

우럭, *Mya arenaria*의 생식연주기

김진희⁺ · 유명숙
부경대학교 해양생물학과

Annual Reproductive Cycle of the Soft Clam, *Mya arenaria*

Jin-Hee KIM⁺ and Myong-Suk YOO

Department of Marine Biology, Pukyong National University,
Pusan 608-737, Korea

Gametogenesis, the reproductive cycle, and the condition index of the soft clam, *Mya arenaria* were investigated monthly based on histological observation at Sachon Bay, south coast of Korea from May 1998 to September 1999. *M. arenaria* is dioecious. The ovary and testis were composed of a number of ovarian sacs and testicular tubules, respectively. Ripe oocytes were characterized by germinal vesicles with nucleoli, and their sizes about 60 μm in diameter. Monthly changes in condition index and water temperature were closely related to the annual reproductive cycle. The reproductive cycle can be classified into 5 stages: early active stage (February to March), late active stage (April to August), ripe stage (September), partially spawned and spent stage (September to October), inactive stage (November and January).

Key words: *Mya arenaria*, Gonadal development, Reproductive cycle

서 론

경상남도 사천시 사천만 연안의 조간대에는 저질 성상이 모래, 진흙, 자갈 등 다양한 서식환경을 갖추고 있어, 많은 조개류가 서식하고 있다.

우럭, *Mya arenaria*는 우리 나라 남해안과 일본, 유럽 등지에 분포하며, 저질 성분이 사니질에 주로 서식하며 수관이 잘 발달해 있는 우럭과 (Myidae)에 속하는 조개로 우리 나라에는 1종만이 보고되고 있다 (權 等, 1993).

우럭, *M. arenaria*는 예로부터 지역어민들에게 주요한 수입원이었으나 최근 들어 자원량이 감소하고 있어 생태학적 연구가 필요한 실정이다. 외국의 경우, 본 종에 대한 연구가 활발하여 생태·생리 (White et al., 1993; Englund and Heino, 1994), 유생 부착 (Robinson and Chandler, 1993) 그리고 상업적 양식 (Robinson, 1993)에 관한 연구 등 현재까지 계속하여 연구가 수행되고 있으나 우리나라의 경우 연구가 일천하다.

따라서 본 연구는 경남 사천만 연안에 서식하고 있는 우럭, *M. arenaria*를 대상으로 생식생물학적 기초자료를 확보하기 위한 일환으로 조직학적 방법에 의해 생식소 발달과정과 생식주기를 조사하였다.

재료 및 방법

1. 채 집

실험에 사용한 우럭, *Mya arenaria*는 1998년 5월부터 1999년 9월까지 매월 1차례 대조기에 경남 사천시 사천만 연안에서 채집하였다.

채집된 60마리 전후의 시료는 생체로 실험실로 옮겨와 vernier calipers를 이용하여 각장 (SL), 각고 (SH), 각폭 (SW)을 0.1 mm 까지 측정하였고, 전자저울을 이용하여 전중 (TW), 육중 (MW), 각중 (SW)을 0.1 g까지 측정하였다. 비만도는 다음의 관계식을 이용하여 구하였다.

$$\text{비만도 (Condition Index)} = \text{MW}(\text{g}) \times 1,000 / (\text{SL}^3(\text{mm}))$$

그리고 채집지역의 수온 변화는 경남 사천시 수산기술관리소에서 매일 측정된 수온을 분석하여 월별 평균으로 나타내었다.

2. 조직의 처리와 분석

본 종의 생식소 조직의 월별 변화를 알아보기 위해 우럭을 해부하여 생식소 부위를 Bouine's 고정액에 고정 후, 상법에 따라 paraffin 포매하여, 5 μm 전후의 연속절편을 만들고 Harris Hematoxylin과 0.5% eosin으로 비교 염색하여 광학현미경으로 검정하였다.

3. 난경조사

월별 난경변화는 난소절편에서 핵과 인이 정상적으로 관찰되는 난을 대상으로 광학현미경으로 검경·계수하여 출현빈도로 나타내었다.

