

## 한국산 살조개, *Protothaca jedoensis*의 생식주기

김 정 · 윤호섭<sup>1</sup> · 라성주<sup>1</sup> · 문성용<sup>1</sup> · 서호영<sup>2</sup> · 최규정<sup>1</sup> · 최상덕\*

여수대학교 수산증양식연구센터, <sup>1</sup>양식학과, <sup>2</sup>수산과학연구소

### Reproductive Cycle of Venus Clam, *Protothaca jedoensis* (Bivalvia: Veneridae) in Korea

Jung Kim, Ho Seop Yoon<sup>1</sup>, Sung Ju Rha<sup>1</sup>, Seong Yong Moon<sup>1</sup>, Ho Young Soh<sup>2</sup>, Kyu Jung Choi<sup>1</sup> and Sang Duk Choi\*

Aquaculture Research Center, Yosu National University, Yosu 550-900, Korea

<sup>1</sup>Department of Aquaculture, Yosu National University, Yosu 550-749, Korea

<sup>2</sup>Fisheries Science Institute, Yosu National University, Yosu 550-749, Korea

**Abstract** - In order to obtain the basic information for seedling production of venus clam, *Protothaca jedoensis*, the annual reproductive cycle was investigated mainly by histological observation from September 1998 to August 1999. *P. jedoensis* was dioecious. The gonads are located between the digestive diverticula and muscle tissue of the foot. The ovary was composed of a number of ovarian sacs, and the testis was composed of several testicular tubules. The condition index was reached its maximum (20.6) in February, and then decreased to 11.5 in June. In August, the value was the lowest (9.6) and then increased slowly. Minimum size for the sexual maturation of individuals were 38.4 mm in shell length. One the other hand, the size of mature oocytes was ranged to 50~60 μm in diameter and testis-ova was observed in testis of the mature stage. The reproductive cycle of *P. jedoensis* could be classified into five successive stages: early active (December to February), late active (January to April), ripe (March to July), partially spawned (June to August) and spent/inactive (July to January) stages.

**Key words** : venus clam, *Protothaca jedoensis*, Reproductive cycle

### 서 론

우리나라 중요 패류의 생식생태학적 연구로는 맛조개와 붉은맛(정 등 1986), 진주조개(이 1972), 남방재첩(이와 정 1980), 동죽(Chung *et al.* 1988), 참담치(정

1994), 북방대합(이 1994), 소라(이 1980), 전복류(이 1974), 빨조개(정 1980), 개조개의 생식세포형성 및 생식주기(김 1969), 생태(김 1971), 가무락의 성숙(정과 오 1990), 인공수정 및 발생(최와 송 1973) 대합과 가무락의 생태, 초기발생 및 성장(최 1971; 최 1975) 등이 있다. 또한, 살조개와 서식생태가 비슷한 바지락에 대해서는 비교적 연구가 활발히 이루어져, 바지락의 성장에 따른 형태변이(김 1973; 김 1978; 최 1965), 생식소에 대한

\* Corresponding author: Sang Duk Choi, Tel. 061-659-3166, E-mail: choisd@yosu.ac.kr

조직학적 연구(高 1957; 鳥羽 등 1993; 鳥羽 1989; 鳥羽 등 1991; 安田 등 1945), 종묘생산과 양식장환경이 생산성에 미치는 영향(원 1994), 종패의 성장과 성숙(이 1995), 온도 및 염분 내성(신 등 2000) 등의 생식생태학적인 많은 연구 보고가 있으나, 서남연안에서 식용으로 기호도가 높고, 어민들이 살반지락이라고도 부르며, 유용수산자원으로서 개발 가치가 매우 높을 것으로 기대되는 살조개에 대해서는 전혀 연구된 바 없고, 그 자원량 조차도 조사되지 않은 실정이다.

따라서, 패류양식의 활성화를 위해 새로운 양식대상종으로 개발 가능성이 높은 살조개의 종 보존 및 자원증식을 위한 인공종묘 생산기술을 확립하는데 이용할 수 있는 기초자료를 얻고자, 살조개 암·수생식세포 형성과정을 조직학적으로 조사하여 생식년주기를 밝히고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 시 료

실험에 사용된 살조개, *P. jedoensis*는 전남 여수시 돌산읍 죽포리 지선에서 채취한 것으로, 이 곳에서는 바지락과 살조개가 혼생하고 있었다(Fig. 1).

재료의 채집은 1998년 9월부터 1999년 8월까지 매월

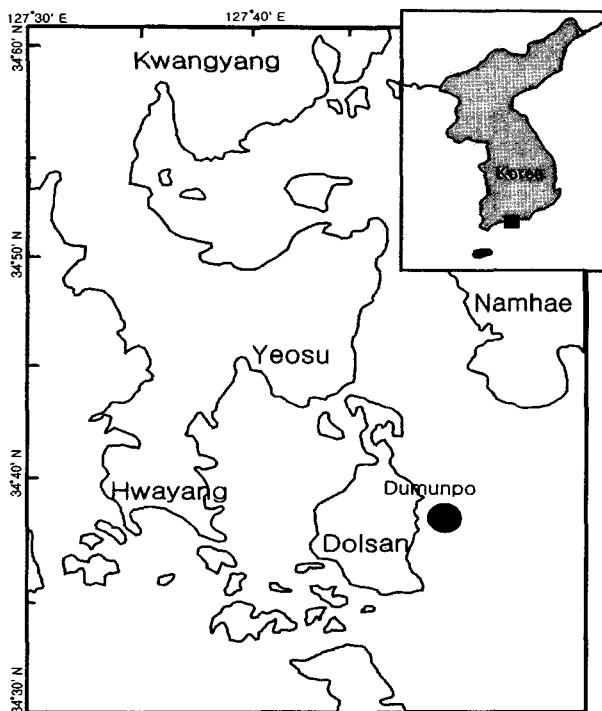


Fig. 1. Map of showing *Protothaca jedoensis* sampling area (●) in Dumunpo.

1회 실시하였으며, 월별로 30개체씩 25×35×20 cm의 ice box에 수용하여 실험실로 운반하여 실험에 사용하였다.

### 2. 실험 방법

매월 30개체씩 채집된 살조개는 즉시 실험실로 옮겨 여과해수로 세척한 후, 비만도를 측정하였고 해부현미경(OLYMPUS, SZH10)하에서 생식소의 외부형태를 조사하였다. 그 후 적출된 생식소는 생식세포형성과정, 난군발달양상 및 생식주기를 조사하기 위한 조직학적 관찰에 사용되었다. 살조개 서식장의 해수수온은 매월 채집 시 수온 온도계를 사용하여 0.1°C까지 측정하였다(Fig. 3).

