

가온사육에 의한 새꼬막, *Scapharca subcrenata*의 성 성숙 및 난 발생

정춘구, 오봉세, 김태익, 진영국

남서해수산연구소 해역산업과

Effect of Heating on the Sex Maturation and Egg Development of the Ark Shell, *Scapharca Subcrenata*

Choon Koo Jung, Bong Se Oh, Tae Ik Kim and Young Guk Jin

Southwest Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Yeosu 556-823, Korea

ABSTRACT

The investigated of survival rate, sex ratio, condition index, gonad development frequency, gonad index, fertilization rate, hatching rate and time required development of D shape larvae of the ark shell, *Scapharca subcrenata*. Survival rate was lower in heating group compared with control group ($P < 0.05$). Sex ratio (female:male) observed 1:0.97 in control group, 1:0.62 in heating group. Condition index was significantly higher in heating group than control group ($P < 0.05$) and higher increased more than water temperature 17°C of heating group. Gonad development observed slow in control group but more than ripe stage 80% in heating group (21-28 day, 20°C). Gonad index was higher in heating group compared with control group ($P < 0.05$). Fertilization rate and hatching rate of the ark shell was observed $82.17 \pm 3.55\%$ and $63.57 \pm 2.36\%$, respectively. The time required development of D shape larvae of the ark shell was observed 15 hour after fertilization. The suggested that results of the ark shell by heating were effective sex maturation and normal egg development.

Key words: *Scapharca subcrenata*, maturation, egg development, heating

서 론

국내 유용 양식품종인 새꼬막, *Scapharca subcrenata*은 돌조개목(Arder ARCOIDA) 돌조개 과 (Family Arcidae)에 속하는 종으로써, 같은 과에 속하는 꼬막, *Tegillarca granosa*과 피조개, *Scapharca broughtonii*의 중간크기이다. 껍질은 백색이고 진흙바닥에 서식하며, 각피에 비로드 모양이 털과 32개 내외의 방사륜 수에서 17-18개 내외의 방사륜 수를 가진 꼬막과 쉽게 구별된다 (Kwon *et al.*, 2001).

새꼬막은 전남지방의 순천만, 보성만, 강진만, 득량만, 여자만 등 남해안에서 주로 생산되며, 전체 생산량의 약 70%를 점유하고 있다 (MIFAFF, 2008). 새꼬막의 국내 연 총생산량은 많게는 3,000톤 가까이 되지만, 현재까지 자연채묘에 주로

의존하고 있는 실정이다. 때문에 여러 가지 형태의 오염사고 및 수온 등의 다양한 환경변화로 인해 지속적이고 양호한 채묘율을 기대할 수 없다. 이는 종패의 원활한 수급에 영향을 미치기 때문에 대량의 인공종묘생산과 같은 대안이 시급히 필요한 시점이다.

꼬막과 관련된 연구는 생식소발달, 생식주기, 생식세포 형성 및 산란유발 (Lee, 1997; Lee, 1998), DO 등 환경내성에 관한 연구 (Shin *et al.*, 2002), 난 발생 및 초기 유생사육 (Moon *et al.*, 2004), 가온에 의한 성 성숙 (Zheng *et al.*, 1994) 및 대량의 인공종묘생산 (Wang *et al.*, 1997) 등 다수의 결과들이 보고되고 있다.

하지만 새꼬막의 경우 수온과 염분 등 환경요인에 의한 영향 (Nakamura, 2005; Shi *et al.*, 2007; Fang *et al.*, 2008), 생식주기 (Kim *et al.*, 2008), 유생분포 (Kim *et al.*, 2006), 채묘와 성장 (Lim and Hur, 2010) 등이 보고되고 있지만, 꼬막에 비해 많지 않으며, 특히 국내의 경우 인공성숙 등에 관한 연구는 찾아보기 힘들다.

따라서 본 연구는 새꼬막의 성패를 이용하여 성 성숙에 있

Received June 13, 2010; Revised June 30, 2010; Accepted July 10, 2010

Corresponding author: Young Guk Jin

Tel: +82 (61) 690-8972 e-mail: jyg4j@nfrdi.go.kr

1225-3480/24355

어 가장 중요한 요인 중 하나인 수온 상승만으로도 생식소의 발달 및 정상적인 난 발생이 진행되는지 파악하고자 하였다. 또한 안정적인 생산성 향상, 노후어장의 대체품종 등을 위한 인공종묘 생산 연구에 그 기초자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료

본 연구에 사용된 새꼬막, *Scapharca subcrenata*은 전라남도 고흥군의 여자만에서 채집한 각장 31.81 ± 2.21 mm, 전중 9.87 ± 1.94 g의 700개체이다.

2. 실험방법

1) 사육수의 가온 및 먹이공급

채집된 새꼬막은 연구소 내 사육조에서 1주일간 순치 후 2010년 3월 9일부터 4월 6일까지 4주간 일반수온 (대조구)을 유지한 수조와 heater를 이용해 하루에 0.5℃씩 수온을 상승시킨 후 20℃를 유지한 수조 (가온구)로 나누어 실험을 진행하였다. 실험기간 내 대조구와 가온구의 수온변화는 Fig. 1과 같다. 먹이는 *Isochrysis galbana*, *Chactoceros calcitrans*, *Tetraselmis tetraathele* 3종의 미세조류를 혼합하여 1 ton 수조에 3시간마다 200 l (5,000-6,000 cells/ml)씩 자동급이장치에 의해 공급하였다. 사육수는 매일 오전에 60-70%를 교환하였고, 교환 시 수조저면의 배설물 및 사망개체를 수거하였다.

2) 생존율

생존율은 전체 개체수에서 누적사망개체수를 뺀 값을 생존율로 환산하였다.

