

이학박사 학위논문

백합 *Meretrix lusoria* (Röding)의
인공종묘생산에 관한 연구

2006년 2월

부경대학교 대학원

수산해양학·연협동과정

김 태 익

이학박사 학위논문

**백합 *Meretrix lusoria* (Röding)의
인공종묘생산에 관한 연구**

지도교수 장 영 진

이 논문을 이학박사 학위논문으로 제출함

2006년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

수산해양학·연협동과정

김 태 익

김태익의 이학박사 학위논문을 인준함

2005년 12월

주 심 이 학 박 사 허 성 범 (인)

위 원 수산학박사 이 주 희 (인)

위 원 수산학박사 박 미 선 (인)

위 원 수산학박사 이 정 용 (인)

위 원 농 학 박 사 장 영 진 (인)

목 차

Abstract	v
List of Tables	ix
List of Figures	xi
제 1 장 서 론	1
제 2 장 생식주기	5
제 1 절 서 설	5
제 2 절 재료 및 방법	7
1. 서식환경	7
2. 비만도	7
3. 생식소의 구조	7
4. 생식소의 조직학적 변화	9
5. 난경의 빈도분포	9
6. 생물학적 최소형과 성비	12
7. 생식주기	12
8. 통계처리	12
제 3 절 결 과	13
1. 서식환경	13
2. 비만도	13
3. 생식소의 구조	13
4. 생식소의 조직학적 변화	16
5. 난경의 빈도분포	17
6. 생물학적 최소형과 성비	21

7. 생식주기	23
제 4절 고 찰	25
제 3장 채란과 발생	28
제 1절 서 설	28
· 제 2절 재료 및 방법	30
1. 채란과 발생	30
2. 수정란의 발생과정	31
3. 채란·채정 후 경과시간에 따른 수정과 수정란의 발생	31
4. 수온에 따른 수정란의 발생	32
5. 염분에 따른 수정란의 발생	32
6. 수용밀도에 따른 수정란의 발생	32
7. 통계처리	33
제 3절 결 과	34
1. 채란과 발생	34
2. 수정란의 발생과정	34
3. 채란·채정 후 경과시간에 따른 수정과 수정란의 발생	35
4. 수온에 따른 수정란의 발생	35
5. 염분에 따른 수정란의 발생	41
6. 수용밀도에 따른 수정란의 발생	41
제 4절 고 찰	45
제 4장 유생의 성장과 생존	49
제 1절 서 설	49
제 2절 재료 및 방법	51
1. 유생의 성장과 생존	51
2. 수온에 따른 유생의 성장과 생존	51

3. 염분에 따른 유생의 성장과 생존	52
4. 수용밀도에 따른 유생의 성장과 생존	52
5. 먹이생물 종류에 따른 유생의 성장과 생존	52
6. 먹이생물 공급량에 따른 유생의 성장과 생존	53
7. 절식 기간에 따른 유생의 성장과 생존	53
8. 통계처리	54
제 3절 결 과	55
1. 유생의 성장과 생존	55
2. 수온에 따른 유생의 성장과 생존	55
3. 염분에 따른 유생의 성장과 생존	60
4. 수용밀도에 따른 유생의 성장과 생존	61
5. 먹이생물 종류에 따른 유생의 성장과 생존	63
6. 먹이생물 공급량에 따른 유생의 성장과 생존	64
7. 절식 기간에 따른 유생의 성장과 생존	66
제 4절 고 찰	69
제 5장 치패의 성장과 생존	75
제 1절 서 설	75
제 2절 재료 및 방법	76
1. 치패의 사육방법에 따른 성장과 생존	76
2. 수온과 염분에 따른 치패의 성장과 생존	76
3. 먹이생물 종류에 따른 치패의 성장과 생존	77
4. 통계처리	77
제 3절 결 과	78
1. 치패의 사육방법에 따른 성장과 생존	78
2. 수온과 염분에 따른 치패의 성장과 생존	78
3. 먹이생물 종류에 따른 치패의 성장과 생존	79

제 4 절 고 찰	81
제 6 장 대 량 인공종묘생산	83
제 1 절 서 설	83
제 2 절 재 료 및 방 법	84
1. 채란과 발생	84
2. 대량 유생사육	84
3. 채묘와 치폐사육	85
4. 통계처리	85
제 3 절 결 과	86
1. 채란과 발생	86
2. 대량 유생사육	86
3. 채묘와 치폐사육	87
제 4 절 고 찰	90
제 7 장 종 합 고 찰	92
제 8 장 요 약	95
감사의 글	98
참 고 문 헌	99

Studies on the Artificial Seedling Production of the Hard Clam *Meretrix lusoria* (Röding)

Tae-Ik KIM

*UR Interdisciplinary Program of Fisheries and Oceanography
Graduate School
Pukyong National University*

Abstract

In order to obtain the basic information for seedling production of hard clam *Meretrix lusoria*, experiments were made on reproductive cycle, spawning, egg development, larva culture, spat culture and mass culture from January 2000 to December 2003.

1. Reproductive cycle

The monthly average water temperature and salinity of mature habitat was 3.0 (February)~26.6°C (August) and 29.9~32.8, respectively. The gonad of *M. lusoria* was located between the digestive diverticula and the foot muscle tissues. The ovary and the testis were composed of a number of ovarian sacs and several testicular tubules, respectively. Monthly change in the condition factor showed 0.1014 (March)~0.1520 (June) and the change in the rate of flesh weight was similar to condition factor changes. The size of mature oocyte at the spawning stage was ranged between 42.8~45.2 μm in diameter during June~August. Minimum size for sexual maturation of *M. lusoria* female was estimated to be approximately 41.2 mm in shell length. Sex of *M. lusoria* was dioecious and sex ratio was female 1 : male 0.97, indicating no

statistically significant difference ($P>0.05$). The reproductive cycle could be classified into five successive stages: degenerative and resting (September to November), multiplicative (December to April), growing (April and May), mature (May to August) and spawning (June to September) stages. Main spawning season was between July and September.

2. Spawning and egg development

Eggs of *M. lusoria* were turned to be demersal isolated eggs and averaged at $82.3\sim86.1\ \mu\text{m}$ in diameter after spawning. The hatching of D-shaped larvae by elapsed time after spawning was the highest in fertilization immediately after spawning and distinguished decrease from 1 hour of spawning. The optimum water temperature for development of D-shaped larvae from fertilization was ranged between $25\sim27^{\circ}\text{C}$. However, D-shaped larvae was not developed in 33°C of water temperature. The required time from fertilization to D-shaped larvae was 37.3 hours in 20°C , 20.8 hours in 25°C , and 15.3 hours in 30°C . Biological minimum temperature for the egg development was estimated to be 12.4°C in average. The possibility range of salinity for the development of egg was $20.0\sim37.5$, optimum range was estimated to be $27.5\sim32.5$ (the most optimum salinity was 25.0).

3. Growth and survival of larva

The shell length of *M. lusoria* larvae was averaged at $132.7\pm6.0\ \mu\text{m}$ in shell length and $104.0\pm4.7\ \mu\text{m}$ in shell height. In four days after hatching, the larvae grew to $197\pm6.1\ \mu\text{m}$ in shell length and reached at the settle stage. The survival of larva from D-shaped to the settle stage was 43.9%. The relative growth function between shell length (SL) and shell height (SH) was statistically formulated by $\text{SH}=1.0638\text{SL}-35.8190$ ($R^2=0.9651$) during the whole larva period of *M. lusoria*. The optimal range of water temperature and salinity for rearing larvae was $28\sim33^{\circ}\text{C}$ and $20\sim35$, respectively. The larvae

density for rearing was proper at below 5 inds./mL. When the mixture of *Chaetoceros calcitrans*, *Isochrysis galbana* and *Nannochloris oculata* as feed was supplied with 3,000~5,000 cells/ind., it turned to be the most effective. After not feeding for some period, when feed was provided, the shell length of D-shaped larva was increased to over 192.5 μm at fourth day from the initial feeding.

4. Growth and survival of spat

On the growth and survival of *M. lusoria* spat in the settle stage by seed collection method from 28 July to 14 November 2002, Growth showed most rapid in sand circulation filter method at shell length 4.71 ± 1.60 mm. In addition, survival showed highest in polyethylene plat method at 83.9%. And optimum condition for growth of spat was estimated to be 30°C in water temperature and 30 in salinity with mixture of *Chaetoceros calcitrans*, *Chlorella ellipsoidea*, *Isochrysis galbana*. Moreover, the survival in optimum condition was estimated to be more than 99.0%.

5. Mass artificial seedling production

Mass artificial seedling production of *M. lusoria* was accomplished from 8 August to 5 December 2001. Spawning was inducted to adult clam of 65.8 ± 8.4 mm in shell length by air exposing and raising water temperature method. The fertilized eggs were developed to D-shaped larva after 17.7 hours. Hatching was 6.1% and the size of D-shaped larva was estimated to be 131.4 ± 2.6 μm in shell length. After 4 days, D-shaped larva grew to 190.2 ± 7.5 μm in the settle stage and estimated survival was 48.1%. Seed collection was conducted in the settle stage larva (130,000) of shell length 0.2 ± 0.01 mm by sand bottom circulation filter method. Shell length of spat after seed collection grew 3.1 ± 0.8 mm in 46 days, 6.6 ± 1.8 mm in 87 days, and 10.5 ± 0.9 mm in 114 days. The relative growth formula between shell

*length (SL) and shell height (SH) was estimated to be $SH=0.8524SL+0.0227$ ($R^2=0.9984$) during the whole spat period of *M. lusoria*. Mass death in shell length under 3.1 mm were occurred, but survival was 53.8% in 46 days, 43.6% in 87 days, and 39.2% in 114 days.*

Key Words: Hard clam, *Meretrix lusoria*, Reproductive cycle, Seedling production, Indoor production

List of Tables

Table 1. Number and size of <i>Meretrix lusoria</i> used for this study	9
Table 2. Sexual ratios of <i>Meretrix lusoria</i> sampled between June and July 2000	21
Table 3. Number and size of <i>Meretrix lusoria</i> used for the experiment of spawning induction	30
Table 4. Spawning and development of D-shaped larvae of <i>Meretrix lusoria</i>	34
Table 5. Mean required time from fertilization to each developmental stage with three different water temperature regimes in <i>Meretrix lusoria</i>	38
Table 6. Cell size of three microalgal species	53
Table 7. Growth and daily increment of shell length with water temperature of <i>Meretrix lusoria</i> larvae	59
Table 8. Survival (%) with water temperature of <i>Meretrix lusoria</i> larvae	59
Table 9. Growth and daily increment of shell length with salinity of <i>Meretrix lusoria</i> larvae	60
Table 10. Survival (%) with salinity of <i>Meretrix lusoria</i> larvae	61
Table 11. Growth and daily increment of shell length with density of <i>Meretrix lusoria</i> larvae	62
Table 12. Survival (%) with density of <i>Meretrix lusoria</i> larvae	62
Table 13. Growth and daily increment of shell length with species of microalgae of <i>Meretrix lusoria</i> larvae	63
Table 14. Survival (%) of <i>Meretrix lusoria</i> larvae fed with three different and mixed microalgae	64
Table 15. Growth of shell length with different amounts of microalgae of <i>Meretrix lusoria</i> larvae	65

Table 16. Survival (%) with different amounts of microalgae of <i>Meretrix lusoria</i> larvae	65
Table 17. Growth of shell length and survival (%) with kind of substrate of <i>Meretrix lusoria</i> spats from July 28 to November 14, 2002	78
Table 18. Growth of shell length and survival (%) with water temperature and salinity of <i>Meretrix lusoria</i> spats for 30 days	79
Table 19. Growth of shell length and survival (%) with species of microalgae of <i>Meretrix lusoria</i> spats for 30 days	80
Table 20. Spawning and D-shaped larval development of <i>Meretrix lusoria</i> ...	86
Table 21. Growth of shell length and survival (%) of <i>Meretrix lusoria</i> larvae	87
Table 22. Growth of shell length and survival (%) of <i>Meretrix lusoria</i> spats	89

List of Figures

Fig. 1. Annual production of fisheries and aquaculture of <i>Meretrix lusoria</i> in Korea	3
Fig. 2. Map showing the sampling area of <i>Meretrix lusoria</i>	8
Fig. 3. External morphology of <i>Meretrix lusoria</i>	10
Fig. 4. Anatomy of <i>Meretrix lusoria</i>	11
Fig. 5. Monthly changes of water temperature and salinity at the sampling area during the experimental period	14
Fig. 6. Monthly changes of condition factor and flesh weight (%) of <i>Meretrix lusoria</i>	15
Fig. 7. Photographs of ovary developmental phases of <i>Meretrix lusoria</i>	18
Fig. 8. Photographs of testis developmental phases of <i>Meretrix lusoria</i>	19
Fig. 9. Monthly changes of oocyte diameter for samples over 50 mm in shell length of <i>Meretrix lusoria</i> during 2000	20
Fig. 10. Relationship between shell length and group maturity of <i>Meretrix lusoria</i> female	22
Fig. 11. Frequency of gonadal development stages of <i>Meretrix lusoria</i>	24
Fig. 12. Early developmental stages of <i>Meretrix lusoria</i>	36
Fig. 13. Fertilization and hatching of <i>Meretrix lusoria</i> eggs by elapsed time to insemination after egg collection	37
Fig. 14. Relationship between water temperature and required time (1/h) from fertilization to each developmental stage after fertilization in <i>Meretrix lusoria</i>	39
Fig. 15. Relationship between required time from fertilization to each developmental stage and accumulated water temperature in <i>Meretrix lusoria</i>	40
Fig. 16. Hatching (%) of <i>Meretrix lusoria</i> eggs in various water temperatures	42

Fig. 17. Hatching (%) and size of shell length of D-shaped larvae of <i>Meretrix lusoria</i> in various salinities	43
Fig. 18. Hatching (%) of <i>Meretrix lusoria</i> eggs according to number of eggs per mL	44
Fig. 19. Growth of shell length and survival (%) in <i>Meretrix lusoria</i> larvae ...	56
Fig. 20. Developmental stage of <i>Meretrix lusoria</i> larvae	57
Fig. 21. Relationship between shell length and shell height of <i>Meretrix lusoria</i> larvae	58
Fig. 22. Growth and daily increment of shell length of <i>Meretrix lusoria</i> larvae by five different starvation	67
Fig. 23. Survival (%) of <i>Meretrix lusoria</i> larvae by five different starvation ..	68
Fig. 24. Comparison of relative growth rate between the shell length and shell height of <i>Meretrix lusoria</i> from D-shaped larvae to metamorphosing stage by area	71
Fig. 25. Relative growth of shell length and shell height of <i>Meretrix lusoria</i> spats	88

제 1 장 서 론

온대지역에 속하여 사계절이 뚜렷한 한국의 동해, 서해 및 남해는 서로 다른 환경특성을 나타내고 있으며, 해역특성에 맞는 다양한 수산생물이 서식하고 있다. 동해안은 수심이 깊고, 해안선이 단조로워 갯벌의 형성이 적어 간석지를 이용한 조개류 양식이 어렵지만, 서해안과 남해안은 수심이 얕고 경사가 완만하여 천해와 광활한 간석지로 이루어져 있어 조개류 서식지로서 좋은 여건을 갖추고 있다. 특히 이 두 해역은 육지로부터 유입되는 풍부한 영양염으로 먹이생물이 풍부하여 조개류의 치패 발생장과 성육장이 되고 있다.

한국의 조개류 양식은 1960년대부터 급속히 발전하기 시작하여 70~80년대를 거치면서 참굴 *Crassostrea gigas* 수하식양식을 비롯하여 백합 *Meretrix lusoria*, 피조개 *Scapharca broughtonii*, 진주담치 *Mytilus edulis*, 바지락 *Ruditapes philippinarum*, 꼬막 *Tegillarca granosa*, 새꼬막 *Scapharca subcrenata* 등의 양식개발이 서해안과 남해안을 중심으로 활발하게 전개되어 왔다.

그러나 이렇게 급속하게 발전한 조개류 양식산업은 1970년대 중반부터 백합 폐사를 시작으로 피조개, 바지락뿐만 아니라 거의 모든 양식 조개류가 집단으로 대량폐사하고 해가 갈수록 그 정도가 더해 가고 있는 실정이다. 이러한 대량폐사는 연안 개발로 인한 환경오염 등 서식지의 환경악화 및 치패 발생의 감소, 남획 또는 우량한 어미자원의 우선 채취 등에 의해 야기된 것으로 보인다. 1990 년대에 들어와서는 양식의 근간이 되는 자연종묘생산 실적마저 부진하여 유생과 종묘를 외국에서 수입하는 등 조개류의 안정적 생산이 위협받고 있다.

따라서 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서는 연안 및 양식장의 지속적인 관리와 새로운 자연채묘장의 개발 그리고 안정적인 종묘 확보를 위한 인공종묘 생산 기술개발이 이루어져야 할 것이며, 아울러 조개류 질병 등 관련 연구가 병행되어야 할 것이다.

조개류 중 백합목은 19상과 52과로 구성되어 있으며(Vaught, 1989), 약 500종이 현생하고 있는 것으로 알려져 있다. 이중 백합상과(Veneroidea)는 5과 62속으로 알려져 있으며, 한국에 알려진 472종의 조개류 중 백합목에 속하는 종은 29과 216종이 있고, 이 중 백합과(family Veneridae)에는 45종이 알려져 있다

(Min, 2004). 백합과에 대한 분류학적 연구들은 끊임없이 논란이 되고 있으며 (Keen, 1969), 각기 다른 서식환경에 적응하는 기구와 생활사가 백합과 조개류의 진화에 영향을 주고 있다. 즉 비교적 먼 종간의 패각 형태는 평형을 이루고 있으며, 비교적 가까운 종 사이에는 패각 형태를 다양화하려는 경향이 있다(Harte, 1992).

백합은 한국, 일본, 중국, 대만 등지에 분포하며(波部・伊藤, 1991), 한국에서는 함경남·북도를 제외한 전 연안에 광범위하게 분포하고, 특히 비중이 낮은 하구역 인근의 천해 간석지에 많이 분포한다(張, 2002). 백합의 주생산지는 서해안의 전라북도 연안이며, 남해안에서는 경남 사천시와 하동군의 하구역에서 일부 생산되고 있다. 일본에서는 북해도 이남에 분포하며(相良, 1981), 대만에서는 주로 서부해안을 중심으로 양식이 이루어지고 있다(Jeng and Tyan, 1982).

한국에서 백합을 본격적으로 양식하기 시작한 것은 1960년대 중반부터라고 할 수 있다(유, 2000). 백합의 총생산량은 1965년에 1,505 M/T 이었는데, 이후 양식에 의한 생산량이 증가되면서 1971년에 최대 생산량인 11,705 M/T 를 나타냈으며, 이중 양식 생산량이 8,521 M/T 로 총생산량의 72.8%를 차지하였다. 그러나 1973년 여름부터 일부 백합양식장에서 폐사가 일어나기 시작하여, 1974년에는 대량폐사가 발생하였다. 1975년에는 백합의 대량폐사가 서해안 전역으로 확대되어 총생산량이 급격히 감소되어 1978년 이후에는 어업생산량이 양식생산량보다 많았고, 1978~2002년까지 총생산량이 3,000 M/T 이하로 매우 낮았다. 2003~2004년에는 생산량이 7,000 M/T 내외로 급격히 증가하였다(Fig. 1). 이는 2003년 6월 새만금 간척사업 제4호 방조제 물막이 공사가 완료되어 방조제가 내부의 어미로부터 산란된 자원의 유실을 막아주어 치패가 대량 발생하였기 때문으로 추정된다(정 등, 2004). 이러한 백합의 생산량 증가는 이후 급격한 자원의 감소를 가져와 곧 어획량 급감이 예측되므로 남획의 방지와 소형개체의 어획을 금지하는 자율적인 어업조정이 필요한 것으로 판단된다(류, 2004). 또한 백합의 주산지인 전라북도의 새만금 간척사업으로 28,300 ha 의 갯벌이 사라지게 되어 향후 지속적인 생산량 증대는 기대하기 어렵게 되었다.

일본의 백합 생산량은 1970~1979년에 연평균 5,112 M/T 였으나, 1980년에 1,910 M/T 로 급격히 감소하였다. 이후 1986년까지 1,455~2,271 M/T 를 어획하

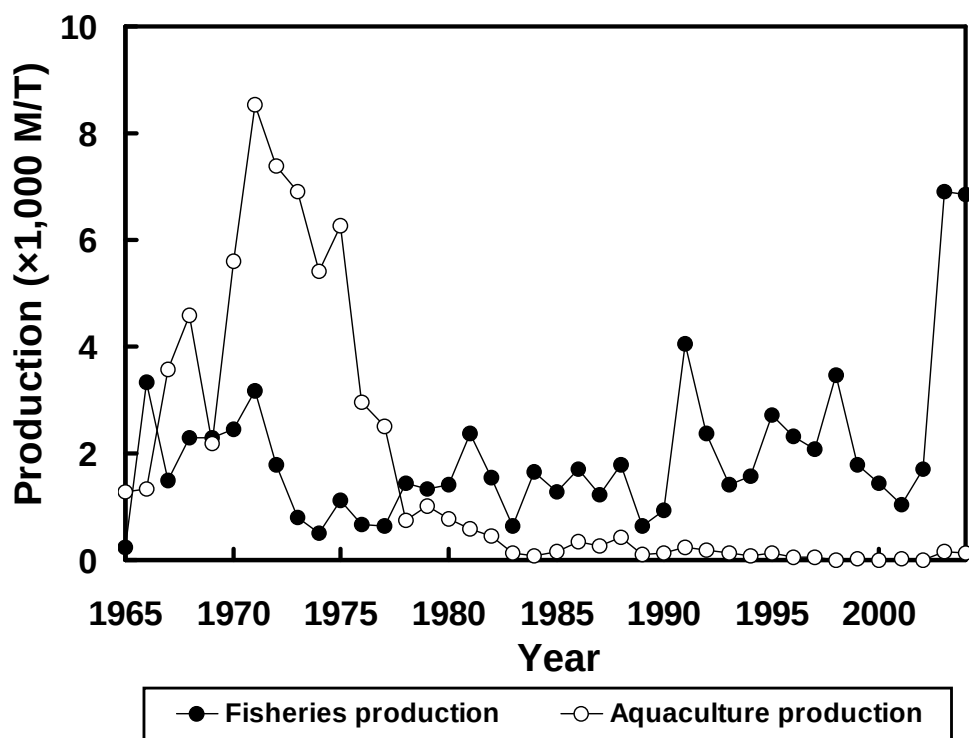


Fig. 1. Annual production of fisheries and aquaculture of *Meretrix lusoria* in Korea.

였고, 1987년 3,678 M/T를 기점으로 감소추세에 있으며, 2003년에는 1,171 M/T를 생산하였다(FAO, 1983; 1993; 2003). 대만의 백합 양식은 1925년 시작되어(Chen, 1976), 1978년 12,867 M/T를 생산하여 대만의 조개류 양식 대상종 중 가장 중요한 품종이다(Jeng and Tyan, 1982).

백합에 대한 국내 연구로는 번식생리(Lee, 1997a; Chung and Kim, 2000), 인공수정과 발생(Choi, 1971; Choi and Song, 1974; Choi, 1975; Choi, 1976), 형태변이와 성장(Kim, 1975; 1976; 1977; Kim et al., 1977), 발생장의 치폐와 종폐의 분포(황 등, 1971), 산소소비와 질소대사(Lee and Chin, 1986; Lee, 1989), 발생과 호흡에 미치는 유분성분의 영향(Lee et al., 1975), 백합에 기생하는 흡충류 연구(Chun and Lee, 1976; Chun and Kim, 1982), 서식환경과 중금속 독성(Won and Go, 1975; Park and Kim, 1979), 폐사원인(Lee, 1969; Yoo et al., 1975; Chang et al., 1976; Chang and Chin, 1978; Lee et al., 1985) 등이 있다.

일본의 백합에 대한 연구로는 서식밀도와 성장(Sagara, 1952), 성 성숙 유도(Numaguchi, 1997), 해역별 산란기(宍戸, 1895; 藤森, 1929; 内藤, 1930; Taki, 1949; 伊藤・小木曾, 1954; 小形, 1965), 산란유발(Iwata, 1948; Sagara, 1958a), 발생초기의 적온 및 적염분(Sagara, 1958b), 점액분비선의 조직학적 연구(Hamada and Ino, 1954), 인공종묘의 성장(上城 等, 1978; 1979) 등이 있다.

대만에서는 잠사능력(Lin et al., 2001; Lee et al., 2004), 후기배와 초기유생의 저온보존(Chao et al., 1997), 성장(Jeng and Tyan, 1982; Ho, 1991), 폐사원인(Lin et al., 1981)에 대한 연구가 있다. 그러나 백합의 인공종묘생산과 관련된 연구는 부분적으로 이루어져 있으나 어미의 생식주기, 수정란의 발생, 유생사육, 치폐사육 및 대량 인공종묘생산 등의 체계적인 연구는 부족한 실정이다.

본 연구에서는 백합의 인공종묘생산 기술개발을 위하여 전북 김제시 진봉면 심포리 앞바다에 서식하는 백합을 사용하여 어미의 산란기 파악을 위한 생식주기, 물리적 환경에 영향을 받는 수정란의 발생에 미치는 최적 환경요인을 조사 분석하였다. 또한 부유유생과 치폐사육에 적합한 환경조건과 먹이생물, 사육방법 등을 구명하여 대량 인공종묘생산에 적용하였다.

제 2장 생식주기

제 1절 서 설

인공종묘를 생산하기 위해서는 먼저 자연에서 어미를 확보하여 채란이 가능한 시기를 파악하는 것이 매우 중요하며, 일반적으로 채란 시기가 수정란의 발생률, 유생의 성장과 생존율 등에 영향을 미친다. 대부분의 조개류는 외형만으로는 성별과 성숙상태를 알 수 없으며, 비만도, 난경, 생식소의 조직학적 방법 등으로 산란기를 파악할 수 있다.

번식생리 연구의 기본이 되는 조개류의 생식주기 연구는 진주조개 *Pinctada fucata* (Uemoto, 1958; Choi and Chang, 2003), 굴류(Kennedy and Battle, 1964; Min et al., 2004), 가리비류(Chang et al., 1985; Thorarinsdottir, 1993; Chang et al., 1997; Oh et al., 2002), 진주담치(Reis-Henriques and Coimbra, 1990), 바지락 (Toba and Miyama, 1991; Chung et al., 1994), 새조개 *Fukia mutica* (Chang and Lee, 1982), 키조개 *Atrina pectinata* (Yoo and Yoo, 1984), 가무락 *Cyclina sinensis* (Chung et al., 1991), 코끼리조개 *Panopea japonica* (Lee, 1995), 살조개 *Protothaca jedoensis* (Kim et al., 2002), 북방대합 *Spisula sachalinensis* (Lee et al., 1997), 민들조개 *Gomphina melanaegis* (Lee et al., 1999), 개량조개류 (Chung et al., 1987; Sakurai et al., 1992) 등에서 이루어진 바 있다.

백합의 생식주기에 관한 연구로는 일본의 해역에 따른 산란기 연구(穴戸, 1895; 藤森, 1929; 内藤, 1930; Taki, 1949; 伊藤・小木曾, 1954; 小形, 1965)가 있고, 국내에서도 부사만의 환경과 자원생물학적 연구(Kim et al., 1986), 생식세포 형성과정과 생식주기(Lee, 1997a), 생식세포의 발달과 성 성숙 미세구조(Chung and Kim, 2000) 등의 연구가 있다. 그러나 조개류의 번식활동은 온도, 염분, 빛, 먹이 및 기생충의 감염 등 외부 요인과 내분비활동 등 내부 요인들의 상호작용으로 이루어지며, 특히 외부 요인들은 분포수역 및 시기에 따라 달라져 번식주기를 변화시키는 요인이 되므로(Rodriguez-Moscoso and Arnaiz, 1988), 서식수역에 따른 연구도 필요하다.

본 연구에서는 전북 김제시 진봉면 심포리 앞바다의 백합 서식환경과 생식소의 구조 등 번식생물학적 특징 그리고 비만도와 육중비의 월 변화를 조사 분석하였고, 아울러 조직학적 방법에 의한 난소와 정소의 발달, 난경의 월 변화, 생물학적 최소형, 성비 등을 조사 분석하여 생식주기와의 관계를 구명하였다.

제 2절 재료 및 방법

1. 서식환경

백합의 서식환경에 관해서는 2000년 1월부터 12월까지 전북 부안군 변산면 격포리 부안수산종묘시험장에서 측정한 표층수온과 비중 자료를 사용하여 분석하였다. 수온은 매일 10시에 봉상 수온온도계로 측정하였으며, 염분은 표준비중계를 사용하여 측정한 비중을 *Zerbe and Taylor* (1953) 환산표에 의해 표준비중으로 바꾸고, 이를 염분 대조표에 적용하여 환산하였다.

2. 비만도

비만도를 분석하기 위하여 2000년 1월부터 12월까지 전북 김제시 진봉면 심포리 간석지에서 매일 60개체 백합을 채집하여(Fig. 2, Table 1), *vernier caliper*로 각장(*shell length*, SL), 각고(*shell height*, SH) 및 각폭(*shell breadth*, SB)을 측정하였고(Fig. 3), 전중(*total weight*, TW), 육중(*flesh weight*, FW) 및 각중(*shell weight*, SW)을 전자저울로 측정하였으며, 모든 측정값들은 평균±표준편차(SD)로 표시하였다.

비만도(*condition factor*)와 육중비(*flesh weight*, %)는 다음 식을 사용하여 환산하였다.

$$\text{비만도} = \frac{\text{FW (g)}}{\text{SW (mm)} \times \text{SH (mm)} \times \text{SB (mm)}} \times 1,000$$

$$\text{육중비} = \frac{\text{FW (g)}}{\text{SW (g)} + \text{FW (g)}} \times 100$$

3. 생식소의 구조

생식소의 구조는 연체부를 *Bouin* 용액에 고정한 후, 종단면과 횡단면으로 절단하여 해부학적으로 조사하였다. 또한 생체를 해부하여 발달 단계에 따른 생식소의 변화와 구조를 함께 파악하였다(Fig. 4).

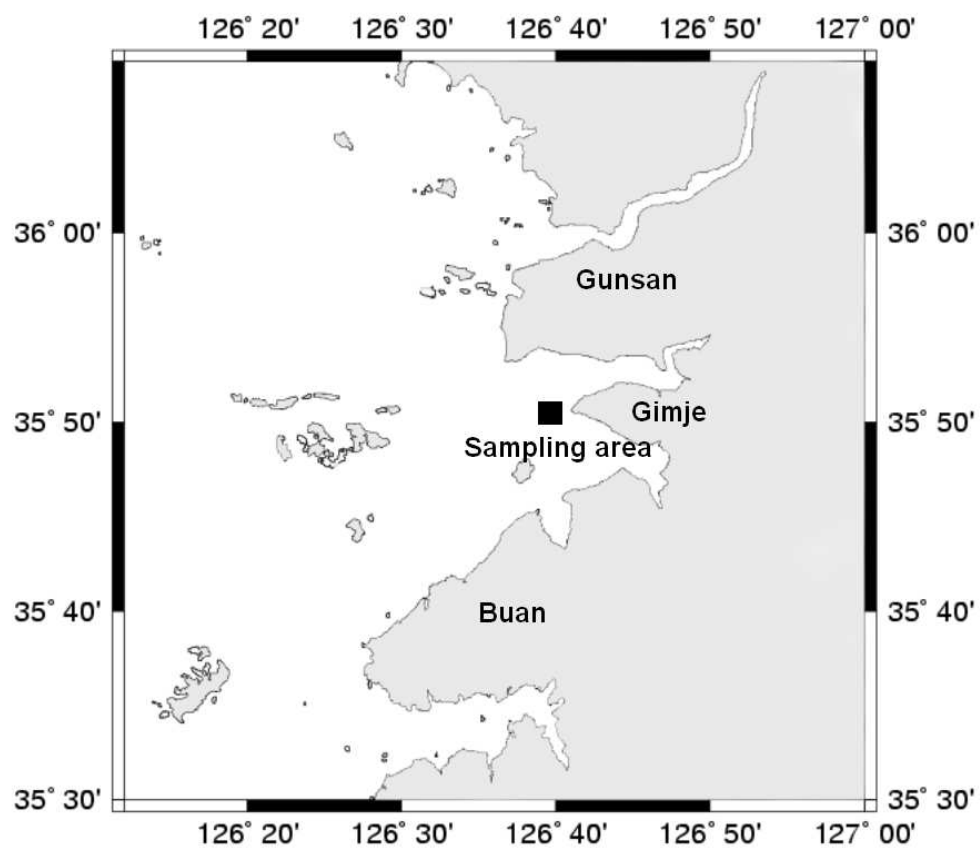


Fig. 2. Map showing the sampling area (■) of *Meretrix lusoria*.

Table 1. Number and size (mean±SD, mm, g) of *Meretrix lusoria* used for this study

Month	Number	Shell length	Shell height	Shell breadth	Total weight	Flesh weight	Shell weight
Jan., 2000	60	58.0±9.0	47.6±8.0	28.9±4.5	51.1±25.3	9.8±5.4	28.5±14.2
Feb.	60	51.4±8.2	42.0±6.8	26.0±4.2	36.7±17.7	6.5±3.2	20.8±10.2
Mar.	60	52.7±9.7	43.1±7.9	26.5±4.9	40.5±21.6	6.7±3.6	22.7±11.9
Apr.	60	50.8±11.3	42.0±9.1	25.5±6.1	37.4±24.9	7.7±4.7	21.5±14.2
May	60	51.9±10.5	46.1±8.6	26.0±5.3	40.0±21.0	8.8±4.7	22.3±12.3
Jun.	60	52.4±12.7	43.1±10.3	26.0±6.4	41.4±28.5	10.5±7.4	23.9±16.0
Jul.	60	51.1±11.0	41.6±8.8	25.4±5.8	36.5±20.2	8.4±4.7	20.9±11.7
Aug.	60	52.6±13.4	43.4±10.8	26.2±6.8	42.1±27.0	9.5±5.6	24.1±15.5
Sep.	60	51.6±11.7	42.8±9.0	24.9±5.6	36.3±24.1	6.2±4.1	20.7±13.6
Oct.	60	55.8±11.7	45.6±9.5	27.8±5.9	49.3±28.7	8.3±4.5	26.8±15.5
Nov.	60	55.9±10.5	45.9±8.5	27.7±5.5	48.2±26.9	8.7±4.8	26.5±14.9
Dec.	60	55.2±12.6	45.5±10.0	27.3±6.3	47.7±29.2	8.9±5.3	26.8±16.2
Mean±SD	720	53.3±11.3	43.7±9.2	26.5±5.7	42.3±25.2	8.3±5.1	23.8±14.1

4. 생식소의 조직학적 변화

백합 생식소의 조직학적 변화는 매월 채집한 개체로부터 5~8 mm 크기로 절단해 낸 생식소 부위를 Bouin 용액에 24시간 고정한 후 *paraffin* 상법으로 5~6 μ m 두께의 조직표본을 제작하고, 이 표본을 *Harris's haematoxylin*과 0.5% *eosin*으로 이중염색하여 광학현미경으로 검경하였다.

