

# 대맛조개 (*Solen grandis*) 의 수정란 발생과 유생 성장

최보현, 이동근, 박충국, 황남용, 안신희, 강요한, 고경동, 이지수, 이경식, 박준택, 이경우

전라남도 해양수산과학원

## Larvae growth and development in fertilized eggs of the *Solen grandis*

Bo-Hyun Choi, Dong-Geun Lee, Chung-Kug Park, Nam-Yong Hwang, Sin-Hong An, Yo-Han Kang, Gyeong-Dong Go, Ji-su Lee, Kyoung-Sik Lee, Joon-Taek Park and Kyoung-Woo Lee

JeollaNamdo Institute of Ocean&Fisheries Science

### ABSTRACT

*Solen grandis* is an industrially important edible bivalve that is traded at high prices as it is unfarmed and the production has decreased due to environmental pollution and overfishing. Major studies on *Solen grandis* have reported only basic research on reproductive development, change, etc., and no studies on spawning, egg development, and larval management have been reported for seed production and aquaculture technology development. Therefore, in this study, spawning was carried out using mature plaques secured through habitat survey for *Solen grandis* seed acid, and artificial seed production was succeeded, and the egg development process from fertilized egg to D phase larva and larval development process of 1 mm or more were observed through a microscope. Additionally, this study aims to develop technology for promoting seed production as basic research for fostering high value-added bivalve industrial varieties and resource recovery. Based on the existing research data, we conducted research on the development of fertilized eggs and larval development using the mature plaques of *Solen grandis*.

**Key words** : *Solen grandis* seedling production, fertilized egg development, larval growth

### 서 론

대맛조개, *Solen grandis* (Dunker) 는 죽합과 Solenida에 속하는 산업상 중요한 고가의 식용 이매패류로서 한국, 중국, 일본 등 동북아시아의 연안에 분포하고, 우리나라는 서남해안 해역의 조간대 사니질에 서식하고 있다 (Yoo, 1976; Kwon *et al.*, 1993). 대맛조개는 죽합과 중 가장 대형종에 속하며, 조간대에서 수심 20 m의 고운 모래속에 서식한다. 또한, 식용으로 인기가 좋고 상품 가치가 높은 고부가가치 산업품종이나, 환경오염 및 남획으로 인해 생산량이 감소하고 있어 종자생산

기술개발이 요구되고 있다.

국내 주요 연구는 수컷 대맛조개의 정자형성과정 및 생식주기 (Chung and Park, 1998), 생식소 발달 단계에 따른 조직 성분 변화 (Chung *et al.*, 2006) 등 생식소 발달과 변화 등의 기초 생리·생태 연구만 보고되어 있을 뿐, 종자생산 및 양식 기술개발을 위한 산란 및 난발생, 유생성장과 같은 연구는 보고된 바가 없는 실정이다. 국외 주요 연구에서는 대맛조개의 유전적 다양성 관계 (Xuemei Qiu *et al.*, 2010), 미토콘드리아 게놈 연구 (Hong *et al.*, 2012), 생식생물학 (Xiao *et al.*, 2009), 여과율 (Wu *et al.*, 2011) 등의 유전 및 생리학적인 연구가 다양하게 보고되고 있으며, 중국에서는 대맛조개 종자생산을 위한 기술개발 (WU *et al.*, 2012) 연구가 수행된 바 있다.

따라서, 본 연구에서는 고부가가치 이매패류 산업품종 육성 및 대맛조개의 자원회복을 위한 기초 연구로서, 종자생산 기술 개발을 목표로 대맛조개의 산란시기를 조사하고, 성숙모패를 활용한 수정란 발생 및 유생 발달에 대한 연구를 수행하였다.

### 재료 및 방법

Received: December 09, 2022; Revised: December 17, 2022;  
Accepted: December 30, 2022

Corresponding author: Bo-Hyun Choi

Tel: +82 (61) 685-9612, e-mail: choi9811@korea.kr  
1225-3480/24829

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.

### 1. 서식지 및 성숙시기 조사

본 연구를 위해 서해안 사니질 지역의 서식지 조사를 하였으며, 충청남도 태안군 안면도 해역에서의 대량서식지 확인을 통해 2021년 8월부터 2022년 7월까지 모패를 채집하였다. 채집한 모패는 매월 각장 (cm) 및 전중량 (g) 을 측정하였으며, 생식소 절개를 통해 성숙상태에 대한 모니터링을 실시 하였다.