3) 성비

성비는 7일 간격으로 채집하여 조직학적 방법에 의해 제작

된 조직표본을 광학현미경 (Olympus, CX31)으로 관찰하여 확정하였다.

4) 비만도

비만도 (CI)는 확정된 성을 기준으로 암수로 나누어 (육중 (g) × 1000) / 각장³ (mm)의 식으로 계산하였다.

5) 생식소발달

생식소발달은 조직표본을 이용하여 생식소의 조직상을 관찰한 후 생식세포의 발달정도를 토대로 암수 모두 비활성기 (inactive stage: In), 초기활성기 (early active stage: Ea), 후기활성기 (late active stage: La), 성숙기 (ripe stage: R) 및 산란 및 퇴화흡수기 (spawning/spent and degeneration: Sd)로 나누었다 (Fig. 2 and 3).

6) 생식소지수

생식소지수는 구분된 생식소발달단계를 토대로 Eversole (1997)의 방법을 참고하여 암수로 나눈 후 각 발달단계별 상수 (In = 0, Ea = 1, La = 2, R = 4, Sd = 3)를 곱한 전체의 합을 개체수로 나누었다.

7) 산란유발 및 난 발생

산란유발은 매주 채집된 실험개체들의 생식소 조직상을 관찰한 후 성숙기에 도달했다고 판단했을 때 실시하였다. 산란유발은 성숙된 모패를 공기소통이 원활한 실내에서 약 4시간 동안 방치 후 20℃의 해수에 수용한 다음 heater를 이용하여 26℃까지 상승시키는 방법으로 실시하였다. 그 후 방란 및 방정을 육안으로 확인하였고 약 30분 후 20 μm와 60 μm의 물러가제를 이용해 수정란을 확보하였다. 수거된 수정란은 water bath로 수온을 26℃ (32 psu)로 일정하게 유지시킨 1 l 비커에 5 cell/ml의 밀도로 수용하였으며, Image

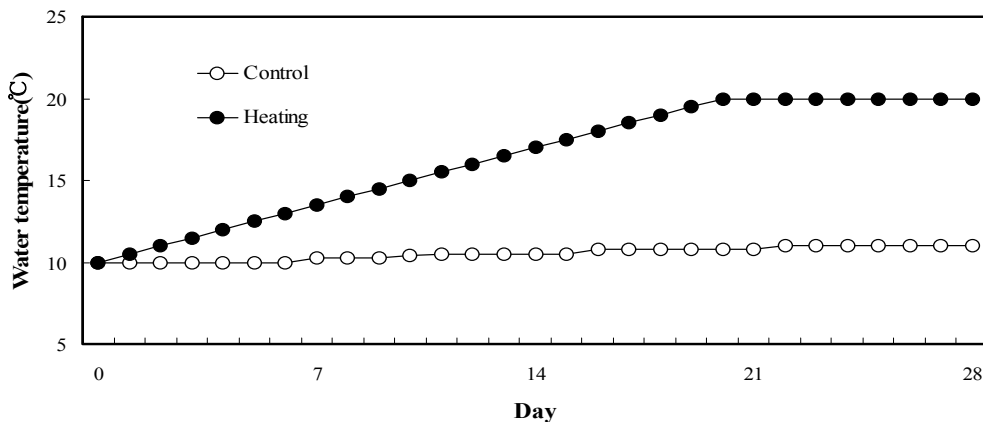


Fig. 1. Variation of water temperature of rearing tank.

