Korean Journal of Malacology, Vol. 22(2): 175-182, December 30, 2006

피조개, *Scapharca broughtonii* (Schrenck) 어미의 수온에 따른 성 성숙 유도

김병학, 민광식, 이승주, 박기열, 안철민[1], 민병희[2]

국립수산과학원 패류연구센터, [1]국립수산과학원 연구기획팀, [2]부경대학교 양식학과

Effect of Temperature on Induced Sexual Maturation of the Ark Shell, *Scapharca broughtonii* (Schrenck) Broodstock

Byoung-Hak Kim, Kwang-Sik Min, Seung-Ju Lee, Ki-Yeol Park, Chul-Min An[1] and Byeong-Hee Min[2]

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

[1]Research Planning Team, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-902, Korea

[2]Department of Aquaculture, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

ABSTRACT

Artificial induction of maturation by heating of the ark shell, *Scapharca broughtonii* (Schrenck) broodstock was investigated from 10th March to 21th May in 2004. Maturity at the fixed water temperature group of 23℃ was 60.5%, and it was the highest in maturity among experimental groups cultured for seven weeks. The proportions of organism surviving to start of *S. broughtonii* in the raised water temperature experimental groups (20 and 23℃) were over 90.5%, as similar to the control group (natural water temperature, 84.8%). But, the proportions of organism surviving to start of *S. broughtonii* in the fixed water temperature experimental groups (20, 23, and 26℃) were decreased with the increasing of the water temperature. In the fixed water temperature experimental groups of 26℃, the survival was 18.1%. Base on these results, the fixed water temperature of 20℃ (accumulated water temperature; 1,295℃) was the best condition for artificial induction of sexual maturation.

Keywords: Induced Sexual Maturation, *Scapharca brougtonii*, Broodstock, Temperature.

Received November 10, 2006; Accepted December 8, 2006
Corresponding author: Kim, Byoung-Hak
Tel: +82 (55) 862-9640 e-mail: bhkim@nfrdi.re.kr
1225-3480/22210
© The Malacological Society of Korea

서 론

우리나라의 피조개, *Scapharca brougtonii*는 질적으로 우수하여 경쟁상대국인 일본, 중국에 비해 경쟁력은 있으나, 최근에 이르러 자연채묘 부진으로 인한 양식용 종묘의 부족과 양식장 환경악화 등으로 양식 생산량은 1990년 17,758 톤에서 2003년 4,696 톤으로 급격히 감소하고 있는 실정이며, 양식에 필요한 종묘는 전량 자연종묘에 의존하고 있기 때문에 안정적인 종묘 확보에 어려움이 많다. 이에 따른 해결책으로 인공종묘생산을 들 수 있으나, 어미관리기법 등 관련 요소기술개발의 미흡 등으로 산업화가 지연되고 있는 실정이다. 인공종묘생산은 1991년부터 남해수산종묘배양장 (현: 패류연구센터)에서 기술개발에 착수하여 1990년대 중반에 대량생산기술은 확립되었으나, 산업적용을 위한 관련 핵심기술의 미흡으로 많은 어려움을 겪고 있다. 따라서 연중 인공종묘생산을 위한 어미의 성 성숙을 보다 체계적으로 연구하여 성숙 촉진 및 억제에 의한 성숙관리 기법 개발이 절실히 요구되고 있다.

한국산 피조개는 Yoo and Yoo (1974) 의 자연채묘에 관한 연구와 유생과 치패사육에 대한 연구 (Cheong *et al.*, 1982;

Kanno, 1963) 및 산업화를 위한 중간양성 기법개발 (Min *et al.,* 2004) 등에 관한 연구가 보고된 바 있다. 그리고 피조개의 성숙에 관한 연구는 일본의 경우 Dzyubu and Maslennikova (1982) 가 Peter the Great Bay에 서식하는 피조개의 생식세포 발달단계에 관하여 자세히 기술하였고, Numaguchi (1996) 가 일본산 피조개의 연령별 생식세포 발달과정과 산란시기의 차이를 밝혔다. 우리나라에서도 Park *et al.* (1998, 2001) 의 서식환경의 차이에 따른 피조개의 성장과 산란시기의 차이에 관한 보고와 강진만 피조개의 재생산 주기와 생화학 조성에 관한 연구가 이루어져 왔을 뿐, 인공종묘생산을 위한 성숙 촉진 및 억제에 관련된 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구는 피조개 인공종묘생산을 연중 가능하게 하기 위하여 피조개 어미를 인위적으로 각각 다른 수온에서 성성숙 관리하였으며, 잔존율, 비만도, 생식소발달, 성숙소요일수 및 적산수온 등을 조사하였다.

