1969; Amio, 1963; Spight, 1976; D'Asaro, 1966, 1970, 1988, 1991, 1993a, b; Le Boeuf, 1971; Rawling, 1990, 1994, 1995; Harding & Mann, 1999; Harding et al., 2007), 유생발생(Thorson, 1940; Staiger, 1950, 1951), 생식양상(Middelfart, 1994, 1996) 등 비교적 다수가 보고되어 있고, 생태측면에 관해서는 성장과 발달(Harding, 2006), 분류(Habe, 1969; Wu, 1988), 형태(Lee & Kim, 1988) 및 생화학 측면(Yoon, 1986;

Yoo et al., 1991)에 관해 보고되어 있다.

일반적으로 피빨고등은 연안의 고염분 해수에 서식하지만 기수역의 낮은 염분농도에서도 서식할 수 있는 것으로 보고되어, 본 종은 광염성 해산 복족류로 잘 인식되어 있다. 특히, 이런 경우 해수나 기수의 수온과 염분농도는 피빨고등의 난황형성에 크게 영향을 미치며 생식(교미와 산란활성)에 자극을 주고있어, 이에 관한 연구는 자원증식을 위해서 아주 중요하다. 비록 피빨고등 생식소의 성숙과 산란 등이 소수의 연구자들에 의해 연구가 되어있지만, 아직 조사되지 않은 생식세포의 발달단계별 난황형성 및 성숙과정을 미세구조적으로 조사하고, 수온 및 염분농도 자극에 따른 교미시기와 산란 활성요인을 밝히는 연구가 무엇보다 필요하다. 따라서 본 연구에서는 피빨고등의 기초연구로써 생식기작 연구를 위한 난황형성과정 중 생식세포 분화와 난모세포 내에서의 난황형성 mechanism을 미세구조적으로 연구하여 이들의 특징과 교미 시기 및 산란 활성요인을 구명하고자 한다.

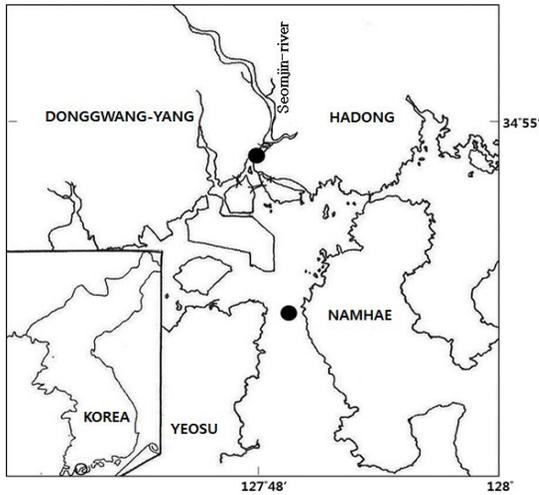
II. 재료 및 방법

1. 채집방법 및 측정

피빨고등은 2009년 1월부터 12월까지 1년간에 걸쳐 경상남도 하동의 광양만 연안역 및 섬진강 기수지역에서 무작위로 매월 1회씩 표본을 채집하였다(Fig. 1). 각 지역별로 채집된 개체들을 무작위로 20-30개체씩 추출하여 생식세포분화와 난모세포의 난황형성과정을 미세구조적으로 조사하였다.

2. 생식세포 분화 및 난황형성과정의 미세구조적 관찰

피빨고등의 난소 내 생식세포 분화과정을 조사하기 위해 투과전자현미경(TEM)을 사용하여 미세구조를 관찰하였다. 현미경관찰을 위한 조직



[Fig. 1] Map showing the sampling areas

표본은 2.5% glutaraldehyde-2% paraformaldehyde (0.1M cacodylate buffer, pH 7.5)에 2시간 정도 전 고정 한 후, 10% sucrose (0.1M cacodylate buffer, pH 7.5)로 약 10분간 충분히 세척하고 2% osmium tetroxide와 0.2M cacodylate 1:1 용액에서 90분간 후 고정시켰다. 고정이 끝난 조직소편을 ethanol에 의해 탈수 시킨 뒤 propylene oxide로 치환하였고 Epon-812 혼합액에 포매하여 초박질편을 uranyl acetate와 lead citrate로 전자염색하여 생식세포 분화 및 난황형성과정의 미세구조적 특징을 전자현미경(JEM 100 CX- II 100kV, JEOL, Japan)으로 관찰하였다.

