

개량조개, *Mactra chinensis*의 난발생에 미치는 수온, 염분 및 수용밀도의 영향

민병희, 김태진

부산광역시 수산자원연구소

Effect of Temperature, Salinity and Density on the Egg Development of the Sunray Surf Clam, *Mactra chinensis*

Byeong-Hee Min and Tae Jin Kim

Busan Marine Fisheries Resources Research Institute, Busan 618-814, Korea

ABSTRACT

Water temperature, salinity and density on egg development of the sunray surf clam, *Mactra chinensis* were investigated for artificial seedling production. The required time from fertilization to D-shaped larvae were 33.8 hours in 18°C, 20.6 hours in 23°C, 18.2 hours in 28°C and 15.0 hours in 33°C. The development duration was reduced with increasing temperature. The relationships between temperature and the required time from egg to each developmental stage were described as follows: 2-cell, 1/h = 0.1051WT - 1.4782; 8-cell, 1/h = 0.037WT - 0.3686; gastrula, 1/h = 0.008WT - 0.0521; trochophore, 1/h = 0.0041WT - 0.0235; D-shaped larva, 1/h = 0.0024WT - 0.0102. Biological minimum temperature for the egg development was estimated to be 8.0°C in average. The possible range of temperature for the development of D-shaped larvae was 18-28°C and optimum of water temperature for the development of egg was 23°C. The possible range of salinity for the development of D-shaped larvae was 20-35 psu and optimum of salinity for the development of egg was 30-35 psu over 25 psu at least. The density of fertilized egg was below 40 per 1 ml in rearing seawater for elevating the development rate from fertilized egg to D-shaped larva.

Key words: *Mactra chinensis*, Egg development, Temperature, Salinity, Density, Require time, Development rate

서 론

개량조개 (*Mactra chinensis*) 는 개량조개과 (Mactridae) 에 속하는 종으로 한국, 대만, 일본 등지에 널리 분포하며, 조간대에서 수심 10 m 내외의 모래나 펄에 서식한다. 우리나라에서는 주로 서해와 남해안의 모래 해안 조간대에서부터 수심 10 m 전후의 조하대에 분포하고 있지만, 부산경남을 포함하는 동해 남부 모래 해안에서도 서식하는 산업적으로 매우 중요한 조개류이다 (Ryu and Kim, 2001).

개량조개에 대한 연구는 주로 중국과 한국, 일본을 중심으로 연구가 진행되었으며, 일본에서는 개량조개의 형태변이와 성

장률 (Hanaoka and Shimadzu, 1949), 연령과 성장 (Sakurai, 1993), 개체군 동태와 계군의 크기 (Sakurai *et al.*, 1998) 등에 대한 연구를 한 바 있다. 중국에서는 하구역의 환경과 산란 및 인공부화 (Wang *et al.*, 1984) 등에 관하여 보고하였고, 우리나라에서는 수질환경에 따른 초기 발생에 미치는 영향 (Lee and Son, 1978), 산란과 성장 (Kim *et al.*, 1985), 성 성숙 (Chung *et al.*, 1987), 생식세포와 생식 주기 (Chung, 1997), 연령과 성장 (Ryu and Kim, 2001), 자원생태학적 연구 (Park and Zhang, 2008) 등에 대하여 보고된 바 있다. 최근까지 주로 자원생태학적 연구와 생식에 관한 연구를 수행해 왔으며 종묘생산은 일부 이루어지고 있으나, 대량 종묘생산을 위한 채란방법, 난발생, 생존율 향상을 위한 유생과 치패의 사육조건, 침착기 유생의 적절한 채묘방법 등 종묘생산에 관한 체계적인 연구는 거의 이루어지지 않은 실정이다. 따라서 본 연구는 개량조개 종묘의 대량생산을 위한 기초 자료를 얻기 위하여 수온, 염분 및 수용밀도에 따른 난발생의 최적 조건을 구명하고자 하였다.