#### 1) 비만도

살조개 포패집단의 성숙과 관련한 비만도를 조사하기 위하여 각장(shell length, SL), 각고(shell height, SH), 각폭(shell breadth, SB)을 0.01 mm까지 Vernier caliper로 측정하였고, 총중량(total weight, TW), 육중량(body weight, BW)은 0.01 g까지 전자저울로 측정하여, 아래의 식(鳥羽 1989)으로 구하였다.

$$\text{Condition index} = \frac{\text{BW (g)}}{\text{SL (mm)} \times \text{SH (mm)} \times \text{SB (mm)}} \times 100$$

#### 2) 생식세포 형성과정

생식소 발달에 따른 조직학적 변화를 관찰하기 위하여 생식소 부위를 4×8 mm 크기로 절단하여(Fig. 2) Bouin 용액에 24시간 고정한 다음, paraffin 상법으로 포

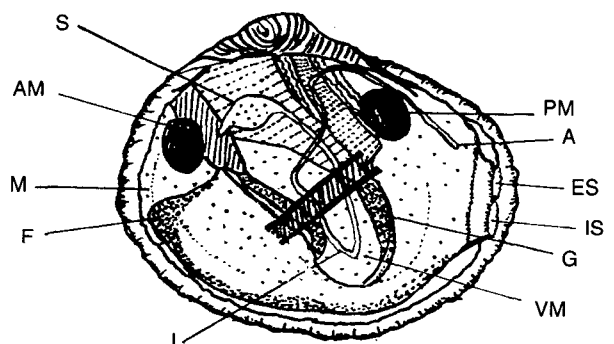


Fig. 2. Anatomy of *Protothaca jedoensis* in which right valve and gills were removed. A: Anus, AM: Anterior adductor muscle, ES: Exhalant siphon, F: Foot, G: Gonad, I: Intestine, IS: Inhalant siphon, M: Mantle, PM: Posterior adductor muscle, S: Stomach, VM: Visceral mass. ▨ The rectangle in the middle indicates the visceral portion of the clam dissected for measurements of egg diameter and histological examination.

**Table 1.** The development stage of gametogenesis in *Protothaca jedoensis*

Developmental stage	Histological characteristics	
Early active stage	Ovary	Oogonia appeared along the germinal epithelium of the ovarian sac.
	Testis	Spermatogonia were actively proliferating.
Late active stage	Ovary	Nucleus and nucleolus were distinct in appearance.
	Testis	Rapid proliferation of the spermatogonia progressed in a simultaneous manner.
Ripe stage	Ovary	Oocytes have grown yolk granules and mature oocytes fill up the lumen.
	Testis	Most of the spermatids formed by meiosis in the mature stage.
Partially spawned stage	Ovary	A few undischarged oocytes in the ovarian sacs after spawning remained.
	Testis	The mass of the spermatozoa was exsiting through the sperm-duct.
Spent/Inactive stage	Ovary	Many degenerated oocytes appeared.
	Testis	A few of remaining spermatozoa were scattered but they began to degenerate.

매하고 5~6µm 두께의 조직절편을 제작하였다. 핵과 세포질의 구분을 위해 Harris haematoxylin과 0.5% eosin으로 염색한 후, 광학현미경(GALEN III. TA-120)으로 관찰하였다.

암컷의 경우는 난소절편에서 핵이 정상적으로 절단된 난모세포만을 대상으로 만능투영기(Nikon V-12)로 절편당 약 100개씩 월평균 1000개 내외의 난모세포를 검경하였으며, 난경크기를 10µm구간으로 계수하여 백분율로 환산하여 Pearse(1965)의 빈도분포도로 난군발달양상을 분석하였다.

3) 군성속도

군성속도를 알아보기 위하여 성숙 및 산란기로 추정되는 6~7월에 가장 35.9~50 mm 범위의 살조개 암컷 166개체, 수컷 137개체를 대상으로 난소와 정소내 성숙한 난모세포 및 정자 유무를 조직학적으로 관찰하여 조사하였다.

4) 생식주기

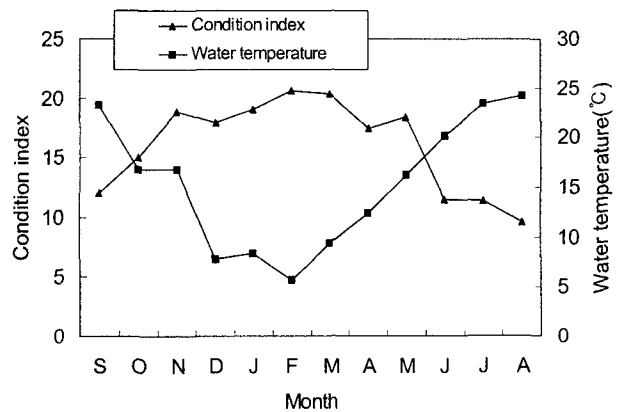
생식주기는 조직학적으로 조사된 생식소 소낭내의 생식세포의 발달에 따라 초기 활성기(early active stage), 후기 활성기(late active stage), 완숙기(ripe stage), 부분 산란기(partially spawned stage) 그리고 퇴화 및 비활성기(spent/inactive stage)의 5단계로 구분하였다(Table 1).

또한, 생식주기와 환경요인과의 관련성을 알아보기 위하여 수온변화에 따른 생식소의 발달상황을 비교, 분석하였다.

결 과

1. 수온 및 비만도

해산 무척추동물의 생식주기를 지배하는 환경요인 중



**Fig. 3.** Monthly changes of condition index of *Protothaca jedoensis* and sea-water temperature from September 1998 to August 1999.

가장 중요한 요소로 알려져 있는 서식처의 수온을 측정하였다.

1998년 9월에서 1999년 8월까지 월별 수온분포를 보면 최저 5.7°C(2월), 최고 24.2°C(8월) 사이였다(Fig. 3). 조사를 시작한 1998년 9월에 23.3°C, 10월에 16.8°C, 11월에 16.7°C로 점차 낮아져 1999년 2월에 5.7°C로 연중 가장 낮은 수온을 보였다. 그 후에, 3월에 9.4°C, 4월에 12.5°C로 점차 상승하여 6월에 20.2°C를 보였고 1999년 8월에 24.2°C로 최고 수온을 나타내었다.

성숙도의 추정에 필요한 비만도는 최저 9.6(8월), 최고 20.6(2월)으로 나타났으며, 1998년 9월에 12, 10월에 15, 11월에 18.8로 점차 상승하여 2월에 20.6으로 연중 최고값에 도달하였다. 그후, 3월 20.3에서 4월의 17.4로 약간 낮아지는 경향을 보였으나 5월에 다시 18.8로 상승하였다. 6월에는 11.5로, 7월에는 11.4로 감소하였으며 8월에는 9.6의 연중 최저값을 나타내었다(Fig. 3).

## 2. 생식소의 형태 및 내부구조

생식소는 내장낭의 소화맹낭 외측을 둘러싸고 있는 외벽근 섬유막과 족부의 외벽근 섬유막 사이에 있는 망상결체 조직층에 위치하고 있었다(Fig. 2). 생식소가 성숙 발달하지 않았을 때는 외관상으로 난소와 정소의 구분이 불가능 하였으나, 산란기가 가까워지면 난소는 황갈색, 정소는 황백색을 나타내어 외관상으로도 암, 수의 구별이 가능하였으며, 그 분포면적도 증가하여 내장낭의 대부분을 둘러싸게 되었다. 이때, 생식소를 절개하면, 암컷의 난소부위는 많은 갈색의 난모세포들이 분포하였으며 수컷은 유백색 정액이 유리되었다.