3. 교미 시기와 산란 활성화도

본 실험을 위해 총 4개의 실내 FRP 사육수조 (2M/T)를 사용하였는데, 월별로 고수온-고염분 실험군 2개 수조와 저수온-저염분 실험군 2개수조 즉, 4개 수조로 나누어 실험하였다. 매일 1개 실내 사육수조에 암, 수 각각 25 개체(총 50개체)씩 넣고 <Table 1>에 나타낸 바와 같이, 사육실험은 2009년 4월 17-19일(3일간)에 1차실험을 하였고, 2차실험은 2009년 5월 25-27일(3일간)까지,

3차실험은 2009년 6월 17-19일(3일간)에 실시하였다. 월별로 여과해수의 수온을 고수온과 저수온 (14.0-26.1°C까지)으로 매일 바꾸어 실험을 실시하였고, 염분농도도 고염분과 저염분(15.1-26.1psu까지)으로 월별로 바꾸어 실험을 실시하여 환경 수질변화에 따른 교미 활성화 조건을 파악하고, 암컷의 산란활성 자극 반응 요인을 탐색하여 보았다. 실내 사육수조 내의 여과해수는 실험 시작부터 3-4일간 사용하였고, 실험이 끝난 사육수조는 청결을 위해 여과해수로 환수시켜 놓았다가 다시 사용하였다. 실험기간 중 피빨고둥에게는 먹이(이매패류 등)를 주지 않았다. 실험 총 실내 사육기간 67일(2009년 4월 17일-6월 20일) 사이에 교미하는 암, 수의 쌍 수를 계수하였으며, 산란은 암컷 개체수로 매일 관찰하여 그 수를 월별로 비교하였다. 피빨고둥의 교미 지속시간을 참고로 점검하여 보았고, 암컷이 교미한 후 산란이 일어나기까지 걸리는 일수(17일 이상-약 1개월)를 파악하여 보았다.

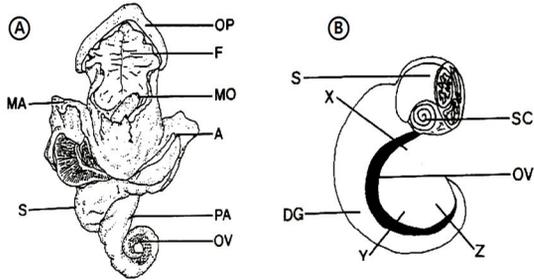
III. 결과 및 고찰

1. 자성생식기관의 형태 및 위치(Morphology and position of the female reproductive organ)

피빨고둥(*R. venosa*)은 자웅이체이다. 암컷 개체들의 경우는 음경(penis)이 촉수 가까이에서 출현하지 않으나 수컷의 경우는 음경이 실제 촉수 가까이에서 출현하여 암, 수 성이 쉽게 구분되고 있다. 따라서 음경이 뚜렷하게 존재 하지 않으면 채집된 표본의 성(sex)은 암컷으로 쉽게 구분되었다([Fig. 2]).

난소는 후부 나선형의 내장낭에 위치하고 있는 간(또는 소화선) 표면의 상부에 위치하고 있다. 점차 성숙이 진행되면서 난소의 외부 특징은 연황색을 나타내어 쉽게 암컷임을 알 수 있으며, 면도날 또는 날카로운 칼로 난소 부위를 살짝 끊

으면 타원형의 성숙란 또는 완숙란들이 쉽게 흘러나와 해부학적으로도 개체의 성이 쉽게 판별되었다.



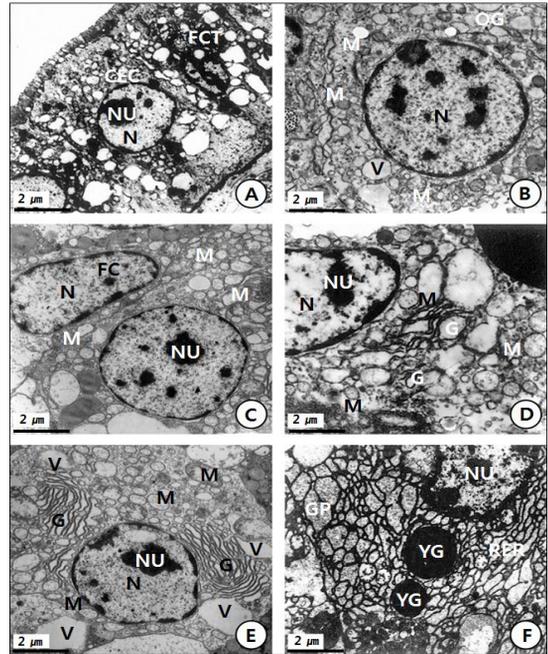
[Fig. 2] Anatomy of the female *Rapana venosa*, removed from its shell. A, reproductive organ of female; B, posterior appendage showing the gonad and liver. X, Y and Z denote the section parts for the study. Abbreviations: A, anus; DG, digestive gland; F, foot; MA, mantle; MO, mouth; OP, operculum; OV, ovary; PA, posterior SC, stomachal caecum.

