

## 한국 서해안 해삼, *Stichopus japonicus*의 생식주기에 관한 조직학적 연구

박광재\*, 박영제, 김수경, 최상덕<sup>1</sup>, 김용구<sup>1</sup>, 최낙현<sup>1</sup>  
국립수산과학원 서해수산연구소, <sup>1</sup>전남대학교 양식학과

### Histological Study on the Reproductive Cycle of *Stichopus japonicus* in the West Coast of Korea

Kwang-Jae Park\*, Young-Je Park, Su-Kyoung Kim, Sang-Duck Choi<sup>1</sup>, Yong-Gu Kim<sup>1</sup> and Nak-Hyun Choi<sup>1</sup>  
West Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and Development Institute, Incheon 400-420, Korea  
<sup>1</sup>Department of Aquaculture, Chonnam National University, Yeosu 550-749, Korea

Resources of the sea cucumber, *Stichopus japonicus* in the west coast of Korea are decreasing sharply due to overfishing and severe marine pollutions. Artificial seed production and release of this species need to be conducted to maintain sea cucumber stock in the region. In this study, to provide basic information for such works, reproductive cycle of sea cucumber collected from Anmyondo in the region was histologically studied for a year from October 2004 to September 2005. This species was dioecious, and its gonads was composed of a number of gametogenic follicles. The gonadosomatic index (GSI) was reached the maximum in June (7.91), and the minimum in October (0.42). The main spawning occurs between June and August. The reproductive cycle of the sea cucumber could be divided into five stages: multiplicative stage (January to March), growing stage (March to April), mature stage (April to July), spawning

**Keywords:** Sea cucumber, *Stichopus japonicus*, Reproductive cycle, Gonadosomatic index (GSI)

## 서 론

해삼(*Stichopus japonicus*)은 순수목(Aspidochirotida), 돌기해삼과(Stichopodidae), 돌기해삼속(*Stichopus*)에 속하며, 전 세계적으로 약 1,500종이 분포하는 것으로 알려져 있다. 해삼은 오래 전부터 수산식품으로서 식생활에 중요한 위치를 차지하고 있으며, 우리나라의 전 연안에서 연중 어획되고 있지만 연안어장의 환경오염과 해안매립 등으로 인하여 산란장과 서식처가 점차 축소되고 있어(Lee and Park, 1999), 인공종묘생산에 의한 자원의 조성 및 양식의 필요성이 요구되고 있는 유용 수산물이다. 해삼의 자원조성과 방류 채포식 양식을 위해서는 자연산 어린 해삼을 수집하거나 인공종묘생산에 의한 어린 해삼의 확보가 선행되어야 하며, 종묘생산의 적정시기를 예측하기 위하여는 산란기의 파악이 필수적이다.

해삼에 관한 연구로는 일본의 경우 형태, 생태 및 양식 등에 관한 종합적인 연구(崔, 1963)와 해삼의 채란법에 대한 연구(石田, 1979) 등이 보고되었으나, 우리나라에서는 Lee and Park

(1999)의 해삼 유생의 성장과 생존에 미치는 먹이 및 수온밀도의 영향에 관한 연구결과가 있을 뿐 산란기 조사를 위한 연구는 이루어진 바 없다.

따라서 본 연구는 해삼의 자원증대를 위한 기초자료를 얻고자, 생식소의 조직학적 변화와 생식주기를 조사하였다.

## 재료 및 방법

서해안 안면도 근해에서 어획되는 해삼을 대상으로 2004년 10월부터 2005년 9월까지 해너 나잠을 통해 매일 60마리씩 채포하였다. 이때 실험에 사용한 해삼의 크기는 평균 전장 9.1~19.0 cm, 평균 체중 57.7~196.4 g이었다(Fig. 1). 채집된 해삼은 총중량, 생식소 중량을 전자저울로 0.1 g 단위까지 측정하였고, 이 후 다음 식에 의하여 생식소 중량지수를 구하였다.

