

# 말백합, *Meretrix petechiails* (Lamarck) 어미의 사육수온에 따른 성 성숙 유도

김병학, 문태석, 박기열, 진영국<sup>1</sup>, 신윤경<sup>1</sup>

국립수산과학원 남해특성화연구센터, <sup>1</sup>국립수산과학원 남해수산연구소

## Effect of Temperature on Induced Sexual Maturation of the Hard Clam, *Meretrix petechiails* (Lamarck) Broodstock

Byoung-Hak Kim, Tae-Seok Moon, Ki-Yeol Park, Young-Guk Jin<sup>1</sup> and Yun-Kyung Shin<sup>1</sup>

Shellfish Research Center, National Fisheries Research and Development Institute, Namhae, Gyeongsangnam-do 668-821, Korea

<sup>1</sup>South Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Yeosu 556-823, Korea

### ABSTRACT

Artificial induction of maturation by heating of the hard clam, *Meretrix petechiails* (Lamarck) broodstock was investigated from 25 May to 30 June in 2008. We experimented maturation by keeping the breeding water temperature at 20, 25 and 30 °C and as the natural water temperature and found the following results. In case of the female, maturation was the quickest in the experiment group of 30 °C and the maturation tended to be slower as the water temperature was lower. The similar trend was displayed among the male. At experiment completion, maturation induction rate was found to be the highest at 46.0% in the experiment group of 30 °C followed by 35.0% in the experiment group of 15 °C, 18.0% in the experiment group of natural water temperature and 12.0% in the experiment group of 20 °C. During the period of the experiment, the survival rate was of 90% or more in all groups.

**Key words:** induced sexual maturation, *meretrix lusoria*, broodstock, temperature.

### 서 론

백합과 더불어 서해안에서 서식 및 양식하고 있는 것의 대부분이 말백합이고, 백합보다 약간 둥근 듯한 삼각형이다, 백합은 암갈색의 색체가 각정에서 각록으로 팔자형으로 방사되어 있는 것에 비하여 말백합은 V자형의 무늬가 있는 것이 일반적이다 (Yoo, 1976). 일반적으로 말백합과 백합은 구분없이 통용되고 있으나, 서해안에 주로 서식 및 양식하는 종의 대부분이 말백합이며, 백합과 유사하나 일반적으로 말백합이 백합보다 크고, 일본에는 서식하지 않는다 (Kwon *et al.*, 2001). 우리나라 낙동강, 섬진강, 금강, 한강 및 대동강 하구 등이 산지로서 유명하지만 최근에는 서, 남해안의 담수 영향을 받는 간석지에 널리 분포한다.

백합류의 총생산량은 1960년대 1,000 M/T 내외였고, 1960년대 중반에 본격적인 양성이 시작되면서 1971년에 11,705 M/T로 최대로 생산되었으며, 1975년 대량폐사가 일어나기 시작하여 급격히 감소되었다. 2003년 7,085 M/T로 일시 증가하였으나, 전라북도의 새만금 간척사업으로 28,300 ha의 백합 양식장이 사라짐으로써 2008년 1,454 M/T로 생산량이 급격히 감소되고 있는 실정이다. 말백합 인공종묘를 생산하기 위해서는 성숙된 어미를 확보하는 것이 매우 중요하고, 지금까지는 자연에서 어미를 확보하여 종묘생산에 일부 사용하였으나, 이러한 방법은 산란기가 종료되면 종묘생산을 할 수 없는 단점이 있으므로 어미를 인위적으로 관리하여 연중 수정란을 확보할 수 있는 어미사육관리기법이 확립되어야 한다. 백합에 관한 연구로는 일본의 해역에 따른 산란기 연구 (小形, 1965)가 있고, 국내의 경우는 부사만의 환경과 자원생물학적 연구 (Kim *et al.*, 1986), 생식세포의 형성과정과 생식주기 (Lee, 1997), 생식세포의 발달과 성 성숙 미세구조 (Chung and Kim, 2000), 백합의 인공종묘생산에 관한 연구 (Kim, 2006) 등이 있다.

말백합 인공 종묘생산은 2000년부터 기술개발을 시작하여

Received May 13, 2009; Revised Jul 30, 2009; Accepted Aug 01, 2009

Corresponding author: Byoung-Hak Kim

Tel: +82 (55) 862-9640 e-mail: bbkim@nfrdi.re.kr

1225-3480/25205

2001년에는 시험생산에 성공하였으나, 2003년에 시험연구사업이 종료됨으로써 산업화로는 추진되지 못하였기 때문에 말백합 종묘생산의 산업화를 위한 첫 번째 단계인 어미성숙관리 기법을 확립하고자 하였다.

따라서 본 연구는 연중 종묘생산을 하기 위한 어미성숙 관리 기법을 확립하고자 사육수온별로 성 성숙을 유도하였고, 수온별 비만도, 생식소의 조직학적 발달단계, 성숙 유도율 등을 조사하였다.