2. 생식세포 발달과 난황형성과정(Germ cell differentiation and vitellogenesis)

피빨고등 암컷의 생식세포발달과 생식세포 분화특징을 투과전자현미경하에서 미세구조적으로 관찰한 특징을 근거로하여 난황형성과정(oogenesis) 중 난모세포들의 성장발달과 난황형성과정(vitellogenesis)을 조사하였다.

피빨고등의 난소를 전자현미경으로 관찰하여보면, 난소 조직 밖에는 섬모상피조직들과 섬유성 결합조직 등의 상피조직의 세포들이 생식소의 외부를 둘러싸고 있다([Fig. 3A]).

피빨고등의 난소를 전자현미경으로 관찰하여보면, 생식세포 발달 및 형태적 특징을 근거로 난황형성과정 단계는 편의상 (1) 난원세포단계, (2) 전난황형성단계, (3) 난황형성단계, (4) 성숙단계의 4단계로 나누었으며, 난황형성단계는 초기난황형성단계와 후기난황형성단계로 다시 세분화할



[Fig. 3] Electron micrographs of oogenesis of *Rapana venosa* (A-F). A, Fibrous connective tissues and cilia epithelial cells on the ovarian tissues; B, An oogonium, with a large nucleus and several mitochondria in the cytoplasm; C, A follicle cell and previtellogenic oocyte, with a large nucleus and several mitochondria in the cytoplasm; D, Early vitellogenic oocyte with a large nucleus and a number of mitochondria, the Golgi complex and a number of vacuoles; E, Early vitellogenic oocyte with well-developed Golgi complexes, a number of mitochondria and vacuoles; F, Early vitellogenic oocyte with a number of Glycogen particles in the vacuoles and yolk granules. Abbreviations: CEC, cilia epithelial cells; FC, follicle cell; FCT, fibrous connective tissues; G, Golgi body; GP, glycogen particles; GR, granule; M, mitochondrion; N, nucleus; NU, nucleolus; OG, oogonium; RER, rough endoplasmic reticulum; V, vacuole; YG, yolk granule.

수 있다. 난형성과정 단계별 출현하는 난모세포들의 형태 및 미세구조적 특징은 다음과 같다.

① 난원세포단계(oogonial phase)

난원세포단계의 난원세포들의 모양은 작은 타원형이었고, 세포의 크기는 난경이 약 15 μm 정도이며, 이들 난원세포는 한 개 또는 여러 개가 생식상피 상에서 출현하였다. 난원세포는 큰 핵을 가지며 핵 내에 크로마틴 물질들이 분산되어 나타나고 있다. 난원세포 세포질 내에는 여러 개의 미토콘드리아와 공포들 그리고 작은 소포들이 관찰되고 있을 뿐, 난원세포의 세포질 발달은 아주 미약하였다. 단계는 1월에서 9월까지 출현하였다(Fig. 3B).

② 전난황형성단계(previtellogenic phase)

전난황형성 난모세포는 난황형성 바로 직전단계의 난모세포로, 이들 세포의 모양은 타원형이었고, 세포의 크기는 대략 난경 60-70 μm 정도이었다. 전난황형성난모세포의 핵 내에는 뚜렷한 한 개의 인을 가지며 세포질 내에는 여러 개의 미토콘드리아, 소포체, 공포들과 소포들이 출현하였다. 그리고 이 시기에는 난황막 외측에 생식세포에 영양을 공급하는 세포로 알려진 여포세포(Follicle cell)가 출현하였다. 이 때 여포세포의 핵은 길게 신장되어 출현하였으며, 세포질 내에는 미토콘드리아들과 지방적들이 나타났다. 전난황형성단계는 9월에서 3월 사이에 출현하였다(Fig. 3C).

③ 난황형성단계(vitellogenic phase)

난황형성단계는 난모세포 내에서 난황형성이 일어나는 단계의 난모세포로, 난모세포의 세포질 내 출현하는 세포소기관들과 난모세포 분화 양상의 특징에 따라 편의상 초기난황형성단계(early vitellogenic phase)와 후기난황형성단계(late vitellogenic phase)로 나누었다.

초기난황형성 난모세포(난경 120-140 μm)는 세포의 중앙부에 둥근 핵이 출현하고 있고 핵 내에는 한 개의 인과 핵질이 분산되어 나타나고 있

다. 핵의 주변부 세포질 내에는 미토콘드리아와 골지체, 그리고 골지체에 의해 형성된 여러 크기의 공포들과 작은 소포들이 다수 출현하였으며, 그 속에 다수의 지방적 들과 글리코겐입자들이 출현하고 있다(Figs. 3D, E, F).