Received August 27, 2010; Revised October 2, 2010; Accepted November 27, 2010

Corresponding author: Min, Byeong-Hee

Tel: +82 (51) 209-0925 e-mail: bhmin714@korea.kr

1225-3480/24367

재료 및 방법

채란에 사용한 개량조개 모패는 2009년 5-7월에 걸쳐 부산광역시 강서구 명지동 해역에서 채집된 평균 각장 70.19 ± 4.13 mm의 개체였으며, 이를 사용하여 5회 채란하였다.

어미의 자연산란을 방지하기 위하여 채집 즉시 수온 18-20℃로 조절된 유수식 실내수조에 수용하고, 먹이생물로는 한국해양미세조류은행 (KMMCC) 에서 분양 받아 conwy 배지로 500 ml 삼각플라스크에서 500 l 원형 수조까지 배양한 *Isochrysis galabana* (KMMCC H-2), *Phaeodactylum tricornerutum* (KMMCC B-128), *Tetraselmis tetrathele* (KMMCC P-2), *Chlorella ellipsoidea* (KMMCC C-20) 를 사육수 1 ml 당 10-30 × 10⁴ 세포가 유지되도록 연속 공급하면서 안정시켰다. 채란을 위한 자극은 공기노출과 수온 상승자극을 병행한 방법을 사용하였다. 공기 노출자극은 기온 20℃ 전후의 그늘지고 바람이 잘 통하는 실내에서 1시간 동안 공기에 노출시켰고, 수온 상승자극은 사육수보다 5℃ 높은 가온해수를 넣은 수조에 성숙된 어미를 수용하는 방법으로 실시하였다. 수정란은 20 μm 거름망으로 수집하여 여과해수로 3-4회에 걸쳐 세란하였다.

수온에 따른 수정란의 발생속도와 발생률을 파악하기 위하여 수정란을 18℃, 23℃, 28℃, 33℃의 수온으로 조절된 1 l 비이커에 1 ml 당 20개의 밀도로 수용하여 각 발생단계에 이르기까지의 소요시간과 D형 유생까지 발생된 개체수를 조사하였다. 각 발생단계까지 소요시간은 5 분 간격으로 광학현미경에서 Moticam 2500 / Motic Images Plus 2.0 KSE로 확인하여 조사하였으며, 발생단계별 소요시간은 수정란의 50%가 각 발생단계에 이르는 시간으로 하였다.

염분에 따른 수정란의 발생률은 염분은 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 psu로 각각 달리하였고, 염분은 해수, 증류수 및 천일염을 사용하여 조절하였으며, 수온은 23℃로 고정하였다. 그리고 수용밀도에 따른 발생률을 조사하기 위하여 1 l 비이커에 사육수 1 ml 당 10, 20, 40, 80, 160개씩 수정란을 수용하였고, 수온과 염분은 각각 23℃, 30 psu로 조절하였다. 그 밖의 실험조건은 수온별 실험에서와 동일하게 하였다.

모든 실험은 3회 반복하였고, 결과는 one-way ANOVA test를 실시한 후 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955) 를 실시하여 평균 간의 유의성 (P < 0.05) 을 SPSS program (Ver. 10.1) 으로 검정하였다.