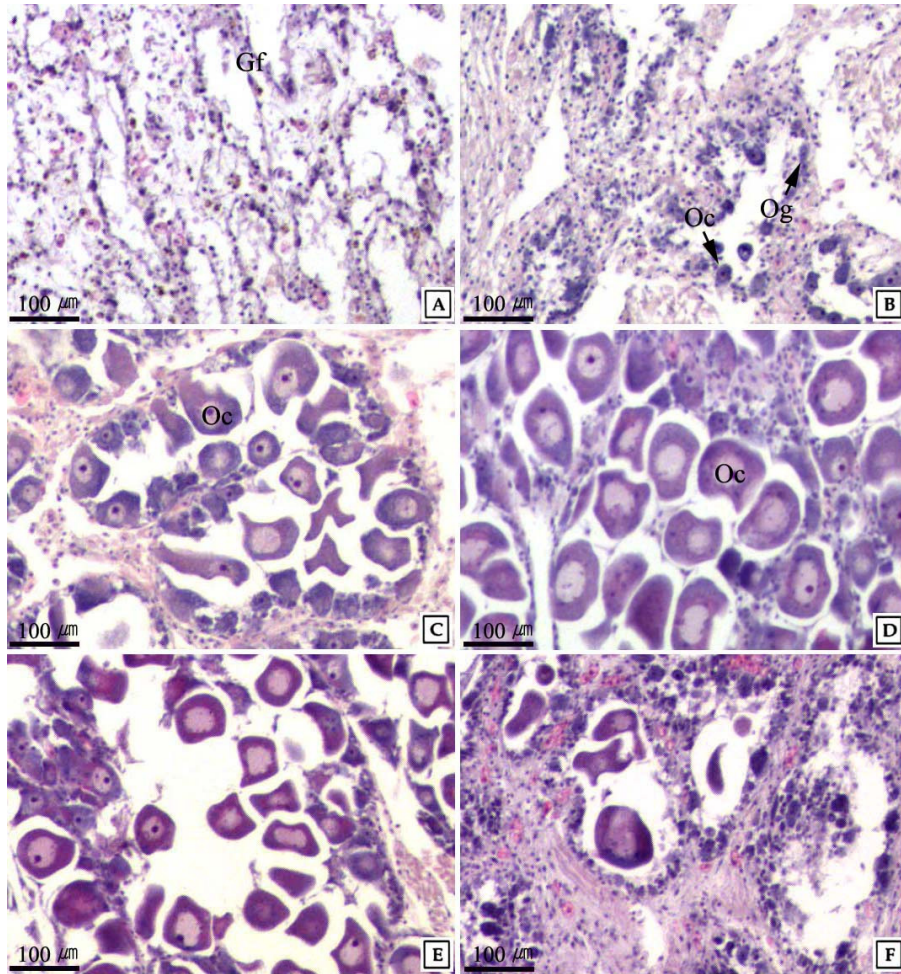


Fig. 2. Gonad development of the female ark shell, *Scapharca subcrenata*. **A:** Inactive stage. **B:** Early active stage. note oogonia appear and proliferation of oocyte along the oogenic follicle. **C:** Late active stage. showing the oocyte connected with oogenic follicle by a egg stalk and enlarged oocytes in lumen. **D:** Ripe stage. showing the matured numerous oocytes in the lumen. **E:** Spawning stage. showing the oocyte discharge. **F:** Degeneration stage. showing the presence of a few undischarged oocyte and oogonia. Gf: gametogenic follicle, Oc: oocyte, Og: oogonia.

Measurement System (FOCUS technology, 2005) 이 부착된 광학현미경 (Olympus, CX 31) 을 이용해 난 발생을 관찰하였다. 실험은 3반복으로 진행하였다. 부화율의 계산은 D형 유생이 관찰된 시점을 기준으로 답륜자 유생과 D형 유생의 개체수를 파악하여 백분율 (%) 로 나타냈다.

8) 조직학적 방법

채집된 개체들은 각장, 각고, 각폭, 전중 및 육중을 측정하였고, 내장낭 부분을 절취하여 Drury and Wallington (1980) 의 방법에 따라 Bouin's solution에 24시간 고정한 후 48시간 이상 수세하였다. 그 후 파라핀 포매법을 거친 다음 microtome으로 4-6 μm 두께로 연속절편하여 조직표본을

제작하였다. 제작된 조직표본은 Mayer's hematoxylin-eosin (HE) 염색을 실시하여 광학현미경으로 관찰하였다.

9) 통계분석

대조구와 가온구간의 차이는 SPSS 통계패키지를 이용하여 independent t-test를 실시한 후 그 유의성 여부를 검증하였다.

결 과

1. 생존율

28일 동안 사육된 새꼬막은 Fig. 4와 같이 일반수온에서 사육된 개체들의 경우 사육 종료시기에 96.5%로 높은 생존율을

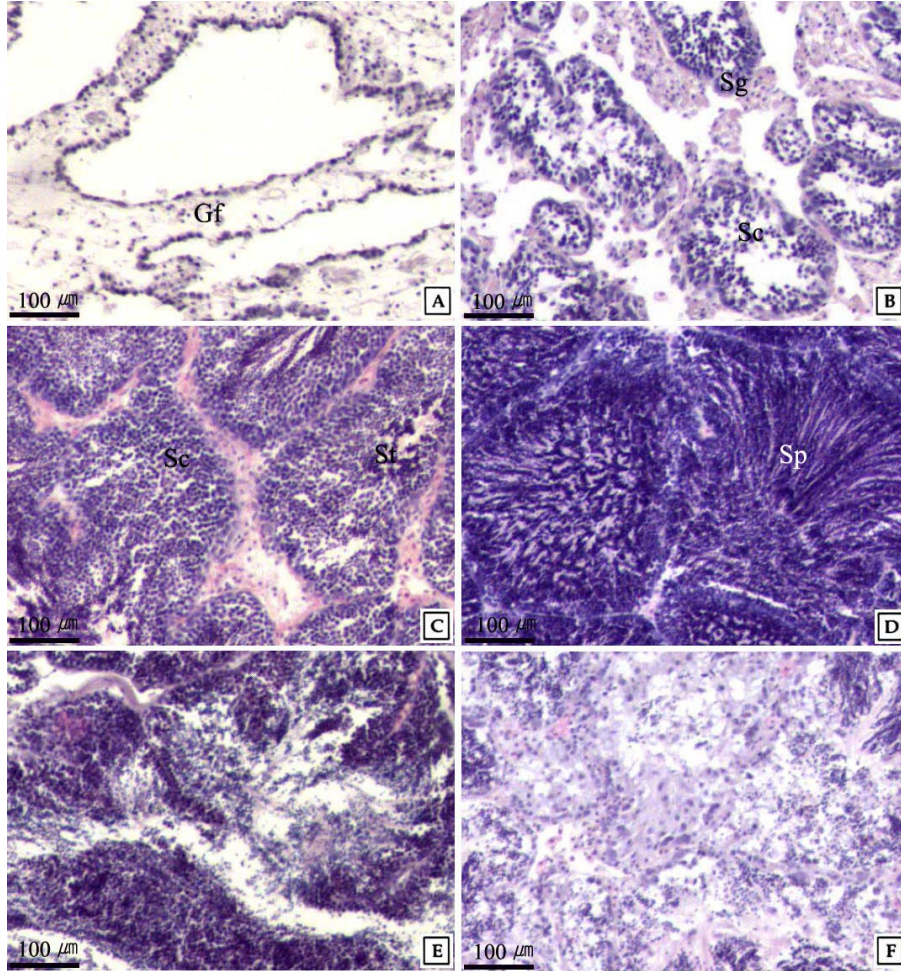


Fig. 3. Gonad development of the male ark shell, *Scapharca subcrenata*. **A:** Inactive stage. **B:** Early active stage. showing the spermatogonia appear along the spermatogenic follicle. **C:** Late active stage. showing the numerous spermatocyte and a few spermatogonia and spermatids in lumen of the spermatogenic follicle. **D:** Ripe stage. showing the numerous sperm in the lumen. **E:** Spawning stage. showing the sperm discharge. **F:** Degeneration stage. showing the presence of a few undischarged sperm. Gf: gametogenic follicle, Sc: spermatocyte, Sg: spermatogonia, Sp: sperm, St: spermatid.