재료 및 방법

1. 비만도

실험에 사용한 피조개 (*Scapharca brougtonii*) 는 2004년 3월에 경남 강진만에서 채집하여 2004년 3월 10일부터 2004년 5월 7일까지 성 성숙 유도중인 피조개 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

2004년 3월 10일부터 2004년 5월 7일까지 성 성숙 유도중인 피조개 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 판정하였다. 어미의 생식소 발달단계는 초기활성기, 후기활성기, 완숙기, 부분산란기 및 퇴화/휴지기의 5단계로 구분하여 사용하였다.

3. 가온사육에 따른 성 성숙 유도

실험에 사용한 피조개 어미는 남해 강진만산 1,200 마리 (평균 각장 64.4 ± 3.1 mm) 를 2004년 3월 10일 수송, 실내수조에 수용하여 3월 11일부터 자연수온 (9.5℃) 에서 매일 0.5-0.7℃씩 수온을 서서히 상승시켜 설정수온 (20, 23, 26℃) 까지 이르게 하였다.

시험 기간은 2004년 3월 26일부터 5월 21일까지 57일간이었고, 사육방법은 FRP 사각수조 (용량: 1.5 m^2) 에 바구니 (크기: 80 × 60 × 60 cm) 3 개를 띄워서 각각 100 마리씩 총 300 마리를 수용하였다. 실험구는 20, 23, 26℃ 및 자연해수 (대조구) 로 설정하였으며, 수온조절은 생물환경조절장치 (Aquatron YW-0275675, Yoowon Electronic) 와 2 KW 용량의 티타늄 히터 2 개를 보정용으로 사용하였다. 실내 조도는 자연 채광으로 100 Lux 내외로 조절하였으며, 사육수조의 유수량은 1일 1-2 회전 (1-2 L/min) 되게 조절하였다.

먹이생물은 *Chaetoceros gracilis, Isochrysis galbana,*

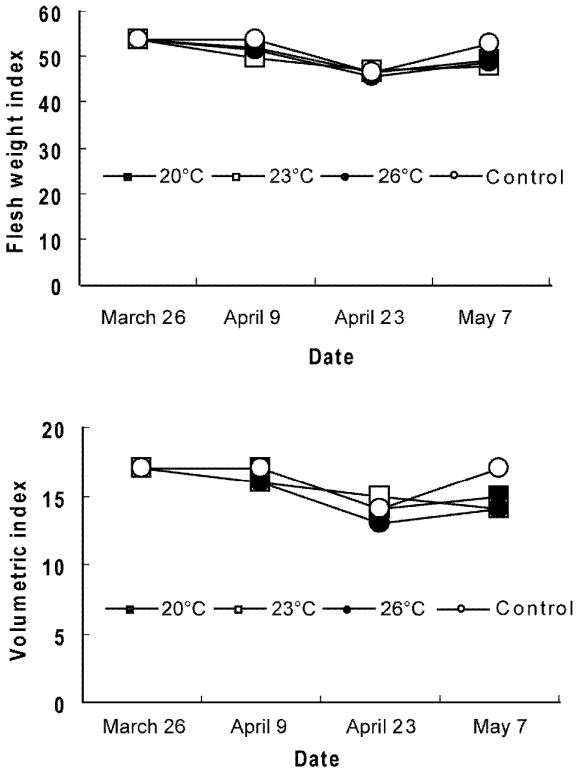

Fig. 1. Flesh weight index and volumetric index of *Scapharca broughtonii* cultured.

*Phaeodactylum tricornutum, Nannochloris oculata, Tetraselmis tetrathele*를 동일 비율로 혼합, 5 × 10^4세포/ml/day 농도가 유지될 수 있도록 먹이생물 자동공급장치로 조절하였다.

잔존율은 매일 오전 10시에 폐사된 개체수를 계수 하였고, 시험 시작 일부터 자연 방정·방란 일까지를 성숙소요일로 하였으며, 반응 개체수를 계수하여 성숙 유도율을 조사하였다. 모든 실험은 3 회 반복으로 하였고, 실험 결과는 Statistical Analysis System (SAS Inc.) program으로 ANOVA test를 실시하여 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955) 로 처리 평균 간의 유의성을 95% 신뢰한계에서 검정하였다.

결 과

1. 비만도

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

2. 생식소의 조직학적 조사

피조개 어미의 생식소 발달단계는 생식세포의 형태, 크기 및 분화의 조직학적 특징을 토대로 하여 초기활성기, 후기활성기, 완숙기, 부분산란기의 4 단계로 구분할 수 있었다.