생식소의 조직학적 구조를 살펴보면, 난소는 다수의 소관상으로 분지된 신축성있는 난소소낭으로 구성되어 있으며, 난소소낭은 외층의 근섬유성 결체조직의 막과 내층의 생식상피로 구성된 2층의 막구조를 보이며 정소도 유사한 구조를 나타냈다. 외관적 관찰과 조직학적 조사 결과 난소와 정소를 동시에 가진 개체는 나타나지 않았다.

## 3. 난형성과정 및 난소주기

수온이 7.8~5.7°C로 낮은 12월에서 이듬해 2월에 걸쳐서 난소소낭내 생식상피상의 생식세포는 대부분 직경 7.5~10µm의 초기 난원세포들로 구성되어 있었다. 비교적 큰 난형의 핵과 핵내에 뚜렷한 1개의 인이 있으며, 세포질은 극히 빈약하였다. 그러나 세포질이 진하게 염색되고 난병을 형성하기 시작하는 소형 난모세포들이 일부 출현하는 것으로 보아 이 시기는 초기 활성화기로 추정된다. 생식세포 외측에는 체세포와 미분화간충조직들로 채워져 있었다(Fig. 6-A). 이 시기의 생식소는 외관상 난소와 정소의 구별이 불가능하였다.

1월(8.3°C)에는 난소소낭의 생식상피에 난병을 부착한 직경 15~20µm 크기의 소형난모세포가 다수 출현하였으며(Fig. 6-B), 수온이 상승함에 따라 난모세포의 크기는 증가하여 4월(12.5°C)에 직경 40~50µm 크기에 도달하였다. 이 시기의 난모세포 세포질에는 난병자루쪽부터 축적되어지는 것으로 알려진 영양과립들이 보이며, 세포의 모양은 전형적인 서양배 형태였다. 소낭 중앙부에는 생식상피로부터 유리된 난모세포도 일부 출현하고 상피층도 얇아졌다. 또한, 소낭은 비후되어 크기가 증가되었다(Fig. 6-C). 이 시기에는 난모세포가 빠른 성장을 보이는 것으로 보아 후기 활성화기로 추정된다.

수온이 상승하는 3월과 4월(9.4~12.5°C)에 내강으로 유리된 난모세포는 5월(16.2°C)에는 직경 50~60µm로 성숙 난모세포로 성장하였다. 이 시기의 난소소낭내 중앙내강에는 생식상피로부터 유리된 성숙 난모세포로

채워졌다(Fig. 6-D). 이때의 난모세포는 구형으로 세포질에 다량의 난황이 축적되어 있으며 커다란 배포상의 핵을 보였다. 후기 활성화기때 중앙에 위치하였던 인이 핵막부근에 위치하게 되는 것으로 보아 완숙기로 추정되었고 일부 개체에서는 7월(23.4°C)에도 이와 같은 양상을 보였다.

6월(20.2°C)에는 일부 진행된 방란으로 인해 난소소낭 내강이 부분적으로 비워있었고, 적은 수이지만 미방출된 것으로 보이는 직경 60~70µm 난모세포들이 관찰되었다. 이때의 생식상피는 최대로 가늘어지며 생식상피 기저면에는 난병을 달고 성장발달중인 적은 수의 난모세포도 보이며, 초기 활성화기와 후기 활성화기때 보이던 체세포와 미분화간충조직들은 거의 보이지 않았다(Fig. 6-E). 이 시기는 부분 산란기로 추정되며 일부 개체에서는 8월(24.2°C)에도 이와 같은 양상을 보였다.

산란기동안 방란이 종료된 7월부터 10월(23.4~16.8°C)에 걸쳐서는 난소소낭의 내강은 대부분 비워져 있으며, 난소소낭내에 남아있는 소수의 난모세포는 거의 흡수퇴화되고 난소소낭 상피는 계속적으로 두꺼워지나, 소낭 자체는 점차 위축되고 난소 전체의 크기도 현저히 줄어들었다(Fig. 6-F, G). 10월과 11월(16.8~16.7°C)에 접어들면, 난소의 비대로 축소되었던 외벽근육층과 간체장이 다시 두터워지기 시작하였고, 이 시기의 난소에는 난원세포들은 거의 발견되지 않았으나 체세포와 미분화간충조직들이 발달하기 시작하였다(Fig. 6-H). 이 시기는 퇴화 및 비활성기로 추정되며 일부 개체에서는 1월(7.8°C)에도 이와 같은 양상을 보였다. 또한, 조사를 시작한 1998년 9월부터 1999년 8월까지의 난소에서 난병을 측정하여 난군발달양상을 조사하였다(Fig. 4).

12월과 1월의 난소에는 직경 10~20µm 난원세포와 초기난모세포가 70% 이상 분포하였고, 2월부터 성장이 시작되어 3월과 4월에 걸쳐서 직경 40~50µm가 40% 이상으로 출현하였으며, 직경 50~60µm 크기의 출현율도 2~3% 정도 나타났다. 그후, 산란직전인 5월에 접어들면서 50~60µm (mature oocyte)가 급증하여 40%, 60~70µm (ripe oocyte)도 31%에 달했다. 그러나 6월의 산란기에 도달하면 직경 60~70µm (ripe oocyte)의 크기가 현저히 감소하였다. 8월과 9월 중에는 대부분의 난모세포들은 미방출된 퇴화중인 변성란이었다. 그리고 10월부터 1월까지의 난소낭에 큰 변동없이 난경 10~20µm의 난원세포와 초기난모세포의 조성을 보였다.

## 4. 정자형성과정 및 정소주기

수온이 7.8~5.7°C로 낮은 12월에서 이듬해 2월에 걸

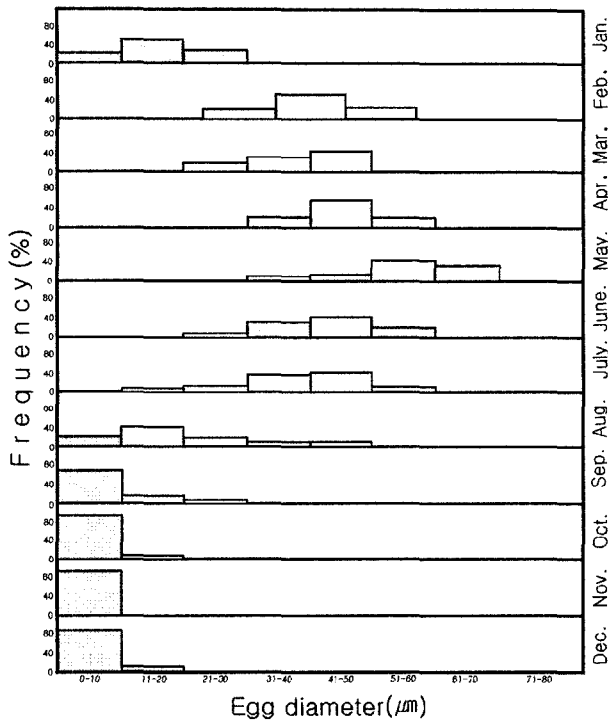


Fig. 4. Frequency distribution of the ovarian eggs diameter in the venus clam, *Protothaca jedoensis* collected from Dumunpo.

