

실험실에서 사육된 고랑가리비 *Chlamys swiftii* 수정란 발생과 유생 성장

이 주, 김이청, 김기승, 남명모

국립수산과학원 동해수산연구소

Development and growth in fertilized eggs and larvae of Korea swift's scallop *Chlamys swiftii* reared in the laboratory

Chu Lee, Yi Cheong Kim, Gi Seung Kim and Myung-Mo Nam

East Sea Fisheries Research Institute NFRDI, Gangneung 210-861, Korea

ABSTRACT

The development of swift's scallop *Chlamys swiftii*, reared in the laboratory, has been examined through the investigation of morphological characteristics in fertilized egg, larvae and juvenile. Eggs were fertilized with a dilute sperm solution to improve the survival of fertilized eggs. Developing larvae were maintained at a temperature of $16 \pm 0.5^\circ\text{C}$ and salinity concentration of 33 ppt. We have investigated the fertilization rates and egg number spawned at several stimulating conditions such as sunlight exposure, air dry, seawater temperature rise (5°C) and seawater temperature rise (5°C) after exposure of air dry for spawning induction of swift's scallop *Chlamys swiftii*. Stimulation treated with sunlight exposure and seawater temperature rise (5°C) have shown the spawning number of 700,000-900,000 and 700,000-800,000 per individual, respectively while stimulation treated with seawater temperature rise (5°C) after exposure of air dry have shown the high spawning number of 1,000,000-1,500,000 per individual. Survival rate of D-shaped larvae of swift's scallop put into the different seawater temperatures of 8°C , 12°C , 16°C , 20°C and 24°C has been 4.1%, 11.6%, 32.7%, 18.6% and 3.2%, respectively. Fertilized eggs with the diameter of $72 \mu\text{m}$ developed into trochophore larvae of $103 \pm 3.8 \mu\text{m}$ shortly after 35 hours and to D larvae of $129 \pm 10.4 \mu\text{m}$ shell length within 72 hours. It took 336 hours to become initial Umbo-stage larva of $145 \pm 16.8 \mu\text{m}$ shell length. Post larvae, which have been $197 \pm 13.6 \mu\text{m}$ shell length, spontaneously have settled in the attachment substances. It have required 528 hours from fertilized eggs to early attached juvenile to become initial juvenile size of $245 \pm 15.8 \mu\text{m}$ shell length.

Key words: Scallop, Development, Growth, Fertilized egg, Larvae, Juvenile, *Chlamys swiftii*

서 론

가리비과 (Pectinidae) 의 패류 중 상업성이 있어 양식이나 어획 대상이 되는 종은 *Chlamys*, *Mimachlamys*, *Aequipecten*, *Palliolium*, *Decatopecten*, *Pecten* 무리에서

약 30 종 이상이 있으며, 이 중에서 *Chlamys*와 *Pecten* 속에 속하는 종들이 상업적으로 이용성이 높다. 한국에는 가리비과에 24종이 서식하고 있는데 (Lee and Min, 2002) 우리나라의 동해안에 분포하는 고랑가리비는 *Chlamys* 속에 속하며, 한해성이 강한 종으로서 동해안의 중북부 이상의 연안에서부터 오후츠크, 사할린, 쿠릴열도에까지 분포하고 있다 (Min et al., 2004). 고랑가리비는 강원도를 중심으로 부가가치가 큰 동해안의 주요 품종으로서 양식어업인 소득원 증대에 크게 이바지할 수 있으며, 최근 들어 해양여건 등의 불안정으로 인해 자원이 감소하고 있지만 양식이 가능하다면 소득 창출원으로 기대치가 높은 품종이다. 동해안에서 가리비 양식산업이 지속적으로 발전하기 위해서는 많은 종류의 가리비가 인공종묘생산에 의한 우량종패 수급이 뒷받침되어야 하는데 아직까지 고

Received: November 7, 2013; Revised: November 16, 2013
Accepted: November 22, 2013
Corresponding author : Myung-Mo Nam
Tel: +82 (33) 660-8544 e-mail: mmnam@nfrdi.go.kr
1225-3480/24496