4. 성 비

전 조사기간 채집된 조직절편을 광학현미경으로 암·수를 조사하였고, 암·수의 성비가 1:1과 통계적으로 유의한 가를 Chi square test를 이용하여 분석하였다.

결 과

1. 생식소의 구조

우럭, *M. arenaria*를 해부한 모식도는 Fig. 1과 같다. 우럭은 저

⁺Corresponding author: jinhee@mail1.pknu.ac.kr

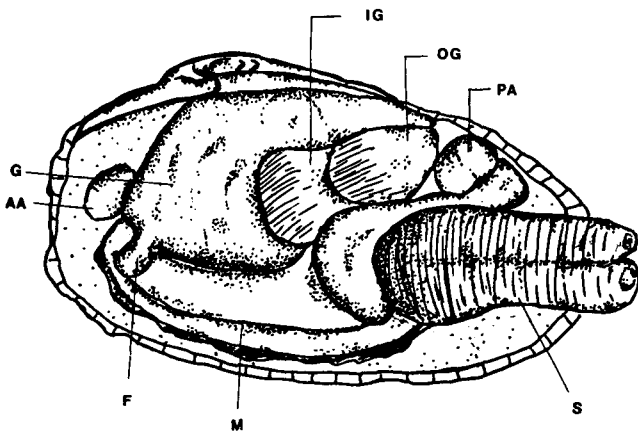


Fig. 1. Anatomy of *Mya arenaria* with left shell removed. AA, anterior adductor muscle; F, foot; G, gonad; IG, inner gills; M, Mantle; OG, outer gills; PA, posterior adductor muscle; S, siphon.

질에 깊게 잠입하므로 수관이 잘 발달해 있으며, 발의 모양은 다른 잠입성 조개와는 달리 전단부가 주걱모양을 한 특이한 형태를 가진다.

우럭은 자웅이체로서 생식소는 소화맹낭을 둘러싸고 족부와 연결되는 근육층 내의 망상결체조직 사이에 위치하고 있으며, 성숙되면서 비후 발달된다. 난소와 정소는 모두 소낭의 구조를 취하며, 각 생식소관의 상피조직이 생식상피의 기능을 가진다. 성숙해도 암·수 모두 생식소 부위가 유백색으로 육안으로는 구분하기가 어렵다.

2. 생식소의 조직학적 변화

1) 난 소

발달초기 난소는 소화맹낭을 둘러싸고 있는 근육층내의 섬유성 망상결체조직 사이에 많은 소낭이 발달하여 수가 증가되고, 이때 난원세포는 핵이 세포의 대부분을 차지하고 있다 (Fig. 2, A). 난소소낭의 소낭상피층은 이중 결체성 섬유막으로 구성되어 있으며 이 중 소낭상피 내층이 생식상피의 기능을 한다. 초기 난모세포로 성장하면 빈약하지만 호산성의 세포질이 관찰되고, 구형의 핵질에는 인과 불규칙한 염색사가 분포한다. 그리고 난소소낭의 내부에는 생식상피와 연결된 간층조직과 호산성의 색소과립이 망상결체조직을 따라 분포하며, 난병의 발달이 뚜렷하고 이들 난병을 상피상에 부착한 채 중앙 내강을 향해 긴 타원형으로 발달해 간다. 난모세포가 성장하면 핵과 세포질의 체적이 증가하고 핵은 배포상으로 된다. 그리고 생식상피 및 난소소낭의 공간 (空腔)에 풍부하게 분포하던 간층조직과 색소과립들이 차츰 흡수 소실되어 그 양이 줄어든다 (Fig. 2, B). 완숙한 난모세포는 난병을 소실하여, 원형으로 되고 난소소낭의 내강으로 유리되며 배포상 (胚胞狀)의 핵은 한쪽으로 이동하며 세포질에는 호산성의 난황물질로 채워진다. 그리고 생식상피상에는 어린 난모세포가 소수 나타날 뿐 성장중인 난모세포는 거의 찾아 볼 수 없다 (Fig. 2, C). 이때 난소소낭은 최대로 비후되어, 소화맹낭 주위와 근육층 사이의 대부분을 차지