5. 난경의 빈도분포

생식소의 발달에 따른 난모세포의 크기 변화는 월별로 조직 표본상에 나타난 난모세포 중 핵(*nucleus*)과 인(*nucleolus*)이 횡단된 것만을 골라 세포의 장경과 단경을 측정한 후 그 평균값을 이용하여 월별 난경분포의 빈도로부터 구하였다.

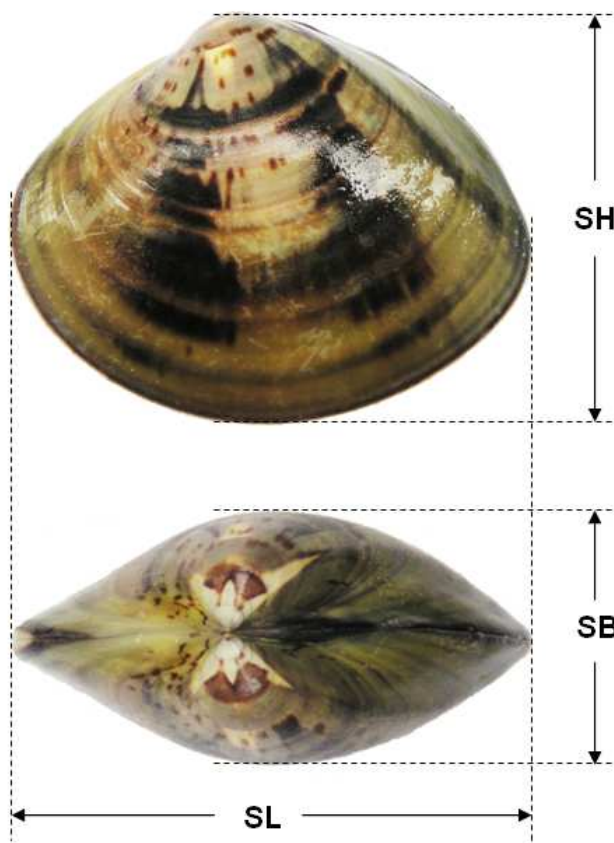


Fig. 3. External morphology of *Meretrix lusoria*. SL: shell length, SH: shell height, SB: shell breadth.

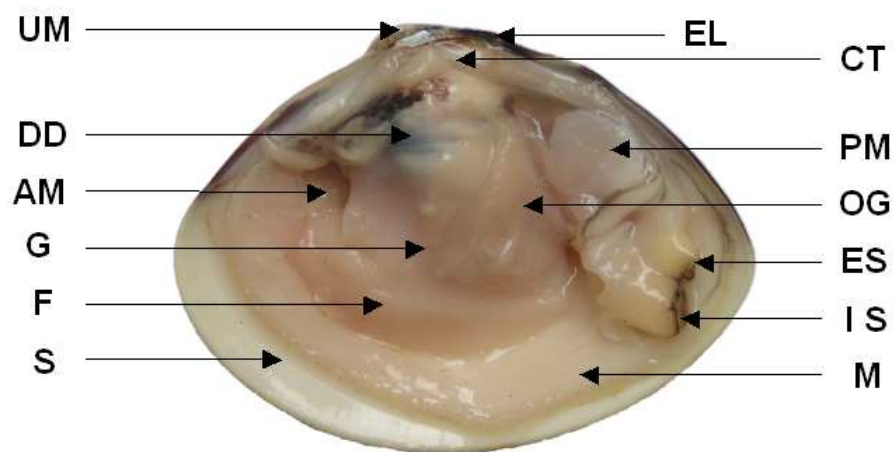


Fig. 4. Anatomy of *Meretrix lusoria*. AM: anterior adductor muscle, CT: cardinal tooth, DD: digestive diverticula, EL: external ligament, ES: exhalant siphon, F: foot, G: gonad, IS: inhalant siphon, M: mantle, OG: outer gill, PM: posterior adductor muscle, S: shell, UM: umbo.

6. 생물학적 최소형과 성비

각장에 따른 생물학적 최소형과 성비는 성숙기와 산란기로 추정되는 2000년 6~7월에 채집된 백합을 사용하여 조사하였다. 생물학적 최소형은 각장 24.3~73.6 mm 크기의 암컷 76개체에 대하여 성숙한 난모세포의 유무를 조직학적으로 관찰하여, 조직 표본상에서 성숙기, 산란기의 조직상이 관찰되는 개체수를 각장 10 mm 단위로 구분하여 전체 개체수에 대한 백분율(%)로 계산하여 아래의 *logistic equation*으로 추정하였다.

$$P = \frac{1}{1 + e^{-(a + b \text{ SL})}}$$

이 식에서 *a*와 *b*는 변수이고, *SL*은 각장(*shell length*)이며, 암컷 50%가 성숙한 각장인 *SL*₅₀을 생물학적 최소 각장으로 하였다.

7. 생식주기

생식주기는 매월 제작된 조직학적 시료를 *Chang and Lee (1982)*의 방법에 따라 암수 각각 퇴화휴지기, 분열증식기, 성장기, 성숙기 및 산란기의 연속적인 5단계로 구분하여 백분율로서 조사하였다.

8. 통계처리

각 실험 결과로부터 얻어진 모든 측정값들은 평균±표준편차(*SD*)로 표시하였으며, 암수의 성비가 1:1과 통계적으로 유의한지 여부는 *Chi-square test*로 검정하였다.

제 3절 결 과

1. 서식환경

백합의 서식지 수온은 $3.0\sim 26.6^{\circ}\text{C}$ 의 범위에서 월 변화를 나타냈으며, 2월에 3.0°C 로 가장 낮았으나, 3월부터 상승하기 시작하여 8월에 26.6°C 로 가장 높았고, 이후 낮아져 12월에는 7.8°C 였다. 염분의 월 변화는 $29.9\sim 32.8$ 로, 9월에 강우로 인하여 29.9로 연중 가장 낮은 값을 보였으나, 그 외는 $31.9\sim 32.8$ 로 월별 변화가 적었다(Fig. 5).

2. 비만도

월별 비만도의 변화는 $0.1014\sim 0.1520$ 으로 2000년 1월에 0.1132에서 감소하여 3월에 0.1014로 최저치를 보인 후 수온 상승과 더불어 증가하기 시작하여 6월에 0.1520으로 가장 높은 값을 보였다. 6월 이후 감소하기 시작하여 9월에는 0.1023의 낮은 값을 보였으며, 특히 8월에서 9월에 접어들면서 급격히 감소하였고, 9월 이후부터 12월까지 다시 완만하게 증가하였다. 월별 육중비는 $22.8\sim 30.1\%$ 로 3월에 22.8%로 가장 낮았고, 그 이후 증가하여 6월에 30.1%로 가장 높았으며, 육중비의 월별 변화는 비만도의 경향과 같았다(Fig. 6).

3. 생식소의 구조

백합의 생식소는 소화맹낭과 족부의 망상 결합조직 사이에 위치하고 있으며, 난소와 정소는 각각 난소소낭과 정소세관으로 이루어져 있었다. 패각의 외형적인 차이에 의해서는 암수 구별은 불가능하였다. 절개 후 성숙기의 암수 생식소는 모두 유백색으로 외형상으로는 암수의 구별은 불가능하며, 생식세포를 현미경으로 관찰하면 구별이 가능하다. 성숙기의 난소는 난소소낭의 확대로 소화맹낭과 근육상피 사이의 대부분을 차지하며, 원형의 소낭 안쪽 벽에는 발달중인 난모세포가 분포하고 중심 내강은 성숙란으로 충만되어 있었다. 성숙기의 정소는 정소세관이 발달하여 소화맹낭과 근육상피 사이의 대부분을 차지하며 정원세포는 세관 내벽 가까이에 분포하고 정모세포와 정세포는 세관 내강에 충상으로 분포하였다. 조직학적으로 관찰한 결과, 난소와 정소를 동시에 가진 개체는 나타나지 않아 백합은 자웅이체로 판단되었다.

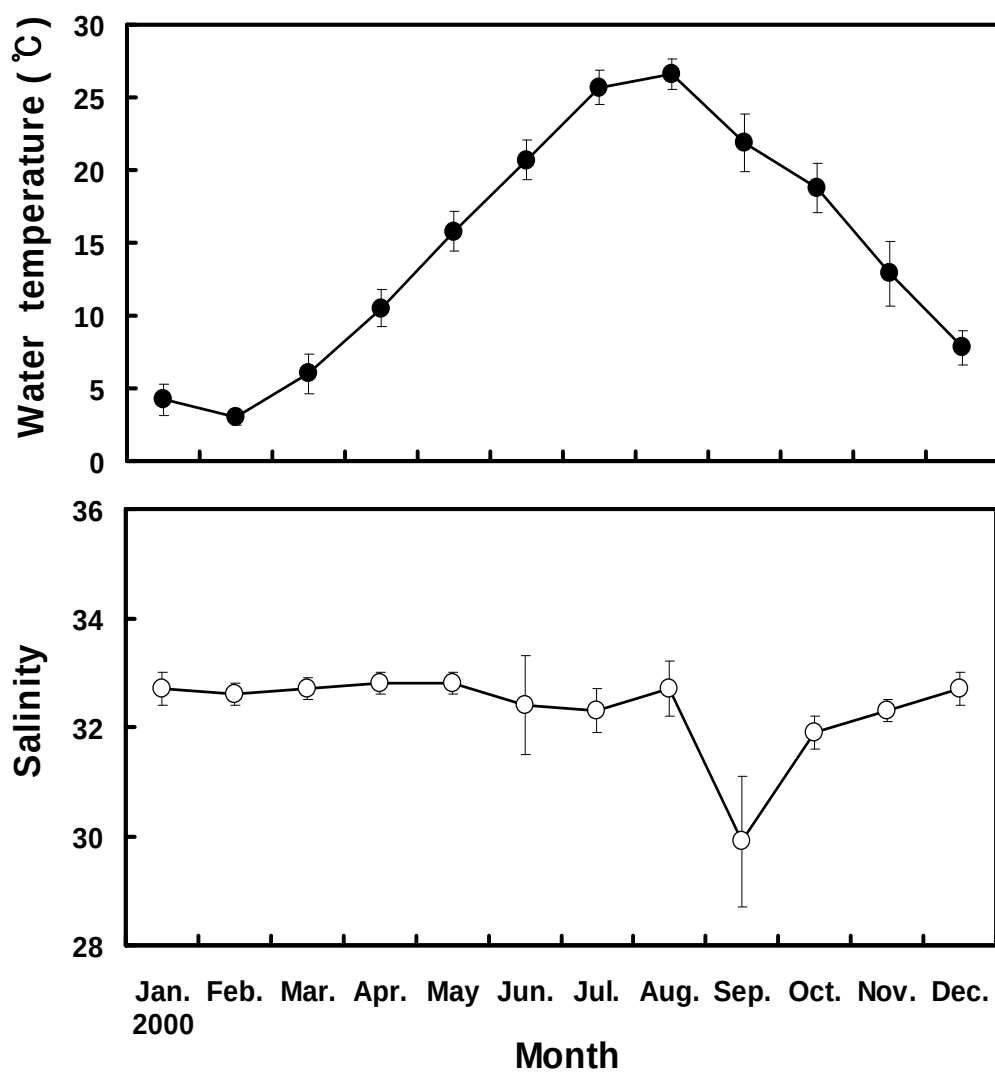


Fig. 5. *Monthly changes of water temperature and salinity at the sampling area during the experimental period.*

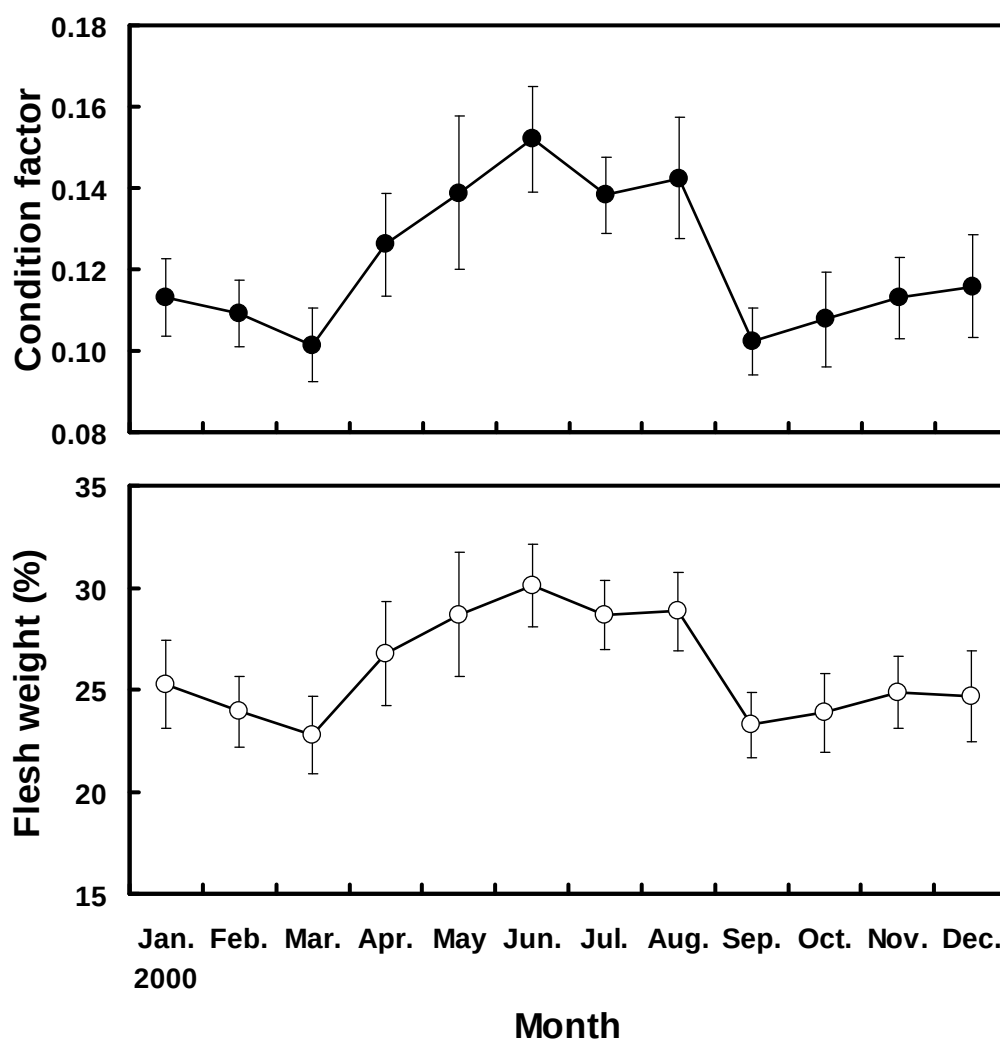


Fig. 6. Monthly changes of condition factor and flesh weight (%) of *Meretrix lusoria*.

4. 생식소의 조직학적 변화

백합 생식소를 조직학적인 방법으로 연중 월별로 관찰한 결과, 생식소의 발달 단계는 난소와 정소 각각 퇴화휴지기, 분열증식기, 성장기, 성숙기 및 산란기의 연속적인 5단계로 구분할 수 있었으며, 주기성을 나타내었다(Figs. 7 and 8).

1) 퇴화휴지기(*degenerative and resting stage*)

암컷의 경우 방란을 마친 난소소낭 내에 일부 방출되지 않은 잔존 미숙 난모세포들이 세포질 붕괴 또는 퇴화·위축되고 흡수가 일어났다. 이 시기에는 난소소낭들도 퇴화, 위축되고 소낭과 소낭사이에는 다수의 결체조직들이 넓게 출현하였다. 퇴화 붕괴 후 난소소낭의 생식상피는 다시 두터워지며 생식상피 상에는 소수의 난원세포들이 다시 나타나 일정기간 조직상의 변화가 없는 상태를 유지하였다(Fig. 7A). 수컷의 경우 방정 후 정소세관 내 다수의 잔존 정자들은 퇴화 위축되고 결체조직들이 빈 공간을 넓게 채웠다. 퇴화 붕괴 후 정소세관의 생식상피가 두터워지며 생식상피 상에 소수의 정원세포들이 다시 나타났다(Fig. 8A).

2) 분열증식기(*multiplicative stage*)

암컷의 경우 난소는 수많은 난소소낭(*ovarian sac*)으로 구성되어 있고 소낭은 결합조직 사이에 소낭을 형성하고, 소낭의 생식상피 위에 난원세포가 활발히 분열하여 그 수가 증가하였다. 난원세포의 크기는 10 μm 내외이며 중앙에 강한 호염성 반응을 나타내는 인을 가진 핵이 세포질의 대부분을 차지하였다(Fig. 7B). 정소는 수많은 정소세관으로 구성되어 있고 이들의 상피세포 위에서 정원세포가 활발히 분열하여 그 수가 증가하며, 미분화 간충조직과 호산성 과립세포들이 나타났다(Fig. 8B).

3) 성장기(*growing stage*)

암컷의 경우 난소소낭의 벽은 분열증식기에 비해 얇아졌으며, 난소소낭의 벽에서는 다양한 크기의 난모세포들이 관찰되었다. 난모세포들은 난병(*egg stalk*)에 의해 상피세포에 부착하여 내강을 향하여 발달하였으며 난모세포의 크기는 20~40 μm 였다. 난모세포의 핵 중심부에는 인이 뚜렷하게 관찰되었으며, 핵의 양적 증가와 더불어 세포질의 빠른 양적 증가를 관찰할 수 있었다(Fig. 7C). 수

컷의 경우 정소에서는 분열증식을 마친 정원세포가 제1차 성숙분열을 거쳐 정모세포로 발달하는 조직상을 보였다. 성장기에 정소세관에는 생식상피 위의 정원세포들이 대부분 감소하고 정세포로 충만하였다(Fig. 8C).

4) 성숙기(mature stage)

암컷의 경우 난소 생식상피의 벽은 아주 얇아졌으며, 난모세포가 서서히 구형으로 되며, 세포질에 난황물질을 축적하여 성숙란의 모양을 갖추었다. 완숙한 난모세포는 50~60 μm 크기였으며, 핵과 인이 뚜렷이 구분되었다(Fig. 7D and E). 수컷의 경우 정소세관의 상피가 아주 얇아지고 정소세관은 비대해졌으며 변태를 마친 수많은 완숙한 정자들이 정소세관의 내강에 밀집되어 있었고 정자들은 미부편모로 인해 물결모양의 흐름을 이루었다(Fig. 8D and E).

5) 산란기(spawning stage)

암컷의 경우 난소는 완숙한 난모세포가 체외로 방출되면서 난소소강 내에 빈곳이 생겨나고 일부 방출중인 난모세포가 나타났다(Fig. 7F). 정소에서는 정자들이 체외로 방출되면서 물결모양의 정자 배열은 없어지고 세관 내에 빈곳이 생겨났으며, 일부 방출중인 정자가 관찰되는 방정기의 조직상을 보였다(Fig. 8F).

5. 난경의 빈도분포

2000년 1월부터 12월까지 조직처리를 통해 얻은 난소조직 시료를 광학현미경으로 월별 난경을 측정하고, 측정치를 단계별로 구간을 설정하여 출현빈도로 나타낸 결과는 Fig. 9와 같다.

수온이 낮은 2월에 20 μm 이하의 난모세포가 78.5%, 3월에 79.2%가 출현하였다. 이후 수온상승과 더불어 성장하여 5월에 관찰된 난모세포는 40 μm 이상이 15.0%였으나, 6~8월에 40 μm 이상의 성숙한 난모세포가 58.0~66.4%를 차지하였다. 9월에는 새로 형성된 10 μm 이하의 난모세포가 88.5%로 대부분을 차지하였고, 40 μm 이상의 방란되고 잔존한 난모세포도 11.6%였다. 10월에는 9월에 새로 형성된 난모세포가 성장하여 10~20 μm 크기가 65.8%를 차지하였고, 11~1월에는 난모세포가 20~30 μm 가 우점적으로 나타났으나 낮은 수온으로 인하여 더 이상 성장하지 못하였다.

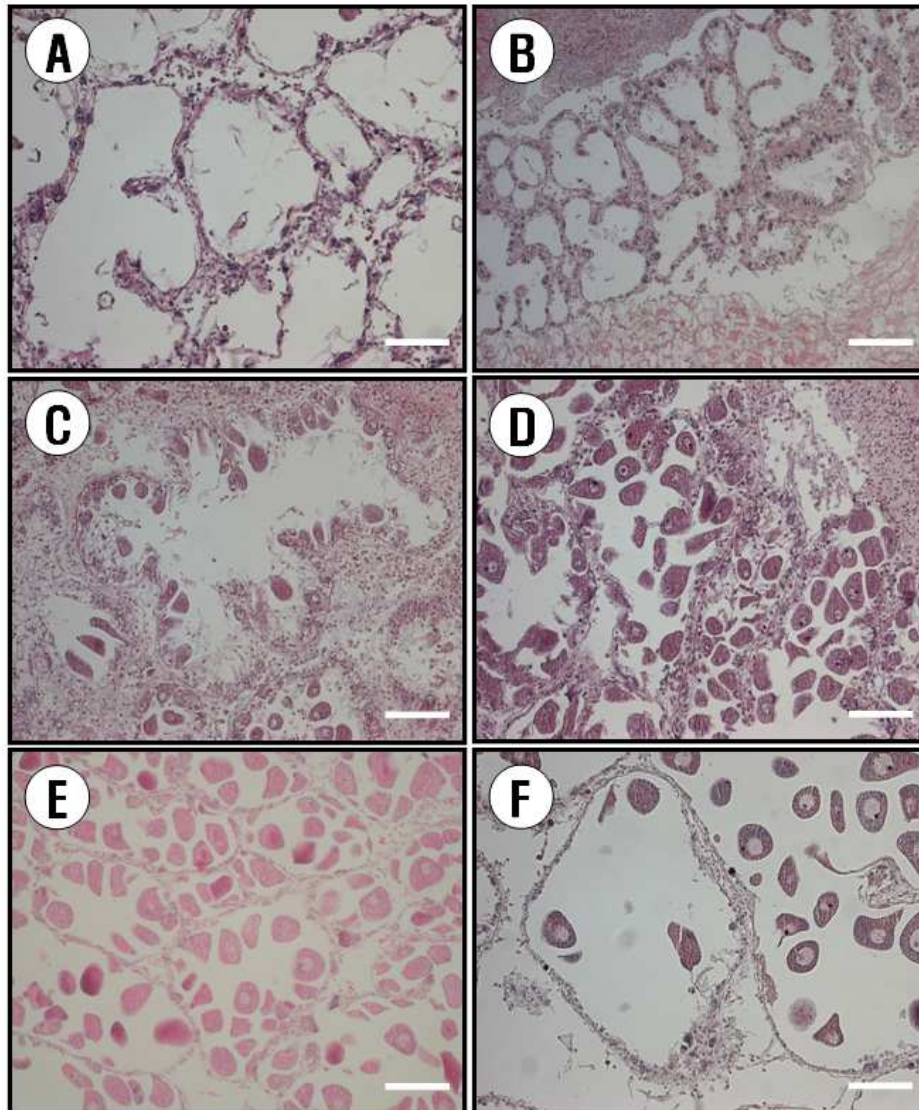


Fig. 7. Photographs of ovary developmental phases of *Meretrix lusoria*. (A): Ovary in the degenerative and resting stage. (B): Section of ovary in the multiplicative stage. Oögonia and previtellogenic oocytes appear along the oögenic follicle wall. (C): Section of ovary in the growing stage. (D): Section of ovary in the early mature stage. (E): Section of ovary in the mature stage. (F): Section in the spawning stage. (Scale bars: 100 μ m)

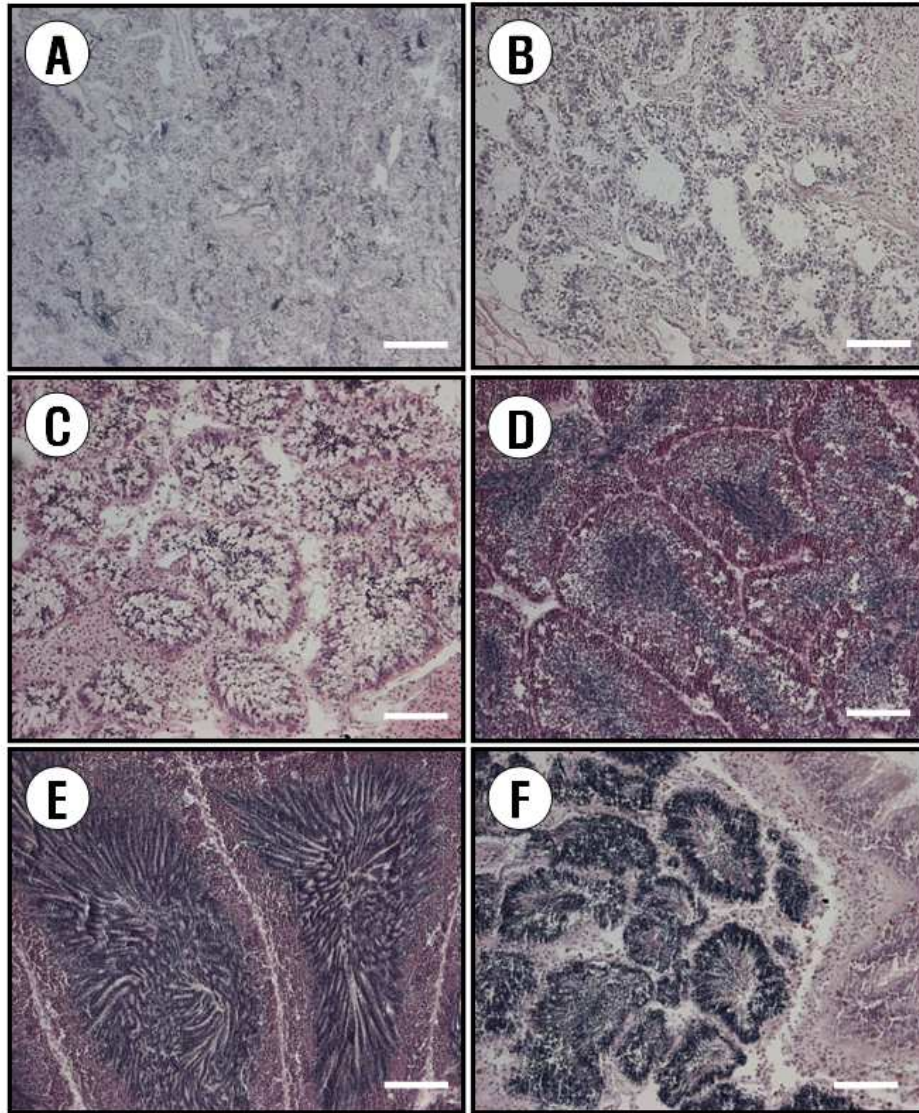


Fig. 8. Photographs of testis developmental phases of *Meretrix lusoria*. (A): Testis in the degenerative and resting stage. (B): Section of testis in the multiplicative stage. Spermatogonia appear along the germinal epithelium of testicular sacs. (C): Section of testis in the growing stage. (D): Section of testis in the early mature stage. (E): Section of testis in the mature stage. (F): Section in the spawning stage. (Scale bars: 100 μ m)

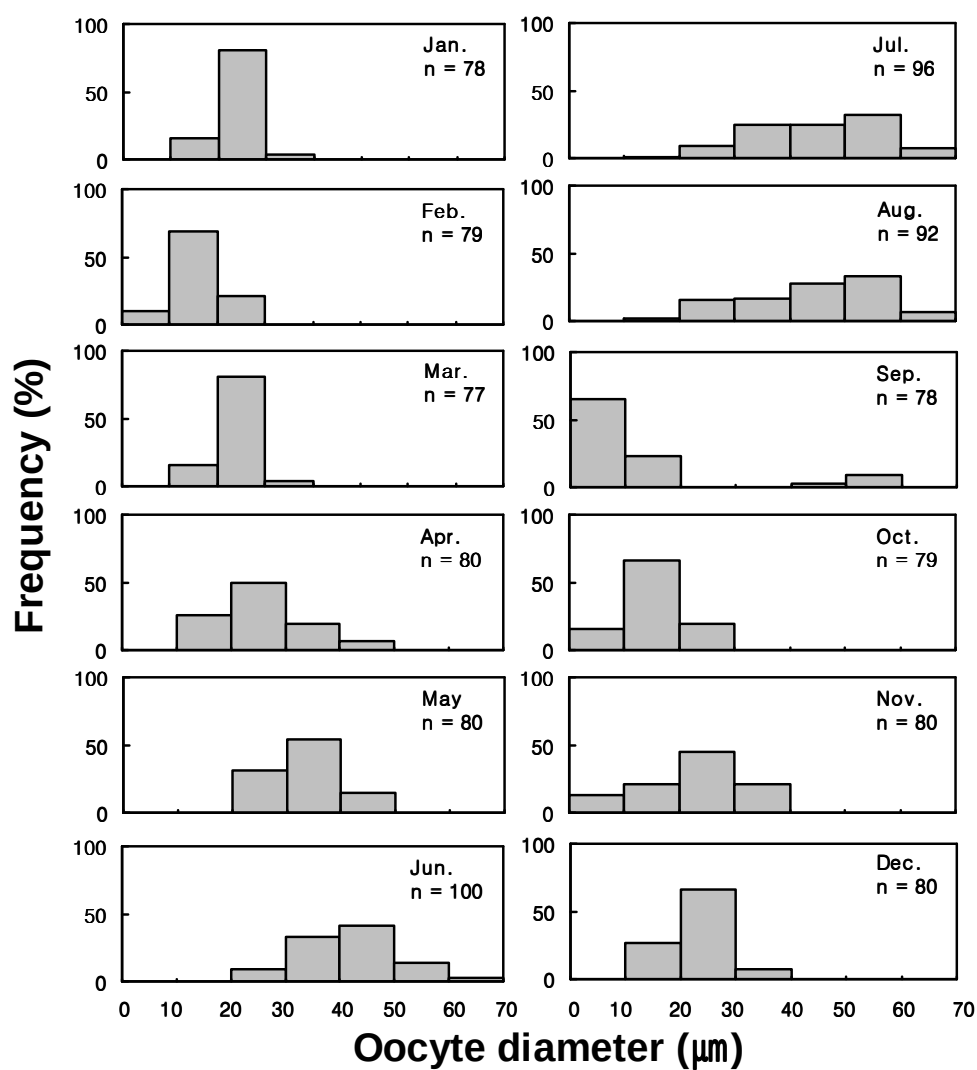


Fig. 9. Monthly changes of oocyte diameter for samples over 50 mm in shell length of *Meretrix lusoria* during 2000.

6. 생물학적 최소형과 성비

재생산에 참여하는 각장을 알기 위하여 각장 24.3~73.6 mm인 암컷 76개체의 생식소를 조직학적으로 관찰하여 생물학적 최소각장을 조사하였다. 각장 25.5 mm 그룹에서는 성숙한 개체가 전혀 나타나지 않은 반면, 35.5 mm 그룹에서는 14.3%의 개체가 성숙상태 조직상을 보였다. 각장 45.5 mm 그룹에서는 80.0%, 55.5 mm 이상에서는 100%가 성숙하여 백합 암컷의 생물학적 최소각장은 41.2 mm인 것으로 나타났다(Fig. 10).

조사된 개체의 암수 성비는 1 : 0.97로 암컷의 비율이 수컷에 비하여 약간 높게 나타났다. 암컷과 수컷의 성비가 1:1이라는 가설 아래 백합의 **Chi-square test** 검정 결과 $\chi^2=0.0267$ 로 나타났으며, χ^2 의 95% 신뢰도의 한계치인 3.84 이내에 있으므로, 백합 암수의 성비는 유의한 차이를 보이지 않았다($P>0.05$)(Table 2).

Table 2. Sexual ratios of *Meretrix lusoria* sampled between June and July 2000

Description	Number of examined
Total number of samples	150
Number of female	76
Number of male	74
Female/(Female+Male)	0.51
χ^2 (Chi squared)	0.0267
Significance	P > 0.05

The critical value for χ^2 goodness of the test equal numbers of females and males (1 df) at 95% significance is 3.84.

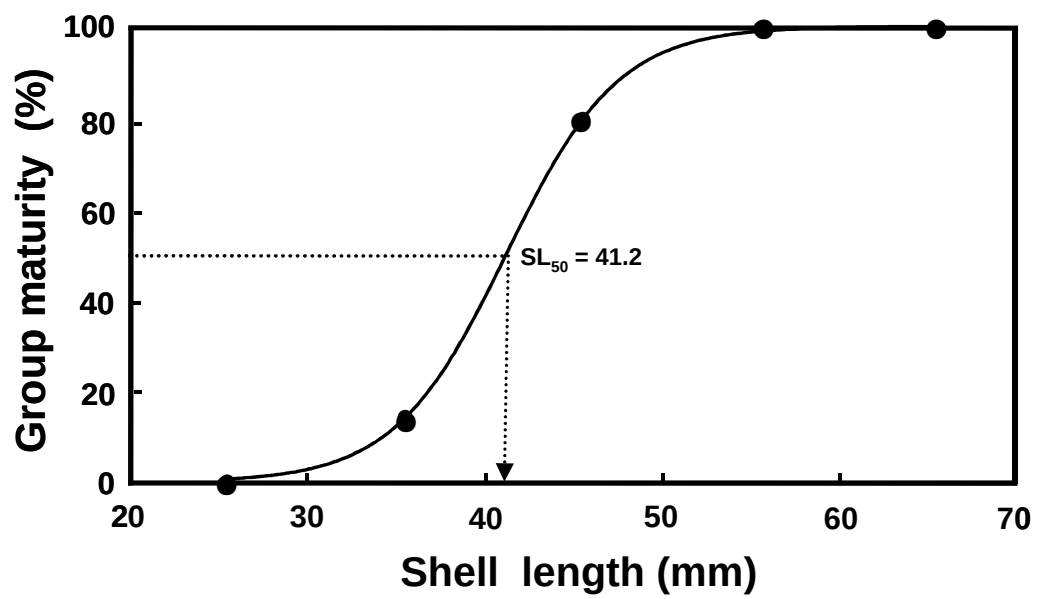


Fig. 10. Relationship between shell length and group maturity of *Meretrix lusoria* female (n=76).

7. 생식주기

조직학적으로 조사된 백합의 생식주기는 퇴화휴지기, 분열증식기, 성장기, 성숙기 및 산란기의 연속적인 단계로 구분할 수 있었다(Fig. 11).

백합의 생식소 발달상황을 보면 암컷의 경우, 난원세포가 나타나는 분열증식기는 11월부터 나타나기 시작하여 4월까지 긴 기간동안 출현하였다. 성장기 개체는 12월에 40%, 1월에 76.0% 출현하였으나 낮은 수온으로 인하여 난모세포가 더 이상 성장하지 못하고 2월에 16.7%를 차지하였으나 수온 상승기인 4월과 5월에 각각 50.0%, 62.5%로 급격히 증가하였다. 성숙기의 개체는 5월부터 8월까지 나타났으며, 6월에 80% 이상 출현하였다. 산란기 개체는 6월부터 나타나기 시작하지만 11.1%로 미미하였고, 7월부터 9월까지 50% 이상의 개체가 방란·방정에 참여하였으며, 9월부터 11월까지 퇴화휴지기에 이르렀다.

수컷에서도 암컷의 경우와 비슷한 경향을 보였다.

