

한국산 개불, *Urechis unicinctus* (von Drasche)의 생식주기

최상덕 · 김호진* · 이원교 · 곽은주 · 윤호섭 · 라성주 · 이인곤**

여수대학교 양식학과
*전라남도수산시험연구소
**전라남도 해양수산국

Reproductive Cycle of the Echiuroid Worm *Urechis unicinctus* (von Drasche) in Southern Korea

Sang Duk Choi, Ho Jin Kim*, Won Kyo Lee, Eun Ju Kwak,
Ho Seop Yoon, Sung Ju Rha and In Gon Lee

Department of Aquaculture, Yosu National University, Yosu 550-749, Korea

*Aquaculture Division, Chunnam Fisheries Research Institute, Shinan 535-800, Korea

**Division of Marine Resources, Chunnam Provincial Government, Kwangju 501-702, Korea

Reproductive cycle of *U. unicinctus* was studied from September 1998 to August 1999, using gonadosomatic index (GSI) as an indicator. In November, the GSI values were maximum for male (6.2) and female (7.0), respectively; the values were lowest for them (1.0 and 0.5) during the successive February. Subsequently, they rapidly increased and attained peak by March-April. The values decreased again in both sexes and remained unchanged until August. The index increased in October to attain the peak by November. The GSI values clearly indicated that there are two spawning events in a year, namely the first one during April-May and the second one in December.

Reproductive cycle was classified into the following successive stages: in female, multiplication (January~February, June~September), maturation (March~April, November), spent (May and December), degeneration and resting (June and January), and in male, multiplication (January~February, June~September), maturation (March~April, October~November), spent (May and December) and degeneration and resting (January and June). Histological observations revealed that oocytes in the ovary matured simultaneously in November and March. At the same time, the envelopes of matured testis became thinner than those in the early stage.

Key words: Reproductive cycle, Gonado-somatic index, Echiuran, *Urechis unicinctus*

서 론

한국산 개불, *Urechis unicinctus* (von Drasche)는 Urechidae과에 속하는 잠입성 저서동물로서 부드럽고, 붉은 체표를 가지고 균집을 이루는 것이 특징이며 우리나라 중부 이남의 해저갯벌에 서식(椎野, 1969; Choi et al., 1999)하며 식용으로 기호되고 있다.

개불은 해삼, *Stichopus japonicus*과 우렁쟁이, *Halocynthia roretzi* 등의 유용 무척추동물과 함께 경제성이 높은 어종이나 최근 연안해역의 오염과 남획으로 인하여 자원량이 격감하는 추세이다. 개불류에 관한 연구로는 난발생에 미치는 온도의 영향(Choi et al., 1998), 부유유생의 착저에 관한 연구(Suer and Phillips, 1983)를 비롯하여 개불의 난발생에 미치는 pH와 염분의 영향(Choi et al., 1999) 등이 있다.

본 연구는 해양수산부 수산특정연구과제 지원에 의하여 수행되었음.

또한, 개불류의 생식에 관한 연구는 *Themiste lageniformis*의 생식생리와 발생(Pilger, 1997)을 비롯하여 *Urechis caupo*의 수정반응에 따른 미세구조적 연구(Gould and Holland, 1975) 결과들이 부분적으로 보고되었으나, 국내에서는 종묘생산에 기초 자료로 이용할 수 있는 생식생리 및 생태에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다. 생식 생물학적인 면에서 생식주기에 관한 연구는 종의 보전 및 자원증식을 위한 기본적인 연구과제이다.

따라서, 본 연구에서는 한국산 개불, *U. uncinatus*의 종묘 생산 기술을 확립하는 데 이용할 수 있는 암·수 생식세포 형성과정을 조직학적으로 조사하여 생식소 변화양상을 파악하고 산란시기를 명확히 밝히고자 하였다.