Gonadosomatic index = Gonad Weight (g) × 100 / Body Weight (g)

## 환경조사

해삼 서식해역에서 해삼의 성숙에 영향을 미칠 수 있을 것으로 생각되는 물리적 환경을 파악하기 위하여 DO meter (YSI model

\*Corresponding author: kjpark@nfrdi.re.kr

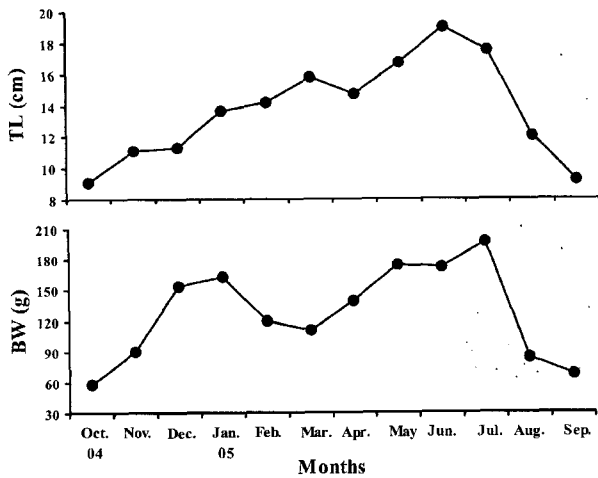


Fig. 1. Monthly body size of wild sea cucumber, *Stichopus japonicus* in this experiment (N=60).

85, USA)를 사용하여 해삼의 체집 수층인 5 m 수심의 수온과 염분도를 측정하였다.

**생식세포 형성과정**

생식소 발달에 따른 조직학적 변화를 관찰하기 위하여 생식소 부위를 5~8 mm 크기로 절단하여 Bouin 용액에 24시간 고정 한 다음, paraffin 상법으로 5~6 μm 두께의 조직절편을 제작하였다. 표본은 Harris haematoxylin과 0.5% eosin으로 염색한 후, 광학현미경(GALEN, TA-120)으로 관찰하였다.

**생식주기**

생식소의 조직학적 발달단계는 암·수 각각 분열증식기 (multiplicative stage), 성장기(growing stage), 성숙기(mature stage), 산란기(spawning stage), 퇴화 및 휴지기(degenerative and resting stage)의 연속적인 5단계로 구분하였다.

**결 과**

**환경요인**

2004년 10월부터 2005년 9월까지 수온과 염분도의 월 변화는 Fig. 2와 같다. 안면도 연안의 월 평균 수온은 2005년 2월에 3.3°C로 가장 낮았으며, 8월에 23.1°C로 가장 높았다. 염분도는 2005년 1월에 31.4 psu로 가장 높았으며, 6월에 29.7 psu로 가장 낮았다.

**생식소중량지수(GSI)**

2004년 10월부터 2005년 9월까지 서해안 안면도 연안에서 채집된 해삼 암·수 각각의 체장 및 체중의 월 변화에서 주 산란기에는 큰 개체가 출현하였는데, 이는 해삼의 주 성장시기가 4~6월이기 때문으로 특히 5월과 6월에는 생식소가 가득 차 있었다. 한편, 해삼 암·수 각각의 생식소중량지수의 월 변화를 보면,

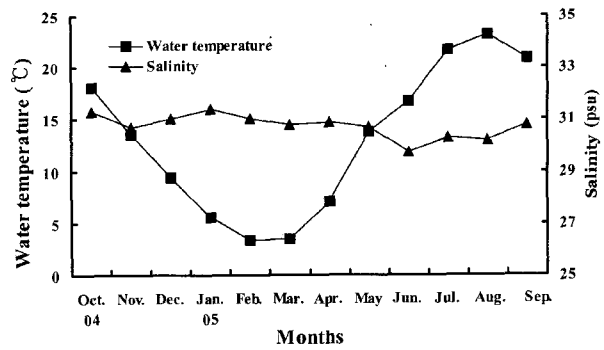


Fig. 2. Monthly variations of water temperature and salinity at the sampling area.