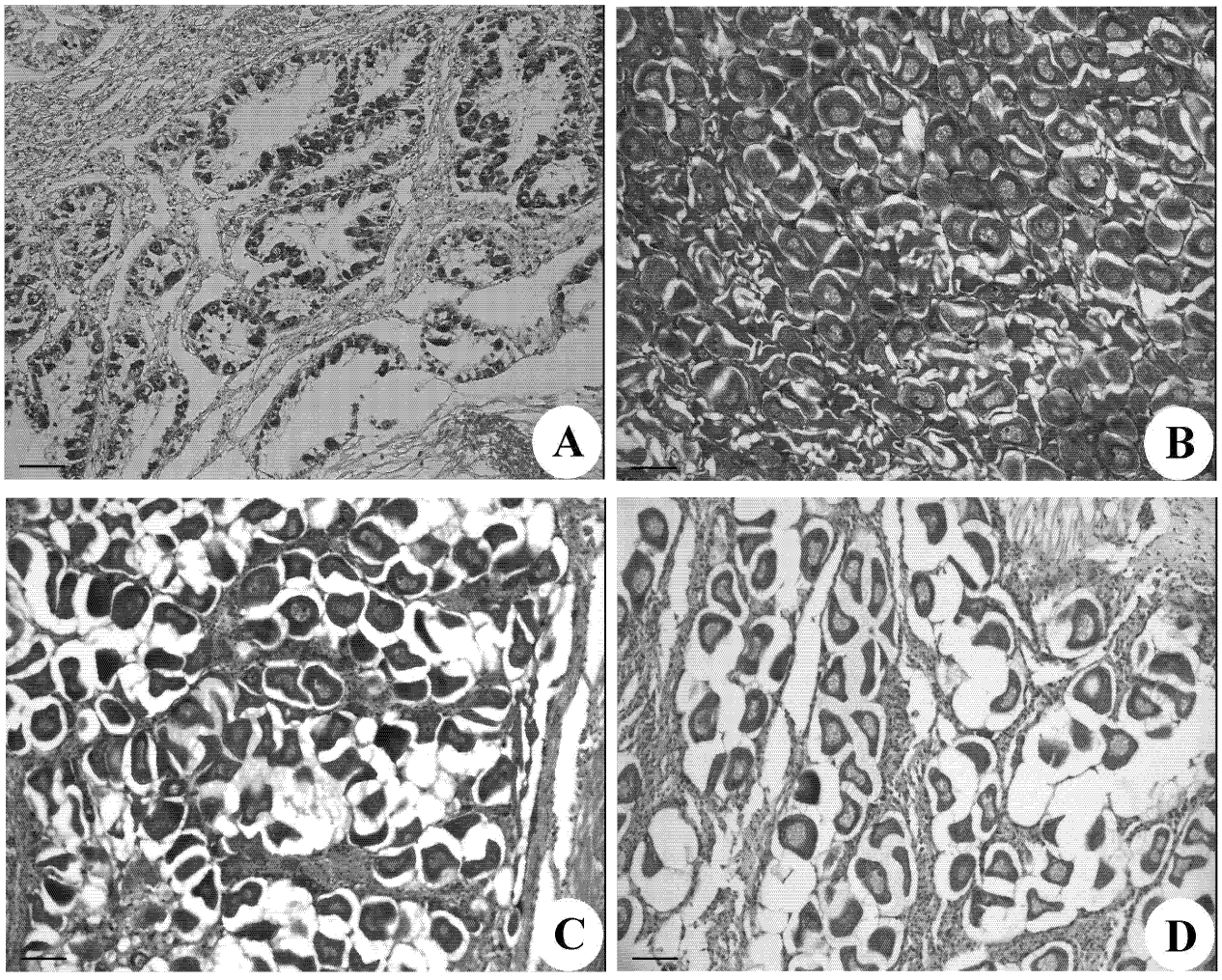

Fig. 2. Photomicrographs of gonadal phases of the female *Scapharca broughtonii* (A-D). **A**, Section of oogenic follicles in the early active stage; **B**, section of the ovarian sacs in the late active stage; **C**, section of the ovarian sacs in the ripe stage; **D**, section of the ovarian sacs in the partially spawned stage. Scale bar = 50 μm.

1) 초기활성기 (early active stage)

암컷의 경우, 난소는 크고 작은 수많은 원형 또는 타원형의 난자형성소낭 (oogenic follicle) 으로 구성되어 있으며, 초기 난모세포들의 난경은 15 μm 내외로 호염기성의 세포질 내에 뚜렷한 인을 가진 핵이 대부분을 차지하였고, 소낭의 벽에서 활발히 증식되고 있었다 (Fig. 2A).

수컷의 경우, 정소에는 새로운 세관이 형성되고, 이들의 생식상피 위에서 정원세포가 활발히 분열하여 그 수가 증가하며, 정자형성소낭 (spermatogenic follicle) 벽에서 대부분의 정원세포들과 일부 정모세포들의 불규칙한 배열 상을 관찰할 수 있었다(Fig. 3A).

2) 후기활성기 (late active stage)

암컷의 경우, 난자형성 소낭벽은 초기활성기에 비해서 얇아져 있었으며, 소낭의 면적은 증가되어 나타났다. 이 시기에는 주로 직경 크기가 40 μm 내외인 호산성의 세포질을 가지는 난모세포들이 난병으로 연결되어 내강 쪽으로 발달된 양상을 보였다 (Fig. 2B).