재료 및 방법

생식주기를 밝히기 위하여 전남 여수 연안에서 1998년 9월부터 1999년 8월까지 개불, *Urechis uncinatus*를 채집하여 실험에 사용하였다. 매월 20마리씩 채집한 개체들은 즉시 실험실로 옮겨 Arp et al.(1992)의 방법에 준하여 체장, 체폭 그리고 체중을 0.1cm, 0.01g까지 계측하고, 곧 해부하여 생식소를 적출하였으며 생식소 중량을 0.01g까지 계측하였다. 생식소중량지수(gonadosomatic index: GSI)는 생식소 중량(GW) 및 체중(BW)으로 부터 아래의 공식에 준하여 산출하였다.

$$GSI = (GW \cdot 10^2) / BW$$

조직학적인 관찰을 위해 시료를 즉시 Bouin's solution에 고정한 후, 상법인 Paraffin 절편법에 의해 5~7 μ m의 두께로 연속 절편하여 Delafield's haematoxylin과 eosin으로 이중염색을 시켜 조직 표본을 제작하고, 광학현미경하에서 생식소의 발달양상을 조사하였다. 그리고 난경은 광학현미경하에서의 마이크로 메타를 이용하여 장경과 단경을 계측한 평균값을 사용하였다.

결 과

1. GSI의 월 변화

1998년 9월부터 1999년 8월까지 조사된 암·수 각각의 GSI의 월 변화는 Fig. 2에서 보는 바와 같다. 조사된 암·수 각각의 체장 및 체중의 월 변화는 Fig. 3과 4에서 보는 바와 같이 주 어획시기(10~4월)에 큰 개체가 출현하였다

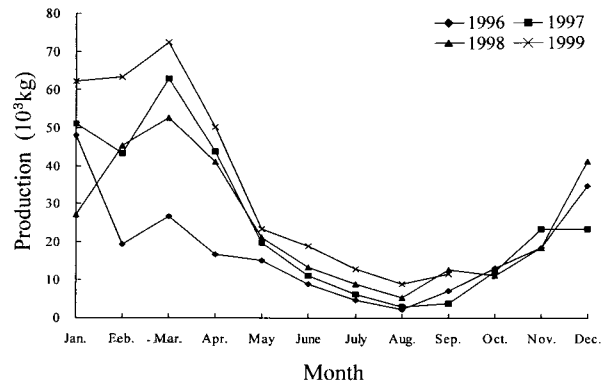


Fig. 1. Monthly production of *Urechis uncinatus* from 1996 to 1999 in Korea.

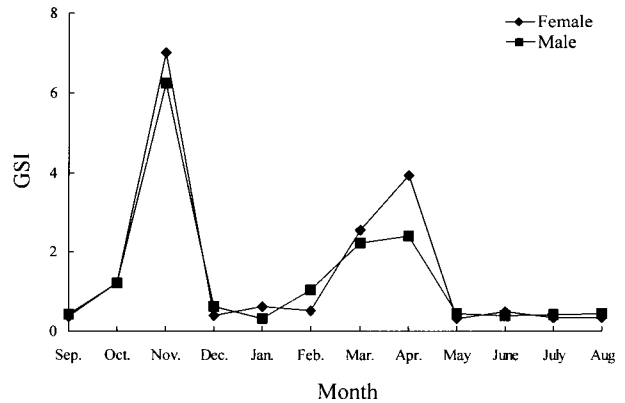


Fig. 2. Monthly change of the gonadosomatic index (GSI) in *Urechis uncinatus*.

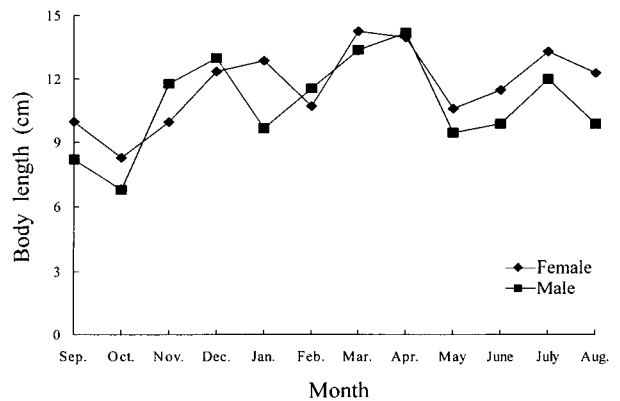


Fig. 3. Monthly change of body length of *Urechis uncinatus*.

(Fig. 1). 특히, 11월과 4월에는 생식소가 가득 차 있어 연중 가장 높은 값을 보였다.