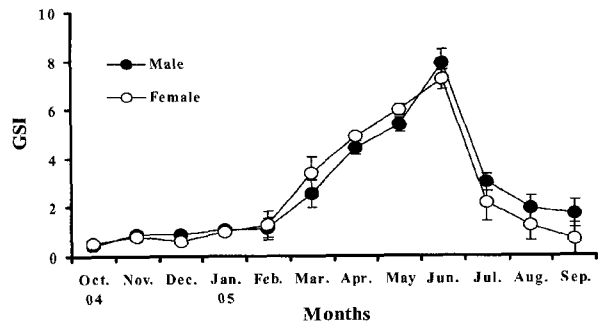


Fig. 3. Monthly changes of gonadosomatic index (GSI) in *Stichopus japonicus*. Vertical bar: SD.

해삼 암컷의 GSI는 1월과 2월에 0.975±0.086, 1.129±0.359로 비슷하였으며, 3월부터 급속하게 상승하여 6월에 7.216±0.539로 연중 가장 높은 값을 보였다. 7월에는 2.140±0.359로 감소하기 시작하여 10월에는 0.531±0.096로 가장 낮은 값을 보였다(Fig. 3). 수컷의 GSI는 암컷의 GSI와 비슷하게 나타났는데, 6월에 7.910±0.392로 연중 가장 높은 값을 보였으며 10월에 0.429±0.047로 가장 낮은 값을 보였다.

**생식소의 조직학적 변화**

생식소의 변화를 조직학적 방법으로 조사하여 다음과 같은 일련의 과정으로 구분하였다.

1) 난 소

해삼 난소의 조직학적 변화를 보면, 분열증식기의 난소는 소낭들이 뚜렷하게 형태를 이루었으며, 소낭의 생식상피에는 난원세포들이 분열증식하였다. 난원세포는 인이 뚜렷한 둥근 핵을 가지고 있었으나, 세포질은 매우 빈약하였다(Fig. 4A). 성장기의 난소는 소낭의 생식상피에서 분열증식 중이던 난원세포들은 차츰 그 세포질이 커지고 내강쪽으로 성장하기 시작하였으며, 계속 성장하게 되면 타원형의 서양배 모양을 하게 되어 한쪽 끝이 가늘고 긴 난병을 형성하며 발달하였다. 이후 난병이 소실되고 난모세포는 생식상피로부터 유리되어 차츰 원형으로 되면서 중

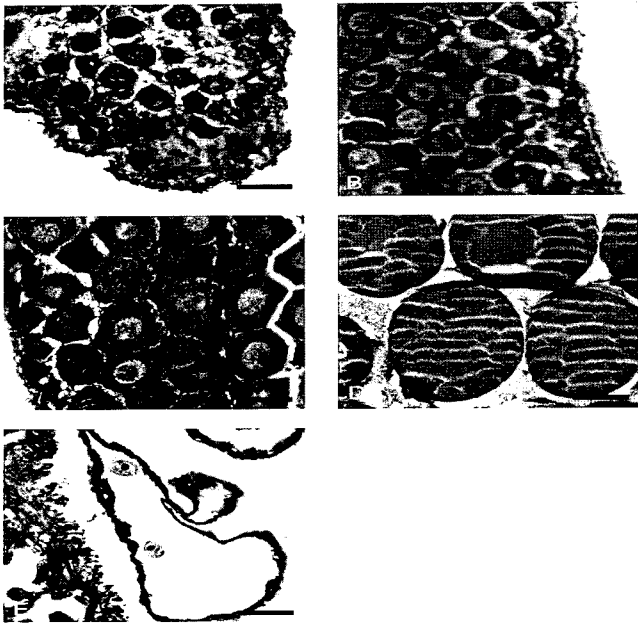


Fig. 4. Histological identification of internal morphology and developmental phases of ovary in *Stichopus japonicus*. Scale bar: 100  $\mu$ m. A: multiplicative stage, B: growing stage, C: mature stage, D: spawning stage, E: degenerative and resting stage.