쳐서 정소도 난소와 마찬가지로 망상결체조직에 소낭이 형태로 나타났다. 정소소낭도 생식상피상의 생식세포는 직경 7.5~10 μm 초기 정원세포들로 구성되어 있었다. 이때의 정원세포는 비교적 큰 핵과 뚜렷한 1개의 인을 가지고 있으며 세포질은 빈약하였다. 그리고 생식세포 외측에는 난소소낭에서 보였던 많은 체세포와 미분화간충조직들이 혼재하고 있었다 (Fig. 7-A). 정소소낭에 정원세포들이 활발히 형성되어 그 수가 증가하는 것으로 보아 이 시기는 초기 활성기로 추정된다.

이후 이들 정원세포들도 1월 (8.3°C)에 정소소낭이 두꺼워져 크기가 증가하면서 소낭의 중앙내강을 향해 약 5 μm 크기의 정모세포로 변화하여 가는 층상배열을 보였다. 수온이 상승함에 따라 정모세포가 약 3 μm 크기의 정세포로 변화하였고, 3월 (9.4°C)에는 정소소낭 상피로부터 정모세포군과 내강에 정세포군의 층상배열이 보였으며, 일부 소낭에는 변태해 가는 정자들이 출현하였다 (Fig. 7-B). 이 시기는 후기 활성기로 추정되며 일부 개체에서는 4월 (12.5°C)까지 이와 같은 양상을 보였다.

3월과 4월 (9.4~12.5°C)로 접어들면서, 정소소낭간의 격벽을 이루는 소낭상피가 매우 얇아져 관찰하기가 힘든 상태의 소낭외측에는 일부 정모세포군과 정세포군이

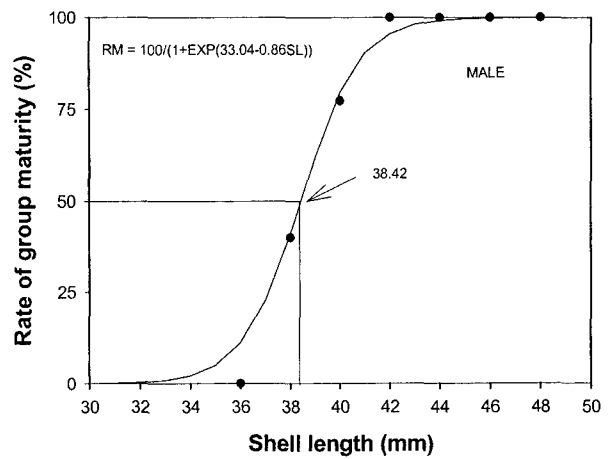
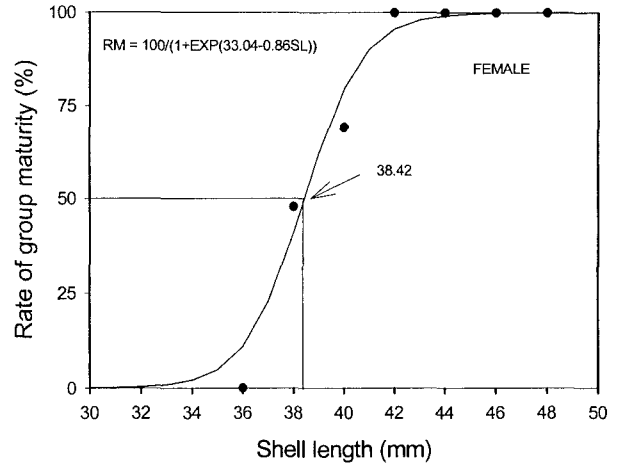
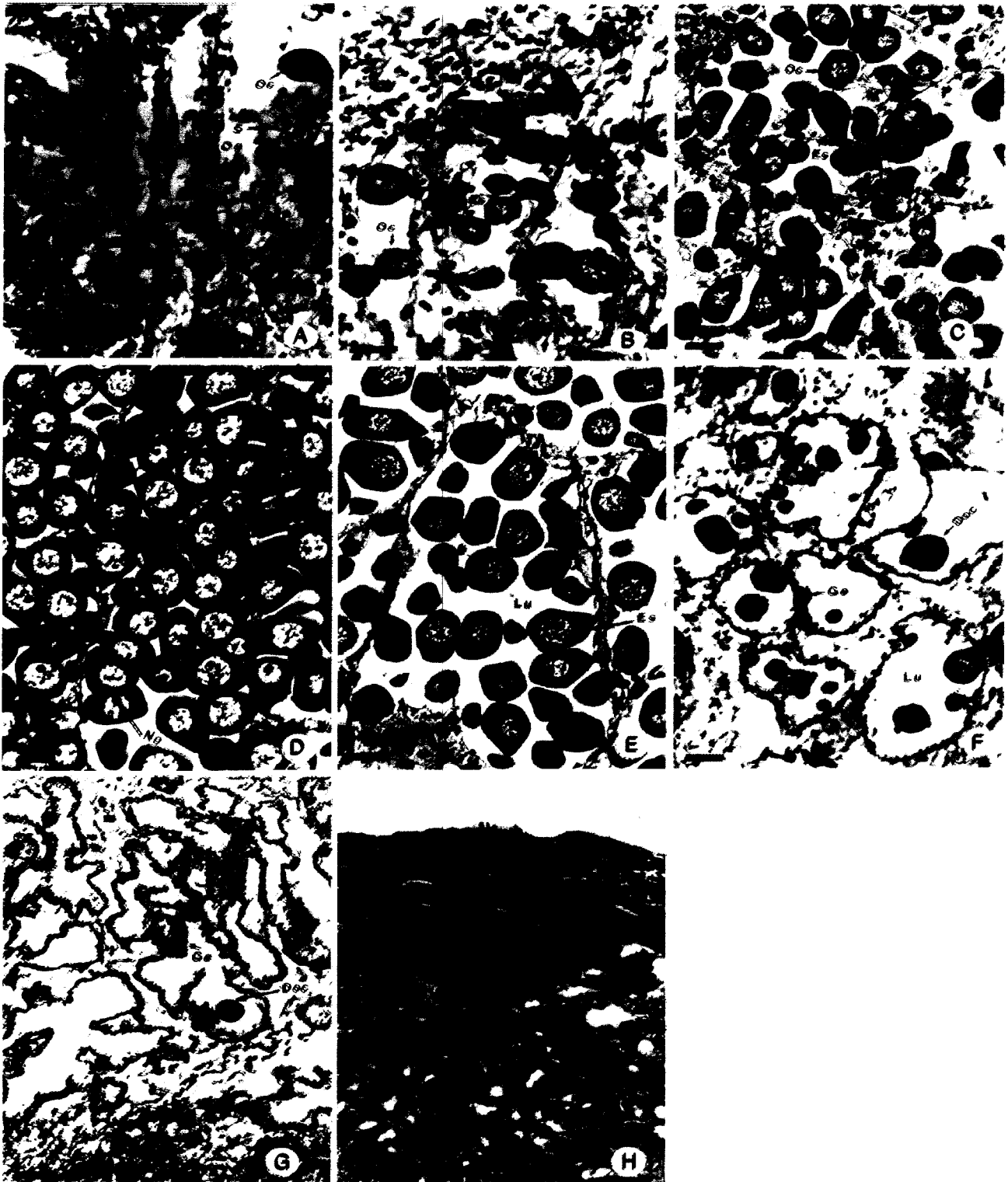


Fig. 5. Relationship between shell length and rate of group maturity of *Protothaca jedoensis*.