### 2. 모패 확보 및 방란·방정 실험

산란유발 실험을 위해서 2022년 5월 17일부터 19일까지 충청남도 태안군 안면도에서 채집한 성숙모패 250 마리를 활용하였으며, 채집 즉시 활어차를 사용하여 연구소로 운송하였다.

확보된 모패는 채집현장 수온 17°C에서 5°C 상승시킨 22°C로 설정된 10 톤 수조 (가로 1.48 m × 세로 6.25 m × 높이 1.16 m) 에 수용하였으며, 1차 실험방법은 현장에서 채집한 모패를 깔아 잠입유도를 통한 자연적인 산란유발, 2차 실험은 생식소를 절개하여 산란수조에 확산시켜 강제수정을 하였고, 3차 실험은 모패를 10-20분간 음건하는 간출자극을 병행하여 수행하였다.

### 3. 수정란 발생 조사

방란·방정 실험을 통해 생산된 수정란의 발생단계 조사는 수온 22°C, 염분 32 psu의 10 톤 수조 (가로 1.48 m × 세로 6.25 m × 높이 1.16 m) 에 수용하여 관찰하였다. 수정란의 발생과정은 광학현미경 (Olympus BX53) 을 통해 30분 간격으로 D상 유생까지 발생단계를 관찰하여 촬영하였다. 또한, 염분에 따른 발달실험을 위해 수온 22°C에 염분 15, 20, 23, 26, 29 psu의 실험구간을 설정하여 D상 유생까지의 발생과정을 조사하였다.

### 4. 먹이섭이 실험

유생의 먹이 섭이시기를 규명하기 위해 먹이종에 따른 섭이 실험을 수행하였다. 실험방법은 내장이 형성되는 D상 유생을 비이커에 L당 약 1,000 마리를 수용하여 굶이된 먹이섭취 여부를 현미경으로 관찰하였다. 실험에 활용된 먹이생물은 패류 종자생산에 가장 많이 활용되는 미세조류인 *Isochrysis galbana*, *Chaetoceros muelleri*, *Tetraselmis suecica*, 복합농축 미세조류 (*Tetraselmis* sp., *Thalassiosira* sp.) 를 사용하였다.

### 5. 유생의 성장단계 조사

난 발생 및 먹이섭이 실험 결과를 통해 D상 유생부터 1 mm 이상의 종자생산을 하였으며, 성장에 따른 형태변화를 현미경을 통해 매일 관찰하여 촬영하였다.

유생 사육관리는 사각 콘트리트 10 톤 수조 (가로 1.48 m

× 세로 6.25 m × 높이 1.16 m) 에 D상 유생이 ml 당 1-3 마리의 밀도로 수용하였으며, 관리환경은 수온 22°C, 염분 32.2-34.1 psu, DO 6.4-8.3 mg/L, pH 7.7-8.4 였고, 수조 위에 차광막을 설치하여 암조건을 유지하였다.

먹이급이는 D상 유생부터 각장 170  $\mu$ m,까지 미세조류 *Isochrysis galbana*를 공급하였으며, 각장 180  $\mu$ m 이상부터 *Isochrysis galbana*와 *Chaetoceros muelleri*를 혼합 급이, 착저기 및 입출수관이 형성되는 각장 500  $\mu$ m 이상부터는 *Isochrysis galbana*와 *Chaetoceros muelleri*, *Tetraselmis suecica*, 복합농축 미세조류를 혼합 급이 하였다. 먹이 급이량은  $2.4 \times 10^4$  cell/ml 농도로 1일 3회, 회당 90-270 L를 공급하였다.

환수는 부유 유생기에 필러망을 이용하여 매일 30-50% 부분 환수를 하였고, 수질을 고려하여 7일 간격으로 전량 환수를 실시하였으며. 침착 유생기에는 유수식으로 관리하였다.

## 연구 결과

### 1. 주요 서식지 및 성숙시기 조사

채집한 모패의 평균 각장은 1월에 약 11.5 cm로 가장 컸고, 9월에 약 9.5 cm로 가장 작았으며, 전체 평균 각장은 약 10.2 cm였다. 평균 중량은 4월에 약 55.9 g으로 가장 높았고, 10월에 약 27.8 g으로 가장 낮았으며, 전체 평균 중량은 약 38.4 g 이었다.

