

새꼬막 (*Scapharca subcrenata*) 어미관리 기술개발을 위한 채집 시기별 성성숙 비교

한종철, 황인준, 강정하, 강희웅

국립수산과학원 서해수산연구소

Comparison of maturity based on collection period to develop broodstock management technology

Jongcheol Han, Injun Hwang, Jungha Kang and Heewoong Kang

West Sea Fisheries Research Institute, NIFS, 14, Seonnyeobawi-ro, Jung-gu, Incheon, Korea

ABSTRACT

Ark shell, *Scapharca subcrenata* were collected at different harvest period to induce sexual maturation. The gonad index varied according to when the first entry, ranging from 1.15 in January to 1.34 in February and 1.84 in April. It was observed that the gonadal index increased as the season progressed, with higher values recorded in later months. When water temperature stimulation was used to induce sexual maturity, the time to maturity was 123 days in January, 89 days in February and 53 days in April. The accumulated water temperature was 944°C in January, 812°C in February and 780°C in April, giving a total difference in accumulated water temperature between January and April of $\Delta T = 164^\circ\text{C}$. Analysis of the gonadal tissues at the end of the experiment showed that the female/male ratio and the frequency of immature individuals varied according to the collection season. In January the female-to-male ratio was 63.3%, in February 40.0% and in April 36.7%. Similarly, the proportion of immature individuals was 3.3% in January, 16.7% in February and 20.0% in April. A total of 600 ark shells were used for artificial seed production on June 8th. The fertilization rate was approximately 89%, and the hatching rate was 90%. In total, 3.04 billion fertilized eggs were collected, resulting in 1.1 billion hatching. The initial D-shape larvae measured $80.4 \pm 3.9 \mu\text{m}$ in length and $60.6 \pm 2.8 \mu\text{m}$ in width.

Keywords: Ark shell, *Scapharca subcrenata*, Broodstock management, Sexual maturity

서 론

돌조개목 (Arcoidea) 돌조개과 (Arcidae) 에 속하는 꼬막류는 오래된 이미페류 계통으로 오르도비시기 (Ordovician, 4.4-5.0억년전) 부터 적도지역, 기수지역 등 다양한 환경에서 서식하고 있다 (Morton *et al.*, 1998). 꼬막류는 유럽, 아프리카 및 호주 등 전 세계 200종 이상 분포되어 있으나 (Broom,

1985), 양식은 중국, 일본, 한국 및 베트남 등 아시아를 중심으로 생산되고 있다 (Beesley *et al.*, 1998). 최근 꼬막류 수요증가로 동아시아 양식 생산량은 1980년 약 15만 톤에서 2010년 약 40만 톤으로 증가하였다 (Yurimoto *et al.*, 2008; David and Gonzalo, 2016; Khalil *et al.*, 2017; J-stat, 2022). 그러나 우리나라 해면어업 꼬막류 생산은 2003년 9,576 톤에서 2021년 8,214 톤으로 감소하였다 (KOSIS, 2022). 생산량 감소 원인은 연안환경 및 양식장 저서환경 변화 등으로 보고되어 있다 (Park *et al.*, 2001; Yoon and Lee, 2020).

우리나라에서 양식으로 생산되는 꼬막류는 피조개 (*Scapharca broughtonii*), 꼬막 (*Tegillarca granosa*), 새꼬막 (*Scapharca subcrenata*) 이며, 생산량은 1992년 피조개 20,547 톤, 꼬막 16,441 톤, 새꼬막 316 톤으로 총 37,304 톤이었다. 그러나 2020년 꼬막류 생산은 새꼬막 7,432 톤, 피조개 2,498 톤, 꼬막 58 톤으로 총 9,988 톤으로 급감하였다

Received: June 19, 2023; Revised: June 23 2023; Accepted: June 30, 2023

Corresponding author: Jongcheol Han

Tel: +82 (32) 745-0712, e-mail: han0624@korea.kr
1225-3480/24840

This is an Open Access Article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License with permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproducibility in any medium, provided the original work is properly cited.

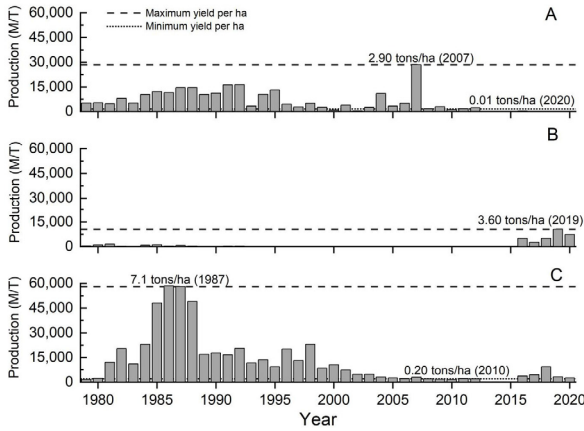


Fig 1. The annual aquaculture production of *Tegillarca granosa* (A), *Scapharca subcrenata* (B), *Scapharca broughtonii* (C).

(Fig. 1). 반면 새꼬막은 과거 대비 단위면적 생산량이 3.6 톤/ha 으로 증가한 반면 피조개 7.1 톤/ha에서 0.20 톤/ha, 꼬막 2.9 톤/ha에서 0.01 톤으로 급감하였다. 또한 새꼬막은 꼬막보다 양정기간이 상대적으로 짧아 어업인 선호도가 높을 뿐만 아니라 최근 서해권역 갯벌 패류양식 대상품종으로 고려되고 있다 (MOF, 2014).