나타났다. 가온구에서 사육된 개체들은 사육 14일까지 99.6%로 높게 나타났지만, 14일 (수온 17°C) 이후부터 급격히 낮아지기 시작하였다. 특히 20°C 구간을 유지한 21일부터 28일 사이에 사망개체가 급격히 증가하기 시작하여 사육 종료일인 28일째 75.2%의 생존율을 보였다 ($P < 0.05$).

2. 성비

조직학적으로 암수가 확인된 새꼬막의 성비를 조사한 결과 일반수온에서 사육한 대조구의 경우 암컷과 수컷의 비가 1:0.97로 큰 차이를 보이지 않았지만, 가온구에서 사육한 개체들은 1: 0.62로 암컷이 높게 나타났다 (Fig. 5).

3. 비만도

일반수온에서 사육한 대조구 암컷의 비만도는 Fig. 6과 같이 사육 개시일에 0.085에서 사육 종료일에 0.093으로 0.008 증가하였고, 가온구에서 사육한 개체들은 0.085에서 0.114로 0.029 증가하였다 ($P < 0.05$). 특히 수온 17°C에서 20°C로 가온한 시기의 증가폭이 0.013으로 가장 높게 나타났다.

수컷의 비만도는 Fig. 7과 같이 대조구의 경우 개시일 (0.085) 에 비해 종료일 (0.092) 에 0.007 증가하였으며, 가온구의 경우 개시일 (0.085) 에 비해 종료일 (0.117) 에 0.032 증가하였다. 가온구의 증가폭은 암컷과 달리 수컷에서는 수온을 20°C로 유지한 사육 21일에서 28일 사이에 0.014

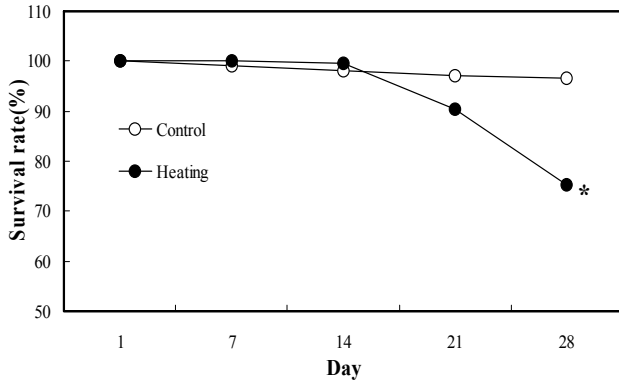


Fig. 4. Survival rate of the ark shell, *Scapharca subcrenata* reared during 28 day in control (normal) and heating tank. (*): significantly lower from control ($P < 0.05$).

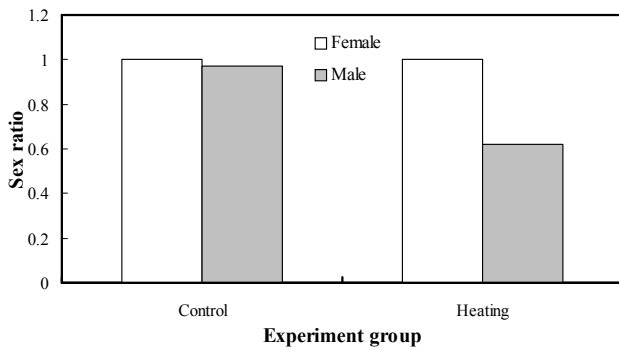


Fig. 5. Sex ratio of the ark shell, *Scapharca subcrenata* reared during 28 day in control (normal) and heating tank.

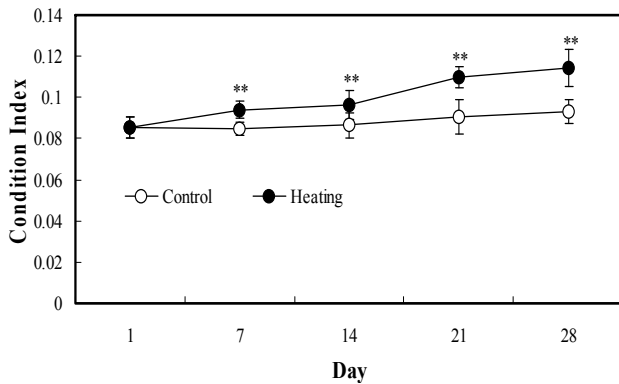


Fig. 6. Condition index of the female ark shell, *Scapharca subcrenata* reared during 28 day in control (normal) and heating tank. (**): significantly higher from control ($P < 0.05$).

로 가장 높았으며, 사육 14일째부터 대조구에 비해 유의적인 차이가 나타났다 ($P < 0.05$).

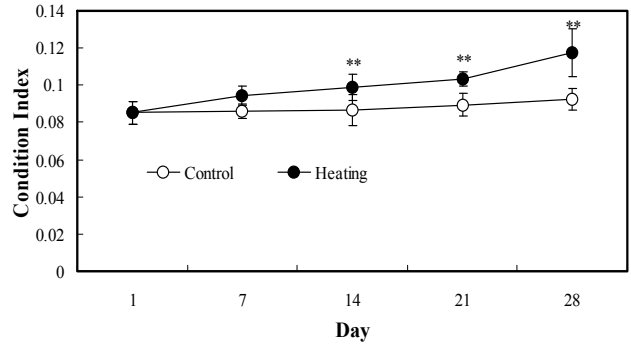


Fig. 7. Condition index of the male ark shell, *Scapharca subcrenata* reared during 28 day in control (normal) and heating tank. (**): significantly higher from control ($P < 0.05$).