백합의 비만도, 육중비의 월별 변화와 생식소의 조직학적 관찰을 종합하여 보면 생식주기는 퇴화휴지기 9~11월, 분열증식기 12~4월, 성장기 4~5월, 성숙기 5~8월, 산란기 6~9월(성기 7~9월)인 것으로 판단된다.

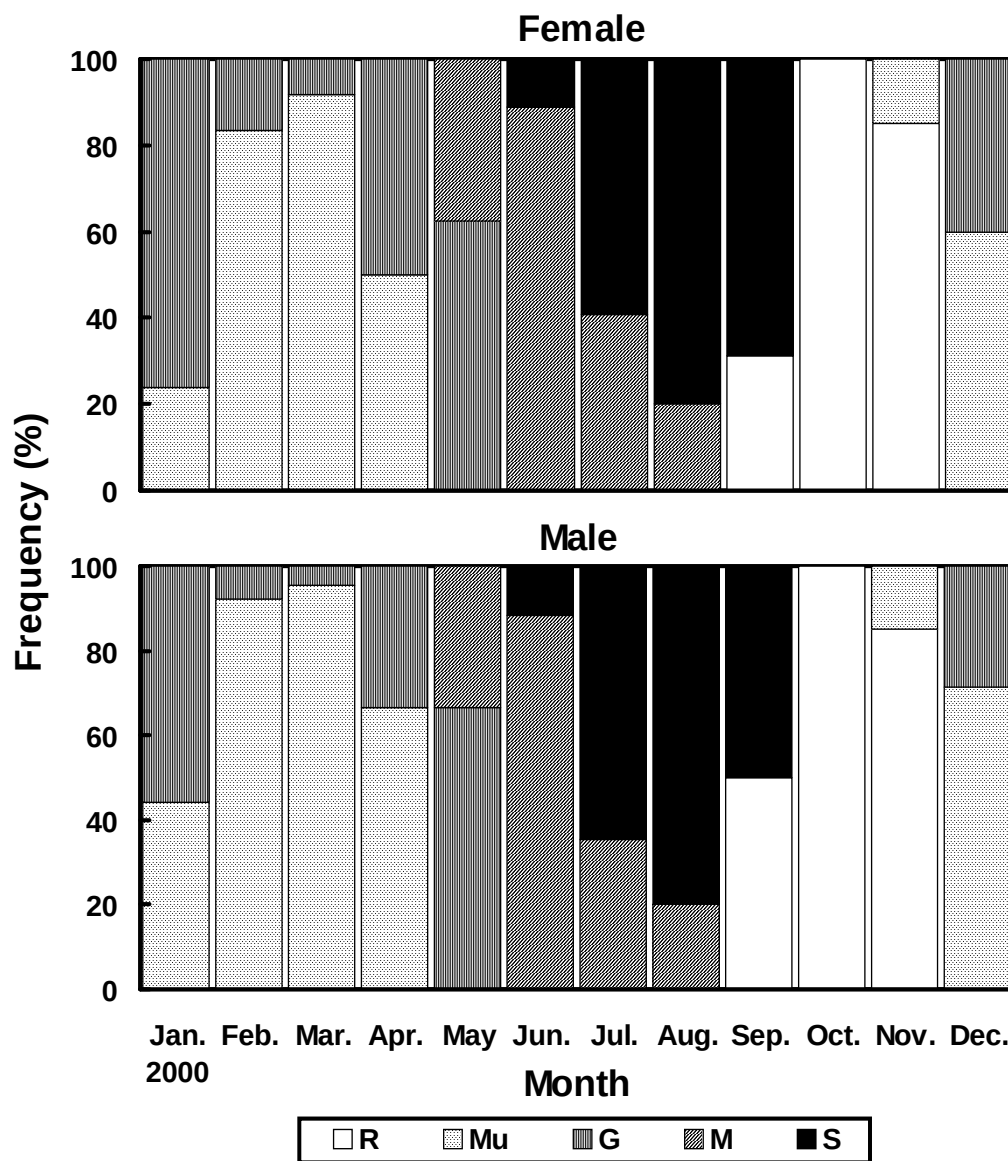


Fig. 11. Frequency of gonadal development stages of *Meretrrix lusoria*.

R: degenerative and resting stage, Mu: multiplicative stage, G: growing stage, M: mature stage, S: spawning stage.

제 4 절 고 찰

잠입성 조개류는 발이 잘 발달되어 있으며, 생식소 부위와 그 경계가 불분명한 것이 일반적이다. 일반적으로 조개류의 생식소는 소화맹낭과 족부근육사이의 결체조직을 중심으로 생식소관 또는 생식소낭으로 구성되는 것으로 알려져 있다(Mackie, 1984; Chung *et al.*, 1991; Lee *et al.*, 1997; Lee, 1997a, b; Kim and Yoo, 2000; Kim and Yoo, 2001). 본 연구의 백합도 일반 조개류와 같은 생식소 구조를 가진 것으로 관찰되었다.

조개류의 생식소 형태는 일반적으로 자웅동체, 자웅이체의 2가지 형태로 구분된다(隆島・羽生, 1989). 대부분의 조개류는 외형적으로 암수의 성 구별이 어려우며, 일부 조개류에서는 산란기의 성숙된 생식소 색상과 모양의 차이로 암수를 구분할 수 있다고 보고하고 있다(Chung, 1980; Sasaki, 1981; 유, 2000). 백합의 생식소는 조직학적 관찰 결과, 난소와 정소로 구분되는 자웅이체였으나 육안적인 관찰로는 암수 모두 유백색으로 생식소 색깔에 의한 암수 구별이 어려우며, 조직학적 관찰에서 난소와 정소를 함께 가지는 자웅동체형의 개체는 없는 것으로 나타나 자웅이체로 조사되었다.

조개류의 생식소는 일반적으로 독립된 기관으로 존재하지 않아 생식소만을 분리하기 어려워 생식소의 성숙시 증가되는 무게의 변화에 따라 성성숙도를 지수로 표현하는 생식소중량지수(GSI)를 구하기 어려우며, 따라서 산란기는 생식소의 발달과 밀접한 관련이 있는 연체부의 비만도 월별 변화를 조사하여 간접적으로 추정하고 있다(浜田, 1956). 백합에서는 개체의 생식소가 발달함에 따라 비만도가 증가하고 있어 생식소의 발달정도가 개체 체중의 증감에 영향을 주는 것으로 판단된다. Kurashige (1943)는 생식세포의 방출시기에 비만도 값이 급격히 감소하며, 부분산란기의 비만도 값이 최대에서 최소로 되는 시기와 일치한다고 보고하였다. 본 연구에서 백합 비만도의 월별 변화를 조사한 결과, 비만도는 수온이 상승하는 3월(6.0℃)에 0.1014에서 점차 증가하여 6월(20.7℃)에 0.1520으로 연중 최고 값을 보인 후 감소하여 9월(21.9℃)에 0.1023의 낮은 값을 보임으로써 산란기는 6~9월로 추정되었다.

해산 무척추동물은 대부분 체외수정을 하며, 생식은 계절에 영향을 받으며

(Loosanoff, 1962), 연체동물의 생식양상은 크게 3가지, 즉, 1년에 걸쳐 연중 산란하는 종(*year-around breeders*), 당해 늦가을에 시작하여 이듬해 이른 봄에 산란하는 동계산란종(*winter breeders*), 그리고 늦봄에 시작하여 초가을에 산란하는 하계산란종(*summer breeders*)으로 구분하고 있다(Booolootain *et al.*, 1962). 그리고 생식주기를 지배하는 요인은 먹이, 수온, 광주기 및 염분 등이라 알려져 있으며(Giese, 1959), 배우자 방출의 제1자극 요인은 수온이다(Brousseau, 1995). 이러한 구분을 기준으로 볼 때 한국 연안에 서식하는 조개류는 하계산란종이 주를 이루는데 가무락(Chung *et al.*, 1991), 꼬막(Lee, 1997b), 민들조개(Lee *et al.*, 1999), 동죽 *Macra veneriformis* (Chung and Ryou, 2000), 대북 *Gomphina veneriformis* (Park *et al.*, 2003) 등이 이에 속한다. 본 연구결과 백합의 산란기는 6~9월로 하계산란종에 속하며, 여름철 고수온기의 수온 변화가 산란에 영향을 미쳤을 것으로 판단된다.

조개류의 생물학적 최소형에 대하여 Kennedy and Krantz (1982)는 종의 지리적 분포가 번식기에 영향을 미치고, Sakurai *et al.* (1992)은 개량조개에서 위도에 따라 생물학적 최소형의 차이가 있는 것으로 보고하고 있다. 백합의 생물학적 최소형에 대하여 日本水産資源保護協會(1985)는 성숙최소연령은 각장 30~40 mm이며, 수명은 11~12년으로 보고하였고, Chung and Kim (2000)은 전북 김제산의 생물학적 최소형이 각장 41~45 mm라고 보고하였다. Kim *et al.* (1986)은 충남 부사만에서 암수 모두 각장 35 mm 미만의 소형개체는 생식소의 미발달로 거의 재생산에 참여 못하지만, 각장 35~40 mm에서는 암수 모두 50% 이상, 각장 50 mm 이상에서는 암수 모두 100%가 재생산에 참여한다고 보고하였다. 본 연구에서 백합 암컷의 생물학적 최소형을 보면 각장 35.5 mm 그룹에서는 14.3%였으나 45.5 mm 그룹에서는 80.0%, 55.5 mm 이상의 그룹에서는 100%로 나타나 군성숙도에 의한 생물학적 최소각장은 41.2 mm로 같은 해역에서 조사된 Chung and Kim (2000)의 결과 범위 내에 있었고, 충남 부사만과 일본의 결과보다 다소 큰 것으로 나타났다.

Kim *et al.* (1977)에서 Bertalanffy 성장식을 이용하여 추정된 백합의 최대 각장은 10.26 cm, 최대 전중은 257 g으로 나타났으며, 성장식을 이용하여 추정한 연령별 각장의 크기는 1세 0.79 cm, 2세 2.59 cm, 3세 4.04 cm, 4세 5.22 cm,

5세 6.18 cm, 6세 6.95 cm, 7세 7.57 cm, 8세 8.08 cm, 9세 8.51 cm로 나타나 본 연구에서 생물학적 최소형의 각장 41.2 mm는 약 3세에 해당된다.

Mackie (1984)는 자웅이체 조개류의 성비는 거의 1 : 1이지만 암컷이 수컷보다 약간 많은 종도 존재한다 하였다. 본 연구 결과 백합의 암수의 성비는 1 : 0.97로 암컷이 수컷보다 약간 많았으나, *Chi-square test*로 검정한 결과 성비는 1:1로 유의한 차이를 보이지 않았다.

백합의 산란기는 해역에 따라 차이가 있으며(日本水産資源保護協會, 1985), 일본의 경우 하계를 중심으로 연 1회 산란한다(相良, 1981). 해역별 산란기는 東京灣의 千葉에서는 6~8월(内藤, 1930), 浦安 6~10월(Taki, 1949), 仙台 5~7월(穴戸, 1895), 松川浦 7~9월(伊藤・小木曾, 1954), 豊前海 6~8월(小形, 1965), 有明海 5~7월(藤森, 1929), 瀬戸内海는 7~8월(Ikuta, 1988)로 위도나 해역에 따라 차이가 있었다.

한국의 백합 산란기에 대한 연구로 인천 송도는 8월 중순부터 9월 중순까지이며, 산란성기는 8월 하순으로 추정하였고(Choi, 1971), 충남 서산군 안면도에서는 7월 하순에 난소 성숙도가 가장 높았고, 8월 중순부터 난소속의 성숙란이 극히 감소하였다고 보고하였다(Choi and Song, 1974). 충남 부사만의 산란기는 5~10월이며, 산란성기는 6~7월로 보고하였다(Kim et al., 1986). 전북 김제 해역의 산란기에 대하여 Lee (1997a)는 수온 22℃인 6월부터 25℃인 9월까지이며, 산란성기는 7월(27℃)~8월(28℃)로 보고 하였다. Chung and Kim (2000)도 산란기를 6월부터 9월까지로 보고하였다. 본 연구에서 산란기는 6월(20.7℃)~9월(26.6℃)로 같은 해역에서 조사한 Lee (1997a), Chung and Kim (2000)과 일치하였으나, Choi (1971), Choi and Song (1974) 및 Kim et al. (1986)의 결과와는 다소 차이가 있어 서식해역에 따라 산란기가 다를 수 있었다.

제 3장 채란과 발생

제 1절 서 설

인공종묘생산 과정에서 가장 중요한 것은 건강한 어미를 확보하는 것이다. 건강한 어미에서 채란한 수정란은 종묘생산 전 과정의 성장과 생존율에 영향을 미치기 때문이다. 또한, 수정란에서 D형유생까지는 사육환경에 크게 지배를 받으므로 발생에 미치는 수온, 염분, 수용밀도 등의 적정사육조건을 밝히는 것이 인공종묘생산을 위해서 필수적인 요건이 된다.

조개류의 채란·채정을 위한 방법은 물리적 자극(Galtsoff, 1938; Loosanoff and Davis, 1963), 화학적 자극(Iwata, 1971b; Kikuchi and Uki, 1974; Gibbons and Castagona, 1984; Crawford, 1986) 및 생물학적 자극(Iwata, 1971a) 등이 있다. 그러나 자연에서 성숙한 어미는 단순한 인위적인 자극에 의해서도 쉽게 산란하게 되며, 공기노출과 수온상승자극 등의 물리적 자극만으로도 채란이 가능하다. 채란을 위하여 화학적인 자극방법을 사용할 경우 수정란의 부화율을 저해시킬 우려가 있으며, 백합의 채란 채정에는 공기노출과 가온자극 방법이 가장 효과적인 것으로 알려져 있다(小野, 1972).

백합의 자극방법에 따른 채란은 NH_4OH 를 생식소 내에 직접주사(Sagara, 1958a; Choi, 1971; Choi and Song, 1974; Choi, 1975; 1976), 공기노출과 수온상승자극(小野, 1972), 공기노출자극과 환수자극(石田, 1975), 냉수처리 후 자외선 살균등 조사, 공기노출, 온도자극을 병행(上城 等, 1978), 절개에 의한 인공수정(Choi and Song, 1974), 일정시간 저온처리 후 수온상승과 반복 수온상승 방법(Choi, 1976) 등의 연구가 있다.

조개류의 생활사 중 수정과 발생 기간은 먹이를 먹지 않는 기간으로 환경의 영향을 크게 받는다. 특히 수온, 염분 등 수중환경은 초기 생존율에 있어 결정적 요인이며, 수정방법, 부화방법은 인공종묘생산을 위하여 매우 중요한 과정이다.

조개류의 수정과 발생에 관한 연구는 참굴(Staeger and Horton, 1976; Stephano and Gould, 1988), *Spisula solidissima* (Clotteau and Dube, 1993), 담치류(Dufresne-Dube et al., 1983), 가리비류(Gruffydd and Beaumont, 1970), 가무

락(Choi and Song, 1974), 바윗굴 *Crassostrea nippona* (Yoo and Kang, 1996) 등 매우 많다. 그러나 대부분의 연구들이 실험실 규모의 발생 연구로서 대량 인공 종묘생산을 위한 연구는 드문 편이다.

조개류의 생식소 발달과 생식에 있어 생물학적 영도(biological minimum temperature)는 매우 중요하며, 적산수온의 기준이 된다. 지금까지 생물학적 영도는 참전복 *Haliotis discus hannai* (Kikuchi, 1964), 우렁쉥이 *Halocynthia roretzi* (Yoo et al., 1990), 참돔 *Pagrus major* (Yoo et al., 1991), 코끼리조개(Lee and Rho, 1997), 진주조개와 참굴(Chang et al., 2000), 북방대합(Lee et al., 2002), 바윗굴(Yoo and Kang, 1996), 혼한가리비 *Chlamys nobilis* (Won and Han, 2004) 등에서 산정된 바 있다.

백합류의 난발생에 대한 연구로는 백합 수정란의 발생에 있어 적수온과 적염분(Sagara, 1958b), 라마르크백합 *Meretrix lamarcki*의 발생초기의 적수온과 적염분(相良 等, 1968) 등의 연구가 있으나 수온, 염분, 수용밀도 등이 수정란 발생에 미치는 영향에 대한 체계적인 연구는 부족한 실정이다.

본 연구에서는 백합의 채란, 수정란의 발생 및 발생생물학적인 특징을 밝히고, 수정란의 발생률을 향상시키기 위한 수온, 염분, 수용밀도에 따른 최적 조건을 파악하였다.

제 2절 재료 및 방법

1. 채란과 발생

채란에 사용한 백합은 전북 김제시 진봉면 심포리 앞바다에서 2001~2003년에 걸쳐 생식소 발달단계가 성숙기 및 산란기인 7~9월에 채집된 각장 $58.8 \pm 8.2 \sim 65.8 \pm 8.4$ mm, 전중 $54.3 \pm 29.8 \sim 73.1 \pm 28.7$ g의 개체였으며, 6회 채란하였다(Table 3).

Table 3. Number and size (mean $\pm$ SD) of *Meretrix lusoria* used for the experiment of spawning induction

Date	Number	Shell length (mm)	Shell height (mm)	Shell breadth (mm)	Total weight (g)
Jul. 19, 2001	200	65.8 ± 8.4	54.5 ± 7.2	33.0 ± 3.9	73.1 ± 28.7
Jul. 20, 2001	200	65.8 ± 8.4	54.5 ± 7.2	33.0 ± 3.9	73.1 ± 28.7
Jul. 24, 2002	70	60.3 ± 9.3	49.9 ± 8.7	29.8 ± 4.9	59.8 ± 37.2
Jul. 28, 2003	329	60.3 ± 6.1	49.0 ± 5.5	30.4 ± 3.3	54.3 ± 16.0
Sep. 2, 2003	180	58.8 ± 8.2	48.6 ± 7.6	28.9 ± 3.9	54.3 ± 29.8
Sep. 7, 2003	160	58.8 ± 8.2	48.6 ± 7.6	28.9 ± 3.9	54.3 ± 29.8

어미의 자연산란을 방지하기 위하여 채집 즉시 수온 $18 \sim 20^\circ\text{C}$ 로 조절된 유수식 실내수조에 수용하고 먹이생물로서 *Chaetoceros calcitrans*, *Isochrysis galbana*, *Monochrysis* sp., *Tetraselmis tetrahele*를 사육수 1 mL당 $10 \times 10^4 \sim 20 \times 10^4$ 세포가 유지되도록 연속 공급하면서 안정시켰다. 채란을 위한 자극은 공기노출, 수온상승 및 정액첨가자극을 병행한 방법, 공기노출과 수온상승자극을 병행한 방법을 사용하였다. 공기노출자극은 기온 20°C 전후의 그늘지고 바람이 잘 통하는 실내에서 1시간 동안 공기에 노출시켜 실시하였다. 수온상승 자극은 채란수조에 어미를 20°C 해수에 수용한 후 어미가 안정되면 가온해수를 첨가하는 방법으로

실시하였으며, 30분에 1℃씩 상승시키면 성숙된 어미는 수온상승 도중 산란하였다. 산란이 이루어지지 않을 경우에는 29℃까지 수온을 상승 시킨 후 산란할 때까지 기다렸고, 산란을 하지 않을 경우 반복해서 자극하였다. 정액첨가자극은 공기노출과 수온상승자극으로 산란이 이루어지지 않을 경우 수컷을 절개하여 채란수조에 정자를 첨가하는 방법으로 실시하였다.

채란에 사용된 수조는 50 L 사각 아크릴 수조였으며, 해수는 **bag filter**와 규조토 여과기를 사용하여 1 μm 까지 여과한 후 자외선 살균 처리하였다. 방란·방정이 유도된 다음 30분 후 망목크기가 20 μm 인 물리가아제를 이용하여 수정란을 수거하였다. 여과처리된 자외선 살균수로 수정란을 3회 세란하였으며, 세란된 수정란은 깨끗한 해수가 채워진 100 L 플라스틱 수조에 수용한 후 잘 교반하여 **micro pipette**으로 1 mL를 취한 후 **cell counter chamber**를 사용하여 계수한 후 전체 수정란의 숫자를 용적법으로 계산하였다. 계수가 완료된 수정란은 깨끗한 해수가 채워진 수용적 10 m^3 사각 **FRP**코팅 콘크리트 수조에 수용한 후 부화·발생시켰다. 이때 수온은 $27\pm 1^\circ\text{C}$ 로 조절하였으며, 공기는 미세하게 공급하였다. D형유생 발생률은 수정 후 만 24시간이 경과 후 망목 크기가 40 μm 인 물리가아제를 이용하여 D형유생으로 발생된 전체 유생을 수거한 후 수정란 계수와 동일한 방법으로 계수하고 D형유생의 발생률을 계산하였다.

2. 수정란의 발생과정

채란된 알의 발생과정을 조사하기 위하여 수정란에서부터 D형유생까지 5분 간격으로 발생과정을 관찰하였다. 난발생과정은 수온 27℃, 염분 30으로 조절된 1 L **beaker**에 사육수 1 mL당 100개의 알을 수용하고 정자를 첨가하여 수정시킨 후, 수정란이 발생하는 과정에서 나타나는 발생학적·형태학적 특징을 광학현미경으로 관찰 조사하였다.

3. 채란 채정 후 경과시간에 따른 수정과 수정란의 발생

2002년 8월 전북 김제시 진봉면 심포리 앞바다에서 채집된 어미를 사용하여, 채란 채정 후 경과시간에 따른 수정률과 발생률을 조사하였다. 성숙한 어미를 먼저 공기노출자극 후 1 L **beaker**에 1개체씩 수용하여 수온상승자극으로 채

란·채정을 하고, 같은 시간에 방란·방정된 알과 정자를 사용하여 채란·채정 직후, 1시간 후, 2시간 후, 3시간 후 그리고 4시간 후에 인공수정하여 수정률과 발생률을 조사하였다. 채란 채정 후 알과 정자는 수온 27℃, 염분 30의 해수 중에 방치하였으며, 발생 동안의 수온은 **water bath**를 사용하여 30℃로 조절하였고, 염분은 30이었다. 사육수는 1 μm **cartridge filter**를 사용하여 여과한 후 자외선을 조사한 해수를 사용하였고, 알의 수용밀도는 20개/mL였다. 수정률은 수정 1시간 30분 경과한 후의 난분할 단계에서 조사하였으며, 실험은 2반복으로 실시하였다.

4. 수온에 따른 수정란의 발생

2002년 8월 20일부터 22일까지 수온에 따른 수정란의 발생속도와 발생률을 파악하기 위하여 수온 20, 25, 30 및 33℃에서 각 발생단계까지의 소요시간과 D형유생까지의 발생된 개체수를 조사하였다. 그리고 2002년 8월 12일부터 13일까지 수온 27℃에서 D형유생까지의 발생된 개체수를 조사하였다. 사육수는 1 μm **cartridge filter**를 사용하여 여과한 후 자외선을 조사한 해수를 사용하였고, 염분은 31이었다. 수정란의 수용밀도는 사육수 1 mL당 20개였다. 용기는 1 L **beaker**를 사용하였고, 공기는 미세하게 통기하였으며, 수온은 **water bath**를 사용하여 조절하였다. 각 발생단계까지 소요시간은 5분 간격으로 광학현미경으로 확인하여 조사하였으며, 발생단계별 소요시간은 수정란의 50%가 각 발생단계에 이르는 시간으로 하였다. 발생률 실험은 3반복으로 하였으며, 3회 계수한 평균치를 사용하였다.

5. 염분에 따른 수정란의 발생

염분에 따른 수정란의 발생률은 2002년 7월 31일부터 8월 1일까지 염분 17.5부터 2.5씩 증가시켜 40.0까지 10개 실험구를 설정하여 실험구별로 구하였다. 염분은 해수, 증류수 및 천일염을 사용하여 조절하였으며, 수온은 30℃로 고정하였다. 그 밖의 실험조건은 수온별 실험에서와 동일하게 하였다.

6. 수용밀도에 따른 수정란의 발생

수정란의 수용밀도에 따른 발생률을 조사하기 위하여 1 L **beaker**에 사육수 1

mL당 20, 40, 80, 160개씩 수정란을 수용하고, 수온과 염분은 각각 30℃, 31로 조절하였다. 그 밖의 실험조건은 수온별 실험에서와 동일하게 하였다.

7. 통계처리

각 실험 결과로부터 얻어진 모든 측정값들은 평균±표준편차(SD)로 표시하였으며, 측정값들 사이의 유의차 유무는 SPSS (ver. 12) 통계 *package program*을 사용하여 95% 신뢰수준에서 ANOVA와 Duncan's *multiple range test* (Duncan, 1955)로 검정하였다.

제 3절 결 과

1. 채란과 발생

채란은 2001~2003년에 전북 김제에서 채집한 어미를 사용하여 총 6회 실시하였다. 어미 1개체당 산란량은 7월 하순이 가장 많았으며, 9월 초순의 산란량은 7월 하순에 비해 적었다. 난경은 $81.3 \pm 2.9 \sim 86.1 \pm 2.2 \mu\text{m}$ 였으며, 수정란에서 D형유생까지 발생률은 41.1~68.7%였다. 자극방법에 따른 발생률은 공기노출과 수온상승자극을 병행한 방법에서 46.3~68.7%로 공기노출, 수온상승, 정액첨가자극을 병행한 방법과 자연산란 보다 높은 경향을 보였다. 발생된 D형유생의 각장은 $129.8 \pm 4.3 \sim 132.7 \pm 6.0 \mu\text{m}$ 였다(Table 4).

Table 4. Spawning and development of D-shaped larvae of *Meretrix lusoria*

Date	No. of adult	Stimulation method	No. of spawned eggs ($\times 10^4$)	Egg size (mean $\pm$ SD, μm)	D-shaped larva		
					Number ($\times 10^4$)	Shell length (mean $\pm$ SD, μm)	Hatching (%)
Jul. 19, 2001	200	EA+ET+SS	3,220	82.3 ± 2.7	1,510	130.4 ± 3.6	46.9
Jul. 20, 2001	200	NS	1,700	-	700	131.7 ± 3.3	41.1
Jul. 24, 2002	70	EA+ET	4,800	86.1 ± 2.2	2,280	132.7 ± 6.0	47.5
Jul. 28, 2003	329	EA+ET	8,400	81.3 ± 2.9	5,200	129.8 ± 4.3	61.9
Sep. 2, 2003	180	EA+ET	2,800	83.0 ± 2.5	1,295	131.4 ± 3.8	46.3
Sep. 7, 2003	160	EA+ET	1,200	82.9 ± 2.8	825	131.3 ± 3.9	68.7

EA: exposure to air, ET: elevation of temperature, NS: natural spawning, SS: sperm suspension solution.

2. 수정란의 발생과정

백합 수정란의 발생단계별 형태적 특징은 Fig. 12에 나타난 바와 같았다. 백합의 알은 분리 침성란으로, 산란 직후 알은 타원형으로(Fig. 12A) 수정이 이루어

지면서 원형으로 되며(Fig. 12B), 수온 25℃에서 수정 20분 후에는 동물극에 투명한 제1극체와 제2극체가 방출되었다(Fig. 12C). 이후 난황이 시작되어 부등분열에 의해 2세포, 4세포, 8세포 및 16세포기를 거쳐(Fig. 12D, E, F and G), 시계 반대방향으로 섬모 회전운동을 시작하는 낭배기로 발달하였다. 부유생활을 하는 낭배기, 소화관이 형성되는 담륜자기(Fig. 12H), 면반(*velum*)이 발달하고 패각이 형성되는 *veliger*기(Fig. 12I)를 거쳐 D형유생(Fig. 12J)으로 발달하였다. D형유생의 크기는 각장 $132.7 \pm 6.0 \mu\text{m}$, 각고 $104.0 \pm 4.7 \mu\text{m}$ 였다.

3. 채란 채정 후 경과시간에 따른 수정과 수정란의 발생

채란·채정 후 경과시간에 따른 수정률은 채란 직후와 1시간 후에는 99.0%와 98.0%로 높았으나, 채란 채정 2시간 후 86.7%, 3시간 후 80.2%로 감소하였고, 4시간 후의 수정률은 46.8%로 3시간에 비해 큰 차이를 보였다.

채란·채정 직후 수정한 수정란의 D형유생까지 발생률은 61.9%였으나, 1시간 후 수정시에는 21.2%로 크게 감소하였고, 2시간 후 수정시 3.8%, 3시간 후 수정시 0.8%로 채란·채정 후 시간이 경과함에 따라 발생률은 급격히 감소하였으며, 4시간 후 수정시에는 발생이 이루어지지 않았다. 채란·채정 후 수정 경과시간에 따른 수정란의 발생률을 유의성 검정한 결과, 채란·채정 직후, 1시간 후, 2시간 후, 3시간 후 수정시의 발생률은 유의한 차이를 보였으나($P < 0.05$), 3시간과 4시간 후의 발생률은 유의차가 인정되지 않았다($P > 0.05$)(Fig. 13).

4. 수온에 따른 수정란의 발생

수정 후 각 발생단계까지의 수온별 소요시간은 Table 5와 같다. 수온 25℃에서는 수정 20분 후에 극체가 방출되었으며, 이후 난황이 시작되어 부등분열에 의해 2세포, 4세포, 8세포 및 16세포까지 각각 1시간 5분, 1시간 30분, 2시간 및 2시간 40분이 소요되었다. 그리고 낭배기까지는 5시간 50분, 섬모로 운동하는 담륜자는 12시간 10분, 패각과 면반이 형성되는 D형유생까지는 20시간 50분이 소요되었다. 20℃와 30℃에서는 D형유생까지 각각 37시간 15분과 15시간 20분이 소요되어 수온에 따른 발생단계별 소요시간은 수온이 높을수록 짧았다.

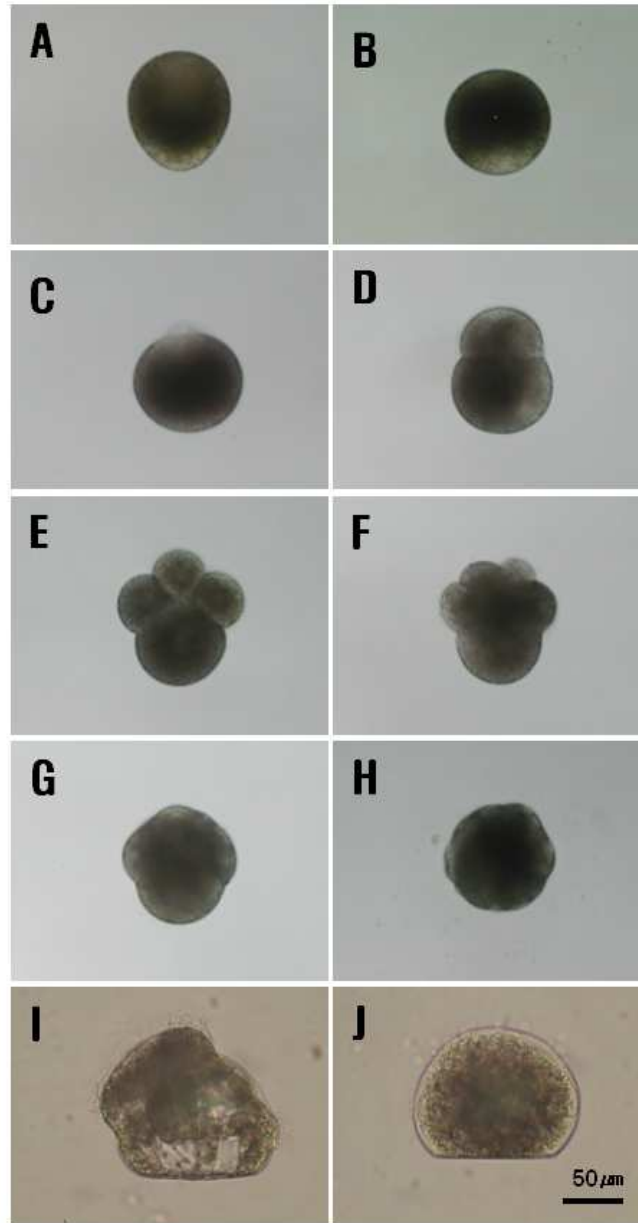


Fig. 12. Early developmental stages of *Meretrix lusoria*. A: unfertilized egg, B: egg just after fertilization, C: polar body stage, D: 2-cell stage, E: 4-cell stage, F: 8-cell stage, G: 16-cell stage, H: trochophore stage (hatching), I: veliger stage, J: D-shaped larval stage.

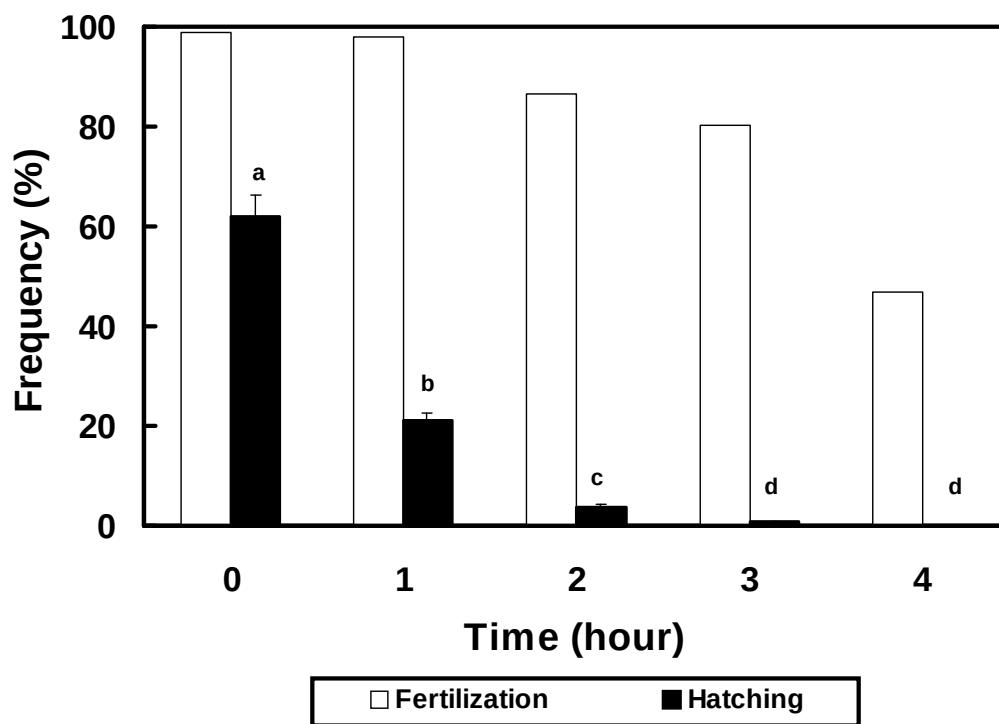


Fig. 13. Fertilization and hatching of *Meretrix lusoria* eggs by elapsed time to insemination after egg collection.