**재료 및 방법**

**1. 비만도**

실험에 사용한 말백합은 2008년 3월 24일에 전남 영광군에서 채집하여 2008년 3월 25일부터 2008년 6월 30일까지 말백합 어미 1,200 마리를 서로 다른 수온인 20, 25, 30℃ 및 자연수온으로 가온 성숙유도 사육하였으며, 성 성숙 유도중인 말백합 어미의 성숙과 관련한 부위별 크기 변화를 조사하였다. 각장 (shell length, SL), 각고 (shell height, SH) 및 각폭 (shell breadth, SB) 은 vernier caliper로 0.1 mm까지 측정하였고, 전중 (total weight, TW), 육중 (flesh weight, FW) 및 각중 (shell weight, SW) 은 전자저울로 0.01 g까지 측정하였다.

산란기를 간접으로 추정하기 위해 조사하는 비만도 조사는 Akashige and Fushimi (1992) 의 방법에 따라, 아래와 같이 연체부지수 (flesh weight index)와 각부용적지수 (volumetric index)의 공식을 사용하여 측정하였다.

$$\text{연체부지수} = \frac{\text{FW (g)}}{\text{SW (g)} + \text{FW (g)}} \times 100$$

$$\text{각부용적지수} = \frac{\text{FW (g)}}{\text{SL (mm)} \times \text{SH (mm)} \times \text{SB (mm)}} \times 1,000$$

**2. 생식소의 조직학적 조사**

2008년 3월 25일부터 2008년 6월 30일까지 성 성숙 유도중인 말백합 어미(300 마리/실험구) 의 조직학적 변화를 관찰하기 위하여, 15일 간격으로 30 마리씩 paraffin 절편법에 의해 조직표본을 제작하였으며, Harris hematoxylin과 0.5% eosin으로 비교 염색하여 암수 생식세포의 발달 및 성숙정도를 광학현미경으로 관찰하였다. 어미의 생식소 발달단계는 초기활성기, 후기활성기, 원숙기, 부분산란기 및 퇴화/휴지기의 5 단계로 구분하여 사용하였다.

**3. 가온사육에 따른 성 성숙 유도**

실험에 사용한 말백합은 2008년 3월 24일에 전남 영광군에서 채집하여 2008년 3월 25일부터 2008년 6월 30일까지 97

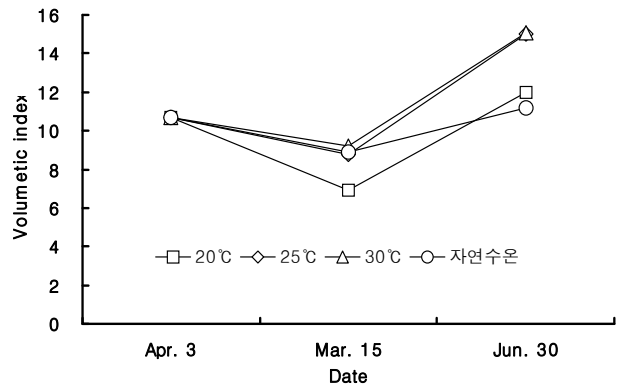
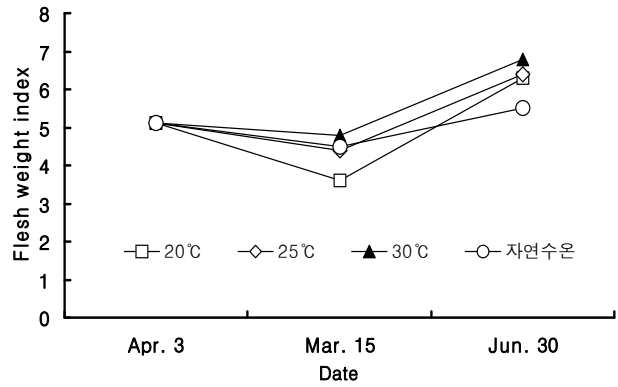


Fig. 1. Flesh weight index and volumetric index of *Meretrix lusoria* cultured in 2008.

일간 1,200 마리 (각장 63.3 ± 1.2 mm) 를 사용하였다. 사육방법은 FRP 사각수조 (용량: 1.5 m<sup>3</sup>) 에 바구니 (크기: 80 × 60 × 60 cm) 3 개를 띄워서 각각 100 마리씩 총 300 마리를 수용하였다. 실험구는 20, 25, 30℃ 및 자연해수 (대조구) 로 설정하였으며, 수온조절은 환경조절기 (경유보일러 및 전기 겸용) 와 2 KW 용량의 히터 2 개를 보정용으로 사용하였다. 실내 조도는 자연 채광으로 100 lux 내외로 조절하였으며, 사육수조의 유수량은 1일 1-2회전 (1-2 l/min) 이 되도록 조절하였다.

먹이생물은 *Chaetoceros gracilis*, *Isochrysis galbana*, *Phaeodactylum tricornutum*, *Tetraselmis tetraethele*를 동일 비율로 혼합, 5 × 10<sup>4</sup>세포/ml/일 농도가 유지될 수 있도록 먹이생물 자동 공급장치로 조절하였다.