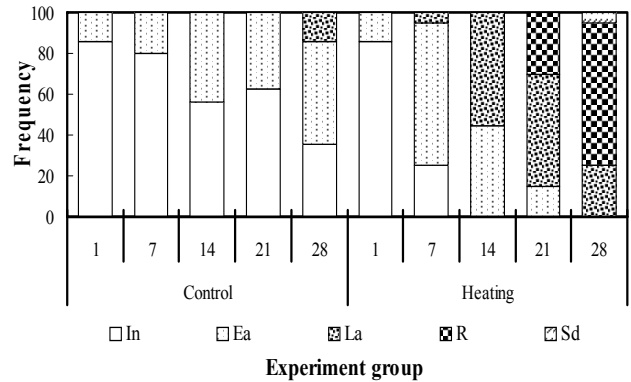


Fig. 8. Gonad development frequency of the female ark shell, *Scapharca subcrenata* reared during 28 day in control (normal) and heating tank.

4. 생식소발달빈도

사육 개시일에 분석한 대조구 암컷의 생식소발달빈도는 비활성기 (85.71%)와 초기활성기 (14.29%)가 주를 이루고 있었으며, 서서히 발달하기 시작하여 사육종료일인 28일째 비활성기 (35.71%), 초기활성기 (50%) 및 후기활성기 (14.29%)의 조직상을 보이고 있었다 (Fig. 8). 가온구 암컷의 생식소 발달빈도는 Fig. 8과 같이 사육 초기에 대조구와 마찬가지로 비활성기와 초기활성기가 주를 이루고 있었으며, 이후 발달하기 시작하여 사육 14일째 후기활성기의 조직상이 55.56% 관찰되었다. 그 후 21일째 성숙기의 조직상이 30% 관찰되었으며, 종료일인 28일째에는 후기활성기 25%, 성숙기 70% 및 방란기 5%의 조직상을 보였다.

대조구 수컷의 생식소발달빈도는 암컷과 마찬가지로 비활성기 (81.25%)와 초기활성기 (18.75%)가 주를 이루고 있었으며, 이후 서서히 발달하기 시작하여 종료일인 28일째 후기활성기에 도달한 개체들 (7.14%)이 일부 관찰되었다 (Fig. 9). 가온구 수컷의 생식소발달빈도는 Fig. 9와 같이 사육초기에

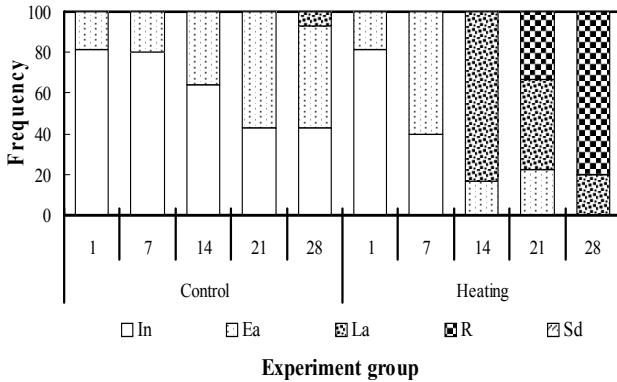


Fig. 9. Gonad development frequency of the male ark shell, *Scapharca subcrenata* reared during 28 day in control (normal) and heating tank.

대조구와 마찬가지로 비활성기와 초기활성기가 주를 이루고 있었으며, 사육 14일째 후기활성기에 도달한 개체들이 83.33% 관찰되었다. 이후 사육 21일째 성숙기에 도달한 개체들이 33.33% 나타났으며, 종료일인 28일째 후기활성기 20%, 성숙기 80%의 조직상을 보였다.

5. 생식소지수

대조구 암컷의 생식소지수는 사육 개시일에 0.14였으며, 14일째 0.44, 종료일인 28일째 0.79를 나타냈다 (Fig. 10). 가온구 암컷의 생식소지수는 Fig. 10과 같이 사육 개시일에 0.14, 14일째 1.56, 21일째 2.45 및 종료일인 28일째 3.45를 나타냈다. 증가폭은 20℃를 유지한 21일에서 28일 사이가 1.00으로 가장 높게 나타났으며 사육 7일째부터 대조구에 비해 유의적인 차이가 관찰되었다 (P < 0.05).

대조구 수컷의 생식소지수는 사육 개시일에 0.19, 14일째 0.36 및 종료일인 28일째 0.64를 나타냈다 (Fig. 11). 가온구 수컷의 생식소발달빈도는 Fig. 11과 같이 개시일에 0.19, 7일째 0.6, 14일째 1.83, 21일째 2.44, 종료일인 28일째 3.6을 나타냈으며, 대조구에 비해 유의적인 차이가 관찰되었다 (P < 0.05). 증가폭은 사육 7일에서 14일 사이가 1.23으로 가장 높았으며, 그 다음 20℃를 유지한 21일에서 28일 사이가 1.16을 나타냈다.

6. 난 발생

수온 26℃ (32 psu) 에서 새꼬막의 수정률은 82.17 ± 3.55% 였으며, D형 유생까지의 발생소요시간 및 발달사진은 Table 3과 같다. 수정란의 크기는 직경 63.17 ± 1.22 μm 였고, 수정 40분 후에 극체가 관찰되었다. 이후 수정 1시간 10분 후 2세포, 2시간 30분 후 4세포기에 이르렀다. 점차 발생이 진행되어 수정 9시간 후에 운동성을 갖는 담륜자 유생이 관찰되었고, 15시간 45분 후에 평균 각장 82.85 μm의 초기

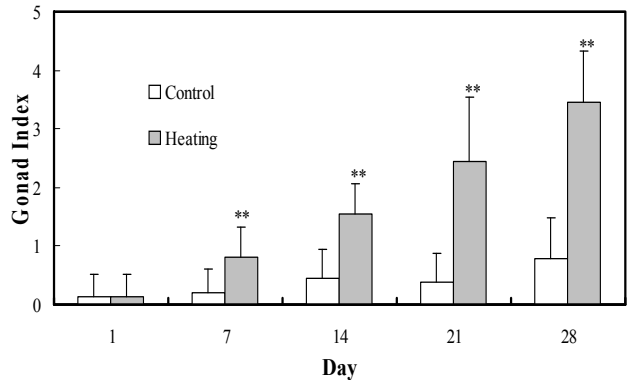


Fig. 10. Gonad index of the female ark shell, *Scapharca subcrenata* reared during 28 day in control (normal) and heating tank. (**): significantly higher from control (P < 0.05).