결 과

1. 수정란의 발생과정

개량조개 수정란의 발생단계별 형태적 특징은 Fig. 1과 같다. 개량조개의 알은 분리 침성란으로, 수정 직후 알에서는 난

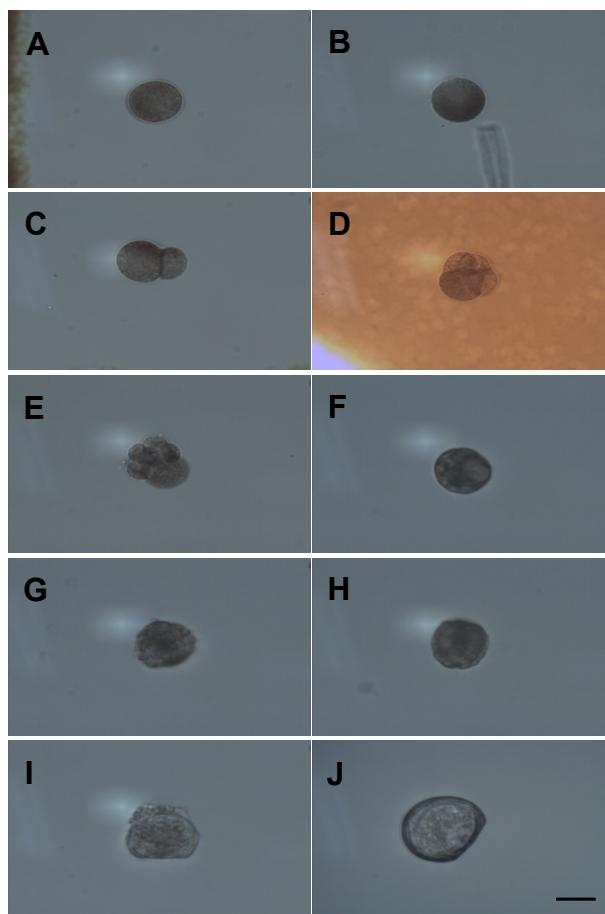


Fig. 1. Early developmental stages of *Mactra chinensis*. A: egg just after fertilization, B: polar body stage, C: 2-cell stage, D: 4-cell stage, E: 8-cell stage, F: 16-cell stage, G: gastrula, H: trochophore stage, I: veliger stage, J: D-shaped larval stage (scale bar = 50 μm).

핵포가 소실되고 수정막이 형성되었으며 (Fig. 1A), 수정 후 동물극에 투명한 제1극체와 제2극체가 방출되었다 (Fig. 1B). 이후 난할이 시작되어 2세포, 4세포, 8세포 및 16세포기를 거쳐 (Fig. 1C-F), 시계반대 방향으로 섬모 회전운동을 시작하는 낭배기로 발달하였다 (Fig. 1G). 부유생활을 하는 낭배기, 소화관이 형성되는 담륜자기 (Fig. 1H), 면반 (velum) 이 발달하고 폐각이 형성되는 veliger기 (Fig. 1I) 를 거쳐 D형 유생으로 발달하였다 (Fig. 1J). D형 유생의 크기는 각장 80.5 ± 5.3 μm였다.

2. 수온에 따른 수정란의 발생

수정 후 각 발생단계까지의 수온별 소요시간은 Table 1과 같다. 수온 23℃에서는 수정 후 30분 후에 극체가 방출되었으며, 이후 난할이 시작되어 부등할에 의해 2세포, 4세포, 8세포 및 16세포까지 각각 1시간 10분, 1시간 30분, 1시간 50분 및

Table 1. Mean Required time from fertilization to each developmental stage with four different water temperature regimes in *Mactra chinensis*

Developmental stage	Elapsed time after fertilization (hour : minute)			
	18℃	23℃	28℃	33℃
Fertilized egg	0:00	0:00	0:00	0:00
2-cell	2:10	1:10	0:40	0:30
4-cell	2:40	1:30	1:10	0:50
8-cell	3:45	1:50	1:35	1:10
16-cell	5:15	2:30	2:05	1:40
Morula	9:05	4:50	4:30	3:15
Gastrula	12:50	6:30	6:05	4:50
Trochophore	23:35	12:20	10:30	9:25
D-shaped larva	33:50	20:40	18:15	15:00