생존율은 매일 오전 10:00시에 폐사된 개체수를 계수하였고, 시험 시작일부터 자연 방정, 방란일까지를 성숙소요일로 하였으며, 반응 개체수를 계수하여 성숙 유도율을 조사하였다. 모든 실험은 3 회 반복으로 하였고, 실험 결과는 statistical analysis system (SAS Inc., 1999) program으로 ANOVA test를 실시하여 Duncan's multiple range test (Duncan, 1999) 로 처리 평균 간의 유의성을 95% 신뢰한계에서 검정하

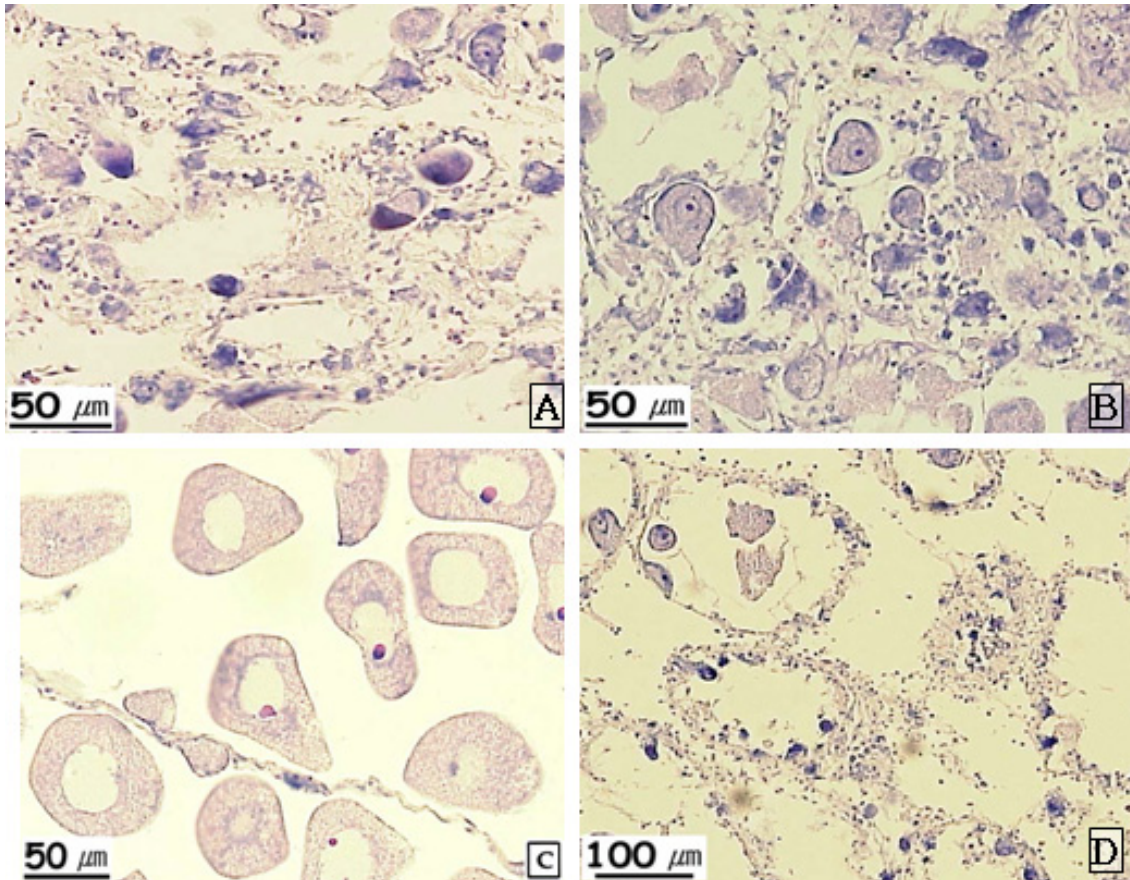


Fig. 2. Photomicrographs of gonadal phases of the female *Meretrix lusoria* (A-D). A, Section of oogenic follicles in the early active stage; B, section of the ovarian sacs in the late active stage; C, section of the ovarian sacs in the ripe stage; D, section of the ovarian sacs in the partially spawned stage.

였다.

## 결 과

### 1. 비만도

말백합 어미의 연체부지수는 가온사육초기에는 다소 낮아지는 경향이 있었으나, 이 후에는 뚜렷한 변화는 없었다 (Fig. 1). 각부용적지수도 연체부지수와 유사한 경향을 나타내었다.

### 2. 생식소의 조직학적 조사

말백합 어미의 생식소 발달단계는 난소와 정소 각각 휴지기, 초기 활성화기, 후기 활성화기, 완숙기, 방출 및 퇴화 흡수기의 연속적인 5 단계로 구분할 수 있으며, 본 시험 개시일인 2008년 3월 24일에는 초기 활성화기를 나타내었다.