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

랑가리비는 인공종묘를 생산할 수 없고 초기 유생단계에서 많은 폐사가 발생하여 인공종묘생산을 전혀 할 수 없는 실정이었다. 일반적으로 가리비류의 생존에 영향을 미치는 요인으로는 수온, 염분, 수소이온농도, 용존산소 등과 같은 환경요인과 생태학적 요인이 있지만 (Rhodes and Widman, 1980; Wilson, 1987; Naidu, 1991), 특히, 유생사육에 의한 종묘생산과 치패 사육단계에서는 먹이가 폐사에 직접적인 영향을 미치며, 그 중에서도 먹이 내 존재하는 지방산과 같은 영양성분이 큰 영향을 미친다고 알려져 있다 (Whyte *et al.*, 1989; Marty *et al.*, 1992; Soudant *et al.*, 1998; Feindel, 2000; Hall *et al.*, 2002; Milke *et al.*, 2004).

고랑가리비 (*Chamys swiftii*) 는 연체동물문 (Mollusca), 이매패강 (Bivalvia), 사색목 (Filibranchia), 가리비과 (Pectinidae) 에 속하며 크기가 12 cm 정도로서 20 cm까지 성장하는 큰가리비 (*Patinopecten yessoensis*) 보다 작지만 두꺼운 껍질에 고랑모양으로 넓은 방사륜이 5개가 있어서 뚜렷하게 구분된다. 성장이 멈춘 곳에 나이테처럼 성장선이 아주 뚜렷하며 왼쪽 껍질은 엷은 적자색이며 오른쪽 껍질은 흰색이다. 껍질 모양이 발의 고랑처럼 울퉁불퉁하다고 해서 이름 붙여진 고랑가리비는 80년대 초에 강원도 주문진에서 많이 발견되어 “주문진가리비”라고도 불리며, 동해를 접한 우리나라 강원도 해역의 수온이 낮은 바다에 주로 분포하고 있다. 우리나라에서는 강원도 고성-삼척 연안에서 큰가리비, 비단가리비, 국자가리비와 함께 흔하게 볼 수 있었으나 현재는 다이버에 의해서 우렁쟁이, 붉은명게 등이 군집을 이루고 있는 바다저층의 암반이나 모래지역에서 희귀하게 발견되고 있는 실정이다.

국내에 서식하는 큰가리비, 해만가리비, 비단가리비, 해가리비 및 혼한가리비에 관해서는 많은 연구가 있는데 큰가리비는 생식주기, 인공종묘 생산과 양식에 의한 성장 등에 관한 연구 (Lee and Chang, 1977; Maru, 1978; Yoo *et al.*, 1981; Chang *et al.*, 1985; Chang, 1991; Chang, 1993; Chang *et al.*, 1997; Park, 1998; Park *et al.*, 2000; Park *et al.*, 2001; Jo *et al.*, 2007; Oh *et al.*, 2008), 해만가리비는 발생과 밀도별 성장 등에 관한 연구 (Oh and Jung, 1999; Oh, 2000; Oh *et al.*, 2000; Oh *et al.*, 2002a; Oh *et al.*, 2002b; Oh *et al.*, 2002c; Oh *et al.*, 2003) 가 있으며 비단가리비는 생식주기, 유생성장 및 양식에 관한 연구 (Hwang and Kim, 1973; Liao *et al.*, 1983; Li *et al.*, 1989; Na *et al.*, 1995; Kuang *et al.*, 1997; Yang *et al.*, 1999; Kang and Zhang, 2000), 해가리비는 성장과 양식에 관한 연구 (Son *et al.*, 1996; Son, 1997), 그리고 혼한가리비는 발생, 종묘생산과 치패성장에 관한 (Lee, 1991; Won and Han, 2004; Won *et al.*, 2008) 등이 있다. 그러나 고랑가리비에 관한 유생발생, 종묘생산 및 치패유성 등에 관한 연구는 전무한

실정이다. 우리나라 동해안에 서식하는 고랑가리비는 맛이 뛰어나며 공예품에 많이 활용되는 경제적 가치가 아주 높은 품종이나 자원이 점점 고갈되어가고 있으며 산업적 산출량이 전무한 실정이므로 자원회복과 양식산업화 품종으로 개발할 필요성이 높아서 고랑가리비의 성패를 수집하여 산란유발, 유생발생과 성장에 관한 기초연구를 수행하였다.