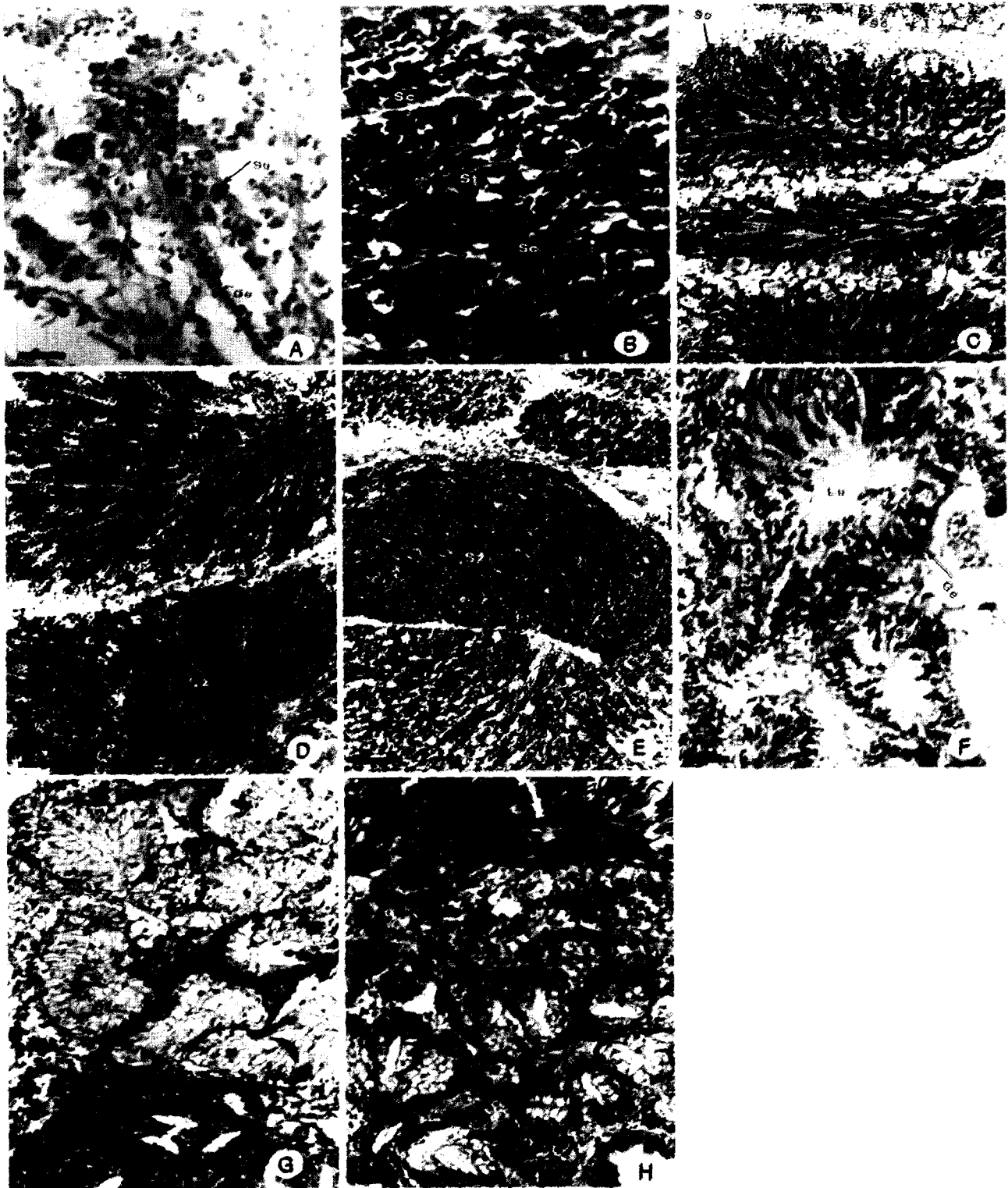
보였다. 그리고 정소소낭은 정자가 내강중앙을 채우면서 물결모양의 정자속을 형성하였다 (Fig. 7-C, D). 5월 (16.2°C)의 완숙기에 접어들게 되면 소낭외측에 보이던 정모세포군이 감소하면서 생식상피 가까이까지 변태된 정자들로 가득차는 양상을 보였다 (Fig. 7-E). 정모세포들이 감소됨과 동시에 많은 정세포와 완전히 변태를 마친 정자들로 충만되는 것으로 보아 이 시기는 완숙기로 추정되며 일부개체에서는 6월 (20.2°C)까지 이와 같은 양상을 보였다.

6월 (20.2°C)에는 방정이 일어나면서 정소소낭의 내강에 충만되어 있던 정자들이 방출되어 소낭은 중앙내강이 비워있는 상태로 정자속이 흐트러져 있었다 (Fig. 7-F). 일부 미방출된 정자를 가지고 있는 이 시기는 부분 산란기로 추정되며 7월 (23.2°C)까지 이와 같은 양상을 보였다.

방정이 종료된 7월 (24.2°C)의 정소소낭에서는 미방출



**Fig. 6.** Histological identification of internal morphology and developmental phases of ovary in *Protothaca jedoensis*. A, Transverse section of ovarians sacs in the early active stage; B, Section of early stage; C, Section of the late active stage; D, Section of the ripe stage; E, Section of the partially spawned stage; F, Section of ovarian sac of the spent stage; G, Section of ovarian sac of the spent stage; H, Section of ovary of the inactive stage. Doc, degenerating oocyte; Es, egg-stalk; Ge, germinal epithelium; Gv, germinal vesicle; Lu, lumen; N, nucleous; Oc, oocyte; Og, oogonia; S, somatic cell. Scale bars indicate 50  $\mu$ m.



**Fig. 7.** Histological identification of internal morphology and developmental phases of testis in *Protothaca jedoensis*. A, Section of the testicular sacs in the early active stage; B, Section of the testicular sacs in the growing stage; C, Section of the testicular sacs in the late active stage; D, Section of the testis ripe stage; E, Section of the ripe testicular sacs; F, Section of the partially spawned stage; G, Section of the of the spent stage; H, Section of the inactive stage. Dsz, degenerating spermatozoa; Ge, germinal epithelium; Sc, spermatocyte; Sg, spermatogonia; St, spermatid; Sz, spermatozoa; S, somatic cell. Scale bars indicate 50  $\mu$ m.

된 정자들이 퇴화 흡수가 진행되고, 성숙기에 얇아져 있던 정소소낭 상피는 두터워지나 정소소낭 자체의 크기는 위축되었다(Fig. 7-G). 10월과 11월(16.8°C)에 접어들면, 정소의 비대로 축소되었던 외벽근육층과 간체장이 다시 두터워지기 시작하였고, 정소에는 정원세포들이 거의 발견되지 않았으나 소낭의 주위에는 미분화간층조직이 재발달하고 아울러 정소가 차지한 면적도 줄어들고 있었다(Fig. 7-H). 정소의 비대로 축소되었던 외벽근육층과 간체장이 다시 두터워지기 시작하는 것으로 보아 이 시기는 퇴화 및 비활성기로 추정되며 일부개체에서는 1월(5.7°C)에도 이와 같은 양상을 나타내었다.