#### 1) 초기 활성화기 (early active stage)

암컷의 경우, 난소는 크고 작은 수많은 난소소낭 (ovarian sac) 으로 구성되어 있고, 소낭은 결합조직 사이에 소낭을 형

성하고, 소낭의 생식상피 위에 난원세포가 활발히 분열하여 그 수가 증가 하였다. 난원세포의 크기는 10 μm 내외이며 중앙에 핵이 세포질의 대부분을 차지하였다 (Fig. 2A).

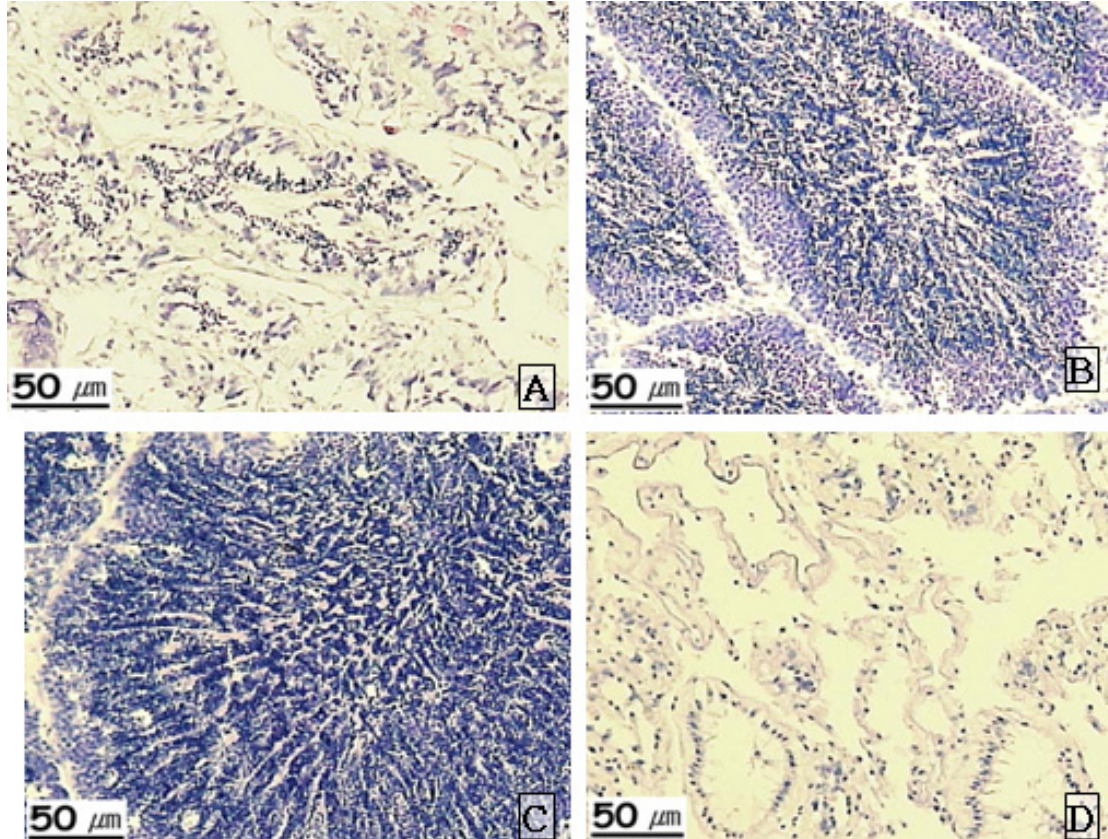
수컷의 경우, 정소는 수많은 정소세관으로 구성되어 있고, 이들의 생식상피 위에서 정원세포가 활발히 분열하여 그 수가 증가하며, 미분화 간충 조직과 호산성 과립세포들이 나타났다 (Fig. 3A)

#### 2) 후기 활성화기 (late active stage)

암컷의 경우, 난소소낭의 벽은 초기 활성화기에 비해 얇아졌으며, 난소소낭의 벽에서는 다양한 크기의 난모세포들이 관찰되었다. 난모세포들은 난병 (egg stalk) 에 의해 상피세포에 부착하여 내강을 향하여 발달하였으며, 난모세포의 크기는 20-40 μm였다. 난모세포의 핵 중심부에는 인이 뚜렷하게 관찰되었으며, 핵의 양적 증가와 더불어 세포질의 양적 증가를 관찰할 수 있었다 (Fig. 2B).

수컷의 경우, 정소에서는 성숙분열을 마친 정원세포가 제 1





**Fig. 3.** Photomicrographs of gonadal phases of the male *Meretrix lusoria* (A-D). A, Section of testicular tubules in the early active stage; B, section of the tubules in the late active stage; C, section of the tubules in the ripe stage; D, section of the tubules in the partially spawned stage.

차 성숙분열을 거쳐 정모세포로 발달하는 조직상을 보였다. 성장기에 정소세관에는 생식상피 위의 정원세포들이 대부분 감소하고 정세포로 충만하였다 (Fig. 3B).