정자의 경우, 정자형성소낭은 난소에서와 같이 얇아진 상태였으며, 소낭벽 근처에서는 일부 정원세포들이 관찰되었고, 소낭의 내강 쪽은 대부분 정원세포보다 크기가 큰 작은 호염기성의 정모세포들이 차지하고 있었다 (Fig. 3B).

3) 완숙기 (ripe stage)

암컷의 경우, 호산성의 미세한 난황과립으로 채워진 난모세포들이 난병에서 분리되어 소낭 안쪽까지 분포하며, 소낭 내강에는 난경이 60 μm 내외인 완숙난모세포로 가득 채워져 최대로 비후해 있었다. 이들 완숙난모세포들의 핵은 세포질의 절반을 차지하고 있었다 (Fig. 2C).

수컷의 경우, 성숙분열을 마친 정세포가 생식상피 주변에 층

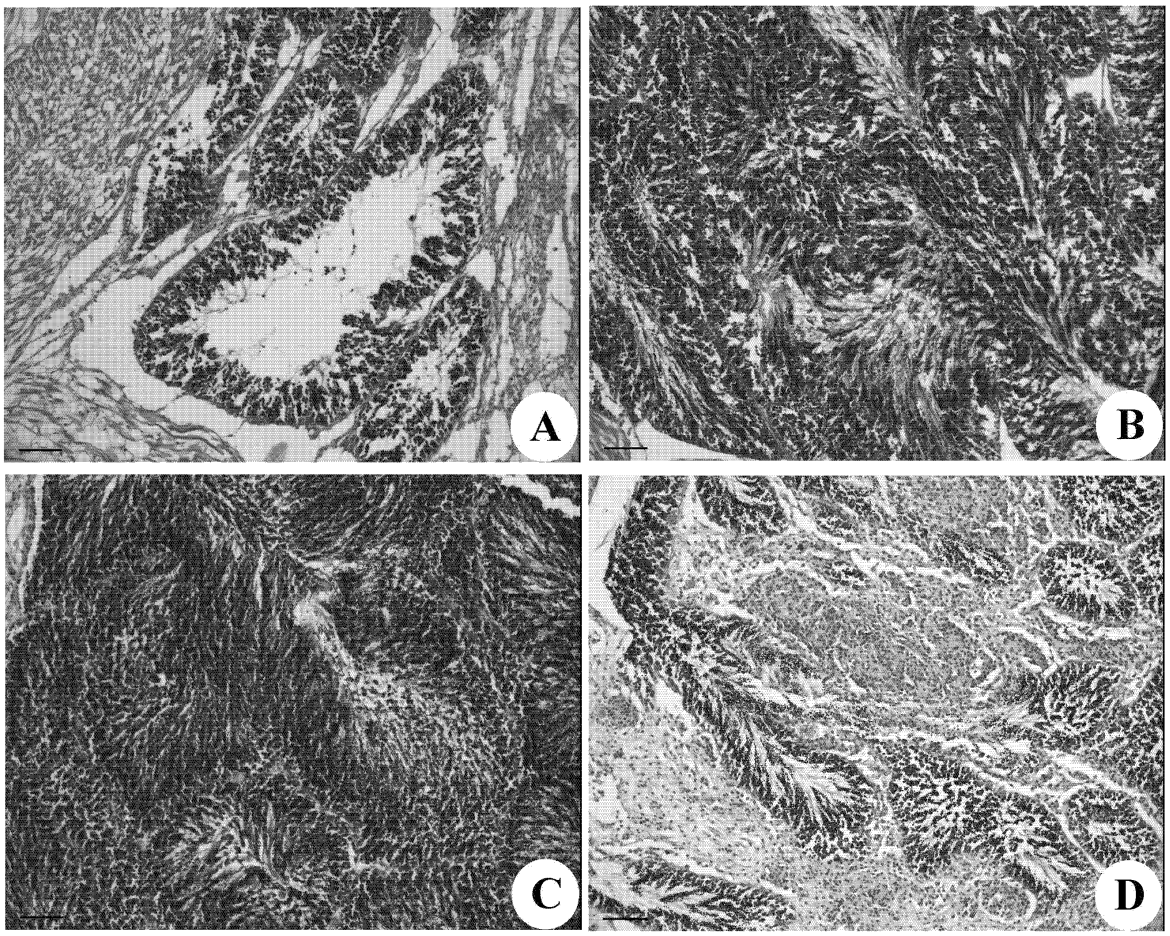

Fig. 3. Photomicrographs of gonadal phases of the male *Scapharca broughtonii* (A-D). **A**, Section of testicular tubules in the early active stage; **B**, section of the tubules in the late active stage; **C**, section of the tubules in the ripe stage; **D**, section of the tubules in the partially spawned stage. Scale bar = 50 μm.