5. 군성숙도

재생산에 참여하는 각장을 알기 위해 주산란기로 추정되는 6~7월의 암컷의 166미(각장 35.9~50.0 mm)와 수컷 137미(각장 35.9~50.0 mm)를 대상으로 중숙 상태 이상의 개체는 당해연도에 산란에 참여하는 것으로 간주하고 암·수별 각장 계급별 중숙 단계 이상의 성숙개체의 출현율을 조사한 결과는 Fig. 5와 같다.

암컷의 경우 각장 38 mm 이하에서는 0%, 38 mm에서

는 47.8%, 40 mm에서 69.2%, 42 mm 이상에서는 100%이었다. 수컷의 경우, 성숙개체는 각장 38 mm 이하에서는 0%, 38.0 mm에서는 40.0%, 40 mm에서는 77.3%, 42 mm 이상에서는 100%이었다.

암컷과 수컷의 50% 성숙 각장은 이들 계급별 성숙개체의 출현비율을 logistic 식에 적용하여 구한 결과 암·수 동일하게 각장 38.42mm로 추정되었다.

6. 생식세포 형성과정 및 생식주기

생식소의 발달, 생식세포의 형성과정을 조직학적으로 조사한 결과를 종합하여 살조개의 생식주기를 조사하였다(Fig. 8).

고찰

일반적으로 패류의 생식소는 소화맹낭 외측과 족부근육층 사이에 망상결체조직에 다수의 관 또는 소낭으로 구성된 것으로 알려져 있다(Mackie 1984; 정 등 1986; 이 1972; 이 1980; Chung et al. 1988; 정 1994). 본 연구에서 살조개의 생식소는 외형적으로 내장낭의 간중장선 외측을 둘러싸고 있는 외벽근섬유막과 족부의 외벽근섬유막 사이에 있는 망상결체조직 사이에 수직상소낭으로 구성되어 있는 것으로 나타났다. 그리고 이들 생식소의 내부구조를 조직학적으로 관찰시, 각 소낭은 외층의 섬유성 결체조직의 막과 내층의 생식상피로 2중막 구조로 구성되어 있어, 살조개도 일반적인 조개류의 생식소 구조를 갖는 것으로 조사되었다(Fig. 2).

패류의 생식양식은 일반적으로 자용동체, 자용이체의 2가지 형으로 알려져 있다(隆島·羽生 1989). 대부분의 패류는 외형적으로는 암, 수의 성 구별이 어렵지만, 일부 패류에서는 산란기의 성숙된 생식소의 색상과 모양의 차이로 암, 수를 구분할 수 있다고 보고되어 있다(정 1980; Sasaki 1981; 유 1989). 살조개에 있어서도 5월 이후 생식소가 점차 성숙하여 갈수록 난소는 황갈색, 정소는 황백색의 색상을 가지는 것으로 자용의 성 구별이 가능하였다. 그리고 조직학적 관찰에서 난소와 정소를 함께 가지는 자용동체형의 개체는 없는 것으로 나타나, 살조개는 생식양식이 자용이체로 조사되었다. Pizarro and Cruz (1987)는 코스타리카에 서식하는 *Protothaca grata* 에서 암수의 성비는 1:1.2로 성전환은 없고 생식양식이 자용이체라고 보고하였고, *Protothaca* 속의 *P. pectorina*, *P. staminea*, *P. asperima* 등도 자용이체라고 보고되어 있다(Matós et al. 1997; Ewart et al. 1988).

패류의 생식소는 대개의 경우 독립된 기관으로 존재

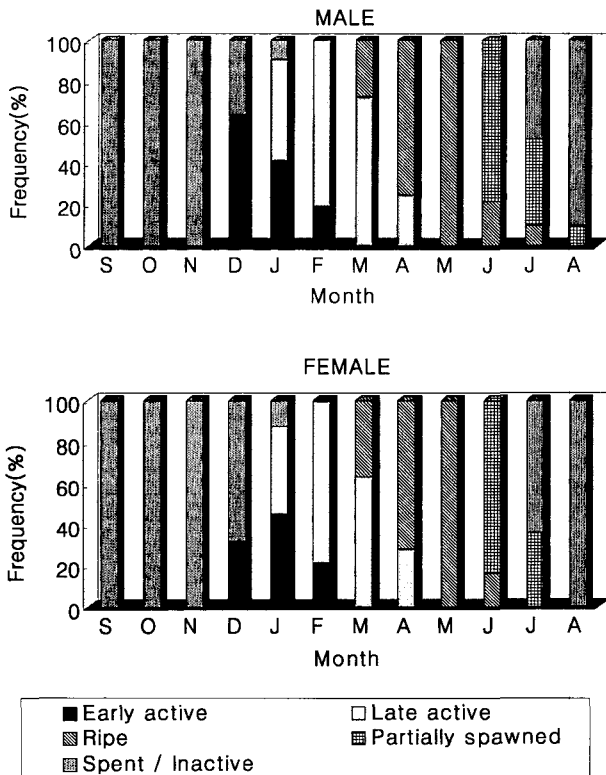


Fig. 8. Frequency of gonad developmental phase of *Protothaca jodoensis* from September 1998 to August 1999.



하지 않아 생식소만을 분리하기 어려워, 생식소의 성숙시 증가되는 무게의 변화에 따라 성적 성숙을 지수값으로 표현하는 생식소증량지수(GSI)를 구하기 어렵다. 따라서, 비만도의 연간 변화상을 생식소 발달과 관련시켜 성숙도를 추정하려는 시도들이 있다(정 등 1986; Chung *et al.* 1988; Chang and Lee 1982). 살조개의 비만도는 생식세포의 성장과 더불어 수온이 하강하는 시기인 9월(23.3°C)부터 점차 증가하여 2월(5.7°C)에는 20.6의 최고치를 나타내고 산란 직전인 5월(16.2°C)의 성숙 기간 비교적 높은 18.4 이상의 수치를 보였다. 이후 6월에 산란이 시작되면서 급격히 감소하여, 산란을 마친 8월(24.2°C)의 비만도는 9.6의 최저값을 보였다. 그리고 9월(23.2°C)부터는 체세포와 미분화간충조직이 재배치되는 퇴화 및 비활성기를 거치면서 다시 상승하였다(Fig. 3). 살조개와 비슷한 하계산란종인 동족(Chung *et al.* 1988), 새조개(Chang and Lee 1982)에서의 비만도는 생식세포의 성장과 더불어 봄에 빠른 속도로 증가하여 5~6월에 가장 높고 산란이 종료한 다음, 수온이 하강하는 10~11월에 가장 낮은 값을 나타내고 생식세포의 발달과 함께 다시 증가하는 것으로 보아, 생식소 발달과정과 비만도는 상호 밀접한 연관성이 있는 것으로 제안하였다. 이러한 결과로 볼때, 살조개도 이들 종과 비슷한 비만도 변화양상을 보이나, 최고값은 2월에 20.6으로 나타났으며, 성숙기간인 5월까지도 이보다 조금 낮은 18.4 이상의 값을 보이는 등 약간의 차이를 나타내었다. 이러한 차이는 종 특이성에 따른 에너지의 이용효율 및 저장의 차이에 따른 것으로 추정되나 정확한 설명을 위해서는 앞으로 계속적인 관련연구가 수행되어야 할 것이다. 본 실험에서 생식소의 생식세포 형성초기에 난소소낭과 정소소낭내에 생식세포와 구별되는 체세포와 미분화 간충조직들이 많이 출현하였다가 생식소의 성장과 더불어 그 수가 감소하고, 퇴화 및 비활성기 상태로 되면서 다시 생성되는 변화상이 관찰되었다(Figs. 6, 7). 이러한 체세포 성분의 연간 변화상에 대해 高橋·高野(1970)는 북방대합에서 생식소내 생식세포와 구별되는 체세포는 생식소가 발달하면서 그 수가 감소하는 점을 들어 생식소 성숙에 관여하고 있을 것이라고 제안하였다. 또한, 맛조개와 붉은 맛(정 등 1986), 진주조개(이 1972), 소라(이 1980), 남방재첩(이 등 1980), 동족(Chung *et al.* 1988) 그리고 참담치(정 1994)에서도 에오신 염색에 호산성을 나타내는 미분화간충조직의 세포들과 에오신 과립막세포가 성숙기에는 감소하는 것으로 보아 이들이 생식세포 발달과정에서 영양물질을 제공하는 것으로 고찰하였다. 따라서 살조개에서 성장기에 출현하는 호산성으로 염색되는 미분화간충조직과 체세포