Table 5. Mean required time from fertilization to each developmental stage with three different water temperature regimes in *Meretrix lusoria*

Developmental stage	Elapsed time after fertilization (hour : minute)		
	20°C	25°C	30°C
Fertilized egg	0:00	0:00	0:00
Polar body	0:35	0:20	0:15
2-cell	2:05	1:05	0:50
4-cell	2:45	1:30	1:10
8-cell	3:35	2:00	1:30
16-cell	5:05	2:40	2:00
Morula	-	4:45	4:20
Gastrula	11:35	5:50	4:40
Trochophore	34:05	12:10	9:50
D-shaped larva	37:15	20:50	15:20

수온과 각 발생단계까지 소요시간을 그림으로 나타내었을 때 수온별 발생속도는 지수함수적 관계를 나타내었다(Fig. 14). X축은 수온, Y축은 시간의 역수로 나타낼 때 수온(WT: °C)과 발생단계별 소요시간(h)의 관계식은

$$2\text{세포기} : 1/h = 0.0720WT - 0.9323$$

$$8\text{세포기} : 1/h = 0.0388WT - 0.4871$$

$$\text{낭 배 기} : 1/h = 0.0128WT - 0.1625$$

$$\text{담 룰 자} : 1/h = 0.0055WT - 0.0606$$

$$\text{D형유생} : 1/h = 0.0038WT - 0.0492$$

로 표시되었다.

이들 관계식을 기초로 Y축의 값이 0일 때 회귀직선의 X축에 접하는 수온, 즉 백합의 초기 발생에 있어 난발생이 정지하는 생물학적 영도는 평균 12.4°C로 나타났다.

또한 위의 관계식을 활용하여 각 발생단계에 이르는 소요시간에 대한 수온 · 시간적산치의 직선회귀 관계를 발생수온별로 나타내어 백합의 발생단계별 소요시간과 적산수온을 손쉽게 알아 볼 수 있다(Fig. 15).

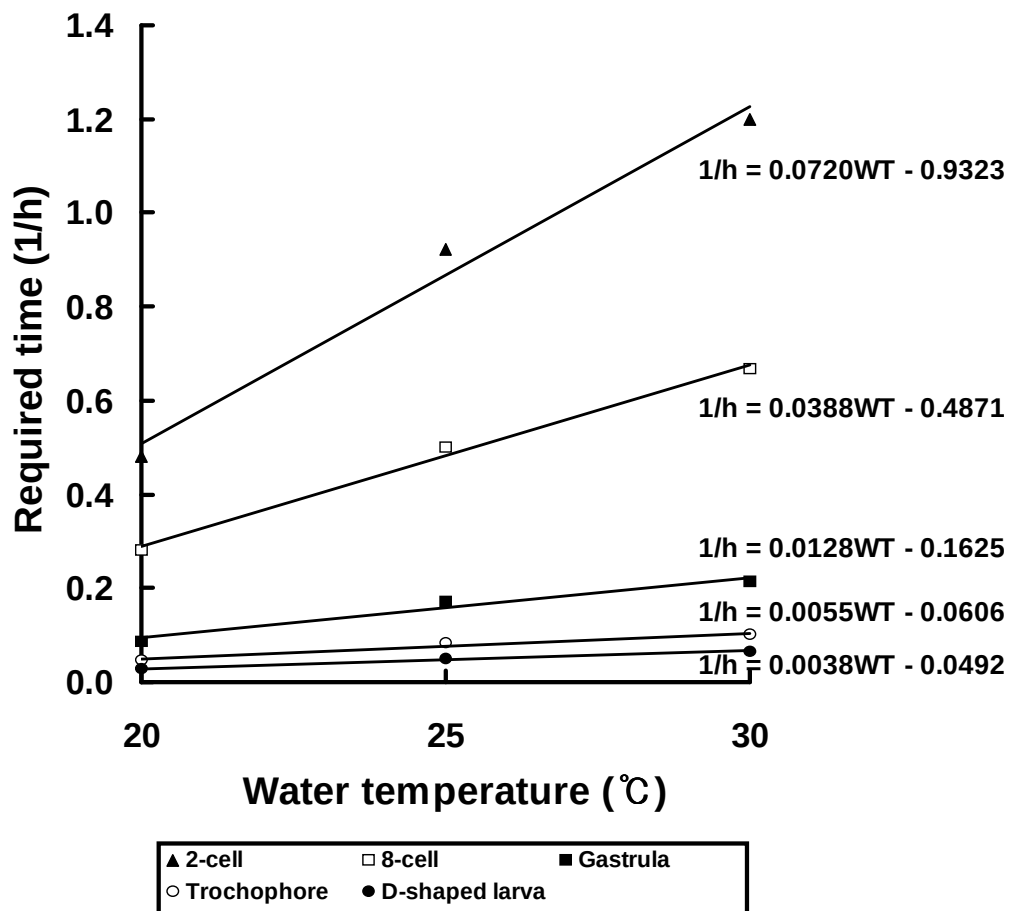


Fig. 14. Relationship between water temperature and required time (1/h) from fertilization to each developmental stage after fertilization in *Meretrix lusoria*.

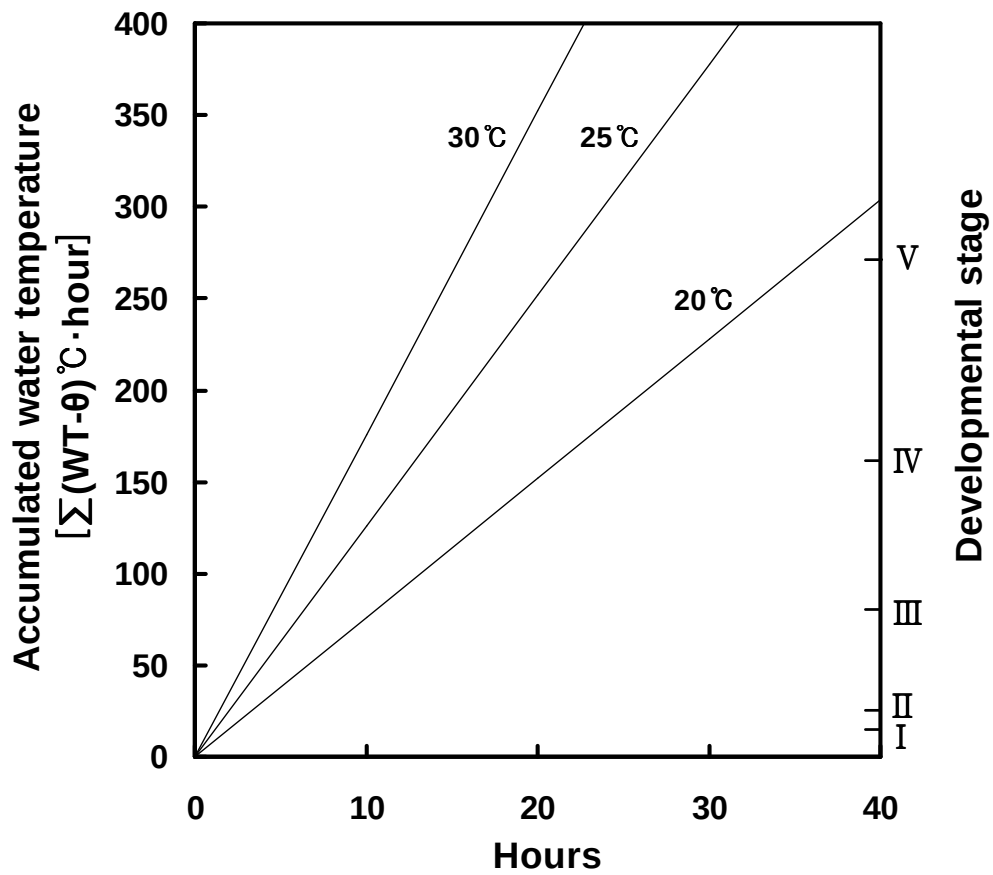


Fig. 15. Relationship between required time from fertilization to each developmental stage and accumulated water temperature in *Meretrix lusoria*. I : 2-cell, II : 8-cell, III: gastrula IV: trochophore V: D-shaped larva. WT: water temperature, θ : biological minimum temperature.

수정 후 D형유생까지 수온별 발생률은 25℃와 27℃에서 각각 68.9%, 80.3%로 20℃의 32.9%, 30℃의 58.2%에 비해 유의한 차이가 있었다($P<0.05$). 그러나 33℃에서는 담류자까지 발생이 이루어졌으나 D형유생까지는 발생되지 않았다(Fig. 16).

따라서 백합의 수정란은 D형유생까지의 발생률을 고려할 때 발생 적정수온은 25~27℃, 최적수온은 27℃였다.

5. 염분에 따른 수정란의 발생

수정란에서 D형유생까지의 염분에 따른 발생률은 염분 15.0에서 32.5까지 염분이 높을수록 증가하였으나, 32.5 이상에서는 다시 낮아지는 경향을 보였다. 특히, 염분 27.5, 30.0 및 32.5에서 발생률은 다른 염분에 비해 유의한 차이가 있었다($P<0.05$). 염분 32.5에서 발생률은 23.3%로 가장 높았으나, 염분 15.0, 17.5 및 40.0에서는 D형유생으로 발생되지 않았다.

발생된 D형유생의 각장은 염분에 따라 차이를 보였다. 염분 22.5~37.5에서 D형유생의 평균각장은 130 μm 이상이었고, 특히 염분 25.0~35.0에서 각장 크기는 다른 염분에 비해 유의한 차이를 보였다($P<0.05$). 염분 20에서 발생된 D형유생의 각장은 118.4 ± 9.0 μm 로 다른 실험구에 비해 매우 작았다(Fig. 17).

따라서 백합의 수정란이 D형유생으로 발생 가능한 염분은 20.0~37.5로 나타났다으며, 염분에 따른 수정란의 D형유생까지 발생률과 D형유생의 크기를 고려할 때 적정염분은 27.5~32.5로 나타났다.

6. 수용밀도에 따른 수정란의 발생

수정란의 수용밀도에 따른 D형유생의 발생률은 사육수 1 mL당 40개를 수용한 실험구에서 52.5%로 가장 높았고, 20개를 수용한 실험구에서는 50.2%로 40개 실험구와는 유의한 차이가 없었다($P>0.05$). 또한 80개와 160개를 수용한 실험구의 발생률은 각각 23.0%, 22.6%로 이 두 실험구간에는 유의한 차이가 없었으나($P>0.05$), 20개와 40개 실험구와는 유의한 차이를 보였다($P<0.05$).

따라서 수정란으로부터 D형유생까지의 발생률을 높일 수 있는 수정란의 수용밀도는 사육수 1 mL당 40개 이하로 나타났다(Fig. 18).

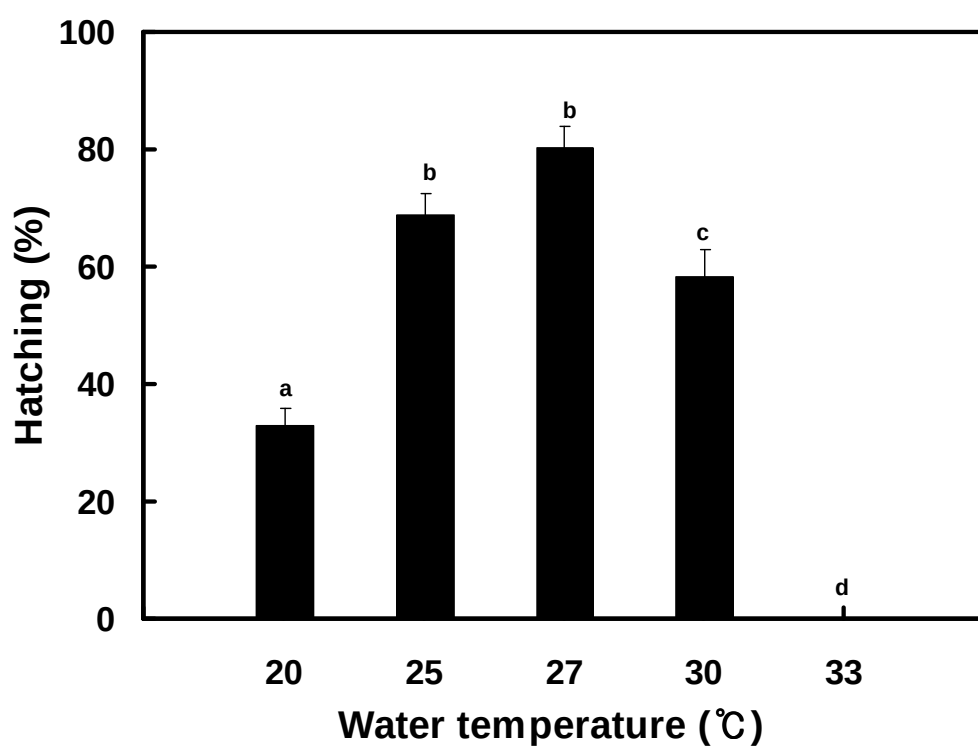


Fig. 16. Hatching (%) of *Meretrix lusoria* eggs in various water temperatures.

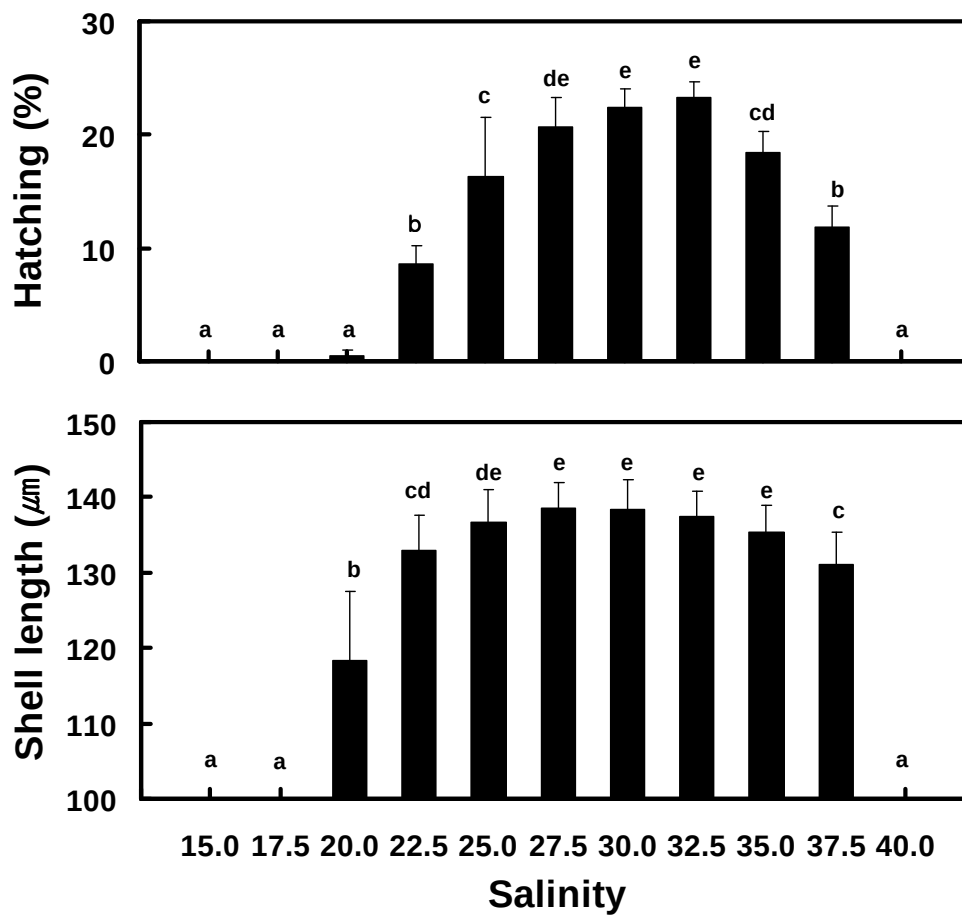


Fig. 17. Hatching (%) and shell length of D-shaped larvae of *Meretrix lusoria* in various salinities.

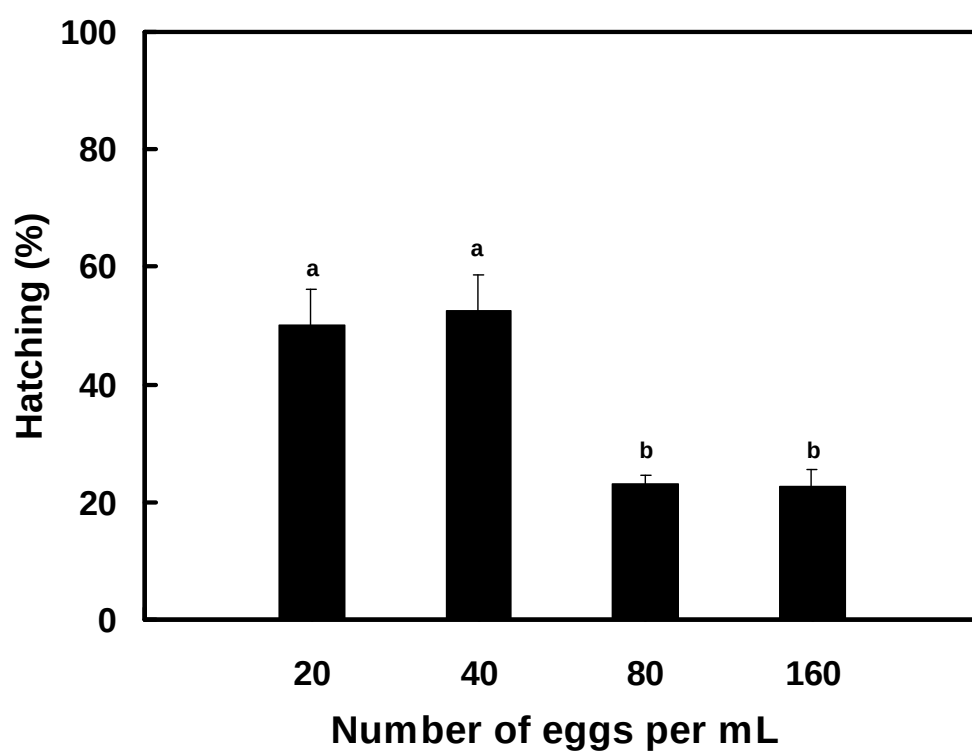


Fig. 18. Hatching (%) of *Meretrix lusoria* eggs according to number of eggs per mL.

제 4 절 고 찰

조개류의 산란은 외부와 내부 요인에 의해 조절되며(Giese and Kanatani, 1987), 내분비 활동에 의한 내부 요인 중 신경세포에 의해 생산되는 *prostaglandin*과 *amine*이 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다(Khotimchenko and Deridovich, 1991; Deridovich and Reunova, 1993). 또한 환경의 변화 등 외부 요인은 산란을 유발하며, 특히 수온의 급격한 변화는 산란유발의 원인이 된다(Thorarinsdottir, 1991).

조개류의 수정은 난핵포(*germinal vesicle*)의 유무와 관계없이 인공수정이 가능한 종류도 있으나, 대부분의 조개류는 난핵포가 소실된 후에 정상적인 발생이 일어난다(Loosanoff, 1954). 인위적으로 절개에 의해 적출한 알은 대부분 난핵포를 가진 미성숙란으로 거의 수정이 이루어지지 않아(Sagara, 1958a), 물리, 화학, 생물학적 자극 방법을 이용하여 방란·방정을 유발시키는 방법을 사용한다. 백합의 경우, 자연환경조건에서 수정이 가능한 알을 얻기가 쉽지 않고(吉田, 1941), 생식소를 절개하여 얻은 알과 정자는 인공수정이 어렵다고 보고하였으나(Sagara, 1958a), Hatanaka et al. (1943)은 백합의 난소를 절개해서 얻은 알을 1/1000~2/1000 N의 NH_4OH 해수용액에 20~30분 담근 후 정자를 첨가해서 수정에 성공하였고, Choi and Song (1974)도 1/1000~8/1000 N NH_4OH 에서 9.8~36.9% 수정란을 얻었다고 보고하였다.

백합의 채란 채정 방법으로서 화학적 자극에 대한 여러 연구결과에서는 NH_4OH 의 해수용액을 농도를 달리하여 생식소에 직접 주사하면 채란·채정이 가능하며, 인공수정시 난발생이 정상적으로 일어난다고 하였다(Sagara, 1958a; Choi, 1971; Choi and Song, 1974; Choi, 1975; Choi, 1976). Choi (1975)는 NH_4OH 의 해수용액을 주사함으로서 pH 상승을 일으켜 방란·방정을 유도하며, 조개류의 종류에 따라 방란·방정을 일으키는 NH_4OH 의 최적농도에 차이가 있다고 하였다.

본 연구에서는 화학적 자극에 대한 연구는 실시하지 않았으며, 물리적 및 생물학적 자극 방법을 사용하여 채란·채정하였다. 물리적 자극 방법으로는 공기 노출과 수온상승자극을 병행하여 사용하였으며, 생물학적 자극 방법으로는 정액

첨가자극 방법을 병행하여 사용하였다. 본 연구결과 공기노출, 수온상승과 정액 첨가자극을 순서대로 병행하여 200개체 어미에서 32,200,000개의 알을 얻었으며, D형유생 발생률은 46.9%였다. 공기노출과 수온상승 자극으로 4회 채란한 결과, 7월 하순에 어미 1개체당 채란량이 가장 많았고, 시간이 경과할수록 적었다. 백합의 채란·채정에서 어미의 반응률, 산란수 및 D형유생의 발생률은 어미의 성숙도에 따라 달라, 자연에서 충분히 성숙한 어미를 확보하는 것이 중요하며, 전북 김제시 심포리 앞바다에서 채란을 위한 어미 확보 시기는 7월 하순이 가장 좋은 것으로 판단되었다.

수정(**fertilization**)이란 반수체(**haploid**)의 두 배우자, 즉 난자와 정자가 융합하여 배수체(**diploid**)인 접합자가 되는 것을 말하며, 이로서 접합자(수정란)는 개체 발생을 시작하게 된다(김, 1994). 산란된 알이나 적출된 알은 해수 중에서 난핵포 붕괴가 일어나며, 정자 없는 해수에서 배양할 때 제1성숙분열 중기에서 발생이 정지되므로(Longwell *et al.*, 1967; Osanai, 1985) 정상적인 수정과 발생이 이루어지기 위해서는 산출된 알은 일정 시간 내에 수정이 이루어져야 한다. 정자는 생식소로부터 적출 직후에 해수의 유입으로 운동이 시작되며, 본 연구에서 채란직후와 1시간 후의 수정률은 각각 99.0%와 98.0%로 높았으나 시간이 경과할수록 수정률은 떨어져 4시간 후에는 46.8%였다. D형유생까지의 발생률은 채란·채정 직후 61.9%였으나 시간이 경과할수록 급격히 떨어지는 경향을 보였다.

조개류의 발생에서 수온이 초기 난할기의 세포분열과 유생의 발생 및 사육에 큰 영향을 미치며, 대사율과 성장률에는 직접적으로 그리고 영양·환경 측면에서 간접적으로 영향을 미치는 요인이다(Ventilla, 1982).

백합 수정란의 발생 수온에 대하여 Sagara (1958b)는 수정란의 발생 가능 수온은 19~31℃이며, D형유생의 생존을 등을 고려한 최적수온은 21~27℃이고, 16℃에서는 정상적으로 발생이 되지 않는다고 보고하였다. 본 연구에서는 20, 25, 30, 33℃에서 정상적인 D형유생으로 발생한 수온은 20~30℃였고, 33℃에서는 담륜자기까지 발생이 이루어졌으나 D형유생까지는 발생되지 않아 Sagara (1958b)의 결과 수온 범위 내에 있었다. 그리고 수정란의 발생시간이 수온이 높을수록 빨라지는 것은 수온상승에 따라 생화학 반응 및 생물학적 대사 속도가 빨라진다고 하는 Q_{10} 의 법칙에 부합되는 결과이다.

조개류의 생산에서 어미의 생식소 발달과 발생에 있어 적산온도를 산정할 때 생물학적 영도의 적용이 필요하다. 생물학적 영도는 발생이 정지하는 기초수온을 나타내는 것으로 발생속도에 관한 자료를 얻을 수 있다(Chang *et al.*, 2000).

생물의 생물적인 활동이 모두 정지하는 온도는 생물마다 다르며 이 온도 이하에서는 발생하기 힘들다. 생물학적 영도를 이용하여 발생단계별 적산수온을 계산하며, 적산수온은 발생이 진행됨에 따라 지수함수적으로 증가하고 이 적산수온을 이용하면 발생과정에 있어 온도의 변화에 따르는 발생소요시간을 예측할 수 있다. 지금까지 연구된 조개류의 생물학적 영도는 진주조개 12.3℃, 바윗굴 10.96℃, 혼한가리비 10.44℃, 참굴 5.7℃, 북방대합 5.5℃, 코끼리조개 3.82℃였으며, 본 연구의 백합은 12.4℃로 진주조개와 비슷한 결과를 보였다. 이는 Sagara (1958b)의 수온별 발생실험에서 백합은 12.4℃ 이하에서는 20시간 후에 전부 사멸한 결과와 일치하였다.

염분에 따른 난발생에서 Sagara (1958b)는 백합의 수정란은 염분 41.5 이상과 염분 10.2 이하에서는 발생되지 않고, 발생가능한 염분은 19.3~36.3으로 보고하였다. 본 연구에서 수정란이 D형유생으로 발생 가능한 염분은 20.0~37.5로 Sagara (1958b)의 연구와 유사한 결과를 보였다.

백합 수정란의 발생단계별 발생 소요시간에서 Choi and Song (1974)은 수온 27℃에서 수정 후 2세포기까지 1시간 11분 소요되며, 4세포기 1시간 42분, 8세포기 2시간 3분, 포배기 3시간 55분 그리고 수정 후 5시간 37분 후 담륜자로 발생한다고 하였다. Choi (1975)는 수온 25.2~29.3℃에서 수정 후 극체 출현은 50.2분, 2세포기 1시간 10분, 4세포기 1시간 48분, 8세포기 2시간 21분, 낭배기 4시간 23분, 담륜자 5시간 41분 그리고 D형유생까지는 23시간 31분이 소요된다고 하였다. Choi (1976)는 알의 직경은 86 μm 이며, 수정 후 53분 후 제1극체가 출현하고, 2세포기 1시간 3분, 4세포기 1시간 28분, 상실기 3시간 48분, 수정 후 6시간 6분 담륜자기, D형유생까지는 22시간 47분이 소요되며, D형유생의 크기는 각장 108.8 μm 이라고 보고하였다. 吉田(1941)은 수정 후 24시간이 경과하면 D형유생이 되고, 小野(1972)는 D형유생까지 20~23시간이 소요된다고 보고하였다. Choi (1971)는 수정 후 12시간 이내에 담륜자로 되고 24시간내에 D형유생으로 되었다고 보고하였다. 日本水産資源保護協會(1985)는 백합 알의 크기는 60~

80 μm 로서, 수온 27℃에서 약 1시간 후 1분열이 일어나고, 9시간에 담륜자, 20시간 이내에 *veliger* 유생으로 발생하며, D형유생의 크기는 각장 100 μm 라고 보고하였다.

본 연구에서 수온 20℃, 25℃, 30℃에서 수정 후 극체방출까지 소요시간은 각각 35분, 20분, 15분으로 **Choi** (1975, 1976)의 50.2분(수온 25.2~29.3℃)과 53분으로 차이가 있었다. 그리고 담륜자까지 소요시간은 각각 34시간 5분, 12시간 10분, 9시간 50분으로 **Choi** (1975, 1976)의 5시간 41분, 6시간 6분, 그리고 日本水産資源保護協會(1985)의 9시간과는 차이가 있었다. 이것은 연구자에 따라 각 발생단계를 구분하는 기준 설정에 차이가 있는 것으로 생각되며, 본 연구에서 담륜자 단계는 알에서 부화하여 섬모로 활발하게 운동을 시작하는 시점으로 하였다.

제 4장 유생의 성장과 생존

제 1절 서 설

조개류의 수정란은 세포분열에 의해 포배기, 낭배기, 담륜자기 및 *veliger*기를 거쳐 D형유생으로 된다. 조개류 유생의 부유기간은 담륜자 유생에서부터 부착성 혹은 일시부착성 조개류는 부착기질에 부착하거나, 비부착성 조개류는 바닥에 침착하여 바닥 생활을 시작하는 변태 완료시까지 부유생활을 한다. 부유시기의 유생은 매우 작고 연약하여 외부 환경의 변화에 영향을 많이 받으므로 사육 환경의 관리, 먹이생물의 종류와 공급에 세심한 주의가 필요하다.

조개류 부유유생의 성장 단계별 외부형태는 종류에 따라 차이가 있으며, 이러한 외부형태가 자연에 분포하는 유생을 분류하는 데 매우 중요한 기초 자료가 된다.

조개류 유생의 성장과 생존에 관한 연구는 수온과 염분의 환경적 요인(Helm and Millican, 1977; Dos Santos and Nascimento, 1985; Nell and Holliday, 1988; Robert et al., 1988; His et al., 1989), 먹이생물 종류(Wilson, 1978; Romverger and Epifanio, 1981; Enright et al., 1986; Helm and Laing, 1987; Laing and Verdugo, 1991), 난지질(Gallager and Mann, 1986), 먹이생물 공급량(Epifanio and Ewart, 1977; Nell and Wisely, 1984), 유생의 먹이섭취 행동(His and Seaman, 1992) 그리고 먹이의 선택성(Wisely and Reid, 1978) 등이 있다.

한국에서 조개류 유생사육에 관한 연구는 중요 조개류 유생기 먹이와 성장(Yoo, 1969)을 시작으로, 피조개(Kim and Koo, 1973; Pyen et al., 1976; Kim et al., 1980), 참가리비 *Patinopecten yessoensis* (Lee and Jo, 1980), 굴류(Kim et al., 1995; Min et al., 1995; Yoo and Park, 1997; Min et al., 1999), 비단가리비 *Chlamys farreri* (Park et al., 2005)를 대상으로 사육수온, 수용밀도, 먹이생물의 종류 및 공급량 등에 관한 것이 있다.

백합 유생사육에 관한 연구는 유생사육(吉田, 1941; 小野, 1972; 上城 等, 1978; Choi and Song, 1974; Choi, 1975; Choi, 1976), 초기 D형유생의 적수온과 적염분(Sagara, 1958b), D형유생의 성장과 생존율에 미치는 수온, 염분, 조도의 영향

(上城 等, 1978), 먹이생물 종류와 혼합비율에 따른 유생사육(上城 等, 1979) 등이 있다. 그러나 백합의 유생사육 연구는 단일 수온과 염분에 의한 사육 실험에 관한 것이었고, 유생사육시 먹이생물의 적정 공급량과 유생에게 일정기간 절식 후 먹이생물을 다시 공급함으로써 유생의 성장과 생존에 대해서 검토한 연구 등은 없는 실정이다.

본 연구에서는 백합 유생의 성장단계에 따른 특징과 인공종묘생산을 위한 유생사육의 최적 사육환경과 먹이생물의 종류 및 공급량을 조사하고, 인공종묘생산시 먹이생물이 부족할 경우에 대비하여 유생을 일정기간 절식 후 먹이생물 공급에 의한 성장 및 생존율을 조사 분석하였다.

제 2절 재료 및 방법

1. 유생의 성장과 생존

유생사육은 2002년 7월 25일부터 29일까지 4일간 실시하였다. 유생사육에 사용된 D형유생은 7월 24일 채란된 각장 $132.7 \pm 6.0 \mu\text{m}$ 의 크기였으며, 10 m^3 사각 FRP코팅 콘크리트 수조에 22,800,000개체를 수용하여, 사육밀도는 사육수 1 mL당 2.28개체였다. 먹이생물은 *I. galbana* 단일 종을 *hemacytometer*를 사용하여 1 mL당 세포수를 계수한 후 초기 D형유생에게 개체당 매일 3,000세포를 공급하였으며, 유생이 성장함에 따라 공급량을 증가시켜 4일째 6,000세포를 오전 · 오후 10시에 2회 나누어 공급하였다. 유생사육 기간 중 수온은 $29.9 \pm 1.3^\circ\text{C}$, 염분은 담수를 희석하여 25.8 ± 0.2 였다. 사육수는 1 μm 까지 여과한 후 자외선 살균처리하여 사용하였으며, 유생사육기간 중 사육 2일째에 전량 환수하였다. 유생의 성장은 사육수조에서 50 mL씩 5회 표본하여 각장과 각고를 만능투영기(*Nikon V-12*)를 이용하여 1 μm 까지 측정하였고, 생존율은 표본 개체수를 계수한 평균치를 용적법으로 계산한 후 전체 유생의 생존율로 하였다.

2. 수온에 따른 유생의 성장과 생존

유생의 적정 사육수온을 알기 위하여 2001년 7월 21일부터 24일까지는 수온 18, 23, 28, 33°C 에서, 2002년 8월 13일부터 16일까지는 수온 36°C 와 39°C 에서 사육 실험을 실시하였다. 유생사육에 사용된 D형유생은 2001년에 각장 $130.4 \pm 3.6 \mu\text{m}$, 2002년에 각장 $130.0 \pm 3.5 \mu\text{m}$ 의 크기를 1 L beaker에 사육수 1 mL당 5개체를 수용하여 사육하였다. 먹이생물로는 *I. galbana* 단일 종을 공급하였으며, *hemacytometer*를 이용하여 1 mL당 세포수를 계수한 후 유생이 성장함에 따라 공급량을 증가시켜 유생 1개체당 매일 8,000~12,000세포를 오전 · 오후 10시에 2회 나누어 공급하였다. 염분은 1 μm cartridge filter를 사용하여 여과된 해수에 증류수를 혼합하여 30으로 조절하였고, 수온은 water bath를 이용하여 조절하였다. 적절한 수질을 유지하기 위하여 2일째 사육수를 전량 환수하였다. 매일 오전 10시에 수온과 염분을 측정하고, 성장과 생존율을 비교 분석하였다. 유생의 성장은 10 mL를 3회 표본하여 만능투영기(*Nikon V-12*)를 이용하여 각장과 각고

를 1 μm 단위까지 측정하여 조사 분석하였고, 생존 개체수를 계수하여 생존율을 분석하였다. 실험은 3반복으로 실시하였다.

3. 염분에 따른 유생의 성장과 생존

유생의 적정 사육염분을 알기 위하여 2001년 8월 9일부터 12일까지 3일간 염분 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 및 40에서 유생사육을 실시하였다. 실험에 사용된 D형유생의 크기는 각장 $131.4 \pm 2.6 \mu\text{m}$ 였으며, 염분은 해수, 증류수 및 천일염을 혼합하여 농도를 조절하였고, 사육수온은 33°C 였다. 그 밖의 실험조건은 수온별 유생사육에서와 동일하게 하였다.

4. 수용밀도에 따른 유생의 성장과 생존

유생의 적정 사육밀도를 알기 위하여 2002년 8월 26일부터 30일까지 4일간 사육수 1 mL당 D형유생을 1, 5, 10 및 20개체를 수용하여 사육 밀도별 유생사육을 실시하였다. 실험에 사용된 D형유생의 크기는 각장 $133.1 \pm 2.5 \mu\text{m}$ 였으며, 사육수온은 33°C , 염분은 25로 조절하였다. 그 밖의 실험 조건은 수온별 유생사육에서와 동일하게 하였다.