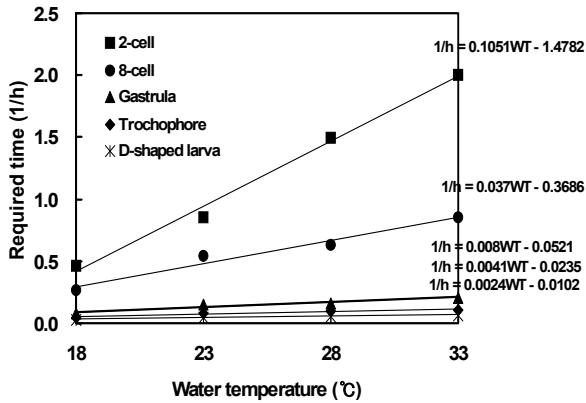


Fig. 2. Relationships between water temperature (WT) and required time (1/h) from fertilization to each developmental stage after fertilization in *Mactra chinensis*.

2시간 30분이 소요되었다. 그리고 낭배기까지는 6시간 30분, 섬모로 운동하는 담륜자는 12시간 20분, 패각과 면반이 형성되는 D형 유생까지는 20시간 40분이 소요되었다. 18℃, 28℃ 및 33℃에서는 D형 유생까지 각각 33시간 30분, 18시간 15분 및 15시간이 소요되어 수온에 따른 발생단계별 소요시간은 수온이 높을수록 짧았다.

수온과 각 발생단계까지 소요시간을 그림으로 나타내었을 때 수온별 발생속도는 직선적 함수 관계를 나타내었다 (Fig. 2). X축은 수온, Y축은 시간의 역수로 나타낼 때 수온 (WT: ℃) 과 발생단계별 소요시간 (h) 의 관계식은

2세포기 : $1/h = 0.1051WT - 1.4782$ ($r^2 = 0.9926$)

8세포기 : $1/h = 0.037WT - 0.3686$ ($r^2 = 0.9648$)

낭 배 기 : $1/h = 0.008WT - 0.0521$ ($r^2 = 0.9134$)

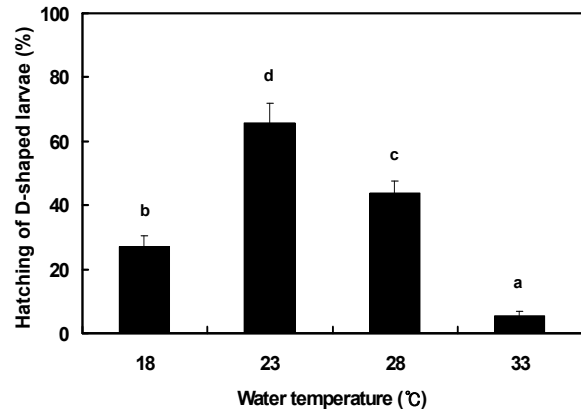


Fig. 3. Hatching of D-shaped larvae (%) of *Mactra chinensis* eggs in different water temperatures. Values (three replication) in the same row not sharing a common superscript are significantly different ($P < 0.05$).

담 륜 자 : $1/h = 0.0041WT - 0.0235$ ($r^2 = 0.9072$)

D형유생 : $1/h = 0.0024WT - 0.0102$ ($r^2 = 0.9611$)

로 표시되었다. 이들 관계식을 기초로 Y축의 값이 0일 때 회귀직선의 X축에 접하는 수온, 즉 개량조개의 초기 발생에 있어 난발생이 정지하는 생물학적 영도는 평균 8.0℃로 나타났 다.

수정 후 D형 유생까지 수온별 발생률은 23℃에서 65.8%로 28℃의 43.7% 보다 유의하게 높았고 ($P < 0.05$), 33℃에서 5.4%로 18℃의 27.1% 보다 유의하게 낮았다 ($P < 0.05$, Fig. 3).