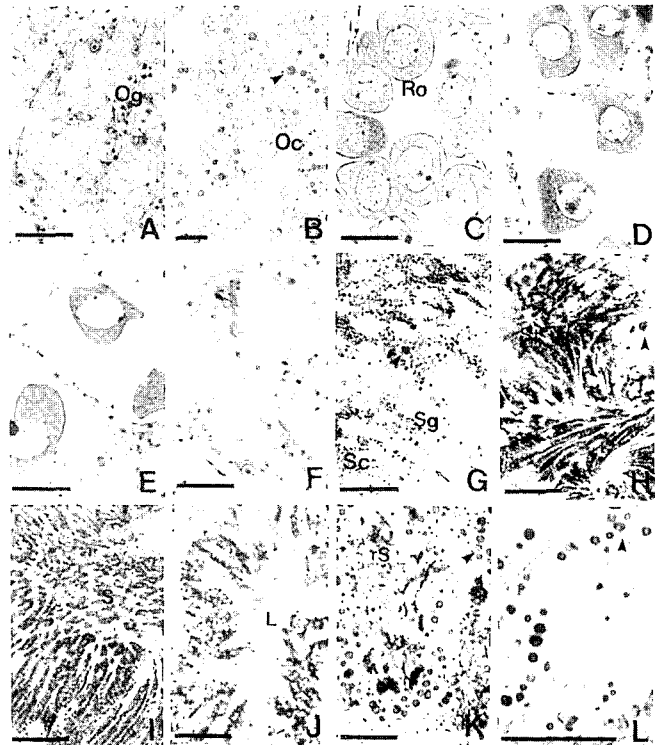


Fig. 2. Gonadal phases of *Mya arenaria* observed under the light microscopy. A~F: Female, G~L: Male. A, early active stage; B, late active stage; C, ripe stage, D, partially spawned and spent stage, E, F, inactive stage; G, early active stage; H, late active stage; I, ripe stage; J, partially spawned and spent stage; K, L, inactive stage. Abbreviations: L, lumen; Oc, oocyte; Og, oogonia; RO, ripe oocyte; rS, remained sperm; S, sperm; Sc, spermatocyte; Sg, spermatogonia; →, germinal epithelium; ▶, parasite like sporozoa. (scale bar=50 μm)

한다. 이후 난소소낭의 중앙 내강에 자리잡고 있던 완숙난들은 방출이 시작되며 일부 미 방출된 난모세포들이 잔존한다 (Fig. 2, D). 잔존 난모세포군은 소강내에서 세포질 붕괴를 일으키며 퇴화 흡수되고 이와 함께 난소소낭도 위축 퇴화되고 소실되었던 결체조직들이 다시 분화발달하며 근육층내 망상결체조직층도 새로이 형성된다 (Figs. 2, E, F).

2) 정 소

정소는 많은 세관들로 이루어져 있다. 정소세관의 세관상피층은 이중 결체성 섬유막으로 생식상피의 기능을 하며, 정소세관의 생식상피가 활발한 기능성을 가지면서 상피상에는 호염기성의 정원세포와 함께 정모세포들이 출현하여 중층으로 배열되고 정세포도 나타난다 (Fig. 2, G). 이후 정소가 발달하면 정소세관의 내강으로 많은 정세포들이 생식상피로부터 중앙내강을 향해 층상배열하고, 이미 변태가 시작된 정자도 나타난다 (Fig. 2, H). 완숙기에 이르면, 정소세관의 중앙에 변태를 완료한 정자들이 밀집하기 시작하여 내강을 가득 채운다. 이 시기에 근층내의 망상결체조직들은 정

소세관의 경계부에서만 소량 관찰된다 (Fig. 2, I). 방정이 시작되면 밀집된 형태를 이루고 있던 완숙정자들의 구조가 붕괴되어 내강으로 밀려 이동한다 (Fig. 2, J). 방출이 완료된 후, 잔존정자들은 퇴화 흡수되고 정소세관도 위축 퇴화된다. 이후 소실되었던 결체 조직들이 다시 발달하고 새로이 근층내의 망상결체 조직층이 형성된다 (Figs. 2, K, L).