만 되었고, 성숙 변태한 정자들이 세정관을 채움으로써 물결모양의 흐름을 이루었다. 성숙한 정자의 두부는 강한 염기성 반응을 나타내었으며, 소낭의 벽쪽을 향하고 있었고, 산성 색소에 염색되는 미부는 중앙내강을 향하고 있었다 (Fig. 3C).

4) 부분산란기 (partially spawned stage)

암컷의 경우, 난소에서는 산란기에 이르러 난소소낭의 내강 중앙에 자리잡고 있던 완숙난모세포들이 방출되므로 소낭의 내강은 거의 빈 공간으로 되고, 일부 방출 중인 난모세포가 나타났다 (Fig. 2D).

수컷의 경우, 정소에서는 정자의 방출이 일어나면서 물결모양의 정자배열은 없어지고 세관 내에 빈 곳이 생겨났으며, 일부 방출 중인 정자가 관찰되는 방정기의 조직상을 보였다. 이 시기에 정자형성소낭벽 근처에서는 다수의 정원세포와 정모세포들을 관찰할 수 있었다 (Fig. 3D).

그리고 가온사육 실험에서 어미의 생식소 발달단계는 암컷의 경우, 가온사육 42 일 경과 후 20℃ 실험구에서 완숙기 출현율이 67%로 가장 높았고, 23℃ 실험구에서 56%, 26℃에서 22%였으며, 자연수온 실험구에서는 성숙이 매우 늦어 완숙기에 이르지 못하였다. 수컷의 경우, 23℃ 실험구에서 완숙기 출현율이 100%로 가장 높았고, 20℃ 실험구에서 87%, 26℃에서 73%였으며, 자연수온 실험구에서는 50%순으로 나타났다 (Fig. 4).

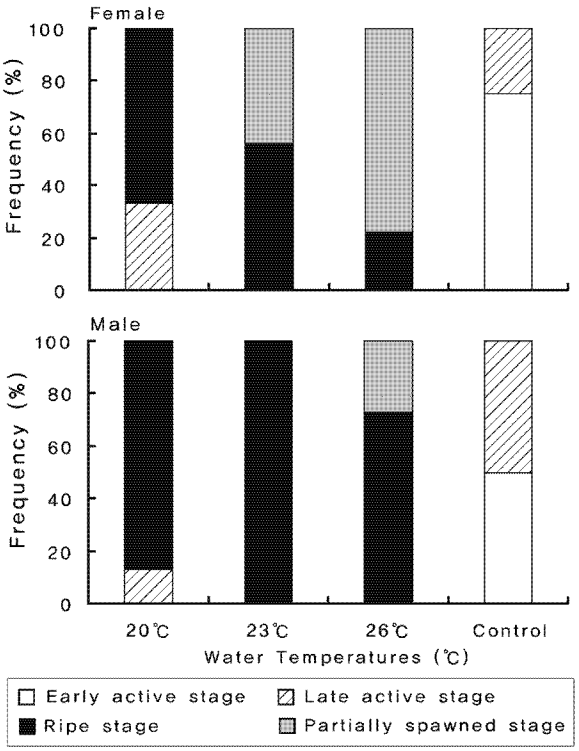

Fig. 4. Frequency of gonadal phases of *Scapharca broughtonii* under different water temperatures during 42 days (from March 10 to May 7, 2004).

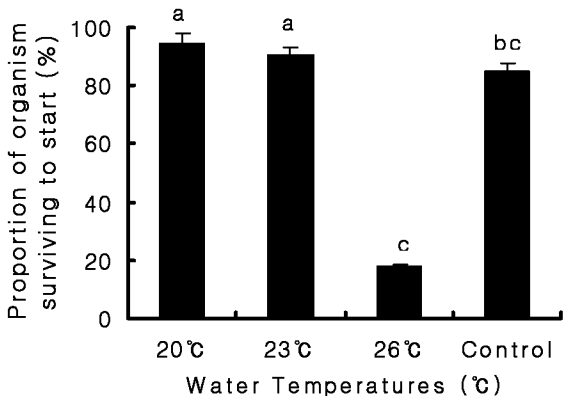

Fig. 5. Variations of the proportion of organism surviving to start of *Scapharca broughtonii* broodstock reared at different water temperatures. Values with different letter are significantly different ($p < 0.05$).

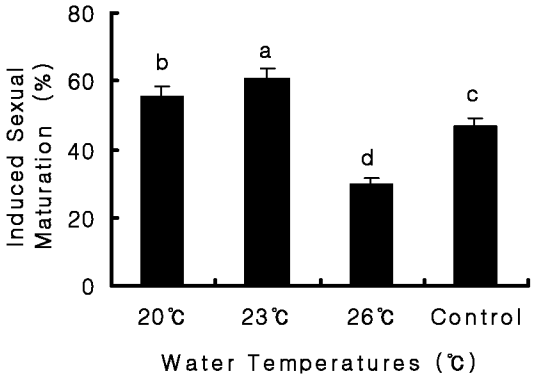

Fig. 6. Induced sexual maturation of the *Scapharca broughtonii* in the temperatures 20, 23 and 26, and control (Nature Water Temperatures). Values with different letter are significantly different ($P < 0.05$).