최근 지구 온난화로 인한 기후변화는 심화되어 고수온, 폭염, 태풍 현상이 장기간 발생하고, 연안에서는 산소부족 물덩어리 (Hypoxia) 현상이 나타나 하절기 동안 양식생물 대량폐사 위험성이 높다 (KMI, 2018). 새꼬막은 산란기가 장마철, 저염분, 산소부족 물덩어리가 자주 발생하는 6-7월에 겹쳐져 어린시기 자연 종자가 기상현상에 의한 대량폐사가 빈번하게 발생하고 있다 (NIFS, 2019). 새꼬막 생산주기는 2년으로 대량폐사 발생 시 이듬해 생산량은 감소하는 현상이 반복적으로 발생하고 있다 (Lim and Hur, 2010). 따라서 안정적 생산과 생산성 향상을 위해서 인공종자 공급체계가 필요하고, 이와 관련된 연구로 생식주기와 산란유발 (Lee JH, 1998), 유생분포 (Kim et al., 2006; You et al., 2002), 환경내성 (Shin et al., 2002), 난 발생 및 유생 성장 (Kim et al., 1980), 생리적 변화와 계절별 에너지 수치 (Shin et al., 2011), 인공종자 고밀도 생산 (Han et al., 2022) 등 연구가 있었다.

이 연구에서는 새꼬막 양식 생산성 안정화를 위한 인공종자

의 안정적인 생산기반 구축을 위한 어미관리 기술확보를 목적으로 시기별 새꼬막 어미확보를 통해 효율적인 어미관리 방안을 탐색하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 새꼬막 어미 확보

새꼬막 어미는 2018년 1월 5일 (각장 34.5 ± 2.1 mm), 2월 12일 (35.5 ± 4.2 mm) 및 4월 14일 (39.1 ± 3.8 mm) 3회에 걸쳐 경남 남해군 강진만에서 채집하였다 (Table 1). 새꼬막 채집은 형망을 이용하였고, 현장에서 패각이 파손된 개체는 제외하여 국립수산물과학원 남동해수산연구소 남해시험포로 운송하였다. 확보한 새꼬막은 부착물 제거 후 4 ton FRP수조에서 3일간 자연수온으로 순치하였고, 자체 제작한 순환여과식 어미관리 시스템에서 관리하였다.

2. 새꼬막 실내사육 관리

실내사육 관리를 위한 순환여과식 어미관리 시스템은 긴 사각 수조 SRS (Shallow Raceway System) 형상으로 포말분리장치, 온도조절 유닛 (히트펌프 등), 생물학적 여과조 (고정여과제), 에어공급장치 및 주수 순환펌프 등으로 구성하였다 (Fig. 2). 성성숙 유도를 위한 수온조절은 1주일 간격으로 1℃씩 상승시켜 최종 사육 수온 23℃로 설정하였다. 먹이공급은 사육수 수질변화를 방지하기 위하여 대량배양된 *Isochrysis* sp., *Chactoceros* sp. 및 *Pheadactylum* sp. 등의 먹이생물을 중공사막필터로 농축하여 300 L 를 생산하였고, 1일 2회 공급하여 먹이생물 농도가 $130-160 \times 10^4$ cells/mL 가 유지되도록 하였다. 어미 길이요소 (각장, 각고, 각폭), 무게요소 (전중)는 캘리퍼스 와 전자저울을 이용하여 0.1 mm 까지 측정하였고, 비만도지수 (Condition index) 를 조사하였다.

$$CI = \frac{\text{육중량 (Flesh weight)} \times 100}{\text{각중량 (Shell weight)} + \text{육중량 (Flesh weight)}}$$

시기별 확보된 새꼬막 어미를 수용한 순환여과식 시스템의 수질 및 영양염을 조사하였다.

Table 1. Comparison of ark shell condition by sample date

Sample date	Shell height (mm)	Wet weight (g)	Water temperature (°C)	Gonad development stage
Jan.	34.5 ± 2.1	20.4 ± 2.8	11.7	Inactive stage
Feb.	35.5 ± 4.2	19.6 ± 3.9	7.2	Early active stage
Mar.	39.1 ± 3.8	28.5 ± 3.4	16.6	Early active stage

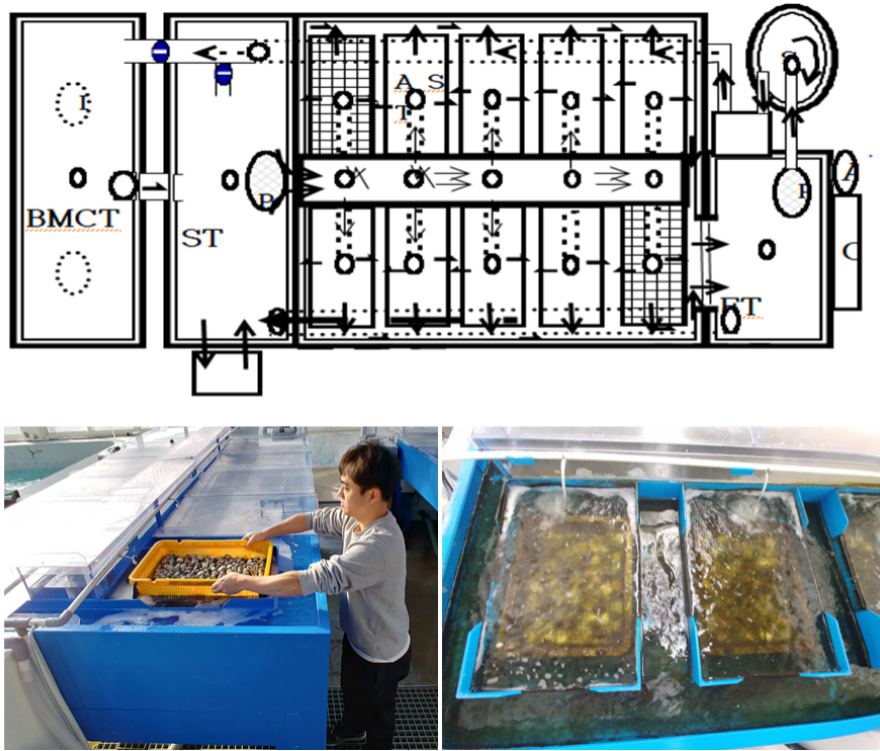


Fig. 2. Schematic diagram of the Recirculating Aquaculture System (RAS) and induction of sexual maturation in ark shell using the RAS.