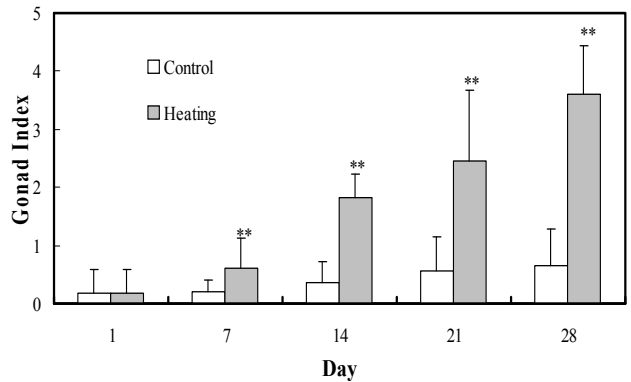


Fig. 11. Gonad index of the male ark shell, *Scapharca subcrenata* reared during 28 day in control (normal) and heating tank. (**): significantly higher from control (P < 0.05).

D형 유생으로 발달하였다. 부화율은 63.57 ± 2.36%로 나타났다.

고 찰

일반적으로 이매패류와 같은 조개류의 성장 및 성숙은 수온, 염분, 먹이, 밀도, 기질 등과 같은 물리적 요인에 의해 영향을 받으며, 이중 수온은 성 성숙에 있어 가장 중요한 요인이다 (Kinne, 1964). 국내 해산 이매패류의 성숙 및 산란은 가무락, *Cyclina sinensis* (Chung and Ryou, 2000), 꼬막, *Tegillarca granosa* (Lee, 1997), 바지락, *Ruditapes philippinarum* (Chung et al., 1994), 홍합, *Mytilus coruscus* (Wi et al., 2003), 대북, *Gomphina veneriformis* (Park et al., 2003), 새꼬막, *Scapharca subcrenata* (Lee, 1998; Kim et al., 2008) 등에서 나타난 바와 같이 일부를 제외하고 대부분 늦봄부터 초가을 사이에 산

Table 3. Elapsed time after fertilization of the ark shell, *Scapharca subcrenata*

Developmental stage	Elapsed time after fertilization (hour:minute)	
	26°C (32 psu)	
Fertilized egg	0:00 (diameter 63.17 ± 1.22 μm)	
Polar body	0:40	
2-cell	1:10	
4-cell	2:30	
8-cell	2:55	
16-cell	3:25	
Morula	4:05	
Gastrula	5:10	
Trochophore	9:00	
	15:45	
D-shaped larva	shell length 82.85 ± 0.87 μm shell height 72.65 ± 1.07 μm	

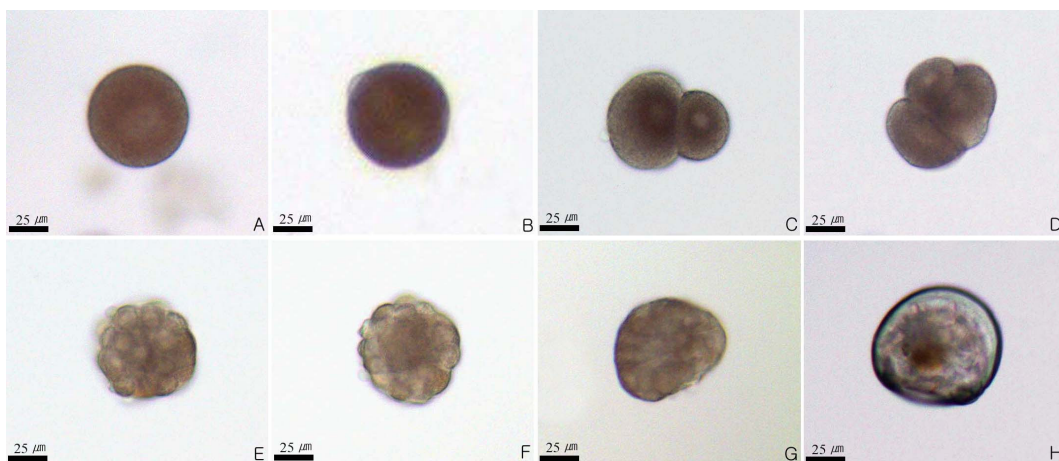


Fig. 12. Developmental stage of fertilized egg of the ark shell, *Scapharca subcrenata*. **A:** Fertilized egg, **B:** polar body stage, **C:** 2 cell stage, **D:** 4 cell stage, **E:** 16 cell stage, **F:** Morula stage. **G:** Trochophore stage, **H:** D early shape larval stage.

란하는 하계산란형 (summer breeders) 에 속한다 (Booolootian *et al.*, 1962). 이는 수온이 대사율, 생존 및 영양섭취 등에 있어 중요한 자극제가 되기 때문이다 (Kinne, 1964; Nakanishi, 1977; Ito, 1991).