5. 먹이생물 종류에 따른 유생의 성장과 생존

먹이생물의 종류에 따른 유생의 성장과 생존율을 알기위하여 2002년 8월 26일부터 30일까지 4일간 먹이의 종류를 달리하여 사육 실험을 실시하였다. 실험에 사용된 D형유생의 크기는 각장 $133.1 \pm 2.5 \mu\text{m}$ 였으며, 먹이생물은 규조류(Class: Bacillariophyceae)인 *Chaetoceros calcitrans*, 착편모조류(Class: Haptophyceae)인 *Isochrysis galbana*, 녹조류(Class: Chlorophyceae)인 *Nannochloris oculata* 3종의 미세조류이었다(Table 6). 이 실험에서 3종류의 미세조류를 단독으로 공급한 실험구와 3종을 혼합하여 공급한 실험구를 설정하여 성장과 생존율을 비교하였다. 그 밖의 실험 조건은 수온별 유생사육에서와 동일하게 하였다.

Table 6. Cell size of three microalgal species

Species	Source of strain	Cell size (mean±SD, μm)	
		Major axis	Minor axis
<i>Chaetoceros calcitrans</i>	KMCC B-258	5.4±0.5	4.4±0.5
<i>Isochrysis galbana</i>	KMCC H-2	5.0±0.6	4.5±0.5
<i>Nannochloris oculata</i>	KMCC C-31	2.7±0.5	2.5±0.4

KMCC: Korea Marine Microalgae Culture Center, B: Bacillariophyceae, H: Haptophyceae, C: Chlorophyceae.

6. 먹이생물 공급량에 따른 유생의 성장과 생존

먹이생물 공급량에 따른 유생의 성장과 생존율을 알아보기 위하여 2002년 7월 25일부터 28일까지 3일간 먹이의 공급량을 달리하며 사육실험을 실시하였다. 실험에 사용한 D형유생의 크기는 각장 $132.7\pm5.9\ \mu\text{m}$ 였으며, *C. calcitrans*, *I. galbana*, *N. oculata* 3종의 미세조류를 동일한 세포수로 혼합한 후 사육 0~1, 2, 3일째의 공급량을 D형유생에게 1개체당 250-500-1,000세포, 1,000-2,000-3,000세포, 3,000-4,000-5,000세포, 5,000-6,000-7,000세포, 7,000-8,000-9,000세포로 구분한 실험구를 설정하여 유생의 성장 및 생존율을 비교 분석하였다. 실험은 2반복으로 실시하였으며, 그 밖의 실험조건은 수온별 실험에서와 동일하게 하였다.

7. 절식 기간에 따른 유생의 성장과 생존

유생의 절식실험은 2002년 8월 26일부터 9월 3일까지 8일간 실시하였다. 유생의 절식 기간은 1일, 2일, 4일로 나누어 절식 후 먹이생물을 공급하였고, 먹이생물을 공급하지 않은 실험구 그리고 절식 없이 당일 먹이생물을 공급한 실험구를 함께 설정하여 유생의 성장과 생존율을 비교 분석하였다. 실험에 사용한 D형유생의 크기는 각장 $133.1\pm2.5\ \mu\text{m}$ 였다. 먹이생물은 *C. calcitrans*, *I. galbana*, *N. oculata*로서 초기 D형유생에게 1개체당 매일 6,000세포를 공급하였으며, 유생이 성장함에 따라 공급량을 증가시켜 4일째 10,000세포를 공급하였다. 수온은 33℃,

염분은 30으로 조절하였으며, 실험은 2반복으로 실시하였다. 그 밖의 실험조건은 수온별 유생사육에서와 동일하게 하였다.

8. 통계처리

각 실험 결과로부터 얻어진 모든 측정값들은 평균±표준편차(SD)로 표시하였으며, 측정값들 사이의 유의차 유무는 SPSS (ver. 12) 통계 *package program*을 사용하여 95% 신뢰수준에서 ANOVA와 Duncan's *multiple range test*로 검정하였다.

제 3절 결 과

1. 유생의 성장과 생존

각장 $132.7 \pm 6.0 \mu\text{m}$, 각고 $104.0 \pm 4.7 \mu\text{m}$ 크기의 D형유생 228,000,000개체를 10 m^3 수조에서 사육한 결과, 유생은 사육 1일째 각장 $153.3 \pm 5.0 \mu\text{m}$, 2일째 $171.3 \pm 6.1 \mu\text{m}$ 로 성장하였으며, 3일째에는 $189.0 \pm 6.3 \mu\text{m}$ 크기로서 유생이 수조 밑바닥쪽에 주로 분포하게 되고, 일부 유생은 발을 사용하여 포복활동을 시작하였다. 그리고 4일째에는 $197.8 \pm 6.1 \mu\text{m}$ 크기로 성장하여 유생사육 기간 동안의 일간성장은 $16.3 \mu\text{m}$ 로 매우 빠른 성장을 보였다. 따라서 유생의 수조내 분포와 포복활동을 고려할 때 백합 침착기 유생의 크기는 각장 $185 \mu\text{m}$ 이상으로 판단되었다. 생존율은 사육 1일째 92.5%, 2일째 80.3%, 3일째 49.1%, 4일째 43.9%였으며, 환수 후 많은 폐사가 일어났다(Figs. 19 and 20).

유생의 각장(SL)에 대한 각고(SH)의 상대성장식은 $\text{SH} = 1.0638\text{SL} - 35.8190$ ($R^2 = 0.9651$)이었다(Fig. 21).

2. 수온에 따른 유생의 성장과 생존

유생의 수온별 사육실험 결과는 Table 7 및 8과 같다. 각장의 성장은 18°C 에서 33°C 까지는 수온이 높을수록 빨랐으며, 그 이상의 수온에서는 성장이 늦었다. 사육 3일째 18, 23, 28, 33 및 36°C 의 실험구에서 각장은 각각 $141.1 \pm 8.1 \mu\text{m}$, $166.2 \pm 9.5 \mu\text{m}$, $185.0 \pm 11.8 \mu\text{m}$, $198.4 \pm 13.1 \mu\text{m}$, $159.8 \pm 7.6 \mu\text{m}$ 였고, 수온 39°C 에서는 사육 3일째 전량 폐사하였다. 사육 3일째 각 수온에 따른 각장의 성장은 실험구별로 유의한 차이를 보였고($P < 0.05$), 침착기 유생으로 성장한 수온은 28°C 와 33°C 였다. 일간성장은 수온 18°C , 23°C 및 28°C 에서 각각 $3.6 \mu\text{m}$, $11.9 \mu\text{m}$, $18.2 \mu\text{m}$ 였으며, 33°C 에서 $22.7 \mu\text{m}$ 로 성장이 가장 빨랐으나, 36°C 에서는 $9.9 \mu\text{m}$ 로 성장이 늦었다.

유생의 생존율은 수온 33°C 에서 79.8%로 가장 높았으며, 18°C 에서 75.6% 그리고 23°C 와 28°C 에서는 원생동물의 발생으로 인하여 생존율이 각각 38.3%, 53.9%로 낮았고, 36°C 에서는 54.9%였으나, 39°C 에서는 사육 3일째에 전량 폐사하였다.

따라서 유생의 성장과 생존율을 고려할 때 백합 유생사육 적정수온은 $28 \sim 33^\circ\text{C}$, 최적수온은 33°C 로 나타났다.

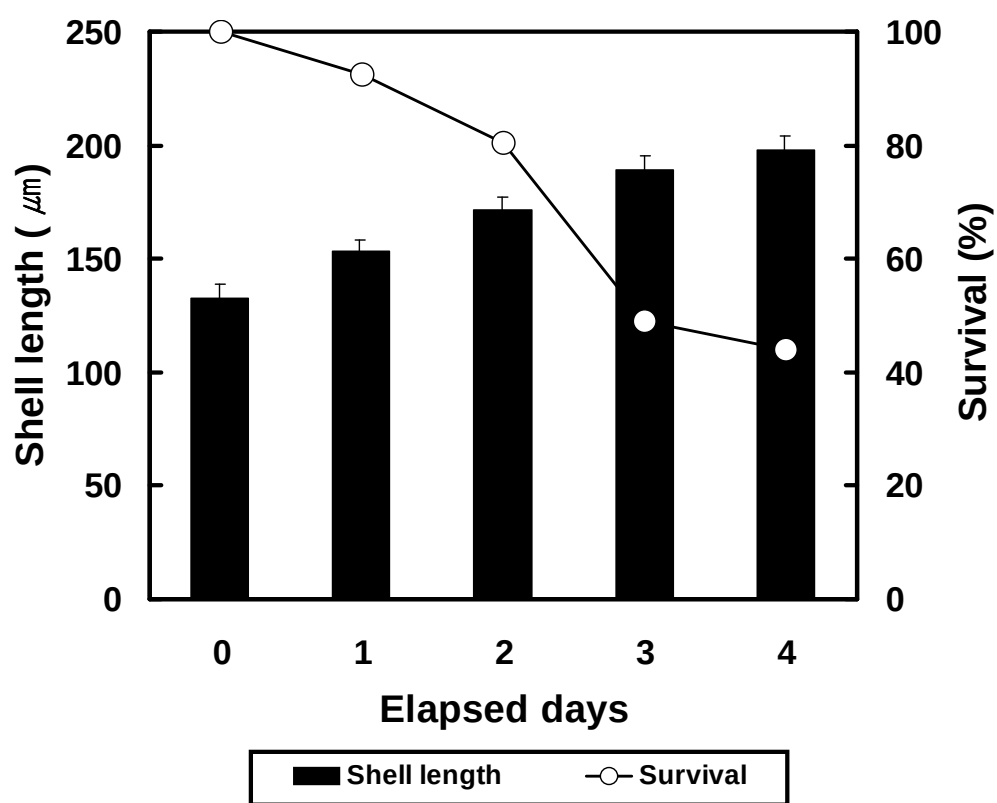


Fig. 19. Growth of shell length and survival (%) in *Meretrix lusoria* larvae.

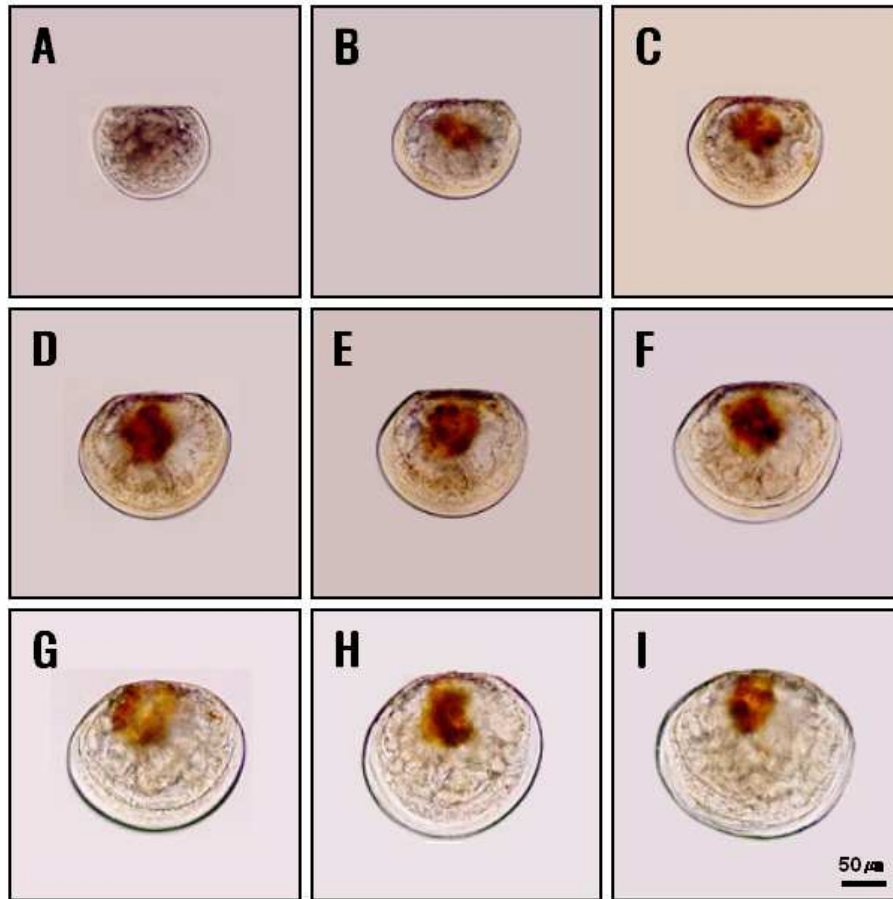


Fig. 20. *Developmental stage of Meretrix lusoria larvae. A~D: D-shaped larva (shell length 130~160 μm), E~F: umbo stage (shell length 170~180 μm), G~H: metamorphosing stage (shell length 190~210 μm).*

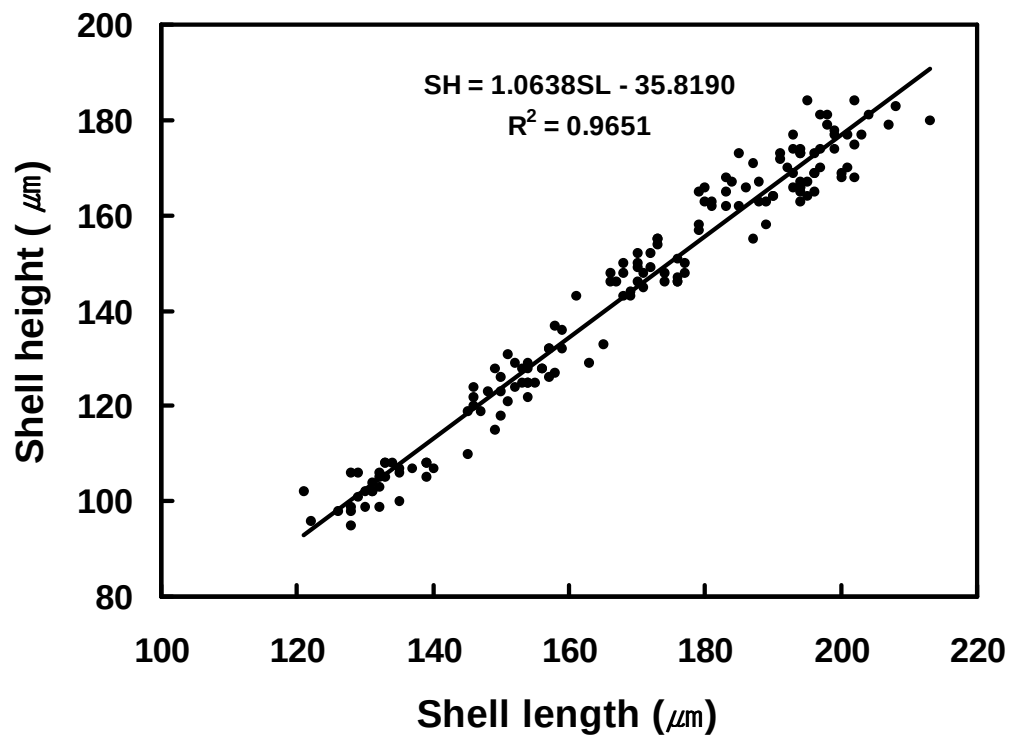


Fig. 21. Relationship between shell length (SL) and shell height (SH) of *Meretrix lusoria* larvae.

Table 7. Growth and daily increment of shell length (SL) with water temperature of *Meretrix lusoria* larvae

Water temperature (°C)	Elapsed days (mean±SD, μ m)				Daily increment of SL (μ m)
	Initial	1	2	3	
18	130.4±3.6	132.8±6.7 ^a	136.3±6.5 ^a	141.1±8.1 ^a	3.6 ^a
23	130.4±3.6	144.7±5.4 ^b	157.6±9.8 ^b	166.2±9.5 ^b	11.9 ^b
28	130.4±3.6	152.0±7.1 ^c	174.1±8.5 ^c	185.0±11.8 ^c	18.2 ^c
33	130.4±3.6	159.4±7.4 ^d	178.6±7.2 ^d	198.4±13.1 ^d	22.7 ^d
36	130.0±3.5	148.4±4.5 ^e	158.1±7.9 ^b	159.8±7.6 ^e	9.9 ^b
39	130.0±3.5	133.3±4.5 ^f	134.0±5.1 ^e	dead	

Values in the same column having different alphabetical superscripts indicate that they are significantly different (P<0.05).

Table 8. Survival (%) with water temperature of *meretrix lusoria* larvae

Water temperature (°C)	Elapsed days (mean±SD)			
	Initial	1	2	3
18	100	95.5±4.8 ^{bc}	92.8±5.4 ^a	75.6±3.4 ^a
23	100	92.2±6.3 ^{bc}	58.3±15.3 ^c	38.3±17.6 ^b
28	100	95.5±2.5 ^{bc}	86.1±5.9 ^{ab}	53.9±3.5 ^b
33	100	93.3±8.8 ^a	90.6±3.4 ^a	79.8±9.8 ^a
36	100	87.4±2.0 ^b	74.9±2.1 ^b	54.9±1.4 ^b
39	100	62.5±3.9 ^c	10.0±3.5 ^d	dead

Values in the same column having different alphabetical superscripts indicate that they are significantly different (P<0.05).

3. 염분에 따른 유생의 성장과 생존

염분의 농도를 달리하여 유생을 사육한 결과, 염분 25를 중심으로 염분이 높거나 낮아짐에 따라 성장이 늦어지는 경향을 보였다. 사육 3일째 염분 25에서 각장 $192.6 \pm 8.3 \mu\text{m}$ 크기로 성장이 가장 빨라 다른 염분과는 성장에 있어 유의한 차이를 보였으나($P < 0.05$), 염분 20, 30, 35간에는 성장에 있어 유의한 차이가 없었다($P > 0.05$). 사육 3일째 침착기 유생으로 성장하게 되는 염분은 20, 25, 30, 35로 유생사육의 적정염분은 20~35로 나타났다. 일간성장은 염분 25에서 $20.4 \mu\text{m}$ 로 성장이 가장 빨랐으며, 염분 20, 30, 35에서는 $17.7 \sim 18.6 \mu\text{m}$ 였고, 염분 10에서 $9.9 \mu\text{m}$ 로 가장 늦은 성장을 보였다(Table 9).

Table 9. Growth and daily increment of shell length (SL) with salinity of *Meretrix lusoria* larvae

Salinity	Elapsed days (mean $\pm$ SD, μm)				Daily increment of SL (μm)
	Initial	1	2	3	
0	131.4 $\pm$ 2.6	dead			
5	131.4 $\pm$ 2.6	130.0 $\pm$ 6.4 ^a	133.4 $\pm$ 4.5 ^a	dead	
10	131.4 $\pm$ 2.6	141.8 $\pm$ 5.2 ^b	150.8 $\pm$ 5.8 ^b	161.2 $\pm$ 6.7 ^a	9.9 ^a
15	131.4 $\pm$ 2.6	154.0 $\pm$ 5.1 ^{cd}	168.1 $\pm$ 6.8 ^c	177.3 $\pm$ 9.7 ^b	15.3 ^b
20	131.4 $\pm$ 2.6	158.5 $\pm$ 5.4 ^{ef}	173.5 $\pm$ 5.5 ^d	187.3 $\pm$ 8.9 ^c	18.6 ^c
25	131.4 $\pm$ 2.6	159.7 $\pm$ 6.0 ^f	176.8 $\pm$ 8.2 ^e	192.6 $\pm$ 8.3 ^d	20.4 ^d
30	131.4 $\pm$ 2.6	157.2 $\pm$ 5.9 ^{de}	171.0 $\pm$ 8.5 ^{cd}	186.5 $\pm$ 9.1 ^c	18.4 ^c
35	131.4 $\pm$ 2.6	156.7 $\pm$ 4.8 ^{de}	171.2 $\pm$ 8.2 ^{cd}	184.5 $\pm$ 7.8 ^c	17.7 ^c
40	131.4 $\pm$ 2.6	153.4 $\pm$ 4.4 ^c	163.4 $\pm$ 9.2 ^f	175.2 $\pm$ 6.5 ^b	14.6 ^b

Values in the same column having different alphabetical superscripts indicate that they are significantly different ($P < 0.05$).

유생은 염분 0에서 당일, 염분 5에서 사육 3일째에 전량 폐사하였으나, 사육 3일째 염분 10과 15에서 90% 이상의 높은 생존율을 보였고, 염분 20~40에서 생존율은 48.1~70.7%였다(Table 10).

Table 10. Survival (%) with salinity of *Meretrix lusoria* larvae

Salinity	Elapsed days (mean±SD)			
	Initial	1	2	3
0	100	dead		
5	100	18.7±25.7 ^a	10.7±10.1 ^a	dead
10	100	100±0.0 ^b	97.3±2.3 ^{de}	90.7±2.3 ^a
15	100	100±0.0 ^c	98.7±2.3 ^e	94.7±2.3 ^a
20	100	92.0±4.0 ^c	89.3±4.6 ^{cd}	65.3±6.1 ^b
25	100	96.0±4.0 ^c	90.7±6.1 ^{cde}	70.7±12.2 ^b
30	100	65.3±2.3 ^c	66.0±2.3 ^{cde}	48.1±10.6 ^b
35	100	94.2±2.0 ^c	90.2±5.6 ^{bc}	68.0±4.0 ^b
40	100	88.0±4.0 ^c	83.6±3.4 ^b	59.1±6.7 ^c

Values in the same column having different alphabetical superscripts indicate that they are significantly different (P<0.05).

따라서 백합 유생의 생존 가능 염분은 10~40, 유생의 성장과 생존율을 고려한 적정염분은 20~35, 최적염분은 25였다.

4. 수용밀도에 따른 유생의 성장과 생존

유생의 수용밀도를 달리하여 사육실험을 실시한 결과, 성장은 1개체/mL와 5개체/mL 실험구에서 사육 4일째 각각 191.6±9.2 μm , 193.1±10.6 μm 로 성장하여 일간 성장은 각각 14.6 μm , 15.0 μm 였고, 10개체/mL와 20개체/mL 실험구에서는 각각 175.1±10.1 μm , 172.5±6.9 μm 로 성장하여 일간성장이 각각 10.5 μm , 9.8 μm 였다. 사육 4일째에 침착기 유생으로 성장하게 되는 실험구는 1개체/mL와 5개체/mL였다. 유생의 사육밀도에 따른 성장은 5개체/mL 이하에서는 유의한 차이가 없었으나(P>0.05), 10개체/mL와 20개체/mL 실험구와는 유의한 차이가 있었다(P<0.05) (Table 11).

생존율은 1개체/mL와 5개체/mL 실험구에서 67.2%와 68.0%로 높은 생존율을 보였고, 10개체/mL 실험구에서 57.5%, 20개체/mL 실험구에서 46.3%로 나타나 밀도가 높을수록 생존율이 낮았다(Table 12).

따라서 성장과 생존율을 고려한 백합 유생의 적정 사육밀도는 사육수 1 mL 당 5개체 이내로 나타났다.

Table 11. Growth and daily increment of shell length (SL) with density of *Meretrix lusoria* larvae

Larvae density (ind./mL)	Elapsed days (mean±SD, μ m)					Daily increment of SL (μ m)
	Initial	1	2	3	4	
1	133.1±2.5	156.8±4.2	176.7±7.7	185.7±6.6	191.6± 9.2 ^a	14.6 ^a
5	133.1±2.5	155.6±4.6	177.6±10.1	183.7±8.0	193.1±10.6 ^a	15.0 ^a
10	133.1±2.5	150.2±3.9	165.7±7.5	169.3±8.6	175.1±10.1 ^b	10.5 ^b
20	133.1±2.5	154.3±5.0	163.9±7.5	168.7±4.9	172.5± 6.9 ^b	9.8 ^b

Values in the same column having different alphabetical superscripts indicate that they are significantly different (P<0.05).

Table 12. Survival (%) with density of *Meretrix lusoria* larvae

Larvae density (ind./mL)	Elapsed days (mean±SD)				
	Initial	1	2	3	4
1	100	85.8±5.9 ^{ab}	78.3±7.1 ^{ab}	73.3±2.4 ^b	67.2±3.9 ^c
5	100	92.0±5.7 ^b	85.0±7.1 ^b	80.6±0.9 ^c	68.0±1.4 ^c
10	100	82.0±0.0 ^a	73.0±9.9 ^{ab}	63.2±2.8 ^a	57.5±2.1 ^b
20	100	74.5±7.8 ^a	63.0±4.2 ^a	60.7±1.8 ^a	46.3±2.5 ^a

Values in the same column having different alphabetical superscripts indicate that they are significantly different (P<0.05).

5. 먹이생물의 종류에 따른 유생의 성장과 생존

먹이생물 종류에 따른 유생의 성장을 비교한 결과, *I. galbana*, *C. calcitrans*, *N. oculata*를 동일비율로 혼합하여 공급한 실험구가 사육 4일째 각장 $193.1 \pm 11.4 \mu\text{m}$, 일간성장 $15.0 \mu\text{m}$ 로 성장이 가장 빨랐으며, 먹이 종류를 단독으로 공급한 실험구 중에서는 *C. calcitrans*와 *I. galbana*를 단독으로 공급한 실험구에서 사육 4일째 각장이 각각 $187.2 \pm 8.4 \mu\text{m}$, $181.8 \pm 10.1 \mu\text{m}$ 로 성장하여 일간성장이 각각 $13.5 \mu\text{m}$, $12.2 \mu\text{m}$ 였다. 녹조류인 *N. oculata*를 단독으로 공급한 실험구는 사육 4일째 $173.1 \pm 10.4 \mu\text{m}$, 일간성장 $10.0 \mu\text{m}$ 로 성장이 가장 늦었다.

먹이생물 종류에 따른 유생의 성장은 3종의 먹이를 혼합한 실험구와 *C. calcitrans*의 단독 먹이 실험구 사이에는 유의한 차이가 없었으나($P > 0.05$), *I. galbana*와 *N. oculata*를 단독으로 공급한 실험구와는 유의한 차이가 있었다($P < 0.05$)(Table 13).

Table 13. Growth and daily increment of shell length (SL) with species of microalgae of *Meretrix lusoria* larvae

Microalgae	Elapsed days (mean $\pm$ SD, μm)					Daily increment of SL (μm)
	Initial	1	2	3	4	
<i>Isochrysis galbana</i>	133.1 ± 2.5	153.1 ± 5.4^{ab}	168.0 ± 7.2^{ab}	174.4 ± 5.7^a	181.8 ± 10.1^b	12.2^b
<i>Chaetoceros calcitrans</i>	133.1 ± 2.5	152.5 ± 6.1^{ab}	171.7 ± 9.6^b	183.1 ± 8.7^b	187.2 ± 8.4^{bc}	13.5^{bc}
<i>Nannochloris oculata</i>	133.1 ± 2.5	151.1 ± 4.8^a	163.0 ± 7.5^a	167.4 ± 8.5^a	173.1 ± 10.4^a	10.0^a
Mixture	133.1 ± 2.5	155.6 ± 4.6^b	171.1 ± 7.9^{ab}	183.7 ± 8.0^b	193.1 ± 11.4^c	15.0^c

Values in the same column having different alphabetical superscripts indicate that they are significantly different ($P < 0.05$).

생존율은 사육 4일째 *I. galbana* 실험구에서 49.7%로 다른 실험구와는 유의한 차이를 보였고($P < 0.05$), 그 밖의 실험구의 생존율은 77.7~80.0%로 높은 생존율

을 보였으며, 실험구간에는 유의한 차이가 없었다($P>0.05$)(Table 14).

Table 14. Survival (%) of *Meretrix lusoria* larvae fed three different and mixed microalgae

Microalgae	Elapsed days (mean $\pm$ SD)				
	Initial	1	2	3	4
<i>Isochrysis galbana</i>	100	97.0 $\pm$ 6.0 ^a	78.0 $\pm$ 18.0 ^a	74.0 $\pm$ 16.3 ^a	49.7 $\pm$ 9.3 ^a
<i>Chaetoceros calcitrans</i>	100	100 $\pm$ 0.0 ^a	92.0 $\pm$ 9.2 ^a	85.3 $\pm$ 14.5 ^a	77.7 $\pm$ 13.0 ^b
<i>Nannochloris oculata</i>	100	91.0 $\pm$ 7.6 ^a	90.0 $\pm$ 9.5 ^a	87.3 $\pm$ 8.9 ^a	78.3 $\pm$ 15.7 ^b
Mixture	100	93.0 $\pm$ 11.5 ^a	88.0 $\pm$ 9.8 ^a	87.3 $\pm$ 11.1 ^a	80.0 $\pm$ 12.2 ^b

Values in the same column having different alphabetical superscripts indicate that they are significantly different ($P<0.05$).

6. 먹이생물 공급량에 따른 유생의 성장과 생존율

먹이생물 공급량에 따른 유생의 각장 성장은 공급량 250세포/개체, 1,000세포/개체의 실험구에서 사육 3일째 각각 154.2 $\pm$ 11.8 μ m, 162.4 $\pm$ 13.4 μ m 크기로 나타나 일간성장은 각각 7.2 μ m, 9.9 μ m였다. 공급량 3,000세포/개체, 5,000세포/개체와 7,000세포/개체의 실험구에서는 각장이 각각 172.2 $\pm$ 10.1 μ m, 172.8 $\pm$ 10.0 μ m, 171.1 $\pm$ 10.1 μ m였으며, 일간성장은 각각 13.2 μ m, 13.4 μ m, 12.8 μ m였다. 한편 먹이생물을 공급하지 않은 실험구에서는 각장이 152.5 $\pm$ 8.3 μ m, 일간성장이 6.6 μ m였다. 먹이생물 공급량에 따른 유생의 각장 성장은 공급량 3,000세포/개체, 5,000세포/개체와 7,000세포/개체 실험구간에는 유의한 차이가 없었으나($P>0.05$), 공급량 250세포/개체, 5,000세포/개체와 먹이생물을 공급하지 않은 실험구와는 유의한 차이가 있었다($P<0.05$) (Table 15).

생존율은 사육 3일째 먹이생물을 공급하지 않은 실험구에서 62.7%로 가장 높았으며, 그 외 실험구의 생존율은 37.8~48.2%로 전실험구에서 생존율의 유의한 차이가 없었다($P>0.05$)(Table 16).

Table 15. Growth and daily increment of shell length (SL) with different amounts of microalgae of *Meretrix lusoria* larvae

Amounts of microalgae (cells/ind.)	Elapsed days (mean±SD, μm)				Daily increment of SL (μm)
	Initial	1	2	3	
250	132.7±5.9	143.5±8.1 ^a	151.8±10.9 ^{ab}	154.2±11.8 ^a	7.2 ^a
1,000	132.7±5.9	145.1±6.8 ^{ab}	156.0±11.9 ^b	162.4±13.4 ^a	9.9 ^a
3,000	132.7±5.9	147.1±8.8 ^{ab}	165.3±8.8 ^c	172.2±10.1 ^b	13.2 ^b
5,000	132.7±5.9	149.4±7.6 ^b	162.9±11.4 ^c	172.8±10.0 ^b	13.4 ^b
7,000	132.7±5.9	149.3±9.3 ^b	161.2±10.6 ^c	171.1±10.1 ^b	12.8 ^b
Not fed	132.7±5.9	145.2±5.9 ^{ab}	150.9±7.9 ^a	152.5±8.3 ^a	6.6 ^a

Values in the same column having different alphabetical superscripts indicate that they are significantly different (P<0.05).

Table 16. Survival (%) with different amounts of microalgae of *Meretrix lusoria* larvae

Amounts of microalgae (cells/ind.)	Elapsed days (mean±SD)			
	Initial	1	2	3
250	100	71.3±16.0 ^a	61.3±13.6 ^a	48.2±12.4 ^a
1,000	100	64.7±4.2 ^a	50.7±14.7 ^a	38.2±15.8 ^a
3,000	100	61.3±7.6 ^a	56.0±11.1 ^a	45.3±16.2 ^a
5,000	100	61.3±9.0 ^a	48.0±8.7 ^a	38.4±6.0 ^a
7,000	100	54.0±8.7 ^a	45.3±6.1 ^a	37.8±8.9 ^a
Not fed	100	73.3±5.0 ^a	66.7±6.1 ^a	62.7±6.6 ^a

Values in the same column having different alphabetical superscripts indicate that they are significantly different (P<0.05).

7. 절식 기간에 따른 유생의 성장과 생존

일정기간 절식한 후 먹이생물을 공급한 사육실험에서 유생의 성장과 일간성장을 Fig. 22에 나타내었다. 절식 없이 먹이생물을 매일 공급한 실험구에서 각장의 성장과 일간성장은 사육 4일째 각장 $192.5 \pm 11.2 \mu\text{m}$ 의 침착기 유생으로 성장하였고, 일간성장은 $14.9 \mu\text{m}$ 였다. 1일 절식 후 먹이생물을 공급한 실험구는 먹이생물 공급 후 4일째에 각장 $197.3 \pm 18.3 \mu\text{m}$, 일간성장 $12.3 \mu\text{m}$, 2일 절식 후 먹이생물을 공급한 실험구에서는 각장 $200.3 \pm 17.2 \mu\text{m}$, 일간성장 $11.4 \mu\text{m}$, 그리고 4일 절식 후 먹이를 공급한 실험구에서는 각장 $199.8 \pm 21.4 \mu\text{m}$, 일간성장 $10.1 \mu\text{m}$ 로 나타났다. 절식 후 먹이생물을 공급한 후 4일째에는 전실험구에서 침착기 유생으로 성장하였다. 한편 먹이생물을 공급하지 않은 실험구에서는 사육 8일째 각장 $165 \pm 9.6 \mu\text{m}$, 일간성장 $4.0 \mu\text{m}$ 로 각장 $165 \mu\text{m}$ 내외에서 성장이 정지하였다.

생존율은 먹이생물을 매일 공급한 실험구에서 사육 4일째 69.0%, 1일 절식 후 먹이생물을 공급한 실험구에서 43.6%, 2일 절식 후 먹이생물을 공급한 실험구에서 33.6%, 4일 절식 후 먹이생물은 공급한 실험구에서 12.6%, 그리고 먹이생물을 전혀 공급하지 않은 실험구에서 7.8%로 나타나 절식 기간이 길수록 생존율이 낮아지는 경향을 보였다(Fig. 23).