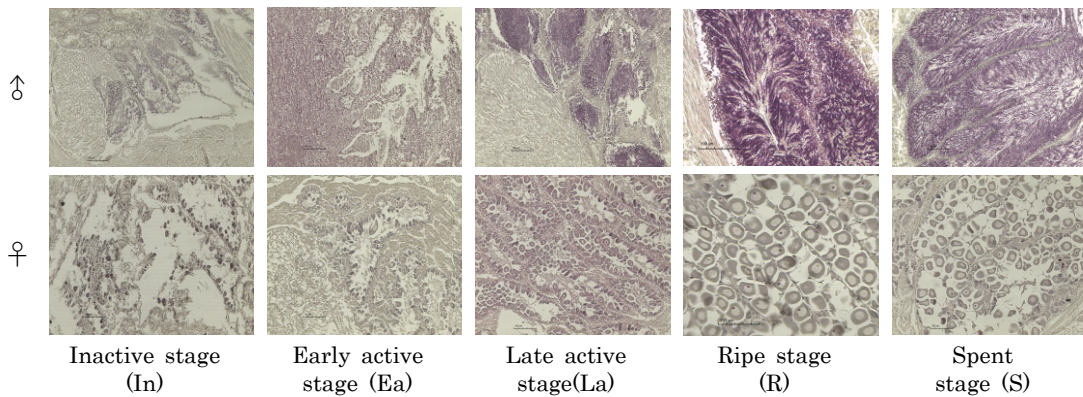


Fig. 3. Gonad development of the ark shell.

3. 생식소 조직분석 및 적산수온

실내관리 어미의 생식소 조직발달 분석은 월 1회, 30마리를 표본하여 Paraffin 절편법으로 조직표본을 제작하였고, 표본의 염색은 Mayer's hematoxylin과 eosin으로 염색한 후 암수 생식세포를 광학현미경 관찰 및 디지털 영상장치로 기록하였다 (Fig. 3). 생식소 조직표본을 관찰한 후 발달단계별 구분으로 비활성기 (inactive stage, In) 는 0, 초기활성기 (early active stage, Ea) 는 1, 후기활성기 (late active stage, La) 는 2, 방출기 (spent stage, S) 3 및 완숙기 (ripe stage, R)

는 4로 표시하였다. 생식소지수 (gonad index, GI) 는 Eversole (1997) 의 방법을 일부 수정하여 계산하였다.

$$GI = \frac{(In *NI \times 0) + (Ea NI \times 1) + (La NI \times 2) + (S NI \times 3) + (R NI \times 4)}{\text{Sample population}}$$

*NI, Number of Individual

적산수온 (accumulated water temperature, AWT) 은

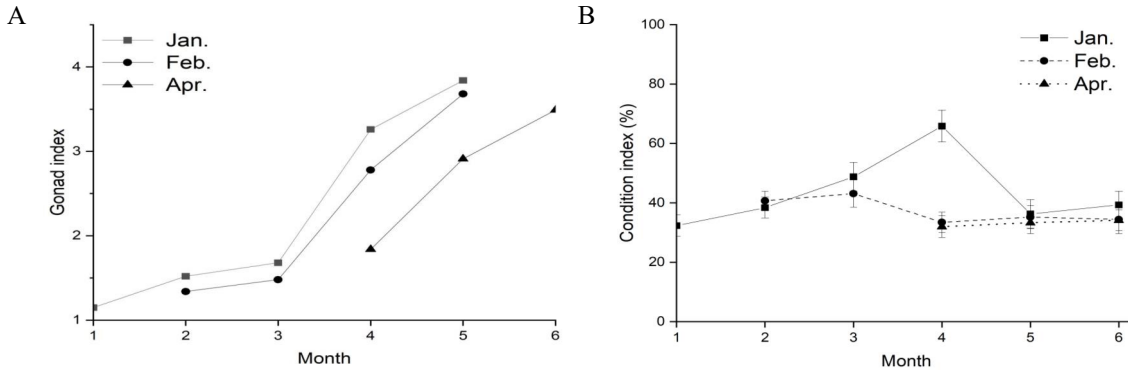


Fig. 4. Monthly change of gonad index (A) and condition index (B) of the ark shell.

생식소 발달과 외부 온도 사이의 상관관계를 나타낸 것으로, 패류 산란시기의 임의조절과 연중 채란을 가능하게 하는 중요한 번식생리학적 지표이다. 새꼬막 생물학적 영도는 수온별 난 발생 연구 결과에서 보고한 (NFRDI, 2018) 10.4°C를 활용하였다. 적산수온은 어미 관리기간 사육수 1일 평균 수온과 생물학적 영도 차이를 누적합계로 조사하였다.

$$AWT = \sum_{Initial}^{Final} (Rearing\ temperature - Biological\ minimum\ temperature)$$

생존율은 1월 1회 폐사된 개체를 조사 후 사육수조에서 제외하였으며, 어미활용은 1월과 2월에 성성숙이 완료된 개체 총 600마리를 이용하여 간출자극과 수온자극을 주어 인공채란을 실시하여 수정율과 부화율을 조사하였고, 부유유생의 크기를 측정하였다.

결 과

1. 새꼬막 어미의 성성숙 유도에 따른 생식소지수 및 비만도지수 변화

채집 시기에 따른 새꼬막 어미의 성성숙을 유도하였고, 생식소지수는 1월에 채집한 새꼬막은 1.15, 2월 1.52, 3월 1.68, 4

월 3.26 및 5월 3.84였고, 2월에 채집한 새꼬막은 2월 1.34, 3월 1.48, 4월 2.78 및 5월 3.68였고, 4월에 채집한 새꼬막은 4월 1.84, 5월 2.91 및 6월 3.49였다 (Fig. 4). 비만도지수 변화는 1월 입식 새꼬막이 32.34 ± 3.63-65.84 ± 5.35%였고, 2월 입식 새꼬막이 33.43 ± 3.41-43.12 ± 4.59%, 4월 입식 새꼬막이 31.99 ± 3.65-34.14 ± 3.51%였다.