3. 난경 (卵經) 조성

1998년 5월부터 1999년 9월까지 조직처리를 통해 얻은 난소조직 시료를 대상으로 광학현미경하에서 월별 난경을 측정하고, 측정치를 단계별로 구간을 설정하여 출현비율로 나타낸 결과는 Fig. 3과 같다. 1998년 5월, 20 μm 이하의 생식세포가 90% 이상 출현하고, 이후 성장하여 6월에 40 μm 전후의 난모세포가 다소 출현하고 7월에 다시 20 μm 전후의 어린 난모세포가 우점적으로 출현한다. 그리고 8월에 평균 30~40 μm 전후의 난모세포가 약 70% 이상 출현하며, 그리고 9, 10월에 50~60 μm 정도의 완숙난모세포가 50% 이상 나타난다. 이후 동절기인 11월부터 1999년 3월까지 20 μm 전후의 생식세포가 우점적이다. 그리고 다시 수온이 상승하는 4월과 5월에 30~40 μm 전후의 생식세포가 50% 이상 출현하여 이후 이들의 난경변화는 기간의 차이가 다소 있으나 1998년, 1999년 모두 유사한 형태를 보이고 있다.

4. 생식주기와 비만도의 관계

월별 생식소 발달과정, 월별 난경조성 변화 및 비만도의 변화를 종합하여 이들의 생식주기를 초기활성기, 후기활성기, 완숙기, 부분방출 및 방출기 그리고 비활성기 등의 연속적인 단계로 구분하였다 (Fig. 4).

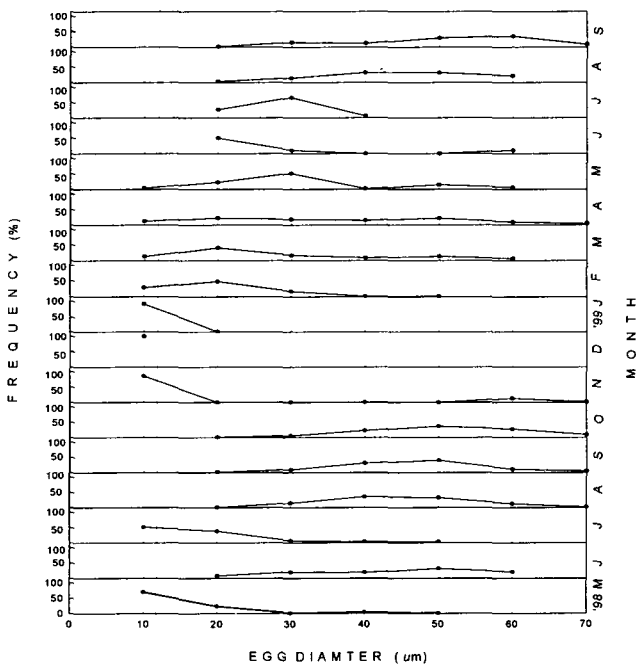


Fig. 3. Monthly changes in relative frequency distribution of the ovarian egg diameter of *Mya arenaria*.

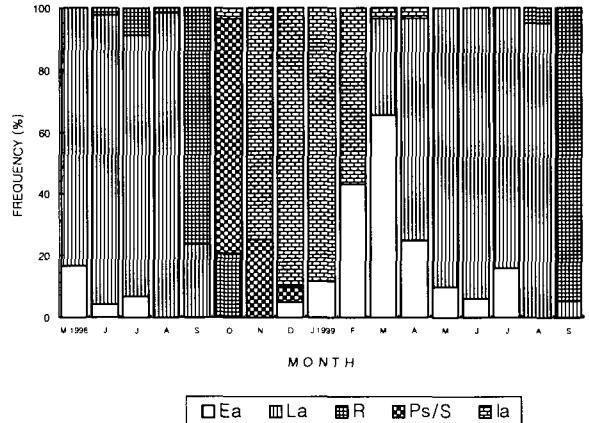
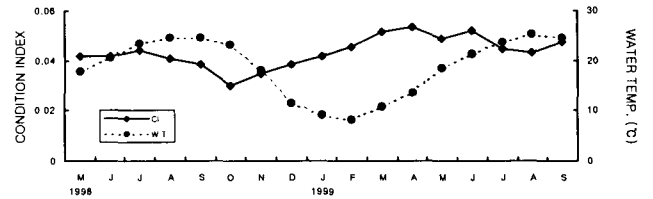


Fig. 4. Frequency of gonadal phases of *Mya arenaria* and monthly changes in the condition index and the mean sea-water temperature. Ea, early active stage; La, late active stage; R, ripe stage; Ps/S, partially spawned and spent stage; Ia, inactive stage.