들도 생식세포 발달과정에서 생식세포의 영양물질로 제공되는 것으로 추정된다.

살조개는 방란·방정을 마치면 생식소내에 소수 잔존하던 생식세포들은 고수온기를 지나면서 완전히 퇴화 흡수되고, 비활성기 상태를 유지하다가 겨울철 저수온기에 접어들면 새로운 조직배열과 함께 신생 생식상피를 형성함을 볼 수 있었다(Fig. 6-H, Fig. 7-H). 산란기를 지난 후 비활성기에 들어가게 되면, 진주조개, 맛조개와 붉은 맛조개에서는 생식소내에는 생식세포를 찾아볼 수 없다고 보고하고 있고(이 1972; 정 등 1986), 전복류, 남방재첩은 휴지기없이 방란후 곧 생식세포 형성을 시작한다고 하였다(이 1974; 이와 정 1980). 살조개는 전자의 경우와 같이 비활성기를 거친 후 생식세포 형성을 시작하는 양상을 나타내는 것으로 보였다.

서식생태가 비슷한 바지락의 경우, 광양만에서는 성숙기인 4~6월의 사이에 50~60  $\mu\text{m}$ 의 난모세포들이 출현하여 1회의 산란기를 가지는 것으로 보고되었으며(이 1995), 東京灣의 바지락에서는 5~6월, 8~10월에 50~60  $\mu\text{m}$ 의 크기의 난모세포들이 2회로 걸쳐 출현하는 것으로 보아 2회의 산란기를 가지는 것으로 보고되었다(鳥羽 등 1993). 바지락은 동일종일지라도 서식처에 따라 연중 산란기의 횟수가 다른 것으로 알려졌다. 본 살조개의 난군발달 양상을 보면, 산란직전인 5월에 50~60  $\mu\text{m}$  (mature oocyte)와 60~70  $\mu\text{m}$  (ripe oocyte)의 크기였으며 6월에 산란이 시작되면서 직경 60~70  $\mu\text{m}$  (ripe oocyte)의 난모세포들의 수가 현저히 감소하였다. 7월경에는 60~70  $\mu\text{m}$  (ripe oocyte)의 크기의 난모세포는 나타나지 않았다(Fig. 4). 이상의 결과로, 살조개는 연 1회의 산란기를 가지며, 주산란기는 6~7월인 것으로 추정된다. 또한, 바지락의 경우 서해안의 전라북도 김제군 심포의 조간대는 7~8월, 안면도산은 4~6월, 남해안의 남해도산은 4~8월로 지역에 따라 다른 산란기를 가지는 것은 수온의 차이로 제안하였다(Chung and Ryou 1994; 원 1994). 본 실험에서 살조개의 산란기가 6~8월로 나타난 것도 수온에 따른 것인지 혹은 다른 환경요인이 작용하고 있는지는 더 많은 지역에서 살조개의 산란기 조사와 환경요인에 따른 제반실험을 수행하면, 살조개의 산란에 영향을 미치는 수온 이외의 환경요인도 찾을 수도 있겠지만, 바지락(鳥羽 등 1993)의 경우처럼 연 2회의 산란기도 배제할 수는 없을 것 같다. *Protothaca* 속의 *P. grata*는 산란기가 1~3월과 6~8월의 2회로 보고하고 있고(Pizarro and Cruz 1987), *P. staminea*는 지역에 따라서 봄이나 여름에 산란한다고 보고되어 있다. 이 종들도 바지락이 동일종일지라도 서식처에 따라 연중 산란기의 횟수가 다른 것처럼, 코스타리카에 서식하는 *P. stamin-*

ea도 수온 또는 다른 환경요인이 작용하고 있는 것으로 사료된다(Paker 2000).

생식소 발달단계에서 각 단계별로 긴 기간동안 일부의 이상개체가 나타나는 것은 시료의 부족으로 단정하기는 어려우나 연령에 따른 것으로 추측되며 생식주기는 연평균 수온이나 서식지의 해황의 변동에 따라 약간의 차이는 있을 것으로 사료된다.

Booolootian *et al.* (1962)은 연체동물의 산란습성을 연중 산란하는 종(year-around breeder), 늦봄과 이른 가을 사이에 산란하는 하계 산란종(summer breeder), 늦가을과 다음해 이른봄 사이에 산란하는 동계 산란종(winter breeder)으로 보고하였으며 본 연구에서의 살조개는 이들 3가지의 categories 중에서 일련의 생식년주기를 가지는 하계 산란종(summer breeder)으로 판단된다.

따라서, 새로운 양식대상종으로 개발 가능성이 높은 살조개의 종 보존 및 자원증식을 위해 본 연구 결과를 기초로 하여 산란 유발, 유생사육 실험 등을 통한 인공종묘생산을 위한 연구가 선결되어야 할 것으로 사료된다.

## 적 요

한국산 살조개(*Protothaca jedoensis*)의 새로운 산업화 양식품종으로 개발하기 위한 기초자료를 얻기 위하여 1998년 9월부터 1999년 8월까지 주로 조직학적 방법에 의해 생식소의 발달과정과 생식주기를 조사하였다.