새꼬막 성성숙 완료에 소요된 기간은 1월에 채집된 새꼬막이 123일 (5월 18일 완료), 2월에 채집된 새꼬막은 89일 (5월 31일 완료), 4월에 채집된 새꼬막은 53일 (6월 8일 완료) 소요되었다. 새꼬막 각장은 사육기간 약 15-18% 성장하였고, 전중량은 10-15% 증가하였다. 새꼬막의 길이와 중량 성장은 각각 1월 어미 4.77%, 3.00%, 2월 어미 7.41%, 3.37% 및 4월 어미 11.32%, 5.09%로 차이가 있었다 (Table 2).

새꼬막 어미 입식시기별 암·수 및 미성숙 비율은 1월 입식 새꼬막은 암컷 63.3%, 수컷 33.3% 및 미성숙 3.3%였고, 2월 입식 새꼬막은 암컷 40.0%, 수컷 33.3% 및 미성숙 16.7%, 4월 입식 새꼬막은 암컷 36.7%, 수컷 46.7% 및 미성숙 20.0%로 나타났다 (Fig. 5). 생존율은 1월 입식 새꼬막이 62.5%, 2월 입식 새꼬막이 52.6%, 4월 입식 새꼬막이 61.8%였다. 성성숙 유도기간 대량폐사는 발생하지 않았으나, 모든 실험구에서 지속적인 소량 폐사가 있었다. 폐사경향은 입식 초기는 폐

Table 2. Results of the experimental conditioning and rearing of ark shell

Sample date	Conditioning period (days)	Shell height (mm)		Wet weight (g)		*Growth (%)	
		Initial	Final	Initial	Final	Height	Weight
Jan.	123	34.5 ± 2.1	39.9 ± 3.7	20.4 ± 2.8	23.5 ± 1.9	4.77	3.00
Feb.	89	35.5 ± 4.2	42.1 ± 7.8	19.6 ± 3.9	22.6 ± 3.4	7.41	3.37
Apr.	53	39.1 ± 3.8	45.1 ± 4.9	28.5 ± 3.4	31.2 ± 4.7	11.3	5.09

*Growth (%) = Parameter (Final-Initial) × 100 / Conditioning period (Days)

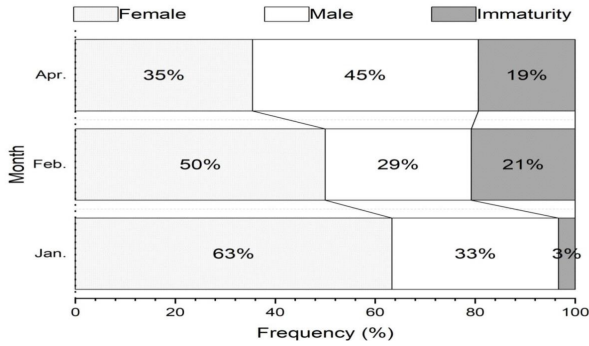


Fig. 5. Comparison of developed gonad and sex frequency in relation to stock period.

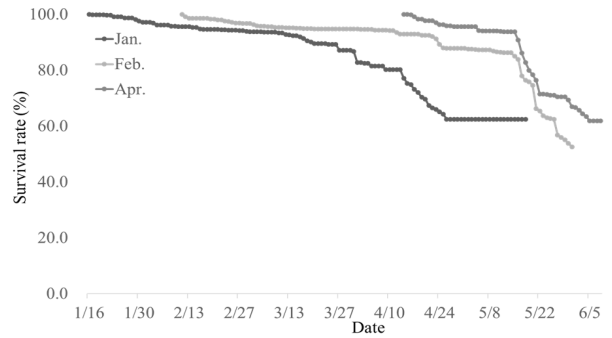


Fig. 6. Daily change of survival rate during rearing broodstock management period.

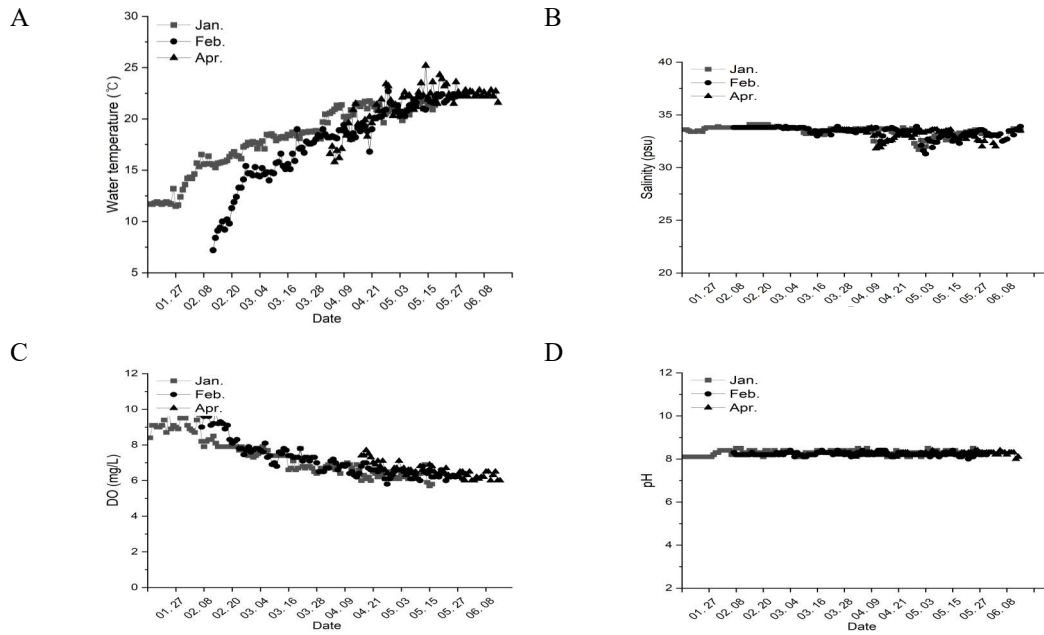


Fig. 7. Comparison of Water temperature (A), Salinity (B), DO (C) and pH (D) during induced sexual maturity.