대맛조개는 암수가 따로인 자웅이체이며, 생식소 절개를 통해 정자 활성화도 및 난모세포의 현미경 관찰한 결과, 2022년 3월부터 생식소가 차오르기 시작하면서 생식세포가 발달 되었다. 난모세포의 경우 평균 80-90  $\mu$ m 정도의 타원형 외형과 검은색의 세포질, 투명한 원형 핵으로 구성되어 있었다. 또한, 암·수의 생식소는 육안적 구별이 가능하였으며, 성숙 수컷의 생식소는 연한 주황색, 성숙 암컷의 생식소는 연한 갈색을 띄었다 (Fig. 1).

### 2. 성숙모패 확보 및 방란·방정 실험

성숙도 모니터링 결과 및 기존 연구자료를 통해 최적 산란시기를 조사하였고, 산란유발 실험을 3차례 실시 하였다.

1차 실험은 5월 17일에 채집한 모패 100 마리를 사용하였고, 서식지의 잠입기질을 활용하여 자연산란 유도를 하였으나, 산란반응은 없었다. 2차 실험은 5월 18일에 채집한 모패 70 마리를 사용하였고, 생식소 절개를 통해 강제수정을 하였으나, 일부 개체에서만 수정란 발생을 확인할 수 있었다. 3차 실험은 5월 19일에 채집한 모패 80마리를 사용하였고, 20분간 간출자극 및 5°C 수온상승 자극을 실시 하였다. 산란자극 후 수조 입식 30분 이내에 산란반응을 보였으며, 방란·방정을 확인할 수

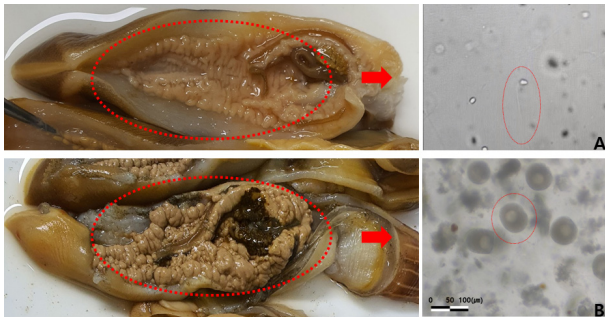


Fig. 1. The gonad developmental of *Solen grandis* (A:♂ / B:♀)

있었다 (Table 1).

### 3. 수정란 발생 조사

발생된 수정란의 모양은 구형이었으며, 직경은 평균 90  $\mu$ m 로 수량은 약 1,400만 톱으로 산출되었다. 수정란의 발생단계 는 수정 후 30분 이내에 분열을 시작하였으며, 12시간 이내에

편모가 형성되었고, 제자리 회전 및 유영을 시작하는 포배기와 담륜자기에 도달하였다. 23시간 이후에는 폐각이 형성되는 D 상에 도달하였으며, 수정 28시간 이후에는 사육수조를 전량 환 수하여 먹이공급을 실시하였다 (Fig. 2, Table 2).

또한, 염분 농도에 따른 수정란 발생과정의 실험결과, 수정 란 발생 24시간 뒤 염분 29, 32 psu 구간에서만 D상 발달을 확인할 수 있었으며, 염분 농도가 낮은 구간일수록 수정란의 발달 속도가 늦어지는 것으로 조사 되었다 (Table 3).

### 4. 먹이섭이 실험

먹이섭이 실험 결과는 내장이 형성되는 초기 D상 유생 시기 에 *Isochrysis galbana*를 급이 하였고, 현미경을 통해 먹이섭 이를 확인할 수 있었다. *Chaetoceros muelleri*는 평균 각장 180  $\mu$ m부터 *Tetraselmis suecica* 및 복합농축 미세조류는 평균 각장 500  $\mu$ m부터 섭이가 관찰되었다.