*R. venosa*의 경우, 초기난황형성난모세포(early vitellogenic oocyte)에서 난황형성이 일어나기 시작하면, 난모세포는 핵의 크기가 좀 더 증대되기 시작한다. 아울러 세포질 내에서는 세포소기관자인 조면소포체들과 미토콘드리아들의 수가 먼저 증가되기 시작하여 이들 세포소기관자들이 지방적 형성에 관여하는 것으로 관찰되었다. 피뿔고둥 초기난황형성 난모세포에서는 골지체가 핵 주변 세포질 내에 다수의 공포와 작은 소포들을 형성하는데 관여한다. 그리고 공포들 속에는 탄수화물인 글리코겐입자들이 가득채워지며, 지방적과 지질과립들이 이에 추가된다. 난황형성단계는 1-3월 사이에 출현하였다. 이러한 현상의 관찰은 북쪽류 *Ilyanassa obsoleta* (Taylor & Anderson, 1969), *Biomphalaria glabrata* (De jong-Brink et al., 1976), 갈색띠매물고둥 *Neptunea arthritica cuminggii* (Chung et al., 2006), 그리고 큰구슬우렁이 *Glossaulax didyma* (Kim, 2008) 등에서 관찰되었는데, Chung et al. (2006)은 이들 과정을 난황형성과정의 자율합성과정(autosynthetic vitellogenesis)으로 간주하였다.

본 연구에서 특히, 여포세포(follicle cell)가 난황형성난모세포 위에 부착되어 뚜렷하게 나타나고 있다. 이들 세포의 세포질 내에는 전자밀도가 중정도인 과립들과 지방적들을 함유하고 있는 것을 관찰할 수 있지만, 여포세포 내의 과립들과 지방적들이 난황형성난모세포 속으로 분비되어 들어가는 뚜렷한 증거는 관찰할 수 없었다. 따라서 피뿔고둥(*R. venosa*)은 난황형성시 자율합성과정과 타가합성과정(heterosynthetic vitellogenesis)을 거치는 종들로 증명할 수 없었다.

후기난황형성난모세포들(난경 150-190 μm)도 세포의 중앙부에 둥근 배포상의 핵들이 출현하고,

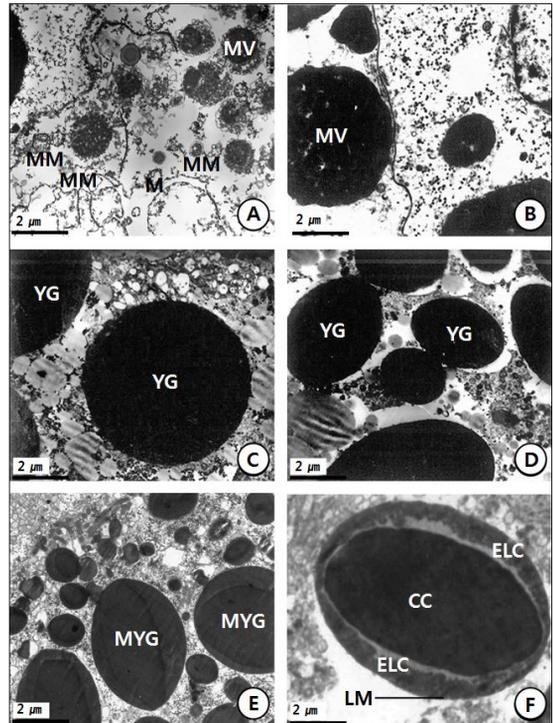
핵 주변의 세포질에는 수 많은 지방적들과 변형된 미토콘드리아들이 모여 다포체(multivesicular body)를 형성하고 있다(Figs. 4A, B). 이들은 다시 난황전구체(yolk precursor)들을 형성하여 다포체들과 난황전구체가 합쳐져 단백질성 난황과립(proteid yolk granule)들을 형성한다(Fig. 4B). 지방적들과 더불어 성장된 작은 난황과립들(yolk granules)은 서로 합쳐져서 좀 더 큰 미성숙난황과립(immature yolk granule)들을 형성한다(Figs. 4C, D).

피빨고둥의 후기난황형성난모세포들의 미토콘드리아는 후기난황형성과정 중 변형의 과정을 겪는다. 이 결과로 변형된 미토콘드리아는 난황전구체를 형성하며, 또한 세포질 내의 조면소포체들과 변형된 미토콘드리아들은 단백질성 난황과립들(yolk proteid)을 형성하였다는 Taylor & Anderson(1969)의 이전 보고와 유사하였다. 후기난황형성난모세포단계는 10월부터 4월에 출현한다.