3. 성 성숙 유도

실험기간 중 어미의 잔존율은 20℃ 실험구에서 94.8%로 가장 높았고, 그 다음으로 23℃에서 90.5%, 자연해수에서 84.8%였으며, 26℃ 실험구가 19.8%로 다른 실험구에 비해 유의하게 낮게 나타났다 (Fig. 5, $p < 0.05$).

성 성숙 유도율은 자연 방란, 방정 후 조사한 결과 23℃ 실

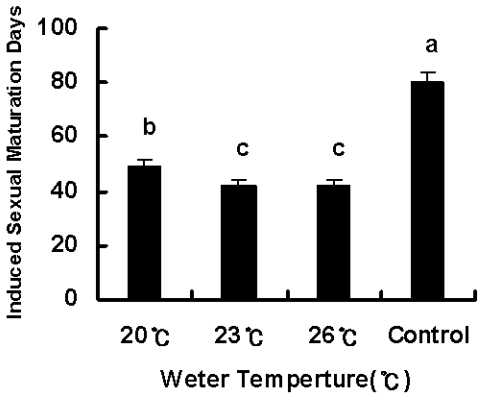

Fig. 7. Induced sexual maturation days of the *Scapharca broughtonii* in the temperatures 20, 23 and 26℃, and control (nature water temperatures). Values with different letter are significantly different ($P < 0.05$).

험구에서 60.5%로 20℃의 55.5% 보다 유의하게 높게 나타났다 (Fig. 6, $p < 0.05$).

성숙소요일수는 23℃ 실험구에서 42일, 20℃ 실험구에서 49일째이었고, 대조구인 자연 수온 (9.5-14.8℃) 은 79일째 방란·방정이 되었으며, 26℃ 실험구에서는 잔존율이 매우 낮아 자연 방란방정이 되지 않았다 (Fig. 7).

고 찰

조개류에서 생식주기 및 성 성숙은 외인성 요인 (exogenous factor) 과 내인성 요인 (endogenous factor) 의 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 외인성 요인으로는 수온, 빛, 조석주기, 수심, 먹이, 밀도, 기생충 및 질병, 염분 및 기질 등이 있으며, 내인성 요인으로는 유전학적 요인과 내분비성 요인 등을 들 수 있는데, 수온은 이러한 여러 요인들 가운데 가장 중요하게 작용하는 요인이다 (Mackie, 1984). 본 연구에서는 가온 사육하여 수온에 따른 성 성숙을 유도하였다.

조개류에서 생식주기의 구분은 주로 생식소지수 (GI) 의 월 변화, 비만도 (CI) 의 월 변화 및 생식소 발달단계 빈도의 월 변화 등의 자료가 이용되어 왔다 (García-Domínguez *et al.,* 1994; Behzadi *et al.,* 1997; Villalejo-Fuerte and García-Domínguez, 1998; Marsden, 1999; Chung and Kim, 2000; Chung *et al.,* 2001; Park *et al.,* 2003).

조개류에서 비만도의 변화는 생식소 발달 주기와 연관성을 보이는데, 새조개, *Fulvia mutica* (Chang and Lee, 1982), 북방대합, *Spisula sachalinensis* (Lee *et al.,* 1996), 고막, *Tegillarca granosa* (Lee, 1997), 대복, *Gomphina veneriformis* (Park *et al.,* 2003) 의 비만도는 생식소의 발달과 함께 증가하며, 생식세포의 방출 후에는 감소한다. 본 연구에서는 피조개 어미의 연체부지수와 각부용적지수가 가온사육초기에 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 비교적 안정된 성 성숙이 이루어진 것으로 판단된다.

피조개의 경우, 생식주기는 생식소지수의 월 변화와 생식소 발달단계 빈도의 월 변화를 기초로 11-3월의 비활성기, 3-5월의 초기활성기, 5-7월의 후기활성기, 6-8월의 완숙기, 8-10월의 방출 및 퇴화기로 구분할 수 있으며, 산란 및 방정은 주로 6-8월에 일어난다고 보고한 바 있다 (Chung, 1997; Park *et al.,* 1998; Lee, 2000; Park *et al.,* 2001).

본 연구에서 피조개 어미의 생식소 발달단계는 생식세포의 형태, 크기 및 분화의 조직학적 특징을 토대로 하여 초기활성기, 후기활성기, 완숙기, 부분산란기의 4 단계를 관찰할 수 있었다. 가온사육 실험에서 어미의 생식소 발달단계는 암컷의 경우, 가온사육 42 일 경과 후 20℃ 실험구에서 완숙기 출현율이 67%로 가장 높았고, 23℃ 실험구에서 56%, 26℃에서 22%였으며, 자연수온 실험구에서는 성숙이 매우 늦어 완숙기에 이르지 못하였다. 수컷의 경우, 23℃ 실험구에서 완숙기 출현율이 100%로 가장 높았고, 20℃ 실험구에서 87%이었다.