초기활성기는 비교적 긴 기간동안 관찰되나, 수온이 상승하는 2월부터 증가하여 3월에 50% 이상 나타난다. 이때 수온은 연중 최저값인 8.2에서 10.8°C로 상승하고 비만도도 증가한다. 후기활성기는 4월부터 증가하여 8월까지 우점적으로 출현하여 이 시기에 모두 80% 이상 출현한다. 이 시기에 수온은 20~24°C 내외로 급격히 상승하며 비만도도 최고점에 도달한 후 서서히 하강하게 된다. 완숙기는 매우 짧은 시기에 나타나며, 완숙개체는 1998년 9월 54.2%, 1999년 9월 83.4% 이상 출현하며 이때 수온은 24.5°C 전후이며, 비만도는 이후 다소 증감을 되풀이하나 높은값을 유지한다. 그리고 부분방출기 및 방출기는 1998년 10월에 70% 이상 출현하여, 이 시기에 많은 개체가 방출에 참여함을 알 수 있다. 이 때 수온은 23°C 전후로 하강하며, 비만도도 급속히 하강하게 된다. 비활성기는 11월 이후 급격히 증가하며 생식소낭에는 미방출된 생식세포가 퇴화흡수가 일어나고, 11월부터 이듬해 1월까지 회복기를 거치게 된다. 이 시기에 수온은 급격히 하강하게 되나, 비만도는 서서히 증가하게 된다.

따라서 본 조사 결과 삼천포 연안에 서식하는 우럭, *M. arenaria*은 긴 활성기 단계를 거치고, 짧은 산란기를 가진다. 완숙기 및 방출기 개체는 6월에서 10월까지 나타나지만 주 산란기인 9, 10월에 집중적으로 번식에 참여하는 년 1회 산란종으로 판단된다.

6. 성비

본 종의 성비는 Table 1과 같다. 조사기간동안 우럭의 암·수

Table 1. Sex ratio of *Mya arenaria*

Species	Female (ind.)	Male (ind.)	Total (ind.)	Sex ratio (F/(F+M))	χ^2	p
<i>Mya arenaria</i>	246	278	524	0.469	1.954	p>0.05

The critical value for χ^2 goodness of fit test of equal numbers of females and males, at 95% significance were 3.84.

비는 0.89:1로 수컷이 약간 높게 나타났으나 암·수 성비의 검정을 위해 Chi square test를 실시한 결과 암:수=1:1로 유의한 차가 없는 것으로 조사되었다 ($\chi^2=1.954$, $p>0.05$).

고 찰

잠입성 이매패류는 발이 아주 잘 발달해 있으며, 생식소 부위와 그 경계가 불분명 한 것이 일반적이다. 그러나 본 종의 경우 발의 전단부가 주걱모양을 하고 있는 특이한 형태 (Fig. 1)를 가지는 것이 특징이다. 일반적으로 조개류의 생식소는 소화낭과 족부 근육사이의 결체조직 세포막을 중심으로 생식소관 또는 생식소낭으로 발달 (Chung et al., 1991; Lee et al., 1997; Lee, 1997; Kim and Yoo, 2000)하며, 우럭도 일반적인 조개의 생식소 구조를 하고 있다.