해산 복족류의 경우는 난황형성 과정 중 난모세포 내에서 난황형성이 일어날 때 자율합성과정(autosynthetic vitellogenesis) 타가합성과정(heterosynthetic vitellogenesis)이 관여하고 있다고 보고되어 있으나(Bottke et al., 1982; Medina et al., 1986), 복족류중 갈색띠메물고둥(*Neptunea arthritica cumingii*)의 경우는 자율합성에 의해서만 난황형성이 일어나는 것으로 보고되어 있다(Chung et al, 2006). 복족류의 난황형성과정은 아직도 명확하게 밝혀져 있지않아 난황형성과정에서 자율합성과 타가합성과정에 관한 연구로 이를 밝혀야한다.

④ 성숙단계(mature phase)

성숙단계의 성숙난모세포(난경 230-250 μ m)의 세포질 내에서는 미성숙난황과립들이 합쳐져 좀 더 성숙된 큰 성숙난황과립들을 형성한다(Fig. 4E).



[Fig. 4] Electron micrographs of oogenesis of *Rapana venosa* (A-F). A, A late vitellogenic oocyte and multivesicular bodies with modified mitochondrion; B, Several multivesicular bodies in the cytoplasm of a late vitellogenic oocyte; C, A late vitellogenic oocyte, with yolk granules and proteid yolk granules; D, A late vitellogenic oocyte, with a number of proteid yolk granules and immature yolk granules, E, A mature oocyte, with mature yolk granules near the nucleus; F, A mature oocyte with mature yolk granules consisting of crystalline core in the center, electron lucent cortex and a limiting membrane. Abbreviations: CC, crystalline core; ELC, electron lucent cortex; LM, limiting membrane; M, mitochondrion; MM, modified mitochondrion; MV, multivesicular body; YG, yolk granule; MYG, mature yolk granule.

성숙단계는 3월에서 8월까지 출현하였다. 이들 성숙난황과립들은 점차 결정화되어, 중앙부에 결정체 성분인 crystalline core가 분포하고, 가장자리의 피질부에는 전자밀도가 낮은 electron lucent cortex가 분포한다. 그리고 한계막(limiting membrane)이 이를 둘러싸고 있어 성숙난황과립은 3가지 성분으로 구성되어 있다(Fig. 4F).

3. 교미 시기와 산란 활성요인(Factors of mating period and spawning activity)

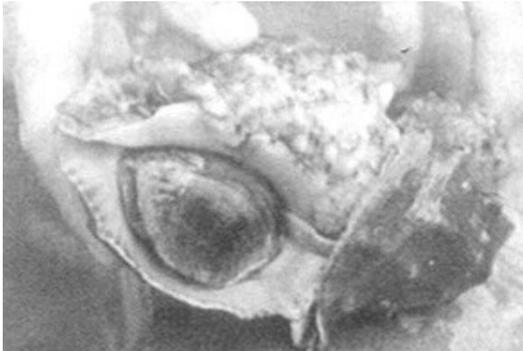
피빨고둥(*Rapana venosa*)은 대형 복족류에 속하는 하계산란종으로 교미시기는 5월 말부터 8월 말까지이며, 본 종은 교미가 일어난 다음 17일-약 1개월이 지나면 암컷이 산란하는 현상을 실내 사육실험실에서 확인할 수 있었다. 따라서 수컷의 교미시기와 암컷의 산란기 사이의 간격이 다른 복족류의 종들 보다 더 긴 것으로 추정되었다. 실내 사육수조 내에서, 피빨고둥의 실험 결과를 보면, <Table 1>에 나타난바와 같이, 2009년 4월 17-19일(3일간) 사이에는 고수온-고염분으로 그리고 저수온-저염분으로 사육하였을 때 교미에 참여한 수컷들은 발견할 수 없었으며, 또한 산란에 가담한 암컷 개체도 없었다. 이것은 비록 사육 염분농도는 적합하였을지라도 수온이 너무 낮아 암컷이 산란할 수 없었던 것으로 판단된다. 그러나 5월 25-27일 조사 결과에서는 고수온-고염분 사육 개체와 저수온-저염분 사육 개체들 중에서 많은 수는 아니지만 개체들이 교미하고 있는 쌍들을 관찰할 수 있었고(총 5쌍이 교미), 암컷 중 총 12개체가 산란하는 것도 관찰되었다. 이들은 산란 전 17일 이후-약 30일 전에 이미 교미를 마친 개체들로 추정된다. 6월 17-19일에 조사된 결과를 보면, 고수온-고염분 하에서는 다수의 교미하는 수컷 개체들을 관찰할 수 있었으며, 이들보다 다소 낮은 수온-저염분 농도에서 서식하는 개체들에서도 비록 수적으로 적으나 교미 중에 있는 개체들과 산란된 개체들을 발견할 수 있었다