실험기간 중 어미의 잔존율은 20℃ 실험구에서 94.8%로 가장 높았고, 그 다음으로 23℃에서 90.5%, 자연해수에서 84.8%였으며, 26℃ 실험구가 19.8%로 다른 실험구에 비해 유의하게 낮게 나타났다 ($p < 0.05$). 26℃ 실험구에서 매우 낮은 잔존율을 나타낸 것은 다른 실험구에 비해 수온 설정이 높았고, 자연수온 9.5℃에서 약 20 일 동안 16.5℃를 가온함으로써 적응에 무리가 있었던 것으로 판단된다.

성 성숙 유도율은 자연 방란, 방정 후 조사한 결과 23℃ 실험구에서 60.5%로 20℃의 55.5% 보다 유의하게 높게 나타났다 ($p < 0.05$).

성숙소요일수는 23℃ 실험구에서 42 일, 20℃ 실험구 (적산수온: 1,295℃) 에서 49 일, 대조구인 자연 수온 (9.5-14.8℃) 에서 79 일째 방란, 방정이 되었으며, 26℃ 실험구에서는 잔존율이 매우 낮아 자연 방란방정이 되지 않았다. 따라서 수온조절에 따른 성 성숙유도는 20℃ 및 23℃ 실험구가 비교적 높은 잔존율과 안정된 성 성숙 유도가 되었으며, 20℃ 실험구가 피조개 어미를 인위적으로 성 성숙을 유도하는데 가장 좋은 것으로 판단된다.

요 약

본 연구는 2004년 3월 10일 남해 강진 만에서 채취한 피조

개 어미 1,200 마리를 확보하여 수온조절에 의한 인위적인 성 성숙을 유도하였으며, 성숙 유도된 어미로부터 잔존율, 비만도, 생식소 조직검사, 적산수온 및 성숙소요일수를 조사하였다.

성 성숙유도된 어미의 잔존율은 20℃가 94.8%로 가장 높았고, 23℃가 90.3%, 대조구(자연수온구)가 84.8%이었고, 26℃가 18.1%로 온도가 높을수록 잔존율이 낮은 경향이 있었다.

42일 째 생식소 조직의 암컷의 완숙기 출현율은 23℃ 실험구에서 67%로 가장 높았고, 20℃ 실험구에서 56%, 26℃에서 22%였으며, 자연수온 실험구에서는 성숙이 매우 늦어 완숙기에 이르지 못하였다. 수컷의 경우, 23℃ 실험구에서 완숙기 출현율이 100%로 가장 높았고, 20℃ 실험구에서 87%, 26℃에서 73%였으며, 자연수온 실험구에서는 50% 순으로 나타났다.

성숙소요일수는 23℃와 20℃에서 각각 42일 및 49일, 대조구인 자연수온 (9.5-14.8℃)에서는 79일이였으며, 성 성숙 유도율은 20℃와 23℃에서 각각 55.5% 및 60.5%로 타 실험구와는 유의한 차이를 나타내었다 ($p < 0.05$). 따라서 20℃ 실험구 (적산수온: 1,295℃) 가 피조개 어미를 인위적으로 성 성숙을 유도하는데 가장 좋은 것으로 판단된다.

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.

Behzadi, S., Parivar, K. and Roustaian, P. (1997) Gonadal cycle of pearl oyster, *Pinctada fucata* (Gould) in northeast Persian Gulf, Iran. *Journal of Shellfish Research,* **16**: 129-135.

Boolootian, R.A., Farmanfarmaian, A. and Giese, A.C. (1962) On the reproductive cycle and breeding habits of two western species of *Haliotis*. *The Biological Bulletin,* **122**: 183-193.

Chang, Y.J. and Lee, T.Y. (1982) Gametogenesis and reproductive cycle of the cockle, *Fulvia mutica* (Reeve). *Journal of the Korean Fisheries Society,* **15**: 241-253.

Cheong, S.C., Kang, H.W. and Lee, J.M. (1982) Experiments on the early artificial seedling production of ark shell *Anadara broughtonii* (Schrenck). *Bulletin of Fisheries Research and Development Agency,* **28**: 185-197. [in Korean].

Chung, E.Y., Ryou, D.K. and Lee, J.H. (1994) Gonadal development, age and growth of the shortnecked clam, *Ruditapes philippinarum* (Pelecypoda: Veneridae) the coast of Kimje, Korea. *The Korean Journal of Malacology,* **3**: 125-136.