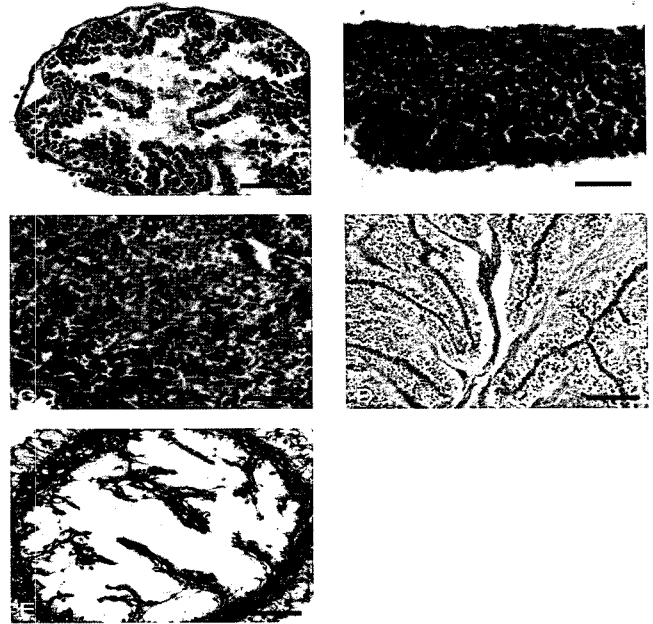


Fig. 5. Histological identification of internal morphology and developmental phases of testis in *Stichopus japonicus*. Scale bar: 50  $\mu$ m. A: multiplicative stage, B: growing stage, C: mature stage, D: spawning stage, E: degenerative and resting stage.

양 내장으로 분리되었다(Fig. 4B).

성숙기의 난소내의 각 소낭에는 유리된 성숙한 난모세포들로 가득 채워져 있었으며, 조직학적 상태는 원형이었다. 완전히 성숙한 난모세포는 세포질에 충분한 난황을 축적하였으며, 커다란 배포상이 핵을 포함하고 있었으며, 핵막 부근에 큰 인이 존재하였다(Fig. 4C). 산란기의 난소는 성숙한 난모세포가 체외로 방출하였고, 이로 인하여 난소 소낭의 중앙부는 비어 있었으며, 소낭에는 미방출된 난모세포들도 존재하였다(Fig. 4D). 퇴화 및 휴지기의 난소는 난이 방출되어 위축되었고, 미방출된 난모세포들은 점점 염색성이 소실되면서 퇴화, 흡수하는 현상들이 나타났으며, 그 수는 점차 감소하였다(Fig. 4E).

2) 정 소

해삼 정소의 조직학적 변화를 보면, 분열증식기의 정소는 소화맹낭에 인접하여 많은 정소세관이 발달하였으며 이들 정소세관 상피는 섬유성 결합조직으로 이루어져 있다. 정소세관은 두터운 생식상피로 이루어졌으며, 생식상피를 따라 미분화 간충직과 호산성 과립세포들 사이에 정원세포가 활발히 분열증식하였다. 초기 정원세포의 핵은 난원세포에 비해 핵상이 뚜렷하지 못하고, 핵 내에 망상구조가 보다 불규칙하고 염색질이 과립 또는 괴상으로 나타났다(Fig. 5A).

성장기의 정소는 분열증식을 마친 정원세포가 제 1차 성숙분열을 거쳐 정모세포로 발달하는 성장기를 나타내었다. 성장기 정소세관은 정원세포의 수가 감소하고 정모세포, 정세포가 증가하였으며, 이들은 충상구조를 나타내었다(Fig. 5B). 성숙기의 정소에서는 성숙분열을 마친 정세포가 생식상피 주변에 위치하였고,

성숙·변태한 정자는 강한 염기성을 나타내며 머리를 생식상피로 향하여 정소세관의 내부를 가득 채웠다(Fig. 5C). 산란기의 정소는 이후 정자들이 세관 내에서 배열상이 흩어지며 체외로 방출되었으며, 이로 인하여 세관의 일부는 비어 있었고, 방정이 일어난 정소의 세관은 점점 위축되었고 형태가 변화되었다(Fig. 5D). 퇴화 및 휴지기의 정소 내 방출되지 않은 잔존 정자는 퇴화·흡수되고, 일정기간 조직의 변화없이 유지되는 휴지기를 나타내었다(Fig. 5E).