무척추동물의 성 성숙 및 생식주기의 판별은 비만도의 변화, 생식세포의 발달, 생식소 발달단계의 월별 변화, 생식소지수의 변화 등 조직학적 방법이 주로 이용된다 (Chung *et al.*, 1994; Park *et al.*, 2003; Kim *et al.*, 2008). 특히 비만도의 변화는 꼬막, *Tegillarca granosa* (Lee, 1997), 대북, *Gomphina veneriformis* (Park *et al.*, 2003), 새꼬막, *Scapharca subcrenata* (Kim *et al.*, 2008) 등에서 보여지는 것과 같이 생식소발달 및 생식소지수의 월별 변화와 매우 유사한 변화를 나타낸다.

새꼬막의 생식주기는 1-4월은 초기활성기, 3-6월은 후기활성기, 5-8월은 완숙기, 7-9월은 방란 및 방정기, 9-3월은 회복 및 휴지기이며, 주 산란기는 7-8월로 보고되고 있다 (Kim *et al.*, 2008). 본 연구중의 사육개시기에 관찰된 생식발달상은 휴지기와 초기활성기가 주로 관찰되어 기존 보고와 다소 차이를 나타냈으며, 이는 2008년에 비해 2010년의 저수온이 하나의 원인으로 작용할 것으로 보여진다.

본 연구에서 관찰된 새꼬막의 성숙은 일반수온에서 사육한 대조구의 경우 생식소가 매우 느리게 발달하였지만, 가온구의 경우 수온 17°C 이상에서 비만도의 높은 증가폭을 나타낸 후 20°C를 유지한 구간에서 70% 이상의 성숙도를 보여주고 있었다. 따라서 인위적 성숙 유도에 필요한 수온은 20°C 전후로 보여진다. 하지만, 본 결과에서 나타나 바와 같이 수온상승에 따

른 생존율의 감소가 고수온에 의한 결과인지 (Nakanishi, 1977), 수온상승에 따른 먹이섭취 등 환경악화 (Ito, 1991)에 의한 영향인지는 추후 다양한 연구가 필요하다. 또한 일반 수온에서 사육한 대조구에 비해 가온구에서 나타난 새꼬막의 성비가 기존 보고에서와 같이 암:수 = 1:0.9 (Kim *et al.*, 2008) 가 아닌 암컷의 비율이 높게 나타난 점은 수온상승이 개체의 성에 미치는 영향에 대해 짐작케 하지만, 자세한 결론을 얻기 위해선 Lee *et al.* (2010) 이 보고한 germ cell aspiration (GCA) 방법 등을 통해 세부적인 연구가 수행되어야 할 것으로 보인다.

28일 동안 가온성숙된 새꼬막의 수정란의 크기는 직경 $63.17 \pm 1.22 \mu\text{m}$ 로 꼬막의 수정란 직경 $60 \mu\text{m}$ 보다 다소 컸으며 (Yoo, 1969; Moon *et al.*, 2004), 기존에 보고된 새꼬막의 수정란 크기 ($50\text{-}60 \mu\text{m}$, Yoo, 1969) 와 다소 차이를 보였다. 해산 이매패류에서 수정직후 부터 D형 유생으로 발생하기까지의 소요시간은 바지락의 경우 수온 22°C 에서 22시간, 대합의 경우 수온 $24\text{-}30^\circ\text{C}$ 에서 24시간, 꼬막은 수온 26°C 에서 24시간으로 보고되고 있다 (Lee, 1998). 하지만, 꼬막의 경우 Moon *et al.* (2004) 은 수온 26°C 에서 20시간으로 나타나는 등 다소 차이를 보였다. 본 연구중인 새꼬막의 경우 D형 유생까지의 발생소요시간은 15시간으로 나타나 다른 종들에 비해 다소 빨랐으며, 부화율 및 D형 유생 발생률 등에서도 꼬막 (Moon *et al.*, 2004) 과 비교해 볼 때 양호한 결과를 나타냈다.

따라서 새꼬막의 경우 가온사육만으로도 충분히 양질의 유생을 확보할 수 있을 것으로 보인다. 하지만, 패류에서 유생의 성장과 생존은 각 발달단계별로 수온, 염분, 먹이, 밀도, 종 등에 따라 다르기 때문에 다량의 인공종묘를 확보하기 위해서는 추후 물리·화학적 상태를 고려한 다양한 연구가 필요하다.

요 약

인위적인 가온만으로도 새꼬막의 성숙 및 정상적인 난 발생이 이루어지는지 알아보기 위해 생존율, 성비, 비만도, 생식소 발달빈도, 생식소지수, 수정률, 부화율 및 D형 유생까지의 발생소요시간을 조사하였다. 생존율은 대조구에 비해 가온구에서 낮았으며, 성비는 암컷의 비율이 높았다. 비만도는 대조구와 가온구가 유의한 차이를 보이는 가운데 수온 17°C 이상부터 증가폭이 높게 나타났다. 생식소발달빈도는 암수 모두 대조구의 경우 발달이 느렸으며, 가온구는 수온 20°C 인 사육 21일부터 28일 사이에 성숙기에 도달한 개체들이 80%이상 관찰되었다. 생식소지수는 대조구에 비해 수온이 높을수록 증가하는 경향을 보였다. 새꼬막의 수정률은 $82.17 \pm 3.55\%$ 였으며, 부화율은 $63.57 \pm 2.36\%$ 로 나타났다. D형 유생의 발생소요시간은 약 15시간으로 나타났다.

감사의 글

연구는 2010년 국립수산물과학원 남서해수산연구소 내환경성피조개 및 대체양식 품종개발 (RP-2010-AQ-068) 의 일환으로 추진되었다.