### 3) 완숙기 (ripe stage)

암컷의 경우, 난소 생식상피의 벽은 아주 얇아졌으며, 난모세포가 서서히 구형으로 되며, 세포질에 난황물질을 축적하여 성숙란의 모양을 갖추었다. 완숙한 난모세포는 50-60  $\mu\text{m}$  크기였으며, 핵과 인이 뚜렷이 구분되었다 (Fig. 2C).

수컷의 경우, 정소세관의 상피가 아주 얇아지고 정소세관은 비대해졌으며 변태를 마친 수많은 완숙한 정자들이 정소세관의 내강에 밀집되어 있었고 정자들은 미부편모로 인해 물결모양의 흐름을 이루었다 (Fig. 3C).

### 4) 부분 산란기 (partially spawned stage)

암컷의 경우, 난소는 완숙한 난모세포가 체외로 방출되면서 난소소강 내에 빈 곳이 생겨나고 일부 방출 중인 난모세포가 나타났다 (Fig. 2D).

수컷의 경우, 정소에서는 정자들이 체외로 방출되면서 물결모양의 정자 배열은 없어지고 세관내의 빈곳이 생겨났으며, 일부 방출 중인 정자가 관찰되는 방정기의 조직상을 보였다 (Fig. 3D).

그리고 가온사육 실험에서 어미의 생식소 발달단계는 암컷의 경우, 가온사육 50일 경과 후 완숙기 출현률이 30 $^{\circ}\text{C}$ 에서 100.0%로 가장 높았고, 25 $^{\circ}\text{C}$  실험구에서 80.0%, 20 $^{\circ}\text{C}$ 에서 75.0%였으며, 자연수온 실험구에서는 성숙이 매우 늦어 완숙기에 이르지 못하였다. 95일 경과 후에는 부분 산란기 출현률이 30 $^{\circ}\text{C}$ 에서 75.0%로 가장 높았고, 25 $^{\circ}\text{C}$  실험구에서 66.7%, 20 $^{\circ}\text{C}$ 에서 25.0%였으며, 자연수온 실험구에서 40%를 나타내었다 (Fig. 4). 수컷의 경우, 가온사육 50일 경과 후 완숙기 출현률이 30 $^{\circ}\text{C}$ 에서 60.0%로 가장 높았고, 20 $^{\circ}\text{C}$  실험구에서 33.3%, 25 $^{\circ}\text{C}$ 에서 60.0%였으며, 자연수온 실험구에서는 성숙이 늦어 완숙기에 이르지 못하였다. 95일 경과 후에는 부분 산란기 출현률이 30 $^{\circ}\text{C}$ 에서 85.8%로 가장 높았고, 25 $^{\circ}\text{C}$  실험구에서 75.0%, 20 $^{\circ}\text{C}$ 에서 50.0%였으며, 자연수온 실험구에서 60%순으로 나타났다 (Fig. 4).

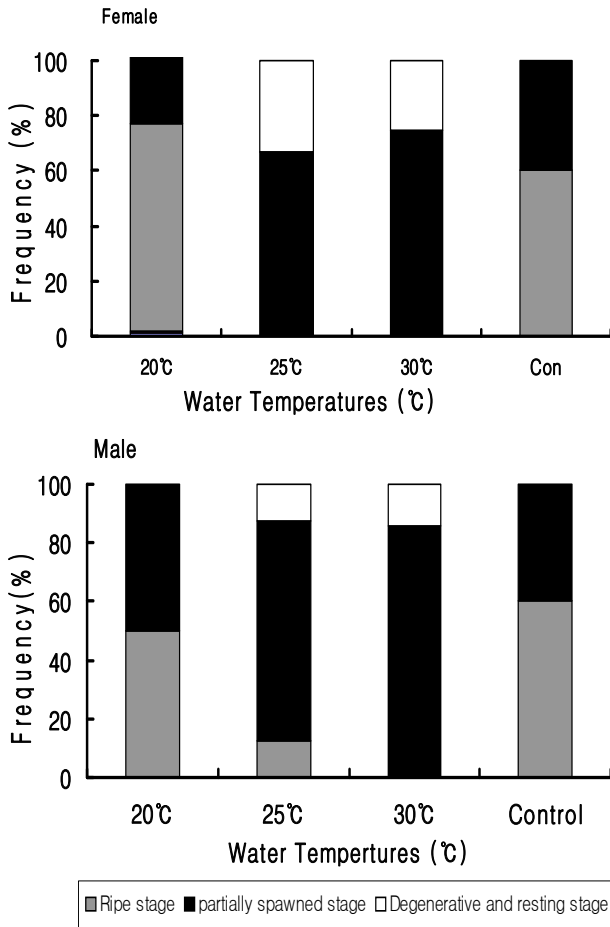


Fig. 4. Frequency of Gonadal phases of *Meretrix lusoria* under different water temperatures during 95 days (from March 25 to June 30, 2008).