1998년 9월 GSI는 암·수 각각 0.37 및 0.43이었으며 10월에는 암1.21, 수1.04로 다소 큰 폭으로 증가하기 시작하

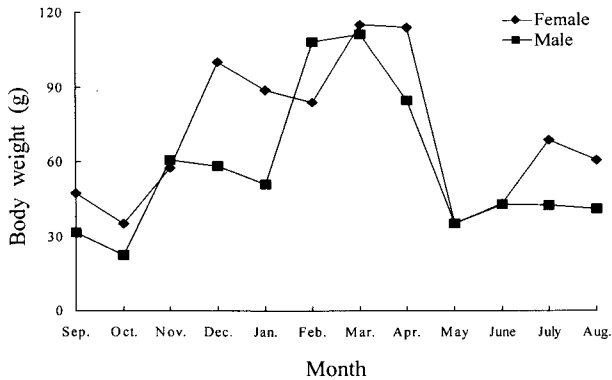


Fig. 4. Monthly change of body weight of *Urechis unicinctus*.

여 11월에는 암, 수 각각 7.01, 6.24로 연중 최고 값을 나타내었다. 이후 12월과 1월을 지나면서 급격히 감소하였으나, 2월에는 암, 수 각각 0.52, 1.04로 서서히 증가하기 시작하여 3월과 4월에 다시 암·수 모두 2.22이상의 높은 값을 유지하였다. 암·수 각각의 GSI는 5월에 크게 감소하여 암컷은 0.31, 수컷은 0.44로 연중 최저 값을 나타냈고 6월부터 하계인 8월까지 유의한 변화는 보이지 않았다.

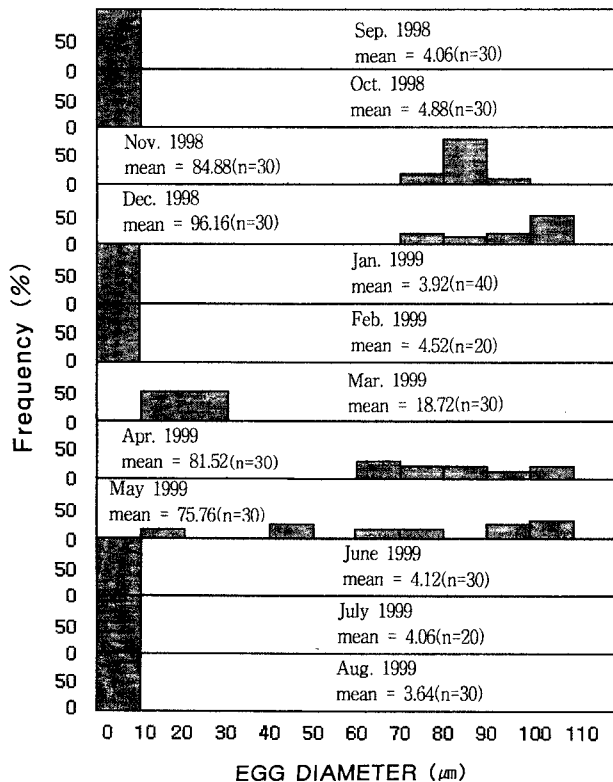


Fig. 5. Monthly change of egg size composition of *Urechis unicinctus*.

2. 생식소 조직상

1) 난소

개불의 난소는 2쌍의 원추형으로 각각의 내벽에는 주로 난원세포와 염색인기 단계의 초기 난모세포가 관찰된다(Fig. 6A). 생식소 내벽에 산재해 있는 난원세포들은 분열 증식하고 있으며, 난모세포들은 직경 5.00 μ m 전후로서 세포질에 대한 핵의 비율이 차츰 감소하게 되었다. 이후 난모세포들이 차츰 성장하면서 난경 96.16 μ m 전후까지 발달하며, 두터웠던 생식소 외피는 뚜렷이 얇아지는 등 주변인기의 난모세포로 발달되었으며, 인의 수는 1~3개 존재했다(Fig. 6B).

생식소내 난모세포들의 증식은 동시에 진행되었고, 다른 어류나 유용 무척추동물과는 달리 난모세포를 둘러싼 여포세포들은 관찰되지 않았으며, 성숙 난모세포는 소량의 난황을 축적하고(Fig. 6C), 체외로 방란하였다(Fig. 6D). 산란기 이후의 난모세포의 크기도 급격히 감소하고 잔존 난모세포들은 퇴화·흡수되었다(Fig. 6E, F).