생식주기

조직학적으로 조사된 생식세포 형성과정 및 GSI를 종합하여 이들의 생식주기를 분열증식기, 성장기, 성숙기, 방출기, 퇴화 및 휴지기 등의 연속적인 단계로 구별하였다.

해삼은 생식소의 발달단계를 보면 분열증식기는 1~3월까지 관찰되었으며 그 중에서도 2월에 출현빈도가 암·수 모두 100%로 가장 높았다. 성장기는 3~4월까지 관찰되었으며, 성숙기는 4~7월까지 출현하였고, 주성숙기인 5월에는 암·수 모두 100%로 높은 출현빈도를 보였다(Fig. 6). 방출기는 6~8월에 관찰되었으며, 특히 7월에 암·수 각각 87.31%, 86.67%로 출현빈도가 가장 높았고, 일부 퇴화 및 휴지기의 개체도 출현하였다. 퇴화 및 휴지기는 8월부터 다음해 1월까지 장기간 지속되었다. 암컷과 수컷의 발달단계는 비슷한 양상을 나타내었으나 4월에 성숙개체의 비율이 암·수 각각 67.35%, 71.43%로 암컷보다 수컷의 성숙이 빠르게 진행되고 있음을 알 수 있었다.

이상의 결과에 따라 해삼의 생식주기를 종합하면 분열증식기

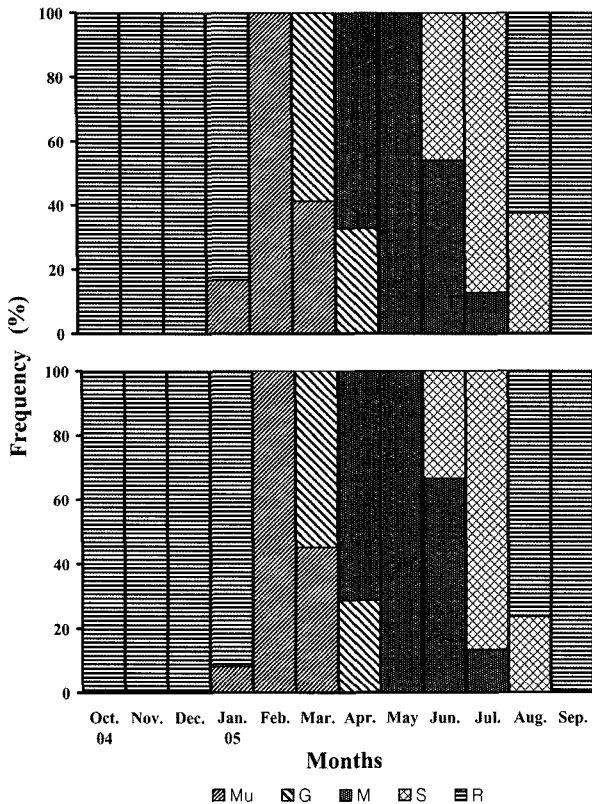


Fig. 6. Monthly frequency in gonadal development stage of *Stichopus japonicus*. Upper: Female, Lower: Male. Mu: multiplicative stage, G: growing stage, M: mature stage, S: spawning stage, R: degenerative and resting stage.

는 1~3월, 성장기는 3~4월, 성숙기는 4~7월, 방출기는 6~8월, 퇴화 및 휴지기는 8~1월인 것으로 판단된다.