### 3. 생존율 및 성 성숙 유도

실험기간 중 어미의 생존율은 자연수온 실험구에서 95.8%로 가장 높았고, 그 다음으로 20°C에서 91.6%, 25°C 실험구가 91.3%, 20°C 실험구가 90.2%로 비교적 매우 높은 생존율을 나타내었다 (Fig. 5,  $p > 0.05$ ).

성 성숙 유도율은 자연 방란, 방정 후 조사한 결과 30°C 실험구에서 46.0%로 가장 높았고, 25°C 실험구에서 35.0%, 자연수온에서 18.0% 및 20°C 실험구에서 12.0%로 순으로 유의한 차이를 나타내었다 (Fig. 6,  $p < 0.05$ ).

사육수온을 20, 25, 30°C 및 자연수온으로 성숙 시험한 결과, 암컷의 경우 30°C 실험구가 성숙이 가장 빨랐고, 수온이 낮을수록 늦은 경향이었으며, 수컷도 비슷한 경향을 나타내었다. 백합의 수온별 어미성숙은 20°C 보다는 수온이 높은 실험구인 25, 30°C에서 성숙 유도율이 높은 경향이 나타났다.

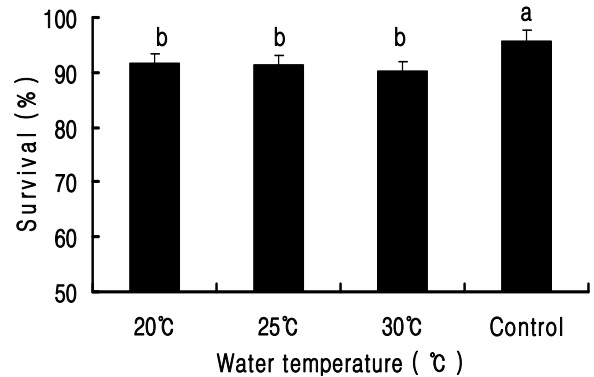


Fig. 5. Variations of the Survival *Meretrix lusoria* broodstock reared at different water temperatures. Values with different letter are significantly different ( $p < 0.05$ ).

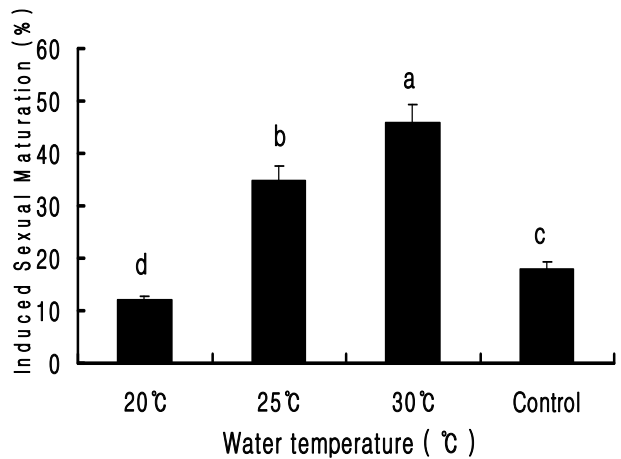


Fig. 6. Induced Sexual Maturation of the *Meretrix lusoria* in the temperatures 20, 25, 30°C and control (natural water temperatures). Values with different letter are significantly different ( $p < 0.05$ ).

### 고 찰

조개류의 생식소는 일반적으로 독립된 기관으로 존재하지 않아 생식소만을 분리하기 어려워 생식소의 성숙시 증가되는 무게의 변화에 따라 성성숙도를 지수로 표현하는 생식소중량지수 (GSI) 를 구하기 어려우며, 따라서 산란기는 생식소의 발달과 밀접한 관련이 있는 연체부의 비만도 월별 변화를 조사하여 간접적으로 추정하고 있다. 말백합에서는 개체의 생식소가 발달함에 따라 비만도가 증가하고 있어 생식소의 발달정도가 개체 체중의 증감에 영향을 주는 것으로 판단된다.

조개류에서 비만도의 변화는 생식소 발달 주기와 연관성을 보이는데, 새조개, *Fulvia mutica* (Chang and Lee, 1982), 북방대합, *Spisula sachalinensis* (Lee et al., 1997), 고막, *Tegillarca granosa* (Lee, 1997), 대복, *Gomphina*

*veneriformis* (Park *et al.*, 2003)의 비만도는 생식소의 발달과 함께 증가하며, 생식세포의 방출 후에는 감소한다. 본 연구에서는 말백합 어미의 연체부지수와 각부용적지수가 가온 사육초기에 다소 낮아지는 경향이 있었으나, 이후에는 뚜렷한 변화는 없었다. 이와 같은 현상은 자연에서 실내수조로 수송되어 환경변화로 인하여 비만도가 일시적으로 감소되었던 것으로 생각되어지며, 점진적으로 회복되어 실내수조에 적응되어 비만도가 점진적으로 증가되면서 성 성숙이 이루어진 것으로 판단된다.