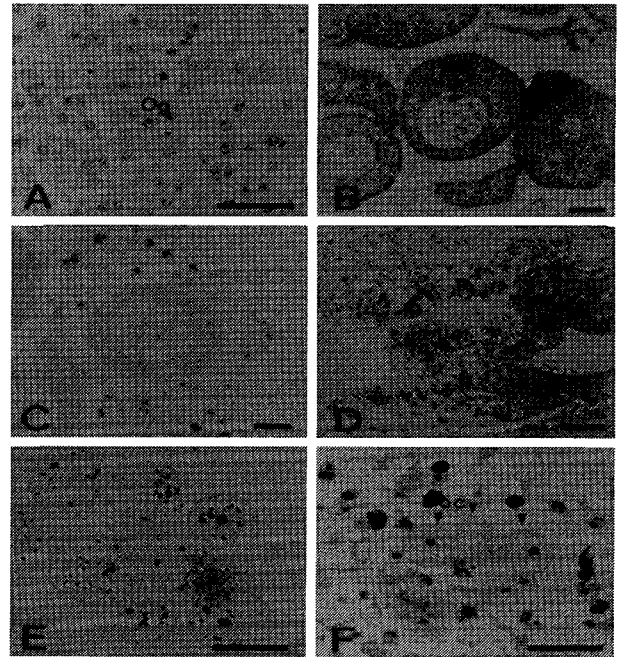


Fig. 6. Histological identification of internal morphology and developmental phases of ovary in *Urechis unicinctus*. A, Section of premature oocytes; B, Section of mature oocytes; C, Section of spawning stage; D, Section of oocyte in between parietes; E, Section of degenerated ovary; F, Section of the resting ovary. Og, oogonia; Nu, nucleolus; P, parietes; Doc, degenerative oocyte. Scale : bars indicate 24.6 μ m.

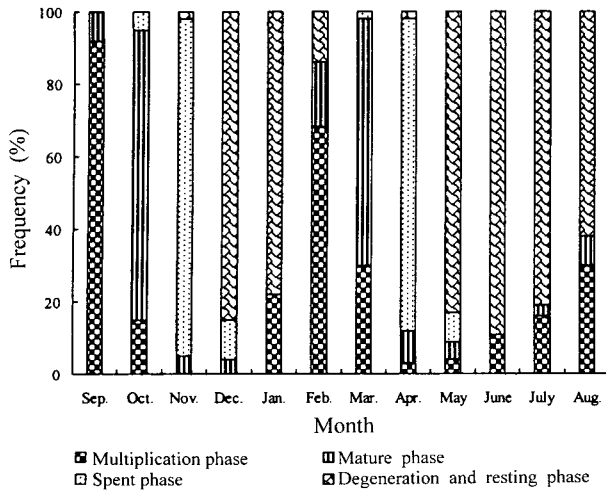


Fig. 7. Monthly change in frequency of the ovarian development stage in *Urechis unicinctus*.

2) 정소

개불의 정소 역시 난소와 마찬가지로 2쌍의 원추형으로 되어있으며 정소 내벽에 둥근 모양의 정원세포가 산재해 있는 것이 관찰되었고(Fig. 8A) 산재된 정원세포는 정소의 내벽에 일렬로 배치하며 활발히 분열증식하고 모양 또한 타원형으로 점차 변하였다(Fig. 8B).

정모세포들은 정소발달과 함께 정소 외피에서 감수분열을 거쳐 발달하며, 분열을 마친 정모세포들은 haematoxylin에 강한 염기성 반응을 나타내는 정세포로 발달하였다(Fig. 8C). 분열된 정자들은 정소 내부로 떨어져 나오며 이때의 정자들은 부케모양의 다발을 형성하였고 이때에는 완전한 수정 능력을 갖고 있지는 않았다(Fig. 8D). 그후 정자 완성기를 거쳐 완숙기의 정소는 정자로 충만되어 있었고, 이때 정소 외피는 초기의 정소와 비교하여 얇은 막으로만 이루어져 있었다(Fig. 8E).

방정 후 정소 내부에는 정원세포들이 산재해 있고 잔존 정자와 성장 및 성숙이 중지된 생식세포들이 퇴화·흡수되어 정소자체가 위축되는 조직상이 관찰되었다(Fig. 8F). 이런 형태의 정자형성은 개불만의 특징으로 원추형의 정소에서 일괄적으로 동시에 진행되었다.