### 5. 유생의 성장단계 조사

Table 1. Result of test for spawning induction of *Solen grandis*

Date	Stimulating method	Result
May. 17	sediments (sand)	No response
May. 18	incision method	No response (partial reaction)
May. 19	exposure stimulation method (20min) + water temperature stimulation (17 $\rightarrow$ 22 $^{\circ}$ C)	Spawning

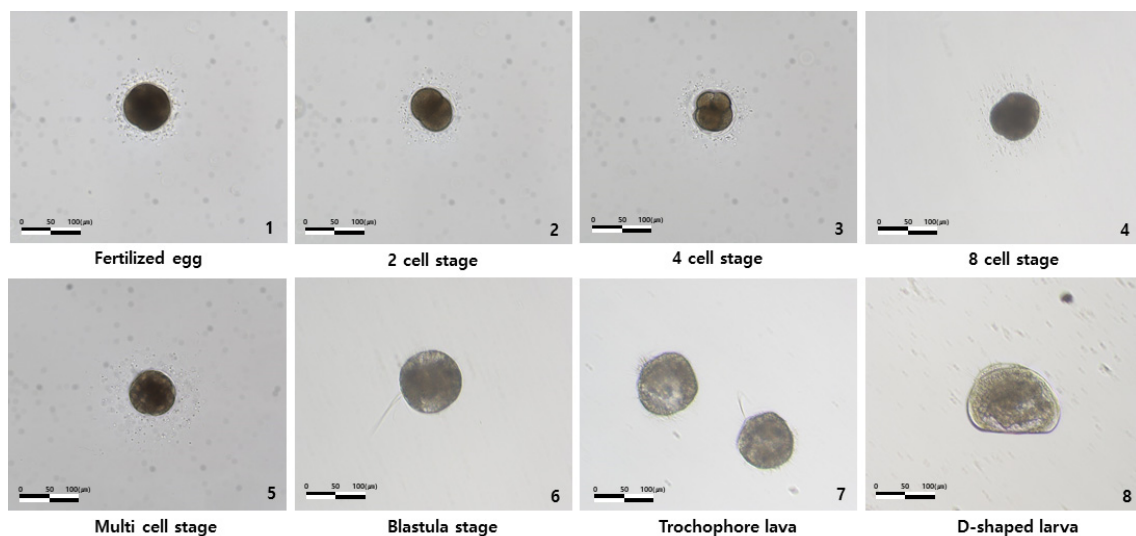


Fig. 2. Characteristics of the fertilized egg development of the *Solen grandis* (1-8). 1. Fertilized egg; 2. Two cell; 3. Four cell; 4. Eight cell; 5. Multi cell; 6. Swimming blastula; 7. Trochophora larvae; 8. D-shaped larvae.

**Table 2.** Stages of egg development for *Solen grandis*

Stages	Elapsed time	Characteristic
Fertilized egg	-	-
2 cells	30 min	nonmotile
2-4 cells	1 hour	nonmotile
4-8 cells	3 hour	nonmotile
Multi cells	6 hour	nonmotile
Swimming blastula	12 hour	flagella formation (straight swim)
Trochophora larvae	18 hour	velum-lumen formation
D-shaped larvae	23 hour	shell formation

**Table 3.** D-phase incidence according to salinity (24 hours after fertilized egg development)

Stage	15 psu	20 psu	23 psu	26 psu	29 psu	32 psu
	Fertilized egg	Swimming blastula	Trochophora larvae	early D-shaped larvae	D-shaped larvae	D-shaped larvae

**Table 4.** The development stage of *Solen grandis* larvae growth

Stage	Period (day)	Shell length ( $\mu\text{m}$ )	Average shell length increment ( $\mu\text{m}$ )	number of individuals (thousand)	Survival rate (%)
D-shaped larvae	1-2	140-150		8,780	100.0
Umbo stage	3-6	160-250	19.9	555	63.2
Settling stage (showing foot)	7-10	250-280	31.4	518	58.9
Settling stage (showing outlet pipe)	11-25	280-1,000	50.2	295	28.4
Full-grown stage (showing outlet pipe and intake pipe)	26-35	1,000-2,300	551.2	80	9.1
Juvenile (2 mm above)	36-42	2,300-3,100	260.2	47	5.4
Juvenile (3 mm above)	43-53	3,100-4,300	413.3	2	0.2
Juvenile (4 mm above)	54-61	4,300-	1,143.6	1	0.1

유생 발달 단계는 수정 후 2일 뒤에 면반이 생성된 D상 유생 단계로, 평균 각장 크기가 140-150  $\mu\text{m}$ , 개체수는 약 870만 마리로 조사되었다. 수정 후 6일 뒤에는 각정기 단계로 평균 각장 크기가 160-250  $\mu\text{m}$ , 개체수는 약 555만 마리로 생존율은 약 63.2%를 보였다. 수정 후 10일 뒤에는 족사가 출현하면서 바닥에 침착하기를 시작하였고, 평균 각장 크기가 250-280  $\mu\text{m}$ , 개체수는 약 518만 마리로 생존율은 약 58.9%를 보였다. 수정 후 25일 뒤에는 출수관이 출현하였고, 평균 각장 크기가 280-1,000  $\mu\text{m}$ , 개체수는 약 295만 마리로 생존율은 약 28.4%를 보였다. 수정 후 35일 뒤에는 치폐의 형태로