3. 염분에 따른 수정란의 발생

수정란에서 D형 유생까지의 염분에 따른 발생률은 염분 20 psu에서 35 psu까지 염분이 높을수록 증가하였으나, 0, 5,

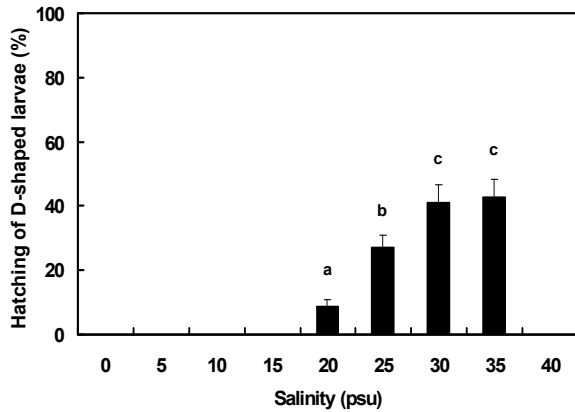


Fig. 4. Hatching of D-shaped larvae (%) of *Mactra chinensis* eggs in different salinities. Values (three replication) in the same row not sharing a common superscript are significantly different ($P < 0.05$).

10, 15 및 40 psu에서는 D형 유생으로 발생되지 않았다. 35 psu에서 발생률은 42.7%로 25 psu의 27.1% 보다 유의하게 높았고 ($P < 0.05$), 30 psu의 41.3%와는 유의한 차이가 없었으며, 20 psu에서 8.7%로 가장 낮게 나타났다 ($P < 0.05$, Fig. 4).

4. 수용밀도에 따른 수정란의 발생

수정란의 수용밀도에 따른 D형 유생의 발생률은 사육수 1 ml 당 10개를 수용한 실험구에서 60.3%로 가장 높았고 ($P < 0.05$), 20개와 40개를 수용한 실험구는 각각 53.8%와 51.1%로 10개를 수용한 실험구와 유의한 차이가 없었다. 또한 160개를 수용한 실험구의 발생률은 17.0%로 80개를 수용한 실험구의 23.5% 보다 유의하게 낮았다 ($P < 0.05$, Fig. 5).

고 찰

이매패류의 인공종묘생산에 있어 부유유생기의 성장에 미치는 중요한 요인은 수온, 염분, 조도, 유생의 밀도 및 먹이생물 등이 있으나 그 중에서도 수온이 성장을 지배하는 가장 중요한 요인이며, 수온에 따라 먹이생물의 섭취량이 달라지고 유생의 성장에도 큰 영향을 미친다 (Loosanoff, 1950; Walne, 1974). Ventilla (1982) 는 이매패류의 발생에서 수온이 초기 난할기의 세포분열과 유생의 발생 및 사육에 큰 영향을 미치며, 대사율과 성장률에는 직접적으로 그리고 영양환경 측면에서 간접적으로 영향을 미치는 요인이라고 보고하였다.

개량조개 수정란의 발생 수온에 대한 연구는 이루어지지 않아 비부착성 이매패류인 백합과 북방대합 등의 연구와 비교 분석하였다. Sagara (1958) 는 백합 수정란의 발생 수온이 19-31°C이며, D형 유생의 생존율 등을 고려한 최적수온은

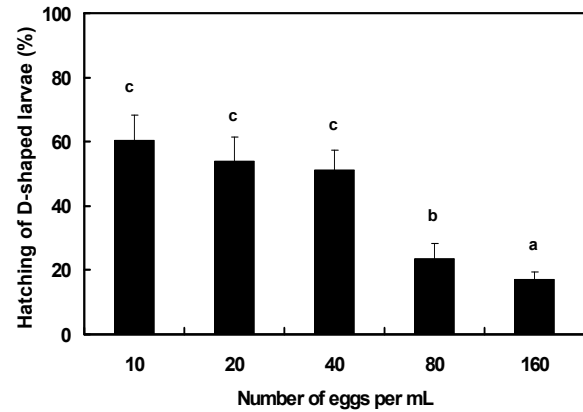


Fig. 5. Hatching of D-shaped larvae (%) of *Mactra chinensis* eggs in different number of eggs per ml. Values (three replication) in the same row not sharing a common superscript are significantly different ($P < 0.05$).