사가 없었으나, 입식 90일 후 폐사가 집중되었다. 그러나 4월 입식 새끼막은 입식 40일경부터 폐사 개체수가 증가하였다 (Fig. 6). 성숙 유도기간 월별 수용 마리수는 1월 600 마리, 2월 941 마리, 4월 610 마리로 총 2,151 마리였으며 성숙 유도된 개체수는 1월 375 마리, 2월 495 마리, 4월 377 마리로 총 1,247 마리였다.

2. 순환여과시스템 수질환경

수온조절은 1°C/주 조건으로 최종 23°C를 유지하였고, 조사 결과 계단식 수온 상승이 있었다. 염분은 조사기간 3개 실험구 모두 평균 33.0-33.4 psu 로 큰 차이가 없었다. 용존산소는 수온이 상승함에 따라 감소하는 경향을 나타내었으나, 3개 실험구 모두 최소 5.8 mg/L 이상을 나타내었다. pH는 사육기간

동안 3개 실험구 모두 8.0 이상으로 큰 변화가 없었다 (Fig. 7). 이와 더불어 암모니움 (NH₄) 농도 3.62-3.88 mg/L, 아질산염 (NO₂) 0.03-0.05 mg/L, 질산염 (NO₃) 0.03-0.04 mg/L 로 시기에 따른 차이를 나타내지 않았다. 그러나 인산염은 1월 어미 입식 실험구가 0.11 ± 0.04 mg/L, 2월 입식 실험구 0.15 ± 0.06 mg/L 및 4월 입식 실험구 0.16 ± 0.08 mg/L로 시기에 따른 차이가 있었다. 규산염 농도는 0.78-0.82 mg/L로 시기에 따른 차이는 없었다 (Table 3).

3. 적산수온 조사 및 새끼막 인공체란 활용

인위적인 환경조절로 패류 성숙을 유도할 경우, 산란을 예측하는 방법으로서 적산수온 개념을 활용하고 있다. 새끼막 수정란 생물학적 영도를 추정할 연구에서 10.8°C로 보고한 바

Table 3. Water parameter of RAS during induced sexual maturity of ark shell

Sample date	NH ₄ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	PO ₄ (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)
Jan.	3.62 ± 1.65	0.03 ± 0.01	0.03 ± 0.08	0.11 ± 0.04	0.82 ± 0.17
Feb.	4.15 ± 1.32	0.05 ± 0.02	0.04 ± 0.11	0.15 ± 0.06	0.78 ± 0.13
Apr.	3.88 ± 1.47	0.03 ± 0.02	0.04 ± 0.06	0.16 ± 0.08	0.88 ± 0.14

Table 4. Comparison of accumulated water temperature by sample date

accumulated water temperature (°C/d)		
Jan.	Feb.	Apr.
944	812	780

있으며, 이를 바탕으로 적산수온을 조사하였다.

새꼬막 어미 채집 시기별 적산수온은 1월 944°C였고, 2월 812°C 및 4월 780°C로 채집시기에 따른 차이가 있었다 (Table 4). 성성숙이 완료된 1월에 채집한 새꼬막 300 마리와 2월에 채집한 새꼬막 300 마리 총 600 마리를 6월 8일 인공 채란에 사용하였다.

새꼬막 채란방법은 간출자극 (4시간) 후 수온자극 (23°C → 29°C) 을 실시하였고, 수온자극 25분 후 수컷이 먼저 반응하였고 3분 후 암컷이 반응하여 정상적인 채란이 가능하였다 (Fig. 8). 새꼬막 수정란은 수정율 약 89%, 부화율은 90%를 나타냈다. 채란으로 수정란은 총 30.4억 마리를 확보하였고, 부화된 새꼬막 부유유생은 총 11억 마리였다. 새꼬막 초기 부유유생 크기는 각장 80.4 ± 3.9 μm, 각고 60.6 ± 2.8 μm였다.

고 찰

어미 새꼬막을 채집 시기를 달리하여 성성숙을 유도하였다. 채집 시기별 생식소지수는 1월 채집 개체가 1.15, 2월 1.34 및 4월 1.84로 시기가 늦을수록 초기 생식소지수가 높았다. 기존 연구사례에서 자연산 새꼬막 생식소지수는 2월 개체가 1.26, 3월 1.96, 6월 3.80으로 보고한 바 있으나 (Kim *et al.*, 2008), 이 연구의 5월 생식소지수가 1월 입식 3.84, 2월 입식 3.68, 4월 입식 2.91로 실내수조에서 수온자극을 통하여 성성숙이 정상적으로 유도되는 것을 확인하였다.

일반적으로 이매패류 성성숙은 수온이 가장 큰 영향을 주는 요인으로 알려져 있고 (Mackie, 1984; Rodriguez-Moscoco and Arnaiz, 1988), 수온은 체내 대사조절 주요 인자로 생식