백합의 산란기는 해역에 따라 차이가 있으며 (日本水産資源保存協會, 1985), 일본의 경우 하계를 중심으로 연 1 회 산란한다 (相良, 1981). 해역별 산란기는 동경만의 千葉에서는 6-8월 (内藤, 1930), 浦安 6-10월 (Taki, 1949), 仙台灣 5-7월 (宋戸), 松川浦 7-9월 (伊藤, 小木會, 1954), 豊前海 6-8월 (小形, 1965), 宥明海 5-7월 (藤森, 1929), 戸内海는 7-8월 (Ikuta, 1988)로 위도나 해역에 따라 차이가 있었다.

한국의 백합 산란기에 대한 연구로 인천 송도는 8월 중순부터 9월 중순까지이며, 산란 성기는 8월 하순으로 추정하였고 (Choi, 1971), 충남 서산군 안면도에서는 7월 하순에 난소 성숙도가 가장 높았고, 8월 중순부터 난소 속의 성숙란이 극히 감소하였다고 보고하였다 (Choi and Song, 1974). 충남 부사만의 산란기는 5-10월이며, 산란 성기는 6-7월로 보고하였다 (Kim *et al.*, 1986) 전북 김제 해역의 산란기에 대하여 Lee (1997a) 는 수온 22℃인 6월부터 25℃인 9월까지이며, 산란 성기는 7월 (27℃)-8월 (28℃)로 보고하였다. Chung and Kim (2000) 도 산란기를 6월부터 9월까지로 보고하였다.

본 연구에서 말백합 어미를 사육수온을 달리하여 성 성숙을 유도하고자 하였으며, 생식소 발달단계는 생식세포의 형태, 크기 및 분화의 조직학적 특징을 토대로 하여 초기 활성화기, 후기 활성화기, 완숙기, 부분산란기의 4 단계를 관찰할 수 있었다. 가온사육 실험에서 어미의 생식소 발달 단계는 암컷의 경우, 가온사육 50일 경과 후 완숙기 출현률이 30℃에서 100.0%로 가장 높았고, 25℃ 실험구에서 80.0%, 20℃에서 75.0%였으며, 자연수온 실험구에서는 성숙이 매우 늦어 완숙기에 이르지 못하였다. 95일 경과 후에는 부분 산란기 출현률이 30℃에서 75.0%로 가장 높았고, 25℃ 실험구에서 66.7%, 20℃에서 25.0%였으며, 자연수온 실험구에서 40%를 나타내었다. 이러한 결과는 말백합의 성숙이 수온이 높은 실험구에서 성숙이 빨리 진행되는 경향이 있어 어미 사육시 수온은 25℃ 이상이 적절할 것으로 판단되어지고, 사육수조의 형태도 재고되어야 할 것으로 생각된다.

실험기간 중 어미의 생존율은 자연수온 실험구에서 95.8%로 가장 높았고, 그 다음으로 20℃에서 91.6%, 25℃ 실험구

가 91.3%, 20℃ 실험구가 90.2%로 비교적 매우 높은 생존율을 나타내었으나 방출 후에는 거의 대부분이 폐사가 발생하였으며, 이러한 결과는 방출 후 급격한 쇠약현상으로 판단되고, 양식현장에서도 여름철 고수기의 산란에 의한 대량폐사로 추정된다.

사육수온을 20, 25, 30℃ 및 자연수온으로 성숙 시험한 결과, 암컷의 경우 30℃ 시험구가 성숙이 가장 빨랐고, 수온이 낮을수록 늦은 경향이였으며, 수컷도 비슷한 경향을 나타내었다. 말백합의 수온별 어미성숙은 20℃ 보다는 수온이 높은 시험구인 25, 30℃에서 성숙 유도율이 높은 경향이 나타났다. 따라서 말백합 어미를 사육수온 25℃ 이상에서 성 성숙을 유도하는 것이 바람직 할 것으로 판단되며, 적정 사육수온을 찾기 위해서는 시기별, 수온 조절 방법 등에 관한 연구가 필요함을 알 수 있었다.