서, 입 출수관과 족사가 모두 길게 발달하는 특징을 보였다. 특히 족사를 이용하여 활발한 유영성이 관찰되었으며, 이때, 평균 각장 크기는 1,000 - 2,300  $\mu\text{m}$ , 개체수는 약 80만 마리로 생존율은 약 9.1%를 보였다 (Fig. 3, Table 4).

또한, 지속적인 유생관리를 통해 수정 후 61일까지의 평균 각장 크기는 4,300  $\mu\text{m}$ , 개체수는 약 1만 마리로 최종 생존율은 0.1%를 보였으며, 형태적인 변화는 관찰되지 않았다 (Fig 4).

## 고찰

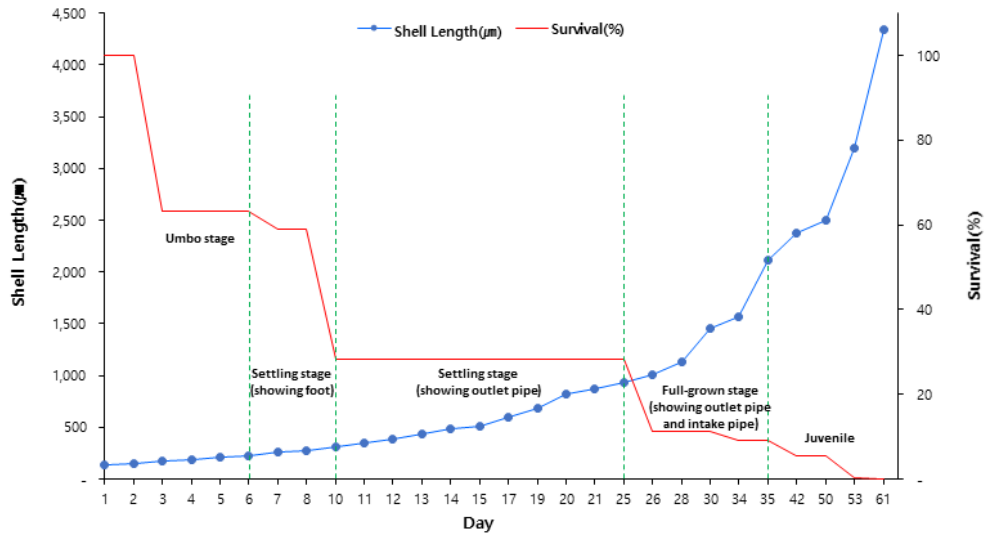


Fig. 3. Larvae growth of *Solen grandis*

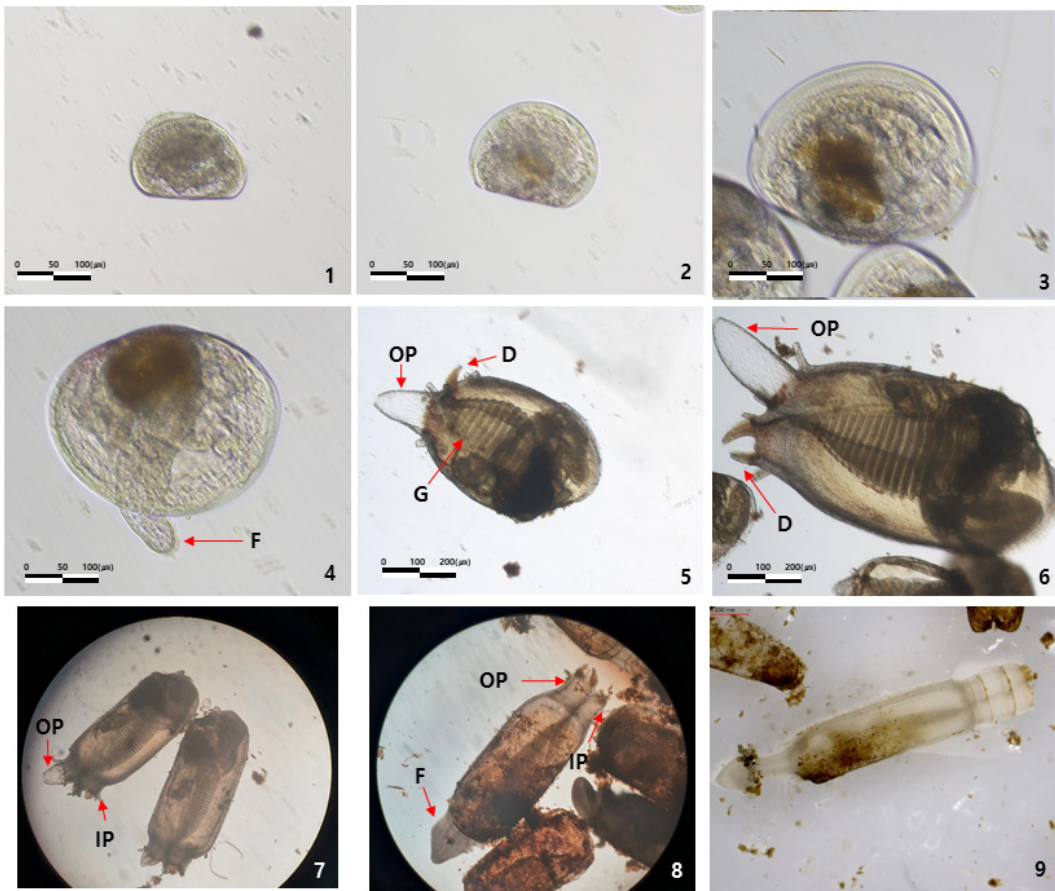


Fig. 4. Basic characteristics of juvenil development of *Solen grandis* (1-9). 1. D-larvae after 24 hours fertilization; 2. D-larvae; 3. Umbo; 4. showing foot (F); 5. showing outlet pipe (OP), gill (G), and digitations (D); 6. Juvenile in 11-25 days after attachment; 7. showing outlet pipe (OP) and intake pipe (IP); 8. Juvenile in 26-35 days after attachment; showing outlet pipe (OP), intake pipe (IP), and foot (F); 9. Juvenile.