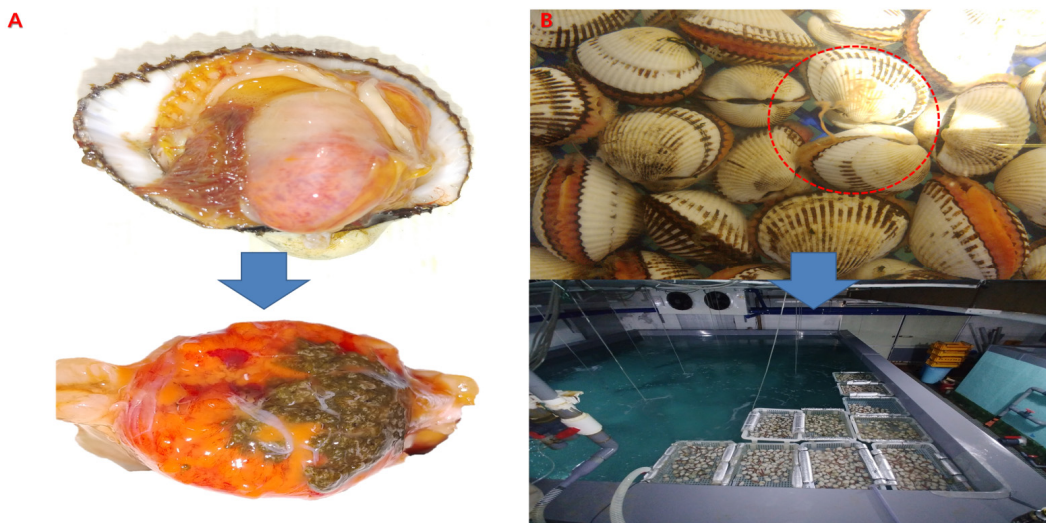


Fig. 8. Conditioning of ark shell. (A) Fully mature female broodstock and cross section of gonad (below), (B) Artificial breeding of ark shell broodstock.

주기를 조절하는 것으로 보고되어 있다 (Smaal and Widdows, 1994). 수온자극으로 성성숙을 유도한 결과, 완숙에 소요되는 기간이 1월 입식 123일, 2월 입식 89일 및 4월 입식 53일이었고, 적산수온은 1월 입식 944°C였고, 2월 입식 812°C 및 4월 입식 780°C로 입식 1월과 4월의 적산수온 차이는 총 Δt 164°C였다. 그러나 적산수온 차이는 1월과 2월이 Δt 132°C였고, 2월과 4월 적산수온 차이는 Δt 32°C로 채집 시기가 늦을수록 적산수온은 낮게 나타났다. 그러나 새꼬막 입식 시기 수온은 1월 11.7°C, 2월 수온 7.2°C, 4월 16.6°C였으나, 시료 확보지역인 남해군 강진만 해역의 1월 평균수온 9.6°C, 2월 평균수온 8.4°C, 4월 평균수온 13.0°C로 1월, 2월은 동일시기로 고려할 수 있다 (KMA, 2022). 그러나 성숙 유도 시 수온 조절 강도와 처리 시간에 따라 생식소 발달이 다르게 나타날 수 있는 사례가 이 연구의 적산수온 차이를 잘 설명하는 것으로 판단된다 (Mranaka and Lannan, 1984).

새꼬막의 성장 적정수온 18-23°C, 서식 적정수온 5.7-27.6°C (Shigeru *et al.*, 2000) 로 어미 관리기간 수온은 성장과 서식에 적합한 범위였다. 입식 전·후 수온 (자연수온, 수온자극) 을 기상청 통계자료를 바탕으로 입식 1월 16일부터 시험 종료 6월 14일까지 사육기간 수온 평균값을 조사한 결과, 1월 입식 $17.9 \pm 3.1^\circ\text{C}$, 2월 입식 $16.0 \pm 4.9^\circ\text{C}$, 4월 입식 $15.0 \pm 6.0^\circ\text{C}$ 로 1월은 평균 수온이 높고, 편차도 작았으나, 채집 시기가 늦을수록 평균 수온은 낮고, 편차는 증가하였다. 1-2월 입식 사육수 평균 수온 17.9°C 와 4월 입식 사육수 평균 수온 20.8°C 로 성장 적정수온 범위에 있었다. 그러나 새꼬막 성장은 1월 입식 길이성장 4.7%, 중량성장 3.0%, 2월 입식 길이성장 7.4%, 중량성장 3.3%, 4월 입식 길이성장 11.3%, 중량성장 5.0%였고, 비만도지수는 1월 입식 65.84%, 2월 입식 43.1%, 4월 입식 34%로 성장과 반대되는 경향을 나타내었다. 비만도 지수와 성장률의 역관계는 폐각중량 증가대비 육중량 백분율 계산식에 의거하여 비만도가 낮아진 것으로 보인다. 이 연구에서 입식 2월과 4월 새꼬막은 상대적으로 입식 1월 개체 보다 폐각 성장이 우선 되는 것으로 해석되며, 이러한 생리적 현상은 수온이 관여하는 것으로 판단된다. 따라서 폐각이 먼저 성장하고, 육질이 뒤에 성장하는 경향이 기존 연구에서도 보고된 사례가 있어 (Broom and marson, 1978; Oh *et al.*, 2002), 이 연구의 성장률과 성숙도 지수 반비례 관계를 잘 설명하는 것으로 판단된다.

최근 꼬막은 비동시자웅동체 (asynchronous hermaphroditism) 로 보고한 바 있다 (Lee *et al.*, 2014). 새꼬막은 성적이형 (sexual dimorphism) 으로 성숙이 완료되면, 수컷은 흰색계열 밤색조각이 관찰되고, 암컷은 짙은 주황색 조각이 관찰된다. 또한 미성숙 개체에서 생식소 조직 검경 시 자웅동체가 관찰되지 않아, 새꼬막도 비동시자웅동체로 판단된다. 실험 종료

후 암수 비율과 미성숙 개체 출현빈도를 조사하였고, 채집 시기에 따라 차이를 나타내었다. 새꼬막 암컷은 1월 입식 63.3%, 2월 입식 40.0%, 4월 36.7%, 미성숙 1월 3.3%, 2월 16.7%, 4월 20.0%로 시기에 따른 차이가 있었다. 그러나 이 매패류의 경우 성 결정과 성비변화는 유전학적 요인과 환경적 요인으로 잘 알려져 있다 (Yusa, 2007; Chávez-Villalba *et al.*, 2011). 그러나 환경적 요인은 수온, 염분, 먹이, 광주기 등이 있고 상호관계가 명확하지 않다 (Gould HN, 1952; Guo *et al.*, 1998). 하지만 꼬막류 연구에서 성비 변화와 성 전환에 수온이 관여하는 것으로 보고하였고 (Lee, 2015), 이 연구에서도 채집 시기에 따라 성비 차이는 확인하였으나, 동일 개체를 대상으로 조사하지 않은 문제점이 있고, 미성숙 개체의 비중이 높아 추가적인 연구가 필요하다.