재료 및 방법

1. 모패 사육 및 생식소 지수

실험에 사용한 고랑가리비 성패는 강원도 양양연안에서 2012년 10월에 채집하여 사육 관리하였다. 실험 수조는 500 L 수조 (사육수 400 L) 를 급격한 수온변화를 막을 수 있는 실내에 설치하고 여과된 해수를 충분히 공급할 수 있도록 주수 시설을 완비하였으며, 사육수조 내에 원활한 먹이 순환과 산소 공급을 위해 통기를 시켜주었다. 수조에 수용한 고랑가리비 성패를 위해 20개체씩 3반복으로 수용하고 유수식으로 사육하였으며 산란기에 외부자극을 억제하기 위해 실내를 100 lux 이하로 조명을 어둡게 시설하였다. 실험기간 사육수온은 $16 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 이었다. 먹이는 *Phaeodactylum tricornutum*, *Isochrysis galbana*, *Pavlova lutheri*, *Chaetoceros calcitrans*, *Tetraselmis suecica*를 1일 2회 (9:00, 15:00) 공급하였으며, 공급밀도는 40,000-60,000 cells/ml 이었다. 먹이를 공급한 후에는 성패의 먹이 섭취율을 높여 주기 위해 유수식인 사육수를 2시간 정지시켜 주었다. 성패의 생식소 중량 지수 (GSI) 는 (생식소중량/육중량) x 100으로 산출하였다.

2. 산란유발 조사

산란유발 자극실험을 위해 사용한 어미는 양식장에서 사육한 모패중 생식소가 충분히 성숙하고 색이 선명한 모패를 사용하였다. 산란자극 방법으로는 광 자극, 간출 자극, 온도 자극, 그리고 간출 후 온도자극을 수온 $16 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 에서 각각 실시하였다. 산란유발 실험은 오후 2시에 동시에 실시하였으며 광 자극 실험을 위해 햇빛이 충분한 실외 (8,000 lux 이상) 에서 20 L 수조에 고랑가리비 모패를 1마리씩 수용하여 1시간 동안 실시하였다. 간출 자극은 음지에서 1 시간 동안 간출 후 다시 해수에 수용하였으며 온도자극은 $5.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 상승시킨 수조에서 산란과정을 관찰하였고 간출 후 온도자극은 고랑가리비 모패를 음지에서 30분 동안 간출 후 $21.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 수온에서 30분 동안 수용하고 산란과정을 조사하였다. 자극방법에 따른 산란은 1시간 동안 자극 후 산란반응을 보이는 3시간 동안의 산란량으로 측정하였으며 산란한 미수정란을 여과해수로 3회 세척하여 현미경하에서 미수정란을 3회 계수하여 평균을 해수용량에 곱하여 산정하였다. 미수정란과 정자의 수정은 1:10,000의 비율로 수정시켰으며 수정 10분 후 세란을 실시하고 수정