3. 난경 변화

개불 난소내 난모세포의 변화는 Fig. 5에서 보는 바와 같다. 난모세포는 1998년 9월에 평균난경 4.06 μ m였던 것이 산란기가 시작되는 12월에 평균 96.16 μ m로 성장하였으며 방란 직전의 성숙 난모세포의 직경은 최대 100.00~106.00

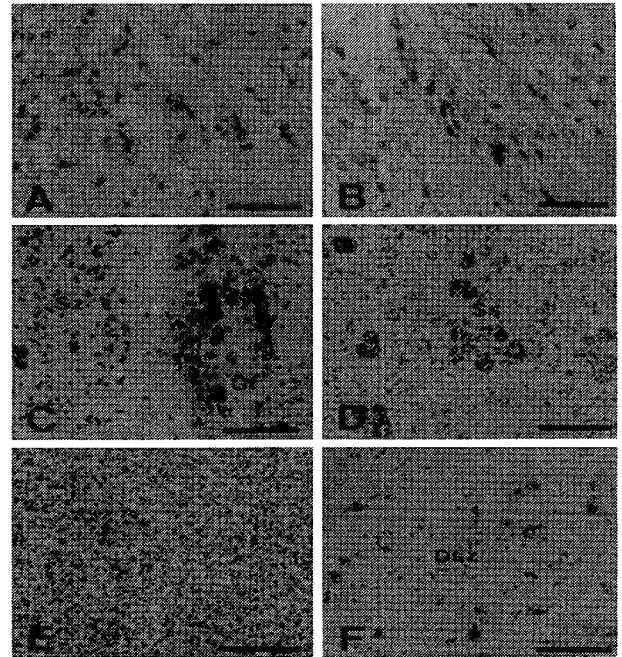


Fig. 8. Histological identification of internal morphology and developmental phases of testis in *Urechis unicinctus* : A, Section of the testis of the multiplication stage; B, Section of primary spermatocytes in the testis; C, Section of growing testis; D, Section of mature testis; E, Section of ripe testis; F, Section of degenerated testis. Gt, gonadosomatic; St, spermatid; Sz, spermatozoa; Ss, spermzeugma sphaulariales; Dsz, degenerative spermatozoa. Scale : bars indicate 24.6 μ m.

μ m였다. 산란 후 잔존 난모세포가 퇴화·흡수된 다음 1월과 2월에는 5.00 μ m 미만의 새로운 난원세포가 출현하기 시작하였다. 난원세포는 서서히 증가하기 시작하는 난모세포로 발달하여, 3월을 거쳐 4월에는 평균난경 81.52 μ m의 빠른 성장을 보였다. 그리고 산란후인 5월에는 최대 105.20 μ m부터 최소 29.60 μ m로 다양한 크기의 난모세포가 나타났으나 이들의 비율은 10~30%로 거의 유사했다. 이후 6월부터 8월까지의 평균난경 3.94 μ m미만의 난원세포가 관찰되었다.

4. 생식주기

난자형성과정과 정자형성과정을 조직학적으로 조사하고, 생식소 중량지수(GSI)의 월변화를 토대로 암·수 각각의 생식주기를 Fig. 7에 도식화 하였다.

개불 암컷의 생식주기는 분열증식기(1~2월, 6~9월), 성숙기(3~4월, 11월), 방출기(5월, 12월), 그리고 퇴화 및

휴지기(1월, 6월)로 나눌 수 있다. 수컷의 생식주기는 분열 증식기(1~2월, 6~9월), 성숙기(3~4월, 10~11월), 방출기(5월, 12월) 그리고 퇴화 및 휴지기(1월, 6월)로 나눌 수 있다.

고 찰

한국산 개불은 자웅이체로서 생식소는 2쌍의 긴 원추형으로 되어있으며 매우 얇고 투명하며 체벽과 연결되어 체외방출을 한다.

생식소를 싸고 있는 외피는 초기에는 매우 두껍고, 여러 층으로 형성되어 있지만 성숙하면서 얇은 상피세포층으로 변화되어갔고, 성숙기의 난소는 담황색을, 정소는 유백색을 띄어 식별이 가능하지만 휴지기에는 육안적 식별이 불가능했다. 그리고 성숙한 암컷은 4개의 알주머니에 약 60만개의 난을 갖고 있으며, 수컷은 4개의 정자주머니에 약 70억개의 정자를 갖는다.