## 요 약

본 연구는 2008년 3월 24일에 전남 영광군에서 채취한 말백합 어미 1,200 마리를 확보하여 수온조절 (20, 25, 30℃ 및 자연해수) 에 의한 인위적인 성 성숙을 유도하였으며, 성숙 유도된 어미로부터 생존율, 비만도, 생식소 및 성숙 소요일수를 조사하였다. 말백합 어미의 연체부지수는 사육초기에는 다소 낮아지는 경향이 있었으나, 5월 중순부터 증가하는 경향이 있었으며, 시험 종료 시에는 연체부 지수가 급격히 증가하였으며, 각부용적지수도 유사한 경향을 나타내었다. 말백합의 생식소 발달단계는 비활성기, 초기 활성화기, 후기활성기, 완숙기, 방출 및 퇴화의 5 단계로 구분할 수 있는데, 시험 개시일인 3월 25일경은 전기 활성화기였으며, 시험 종료일인 6월 30일에는 수온별로 다양한 생식주기를 나타내었다. 시험 종료 시 성숙 유도율은 30℃ 실험구에서 46.0%로 가장 높았고, 15℃ 실험구 35.0%, 자연수온 18.0% 및 20℃ 실험구 12.0%로 순으로 나타났으며, 시험 기간 중 생존율은 전 구간이 90% 이상으로 나타났다. 사육수온을 20, 25, 30℃ 및 자연수온으로 성숙 시험한 결과, 암컷의 경우 30℃ 실험구가 성숙이 가장 빨랐고, 수온이 낮을수록 늦은 경향이였으며, 수컷도 비슷한 경향을 나타내었다. 말백합의 수온별 어미성숙은 20℃ 보다는 수온이 높은 실험구인 25, 30℃에서 성숙 유도율이 높게 나타났다.

## REFERENCES

- Akashige, S. and Fushimi, T. (1992) Growth, survival and glycerol content of triploid Pacific oyster *Crassostrea gigas* in the waters of Hiroshima, Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **58**: 1063-1071.
- Chang, Y.J. and Lee, T.Y. (1982) Gametogenesis and reproductive cycle of the cockle, *Fulvia mutica* (Reeve). *Bulletin of Korean Fisheries Society*, **15**:

- 241-253.
- Choi, K.C. (1971) Ecological studies of the clam, *Meretrix lusoria* and *Cyclina sinensis* for the increasing seed clam yield. *Korean Journal of Limnology*, **4**: 9-19. [in Korean]
- Choi, S.S. and Song, Y.K. (1974) Studies on the artificial fertilization and development of *Meretrix lusoria*. *Bulletin of Korean Fisheries Society*, **7**: 1-6. [in Korean]
- Chung, E.Y. and Ryou, D.K. (2000) Gametogenesis and sexual maturation of the surf clam, *Maetra veneriformis* on the west coast of Korea. *Malacologia*, **42**: 149-163.
- Chung, E.Y. and Kim, Y.M. (2000) Ultrastructural study of germ cell development and sexual maturation of the hard clam, *Meretrix lusoria* (Bivalvia: Veneridae), on the west coast of Korea. *Journal of Medical and Applied Malacology*, **10**: 181-202.
- Duncan, D.B. (1955) Multiple range and multiple F tests, *Biometrics*, **11**: 1-42.
- Ikuta, K. (1988) Heavy metal concentrations and year-class structure of a venus clam, *Meretrix lusoria*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **54**: 709-715.
- Kim, J.R., Chung, E.Y., Choi, M.S. and Ryn, M.H. (1986) Studies on environment and biology of aquatic living resources in Pusa Bay. *Bulletin of Natural Science, Kunsan National University*, **1**: 151-197. [in Korean]
- Kwon, O.K., Min, D.K., Lee, J.R., Lee, J.S., Je, J.G. and Choi, B.L. (2001) Korean Mollusks with Color Illustration. p. 275. Hangeul, Busan. [in Korean]
- Lee, C.S. and Rho, S. (1997) Studies on the artificial seedling production of geoduck clam, *Panope japonica* II. Development of egg and larvae. *Journal of Aquaculture*, **10**: 25-32. [in Korean]
- Lee, J.H. (1997) Histological studies on the gametogenesis and reproductive cycle of the hard clam, *Meretrix lusoria*. *Korean Journal of Malacology*, **13**: 131-141.
- Park, J.J., Lee, J.Y., Lee, J.S. and Chang, Y.J. (2003) Gonadal development and gametogenic cycle of the equilateral venus, *Gomphina veneriformis* (Bivalvia: Veneridae). *Journal of Korean Fisheries Society*, **36**: 352-357. [in Korean]
- Taki, I. (1949) Spawning season of *Meretrix lusoria* (bivalve). *Bulletin of Japanese Society of Scientific Fisheries*, **15**: 479-486. [in Japanese]
- Yoo, J.S. (1976) Korean Shells in Colour. pp. 130-131. Iljisa Publishing Co., Seoul. [in Korean]
- 勝森三郎 (1929) 宥明海干潟利用研究報告. 福岡水試. 175 pp.
- 内勝新吾 (1930) 主要貝類の産卵時期調査. 千葉水試内灣分場槩注事業報告, 昭和 5年度, pp. 21-23.
- 相良順一郎 (1981) アサリ・ハマグリ of 生理生態. 海洋と生物, **3**: 102-105.
- 小形國三 (1965) ハマグリ. 浅海養殖60種. pp. 228-236. 大成出版社.
- 伊勝進, 小木會早郎 (1954) 松川浦に放けるアサリ・ハマグリ of 増殖に関する研究. 第2報. pp. 1-13.
- 日本水産資源保存協會 (1985) 水産生物生活史生態. pp. 241-251.
- 宋戸一郎 (1985) 仙台地方貝類産卵期. 水産調査報告, **3**: 27-116.