대부분의 패류는 특정 계절에 산란기를 가지며, 생식소 발달과 성숙은 수온, 염분, 먹이생물 등과 같은 외적 요인과 생체내의 신경 및 호르몬과 같은 내적 요인에 의해 영향을 받는다고 연구되어 있다 (Black and Sastry, 1979; Sastry, 1979; Simpson, 1982; Chung *et al.*, 2000, 2002, 2003, 2005).

대맛조개의 생식주기 연구결과는 초기 활성화기 (12월-1월), 후기 활성화기 (1월-3월), 완숙기 (3월-7월), 부분 산란기 (6월-7월), 퇴화 및 비활성기 (7월-12월) 의 5단계로 구분되어 있다 (Chung *et al.*, 2006). 본 연구의 결과에서도 3월부터 생식소가 육안으로 관찰이 되었으며, 산란시기도 5월로 확인되었다. 하지만, 지역별 산란시기에 대한 차이 및 정확한 산란시기 검증을 위해 지속적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

대맛조개의 수정란 생산 및 난 발생, 유생발달 연구를 위한 최적 수온은 22°C로 조사되어 (WU *et al.*, 2012), 본 연구에서도 기존 국외 연구자료를 기반으로 관리환경을 고정하여 실험을 진행하였다.

난 발생 단계는 대부분의 이매패류와 비슷한 발달 단계를 보였다. 특히, 수정 후 D상 단계까지 소요시간은 꼬끼리조개 36시간 (Lee and Rho, 1997), 우럭조개 24시간 (Lee *et al.*, 2021), 가무락조개 20 - 23시간 (小野, 1972) 이었으며, 대맛조개도 23시간 이내에 D상 단계에 도달하여 비슷한 발생시간을 보였다. 또한, D상 유생의 평균 크기는 왕우럭조개 (*Tresus keenae*) 85  $\mu\text{m}$  (해양수산부, 2019), 우럭조개 111.1  $\mu\text{m}$  (Lee *et al.*, 2021) 보다 큰 140  $\mu\text{m}$  로 조사되었다.