사육기간 환경변화는 인위적인 수온조절 이외 분석항목인 염분, pH, DO는 시기별 유의미한 차이를 나타낼 수준은 아니었다. 사육수 중 암모니아, 질산, 질산염 등의 질소원 농도는 대량폐사를 유발할 수준은 아니었다. 이 연구에서는 동일하게 수온 관리방법을 사용하였고, 사육기간 성장한 결과로 보아 먹이부족 원인은 아닌 것으로 판단된다. 실험기간 수온 18°C 내외에서 대부분 폐사되는 경향을 보여 환경적 요인에 의한 폐사보다 생리적 요인에 의한 폐사로 추정된다. 폐사는 대부분 환경 저항성이 높은 것으로 알려져 있으나, 생리적 요인 (고수온 스트레스 및 생리적 스트레스) 에 의한 대량폐사는 자연에서도 빈번하게 발생하고 있다. 따라서 사육기간 중 발생한 지속적이고, 소량 폐사는 자연적인 현상과 유사하게 발생하는 것으로 향후 생존율 향상을 위한 기술개발이 필요할 것으로 판단된다.

이 연구에서 새꼬막 어미 관리기법 개발을 위해 성성숙을 유도하였고, 1월과 2월 채집한 새꼬막을 이용하여 정상적인 인공 채란, 수정란 발생 및 종자생산에 활용하였다. 입식 1월 새꼬막은 미성숙이 적고 및 암컷 비율이 높아 종자생산 활용성이 높다. 그러나 2월 종자는 일부 미성숙 개체가 있었으나, 상대적으로 4월 입식 새꼬막 보다 암컷 비중이 높아 종자생산에 활용이 가능한 것으로 판단된다. 어미관리 기간 먹이생물 배양과 에너지 비용에 많은 경비가 지출되며, 순환여과식은 유수식 대비 경비를 절감할 수 있다. 그러나 우리나라는 4계절 기후가 뚜렷하여 겨울철 어미관리를 해야하는 생태적 주기를 고려한다면 1월 보다 2월에 어미관리를 하는 것이 비용적인 측면에서 효과적인 것으로 판단된다. 또한 2월에 어미관리를 할 경우 미성숙 개체 비율을 줄이기 위하여 수온자극 강도와 먹이생물 등 환경적 요인을 추가적으로 연구할 필요가 있다.

요 약

어미 새꼬막을 채집 시기를 달리하여 성성숙을 유도하였다.

채집 시기별 생식소지수는 1월 1.15, 2월 1.34 및 4월 1.84로 시기가 늦을수록 초기 입식 생식소지수가 높았다. 수온자극으로 성성숙을 유도한 결과, 완숙에 소요되는 기간이 1월 입식 123일, 2월 입식 89일 및 4월 입식 53일이었고, 적산수온은 1월 입식 944℃였고, 2월 입식 812℃ 및 4월 입식 780℃로 입식 1월과 4월의 적산수온 차이는 총 Δt 164℃였다. 실험 종료 후 생식소 조직을 분석한 결과 암수 비율과 미성숙 개체 출현빈도가 채집 시기에 따라 차이를 나타내었다. 새꼬막 암컷은 1월 입식 63.3%, 2월 입식 40.0%, 4월 36.7%, 미성숙 출현 비율은 1월 3.3%, 2월 16.7%, 4월 20.0%로 시기에 따른 차이가 있었다. 성성숙 완료된 새꼬막은 1월 입식개체 300 마리와 2월 입식개체 300 마리 총 600 마리를 6월 8일 인공채란에 사용하였다. 새꼬막 채란방법은 간출자극 (4시간) 후 수온자극 (23℃ → 29℃) 을 실시하였고, 수온자극 25분 후 수컷이 먼저 반응하였고 3분 후 암컷이 반응하여 정상적인 채란이 가능하였다. 새꼬막 수정란은 수정율 약 89%, 부화율은 90%였다. 채란으로 수정란은 총 30.4억 마리와 부화된 새꼬막 부유유생은 총 11억 마리를 확보하였다. 새꼬막 초기 부유유생은 각장 $80.4 \pm 3.9 \mu\text{m}$, 각고 $60.6 \pm 2.8 \mu\text{m}$ 였다.

사 사

이 논문은 국립수산물과학원 수산과학연구소 (R2023041) 의 지원으로 수행된 연구이며 연구비 지원에 감사드립니다.