### 고찰

해삼의 생식소는 구부석회환의 바로 뒤쪽에 발달하고, 몸의 맨 끝 바로 앞의 등 부분 정중선상에 있는 생식공에 이어져 있다. 생식소가 발달하면 근원에서부터 수십개로 분지되어서, 흡사 나뭇가지 모양 된다(유, 1998). 해삼은 외관상으로는 암·수의 구별을 할 수 없고 복부를 절개하여 생식소의 색으로 구분할 수 있는데, 정소는 유백색이고 난소는 선명한 홍색을 띠어 완전히 구분된다.

Brousseau(1995)는 배우자 방출의 제 1차극 요인은 수온이라고 보고하고 있다. 본 연구에서 해삼의 생식소를 조직학적으로 조사한 결과, 수온이 낮은 1월부터 난모세포의 분열중식이 관찰되었으며, 수온이 상승하는 3월부터 난모세포의 성장이 빨라짐으로써 해삼의 성숙을 조절하는 환경요인으로 수온이 가장 큰 영향임을 알 수 있었다.

산란시기는 생식전략과 지리적 위치에 따라 다르게 나타나며 (Chung et al., 1998), 산란시기에 따라 늦가을부터 다음해 봄 사

이에 산란하는 동계산란종(Winter breeders), 늦봄부터 이른 가을 사이에 걸쳐 산란하는 하계산란종(Summer breeders), 연중 산란하는 연중산란종(Year-round breeders)으로 구분되며 (Booolootian et al., 1962), 산란횟수도 연중 1회 산란하는 종(Kim and Yoo, 2001; Lee, 2001), 2회 산란하는 종(Kim et al., 1999; Lee, 1999) 및 3회 산란하는 종(Sarasquete et al., 1990) 등 다양한 것으로 알려져 있다. 해삼의 산란시기는 조사년도에 따라 수온 등의 해황이 다를 가능성이 있어 단정짓기는 어렵지만 조사해역에서는 다른 환경요인들은 연주기성을 보이지 않았으며, 수온에서의 계절적 변화가 인정됨으로써, 수온이 해삼의 배우자 형성 과정과 산란시기 결정에 밀접한 관련이 있는 것으로 추정된다. 조직학적으로 관찰한 결과, 16°C 이상의 수온이 유지되는 6~8월 사이에 방란·방정을 하는 것으로 보아 이들은 하계산란종이며 연중 1회의 산란기 이후 고수온기에 하면을 하는 것으로 생각된다.

해삼은 수온이 높은 시기에는 먹이를 거의 섭취하지 않거나 섭취한다 하더라도 그 양이 적어 소화관이 퇴화하며, 수온이 25°C 이상 되는 시기에 특히 소화관이 작아져 최소로 되는데 이 때가 하면기이다(유, 1998). 본 조사 지역의 경우 수온 25°C 이하인 8~10월에 해삼이 돌 틈 사이 등으로 잠입하여 하면하기 때문에 채집하는데 어려움을 겪었으며, 이 때 개체의 크기와 중량이 크게 축소되었다. 따라서 해삼의 하면 방지를 위한 최적온도 구명 및 생체 내분비계의 지속적 연구로 하면기의 성장을 유도할 경우 산업적 활용가치가 매우 커질 것으로 여겨진다.

일반적으로 해산 무척추동물의 생식소 발달과 생식주기는 내부적인 요인인 연령과 월령에 의한 내분비리듬, 그리고 외부 환경요인인 수온, 빛, 염분 및 먹이의 풍부도 등에 의하여 조절된다(Giese, 1959). 해산 무척추동물에서 생식세포 형성과정에 영향을 주는 내적조절계는 환형동물의 다모류, 빈모류 등을 포함하여 연체동물의 두족류 등에서 비교적 잘 알려져 있고, 패류와 복족류에 대해서도 일부 보고되어 있으나(Euler and Heller, 1963), 해삼의 생식세포 형성과정에 작용하는 내적조절계는 알려진 바가 거의 없다. 또한, 산란기 전의 각종량 값이 높고 산란기 후 각종량 값이 낮아지는 경향을 보였는데 이는 먹이가 풍부한 시기 동안 체벽에 에너지를 저장하여 대사유지 및 생식소 형성에 주요한 역할을 하는 것으로 여겨진다. 따라서 생식세포 형성과정에 작용하는 내적 조절계에 대한 다각적인 연구가 선결되어야 할 것으로 사료되며, 차후 먹이의 종류, 선호도 그리고 계절별 생리적 변화와 관련시켜 연구를 수행할 필요가 있을 것으로 사료된다.