(<Table 1>, [Fig. 5]). 전반적으로 4-6월까지 실내 사육수조에서 인위적으로 조사된 결과를 보면, 5-6월 중에는 교미와 산란이 활발하여졌고, 산란하는 암컷 개체들은 6월에 특히 많이 관찰되었다. 이 시기에는 각각의 암컷 패각 상부에 수 많은 난낭들을 붙이고 있는 모습을 쉽게 관찰할 수 있었다. <Table 1>에 나타난바와 같이, 수온과 염분이 높아지는 시기에 피빨고둥의 교미행동이 활발해지고, 암컷의 산란이 활발해져 교미와 산란행동의 활성은 수온 및 염분 상승과 관련이 있는 것으로 사료된다.

<Table 1> Effects of the activities of copulations and spawnings stimulated by some different conditions of water temperatures and salinities in the indoor rearing aquaria

Study Period (Date)	Different water temp. (°C) in the aquaria	Different salinities (psu) in the aquaria	No. of pairs copulated (Pairs)	No. of spawned females (individuals)	Comparisons of the activities between high and low conds.
17-19 April 2009	High, 15.3°C	High, 26.1 psu	None (0)	None (0)	Unknown
	Low, 14.0°C	Low, 15.4 psu	None (0)	None (0)	
		Total	None (0)	None (0)	
25-27 May 2009	High, 20.6°C	High, 25.4 psu	4	8	Activity in HWT-HS > LWT-LS
	Low, 15.3°C	Low, 15.1 psu	1	4	
		Total	5	12	
17-19 June 2009	High, 26.1°C	High, 25.2 psu	5	15	Activity in HWT-HS > LWT-LS
	Low, 20.9°C	Low, 15.3 psu	2	8	
		Total	7 (Pairs)	23 (Inds.)	

* HWT-HS, high water temperature-high salinity; LWT-LS, low water temperature-low salinity; Conds, conditions; Inds, individuals.



[Fig. 5] Mating by the penis between female and male *Rapana venosa*.

V. 요약

섬진강 기수역에 서식하는 피빨고둥, *R. venosa* (Muricidae)의 생식세포분화와 난모세포 내에서의 난황형성과정 중 난황형성의 미세구조적 연구를 위해 투과전자현미경 관찰로 조사하였다. 초기난황형성난모세포들에서 골지체와 미토콘드리아는 글리코겐 입자들, 지방적들과 난황과립들의 형성에 관여하였다. 후기난황형성난모세포들에서 조면소포체와 다포체들은 세포질 내에서 단백질성 난황과립들의 형성에 관여하였다. 여러 크기의 다포체들은 후기난황형성 난모세포 내에서 변형된 미토콘드리아들에 의해 형성되었다. 특히, 다른 복족류들의 결과들과 이매패류에서 일어나는 현상을 비교하여 보면, 이매패류의 경우에는 난황형성의 타가합성과 관련된 것으로, 난황막 위에 미세융모(microvilli)와 피질층에 피질과립들이 출현하고 있는데, 복족류의 경우는 난황형성난모세포 내에서 난황형성 중 난모세포 밖으로부터 외생적으로 일어나지 않아 출현하지 않는 점이 이매패류나 두족류와 다른 점이다. 성숙란 내의 성숙난황과립은 3가지 성분으로 이루어져 있다 : (1) 난황과립의 중앙부에 결정중심이 있고, (2) 주변부에는 전자밀도가 밝은 피질층이 있고, 그리고 이들을 (3) 한계막이 둘러싸고 있다. 최종적으로 복족류 종들의 난모세포들 내에서의 난황형성과

정은 타가합성과정(외생적 endocytosis)이 발견되지 않고 단지 난모세포 자체의 내생적 자율합성 과정을 거쳐 일어나는 특징을 보였다. 피빨고둥은 난황형성을 위해 난황형성과정 중, 염분농도가 높고 낮음으로 인해 내생적 자율합성과 외생적 타가합성이 변경된 현상은 발견되지 않았다. 교미시기와 산란 활성은 수온 및 염분농도 상승과 관련이 있다.