Chung et al.(1988)는 생식세포의 방출시에는 비만도의 값이 급격히 감소함으로 조직학적 관찰에 의해 구해진 산란기는 비만도의 값이 최대로부터 최소로 향하는 시기와 일치한다고 보고하였다. 본 중에서도 생식소 지수와 조직학적 조사를 근거로 하여 산란기를 추정하였다. GSI와 난경 크기를 조사한 결과 11월과 4월에 높게 나타났다. 따라서 한국산 개불의 주 산란기는 연 2회로 추정된다. 대부분의 체외 수정 종들은 산란기를 지난 후 휴지기에 들어가며 이때 생식소내에서 생식세포는 찾아볼 수 없다(Loo-sanoff, 1962). 이런 형태는 복족류의 일종인 삿갓조개, *Pattela vulgate* 등이 겨울철에 휴지기를 갖는 것과 비슷한 양상을 나타내었다(Orten et al., 1956).

Pilger(1987)은 의충동물중 *Themiste lageniformis*는 8~9월에 왕성한 산란을 하고, 다산의 암컷은 6일동안 5번의 산란을 한다고 보고하였으며, 난모세포의 생성은 큰 난모세포와 작은 난모세포가 보조를 맞추어 성장한다고 보고하였다. 본 연구에서 개불은 방란, 방정 후 오랜 휴지기를 거치지만 회복기로 접어들면서 새로운 생식세포가 급격히 발달하는 변화를 보였다. 생식세포의 형성에 있어 개불은 생식소 외피에서 분화되는 양상을 나타내고 있으나 이러한 형태의 생식소 발달은 아직 보고되어 있지 않으므로, 생식세포 발달양식의 정확한 구명을 위하여 이에 대한 미세구조적 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다. 또한 개불의 생식세포형성은 체강속에서 이루어지나 다

른 동물의 경우와는 달리 여포세포(follicle cell), 영양세포(nurse cell) 등의 체세포들과 접촉없이 성분화된다. 따라서 성숙란은 산란직전에 자성 storage sac에 집적되며 수정은 체외에서 수행된다. 이와 같이 개불의 경우 생식세포들은 자유세포로 관찰할 수 있기 때문에 발생학, 세포학, 생화학 등의 여러 가지 측면에서 연구의 대상이 되어왔다(Engstrom, 1971; Flank et al., 1985; Davis, 1986).

체외수정종들의 산란시작은 여러 가지 환경요인의 영향을 받지만(Giese, 1959; Kinne, 1983), 생식세포형성과정을 조절하는 것에는 외적요인과 내적요인 두 가지가 있다(Webber and Giese, 1969). 생식과 관계되는 외적작용요인으로 수온이 주로 언급된다. 개불에서는 수온이 하강하는 12월과 상승하는 5월에 산란하는 점으로 미루어 수온의 변화가 산란 유발을 일으키는 것으로 추정된다.

해산무척추동물에서 생식세포형성과정에 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), 개불의 생식세포형성과정에 작용하는 내적조절계는 알려진 바가 거의 없다. 따라서 생식세포형성과정에 작용하는 내적조절계에 대한 다각적인 연구가 선행되어야 할 것으로 사료된다.

요 약

한국산 개불의 명확한 생식주기를 밝히고 종묘생산을 위한 기초 자료를 얻기 위하여 1998년 9월부터 1999년 8월까지 주로 조직학적 방법에 의해 생식소의 발달양상과 산란시기를 조사하였다.

생식소중량지수(GSI)는 11월에 암, 수 각각 7.01, 6.24로 연중 최고 값을 보였으며, 이후 급격히 감소하여 2월에 암, 수 각각 0.52, 1.04로 연중 최소 값을 보였다. 그 후 GSI는 급격히 증가하여 3~4월에 높은 값을 나타내었고, 5월부터 다시 감소하기 시작하여 8월까지 특이한 변화가 없었다. 그리고 GSI는 10~11월에 다시 증가하였다. GSI의 연중 변화를 종합해 볼 때 한국산 개불은 연 2회 산란한 것으로 판단된다.