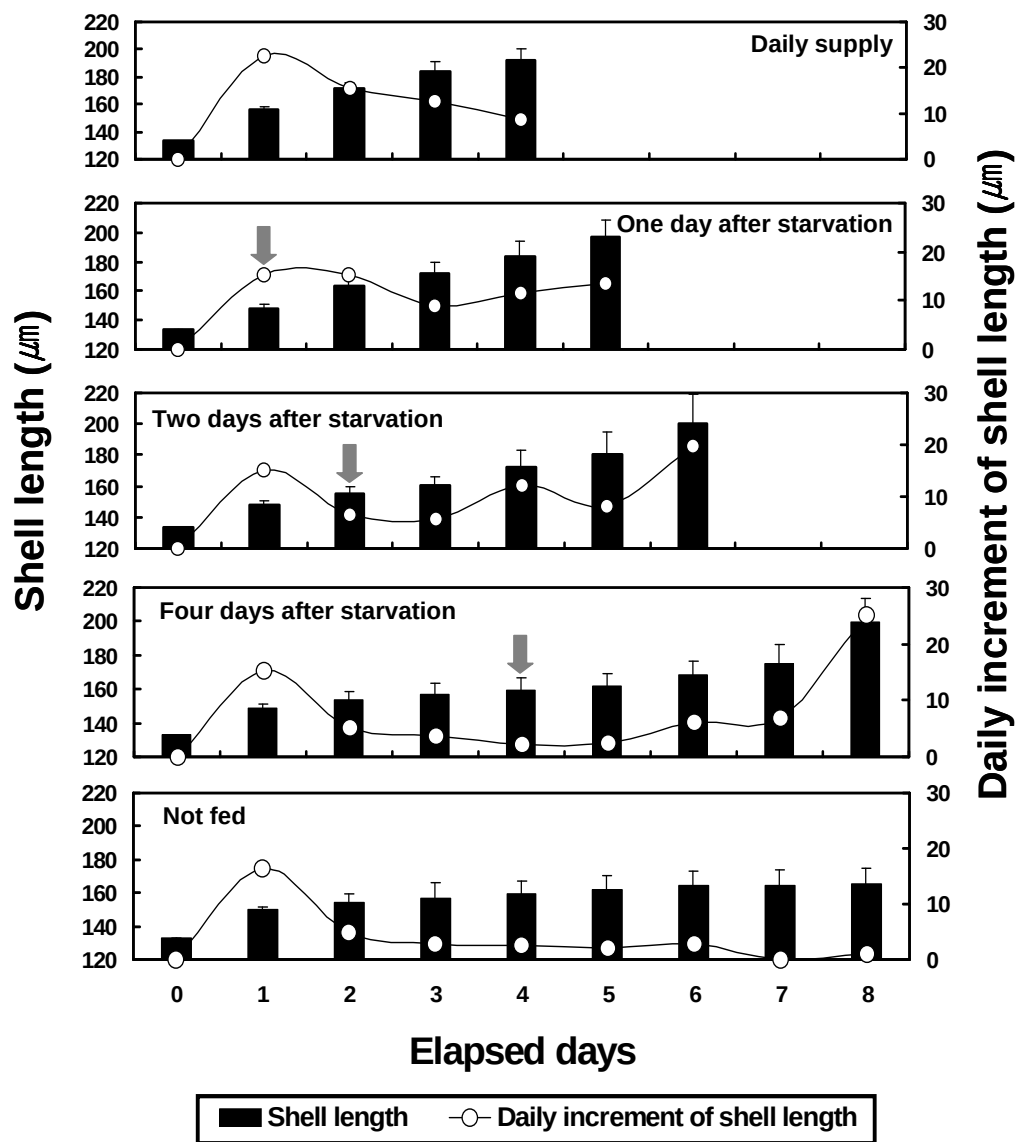


Fig. 22. Growth and daily increment of shell length of *Meretrix lusoria* larvae by five different starvation.

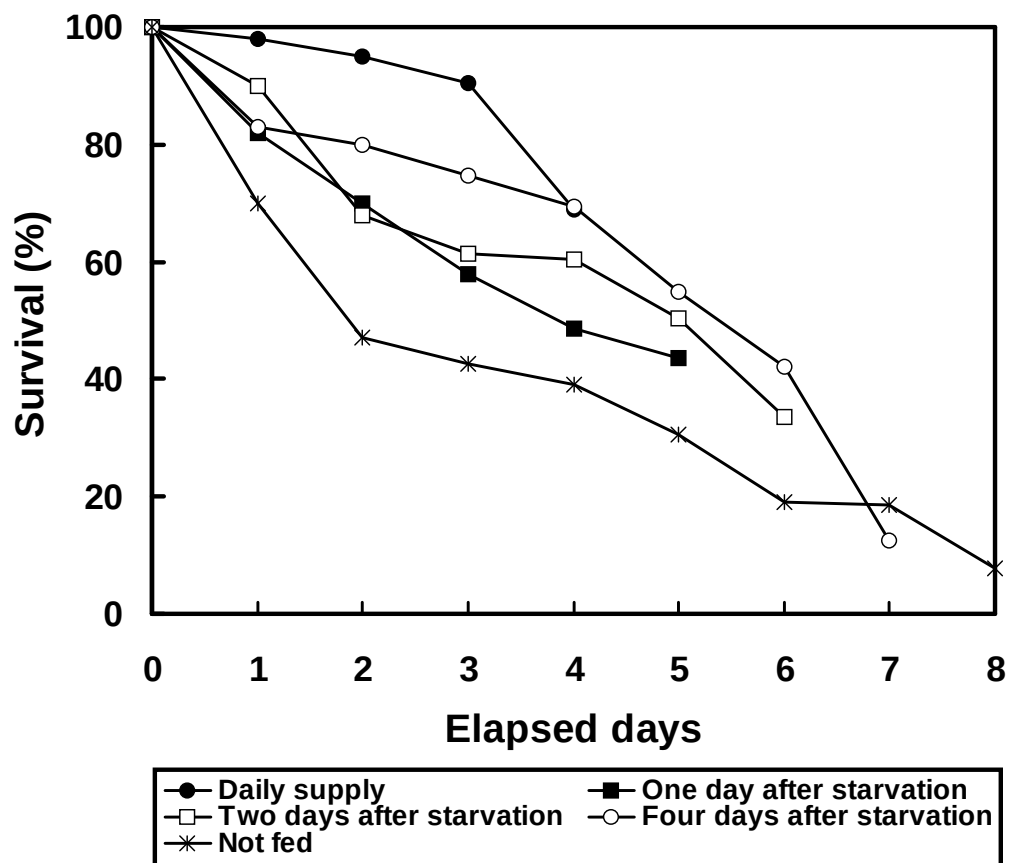


Fig. 23. Survival (%) of *Meretrix lusoria* larvae by five different starvation.

제 4 절 고 찰

조개류의 인공종묘생산에 있어 부유유생기의 성장에 미치는 중요한 요인은 수온, 염분, 조도, 유생의 밀도 및 먹이생물 등이 있으나 그 중에서 수온이 성장을 지배하는 가장 중요한 요인이며, 수온에 따라 먹이생물의 섭취량이 달라지고 유생의 성장에도 큰 영향을 미친다(Loosanoff, 1950; Walne, 1974).

백합 유생의 성장에 관한 연구로서 Choi (1975)는 수온 23~28℃에서 각장 109.5 μm 의 D형유생을 사육하여 20일 후 각장 208.0 μm , 일간성장 4.9 μm 의 침착기 유생으로 성장하였고, 吉田(1941)은 수온 24~30℃에서 16~19일 후 유생이 180 μm 로 성장하였으며, 3주 후 저서생활에 들어간다고 보고하였다. Choi and Song (1974)은 수온 27℃에서 초기 D형유생 112 μm 크기를 사육하여 7일째 172 μm , 20일째 232 μm 로 성장하여 일간성장 6.0 μm 로 보고하였다. 上城 等(1978)은 수온 26.5~28.2℃에서 초기 D형유생에서 각장 200 μm 의 침착기 유생까지 10일이 소요된다고 보고하였다. 본 연구에서는 수온 29.9±1.3℃에서 각장 132.7±6.0 μm 의 D형유생을 사육하여 4일째에 197.8±6.1 μm 의 침착기 유생으로 성장하였고, 일간성장은 16.3 μm 로 매우 빠른 성장을 보였다. 이런 성장의 차이는 유생사육시 수온의 차이에 기인된 것으로 판단되지만 수온을 고려한다 해도 타 연구와는 성장에 있어 큰 차이를 보였다. 생존율은 사육 1일째 92.5%, 2일째 80.3%, 3일째 49.1%, 4일째 43.9%로 환수 후 사육 3일째에 많은 폐사가 일어나 환수과정에서 사육환경의 변화와 스트레스 등으로 인하여 대량폐사가 발생한 것으로 추정된다. 백합의 유생기간이 짧은 점을 감안하여 높은 생존율을 유지하기 위해서는 사육환경 관리와 적정 먹이생물 공급 등의 방법으로 환수를 하지 않고 침착기 유생까지 사육하는 것이 가장 효율적인 것으로 생각된다.

유생의 부유기간은 사육환경에 따라 다소 차이가 있으며, 사육환경이 좋으면 가능한 최대 크기까지 부유기간을 거치는 것으로 생각된다. 백합 유생은 각장 200 μm 이상의 개체도 면반으로 부유하지만 각장 185 μm 이상의 크기에서는 유생이 수조 바닥쪽에 분포 밀도가 높았으며, 일부 유생은 발을 사용하여 포복활동을 시작하는 것으로 보아 인공종묘생산을 위한 채묘시기는 각장 185 μm 일 때로 생각된다.

백합의 유생기간 동안의 각장(SL)에 대한 각고(SH)의 상대성장에 대해서 **Choi and Song (1974)**은 $SH=1.0233SL-24.4643$, **Choi (1975)**는 $SH=0.77SL+6.82$, **Choi (1976)**는 $SH=0.51SL+38.67$ 로 보고하였고, 본 연구에서는 $SH=1.0638SL-35.8190$ 으로 나타났다(**Fig. 30**). 유생의 상대성장은 전북 김제 심포리산 어미에서 얻은 유생을 사용한 본 연구와 충남 서산 안면도산을 사용한 **Choi and Song (1974)**의 연구결과에서 기울기가 1 이상으로 가장 유사하였으며, 유생의 외부형태가 원형에 가까웠다. **Choi (1976)**가 연구한 전북 부안 계화도산 백합은 상대성장식의 기울기가 0.51로 나타나, 성장함에 따라 각장에 비해 각고의 성장이 늦은 장형의 형태였으며, 경기도 인천 송도, 충남 안면도, 전북 부안산은 상대성장식의 기울기가 0.77로 그 중간 형태였다(**Choi, 1975**). 이는 어미의 채집해역에 따라 유생의 형태적 차이가 나타난 것으로 생각되며, **Choi (1976)**의 결과는 본 연구와 유사한 해역에서 채집된 유생이었음에도 큰 차이를 보였다(**Fig. 24**).

일반적으로 수온은 유생사육에 있어 중요한 요인이며, 낮은 수온에서는 성장이 늦고 높은 수온에서는 폐사율이 증가하는 경향이 있으므로, 유생사육시 성장과 생존율을 높이기 위해서 사육 적정수온을 찾는 것은 매우 중요하다. **Sagara (1958b)**는 D형유생의 생존 가능한 수온은 12~31℃, 유생의 유영상태 등을 고려할 때 적정수온은 16~27℃, 그리고 7.5℃에서 16시간, 33.1℃에서 117시간만에 폐사하였다고 보고하였다. 上城 等(1978)은 각장 120 μm 의 D형유생을 이용하여 4일간 수온에 따른 생존율과 성장을 조사한 결과, 수온 10~13℃에서는 각장 130 μm 에서 성장이 정지되어 96시간째 전량 폐사하였다. 20~23℃에서는 24시간까지 활발하게 운동을 하였으나 48시간 후 각장 130 μm , 생존율 35%, 72시간 후 각장 140 μm 에서 유생이 침하하기 시작하여 96시간째 전량 폐사하였다. 25~27℃에서는 성장이 빨라 96시간 후 각장 180 μm , 생존율 75%, 일간성장 15 μm 로 성장이 가장 빨랐으나, 30~32℃에서는 8시간, 35~37℃에서는 3시간 만에 전량 폐사하여 백합 부유유생의 사육 적정수온은 25~27℃라고 보고하였다. 본 연구에서는 성장과 생존율은 고려한 유생사육 적정수온은 28~33℃, 최적수온은 33℃로 나타나, 백합 유생사육의 적정수온에 대해서 연구자간의 차이가 있었다. **Sagara (1958b)**는 33.1℃에서, 上城 等(1978)은 20~23℃와 30~37℃에서 유생이 폐사한다고 보고하였으나, 본 연구에서 33℃에서 백합유생의 성장과 생존율이 가장

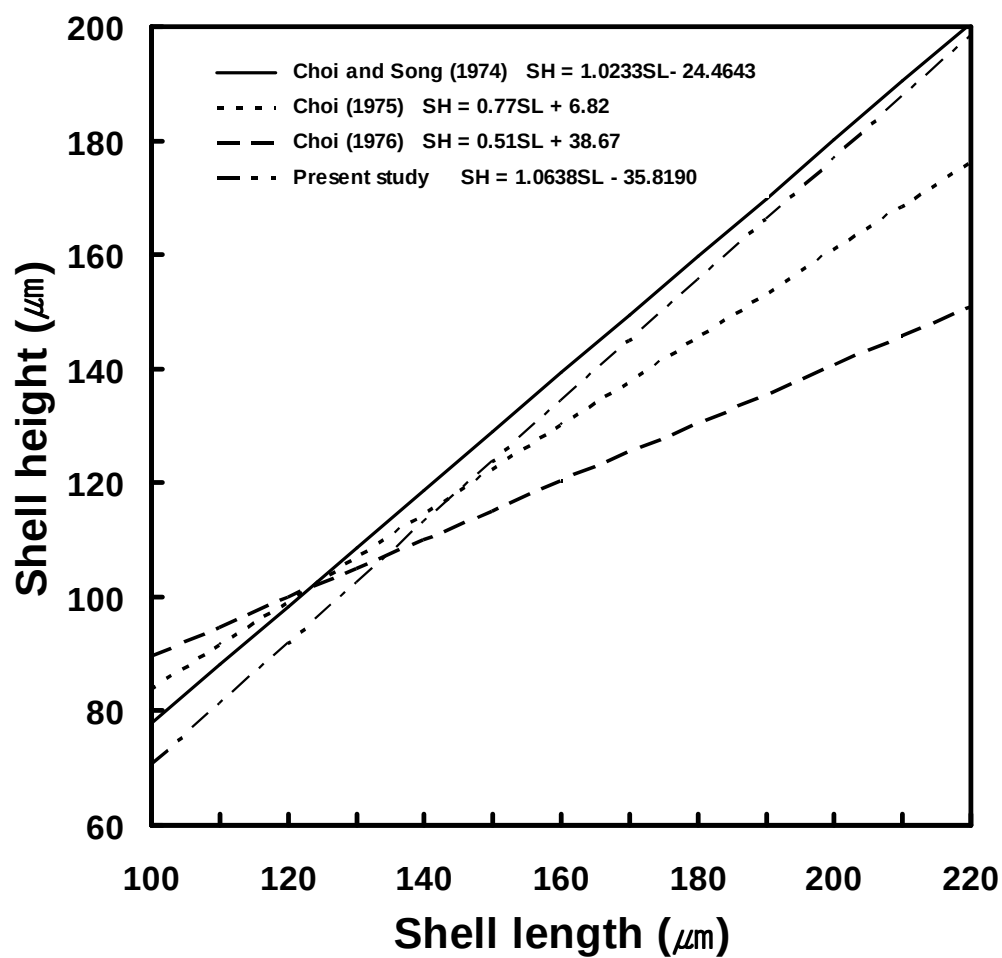


Fig. 24. Comparison of relative growth rate between the shell length (SL) and shell height (SH) of *Meretrix lusoria* from D-shaped larvae to metamorphosing stage by area.

좋아 큰 차이를 보였다. 이것은 한국의 백합이 서식하는 서해안은 조석간만의 차이가 크며, 치패의 경우 노출 5~6시간대에 분포가 많고(송, 2002), 노출 2~6시간대의 7월 평균 석온은 1977년 34.2℃, 1978년 36.2℃(현 등, 1979)로 서식해역의 환경에 따른 생물적응의 차이로 생각된다. 본 연구의 생존율에 있어 수온 18℃와 33℃에서는 유생사육기간 동안 원생동물이 발생되었지만, 생존율이 높은 것으로 보아 저수온과 고수온이 원생동물 발생을 억제하는 효과가 있는 것으로 생각된다. 또한 36℃에서는 원생동물이 발생되지 않았지만 높은 수온으로 인하여 유생의 생존에 영향을 미친 것으로 판단된다.

上城 等(1978)은 수온 28℃에서 각장 132 μm 의 백합 D형유생을 이용하여 3일간 염분에 따른 생존율과 성장을 조사한 결과, 완전 담수에서는 5시간만에 전량 폐사하였고, 염분 11.1에서는 생존율 4%, 평균각장 150 μm 로 성장하였고, 염분 24.6에서 50%, 180 μm , 염분 31.3에서 25%, 170 μm , 그리고 염분 40.2에서는 9시간 만에 전량 폐사하였다. 염분이 유생의 침착에 미치는 영향에 대해서는 각장 130 μm 크기를 사용하여 6일간 사육한 결과, 염분 10.8에서는 5일째 침하를 시작하였고, 염분 25.5에서는 4일째 평균각장 180 μm 로 성장하여 침하를 시작하고 5일째에 평균각장 200 μm 크기에서 침착이 완료되었고, 생존율은 60%였다. 그리고 염분 43.6에서는 4일만에 전량 폐사하여, 유생의 생존 가능 염분은 11.1~31.6이며, 최적염분은 24.6이라 하였다. 본 연구에서는 백합 유생의 생존 가능 염분은 10~40, 최적염분은 25로 上城 等(1978)의 최적염분과 이 염분을 중심으로 염분이 높거나 낮음에 따라 빠른 성장과 높은 생존율을 보인 것은 일치하였다. 그러나 본 연구의 염분 10에서 생존율은 90.7%, 염분 40에서 생존율은 51.9%로 큰 차이를 보여 한국의 백합 유생은 일본산에 비해 광염성인 것으로 나타났다. 또한 다른 실험구에서는 원생동물이 발생되어 생존율에 영향을 미친 반면, 염분 10과 15에서 높은 생존율을 보인 본 연구의 결과는 저염분이 원생동물의 발생을 억제하는 효과가 있는 것을 암시하고 있다.

조개류의 인공종묘생산에 있어 유생의 밀도를 높여 사육하는 것이 경제적이지만, 사육밀도가 한계 이상으로 높아지면 유생간의 잦은 충돌 등으로 성장이 늦거나 수질의 악화 등으로 폐사하기 쉽다. 본 연구에서 백합의 유생은 사육수 1 mL당 5개체 이하의 밀도에서는 성장과 생존율이 양호하였으나, 10개체와 20개

체에서는 다소 성장이 늦어 유생의 사육밀도는 1 mL당 5개체 이하가 가장 효과적이었다.

조개류는 식물플랑크톤을 여과 섭식하므로 인공종묘생산에 있어 식물플랑크톤의 확보가 매우 중요하며(Epifanio, 1979), 조개류의 먹이로는 *C. calcitrans*, *Paulova lutheri*, *I. galbana*가 많이 이용되고 있다(Delaunay et al., 1992; Marty et al., 1992). 본 연구에서 사용한 먹이생물은 *C. calcitrans*, *I. galbana*, *N. oculata*이다. 규조류인 *C. calcitrans*의 외부 형태는 직사각형에 가깝고 세포의 모서리 부분에 긴 강모가 있고 운동성은 없으며, 장축의 크기는 5.4 μm 이다. 착편모조류에 속하는 *I. galbana*는 세포의 한쪽 중간지점에서 긴 편모가 있어 운동성이 있으며, 전체적인 세포형태는 원형에 가깝고 장축의 크기는 5.0 μm 이다. 녹조류인 *N. oculata*는 원형으로 운동성이 없으며, 세포의 장축의 크기는 2.7 μm 로 가장 작다. 上城 等(1979)은 먹이종류에 따른 유생의 성장과 생존율을 알아보기 위하여 수온 26.5~28.6°C에서 7일간 사육실험을 하여 *C. calcitrans*를 단독으로 공급한 실험구와 *C. calcitrans*와 *Monochrysis lutheri*를 4:1, *M. lutheri*와 *C. calcitrans*를 4:1, *C. calcitrans*, *M. lutheri*, *Chlorella sp.*를 4:4:1 비율로 혼합하여 공급한 실험구에서 크기 190 μm 이상의 침착기 혹은 포복기 유생으로 성장하였으며, 생존율은 6.3~18.2%로 보고하였다. 본 연구에서는 *C. calcitrans*, *I. galbana*, *N. oculata*를 동일비율로 혼합하여 공급한 실험구에서 사육 4일째 각장 193.1 $\pm$ 11.4 μm , *C. calcitrans*를 단독으로 공급한 실험구에서 각장 187.2 $\pm$ 8.4 μm 의 침착기 유생으로 성장하였으나, *N. oculata*를 단독으로 공급한 실험구에서는 사육 4일째 173.1 $\pm$ 10.4 μm 로 성장이 가장 늦어 먹이로서 효율이 가장 낮았다. 두 연구 결과에서 *C. calcitrans*를 단독으로 그리고 여러 종을 혼합하여 공급하였을 때 유생의 성장이 가장 빠른 것은 일치하였다.

유생사육시 먹이생물 공급량이 부족하면 영양 부족으로 성장에 영향을 미치며, 너무 많이 공급되면 사육환경을 악화시켜 생존율과 성장에 영향을 미치므로 적절한 먹이생물 공급량을 결정하는 것은 중요하다. 본 연구에서는 *C. calcitrans*, *I. galbana*, *N. oculata*를 혼합하여 공급한 백합 유생의 일간성장은 공급량 3,000~7,000세포/개체에서 12.8~13.2 μm , 1,000세포/개체에서 9.9 μm , 250세포/개체에서 7.2 μm 로 나타나, 공급량 1,000세포/개체 이하의 먹이생물의 부족에 의한 유

생 성장의 저해요인으로 작용하였다. 공급량 3,000세포/개체 이상에서는 유생의 성장에 유의한 차이가 없어($P>0.05$), 백합 유생은 5개체/mL의 사육밀도에서 먹이생물 공급량은 3,000~7,000세포/개체가 가장 적합한 것으로 나타났다. 한편 먹이생물을 공급하지 않은 실험구에서는 일간성장은 6.6 μm 로 가장 늦었지만 생존율은 62.7%로 먹이생물을 공급한 실험구 보다 높았다. 이는 먹이생물을 공급한 실험구에서는 유생이 먹이를 섭취하여 성장함으로써 배설물 등으로 인한 환경악화가 생존율에 영향을 미친 것으로 추정된다.

조개류의 대량 인공종묘생산시 많은 양의 먹이생물이 필요하며, 실내에서 먹이생물을 배양하면, 유생에게 먹이를 안정적으로 공급하지 못할 경우가 발생할 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 유생시기에 일정기간 절식 후 다시 먹이생물을 공급하였을 때 유생의 성장과 생존율이 어떻게 변하는지를 조사 분석하였다. 실험 결과, 일정기간 절식 후 먹이생물을 공급한 날로부터 4일째에 전실험구에서 평균각장 192.5 μm 이상의 침착기 유생으로 성장하였으며, 생존율은 절식 기간이 길수록 낮은 경향을 보였다. 8일간 먹이생물을 공급하지 않은 유생은 6일 이후 각장 165 μm 에서 성장이 정지하는 것으로 나타나 먹이생물을 공급하지 않고 자체 영양분으로는 각장 165 μm 까지 성장할 수 있는 것을 알 수 있었다.

이상과 같이 비부착성 조개인 백합의 유생사육 조건인 수온, 염분, 사육밀도, 먹이생물의 종류와 공급량, 절식 후 유생의 성장과 생존율 등에 관한 본 연구의 결과는 다른 조개류의 연구에도 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

제 5장 치패의 성장과 생존

제 1절 서 설

조개류의 부유유생은 먹이를 섭취하여 일정 크기로 성장하면 부착기 혹은 침착기 유생으로 성장한다. 부착성과 일시 부착성 조개류는 유생이 부착기에 도달하면 채묘기질을 넣어 유생을 부착시키며, 비부착성 조개류는 바닥에 내려앉아 모래나 펄 등에 침착하므로 그 중에 알맞은 침착기질을 넣어 주어야 한다. 백합은 비부착성 조개류로 인공종묘생산시 흔히 모래를 침착기질로 사용하고 있으나, 생존율 향상 및 빠른 성장을 위하여 효율적인 채묘 방법에 대한 연구가 필요하다. 인공으로 생산된 치패는 실내에서 채묘 후 바다에 방류하기 전까지 먹이생물을 공급하며 사육해야 하므로 많은 치패를 장기간 수조에서 관리하는 것은 먹이생물, 사육환경관리 등 현실적으로 어려운 점이 많다.

비부착성 조개류의 채묘방법에 관한 연구는 큰우럭 *Tresus keenae* (유, 2000), 북방대합(Lee et al., 2003), 일본재첩 *Corbicula japonica* (Kim, 2004) 등에서 이루어졌으나 종 특이성을 고려하여 다양한 연구가 필요하다. 또한 치패의 성장에 관한 연구는 참굴의 경우 치패 수용밀도별 성장(Holliday et al., 1991), 먹이생물 종류에 따른 성장(Laing and Millican, 1986), 조간대 간출시간에 따른 성장(Spencer et al., 1978) 등이 있으며, 참가리비의 먹이생물 종류에 따른 성장(Kim, 1994), 북방대합의 수온과 염분에 따른 생존율(Lee et al., 2003)과 실내채묘 및 치패의 성장(Lee et al., 2002), 해만가리비 초기치패의 성장(Oh et al., 2003) 등이 있다. 백합의 치패사육에 관한 연구로는 침착치패의 사육(上城 等, 1978; 1979), 수온과 염분에 따른 치패의 성장(Numuguchi and Tanaka, 1987)이 있으며, 국내에서는 치패사육에 관한 연구가 없는 실정이다.

본 연구에서는 침착기 유생의 채묘 방법에 따른 치패의 성장과 생존율 그리고 치패의 수온, 염분 및 먹이생물 종류에 따른 성장과 생존율을 조사 분석하였다.

제 2절 재료 및 방법

1. 채묘방법에 따른 치패의 성장과 생존

침착기 유생의 최적 채묘방법을 파악하기 위하여 2002년 7월 28일부터 11월 14일까지 저면 모래순환여과, 모래침착, 염화비닐파판, 침착기질 없이 FRP 수조 바닥에 채묘 후 109일간 성장과 생존율을 조사하였다. 실험에 사용된 유생은 채란 4일째인 각장 $189.0 \pm 6.3 \mu\text{m}$ 의 침착기 유생이었다.

저면 모래순환여과 방법은 수조바닥에 *plastic case*를 사용하여 20 cm 높이의 공간을 확보한 후 모래의 유실을 막기 위해 500 μm 의 물리가아제를 설치하고 그 위에 평균입경 0.6 mm의 모래를 5 cm 두께로 설치한 후 공기로서 사육수를 순환시켰다. 모래침착 방법은 모래를 수조바닥에 3 cm를 두께로 넣어주는 방법이며, 염화비닐파판 방법에서는 38×30 cm 크기의 파판을 holder에 15장을 끼운 후 파판이 수조면에 수평되게 총 48개를 2층으로 쌓았다.

침착기 유생은 사각 FRP수조(2.5×1.5×1.0 m)에 500,000개체를 수용하여 수온 20~30℃에서 사육하였고, 사육수는 자연해수를 사용하였다. 먹이생물은 *C. calcitrans*, *I. galbana*, *Monochrysis* sp., *Phaeodactylum tricornutum*, *T. tetrahele*를 혼합 혹은 단독으로 공급하였으며, 성장함에 따라 공급량을 증가시켜 매일 치패 1개체당 $240 \times 10^4 \sim 1,200 \times 10^4$ 세포를 3~4회 나누어 공급하였다.

2. 수온과 염분에 따른 치패의 성장과 생존

수온과 염분에 따른 치패의 성장과 생존율을 파악하기 위하여 2002년 9월 2일부터 10월 2일까지 30일간 사육실험을 실시하였다. 수온별 사육 실험에서는 수온을 25℃, 30℃, 35℃로 구분하고 염분은 30으로 고정하였으며, 염분별 사육 실험에서는 염분 20, 30, 40으로 구분하고 수온은 30℃으로 고정해 주었다. 실험에 사용한 치패는 침착 후 36일 된 각장 $1.64 \pm 0.12 \text{ mm}$ 의 크기로 1 L beaker에 100개체씩 수용하여 사육하였다. 먹이생물은 *C. calcitrans*, *Chlorella ellipsoidea*, *I. galbana*를 혼합하여 치패 1개체당 매일 $150 \times 10^4 \sim 250 \times 10^4$ 세포를 2회 나누어 공급하였으며, 사육수는 2일 마다 전량 환수하였다.

3. 먹이생물 종류에 따른 치패의 성장과 생존

먹이생물 종류에 따른 치패의 사육실험에서는 *C. calcitrans*, *C. ellipsoidea*, *I. galbana*를 단독으로 공급한 실험구와 3종을 혼합하여 공급한 실험구 그리고 먹이를 공급하지 않은 실험구를 설정하여 성장과 생존율을 조사하였다. 치패사육 수온은 30℃, 염분 30으로 고정하였고, 그 밖의 조건은 수온과 염분별 치패사육 실험과 동일하게 하였다.

4. 통계처리

각 실험 결과로부터 얻어진 모든 측정값들은 평균±표준편차(SD)로 표시하였다.

제 3절 결 과

1. 채묘방법에 따른 치패의 성장과 생존

치패의 사육방법별 실험 결과, 치패의 성장은 저면 모래순환여과 방법으로 침착시켜 사육한 실험구에서 각장 4.71 ± 1.60 mm, 일간성장 $41.5 \mu\text{m}$ 로 성장이 가장 빨랐으며, 모래침착 실험구에서 각장 3.87 ± 1.31 mm, 일간성장 $33.8 \mu\text{m}$, FRP 바닥침착 실험구에서 각장 3.38 ± 1.07 mm, 일간성장 $29.3 \mu\text{m}$, 염화비닐과판에 침착시킨 실험구에서 각장 2.47 ± 0.95 mm, 일간성장 $20.9 \mu\text{m}$ 순이었다.

생존율은 염화비닐과판에 침착시킨 실험구에서 83.9%로 가장 높았고, 모래침착 실험구에서 59.3%, FRP 바닥침착 실험구에서 36.6%, 그리고 저면 모래순환여과 실험구에서 29.6%였다(Table 17).

Table 17. Growth of shell length (SL) and survival (%) with kind of substrate of *Meretrix lusoria* spats from July 28 to November 14, 2002

Kind of substrate	Growth of SL (mean $\pm$ SD, mm)		Daily increment of SL (μm)	Survival (%)
	Initial	Final		
Sand bottom circulation filter	0.189 $\pm$ 0.006	4.71 $\pm$ 1.60	41.5	29.6
Sand bottom	0.189 $\pm$ 0.006	3.87 $\pm$ 1.31	33.8	59.3
Poly ethylene plate	0.189 $\pm$ 0.006	2.47 $\pm$ 0.95	20.9	83.9
FRP bottom	0.189 $\pm$ 0.006	3.38 $\pm$ 1.07	29.3	36.6

2. 수온과 염분에 따른 치패의 성장과 생존

수온별 치패의 성장은 수온 30℃에서 각장 2.66 ± 0.39 mm, 일간성장 $34.0 \mu\text{m}$ 로 가장 빨랐으며, 그 다음은 35℃에서 각장 2.46 ± 0.56 mm, 일간성장 $27.3 \mu\text{m}$, 25℃에서 각장 2.44 ± 0.41 mm, 일간성장 $26.7 \mu\text{m}$ 순이었다. 염분별 성장은 염분 30에

서 각장 2.66 ± 0.39 mm, 일간성장 $34.0 \mu\text{m}$ 로 가장 빠른 성장을 보였고, 그 다음은 염분 20, 40순이었다.

생존율은 모든 실험구에서 99.0% 이상으로 높았다(Table 18).

Table 18. Growth of shell length (SL) and survival (%) with water temperature and salinity of *Meretrix lusoria* spats for 30 days

Conditions		Growth of SL (mean $\pm$ SD, mm)		Daily increment of SL (μm)	Survival (%)
		Initial	Final		
Water temperature ($^{\circ}\text{C}$)	25	1.64 ± 0.12	2.44 ± 0.41	26.7	100
	30	1.64 ± 0.12	2.66 ± 0.39	34.0	99.5
	35	1.64 ± 0.12	2.46 ± 0.56	27.3	99.5
Salinity	20	1.64 ± 0.12	2.60 ± 0.44	32.0	100
	30	1.64 ± 0.12	2.66 ± 0.39	34.0	99.5
	40	1.64 ± 0.12	2.45 ± 0.50	27.0	99.0

3. 먹이생물 종류에 따른 치패의 성장과 생존

먹이생물 종류에 따른 치패의 성장은 *C. calcitrans*, *C. ellipsoidea*, *I. galbana*를 혼합하여 공급한 실험구에서 각장 2.66 ± 0.39 mm, 일간성장 $34.0 \mu\text{m}$ 로 가장 빨랐으며, 먹이생물을 단독으로 공급한 실험구 중에는 *I. galbana*에서 각장 2.60 ± 0.34 mm, 일간성장 $32.0 \mu\text{m}$ 로 성장이 빨랐으나, 먹이생물을 공급하지 않은 실험구에서는 성장이 이루어지지 않았다.

생존율은 모든 실험구에서 99.0% 이상의 높은 생존율을 보였다(Table 19).

Table 19. Growth of shell length (SL) and survival (%) with species of microalgae of *Meretrix lusoria* spats for 30 days

Microalgae	Growth of SL (mean $\pm$ SD, mm)		Daily increment of SL (μ m)	Survival (%)
	Initial	Final		
<i>Isochrysis galbana</i>	1.64 $\pm$ 0.12	2.60 $\pm$ 0.34	32.0	100
<i>Chaetoceros calcitrans</i>	1.64 $\pm$ 0.12	2.30 $\pm$ 0.29	22.0	100
<i>Chlorella ellipsoidea</i>	1.64 $\pm$ 0.12	2.28 $\pm$ 0.37	21.3	100
Mixture	1.64 $\pm$ 0.12	2.66 $\pm$ 0.39	34.0	99.5
Not fed	1.64 $\pm$ 0.12	1.64 $\pm$ 0.10	0	99.0

제 4 절 고 찰

비부착성 조개류는 침착기 유생으로 성장하면 바닥으로 침강하여 성장함에 따라 저질 속으로 잠입하며, 조개류의 종에 따라 서식하는 저질의 구성이 다르므로 인공종묘생산시 잠입할 수 있는 기질의 선택이 중요하다.

유생의 침착방법별 침착기 유생의 성장은 저면 모래순환여과, 모래침착, FRP 바닥침착, 염화비닐과판의 순으로 성장이 빠르게 나타났으며, 전반적으로 모래를 침착기질로 사용할 경우 성장이 빠른 것으로 나타났다. 잠입성 조개류들은 바닥에 잠입한 상태에서 안정적인 먹이 섭취 활동을 하며, 잠입기질이 없을 경우 먹이 섭취에 어려움이 있고 외부에 노출되어 안정적인 활동을 할 수 없으므로 성장이 늦어지는 것으로 추측된다. 생존율은 염화비닐과판 침착 방법에서 가장 높았고, 그 다음으로는 모래침착, FRP 바닥침착 그리고 저면 모래순환여과 순이었다. 백합 유생을 침착기질 없이 바닥에 침착시키면 치패들이 한곳으로 모이게 되어 침착초기에 원생동물이 발생하면 대량폐사가 일어날 가능성이 높다. 염화비닐과판 침착방법의 경우, 침착기 유생이 침착할 수 있는 공간을 넓혀 줌으로써 생존율을 높일 수 있었다. 따라서 백합의 침착 치패의 사육방법으로서는 각장 1 mm까지는 염화비닐 과판을 이용하여 침착시킨 후 저면 모래순환여과 방식으로 사육하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

上城 等(1978)은 자연수온에서 저면 모래순환여과 방법으로 각장 0.17 ± 0.6 mm의 침착기 유생 450,000개체를 105일간 사육하여 각장 3.5 ± 1.2 mm 크기의 치패를 생산하였으며, 생존율은 43.5%였다. 또 다른 실험에서 각장 0.19 ± 0.5 mm의 침착기 유생 407,000개체를 119일간 사육하여 각장 3.7 ± 0.5 mm, 생존율 47.8%로 보고하였다. 본 연구에서도 자연수온에서 저면 모래순환여과 방법으로 109일간 사육하여 각장 4.71 ± 1.60 mm, 생존율 29.6%로 성장은 上城 等(1978)의 결과 보다 빨랐으나, 생존율은 낮았다. 이는 본 연구의 유생이 침착초기에 대량 폐사하여 밀도가 낮아짐으로서 성장이 빨랐던 것으로 추정된다.