References

- Amio, M.(1963). A comparative embryology of marine gastropods with ecological considerations.
- Booolootian, R. A. · Farmanfarmaina, A. & Giese, A. C.(1962). On the reproductive cycle and breeding habits of two western species of *Haliotis*. Biol. Bull. 122, 183~192.
- Botke, W. · Shinha, I. & Keil, I.(1982). Coated vesicle-mediated transport and deposition of vitellogenic ferritin in the rapid growth phase of snail oocytes. J. Cell. Sci. 53, 173~191.
- Chung, E. Y. · Kim, S. Y. & Kim, Y. G.(1993). Reproductive ecology of the purple shell, *Rapana venosa* (Gastropod: Muricidae), with special reference to the reproductive cycle, deposition of egg capsules and hatching of larvae. Kor. J. Malacol. 9, 1~15.
- Chung, E. Y. · Kim, S. Y. · Park, G. M. & Yoon, J. M.(2006). Germ cell differentiation and sexual maturation of the female *Neptunea (Barbitionia) arthritica cumingii* (Crosse, 1869) (Gastropoda: Buccinidae). Malacologia, 48(1-2), 65~76.
- Chung, E. Y. · Kim, Y. M. & Lee, S. G.(1999). Ultrastructure of germ cell development and reproductive cycle of the purplish Washington clam, *Saxidomus purpuratus* (Sowerby). Yellow Sea 5, 51~58.
- D'Asaro, C. N.(1966). The egg capsules, embryogenesis, and early organogenesis of a common oyster predator, *Thais haemastoma* (Gastropoda: Prosobranchia). Bull. Mar. Sci. 16, 884~914.
- D'Asaro, C. N.(1970). Egg capsules of prosobranch mollusks from south Florida and the Bahamas and notes on spawning in the laboratory. Bull. Mar.

- Sci. 20, 414~440.
- D'Asaro, C. N.(1988). Micromorphology of neogastropod egg capsules. *Nautilus* 102, 134~148.
- D'Asaro, C. N.(1991). Gunnar Thorson's worldwide collection of prosobranch egg capsules Muricidae. *Ophelia*, 35, 1~101.
- D'Asaro, C. N.(1993a). Gunnar thorsons world-wide collection of prosobranch egg capsules: Melongenidae. *Ophelia*, 46, 83~125.
- D'Asaro, C. N.(1993b). Gunnar thorsons world-wide collection of prosobranch egg capsules: Nassariidae. *Ophelia*, 48, 149~215.
- De jong-brink, M. · Wit, De. A. · Kraal. G. & Bore. H. H.(1976). A light and electron microscope study on oogenesis in the freshwater pulmonate snail *Biomphalaria glabrata*. *Cell Tissue. Res.* 171, 195~219.
- Feare, C. J.(1970). The reproductive cycle of the dog whelk (nucella lapillus). *Proceed. Malacol. Soc. London* 39, 125~137.
- Fujinaga, K.(1985). The productive ecology of the neptune whelk (*Neptunea arthritica Bernadi*) population, with special reference to the reproductive cycles, depositions of egg masses hatchings of juveniles. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* 36(3), 87~98.
- Habe, T.(1960). Egg masses and egg capsules of some japanese marine prosobran-chiate gastropod. *Bull. Biol. Sta. Asam* 10, 121~126.
- Habe, T.(1969). A nomenclatorial note on *Rapana venosa*. *Venus*, 28, 109~111.
- Harding, J. M. & Mann, R.(1999). Observations on the biology of the Veined Rapa whelk, *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) in the Chesapeake Bay. *J. Shellfish Res.* 18, 9~18.
- Harding, J. M. · Mann, R. & Kilduff, C. W.(2007). The effects of female size on fecundity in a large marine gastropod *Rapana venosa* (Muricidae). *J. Shellfish Res.* 26, 33~42.
- Harding, J. M.(2003). Blue crabs *Callinectes sapidus* as a potential control mechanism for a non native predatory gastropod, *Rapana venosa*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 297, 161~177.
- Harding, J. M.(2006). Growth and development of veined rapa whelk *Rapana venosa* veligers. *J. Shellfish Res.* 25, 941~946.
- J. Shimonoseki Univ. *Fish.* 12, 15~143.
- Kim, D. G.(2008). Reproductive ecology of *Glossaulax didyma* on the west coast of korea. MS thesis, Kunsan Nat'l. Univ. 48 pp.
- Knudsen, J.(1950). Egg capsules and development of some marine prosobranchs from tropical west Africa. *Atlantide Report* 1,85~30.
- Kwon, O. K. · Park, G. M. & Lee, J. S.(1993). *Coloured shells of Korea*. 288 pp. Academy Publish. Co.
- Le Boeuf, R.(1971). *Thais emarginata*: Description of the veliger and egg capsule. *Veliger* 14, 205~211.
- Lee, I. H. · Chung, E. Y. · Son, P. W. & Lee, K. Y.(2014). Depositions of egg Capsules by female shell heights and comparisons of sizes at 50% of group sexual maturities of the female Rapa Whelk *Rapana venosa* in three different salinity concentration regions. *Kor. J. Malacol.* 30(2), 139~153.
- Lee, J. J. & Kim, S. H.(1988). Morphological study on the osphradium of *Rapana venosa*. *Kor. J. Malacol.* 4, 1~16.
- Mann, R. & Harding. J. M.(2000). Invasion of a Mid Atlantic estuary by the oriental gastropod *Rapana venosa* Valenciennes, 1846. *Biol. Invas.* 2, 7~22.
- Mann, R. · Occhipinti, A. & Harding. J. M.(2004). Current status of global invasions by the marine gastropod *Rapana venosa*. First special report of the International Council for Exploration of the Seas on the status of introduced species. International Council for Exploration of the Seas/ICES. 24th Annual meeting of ICES (WGITMO) Goteborg, Sweden March 20~21, 2002
- Medina, A. · Garcia, J. C. · Moreno, F. J. & Lopez-Campos, J. L.(1986). Comparative studies on the histology of the ovotestis in *Hypselodoristicolor* and *Godiva banyulensis*(Gastropoda, Opisthobranchia), with special reference to yolk formation. *J. Morph.* 188, 105~118.
- Middelfart, P.(1994). Reproductive patterns in Muricidae. *Phuket Mari. Biol. Center. Spe. Pub.* 13, 83~88.
- Middelfart, P.(1996). Egg capsules and early development of ten mufticid gastropods from Thailand Water. *Phuket Mar. Center Spec. Pub.* 16, 103~130.
- Pastorino, G. · Penchaszadeh, P. · Schejter, L. & Bremec, C.(2000). *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) (Mollusca: Muricidae): a new gastropod in south