개불의 난경 변화는 산란기인 12월에 평균난경은 96.16 μm 였으며, 이후 급격히 감소하나 3월부터 서서히 증가하기 시작하여 4월에 평균난경 81.52 μm , 5월에 105.20~29.60 μm 의 높은 변화를 보였다. 암컷의 생식주기는 분열증식기

(1~2월, 6~9월), 성숙기(3~4월, 11월), 방출기(5월, 12월), 퇴화 및 휴지기(1월, 6월)로 나눌 수 있고, 수컷의 생식주기는 분열증식기(1~2월, 6~9월), 성숙기(3~4월, 10~11월), 방출기(5월, 12월) 그리고 퇴화 및 휴지기(1월, 6월)로 나눌 수 있다. 개불의 난소에 있어 조직학적인 가장 큰 변화는 GSI가 가장 높은 11월과 3월에 주변인기의 난모세포가 관찰되었고, 생식소내 난모세포들의 성숙은 일괄적으로 일어난다. 정소는 정소내벽에서 분화·성숙되어 정소 내부로 떨어져 나오며 완숙시의 정소 조직은 초기의 정소와 비교하여 얇은 막으로만 이루어졌다.

참 고 문 헌

- Arp, A. J., B. M. Hansen and D. Julian, 1992. Burrow environment and coelomic fluid characteristics of the echiuran worm *Urechis caupo* from populations at three sites in northern California. *Mar. Biol.*, 113 : 613-623.
- Choi, S. D., H. J. Kim, S. J. Rha, K. J. Choe and H. L. Suh, 1998. Studies on the commercial scale production of *Urechis unicinctus* (von Drasche) in southern Korea. I. The effect of temperature on embryos development. *Bull. Yosu Nat'l. Univ.* 13 : 983-992.
- Choi, S. D., H. J. Kim, S. J. Rha, S. Y. Hong, W. K. Lee and W. B. Lee, 1999. The effect of pH and salinity on egg development of *Urechis unicinctus* (von Drasche) in southern Korea. *J. Aquaculture*, 12 : 155-161.
- Chung, E. Y., S. Y. Kim and T. Y. Lee, 1988. A study on sexual maturation of *Mactra veneriformis* (Reeve). *Korean J. Malacol.*, 4 : 30-40
- Davis, F. C., 1986. Changes in RNA polyadenylation and protein synthesis at fertilation in *Urechis caupo*. *J. Cell Biol.*, 103 : 85.
- Engstrom, W. S., 1971. Removal of the fertilization membrane of fertilized eggs of *Urechis caupo* and development of membraneless embryo. *Biol. Bull.*, 140 : 369-375.
- Euler, U. S. von and H. Heller, 1963. *Comparative endocrinology*. II. Academic Press, New York and London, 282pp.
- Frank, R., N. Sawada and F. C. Davis, 1985. Histone messenger RNA synthesis and accumulation during early development in the echiuroid worm *Urechis caupo*. *Develop. Biol.*, 109 : 118-126.
- Giese, A. C., 1959. *Comparative physiology : Annual reproductive cycle of marine invertebrate*. *Ann. Rev. Physiol.*, 21 : 547-576.
- Gould-Somero, M. and L. Halland, 1975. Fine structural investigation of the insemination response in *Urechis caupo*. *Dev. Biol.*, 46 : 358-369.
- Kinne, O., 1963. The effects of temperature and salinity on marine and brackish water animals. 1. Temperatures. *Oceanog. Mar. Biol. A. Rev.*, 1 : 301-340.
- Loosanoff, V. L., 1945. Precocious gonad development in oysters induced in mid-winter by high temperatures. *Science*, 102 : 124.
- Orton, J. H., A. J. Southward and J. M. Dood, 1956. Studies on the biology of limpets. 11. The breeding of *Patella vulgata* in Britain. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, 35 : 149-176.
- Pilger, J. F., 1987. Reproductive biology and development of *Themiste lageniformis*, a parthenogenic sipunculan. *Bull. Mar. Sci.*, 41 : 59-67.
- Suer, A. L. and D. W. Phillips, 1983. Rapid, gregarious settlement of the larvae of the marine echiuran, *Urechis caupo* Fisher & MacGinitie 1928. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 67 : 243-259.
- 椎野季雄. 1969. 水産無脊椎動物學 培風館. 109-126.