살조개는 자웅이체로서, 생식소는 해부학적으로 소화맹낭과 족부근육 사이에 위치하였다. 난소와 정소는 각각 난자형성소낭과 정자형성소낭으로 구성되어 있었다. 비만도는 2월에 20.6로 가장 높았으며 8월에 최소값(9.6)을 보였다. 군성숙도의 경우, 생물학적 최소형은 각각 38.4 mm로 나타났다. 성숙한 난모세포의 크기는 50~60  $\mu\text{m}$ 였으며, 성숙기의 정소에서 정소관이 관찰되었다. 살조개의 생식주기는 초기 활성화기(12~2월), 후기 활성화기(1~4월), 완숙기(3~7월), 부분 산란기(6~8월), 퇴화 및 비활성기(7~1월)의 연속적인 5단계로 구분되었다.

## 참 고 문 헌

김안영. 1969. 개조개 *Saxidomus purpuratus* (Sowerby)의 생식세포형성 및 생식시기에 관한 연구. 부산수대 임연보. 2:27-36.

- 김안영. 1971. 개조개 *Saxidomus purpuratus* (Sowerby)의 증식에 관한 생태학적 연구. 한국수산학회지. 4(3, 4):92-98.
- 김용호. 1978. 바지락의 형태변이에 관한 연구. 군산수전연보. 12(2):23-26.
- 김충만. 1973. 바지락의 성장에 따른 형태변이에 대하여. 여수수전논문집. 7(2):3-8.
- 신윤경, 김 윤, 정의영, 허성범. 2000. 바지락(*Ruditapes philippinarum*)의 온도 및 염분 내성. 한국수산학회지. 33(3): 213-218.
- 이용한. 1995. 산지별 바지락, *Ruditapes philippinarum* 치패의 성장과 성숙. 부산수대 석사학위논문. 51 pp.
- 이정용. 1994. 북방대합, *Spisula sachalinensis*의 생식주기와 산란유발. 부산수대 석사학위논문. 47 pp.
- 이주하. 1980. 소라, *Turbo Solanderdm*의 生殖細胞形成過程 및 生殖週期에 關한 組織學的인 研究. 한국수산학회지. 13(4):125-134.
- 이택열. 1974. 전복류의 생식세포 형성과정 및 생식주기. 부산수대 임연보. 7:21-50.
- 이택열. 1972. 진주조개 *Pinctada martensii* (DÜNKER)의 生殖細胞 形成 및 發達에 關하여. 부산수대 임연보. 5: 21-30.
- 이택열, 정의영. 1980. 남방재첩, *Corbicula fluminea*의 生殖週期. 부산수대임연보. 12:47-54.
- 원문성. 1994. 바지락의 種苗生産과 養殖場環境이 生産性에 미치는 影響. 부산수대 박사학위논문. 220 pp.
- 유성규. 1989. 천해양식. 새로출판사. 283 pp.
- 정의영. 1980. 淡水産 眞珠貝 蜆조개 *Anodonta* (*Sinanodonta*) *woodiana* (Lea)의 生殖週期 및 妊卵期. 한국수산학회지. 10(6):563-574.
- 정의영, 김형배, 이택열. 1986. 맛조개, *Solen strictus*와 붉은맛, *Solen gordonsis*의 生殖年週期. 한국수산학회지. 19(6):563-574.
- 정의영, 오영남. 1990. 내초도산 가무락, *Cyclina sinensis*의 성숙수에 관한 연구. 군산대학 자연과학연구. 5:243-253.
- 정춘구. 1994. 참담치, *Mytilus coruscus* (Gould)의 생식주기와 유생사육. 부산수대 석사학위논문. 39 pp.
- 최 상. 1965. 바지락 패각의 형태변이와 바지락의 장형, 단형의 형태적 특성에 대하여. 한국동물학회지. 8(1):1-7.
- 최기철. 1971. 대합과 가무락의 종묘생산을 종묘생산을 위한 생태적 연구. 한국육수학회지. 4(1, 2):1-10.
- 최신석, 송용규. 1973. 가무락, *Cyclina sinensis*의 인공수정 및 발생에 관한 연구. 한국수산학회지. 6(1, 2):76-80.
- 최신석. 1975. 대합, *Meretrix lusoria*과 가무락, *Cyclina sinensis*의 초기발생 및 성장에 관한 비교연구. 한국수산학회지. 8(3):185-195.
- Booolootian RA, A Farmanfarmaina and AC Giese. 1962. On the reproductive cycle and breeding habits of two western species of *Haliotis*. Biol. 122(2):183-192.
- Chang YJ and TJ Lee. 1982. Gametogenesis and reproduc-

- tive cycle of the cockle, *Fulvia mutica* (Reeve). Bull. Korean Fish. Soc. 15(3):241-253.
- Chung EY and DK Ryou. 1994. Gonadal development, age and growth of the Shortnecked clam, *Ruditapes philippinarum* (Pelecypoda: Veneridae), on the coast of Kimje, Korea J. Malacol. 1091:1479-1482.
- Chung EY, SY Kim and TY Lee. 1988. A study on sexual maturation of *Macra veneriformis* Reeve. Korean J. Malacol. Vol. 4(1):30-40.
- Ewart JW, MR Carriker JR, Villalaz JA and Gomez L D'Cruz. 1988. Gametogenic development of the venerid clam *Protothaca asperrima* in the Bay of Panama. J. Shellfish Res. 7(1):118.
- Macki GL. 1984. The mollusca. 7(5):351-417.
- Matos E, P Matos, G Casal and C Azevedo. 1997. Ultrastructure of the spermatozoon of *Protothaca pectorina* Lamarck (Mollusca: Bivalvia) of the North littoral of Brazil Rev. Bras. Zool. 14(4):779-783.
- Paker MS. 2000. Population genetics of *Protothaca jedoensis* and *Nacoma balthica* in Puget Sound. WA J. Shellfish. RES. 19(1):686-705.
- Pearse JS. 1965. Reproductive periodicties in several contrasting populations of *Odontaster validis* (Koehler), a common Antarctic asteroid. Biology of the antarctic Seas. 2:39-85.
- Pizarro JF and RA Cruz. 1987. Reproductive cycle of the clam *Protothaca grata* (Pelecypoda: Veneridae). Brenesia. San Jose. 27:23-24.
- Sasaki K. 1981. Growth of the Sakhalin surf clam, *Spisula sachalinensis* (Schrenck), in Sendai Bay. Tohoku J. Agri. Res. 33:168-180.
- 高橋延昭, 高野和則. 1970. ウバカイの生殖週期にする組織学的研究-I. 精巢の季節的變化. 日本水産學會誌. 36(4).
- 高良夫. 1957. アサリ生殖巣について二・三の組織学的觀察. 日本水産學會誌. 23:394-399.
- 隆島史夫, 羽生功. 1989. 水族繁殖學. 緑書房, 東京. 335 pp.
- 安田治三郎, 浜井生三, 堀田秀之. 1945. アサリの産卵期について. 日本水産學會誌. 20(4):277-279.
- 鳥羽光晴, 夏目洋, 山川絃. 1993. 東京灣船橋地先におけるアサリの生殖期. 日本水産學會誌. 59(1):15-22.
- 鳥羽光晴. 1989. あさりの水槽飼育での性成熟過程における攝餌量の重要性. 日本水産増殖. 37(1):63-69.
- 鳥羽光晴, 深山義文. 1991. 飼育アサリの性成熟過程と産卵誘發. 日本水産學會誌. 57(7): 1269-1275.

(Received 5 July 2002, accepted 9 August 2002)