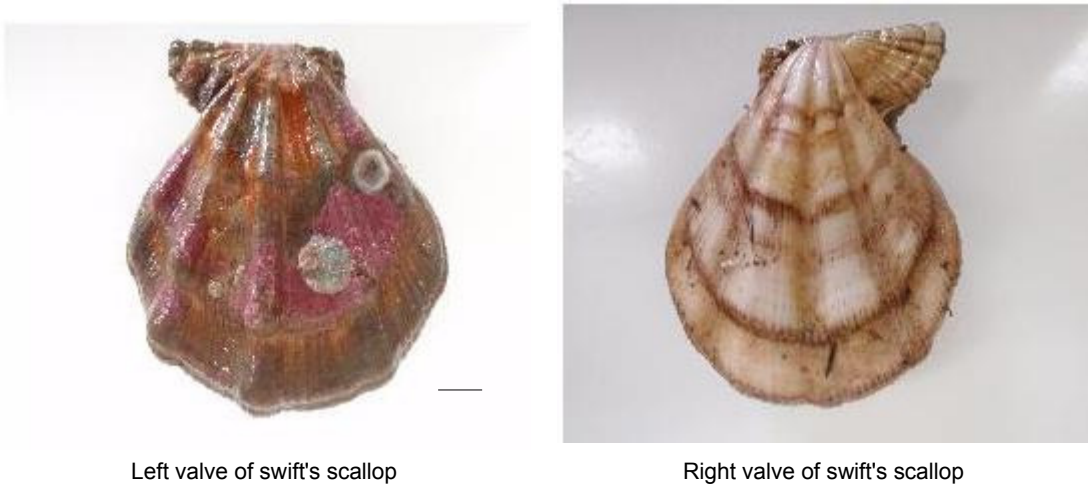


Fig. 1. Outline shape of swift's scallop, *Chamys swiftii* collected from the coast of Yangyang, Gangwon province. Scale bar = 10mm.

후 2세포기로 난할이 이루어진 수정란을 계수하여 수정률로 판정하였다.

3. 수정란 발생 및 유생 사육

산란 후 수정된 알은 망목 18 μ m의 물러가제로 수거하여 수온 16°C로 조절된 수조에 수용하여 부화시키며 관찰하였다. 수정란의 발생과정을 조사하기 위하여 비이커에 ml당 1,000개의 수정란을 수용하고 발생단계를 광학현미경을 사용하여 30분 간격으로 관찰하고 촬영하였다. 유생사육을 위해 사용된 식물성 플랑크톤은 황갈편모조류인 *Isochrysis galbana*, *Pavlova lutheri*, 규조류인 *Chaetoceros calcitrans*를 1일 2회 (9:00, 15:00) 공급하였으며, 공급밀도는 40,000-60,000 cells/ml 이었다. 먹이생물 배양을 위하여 자외선 살균기로 멸균한 해수를 1 μ m 여과기를 통과시켜 사육수로 사용하였다. 고랑가리비 유생의 먹이생물인 식물성 플랑크톤 배양조건은 광조건 14L:10D, 온도 22 \pm 2°C, 조도는 3,000 lux가 되도록 유지하였다. 유생의 발생단계별 소요시간은 검경된 유생의 50% 이상이 발생단계에 도달하는 것으로 하였고 D상 유생의 생존율은 수온별로 섬모로 수영하는 개체를 완전하게 변태하였다고 판단하여 생존율로 계수하였다. 실험 결과는 one-way ANOVA-test를 실시하였으며, 평균 간의 유의성 ($P < 0.05$)을 분석하기 위해 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)를 실시하였다. 또한 모든 통계 분석은 SPSS program (Ver. 14.0)으로 검정하였다.