21-27°C이고, 16°C에서는 정상적으로 발생되지 않는다고 보고하였다. Kim (2006) 은 20, 25, 30, 33°C에서 정상적인 D형 유생으로 발생한 수온은 20-30°C였고, 33°C에서는 닭뿔자까지 발생이 이루어졌으나 D형 유생까지는 발생되지 않았다고 보고하였다. 북방대합의 발생 가능 수온에 대하여 Imai (1953) 는 12-22°C라 하였으며, Kinoshita (1989) 는 23-24°C를 발생 가능 상한수온으로 보고하였고, Lee *et al.* (1996, 2002) 은 10-20°C에서 정상적인 난발생이 가능하였으나 최적 발생수온은 15-20°C라고 보고한 바 있다. 본 연구에서 개량조개는 18-33°C에서 정상적인 난발생이 가능하였으나 33°C에서 D형 유생 발생률이 5.4%로 매우 낮은 것을 고려할 때 최적 발생수온은 23°C 내외로 판단된다. 이러한 결과는 개량조개가 북방대합에 비하여 고수온에서 발생이 이루어지는 종이며, 백합의 발생 수온과 비슷한 것으로 판단된다.

또한 Lee *et al.* (1996, 2002) 은 북방대합 수정란의 부화시간이 15°C에서 45시간, 20°C에서 29시간이 소요되었으며, Choi (1971, 1975) 는 백합 수정란의 부화시간이 25.2-29.3°C에서 24시간 내에 D형 유생으로 되었다고 보고하였다. 본 연구에서 개량조개 수정란의 부화시간은 18°C에서 33시간 30분, 23°C에서 20시간 40분, 28°C에서 18시간 15분, 33°C에서 15시간이 소요되어 수온이 높을수록 난발생이 빨라지는 것으로 나타났다. 이는 수온 상승에 따라 생화학 반응 및 생물학적 대사 속도가 빨라진다고 하는 Q₁₀의 법칙에 부합된다고 할 수 있다.

생물의 생물학적 활동이 정지하는 온도는 생물마다 다르며 이 온도 이하에서는 발생하기 힘들다. 생물학적 영도를 이용하여 발생단계별 적산수온을 계산하며, 적산수온은 발생이 진행

됨에 따라 지수함수적으로 증가하고 이 적산수온을 이용하면 발생과정에 있어 온도의 변화에 따른 발생 소요시간을 예측할 수 있다. 지금까지 연구된 이매패류의 생물학적 영도는 바윗굴 10.96℃ (Yoo and Kang, 1996), 참굴 5.7℃, 북방대합 5.5℃ (Lee *et al.*, 2002), 코끼리조개 3.82℃ (Lee and Rho, 1997), 백합 12.4℃ (Kim, 2006) 였으며, 본 연구의 개량조개의 생물학적 영도는 8.0℃로 북방대합과 참굴보다 높고, 바위굴과 백합보다 낮은 수온에서 발생이 이루어지기 시작하는 종으로 판단된다.

염분에 따른 난발생에서 Sagara (1958) 는 백합의 수정란이 염분 41.5 psu 이상과 10.2 psu 이하에서는 발생되지 않고, 발생 가능한 염분은 19.3-36.3 psu로 보고하였고, Kim (2006) 은 D형 유생으로 발생 가능한 염분이 20.0-37.5 psu로 보고하였다. 북방대합은 25 psu 이상에서 50% 이상의 부화율을 보였으나 22 psu에서는 30.0%의 낮은 생존율을 보인다고 보고한 바 있으며, 본 연구에서 개량조개의 발생 가능한 염분은 20-35 psu로 나타났고, 20 psu에서 8.7%로 매우 낮아 백합보다 25 psu 이하의 저염분에 약하며, 25 psu 이상이 적정 염분인 북방대합과 비슷한 결과를 보여 최소 25 psu 이상이며 적정 염분은 30-35 psu로 판단된다.