해산 무척추동물의 생식소 발달에 관여하는 영양세포는 성계의 연구 (Holand and Giese, 1965; Chatlymne, 1969)에서 알려진 후, 패류인 북방대합, *Spisula sachalinensis* (Takchashi and Takano, 1970a, b), 참재첩, *Corbicula leana* (Kim and Yoo, 2000) 등에서 보고되고 있다. 본 연구에서 우럭의 난소소낭이나 정소세관 내에 출현하는 간충직과 색소과립세포도 초기 난원세포가 증식하는 동안 풍부하나 난모세포의 성장과 함께 점점 흡수 소실되며 완숙 난소소낭에서는 거의 찾아볼 수 없는 것으로 미루어 난모세포 발달에 관여하는 것으로 추정되며, 그리고 완숙기에 난소나 정소세관 내에 원세포 (gonia cell)의 관찰이 어려운 것으로 보아 성장기 이후에는 생식상피는 그 기능을 거의 중지하고 성장중인 cyte cell만이 완숙에 도달하는 것으로 판단된다.

우럭, *M. arenaria*의 생식주기를 조사하기 위해 난경 변화와 비만도의 변화를 보면 비만도는 산란이 종료되는 시점에서 서서히 증가하여 후기활성기인 6, 7, 8월에 높은값에 도달한 이후 서서히 하강하여 주 산란기인 9, 10월을 지나면서 급격히 하강하여 최저값을 보이게 된다. 산란 후 비만도가 떨어지는 경향은 산란 후 육중비가 떨어지는 북방대합 (Lee et al., 1997)과 민들조개 (Lee et al., 1999)와 일치하고 있으나 완숙기 이후 비만도가 떨어지는 현상은 본 연구와 동일한 방법을 사용한 Kim and Yoo (2000)의 결과와 잘 부합하고 있으며, 이 같은 현상은 생식소가 완숙기에 이르면 부분방출이 진행되는 개체가 출현하기 때문으로 판단된다. 그리고 본 종의 경우에는 수온상승기인 1998년 5월과 1999년 6월에 난모세포가 50 μ m 전후로 성장하는 개체도 보이다가 1998년 6월, 1999년 7월에 다시 초기성장 상태로 이행되는 경향이 있다. 이 같은 난경변화로 보면 년 2회 산란종으로 추정할 수 있으나 1998년에 완숙상태를 보이는 개체가 10% 미만으로 극히 낮았고, 1999

년에는 관찰이 어려웠다. 이 시기에 출현하는 50 μ m 전후의 난모세포는 소낭내에 1개 내지 2개 정도만 존재하고, 내강에는 망상결체조직과 호산성의 영양세포가 다량 존재하여 완숙기나 방출상태라고 판정하는데 무리가 있었다. 따라서 이는 방출이라기 보다는 재흡수가 일어나는 것으로 판단되며 이런 현상은 다른 종에서는 보기 힘든 특이한 경우로, 이는 본 종이 같은 조건에서 서식하는 다른 조개류와의 경쟁을 피하기 위한 생식전략적 측면이나, 그리고 우럭의 생식소에 존재하는 포자충과의 연관성을 추정할 수 있다. 왜냐하면 활성초기에 암수 모두에서 대량의 포자충류가 발견되고 이 시기에는 정상적인 생식소로 발달하지 못하며, 6, 7월 이후 고수온기로 접어들면서 포자충은 그 수가 급격히 감소하고 생식소의 발달은 정상적으로 일어나기 때문이다.

연체동물의 생식형태는 크게 3가지로 구분 (Booolootian et al., 1962)하여, 1년에 걸쳐 연중 산란하는 종과 당해의 늦가을에 시작하여 이듬해 이른봄에 산란하는 동계산란종, 그리고 늦봄에 시작하여 초가을에 산란하는 하계산란종이 있다. 이는 서식하는 조개류의 생리적 특성과 수온이 결부되어 나타나는 종 특이성이다. 해산 무척추동물은 대부분 체외 수정종이며, 계절에 영향 (Loosanoff, 1962)을 받고, 생식주기를 지배하는 요인은 먹이, 수온, 광주기 및 염분 등이라고 밝혀져 있다 (Giese, 1959). 또한 Brousseau (1995)는 배우자 방출의 제 1차극 요인은 수온이라고 보고하고 있다. 우리나라 조개류는 대체적으로 하계 산란종으로 6, 7월에 산란이 종료된다. 성숙과 수온의 관계를 보면 새조개, *Fulvia mutica*는 수온이 상승하는 3, 4월 이후 성숙난모세포가 나타나고 (Chang and Lee, 1982), 백합, *Meretrix lusoria*도 수온이 상승하는 2~5월에 성장한다 (Lee, 1997). 본 종의 경우, 춘·하계 동안 비교적 긴 활성기를 거쳐 수온이 최고점에서 하강하기 시작하는 9월과 10월에 짧은 산란기를 가지는 것으로 나타났는데 이는 하계산란종과 유사하나 수온이 하강하는 시기에 산란하는 상이한 번식기를 가지는 추계산란종이다. 그리고 1999년이 1998년에 비해 성장기에 빨리 도달한 것은 1999년의 수온이 상대적으로 높았기 때문으로 판단된다.