참고문헌

- Booolootian, 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.
- Chung, E.Y. and Kim, B.S. (1994) Histological and ultrastructural studies on gonadal development and germ cell development of the purplish Washington clam, *Saxidomus purpuratus* (Sowerby). *Bulletin of the Coastal Research, Kunsan National University*, **6**: 1-15.
- Chung, E.Y. and Ryou, D.K. (2000) Gametogenesis and sexual maturation of the surf clam, *Macrta veneriformis* on the west coast of Korea, *Malacologia*, **42**: 149-163.
- Drury, R.A.B. and Wallington, E.A. (1980) Carleton's Histological Technique. 520pp. Oxford University Press, Oxford.
- Eversole, A.G. (1997) Gametogenesis of *Mercernaria mercenaria*, *M. campechiensis* and their hybrids. *Nautilus*, **110**: 107-110.
- Fang, J., Yan, M., Zhang, J. and Xiao, G. (2008) Preliminary studies on the effects of pH and ammonia on growth and survival to *Scapharca subcrenata juveniles*. *Journal of Zhejiang Ocean University*, **27**: 281-285.
- Ito, H. (1991) Developments in aquaculture and fisheries science. Vol. 21. *In*: Scallops: Biology, Ecology and Aquaculture, Elsevier, Shumway, S.E., ed. Amsterdam, pp. 517-569.
- Kim, C.W., Kim, S.B. and Hur, S.B. (2006) Distribution of bivalve larvae in Deukryang bay. *Journal of Aquaculture*, **19**: 288-298.
- Kim, S.Y., Shin, Y.K. Lim, H.K. and Lee, W.C. (2008) Gonadal development and reproductive cycle of the ark shell, *Scapharca subcrenata* (bivalvia: arcaidae) from Yeolja Bay. *Journal of Aquaculture*, **21**: 252-258.
- Kinne, O. (1964) The effects of temperature and salinity on marine and brackish water animals. II. Salinity and temperature-salinity combinations. *Oceanography and Marine Biology, An Annual Review*, **2**: 281-339.
- Kwon, O.K., Min, D.K., Lee, J.R., Lee, J.S., Je, J.G. and Choe, B.L. (2001) Korean mollusks with color illustration. Hanguel Press, Pusan, 332pp.
- Lee, J.H. (1997) Histological studies on the gametogenesis and reproductive cycle of the hard clam, *Tegillarca granosa* (Linne). *The Korean*

- Journal of Malacology*, **13**: 131-141.
- Lee, J.H. (1997) Studies on the gonadal development and gametogenesis of the granulated ark, *Tegillarca granosa* (Linne). *Korean Journal of Malacology*, **13**: 55-64.
- Lee, J.H. (1998) A study on sexual maturation of the ark shell, *Scapharca subcrenata* (Lischke). *Korean Journal of Malacology*, **14**: 91-102.
- Lee, J.S., Ju, S.M., Park, J.S., Jin, Y.G., Shin, Y.K. and Park, J.J. (2010) Germ cell aspiration (GCA) method as a non-fatal technique for sex identification in two bivalves, *Gomphina veneriformis* and *Tegillarca granosa*. *Development and Reproduction*, **14**: 7-11.
- Lee, N.J. (1998) Annual reproductive cycle and spawning induction of the cockle shell, *Anadara granosa bisenensis*. MS Thesis, Pukyong National University, Busan, pp. 35.
- Lim, J.Y. and Hur, S.B. (2010) Comparison of seed collection and the growth of *Anadara subcrenata* in Suncheon and Boseong bays. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **43**: 223-230.
- MIFAFF (Ministry of Food, Agriculture, Forestry and Fisheries). (2008). Food, Agriculture, Forestry and Fisheries Statistical Yearbook, 301-302.
- Moon, T.S., Jung, M.M., Shin, Y.K., Yang, M.H., Ko, C.S. and Chang, Y.J. (2004) Spawning inducement, egg development and early larval rearing of ark shell, *Tegillarca granosa*. *Journal of the Korean Fisheries Society*, **37**: 485-491.
- Nakamura, Y. (2005) Suspension feeding of the ark shell, *Scapharca subcrenata* as a function of environmental and biological variables. *Fisheries Science*, **71**: 875-883.
- Nakanishi, I. (1977) Studies of the effect of the environment on the heart rate of shellfishes. I. Effect of temperature salinity and hypoxia on the heart rate of scallops. *Bulletin of the Hokkaido Regional Fisheries Research Laboratory*, **42**: 65-73.
- 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 the Korean Fisheries Society*, **36**: 213-218.
- Shi, X.Y., You, Z.J., Shen, W.L. and Liu, W.J. (2007) Effects of salinity on growth and survival in juvenile clam *Scapharca subcrenata*. *Fish Sci/Shuichan Kexue* **26**: 554-556.
- Shin, Y.K., Moon, T.S. and Wi, C.H. (2002) Effects of the dissolved oxygen consumption on the physiology of *Tegillarca granosa* (Linnaeus). *Journal of the Korean Fisheries Society*, **35**: 485-489.
- Wang, H., Sun, C., Hou, M., Wang, G. and Wang, H. (1997). On technique for industrial seed-rearing of *Arca granosa*. *Shandong Fisheries Qilu Yuye*, **14**: 13-15.
- Wi, C.H., Chang, Y.J., Lee, S.J., Hur, Y.B. and Lee, J.S. (2003) Sexual maturation and gametogenic cycle of the hard shelled mussel, *Mytilus coruscus* (Bivalvia: Mytilidae). *Journal of Aquaculture*, **16**: 245-251.
- Yoo, S.K. (1969) Food and growth of the larvae of certain important bivalves. *Bulletin of the Pusan Fisheries college*, **9**: 65-87.
- Zheng, Y., Zhang, X., Luan, H. and Wang, Z. (1994) On promoting maturity of ark shell by controlling water temperature. *Shandong Fisheries Qilu Yuye*, **11**: 7-9.