유생의 주요 발달 단계는 난 발생 18일 이후 착저하는 291  $\mu\text{m}$  이상의 꼬끼리조개 유생 (Nam *et al.*, 2014) 과 15일 이후에 착저하는 231.6  $\mu\text{m}$  이상의 우럭조개 유생 (Lee *et al.*, 2021) 과는 큰 차이를 보였는데, 대맛조개는 D상 단계 7일 이후부터 족사가 출현하면서 바닥에 착저하기 시작하였고, 크기는 250  $\mu\text{m}$  이상으로 성장속도 및 착저시기가 빠른 것으로 조사되었다. 또한, 난 발생 22일 이후 1.2 mm 이상으로 성장하는 국외 대맛조개 종자생산연구 (WU *et al.*, 2012) 와 비슷한 결과로서, 수정 26일 이후에 1 mm 이상으로 성장하였으며, 입출수관과 족사가 모두 길게 발달하면서 유영 및 잠입을 하려는 모습을 볼 수 있었다.

하지만, 61일 동안 약 4,300 mm 이상의 치패를 관리하였지만, 유생관리기술의 부재로 인해 많은 폐사가 발생하였다. 폐사의 원인은 급격한 성장에 따른 에너지 소모와 잠입기질의 환경적 요인으로 인해 폐사가 일어난 것으로 추정되며, 향후, 유생관리에 대한 지속적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

따라서, 본 연구의 결과를 통해, 대맛조개 대량생산을 위한 기초기술 기반 마련과 나아가, 고부가가치 이매패류 산업품종 육성 및 자원회복 연구의 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 보인다. 또한, 빠른 성장률을 보인 결과를 토대로 신규 양식품

종 개발 및 어업인의 신규 소득 창출원으로 활용할 수 있도록 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 요 약

대맛조개 수정란 발생 및 유생의 성장연구를 위해 2021년 8월부터 2022년 7월까지 충청남도 태안군안면도 해역에서 자연산 포패를 채집하여 월별 성장도 및 성숙도 모니터링을 실시하였다.

2022년 5월 17일부터 19일까지 성숙포패 250 마리를 채집하여 3차례 산란자극을 실시하였고, 20분간 간출자극 및 17°C에서 22°C로 수온상승 시킨 10 톤 수조에 입식시켜 수정란 1,400만 립을 생산하였다.

수정란 발생과정은 수정 후 30분 이내 분열을 시작하였으며, 12시간 이내에 편모가 형성되었고, 제자리 회전 및 유영을 시작하는 포배기와 담륜자기에 도달하였으며, 23시간 이후 패각이 형성되는 D상 유생에 도달하였다. 이때 관리환경은 수온 22°C, 염분 32.2-34.1 psu, DO 6.4-8.3 mg/L, pH 7.7-8.4였으며, 수조위에 차광막을 설치하여 암조건을 유지하였다.

먹이는 내장이 형성되는 초기 D상 유생 시기에 *Isochrysis galbana*를 급이 하였고, 각정기 및 침착기 이후 *Chaetoceros muelleri*, *Tetraselmis suecica* 및 복합농축 미세조류를 복합 급이 하였다.

유생의 발달 단계는 수정 후 2일 뒤 면반이 생성된 D상 유생 (평균 각장 140-150  $\mu\text{m}$ ), 수정 후 6일 뒤에는 각정기 (평균 각장 160 - 250  $\mu\text{m}$ ), 수정 후 10일 뒤에는 족사가 출현하면서 침착하기 시작하였고 (평균 각장 250-280  $\mu\text{m}$ ), 수정 후 25일 뒤에는 출수관이 출현하였으며 (평균 각장 280-1,000  $\mu\text{m}$ ), 수정 후 35일 뒤에는 1 mm 이상으로 입출수관이 모두 발달하였다 (약 80만 마리). 이때 치패의 형태를 갖추는 족사가 길게 발달하였고, 발을 활용한 유영성을 활발히 보였다.

## 사 사

이 연구는 전라남도 해양수산과학원 동부지부 미래수산연구소 주관의 시험·연구사업으로 전라남도 자체 연구비로 수행되었다.