REFERENCES

- Broom, M.J. (1985) Biology and culture of Marine Molluscs of the Genus, *Andara* ICLAMRM Studies and Reviews, 37.
- Beesley, P.L. and Ross, G.J.B. (1998) Mollusca: The Southern Synthesis CSIRO. Publishing, Melbourne, 1234 pp.
- Broom M.J. and Marson J. (1978) Growth and spawning in the pectinid *Chlamys opercularis* in relation to temperature and phytoplankton concentration. *Marine Biology*, 47: 227-285.
- Chávez-Villalba, J., Soyey, C., Huvet, A., Gueguen, Y., Lo, C. and Le Moullac, G. (2011) Determination of gender in the pearl oyster *Pinctada margaritifera*. *Journal of Shellfish Research*, 231-240.
- David J.C. and Gonzalo G. (2016) Clarifying phylogenetic relationships and the evolutionary history of the bivalve order Arcida (Mollusca: Bivalvia: Pteriomorphia). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 298-312.
- Gould, H.N. (1952) Studies on sex in the hermaphrodite mollusk *Crepidula plana*. IV. Internal and external factors influencing growth and sex development. *Journal of Experimental Zoology*, 119: 93-163.
- Guo, X., Hedgecock, D., Hershberger, W.K., Cooper, K. and Allen Jr., S.K. (1998) Genetic determinants of protandric sex in the Pacific oyster, *Crassostrea gigas* Thunberg. *Evolution*, 394-402.
- Han J.C., Hwang I.J., Kang J.H. and Kang H.W. (2022) A comparison study for high-density settlement using post larvae ark shell, *Scapharca subcrenata*. *The Korean Journal of Malacology*, 93-100.
- J-stat, (2023) J-stat Fishery and Aquaculture Statistics. Global aquaculture production 1950-2021(FishStatJ).
- Khalil M., Yasin Z. and Hwai T.S, (2017) Reproductive Biology of Blood Cockle *Anadara granosa* (Bivalvia: Arcidae) in the Northern Region of the Strait of Malacca. *Ocean Science Journal*, 75-89.
- Kim C.W., Kim S.B. and Hur S.B., (2006) Distribution of Bivalve larvae in Deukryang Bay. *The Korean Society of Fisheries and Aquatic Science*, 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: arcidae) from Yeolja Bay. *The Korean Society of Fisheries and Aquatic Science*, 252pp.
- KMA, (2022) Korea Meteorological Administration, Retrieved from <https://data.kma.go.kr/data/sea/selectFargoBuoyRltnList.do?pgmNo=55>.
- KOSIS, (2022) KOSIS. Statistic database for fisheries production. Retrieved from KOSIS, 2022. KOSIS. (2022) Statistic database for fisheries production. Retrieved from https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1EW0004&conn_path=13.
- KMI, (2018) An Analysis of Mass Mortalities in Aquaculture Fish Farms on the Southern Coast in Korea. DOI:10.35372/kmiopr.2018.33.1.001.
- Lee J.H. (1998) A study on sexual maturation of the ark shell, *Scapharca subcrenata* Lischke. *The Korean Journal of Malacology*, 91-102.
- Lee, J.S., Park, J.J., Shin, Y.K., Kim, H. and Jeon, M.A. (2014) Sex change and sequential hermaphroditism of *Tegillarca granosa* (Bivalvia: Arcidae). *Invertebrate Reproduction and Development*, 58: 314-318.
- Lee J.S., (2015) Sex and Sex Reversal of Bivalves. *The Korean Journal of Malacology*, 315-322.
- Lim, J.Y. and Hur, Y.B. (2010) Development of artificial seed production technology of ark shell, *Scapharca subcrenata*. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 223-230.
- Mackie, G.L. (1984) Bivalves. *In*: The mollusca, Vol. 7. Reproduction. (ed. By Tompa, A.S., Verdonk, N.H. and Van Den Biggelaar, J.A.M). Academic Press, New York., 351-418.
- Morton, B.S., Prezant, R.S. and Wilson, B. (1998) Class Bivalvia. *In*: Mollusca: The Southern Synthesis. Fauna of Australia, vol. 5. CSIRO Publishing, Melbourne, 195-234.
- Muranaka M.S. and Lannan J.E. (1984) Broodstock management of *Crassostrea gigas* environmental influences on broodstock conditioning. *Aquaculture*, 217-228.

- NIFS, (2014) Development of aquaculture species adapted to changing fishing in oil-spiled areas. 169-172.
- NIFS, (2018) Development of artificial seed production technology of ark shell, *Scapharca subcrenata*. Annual report, 13pp.
- NIFS, (2019) Development of artificial seed production technology of ark shell, *Scapharca subcrenata*. Annual report, 7pp.
- Oh, B.S., Jung, C.G., Kim, S.Y., Kim, S.Y. and Chung, E.Y. (2002) Reproductive cycle of the bay scallop, *Argopecten irradians* transplanted from China. *The Korean Society of Fisheries and Aquatic Science*, 201-206.
- Park, H.J., Lee, W.C., Choy, E.J., Choi, K.S. and Kang, C.K. (2011) Reproductive cycle and gross biochemical composition of the ark shell *Scapharca subcrenata* (Lischke 1869) reared on subtidal mudflats in a temperate bay of Korea. *Aquaculture*, **322-323**: 149-157.
- Rodriguez-Moscoso, E. and Arnaiz, R. (1988) Gametogenesis and energy storage in a population of the grooved carpet-shell clam, *Tapes decussatus* (Linne, 1787).
- Shigeru, S., Yutaka, A. and Hiroshi, T. (2000) Report of marine ecology research institute from Japan, 255-256.
- Shin Y.K., Moon, T.S. and CHOI W.I. (2002) Effects of the dissolved oxygen concentration on the physiology of the blood cockle, *Tegillarca granosa*. *The Korean Society of Fisheries and Aquatic Science*, **35**: 485-489.
- Shin, Y.K., Lee, W.C., Kim, S.Y., Jun, J.C. and Kim, E.O. (2011) Variation in physiological energetics of blood cockle *Scapharca subcrenata* (Bivalvia: Arcidae) from yeoja bay, south coast of Korea. *Korean. The Korean Journal of Malacology*. 205-211.
- Smaal, A.C. and Widdows, J. (1994) The scope for growth of bivalves as an integrated response parameter in biological monitoring. In: Kramer KJM(ed), *Biomonitoring of coastal waters and estuaries*. CRC, BocaRaton, 247-267.
- Yoon YH and Lee JH, (2020) A Charecteristics of marine environments in a blood cockle farms of the Northwestern Yeoja Bay, Korea 2. Spatio-temporal distribution of water quality and phytoplankton community, *J. of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 579-592.
- Yurimoto, T., Mori, Y., Ito, S. and Maeno, Y. (2008) Reproductive cycle of the subcrenated ark shell *Scapharca kagoshimensis* (Tokunaga, 1906) in Ariake Bay, Japan. *Journal of Shellfish Research*, 1101-1108.
- Yusa, Y. (2007) Causes of variation in sex ratio and modes of sex determination in the Mollusca-an overview. *American Malacological Bulletin*, 89-98.