패류는 회복기 동안에도 생식소가 연중 활동상태에 있는 전복류 같은 형 (Webber and Giese, 1969)과 회복기에는 방출 이후 생식소내 생식세포를 찾아보기 어려운 형 (Loosaniff, 1962)으로 크게 나눌 수 있다. 일반적으로 해산 체외 수정종은 후자에 속하며 본 종의 경우에도 비활성기에는 암·수의 구별이 어렵다.

Mackie (1984)는 자웅이체의 조개의 성비는 1:1이 기본이지만 암컷이 수컷보다 약간 많고, 민들조개 (Lee et al., 1999)는 암·수의 비가 1:0.79로 암컷이 높게 나타났다고 보고하고 있으며, Naidu (1970)는 종에 따라 연령, 수온 및 계절적인 요인 등에 의해 성전환이 일어나 성비가 변한다고 하였다. 본 종의 경우, 암·수의 비가 0.89:1로 수컷의 비가 높았으나, Chi square test로 검정한 바 성비는 1:1로 유의한 차이를 보이지 않았다 ($\chi^2=1.954$, $p>0.05$).

본 조사에서 확인된 포자충은 생식소가 발달하면 이들의 숫자가 상대적으로 감소하였으며, 산란 후에 다시 그 출현빈도가 높은 것으로 조사되었는데 이는 포자충의 출현양상은 수온과 연관성이 있는 것으로 추정된다. 또한 암·수에 기생하는 포자충은 숙주에

따라 염색상이나 증식방법에서 확연한 차이를 보이고 있다. 이것은 숙주에 따른 종 특이성인지, 생식소 영양물질의 차에서 나타나는 결과인지는 명확하게 알 수가 없다. 그리고 포자층에 감염된 경우, 초기에는 망상결체조직의 형성을 방해하는 등, 정상적인 조직상과는 차이가 있으나 이것이 폐사로 이어지는 지는 명확하지 않아 계속적인 연구가 수행되어야 하겠다.

요 약

우럭, *Mya arenaria*은 자웅이체로서 난생이다. 생식소는 소화낭과 근육층 사이에 분포하고 있다. 난소와 정소는 작은 소낭들로 구성되어 있고, 성숙하면 비후된다. 이들 소관의 내강상피가 생식상피 기능을 하고 있다.

난소 및 정소의 발달에는 간충조직과 과립세포들이 영양세포로 관여하고 있으며, 방란 방정을 마친 생식소는 완전 퇴화하고, 짧은 회복기를 거쳐 생식소낭의 형태를 갖추며 새로 분화 재배치된 망상결체조직에서 생식소가 신생되어 기능을 발휘한다.

비만도는 99년 4월 (0.054)에 최고값을 나타내었으며, 방출기가 종료된 직후 1998년 10월에 최저값 (0.030)을 보였다. 완숙난은 60 μ m 전후로 하나의 큰 인을 가진다. 암수의 성비는 0.89:1로 수컷이 약간 높게 나타났다.

생식주기는 초기활성기 (2월~3월), 후기활성기 (4월~8월), 완숙기 (9월), 부분방출 및 방출기 (9월~10월) 그리고 비활성기 (11월~1월) 등의 연속적인 주기로 구분할 수가 있다. 주산란기는 9~10월로 추계산란종이다.