- Atlantic waters. J. Shellfish Res. 19, 897~899.
- Rawling, T. A.(1990). Associations between egg capsule morphology and predation among populations of the marine gastropod. *nucella emarginata*. Biol. Bull. 179, 312~325.
- Rawling, T. A.(1994). Encapsulation of eggs by marine gastropods: Effect of variation in capsules from on the vulnerability of embryos to predation. Evolution 84, 1301~1313.
- Rawling, T. A.(1995). Adaptations to physical stresses in the intertidal zone: The egg capsules of neogastropod mollusca. American Zool. 39, 230~243.
- Spight, T. M.(1976). Ecology of hatching size for marine snails. Oecologia 24, 283~294.
- Staiger, H.(1950). Zur determination der Nhrerier bei prosobranchiern. Rev. Suis Zool. 57, 496~530.
- Staiger, H.(1951). Cytologische und morphologische untersuchungen zur determination der Neherier bei prosobranchiern. Zeitschrift für Zellforsch Mikoskanat 35, 469~549.
- Takahashi, N. · Takano, K. & Murai, S.(1972). Histological studies on the reproductive cycle of the male neptune whelk, *Neptunea arthritica*. Bull. Fac. Fish.. Hokkaido Univ. 36(3), 87~98.
- Taylor, G. T. & Anderson. E.(1969). Cytochemical and fine structural analysis of oogenesis in the gastropod, *Ilyanasa obsoleta*. J. Morph. 129, 211~248.
- Thorson, G.(1940). Studies on the egg masses and larval development of gastropods from the Iranian gulf. Danish Sci. Inverst. in Iran, 2, 159~238.
- Vink, R. · Nieweg, D. & Post, P.(2005). *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846): a new invasive species for the Netherlands (and England). (In Dutch with English abstract). Spirula. 345, 152~155.
- Ware, C.(2002). Temporal and spatial variation in reproductive output of the veined rapa whelk (*Rapana venosa*) in the Chesapeake Bay. M.S. thesis. College of William and Mary. Williamsburg, Virginia 76 pp.
- Wu, Y.(1988). Distribution and shell height-weight relation of Rawling *Rapana venosa* Valenciennes in the Laizhou Bay. Mar. Sci./Haiyanh kexue 6, 39~40
- Yoo, J. S. · Soh, C. T. · Lee, I. S. & Kim, J. J.(1991). Heavy metals in water, sediments and mollusca along coast line close to the estuaries of Gum-gang (river) and Mangyeong-gang. The Kor. J. Malacol. 7, 87~93.
- Yoo, J. S.(1976). Korean Shells in Colour. pp. 129~130.
- Yoon, H. D.(1986). Lipid composition of purple shell and abalone. Bull. Kor. Fish. Soc. 19, 446~452.
- Zolotarev, V.(1996). The Black Sea ecosystem change related to the introduction of new molluska species. Mar. Ecol. 17, 227~236.

-
- Received : 08 June, 2015
 - Revised : 06 July, 2015
 - Accepted : 13 July, 2015