Kim (2006) 은 수정란의 수용밀도에 따른 D형 유생의 발생률이 1 ml 당 20개와 40개를 수용한 실험구에서 50.2%와 52.5%로 높았고, 80개 이상 수용 시 23.0% 내외로 낮았다고 보고한 바 있다. 본 연구에서 개량조개의 D형 유생 발생률은 백합과 비슷한 결과를 보였으며, 수정란으로부터 D형 유생까지의 발생률을 높일 수 있는 수정란의 수용밀도는 사육수 1 ml 당 40개 이하로 나타났다.

요 약

개량조개의 종묘생산을 위한 생물학적 기초자료를 얻고자 난발생에 영향을 미치는 수온, 염분 및 수용밀도에 관하여 실험한 결과, 수온에 따른 난발생의 각 단계에 이르기까지의 수온 (TW, °C) 에 따른 발생속도 (h, 시간) 는 18℃, 23℃, 28℃ 및 33℃에서 D형 유생까지 각각 33시간 30분, 20시간 40분, 18시간 15분 및 15시간이 소요되어 수온이 높을수록 빨랐으며, 그 관계식은 다음과 같다.

$$2\text{세포기} : 1/h = 0.1051WT - 1.4782 \quad (r^2 = 0.9926)$$

$$8\text{세포기} : 1/h = 0.037WT - 0.3686 \quad (r^2 = 0.9648)$$

$$\text{낭 배 기} : 1/h = 0.008WT - 0.0521 \quad (r^2 = 0.9134)$$

$$\text{담 룰 자} : 1/h = 0.0041WT - 0.0235 \quad (r^2 = 0.9072)$$

$$\text{D형유생} : 1/h = 0.0024WT - 0.0102 \quad (r^2 = 0.9611)$$

개량조개의 수온과 난발생 속도와의 관계에서 추정된 난발생의 생물학적 영도는 평균 8.0℃였으며, 개량조개 수정란은 D형 유생까지의 발생률을 고려할 때 발생 가능한 수온은

18-28℃, 적정 수온은 23℃였다. 개량조개의 수정란이 D형 유생으로 발생 가능한 염분은 20-35 psu로 나타났고, 염분에 따른 수정란의 D형 유생까지 발생률을 고려할 때 최소 25 psu 이상이며 적정 염분은 30-35 psu였다. 수정란으로부터 D형 유생까지의 발생률을 높일 수 있는 수정란의 수용밀도는 사육수 1 ml 당 40개 이하로 나타났다.

REFERENCES

- Choi, K.C. (1971) Ecological studies of the clam, *Meretrix lusoria* and *Cyclina sinensis* for the increasing seed clam yield. *Korean J. Limnol.*, **4**: 9-19. [in Korean]
- Choi, S.S. (1975) Comparative studies on the early embryonic development and growth of *Meretrix lusoria* and *Cyclina sinensis*. *Bull. Korean Fish. Soc.*, **8**: 185-195. [in Korean]
- Chung, E.Y. (1997) Ultrastructure study of germ cell development and reproductive cycle of the hen clam, *Macra chinensis* on the west coast of Korea. *Dev. Reprod.*, **1**: 141-156.
- Chung, E.Y., Kim, Y.K. and Lee, T.Y. (1987) A study on sexual maturation of hen clam, *Macra chinensis* Philippi. *Bull. Korean Fish. Soc.*, **20**: 501-508.
- Duncan, D.B. (1955) Multiple-range and multiple F tests. *Biometrics*, **11**: 1-42.
- Hanaoka, T. and Shimadzu, T. (1949) Studies on the morphometry and rate of growth in clam, *Macra sulcataria* Reeve, in Tokyo Bay. *Bull. Japan Fish. Soc.*, **15**: 313-317.
- Imai, T. (1953) Mass production of molluscs by means of rearing the larvae in tanks. *Venus*, **25**: 157-167. [in Japanese]
- Kim, B.K., Ko, T.S., Song, H.I., Lee, S.D. and Kim, S.Y. (1985) Studies on the spawning and growth of hen *Macra sulcataria* (Reeve). *Bull. Fish. Res. Dev.*, **34**: 157-164. [in Korean]
- Kim, T.Y. (2006) Studies on the artificial seedling production of the hard clam *Meretrix lusoria* (Röding). Ph.D. thesis, Pukyong National University, 114pp. [in Korean]
- Kinoshita, H. (1989) Thermal tolerance of eggs and larvae of Japanese surf clam *Pseudocardium sachalinensis* (Schrenck). *Japan Aquacult. Soc.*, **37**: 9-14. [in Japanese]
- Lee, C.S. and Rho, S. (1997) Studies on artificial seedling production of geoduck clam, *Panope japonica*. II. Development of egg and larvae. *J. Aquacult.*, **10**: 25-32. [in Korean]
- Lee, J.Y., Chang, Y.J. and Park, Y.J. (1996) Spawning induction and egg development of surf clam, *Spisula sachalinensis*. *J. Aquacult.*, **9**: 419-427. [in Korean]
- Lee, J.Y., Chang, Y.J., Kim, Y.S., Choi, Y.H. and Chang, Y.J. (2002) Influence of water temperature on egg development of surf clam, *Spisula sachalinensis*. *J. Aquacult.*, **15**: 39-42. [in Korean]