감사의 글

이 논문은 해양식량자원개발특성화사업단의 연구그룹활성화지원금 (2차)에 의해 수행된 연구결과이며 이에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- 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 (*Crosostrea virginica*) from western Long Island Sound. J. Shellfish. Res., 14, 483~487.
- Chang, Y.J. and T.Y. Lee. 1982. Gametogenesis and reproductive cycle of the cockle, *Fulvia mutica* (Reeve). Bull. Korea Fish. Soc., 15, 241~253.
- Chatlymne, L.G. 1969. A histochemical study of oogenesis in the sea urchin, *Strongylocentrotus purpuratus*. Biol. Bull., 136, 167~184.
- Chung, E.Y., T.Y. Lee and C.M. An. 1991. Sexual maturation of the venus clam, *Cyclina sinensis*, on the west coast of Korea. J. Med. & Appl. Malacol., 3, 125~136.
- Englund, V.P.M. and M.P. Heino. 1994. In situ measurement of seasonal variation in burial depth of *Mya arenaria* Linne. J. Molluscan Stud., 60, 465~467.
- Giese, A.C. 1959. Comparative physiology. Annual reproductive cycles of marine invertebrates. Ann. Rev. Physiol., 21, 547~576.
- Holland, N.D. and A.C. Giese. 1965. An autoradiographic investigation of the gonads of purple sea urchin, *Strongylocentrotus purpuratus*. Biol. Bull., 128, 231~258.
- Kim, J.H. and M.S. Yoo. 2000. Reproductive cycle of Marsh clam, *Corbicula leana* (Prime) in Hyongsan Estuary. J. Korean Fish. Soc., 33, 184~191.
- Lee, J.H. 1997. Histological studies on the gametogenesis and reproductive cycle of the Hard clam, *Meretrix lusoria*. Korean J. Malacol., 13, 131~141.
- Lee, J.Y., Y.H. Park and Y.J. Chang. 1999. Gonadal development and reproductive cycle of *Gomphina melanaegis* (Bivalvia: Veneridae). J. Korean Fish. Soc., 32, 198~203.
- Lee, J.Y., Y.J. Chang and C.S. Lee. 1997. Reproductive cycle of surf clam, *Spisula sachalinensis*. Bull. Korean Fish. Soc., 30, 132~138.
- Loosanoff, V.L. 1962. Gametogenesis and spawning of the european oyster *Ostrea edulis* in waters of Maine. Biol. Bull., 122, 86~95.
- Mackie, G.L. 1984. In the Mollusca. Vol. 7 Reproduction. 5. Bivalves, Academic Press, London. pp. 351~418.
- Naidu, K.S. 1970. Reproduction and breeding cycle of the giant scallop, *Placopecten magellanicus* (gmelin) in Port bay, Newfoundland. Can. J. zool., 48, 1003~1012.
- Robinson, S.M.C. 1993. The soft-shell clam fishery in the Canadian maritimes: An industry in change. J. Shellfish Rec., 12, 145.
- Robinson, S.M.C. and R.A. Chandler. 1993. An effective and safe method for sorting small molluscs from sediment. Limnology and Oceanography, 38, 1088~1091.
- Takahashi, N. and K. Takano. 1970a. Histological studies on the reproductive cycle of the Surf clam, *Spisula sachalinensis*— I. seasonal changes in the testis. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 36, 337~344.
- Takahashi, N. and K. Takano. 1970b. Histological studies on the reproductive cycle of the Surf clam, *Spisula sachalinensis*— II. seasonal changes in the ovary. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 36, 345~352.
- Webber, H.H. and A.C. Giese. 1969. Reproductive cycle and gametogenesis in the black abalone, *Haliotis cracheroidii* (Gastropoda: Prosobranchiata). Mar. Biol., 4, 152~159.
- White, M.K., D. Miosky, D.A. Flessas and C.L. Reinisch. 1993. The expression of an adhesion-related protein by clam hemocytes. J. Invertebr. Pathol., 61, 253~259.
- 權伍吉, 朴甲萬, 李俊相. 1993. 原色韓國貝類圖鑑. 아카데미서적. pp. 385.

2001년 4월 10일 접수

2001년 11월 26일 수리