치패사육시 수온, 염분, 먹이생물의 종류가 치패의 성장에 영향을 미치며, 실내에서 빠른 성장을 위해서는 이러한 조건을 구명하는 것은 중요하다. Numaguchi and Tanaka (1987)는 각장 1~2 mm 크기의 백합 치패를 사용하여

수온과 염분에 따른 성장을 조사한 결과, 치패의 적수온은 27~37℃, 적염분은 19.3~32.2인 것으로 보고하였다. 본 연구에서 1.64±0.12 mm 크기의 치패 성장은 수온 30℃, 염분 30에서 가장 빠른 것으로 나타나 Numaguchi and Tanaka (1987)의 결과 범위 내에 있었다. 먹이생물 종류에 따른 성장은 먹이생물을 단독으로 공급한 것 보다 *C. calcitrans*, *C. ellipsoidea*, *I. galbana*를 동일한 비율로 혼합하여 공급하는 것이 가장 효과적이었다.

제 6장 대량 인공종묘생산

제 1절 서 설

조개류의 인공종묘를 대량으로 생산하기 위해서는 어미의 산란기, 수정란의 발생 최적조건, 유생과 치패의 최적사육조건 등을 먼저 밝히고, 이들 기초 자료를 잘 이용하여 대량사육을 실시해야 한다. 대부분의 최적조건 실험은 소규모로 수행되기 때문에 그 결과를 대규모의 대량 인공종묘생산에 바로 적용하기는 힘들다.

한국에서 조개류의 양식과 방류용 종묘의 생산은 대부분 자연에서 발생된 자연종묘에 의존하고 있다. 최근 연안어장의 환경오염과 이상해황, 천해 간석지의 매립, 우량한 어미의 우선 채취, 어미자원의 부족 등으로 자연종묘를 안정적으로 확보하기가 어렵게 되어, 최근에 종묘가 부족한 일부품종의 경우 양식용 종묘를 외국에서 수입하여 양식한 경우도 있다. 백합의 경우 새만금 간척사업으로 주산란장과 성육장이 없어짐에 따라 앞으로 백합 양식용 종묘 확보를 위해서는 인공종묘생산이 필요할 것으로 판단된다.

조개류의 대량 인공종묘생산은 산업적으로 양식되는 종을 대상으로 이루어지므로 그 종류는 많지 않다. 한국산 조개류의 대량 인공종묘생산 기술이 개발된 종을 들면, 참굴, 피조개, 큰우럭, 참담치 *Mytilus coruscus*, 바지락, 진주조개, 참가리비, 비단가리비, 개조개 *Saxidomus purpuratus*, 북방대합, 꼬끼리조개, 일본재첩 등이 있다. 그러나 인공종묘생산에 의해 양식산업에 적용된 종은 진주조개와 참굴 정도이다. 진주조개와 참굴은 1990년대 초반부터 인공종묘생산 연구가 진행되었으며, 진주조개의 경우 한국에 필요한 종묘 전량을 인공종묘로 충당하고 있으며, 참굴은 한국 전체 종묘 소요량의 약 5%를 인공종묘로 충당하고 있는 실정이다(Hur, 2004).

백합의 인공종묘생산에 관한 연구는 上城 等(1978; 1979)이 채란에서부터 평균 각장 약 4 mm까지 생산한 연구가 있으나, 국내에서는 대량 인공종묘생산에 대한 연구는 이루어진 바 없다. 본 연구에서는 채란, 발생, 유생사육, 치패사육 등의 소규모 실험을 통하여 사육조건을 구명한 결과를 종합적으로 적용하여 대량 인공종묘생산을 위한 실험을 실시하였다.

제 2절 재료 및 방법

1. 채란과 발생

대량 인공종묘생산 실험에 사용한 어미는 성숙기·산란기의 생식소 단계를 나타내고 있었으며, 2001년 7월 18일 전북 김제시 진봉면 심포리 앞바다에서 채집된 각장 65.8 ± 8.4 mm, 각고 54.5 ± 7.2 mm, 각폭 33.0 ± 3.9 mm, 전중 73.1 ± 28.7 g의 어미 100개체였다. 어미는 자연산란을 방지하기 위하여 채집 즉시 수온 $18 \sim 20^\circ\text{C}$ 로 조절된 실내수조에 수용하고 21일간 자연해수를 흘려주면서 먹이생물로는 *C. calcitrans*, *I. galbana*, *Monochrysis* sp., *T. tetrahele*를 혼합하여 사육수 1 mL당 $10 \times 10^4 \sim 20 \times 10^4$ 세포가 유지되게 연속해서 공급하며 관리하였다.

채란은 8월 8일 공기노출과 수온상승 자극 방법을 병행하여 실시하였다. 채란 용기로는 50 L 사각 아크릴수조를 사용하였으며, 해수는 bag filter와 규조토 여과기를 사용하여 1 μm 까지 여과한 후 자외선 살균 처리하여 사용하였다. 수정란은 방란·방정이 유도된 다음 30분 후 망목크기가 20 μm 인 물러가아제로 수거하여 여과 처리된 자외선 살균수로 3회 세란하였다. 세란된 수정란은 깨끗한 해수가 채워진 100 L 플라스틱 수조에 수용한 후 잘 교반하여 micro pipette으로 1 mL를 취한 후 cell counter chamber를 사용하여 계수한 후 전체 수정란의 숫자를 용적법으로 계산하였다.

수정란은 깨끗한 해수가 채워진 수용적 1 m^3 의 사각 FRP수조에 수용한 후 발생시켰다. 이때 수온은 27°C 로 조절하였으며, 공기는 미세하게 공급하였다. D형유생은 수정 후 만 24시간이 경과한 후 망목 크기가 40 μm 인 물러가아제로 D형유생으로 발생된 전체 개체를 수거한 다음 수정란과 동일한 방법으로 계수하여 D형유생의 크기와 발생률을 조사하였다.

2. 대량 유생사육

대량 유생사육실험은 2001년 8월 9일부터 13일까지 4일간 실시하였다. 대량사육에 사용한 D형유생은 8월 8일 채란된 각장 131.4 ± 2.6 μm , 각고 102.6 ± 3.1 μm 크기의 D형유생 320,000개체 중 270,000개체를 1 m^3 의 사각 FRP 수조에 수용하여 사육하였다. 수온은 $26.8 \pm 0.8^\circ\text{C}$, 염분은 담수를 첨가하여 25로 조절하였다.

D형유생의 수용밀도는 0.27개체/mL였으며, 사육수는 1 μm 까지 여과한 후 자외선으로 살균처리하여 사용하였으며, 유생사육 기간동안 환수는 하지 않았다. 먹이생물은 *I. galbana*를 초기 D형유생에게 매일 1개체당 5,000세포를 공급하였으며, 유생이 성장함에 따라 공급량을 증가시켜 사육 4일째 7,000세포를 오전·오후 10시 2회로 나누어 공급하였다.

유생의 성장은 각장과 각고를 만능투영기(Nikon V-12)를 이용하여 1 μm 까지 측정하였고, 생존율은 사육수조에서 50 mL씩 5회 표본하여 평균치를 용적법으로 계산한 후 전체 유생의 생존율로 하였다.

3. 채묘와 치폐사육

치폐를 생산하기 위하여 사용된 유생은 2001년 8월 8일 채란하여 4일간 사육한 각장 $190.2 \pm 7.5 \mu\text{m}$, 각고 $165.4 \pm 5.2 \mu\text{m}$ 크기의 침착기 유생이었다. 이들 유생 130,000개체를 8월 13일 FRP 수조($2.5 \times 1.5 \times 0.35 \text{ m}$)에 수용하여 저면 모래순환여과방법으로 12월 5일까지 114일간 사육하면서 실험하였다. 이때 먹이생물은 *C. calcitrans*, *I. galbana*와 *Monochrysis sp.*를 단독으로 혹은 혼합하여 치폐가 성장함에 따라 공급량을 증가시켜 사육수 1 mL당 $6 \times 10^4 \sim 30 \times 10^4$ 세포를 매일 1~3회 나누어 공급하였다. 사육수는 초기 각장 1 mm까지는 5일에 1회 전량 환수하였으며, 성장함에 따라 환수 주기를 달리하여 후기에는 매일 1회 전량 환수하였다. 사육기간중 매일 10시에 수온과 염분을 측정하였는데, 수온은 $28.5 \pm 2.3^\circ\text{C}$, 염분 28.9 ± 2.4 이었으며, 수온은 티타늄히터로 가온하였다.

치폐의 성장은 초기에는 각장과 각고를 만능투영기(Nikon V-12)를 이용하여 1 μm 까지 측정하였고, 후기에는 vernier caliper로 0.1 mm까지 측정하였다. 생존율은 사육수조에서 $7.5 \times 7.5 \text{ cm}$ 내의 개체수를 8회 조사하여 전체 개체수로 환산하여 측정하였으며, 실험 종료시는 전체를 수거하여 측정하였다.

4. 통계처리

각 실험 결과로부터 얻어진 모든 측정값들은 평균±표준편차(SD)로 표시하였다.

제 3절 결 과

1. 채란과 발생

채란에 사용된 어미는 생물학적 최소형 이상인 각장 56.7~87.6 mm 크기의 100개체이며, 공기노출과 수온상승자극 방법으로 5,220,000개의 알을 얻었으며, 채란된 알의 크기는 76~88 μm , 난경은 $82.3 \pm 2.7 \mu\text{m}$ 였다.

수정란은 수온 27℃, 염분 30에서 수정 17분 후에 극체가 방출되었다. 이후 부등분열에 의해 난황이 개시되어 2세포, 4세포, 8세포 및 16세포까지 소요되는 시간은 각각 1시간, 1시간 25분, 1시간 50분, 2시간 25분이었다. 섬모로 회전운동을 시작하는 낭배기까지는 5시간 20분, 담륜자기까지 11시간 10분, 면반이 발달하고 패각이 형성되는 *veliger*기를 거쳐 D형유생에 이르는 시간은 17시간 40분이었다. 수정란에서 초기 D형유생으로 발생한 것은 각장 크기 $131.4 \pm 2.6 \mu\text{m}$ 의 320,000개체로서 발생률은 6.1%였다(Table 20).

Table 20. Spawning and D-shaped larval development of *Meretrix lusoria*

No. of adult	Stimulation method	No. of spawned eggs ($\times 10^4$)	Egg size (mean $\pm$ SD, μm)	D-shaped larva		
				Number ($\times 10^4$)	Shell length (mean $\pm$ SD, μm)	Hatching (%)
100	EA+ET	522	82.3 ± 2.7	32	131.4 ± 2.6	6.1

EA: exposure to air, ET: elevation of temperature.

2. 대량 유생사육

각장 $131.4 \pm 2.6 \mu\text{m}$ 크기의 D형유생 270,000개체를 1 m³ 사각 FRP 수조에 수용하여 4일간 사육한 결과, 성장은 사육 1일째 각장 $155.9 \pm 4.4 \mu\text{m}$, 2일째 $170.9 \pm 7.4 \mu\text{m}$, 3일째 $180.8 \pm 6.7 \mu\text{m}$, 그리고 사육 4일째에 $190.2 \pm 7.5 \mu\text{m}$ 의 침착기 유생으로 성장하였다. 각장의 일간성장은 1일째 24.5 μm , 2일째 15.0 μm , 3일째

9.9 μm , 그리고 4일째에 9.4 μm 로 사육 초기에 성장이 빨랐으며, 사육일수가 길어질수록 성장이 느려졌다.

생존율은 사육 1일째 81.5%, 2일째 66.7%로 D형유생 초기에 폐사율이 높았으며, 사육 4일째에 130,000 개체가 생존하여 생존율은 48.1%였다(Table 21).

Table 21. Growth of shell length and survival (%) of *Meretrix lusoria* larvae

Elapsed days	Shell length (mean $\pm$ SD, μm)	Daily increment of shell length (μm)	Survival (%)
0	131.4 $\pm$ 2.6	-	100
1	155.9 $\pm$ 4.4	24.5	81.5
2	170.9 $\pm$ 7.4	15.0	66.7
3	180.8 $\pm$ 6.7	9.9	55.6
4	190.2 $\pm$ 7.5	9.4	48.1

3. 채묘와 치폐사육

2001년 8월 13일 각장 0.2 $\pm$ 0.01 mm의 침착기 유생 130,000개체를 모래 저면 순환여과 수조에 수용하여 사육한 결과, 사육 46일째에 각장 3.1 $\pm$ 0.8 mm, 67일째 5.1 $\pm$ 1.2 mm, 87일째 6.6 $\pm$ 1.8 mm, 그리고 사육 114일째에 10.5 $\pm$ 0.9 mm로 성장하였다. 침착기 유생부터 각장 10 mm까지 치폐의 각장(SL)에 대한 각고(SH)의 상대성장은 $\text{SH}=0.8524\text{SL}+0.0227$ ($R^2=0.9984$)의 직선회귀식으로 표현되었다 (Fig. 25).

생존율은 초기 침착 치폐인 각장 3.1 mm 이하에서 대량폐사가 일어났으나, 사육 46일째 53.8%, 67일째 49.2%, 87일째 43.6%, 그리고 114일째인 12월 5일에 51,000개체가 생존하여 생존율은 39.2%였다(Table 22).

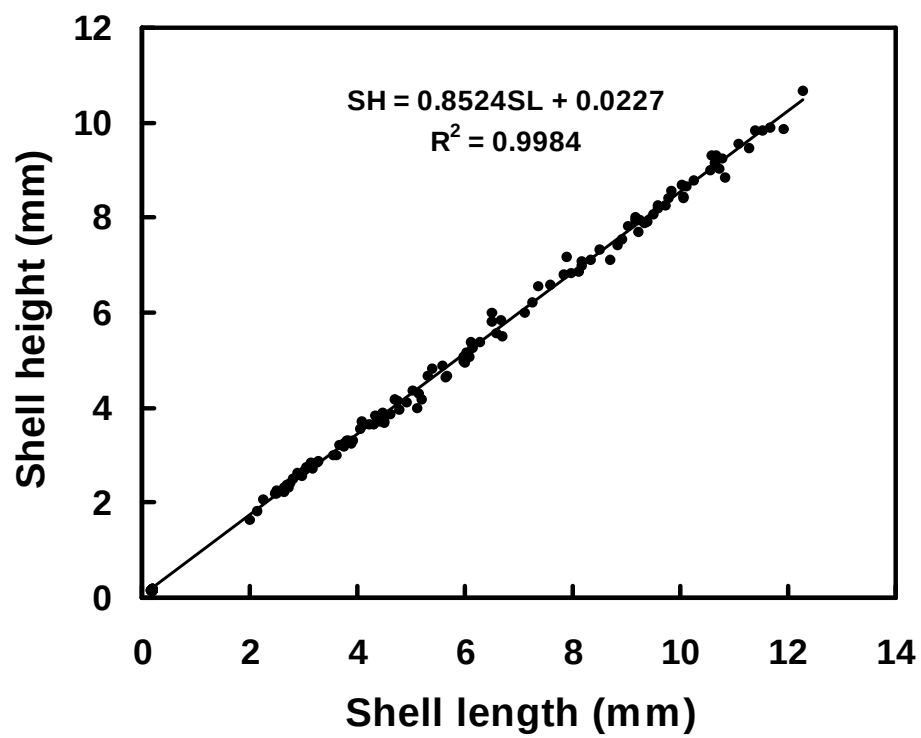


Fig. 25. Relative growth of shell length (SL) and shell height (SH) of *Meretrix lusoria* spats.

Table 22. Growth of shell length and survival (%) of *Meretrix lusoria* spats

Elapsed days	Shell length (mean±SD, mm)	Number of spat	Survival (%)
0	0.2±0.01	130,000	100
36	2.4±0.4	-	-
46	3.1±0.8	70,000	53.8
57	4.1±1.2	-	-
67	5.1±1.2	64,000	49.2
77	5.6±1.3	-	-
87	6.6±1.8	56,700	43.6
98	9.1±1.0	53,000	40.8
114	10.5±0.9	51,000	39.2

제 4 절 고 찰

한국 조개류 중에서 대량 인공종묘생산 기술이 개발된 품종은 대부분 산업적으로 중요한 종으로, 부착성 조개류인 참굴, 참담치, 진주조개, 비단가리비, 일시부착성 조개류인 피조개, 참가리비, 비부착성 조개류인 바지락, 개조개, 북방대합, 코끼리조개, 일본재첩 등이다. 백합은 비부착성 조개류로서 자연에서 발생된 종묘를 활용하여 양식하였으나, 최근 새만금 간척사업으로 인해 자연종묘의 발생장이 축소됨으로써 인공종묘생산의 필요성이 크게 대두되고 있는 실정이다.

본 연구에서 백합의 인공종묘생산을 위해서 실시한 치패 사육실험에서 각장 0.2 ± 0.01 mm 크기의 침착기 유생을 사육하여 사육 46일째 각장 3.1 ± 0.8 mm, 생존율 53.8%, 67일째 각장 5.1 ± 1.2 mm, 생존율 49.2%, 87일째 각장 6.6 ± 1.8 mm, 생존율 43.6% 그리고 114일째 각장 10.5 ± 0.9 mm로 성장하였으며, 생존율은 39.2%였다. 上城 等(1978)은 $2.0 \times 1.0 \times 0.5$ m 수조에서 본 연구와 같은 저면 모래순환여과 방법으로 각장 0.19 ± 0.5 mm 크기의 침착기 유생 450,000개체를 사육하여 22일째 각장 0.64 ± 0.6 mm, 생존율 70.3%, 50일째 각장 1.30 ± 0.2 mm, 생존율 66.7%, 88일째 각장 3.62 ± 0.6 mm, 생존율 56.7%, 119일째 각장 3.70 ± 0.5 mm, 생존율 47.8%로 보고하였다. 본 연구 결과와는 성장에 있어 차이를 보였으며, 이는 사육 수온과 밀도의 차이인 것으로 판단된다. 본 연구에서는 가온에 의해 높은 수온에서 사육하였으나, 上城 等(1978)은 자연해수로 사육하여 고수온 기에는 치패의 성장이 빨랐으나, 수온이 20°C 이하로 낮아지는 10월 중순부터는 거의 성장이 정지한다고 보고하였다. 그리고 사육밀도는 침착기 유생을 기준으로 했을 때, 上城 等(1978)은 22.5개체/ cm^2 인 반면, 본 연구에서는 3.5개체/ cm^2 로 낮은 밀도를 보인 것도 성장이 빨랐던 요인인 것으로 판단된다. 생존율에 있어 上城 等(1978)은 침착 후 20일에 각장 0.64 mm 이하에서 29.7%가 폐사하고, 본 연구에서도 사육 46일째인 각장 3.1 mm까지 46.2%가 폐사하여 침착 초기에 대량 폐사가 일어나는 것은 알 수 있었다.

上城 等(1978; 1979)은 치패의 크기에 따른 외형상의 특징으로 크기 500 μm 전후에서 치패 개체간의 성장 차이가 심하며, 각장 1.0 mm 이상이 되면 패각이 불투명해지며 입출수관의 구별이 가능하고, 각장 2.0 mm가 되면 외관상으로

성패의 형태에 가까워지며, 각장 4 mm에서 패각에 무늬가 다양해진다고 보고 하였는데, 본 연구에서도 각장의 크기에 따른 외부적인 형태의 특징이 같게 나타났다.

본 연구에서는 소규모 실험에서 밝혀진 결과를 대량 인공종묘생산에 적용하여 채란에서부터 치패생산까지의 전 과정에 대해 실험 분석함으로써 백합 인공종묘생산 기술을 개발할 수 있었다.

제 7장 종합고찰

조개류 양식의 생산성을 높이기 위해서는 우선적으로 양식에 가장 기본인 우량한 종묘의 안정적인 확보가 중요하다. 조개류 양식에서 과거에는 자연에서 발생한 종묘를 확보하여 양식에 이용하여 왔으나, 최근에는 연안환경의 오염, 간척으로 인한 자연채묘장의 축소, 성장이 빠른 우량한 어미의 우선 채취, 이상해황의 발생 등으로 인해 자연에서 종묘를 안정적으로 확보하기 어려운 실정이다. 따라서 양식에 부족한 종묘는 일정량을 인공종묘로 충당할 필요가 있어 인공종묘생산 기술개발이 절실히 필요하다.

인공종묘생산 기술을 개발하기 위해서는 먼저 자연에서 어미의 성숙과정과 산란기 등의 번식생리와 수정란의 발생 및 부화에 관여하는 환경요인 그리고 유생 및 치패사육의 환경요인과 먹이생물 등의 사육조건을 밝히는 것이 중요하다.

따라서 본 연구에서는 서해안에 주로 서식하는 비부착성 조개류인 백합의 인공종묘생산 기술을 개발하기 위하여 자연에서 채란이 가능한 산란기를 파악하고, 수정란의 발생과 부화에 관여하는 수온, 염분, 수용밀도 등의 환경요인을 조사하였다. 부화된 유생의 빠른 성장과 높은 생존율을 유지하기 위한 환경과 사육조건 등을 연구하였으며, 침착기 유생의 침착방법과 수온, 염분, 먹이생물 등 치패의 성장과 생존에 영향을 미치는 환경조건을 파악하여 대량 인공종묘생산 기술을 확립하였다.

조개류의 산란기를 추정하는 방법으로는 GSI 조사(Kawamata, 1983), 생식소의 조직학적 관찰(Chang and Lee, 1982; Lee et al., 1997)과 같은 직접적인 방법과 부유유생의 출현량 조사(Kim et al., 1985; Yoo et al., 1988)나 비만도와 육중비 조사(Hamamoto and Oobayashi, 1985)에 의한 간접적 추정 방법이 있다. 본 연구에서는 월별 비만도와 육중비의 변화에 의해 산란기를 간접적으로 추정하였고, 생식소의 발달단계를 조직학적으로 관찰하여 난소내의 난경의 월별 변화와 정확한 백합의 생식주기를 알아냈다.

수정란에서 각장 1 cm의 치패를 생산하기 위해서는 약 4개월이 소요된다. 자연산 어미를 사용하여 7월 하순에 인공종묘를 생산할 경우 11월 하순에 각장 1 cm의 종묘가 생산되며, 백합의 주산지인 서해안의 경우 11월 하순의 수온은

10.3℃(9.4~11.0℃)로 수온이 낮기 때문에 양식장에 방류하기는 어려운 실정이다. 따라서 실내에서 어미를 관리하여 자연 산란기 보다 앞당겨 종묘생산을 할 수 있도록 어미 관리기법의 연구가 이루어져야 할 것이다.

생물은 성장함에 따라 수온과 염분 등에 대한 내성의 폭이 넓어지는 것이 일반적이다. 백합의 경우 수정란 발생시 발생가능 수온은 본 연구에서는 20~30℃였고, **Sagara (1958b)**는 19~31℃로 보고하였으며, 유생의 생존 가능 수온은 본 연구에서는 18~36℃였으나, **Sagara (1958b)**는 12~31℃로 보고하여 수정란의 발생단계에서 보다 유생단계에서 생존가능 수온은 그 범위가 넓었다. 염분에서도 수정란 발생시 발생가능 염분은 본 연구에서 20.0~37.5였고, **Sagara (1958b)**는 19.3~36.5로 보고하였으며, 유생의 생존가능 염분은 본 연구에서 10~40였으나, **上城 等(1978)**은 11.1~31.6로 보고하여 발생시보다 유생의 생존가능 염분의 범위가 넓었다.

조개류의 인공종묘생산시 유생시기에 원생동물이 발생하면 대량폐사가 일어나 계획적인 생산에 어려워진다. 본 연구에서는 유생사육시 수온 18℃와 33℃에서는 수온 23~28℃ 범위에서와는 달리 원생동물이 발생되긴 하지만 낮거나 높은 수온에서는 높은 생존율을 보임으로써 원생동물의 증식억제 효과가 있는 것으로 추측된다. 그리고 염분 10~15에서는 원생동물이 발생되지 않아 유생사육시 원생동물이 발생되면 수온과 염분을 조절하여 원생동물의 증식억제로 안정적 종묘생산을 할 수 있을 것으로 판단된다.

조개류는 서식환경에 따라 서로 다른 패각의 형태를 가지며(**菅野, 1968**), 특히 백합은 서식장소에 따라서 다른 형태적 특징을 갖는다고 하였다(**Kim, 1976**). 백합 *Meretrix lusoria*은 말백합 *Meretrix petechialis*에 비해 각폭이 좁고 패각 뒤쪽 등선이 직선상이며, 뒤쪽 등선과 배선의 경계부분이 뾰족한 것이 형태학적으로 구분되나(**Min, 2005**), 명백한 구별은 어렵다고 기술하고 있다(**柳, 1991**). **Kim et al. (2004)**은 염기서열을 이용한 계통분류에서 백합과 말백합은 동일한 조상을 갖는다고 보고하였다. 지금까지 한국의 백합류 연구는 백합에 대한 보고만 있을 뿐 말백합에 대한 보고는 없다. 따라서 한국 서해·남해안에 이 두 종이 혼재하여 분포한다면 백합류에 대한 정확한 분류가 필요할 것으로 판단된다.

새만금종합개발사업이 완료되어 방조제 내측이 담수화된다면 내측의 백합 자

원은 사라지게 될 것이며, 이로 인한 양식용 종패의 부족으로 백합양식은 더욱 어려움에 당면하게 될 것이다. 백합의 대량 인공종묘생산 기술이 확립될 경우 부족한 종묘를 일정부분 인공종묘로 대체해야 할 것이며, 당장 민간차원에서는 실내에서의 인공종묘생산은 장기간의 치패사육과 먹이생물의 배양 등에서 문제점이 많아 어려울 것으로 판단된다. 본 인공종묘생산 연구에서 얻어진 결과는 서해안의 축제식양식장 등에 적용하여 인공종묘생산 실험을 시도해 볼 필요성은 있다. 그리고 새로운 백합 양식장 개발을 위한 새만금 방조제 외측의 지속적인 어장환경의 변화, 백합자원의 변동조사 등이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

제 8 장 요 약

백합 인공종묘생산 기술을 개발하기 위하여 2000년부터 2003년까지 전북 김제시 진봉면 심포리 앞바다에 서식하는 백합을 대상으로 어미의 생태, 산란기 파악을 위한 생식주기, 인공종묘생산을 위한 채란, 수정란의 발생, 유생사육, 치패사육 및 대량 인공종묘생산 등에 관하여 조사 분석하였다.

1. 생식주기

백합 어미 서식수역의 월 평균수온은 3.0(2월)~26.6℃(8월), 염분은 29.9~32.8 이었다. 생식소는 소화맹낭과 족부 근육층 사이에 위치하고 있었고, 난소와 정소는 작은 소낭들로 구성되어 있었다. 비만도의 월 변화는 0.1014(3월)~0.1520(6월)으로 6월에서 9월까지 급격하게 감소하였으며, 월별 육중비의 변화도 비슷한 경향을 보였다. 난소내 난모세포의 크기는 6~8월에 40 μm 이상이 58.0~66.3%를 차지하였다. 암컷의 생물학적 최소형은 각장 41.2 mm로 추정되었다. 암수의 성비는 1 : 0.97로 조사되었으나 유의성에서는 차이가 없었으며($P>0.05$), 자웅이체로 판명되었다. 백합의 생식주기는 퇴화휴지기 9~11월, 분열증식기 11~4월, 성장기 12~5월, 성숙기 5~7월, 산란기 6~9월(성기 7~9월)로 나타나 하계산란 중인 것으로 밝혀졌다.

2. 채란과 발생

어미의 산란량과 발생률은 자극방법에 따라서는 차이가 없었으나, 7월 하순에 채란하는 것이 가장 효율적이었다. 평균난경은 82.3~86.1 μm 로 분리침성란이었다. 채란·채정 후 경과시간에 따른 D형유생의 수정률과 발생률은 채란·채정 직후 수정한 것이 가장 좋았으며, 1시간 이후부터는 수정률과 발생률이 급격히 감소하였다. 수정란의 적정 발생수온은 25~27℃였으며, 33℃에서는 정상적으로 발생되지 않았다. 수정란에서 D형유생까지 발생 소요시간은 20℃에서 37시간 15분, 25℃에서 20시간 50분, 30℃에서 15시간 20분이었다. 초기 발생에 있어 난발생이 정지하는 생물학적 영도는 평균 12.4℃로 나타났다. 수정란이 D형유생으로 발생 가능한 염분은 20.0~37.5, 적정염분은 27.5~32.5, 최적염분은 25였다.

수정란의 수용밀도는 사육수 1 mL당 40개 이하에서 발생률이 높았다.

3. 유생의 성장과 생존

수정란에서 발생된 D형유생의 크기는 각장 $132.7 \pm 6.0 \mu\text{m}$, 각고 $104.0 \pm 4.7 \mu\text{m}$ 였다. 그리고 수온 29.9°C , 염분 25.8에서 사육 4일째에 각장 $197.8 \pm 6.1 \mu\text{m}$, 일간성장 $16.3 \mu\text{m}$ 의 침착기 유생으로 성장하였으며, 생존율은 43.9%였다. D형유생부터 침착기 유생까지 각장(SL)에 따른 각고(SH)의 상대성장식은 $\text{SH} = 1.0638\text{SL} - 35.8190$ ($R^2 = 0.9651$)이었다. 유생의 적정사육 조건은 수온 $28 \sim 33^\circ\text{C}$ (최적수온 33°C), 염분 $20 \sim 35$ (최적염분 25), 사육밀도 5개체/mL 이하, 먹이생물은 *Isochrysis galbana*, *Chaetoceros calcitrans*, *Nannochloris oculata*를 혼합하여 D형유생 1개체당 3,000~5,000세포를 공급하는 것이 가장 효과적이었다. 일정기간 절식 후 먹이생물을 공급한 경우 먹이생물을 공급한 시점부터 4일째에 평균각장 $192.5 \mu\text{m}$ 이상의 침착기 유생으로 성장하였다.

4. 치패의 성장과 생존

침착기 유생은 저면 모래순환여과 침착방법에서 각장 $4.71 \pm 1.60 \text{ mm}$ 로 가장 성장이 빨랐으며, 염화비닐파판에 침착시킨 방법에서 83.9%로 가장 생존율이 높았다. 치패의 적정 사육조건은 수온 30°C , 염분 30에서 먹이생물 *Chaetoceros calcitrans*, *Chlorella ellipsoidea*, *Isochrysis galbana*를 혼합하여 공급하는 것이 성장이 가장 빨랐으며, 생존율은 99% 이상이었다.

5. 대량 인공종묘생산

2001년 8월 8일부터 12월 5일까지 대량 인공종묘생산을 실시하였다. 각장 $65.8 \pm 8.4 \text{ mm}$ 의 어미 100개체로부터 공기노출과 수온상승자극 방법으로 채란하였으며, 수정란에서 D형유생까지 발생 소요시간은 수온 27°C 에서 17시간 40분, 발생률은 6.1%, D형유생은 각장 $131.4 \pm 2.6 \mu\text{m}$ 였다. D형유생은 4일간 사육하여 각장 $190.2 \pm 7.5 \mu\text{m}$ 의 침착기 유생으로 성장하였고, 생존율은 48.1%였다. 이후 침착기 유생 130,000 개체를 저면 모래순환여과 방법으로 침착시켜 사육하였으며, 46일째 평균각장 $3.1 \pm 0.8 \text{ mm}$, 87일째 $6.6 \pm 1.8 \text{ mm}$, 그리고 114일째에 $10.5 \pm 0.9 \text{ mm}$ 로 성장하였다. 치패의 각장(SL)에 대한 각고(SH)의 상대성장식은 $\text{SH} =$

$0.8524SL+0.0227$ ($R^2=0.9984$)로 나타났다. 초기 침착치폐인 각장 3.1 mm 이하에서 대량폐사가 일어났으며, 생존율은 사육 46일째 53.8%, 87일째 43.6%, 그리고 114일째에 51,000개체가 생존하여 생존율 39.2%를 나타냈다.

감사의 글

논문이 완성되기까지 아낌없이 지도해 주신 장영진 교수님께 먼저 감사를 드립니다. 바쁘신 중에도 부족한 논문을 정성껏 다듬어 주신 허성범 교수님, 이주희 교수님, 박미선 연구혁신본부장님, 이정용 박사님께 깊은 감사를 드립니다. 또한 기회가 있을 때마다 가르침을 주시고 여러 가지 조언을 해 주신 장창익 교수님, 조규대 교수님, 조재운 교수님께 감사의 말씀을 드립니다. 그리고 어려운 여건속에서도 연구를 할 수 있도록 기회를 주시고 격려해 주신 국립수산물학원 강무현, 김영규 전원장님, 민광식 본부장님, 김윤 연구관님, 전임기 교수님, 고창순 박사님, 위종환 박사님께 진심으로 감사를 드립니다.

본 연구가 완성될 수 있도록 현장에서 실험에 도움을 주신 패류연구센터 이승주 연구사님, 김병학 연구사님, 허영백 연구사님, 양문호 연구사님, 김민철님, 임영섭님, 문수범님, 김숙경님, 조현효 반장님 그리고 현장조사에 도움을 주신 갯벌연구센터의 조영조 센터장님, 송재희 연구사님, 서해수산연구소 조기채 팀장님께 감사의 말씀을 드립니다. 겉에서 논문을 정리할 수 있도록 도와주신 연구혁신본부 손현규 팀장님, 전창영 연구사님, 명정인 연구관님, 안두해 연구관님, 김성연 연구사님, 김두남 연구사님, 김도훈 연구사님, 차형기 연구사님, 황진욱 연구관님, 최우정 팀장님, 김영국 사무관님, 민병주 지도관님, 김병국 사무관님, 이종배 사무관님, 김종복 사무관님 그 외 직원 여러분께 감사의 마음을 드립니다. 그리고 학교생활에 항상 많은 도움을 주신 부경대학교 양식생리학 연구실 민병화님을 비롯한 후배님들께 감사를 드립니다.

항상 편안한 마음으로 일할 수 있도록 묵묵히 내조해준 아내, 해 밝은 표정으로 생활함으로써 아빠에게 큰 힘이 되어주는 경원이 연재, 고향에서 늘 든든한 힘이 되어주는 동생내외, 두 누님, 여동생, 늘 나에게 믿음을 갖고 격려해주신 청주 작은 어머님과 기쁨을 함께 하고 싶습니다. 그리고 주변에서 저를 사랑으로 지켜봐 주신 모든 분들께 감사의 말씀을 드립니다. 오늘의 나를 있게 해 주시고, 저를 낳으시던 날 인생의 가장 큰 기쁨을 얻으셨다는 어머님께 작은 보답으로 이 논문을 드립니다. 이 과정을 마칠 수 있도록 정신적, 경제적으로 지원해 주셨지만 결실을 보지 못하고 이 세상을 떠나신 아버님 영전에 이 논문을 바칩니다.