Effect of Temperature, Salinity and Density on the Egg Development of *Mactra chinensis*

- Lee, T.Y. and Son, Y.W. (1978) Bioassay study of early development of *Mactra chinensis* Philippi for the water quality evaluation of the coastal waters of Pusan. *Bull. Korean Fish. Soc.*, **11**: 115-121. [in Korean]
- Loosanoff, V.L. (1950) Rate of water pumping and shell movements of oyster in relation to temperature (Abstract). *Anat. Rec.*, **108**: 620pp.
- Park, H.W. and Zhang, C.I. (2008) A population ecological study of the hen clam (*Mactra chinensis*) in the Dong-li self-regulatory community of Busan. *J. Kor. Soc. Fish. Tech.*, **44**: 129-140. [in Korean]
- Ryu, D.K. and Kim, Y.H. (2001) Management of the hen clam, *Mactra chinensis* Philippi, on the coast of Kunsan. I. Age and growth. *Korean J. Malacol.*, **17**: 13-18. [in Korean]
- Sagara, J. (1958) On the optimum temperature and salinity for the development of hard clam, *Meretrix meretrix lusoria*. *Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab.*, **22**: 27-32. [in Japanese]
- Sakurai, I. (1993) Age and growth of the sunary surf clam *Mactra chinensis* in Tomakomai, southwest Hokkaido. *Bull. J. Soc. Sci. Fish.*, **59**: 469-472. [in Japanese]
- Sakurai, I., Horii, T., Murakami, O. and Nakao, S. (1998) Population dynamics and stock size prediction for the sunray surf clam, *Mactra chinensis*, at southwest Hokkaido, Japan. *Fish. Bull. NOAA*, **6**: 344-351.
- Ventilla, R.F. (1982) Scallop culture in Japan. *Adv. Mar. Biol.*, **20**: 309-382.
- Walne, P.R. (1974) Shellfish culture. *In*: Sea fisheries research (ed. by Jones, F.R.H.). pp. 379-398. Elek, London.
- Wang, Z.C., Lui, J.M., Zhu, A., Li, W.J. and Shen, Y.C. (1984) A preliminary survey on the biology of *Mactra chinensis* in the outfall of Yalu Jiang River. *J. Fish. China*, **8**: 33-44. [in Chinese]
- Yoo, S.K. and Kang, K.H. (1996) Spawning induction according to stimulating treatment and influence of water temperature on egg development and larvae rearing of oyster, *Crassostrea nippona*. *Korean J. Malacol.*, **12**: 91-97. [in Korean]