### 요약

2004년 10월부터 2005년 9월까지 서해안 안면도 해역에서 채집한 해삼(*Stichopus japonicus*)의 생식소 발달과 생식주기에 관하여 조직학적 방법을 이용하여 조사하였다. 해삼은 자웅이체이며, 생식소는 암·수 모두 다수의 배우자형성소낭으로 이루어져 있었다. 생식소지수(GSI)는 암·수 모두 각각 6월(7.91, 7.21)에

가장 높았으며, 10월(0.42, 0.53)에 가장 낮았다. 서해안 해삼의 주 산란기는 6~8월이며, 생식주기는 분열증식기(1~3월), 성장기(3~4월), 성숙기(4~7월), 산란기(6~8월) 및 퇴화 및 휴지기(8~1월)로 구분할 수 있었다.

### 감사의 글

본 연구는 2003년부터 2006년까지 해양수산부 수산특정연구 개발 과제에 의해 수행된 결과로 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

- Booolootian, R. A., A. Farmanfarmaina and A. C. Giese, 1962. On the reproductive cycle and breeding habits of two western species of *Haliotis*. Biol. Bull., 122, 183-192.
- Brousseau, D. J., 1995. Gametogenesis and spawning in intertidal oysters (*Crassostrea virginica*) from western Long Island Sound. J. Shellfish Research, 14, 483-487.
- Chung, E. Y., G. M. Park and B. S. Kim, 1998. Ultrastructure of germ cell development and sexual maturation of the short-necked clam, *Ruditapes philippinarum* (Bivalvia: Veneridae), on the west coast of Korea. The Yellow Sea, 4, 17-29.
- Euler, U. S. von and H. Heller, 1963. Comparative endocrinology. II. Academic Press, New York and London, 282 pp.
- Giese, A. C., 1959. Comparative physiology; Annual reproductive cycle of marine invertebrate. Ann. Rev. Physiol., 21, 547-576.
- Kim, J. H. and M. S. Yoo, 2001. Annual reproductive cycle of the soft clam, *Mya arenaria*. J. Kor. Fish. Soc., 34, 656-660.
- Kim, D. H., H. K. Lim., Y. J. Chang and T. I. Kim. 1999. Reproductive cycle of surf clam (*Tresus keenae*) in southern coast of Korea. J. Kor. Fish. Soc., 32, 659-663.
- Lee, C. S. and Y. J. Park, 1999. Influence of food and density on the growth and survival of sea cucumber, *Stichopus japonicus*. J. Aquaculture, 12, 39-45.
- Lee, J. H., 1999. Histological study on the reproductive cycle of *Potamocarbula amurensis* (Bivalvia: Carbulidae). J. Kor. Fish. Soc., 32, 629-636.
- Lee, J. H., 2001. Gonadal development and reproductive cycle of the top shell, *Omphalius rusticus* (Gastropoda: Trochidae). Kor. J. Biol. Sci., 5, 37-44.
- Sarasquete, M. C., S. Gimeno and M. L. Gonzalez de Canales, 1990. Cycle reproducteur de la palourde *Ruditapes philippinarum* (Adams and Reeve, 1850) de la cote sud ouest atlantique (Espagne) Rev. Int. Oceanogr. Med., LXXXXXVII, 90-99.
- 유성규, 1998. 천해양식. 제4절 해삼. 구덕출판사, 부산, pp. 362-369.
- 崔相, 1963. 나마코의 연구. 海文堂, 東京, pp. 57-60.
- 石田雅俊, 1979. 나마코의 種苗生産. 栽培技研, 8, 63-75.

원고접수 : 2006년 9월 11일

수정본 수리 : 2006년 10월 23일