참 고 문 헌

- Booolootian, R.A., A. Farmanfarmaina and A.C. Giese, 1962. On the reproductive cycle and breeding habits of two western species of *Haliotis*. Biol. Bull., 122, 183~192.
- Brousseau, D.J., 1995. Gametogenesis and spawning in intertidal oyster (*Crassostrea virginica*) from western Long Island Sound. J. Shellfish. Res., 14, 483~487.
- Chang, S.D., P. Chin and B.O. Sung, 1976. Effect of silt and salinity on the mortality of *Meretrix lusoria* (Röding). Bull. Korean Fish. Soc., 9, 69~73. (in Korean)
- Chang, Y.J., Y.H. Choi, Y.J. Chang and S.W. Choi, 2000. Effect of water temperature on the egg development of pearl oyster, *Pinctada fucata martensii* and Pacific oyster, *Crassostrea gigas*. J. Korean Fish. Soc., 33, 559~564. (in Korean)
- Chang, Y.J., H.K. Lim and Y.J. Park, 1997. Reproductive cycle of the cultured scallop, *Patinopecten yessoensis*, in eastern waters of Korea. J. Aquaculture, 10, 133~141. (in Korean)
- Chang, Y.J., K. Mori and T. Nomura, 1985. Studies on the scallop, *Patinopecten yessoensis*, in sowing cultures in Abashiri waters -Reproductive periodicity. Tohoku J. Agr. Res., 35, 91~104.
- Chang, Y.J. and T.Y. Lee, 1982. Gametogenesis and reproductive cycle of the cockle, *Fulvia mutica* (Reeve). Bull. Korean Fish. Soc., 15, 241~253.
- Chao, N.H., T.T. Lin, Y.J. Chen, H.W. Hsu and I.C. Liao, 1997. Cryopreservation of late embryos and early larvae in the oyster and hard clam. Aquaculture, 155, 33~46.
- Chen, T.P., 1976. Aquaculture practice in Taiwan. Fishing News Book Limited, Surrey, England, 95 pp.
- 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)
- Choi, S.S., 1976. A study on the artificial discharge and young clam culture of *Meretrix lusoria*. Korean J. Limnol., 9, 7~14. (in Korean)
- Choi, S.S. and Y.K. Song, 1974. Studies on the artificial fertilization and development of *Meretrix lusoria*. Bull. Korean Fish. Soc., 7, 1~6. (in Korean)
- Choi, Y.H. and Y.J. Chang, 2003. Gametogenic cycle of the transplanted-cultured pearl oyster, *Pinctada fucata martensii* (Bivalvia: Pteriidae) in Korea. Aquaculture, 220, 781~790.
- Chun, S.K. and J.B. Lee, 1976. Studies on the trematode larvae infected in the hard clam, *Meretrix lusoria*. Bull. Korean Fish. Soc., 9, 35~42. (in Korean)
- Chun, S.K. and Y.G. Kim, 1982. Studies on the life history of the trematode parasite in *Meretrix lusoria* Röding. Bull. Nat. Fish. Univ. Busan, 22, 31~44. (in Korean)
- Chung, E.Y., 1980. Reproductive cycle and breeding season of the freshwater clam, *Anodonta*(*Sinanodonta*) *woodiana* (Lea). Bull. Korean Fish. Soc., 13, 135~144. (in Korean)
- Chung, E.Y. and D.K. Ryou, 2000. Gametogenesis and sexual maturation of the surf clam, *Macra veneriformis* on the west coast of Korea. Malacologia, 42, 149~163.
- Chung, E.Y., D.K. Ryou and J.H. Lee, 1994. Gonadal development, age and growth of the shortnecked clam, *Ruditapes philippinarum* (Pelecypoda; Veneridae), on the coast of Kimje, Korea. Korean J. Malaco., 10, 38~54.
- Chung, E.Y., H.B. Kim and T.Y. Lee, 1986. Annual reproductive cycle of the jackknife clams, *Solen strictus* and *Solen gordonis*. Bull. Korean Fish. Soc., 19, 563~574.
- Chung, E.Y., T.Y. Lee and C.M. An, 1991. Sexual maturation of the venus clam, *Cyclina sinensis*, on the west coast of Korea. J. Med. Appl. Malacol., 3, 125~136.

- Chung, E.Y., Y.G. Kim and T.Y. Lee, 1987. A study on sexual maturation of hen clam *Macra chinensis* Philippi. Bull. Korean Fish. Soc., 20, 501~508.
- Chung, E.Y. and Y.M. Kim, 2000. Ultrastructural study of germ cell development and sexual maturation of the hard clam, *Meretrix lusoria* (Bivalvia: Veneridae), on the west coast of Korea. J. Med. Appl. Malacol., 10, 181~202.
- Clotteau, G. and F. Dube, 1993. Optimization of fertilization parameters for rearing surf clams (*Spisula solidissima*). Aquaculture, 114, 339~353.
- Crawford, C.M., 1986. Spawning induction and larval and juvenile rearing of the giant clam, *Tridacna gigas*. Aquaculture, 58, 281~295.
- Delaunay, F., Y. Marty, J. Moal and J.F. Samain, 1992. Growth and lipid class composition of *Pecten maximus* (L) larvae grown under hatchery conditions. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 163, 209~219.
- Deridovich, I.I. and O.V. Reunova, 1993. Prostaglandins; reproduction control in bivalve molluscs. Comp. Biochem. Physiol., 104, 23~27.
- Dos Santos, A.E. and I.A. Nascimento, 1985. Influence of gamete density, salinity and temperature on the normal embryonic development of the mangrove oyster, *Crassostrea rhizophorae* Guilding. Aquaculture, 47, 335~352.
- Dufresne-Dube, L., F. Dube, P. Guerrier and P. Couillard, 1983. Absence of a complete block to polyspermy after fertilization of *Mytilus galloprovincialis* (Mollusca, Pelecypoda) oocytes. Develop. Biol., 97, 27~33.
- Duncan, D.B., 1955. Multiple-range and multiple F test. Biometrics, 11, 1~42.
- Enright, C.T., G.F. Newkirk and J.D. Castell, 1986. Comparison of phytoplankton as diets for juvenile *Ostrea edulis* L. J. Exp. Mar. Biol., 96, 1~13.
- Epifanio, C.E., 1979. Comparison of yeast and algal diets for bivalve molluscs. Aquaculture, 16, 187~192.
- Epifanio, C.E. and J. Ewart, 1977. Maximum ration of four algal diets for the oyster *Crassostrea virginica* Gmelin. Aquaculture, 11, 13~29.

- FAO, 1983. FAO yearbook of fishery statistics. Vol. 56.
- FAO, 1993. FAO yearbook of fishery statistics. Vol. 76.
- FAO, 2003. FAO yearbook of fishery statistics. Vol. 96.
- Gallager, S.M. and R. Mann, 1986. Growth and survival of larvae of *Mercenaria mercenaria* (L.) and *Crassostrea virginica* (Gmelin) relative to broodstock conditioning and lipid content of eggs. *Aquaculture*, 56, 105~121.
- Galtsoff, P.S., 1938. Physiology of reproduction of *Ostrea virginica*, I. Spawning reactions of the female and male. *Biol. Bull.*, 74, 461~486.
- Giese, A.C., 1959. Comparative physiology. Annual reproductive cycles of marine invertebrates. *Ann. Rev. Physiol.*, 21, 547~576.
- Giese, A.C. and H. Kanatani, 1987. Maturation and spawning. pp. 251~329. In; A.C. Giese, J.S. Pearse and V.B. Pearse (eds). *Reproduction of marine invertebrates*. Vol. 9. Blackwell Scientific Publications, Palo Alto, California.
- Gibbons, M. and M. Castagna, 1984. Serotonin as an inducer of spawning in six bivalve species. *Aquaculture*, 40, 189~191.
- Gruffydd, L.D. and A.R. Beaumont, 1970. Determination of the optimum concentration of eggs and spermatozoa for the production of normal larvae in *Pecten maximus* (Mollusca, Lamellibranchia). *Helgolander Wiss. Meeresunters*, 20, 486~497.
- Hamada, S. and T. Ino, 1954. Studies on the movement of the Japanese hard clam, *Meretrix meretrix lusoria*, I. Histological studies on the mucous gland in relation to locomotion. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 20, 1~3. (in Japanese)
- Hamamoto, S. and T. Oobayashi, 1985. The suitable time for taking eggs and some problems in breeding the larvae of shell, *Tresus keenae* (Kuroda et Habe). *Bull. Kagawa Pref. Fish. Exp. Stn.*, 22, 1~9.
- Harte, M.E., 1992. A new approach to the study of bivalve evolution. *Amer. Malacol. Bull.*, 9, 199~206.
- Hatanaka, M., T. Imai and R. Sato, 1943. On the *Tapes philippinarum* and *Meretrix lusoria*. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 11, 218. (in Japanese)

- Helm, M.M. and I. Laing, 1987. Preliminary observations on the nutritional value of Tahiti *Isochrysis* to bivalve larvae. *Aquaculture*, 62, 281~288.
- Helm, M.M. and P.E. Millican, 1977. Experiment in the hatchery rearing of Pacific oyster larvae (*Crassostrea gigas* Thunberg). *Aquaculture*, 11, 1~12.
- His, E. and M.N.L. Seaman, 1992. Effects of temporary starvation in the survival and on subsequent feeding and growth of oyster (*Crassostrea gigas*) larvae. *Mar. Biol.*, 114, 277~279.
- His, E., R. Robert and A. Dinet, 1989. Combined effects of temperature and salinity on fed and starved larvae of the Mediterranean mussel *Mytilus galloprovincialis* and the Japanese oyster *Crassostrea gigas*. *Mar. Biol.*, 100, 455~463.
- Holliday, J.E., G.L. Allan and J. Frances, 1991. Cold storage effects on setting of larvae of Sydney rock oyster *Saccostea commercialis*, and the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*. *Aquaculture*, 92, 179~185.
- Ho, Y.D., 1991. Growth of the hard clam, *Meretrix lusoria* cultured in ponds in Taiwan. *J. Fish. Soc. Taiwan*, 18, 273~277.
- Hur, Y.B., 2004. Dietary value of microalgae for larvae culture of Pacific oyster, *Crassostrea gigas*. Ph.D. thesis, Pukyong Nat. Univ., 133 pp. (in Korean)
- Ikuta, K., 1988. Heavy metal concentrations and year-class structure of a venus clam *Meretrix lusoria*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 54, 709~715.
- Iwata, K.S., 1948. Artificial discharge of reproductive substances by potassium salts injection in *Venerupis philippinarum*, *Meretrix lusoria* and *Macra sulcataria* (Bivalves). *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 13, 237~240. (in Japanese)
- Iwata, K.S., 1971a. Spawning of *Mytilus edulis* (5) A method to obtain mature eggs from mantle piece. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 17, 15~18.
- Iwata, K.S., 1971b. Spawning of *Mytilus edulis* (7) Acid-inhibition of spawning by KCl. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 17, 91~93.
- Jeng, S.S. and Y.M. Tyan, 1982. Growth of the hard clam *Meretrix lusoria* in Taiwan. *Aquaculture*, 27, 19~28.

- Kawamata, K., 1983. Reproductive cycle of the scallop, *Patinopecten yessoensis* (Jay) planted in Funka Bay, Hokkaido. Bull. Hokkaido Pref. Fish. Exp. Stn., 25, 15~20. (in Japanese)
- Keen, A.M., 1969. Veneridae. In: Treatise of Invertebrate Paleontology. (ed. by Moore, R.C.) pp. N671-N688, Geological Society of America and University of Kansas Press, Lawrence.
- Kennedy, A.V. and H.I. Battle, 1964. Cyclic changes in the gonad of the American oyster, *Crassostrea virginica* (Gmelin). Can. J. Zool., 42, 305~321.
- Kennedy, V.S. and L.B. Krantz, 1982. Comparative gametogenic and spawning patterns of the oyster *Crassostrea virginica* (Gmelin) in central Chesapeake Bay. J. Shellfish Res., 2, 133~140.
- Khotimchenko, Y.S. and I.I. Deridovich, 1991. Monoaminergic and cholinergic mechanisms of reproduction control in marine bivalve molluscs and echinoderms: A review. Comp. Biochem. Physiol., 100, 311~317.
- Kikuchi, S., 1964. Study on the culture of abalone, *Haliotis discus hannai*. Contribution at the 1964 Peking symposium, (Gen 041).
- Kikuchi, S. and N. Uki, 1974. Technical study on artificial spawning of abalone, genus *Haliotis* II. Effect of irradiated sea water with ultraviolet rays on inducing to spawn. Bull. Tohoku Reg. Fish. Res. Lab., 33, 79~86. (in Japanese)
- Kim, B.A., B.K. Kim and S.U. Kim, 1977. Studies on the growth of hard clam, *Meretrix meretrix lusoria* (Röding). Bull. Fish. Res. Dev. Agency, 17, 77~85. (in Korean)
- Kim, B.H., Y.B. Moon, H.Y. Ryu and S.J. Han, 1995. The artificial seedling production of the Pacific oyster *Crassostrea gigas*. Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Inst., 50, 103~114. (in Korean)
- Kim, B.K., T.S. Ko, H.I. Song, S.D. Lee and S.Y. Kim, 1985. Study on the spawning and growth of hen clam, *Macra sulcataria* (Reeve). Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Inst., 34, 157~164. (in Korean)

- Kim, C.M., 1976. A study on the morphological variation of the hard clam *Meretrix lusoria* (Röding). Thesis Collect. Yeosu Fish. Tech. Coll., 10, 51 ~ 55. (in Korean)
- Kim, H.Y., 1994. Live foods for the scallop (*Patinopecten yessoensis*) in the laboratory culture. Master thesis, Nat. Fish. Univ. Busan. 69 pp. (in Korean)
- Kim, J., H.S. Yoon, S.J. Rha, S.Y. Moon, H.Y. Soh, K.J. Choi and S.D. Choi, 2002. Reproductive cycle of venus clam, *Protothaca jedoensis* (Bivalvia: Veneridae) in Korea. Korean J. Environ. Biol., 20, 245 ~ 255.
- Kim, J.D. and J.H. Koo, 1973. Studies on the seedling production of the ark shell *Anadara broughtonii* (Schrenck) in tank (1). Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency, 11, 71 ~ 78. (in Korean)
- Kim, J.D., S.C. Cheong and H.W. Kang, 1980. Studies on the artificial mass seed production of the ark shell *Anadara broughtonii* (Schrenck)-II. On the intermediate culture of the artificial seed. Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency, 25, 45 ~ 53. (in Korean)
- Kim, J.H., and M.S. Yoo, 2000. Reproductive cycle of marsh clam, *Corbicula leana* (Prime) in Hyongsan estuary. J. Korean Fish. Soc., 33, 184 ~ 191. (in Korean)
- Kim, J.H. and M.S. Yoo, 2001. Annual reproductive cycle of the soft clam, *Mya arenaria*. J. Korean Fish. Soc., 34, 656 ~ 660. (in Korean)
- Kim, J.J., S.C. Kim and H.C. Hong, 2004. Molecular phylogeny of Veneridae (Bivalvia: Heteroconchia) on the basis of partial sequences of mitochondrial cytochrome oxidase I. Korean J. Malacol., 20, 171 ~ 181. (in Korean)
- Kim, J.R., E.Y. Chung, M.S. Choi and M.H. Ryu 1986. Studies on environment and biology of aquatic living resources in Pusa Bay. Bull. Natu. Sci. Kunsan Nat. Univ., 1, 151 ~ 197. (in Korean)
- Kim, W.K., 2004. Growth and seedling production of the brackish water clam, *Corbicula japonica* in Namdae stream, Yangyang, Korea. Ph.D. thesis, Pukyong Nat. Univ., 131 pp. (in Korean)

- Kim, Y.H., 1975. Study on the morphological variations of hard clam *Meretrix lusoria* (Röding). Bull. Gunsan Nat. Fish. Jr. Coll., 9, 39~44. (in Korean)
- Kim, Y.H., 1976. Study on the ecological of hard clam *Meretrix lusoria* (Röding), I. Variation of the meat weight. Bull. Gunsan Nat. Fish. Jr. Coll., 10, 19~21. (in Korean)
- Kim, Y.H., 1977. Study on the ecological of hard clam *Meretrix lusoria* (Röding), II. Variation of the shell length and meat weight. Bull. Gunsan Nat. Fish. Jr. Coll., 11, 61~63. (in Korean)
- Kurashige, H., 1943. Seasonal variation in the weight and volume as well as the chemical composition of the soft body of *Tapes philippinarum* with special reference to its spawning. Bull. Japan. Fish. Exp. Sta., 8, 115~140.
- Laing, I. and C.G. Verdugo, 1991. Nutritional value of spray-dried *Tetraselmis suecica* for juvenile bivalves. Aquaculture, 92, 207~218.
- Laing, I. and P.F. Millican, 1986. Relative growth and growth efficiency of *Ostrea edulis* L. spat fed various algal diets. Aquaculture, 54, 245~262.
- Lee, A.C., C.R. Lin and S.Y. Chen, 2004. The effect of temperature and components of artificial seawater on digging ability of hard clam (*Meretrix lusoria*). J. Fish. Soc. Taiwan, 31, 251~262.
- Lee, B.D., T.Y. Lee and P. Chin, 1975. Effects of crude oil ingredients on the development and oxygen uptake of hard clam, *Meretrix lusoria* (Röding). Publ. Inst. Mar. Sci. Nat. Fish. Univ. Busan, 8, 31~38. (in Korean)
- Lee, B.H. and M.K. Jo, 1980. Study on spat collection method of scallop *Patinopecten yessoensis* Jay in Yeongil Bay. Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency, 24, 59~66. (in Korean)
- Lee, C.S., 1995. Studies on the reproductive biology of geoduck clam, *Panope japonica*. Ph.D. thesis, Cheju Nat. Univ. 109 pp. (in Korean)
- Lee, C.S. and S. Rho, 1997. Studies on the artificial seedling production of geoduck clam, *Panope japonica* II. Development of egg and larvae. J. Aquaculture, 10, 25~32. (in Korean)

- Lee, J.H., 1997a. Histological studies on the gametogenesis and reproductive cycle of the hard clam, *Meretrix lusoria*. Korean J. Malacol., 13, 131~141.
- Lee, J.H., 1997b. Studies on the gonadal development and gametogenesis of the granulated ark, *Tegillarca granosa* (Linne). Korean J. Malacol., 13, 55~64. (in Korean)
- Lee, J.J., 1969. Studies on the mortality of the young bivalves, *Meretrix lusoria* (1) Boring rates of drills on the young bivalve, *Meretrix lusoria*. Bull. Korean Fish. Soc., 2, 63~70. (in Korean)
- Lee, J.Y., 1989. Nitrogen metabolism of hard clam, *Meretrix lusoria* (Röding). Bull. Fish. Sci. Inst. Kunsan Fish. Jr. Coll., 5, 1~9.
- Lee, J.Y. and P. Chin, 1986. Oxygen consumption and nitrogen excretion of hard clam, *Meretrix lusoria*. Bull. Fish. Sci. Inst. Kunsan Fish. Jr. Coll., 2, 1~14.
- Lee, J.Y., W.K. Kim, C.S. Lee and Y.J. Park, 2002. Studies on the collection and growth of spat surf clam, *Spisula sachalinensis* in the tank. J. Aquaculture, 15, 111~117. (in Korean)
- Lee, J.Y., W.K. Kim, C.S. Lee and Y.J. Park, 2003. Survival on water temperature, salinity and air exposed time and sand immersion ability of the surf clam, *Spisula sachalinensis* spat. J. Aquaculture, 16, 229~232. (in Korean)
- Lee, J.Y., Y.J. Chang and C.S. Lee, 1997. Reproductive cycle of surf clam, *Spisula sachalinensis*. J. Korean Fish. Soc., 30, 132~138. (in Korean)
- Lee, J.Y., Y.J. Park and Y.J. Chang, 1999. Gonadal development and reproductive cycle of *Gomphina melanaegis* (Bivalve: Veneridae). J. Korean Fish. Soc., 32, 198~203. (in Korean)
- Lee, J.Y., Y.J. Chang, Y.S. Kim, Y.H. Choi and Y.J. Chang, 2002. Influence of water temperature on egg development of surf clam, *Spisula sachalinensis*. J. Aquaculture, 15, 39~42. (in Korean)
- Lee, S.D., Y.G. Rho, T.S. Ko, S.W. Kim and Y.A. Kim, 1985. Preliminary study on the environmental factors and mortality of hard clam *Meretrix lusoria*. Technical report. Fish. Res. Dev. Agency, 62, 55~75. (in Korean)

- Lin, Y.H., Y.P. Chan and A.C. Lee, 2001. A study on the effect of temperature and the species of salts on the digging ability of hard clam *Meretrix lusoria*. 6th Asian Fisheries Forum Book of Abstracts, 139 pp.
- Lin, Y.S., S.L. Chen and Y.H. Pang, 1981. Studies on the relationship between mass mortality of hard clam (*Meretrix lusoria*) and dissolved sulfide. Rep. Inst. Fish. Biol. Taipei, 3, 1~11. (in Korean)
- Longwell, A.C., S.S. Stiles and D.G. Smith, 1967. Chromosome complement of the American oyster, *Crassostrea virginica*, as soon in meiotic and cleaving eggs. Can. J. Genet. Cytol., 9, 845~856.
- Loosanoff, V.L., 1950. Rate of water pumping and shell movements of oyster in relation to temperature (Abstract). Anat. Rec., 108, 620 pp.
- Loosanoff, V.L., 1954. New advances in the study of bivalve larvae. Amer. Sci., 42, 607~118.
- Loosanoff, V.L., 1962. Gametogenesis and spawning of European oyster *Ostrea edulis* in winters of Maine. Biol. Bull., 122, 86~95.
- Loosanoff, V.L. and H.C. Davis, 1963. Rearing of bivalve molluscs. Adv. Mar. Biol., 1, 1~136.
- Mackie, G.L., 1984. In: The Mollusca. Vol. 7 Reproduction. 5. Bivalves, Tompa, A.S., N.H. Verdonk and J.A.H. an Den Biggelaar (eds.), Academic Press, London. pp. 351~418.
- Marty, Y., F. Delaunay, J. Moal and J.F. Samain, 1992. Changes in the fatty acid composition of *Pecten maximus* (L) during larval development. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 163, 221~234.
- Min, D.K., 2004. Mollusks in Korea (revised supplementary ed.). Hanguel Co., 464~471. (in Korean)
- Min, D.K., 2005. Mollusks in Korea. Hanguel Co., 230 pp. (in Korean)
- Min, K.S., B.S. Kim, T.I. Kim, Y.B. Hur and E.Y. Chung, 2004. Reproductive cycle and induced sexual maturation of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*. Korean J. Malacol., 20, 75~84. (in Korean)

- Min, K.S., T.I. Kim, S.B. Hur, Y.B. Hur, D.W. Park, H.Y. Lee and M.S. Hwang, 1999. Studies on the artificial spat collection method for the Pacific oyster, *Crassostrea gigas* (Thunberg). Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Inst., 57, 35~41. (in Korean)
- Min, K.S., Y.J. Chang, D.W. Park, C.G. Jung, D.H. Kim and G.H. Kim, 1995. Studies on rearing conditions for mass seedling production in Pacific oyster larvae, *Crassostrea gigas* (Thunberg). Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency, 49, 91~111. (in Korean)
- Nell, J.A. and B. Wisely, 1984. Experimental feeding of Sydney rock oysters (*Saccostrea commercialis*) III. Food concentration and fattening procedures. Aquaculture, 37, 197~208.
- Nell, J.A. and J.E. Holliday, 1988. Effects of salinity on the growth and survival of Sydney rock oyster (*Saccostrea commercialis*) and Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) larvae and spat. Aquaculture, 68, 39~44.
- Numaguchi, K. and Y. Tanaka, 1987. Effects of temperature and salinity on growth of early young hard clam *Meretrix lusoria*. Bull. Nat. Res. Inst. Aquacult., 11, 35~40. (in Japanese)
- Numaguchi, K., 1997. A preliminary trial to induce maturity and spawning of the common oriental clam *Meretrix lusoria* out of spawning season. J. World Aquacult. Soc., 28, 118~120.
- Oh, B.S., C.G. Jung and S.Y. Kim, 2003. Artificial spawning, larval and spat developments of the bay scallop, *Argopecten irradians*. Korean J. Malacol., 19, 19~24. (in Korean)
- Oh, B.S., C.G. Jung, S.Y. Kim, S.Y. Kim and E.Y. Chung, 2002. Reproductive cycle of the bay scallop, *Argopecten irradians* transplanted from China. J. Korean Fish. Soc., 35, 201~206. (in Korean)
- Osanai, K., 1985. In vitro induction of germinal vesicle breakdown in oyster oocytes. Bull. Mar. Biol. Stn. Asamushi, Tohoku Univ., 18, 1~9. (in Japanese)

- Park, J.J., J.Y. Lee, J.S. Lee and Y.J. Chang, 2003. Gonadal development and gametogenic cycle of the equilateral venus, *Gomphina veneriformis* (Bivalvia: Veneridae). J. Korean. Fish. Soc., 36, 352~357. (in Korean)
- Park, J.S. and H.G. Kim, 1979. Bioassays on marine organisms II. Acute toxicity test of mercury, copper and cadmium to clam, *Meretrix lusoria*. Bull. Korean Fish. Soc., 12, 112~117. (in Korean)
- Park, K.Y., S.K. Kim, H.C. Seo and C.W. Ma, 2005. Spawning and larval development of Jicon scallop, *Chlamys farreri*. J. Aquaculture, 18, 1~6. (in Korean)
- Pyen, C.K., Y.G. Rho and Y.K. Yoo, 1976. Studies on spat collection and rearing of the larvae, *Anadara broughtonii* (Schrenck) in tank. Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency, 15, 7~18. (in Korean)
- Reis-Henriques, M.A. and J. Coimbra, 1990. Variations in the levels of progesterone in *Mytilus edulis* during the annual reproductive cycle. Com. Biochem. Physiol., 95, 343~348.
- Robert, R., E. His and A. Dinet, 1988. Combined effects of temperature and salinity on fed and starved larvae of the European flat oyster *Ostrea edulis*. Mar. Biol., 97, 95~100.
- Rodriguez-Moscoso, E. and R. Arnaiz, 1988. Gametogenesis and energy storage in a population of the grooved carpet-shell clam, *Tapes decussatus* (Linne, 1787), in northwest Spain. Aquaculture, 162, 125~139.
- Romverger, H.P. and C.E. Epifanio, 1981. Comparative effects of diets consisting of one or two algal species upon assimilation efficiencies and growth of juvenile oysters, *Crassostrea virginica* (Gmelin). Aquaculture, 25, 77~87.
- Sagara, J., 1952. On the relationship between population density and growth of the clams, *Venerupis semidecussata* and *Meretrix meretrix lusoria*, with the interactive influence upon their growth. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 18, 249~262. (in Japanese)
- Sagara, J., 1958a. Artificial discharge of reproductive elements of certain bivalves caused by treatment of sea water and by injection with NH_4OH . Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 23, 505~510. (in Japanese)

- Sagara, J., 1958b. 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., M. Kurata and T. Miyamoto, 1992. Breeding season of the sunray surf clam *Maxtra sachalinensis* in Tomakomai, southwest Hokkaido. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 58, 1279~1283. (in Japanese)
- Sasaki, K., 1981. Growth of the Sakhalin surf clam, *Spisula sachalinensis* (Schrenck), in Sendai Bay. *Tohoku J. Agri. Res.*, 33, 168~180.
- Spencer, B.E., D. Key, P.E. Millican and M.J. Thomas, 1978. The effect of intertidal exposure on the growth and survival of hatchery-reared Pacific oysters (*Crassostrea gigas* Thunberg) kept in trays during their first on growing season. *Aquaculture*, 13, 191~203.
- Staeger, W.H. and H.F. Horton, 1976. Fertilization method quantifying gamete concentrations and maximizing larvae production in *Crassostrea gigas*. U.S. Nat. Mar. Fish. Serv. Fish. Bull., 74, 698~701.
- Stephano, J.L. and M. Gould, 1988. Avoiding polyspermy in the oyster (*Crassostrea gigas*). *Aquaculture*, 73, 295~307.
- Taki, I., 1949. Spawning season of *Meretrix lusoria* (Bivalve). Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 15, 479~486. (in Japanese)
- Thorarinsdottir, G.G., 1991. The Iceland scallop, *Chlamys islandica* (O.F. Muller) in breidafjordur, west Iceland I. Spat collection and growth during the first year. *Aquaculture*, 97, 13~23.
- Toba, M. and T. Miyama, 1991. Gonadal development and spawning induction in artificially conditioned Manila clams, *Ruditapes philippinarum*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57, 1269~1275.
- Uemoto, H., 1958. Studies on the gonad of the pearl-oyster, *Pinctada martensii* (Dunker) II. Histological observation with regard to both the seasonal variation and the change during the course of the artificial spawning. Bull. Nat. Pearl Res. Lab., 4, 287~307.

- Vaught, C., 1989. A classification of the living mollusca. American Malacologists Inc., Melbourne, Florida. 124~137.
- 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.). Elek, London, 379~398.
- Wilson, J.H., 1978. The food value of *Phaedactylum tricornutum* Bohlin to the larvae of *Ostrea edulis* and *Crassostrea gigas* Thunberg. Aquaculture, 13, 313~323.
- Wisely, B. and B.L. Reid, 1978. Experimental feeding of Sydney rock oyster (*Crassostrea commercialis* = *Saccostrea cucullata*) I. Optimum particle sizes and concentrations. Aquaculture, 15, 319~331.
- Won, J.H. and N.P. Go, 1975. Water quality of the culture beds of hard clam and adjacent sea of the Yeosu refinery of Honam Oil Refinery Co. in Kwangyang Bay. Bull. Korean Fish. Soc., 8, 73~84.
- Won, S.H. and S.J. Han, 2004. Effects of various stimulants on spawning induction and early development at different water temperatures in the noble scallop, *Chlamys nobilis*. J. Aquaculture, 17, 97~102. (in Korean)
- Yoo, S.K., 1969. Food and growth of the larvae of certain important bivalves. Bull. Pusan Fish. Coll., 9, 65~87. (in Korean)
- Yoo, S.K. and H.G. Park, 1997. Culture condition and larval growth of the oyster, *Crassostrea nippona*. J. Aquaculture, 10, 97~103. (in Korean)
- Yoo, S.K. and K.H. Kang, 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)
- Yoo, S.K., K.H. Kang and D.Y. Lee, 1988. Occurrence and survival rate of the larvae of sea mussel, *Mytilus edulis*. Bull. Korean Fish. Soc., 21, 35~41. (in Korean)

- Yoo, S.K., K.H. Kang and Y.J. Chang, 1990. Influence of water temperature on spawning induction, egg development and seed collection of sea squirt, *Halocynthia roretzi*. J. Aquaculture, 3, 79~88. (in Korean)
- Yoo, S.K. and M.S. Yoo, 1984. Studies on the pen shell culture development (I). Reproductive ecology of pen shell in Yoja Bay. Bull. Korean Fish. Soc., 17, 529~535.
- Yoo, S.K., T.Y. Lee, P. Chin, S.K. Chun and W.K. Choe, 1975. Studies on the mortality of hard clam *Meretrix lusoria* (Röding) in Buan farming area. Publ. Inst. Mar. Sci. Nat. Fish. Univ. Busan, 8, 39~52. (in Korean)
- Yoo, S.K., Y.J. Chang and K.H. Kang, 1991. Influence of water temperature on egg development of red sea bream, *Pagrus major*. J. Aquaculture, 4, 13~18. (in Korean)
- Zerbe, W.B. and C.B. Taylor, 1953. Seawater temperature and density reduction tables. U.S. Dept. Commerce Spec. Publ. No. 298, Washington, D.C.
- 藤森三郎, 1929. 有明海干潟利用研究報告. 福岡水試. 175 pp.
- 菅野簿記, 1968. 増養殖. 養殖 5月号, 88~100.
- 吉田裕, 1941. ハマガリの初期生活史に就て. *Venus*, 11(1), 1~11.
- 内藤新吾, 1930. 主要貝類の産卵時期調査. 千葉水試内 分場既往事業報告, 昭和5年度. 21~23.
- 柳鍾生, 1991. 原色韓國貝類圖鑑. 一志社, 196 pp.
- 浜田颯子, 1956. ハマガリ肉量の歩留りについて. 水産増殖要報, 2, 7.
- 上城義信・幡手格一・安東正雄, 1978. ハマガリ人工種苗と稚貝の飼育. 栽培技研, 7, 39~50.
- 上城義信・安東正雄・松本正勝, 1979. ハマガリの人工採苗の成長とその生態に関する二, 三の實驗. 栽培技研, 8, 1~8.
- 相良順一郎, 1981. アサリ・ハマグリ of 生理生態. 海洋と生物, 3, 102~105.

- 相良順一郎・田中彌太郎・浜田サツ子・二宮直尙, 1968. チョウセンハマグリの發生におよぼす環境要因の影響に関する研究-I. チョウセンハマグリの發生初期における適温適比重, とくに低温, 低比重の影響について. 茨城水試, 91~97.
- 石田雅俊, 1975. ハマグリの種苗生産研究 第1報. 福岡豊前水試研業報. 39~48.
- 小野剛, 1972. ハマグリの人工採苗と養殖. 養殖, 8月, 114~118.
- 小形國三, 1965. ハマグリ. 浅海養殖60種. 大成出版社. 228~236.
- 新川英明, 1959. カキ殻の變異について. 日本生態學會誌, 9, 214~220.
- 隆島史夫・羽生功, 1989. 水族繁殖學. 綠書房, 東京. 335 pp.
- 伊藤進・小木曾卓郎, 1954. 松川浦に於けるアサリ・ハマグリの増殖に関する研究 第2報. 1~13.
- 日本水産資源保護協會, 1985. 水産生物生活史生態. 241~251.
- 波部忠重・伊藤潔, 1991. 原色世界貝類圖鑑 (I) 北太平洋編. 保育社, 137.
- 張季南, 2002. 貝類養殖. 三光出版社, 259~281.
- 宍戸一郎, 1895. 仙台地方貝類産卵期. 水産調査報告, 3, 27~116.
- 김문규, 1994. 수정. 조완규 편저 발생생물학. 201~231.
- 류동기, 2004. 새만금 갯벌의 백합자원 분포. 제2회 서해안 갯벌 되살리기 백합 심포지움, 23~30.
- 송재희, 2002. 서해안 지역 백합양식 현황과 발전방향. 서해안 패류 종묘생산 및 양식 세미나, 서해수산연구소 태안수산종묘시험장, 53~61.
- 유성규, 2000. 천해양식. 구덕출판사. 부산, 639 pp.
- 정태준, 김형섭, 이봉찬, 조규정, 박일권, 나대균, 주동수, 박형식, 김아영, 최옥인, 조영조, 송재희, 조영록, 최용석, 고병설, 2004. 백합시험양식. 부안군, 123 pp.
- 현봉개, 정영균, 고태승, 김선웅, 김은자, 1979. 백합양식장 저질 회복시험. 국립수산진흥원 사업보고, 49, 43~77.
- 황호정, 김용호, 이길수, 문희철, 1971. 백합 발생장애 있어서 치패 및 종패 분포 조사. 국립수산진흥원 사업보고, 10, 9~24.