## REFERENCES

- Blake, N.J., Sastry, A.N. (1979) Neurosecretory regulation of oogenesis in the bay scallop, *Argopecten irradians irradians* (Lamarck). *In*: Naylor, E., Hartnoll, R. G. (eds.) Cyclic phenomena in marine plants and animals. Pergamon Press, New York, p. 181-190

- Chung, E.Y. and Park, G.M. (1998) Ultrastructural Study of Spermatogenesis and Reproductive Cycle of Male Razor Clam, *Solen grandis* on the West coast of Korea, *Dev. Reprod.*, **2**(1): 101-109.
- Chung, E.Y. and Ryou, D.K. (2000) Gametogenesis and sexual maturation of the surf clam, *Macra veneriformis* on the west coast of Korea. *Korean Journal of Malacologia*, **42**: 149-163.
- Chung, E.Y., Kim, S.Y., Park, K.H., Park, G.M., (2002) Sexual maturation, spawning and deposition of the egg capsules of the female purple shell, *Rapana venosa* (Gastropoda: Muricidae). *Korean Journal of Malacologia*, **44**: 241-257.
- Chung, E.Y., Kim, J.B., Moon, J.H., and Hur, S.B. (2003) Changes on biochemical composition of the adductor muscle and visceral mass tissues of the Manila clam, *Ruditapes philippinarum*, in relation to gonad developmental phases. *Korean Journal of Malacology*, **17**(1): 41-51.
- Chung, E.Y., Koo, J.G., Park, K.Y., and Lee, C.H. (2005) Seasonal changes in biochemical components of the adductor muscle, digestive diverticula and the ovary in *Chlamys farreri* in relation to the ovarian developmental phases. *Korean Journal of Malacology*, **21**: 71-80.
- Chung, E.Y., Kim, H.J., Kim, J.B., and Lee, C.H., (2006) Changes in Biochemical Components of Several Tissues in *Solen grandis*, in Relation to Gonad Developmental Phases. *Korean Journal of Malacology*, **22**(1): 27-38.
- Hong Chai Zhu 1, He Ding Shen, Pei Zheng, Yu Zhang. (2012) Complete mitochondrial genome of the jackknife clam *Solen grandis* (Veneroidea, Solenidae). *Mitochondrial DNA*, **23**(2): 115-117.
- KIMST (Korea Institute of Marine Science & Technology Promtion). (2019) Technical development for industrialization of artificial seed production in Surf clam, *Tresus keenae*. Oceans and Fisheries R&D Report R&D 20160018, p.57.
- Kwon, O.K., Park, G.M. and Lee, J.S. (1993) Coloured Shells of Korea. Academy Publication Co. Seoul, 285 pp.
- Lee, C.S., Rho, S., and Park, Y.J. (1997) Studies on the artificial seedling production of geoduck clam, *Panope japonica*. I. Spawning induction and hatching. *Journal of Aquaculture*, **10**: 113-121.
- Lee, D.G., Park, J.K., Ki, S.U., Choi, B.H., Kim, K.S., Im, C.Y., Go, G.D., Lee, J.S., Lee, K.S., and Lee, K.W. (2021) Larvae growth and development in fertilized eggs of the soft shell clam, *Mya arenaria*. *Korean Journal of Malacology*, **37**(4): 181-186.
- Simpson, R.D. (1982) Reproduction and lipids in the sub-Antarctic limpet *Nacella patiniger* (Patinigera) macquariensis in Finlay, 1927. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **56**: 33-48.
- Yoo, J.S. (1976) Korean shells in Colour. Ilgisa Seoul. 196 pp.
- WU Yangping, CHEN Aihua, YAO Guoxing, ZHANG Zhiwei, WU Jianping. (2011) The filtration rate of juvenile *Solen grandis* Dunker. *Marine science*, **35**(1): 43-52.
- WU Yang, CHEN Ai-Hua, YAO Guo-Xing, ZHANG Zhi-Wei, ZHANG Cao-Jin, ZHANG Yu. (2012) Basic Characteristics of Embryogenesis and Juvenile Development of *Solen grandis*. *Chinese Journal of Zoology*, **47**(4): 74-81.
- Xiao GQ, Chai XL, Shao YQ, Zhang JM, Dong YH, Lu RM, Lin ZH. (2009) The reproductive biology of *Solen grandis* Dunker. *Mar. Sci.*, **33**(10): 21-25.
- Xuemei Qiu, Xiangying Meng, Ying Yu, Haiying Liu, Xiuli Wang. (2010) Genetic Diversity and Relationships of Three Razor Clam Species (*Sinonovacula constricta*, *Solen strictus* and *Solen grandis*) Revealed by RAPD and ISSR Markers. Bioinformatics and Biomedical Engineering (iCBBE), 2010 4th International Conference on 2010 June, pp.1 - 4
- 小野 剛, (1972). ハマグリ的人工種苗生産に就て. 養殖 **1**: 114-118.