Chung, E.Y. and Kim, Y.M. (2000) Ultrastructural study of germ cell development and sexual maturation of hard clam, *Meretrix lusoria* (Bivalvia: Veneridae), on the west coast of Korea. *Journal of Medical and Apploed Malacology,* **10**: 181-202.

Chung, E.Y. (1997) Ultrastructural study of germ cell development and reproductive cycle of the hen clam, *Mactra chinensis* on the west coast of Korea. *Development and Reproduction*, **1**: 141-156.

Chung, E.Y., Hur, S.B., Hur, Y.B. and Lee, J.S. (2001) Gonadal maturation and artificial spawning of the manila clam, *Ruditapes philippinarum* (Bivalvia: Veneridae), in Komso Bay, Korea. *Journal of Fisheries Science and Technology,* **4**: 208-218.

Chung, E.Y., Lee, J.S., Lee, C.H. and Hur, S.B. (2002) Reproductive cycle of natural population and artificial control of gonadal development of *Ruditapes philippinarum* by the conditions of water temperature-feeding and starvation. *The Korean Journal of Malacology,* **18**: 83-91.

Duncan, D.B. (1955). Multiple range and multiple F tests, *Biometrics,* **11**: 1-42.

Dzyubu, S.M. and Maslennikova, L.A. (1982) Reproductive cycle of the bivalve mollusc *Anadara broughtoni* from the southern part of Peter the Great Bay (Sea of Japan). Biology Morya **3**: 34-40. [in Russian]

Fretter, T. (1984) Prosobranchs. *In*: The Mullusca, Vol. 7. Reproduction. (ed. by Tompa, A.S., Verdonk, N.H. and Van Den Biggelaar, J.A.M.) pp. 1-45. Academic Press, New York.

García-Domínguez, F., García-Gasca, S.A. and Castro-Ortiz, J.L. (1994) Spawning cycle of the red clam, *Megapitaria aurantiaca* (Sowerby, 1831) (Veneridae) at Isla Espiritu Santo, Baja California Sur, Mexico. *Journal of Shellfish Research,* **13**: 417-423.

Lee, J.H. (1996) Studies on the Gonadal Development and Gametogenesis of the Granulated Ark, *Tegillarca granosa* (Linne). *The Korean Journal of Malacology,* **13**: 55-64.

Lee, J.M. (2000) Morphology, genetic characteristics and reproductive cycle of local populations in the arkshell, *Scapharca broughtonii* (Schrenck) (Pelecypoda: Arcidae) from Korea. 119 p. Ph.D. Thesis, Pukyong National University, Busan.

Lee, J.Y., Chang, Y.J. and Park, Y.J. (1996) Spawning induction and egg development of surf clam, *Spisula sachalinensis*. *Journal of Aquaculture*, **9**: 419-427. [in Korean]

Mackie, G.L. (1984) Bivalves.*In*: The Mullusca, Vol. 7. Reproduction. (ed. by Tompa, A.S., Verdonk, N.H. and Van Den Biggelaar, J.A.M.) pp. 351-418. Academic Press, New York.

Marsden, I.D. (1999) Reproductive cycle of the surf beach clam, *Paphies donacina* (Spengler, 1973) from New Zealand. *Journal of Shellfish Research*, **18**: 539-546.

Min, K.S., Kim, B.S., Kim, T.I., Hur, Y.B. and Chung, E.Y. (2004) Reproductive cycle and induced sexual maturation of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*. *The Korean Journal of Malacology,* **20**: 75-84.

Numaguchi, K. (1996) Gonad development of the ark shell *Scapharca brougtonii* (Schrenck) broodstock in

farming groups of Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi,* **62**: 384-392.

Park, M.S., Lim, H.J. and Kim, P.J. (1998) Effect of enveronmental factors on the growth, glycogen and hemoglobin content of cultured askshell, *Scapharca brougtonii*. *Journal of the Korean Fisheries Society,* **31**: 176-185.

Park, M.S., Kang, C.K. and Lee, P.Y. (2001) Reproductive cycle and biochemical of the askshell, *Scapharca brougtonii*. (Schrenck) in a southern coastal bay of Korea. *Journal of Shellfish Research,* **20**: 177-184.

Park, J.J., Lee, J.Y. and Chang, Y.J. (2003) Gonadal development and gametogenic cycle of the equilateral venus, *Gomphina veneriformis* (Bivalvia: Veneridae). *Journal of the Korean Fisheries Society,* **36**: 352-357.

Villalejo-Fuerte, M. and García-Domínguez, F. (1998) Reproductive cycle of *Spondylus leucacanthus* (Broderip, 1833) (Bivalvia: Spondylidae) at Isla Danzante, Gulf California. *Journal of Shellfish Research*, **17**: 1037-1042.

Yoo, M.S. and Yoo, S.K. (1974) Spat collection and the growth of *Anadara broughtoni* Schrenck. *Bulletin of Korean Fisheries Society,* **7**: 79-86. [in Korean]