결 과

1. 모패의 크기 및 생식소 지수

실험에 사용한 고랑가리비 모패의 계측형질을 측정한 결과,

2012년 12월 암컷의 평균 각장 크기는 80.4 \pm 4.04 mm, 각고 95.9 \pm 2.48 mm, 전중량 123.0 \pm 5.75 g, 수컷의 평균 각장 크기는 81.8 \pm 6.10 mm, 각고 95.2 \pm 6.93 mm, 전중량 127.6 \pm 17.56 g이었다. 2013년 3월 암컷의 평균 각장 크기는 80.8 \pm 6.73 mm, 각고 95.5 \pm 7.31 mm, 전중량 132.9 \pm 37.38 g, 수컷의 평균 각장 크기는 81.1 \pm 5.17 mm, 각고 95.9 \pm 5.63 mm, 전중량 119.4 \pm 15.10 g이었으며 6월 암컷의 평균 각장 크기는 84.6 \pm 6.25 mm, 각고 97.2 \pm 6.06 mm, 전중량 140.7 \pm 22.43 g, 수컷의 평균 각장 크기는 80.0 \pm 5.43 mm, 각고 94.6 \pm 6.02 mm, 전중량 127.7 \pm 18.37 g이었고, 9월 암컷의 평균 각장 크기는 80.9 \pm 5.53 mm, 각고 95.8 \pm 6.04 mm, 전중량 130.6 \pm 18.91 g, 수컷의 평균 각장 크기는 81.1 \pm 4.87 mm, 각고 95.4 \pm 5.61 mm, 전중량 134.7 \pm 16.85 g이었다 (Fig. 1). 고랑가리비는 좌각은 붉은색, 우각은 연분홍색이며 좌각의 귀가 우각의 귀보다 큰 특징을 보여 주었으며 좌각의 표면에는 매우 굵은 5-6개의 방사선이 성장정지선을 만나 굴곡을 이루고 있었다 (민 등, 2004). 고랑가리비는 자웅이체로 암컷의 생식소는 분홍색을 띠고 있으나 수컷 생식소는 유백색을 띠고 있었다 (Fig. 2). 고랑가리비의 2012년 12월 암컷의 생식소 지수는 16.3 \pm 1.50, 2013년 3월 4.8 \pm 1.64, 6월 16.8 \pm 2.40, 9월 26.6 \pm 6.44이었으나 수컷의 생식소 지수는 2012년 12월 16.2 \pm 1.53, 2013년 3월 5.0 \pm 1.33, 6월 15.9 \pm 2.16, 9월 27.1 \pm 7.59를 나타내었다 (Fig. 3).

2. 조건별 산란유도 효과

산란유발을 위하여 광 자극, 간출 자극, 온도 자극, 그리고 간출 후 온도자극을 수온 16 \pm 0.5°C에서 60분 동안 각각 실험

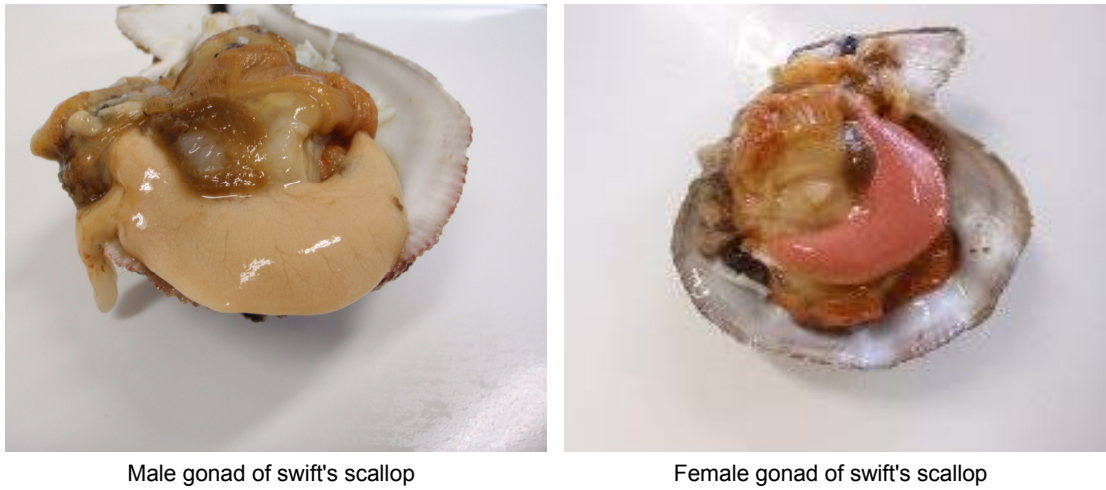


Fig. 2. Gonad of male and female in swift's scallop, *Chamys swiftii* collected from the coast of Yangyang, Gangwon province.

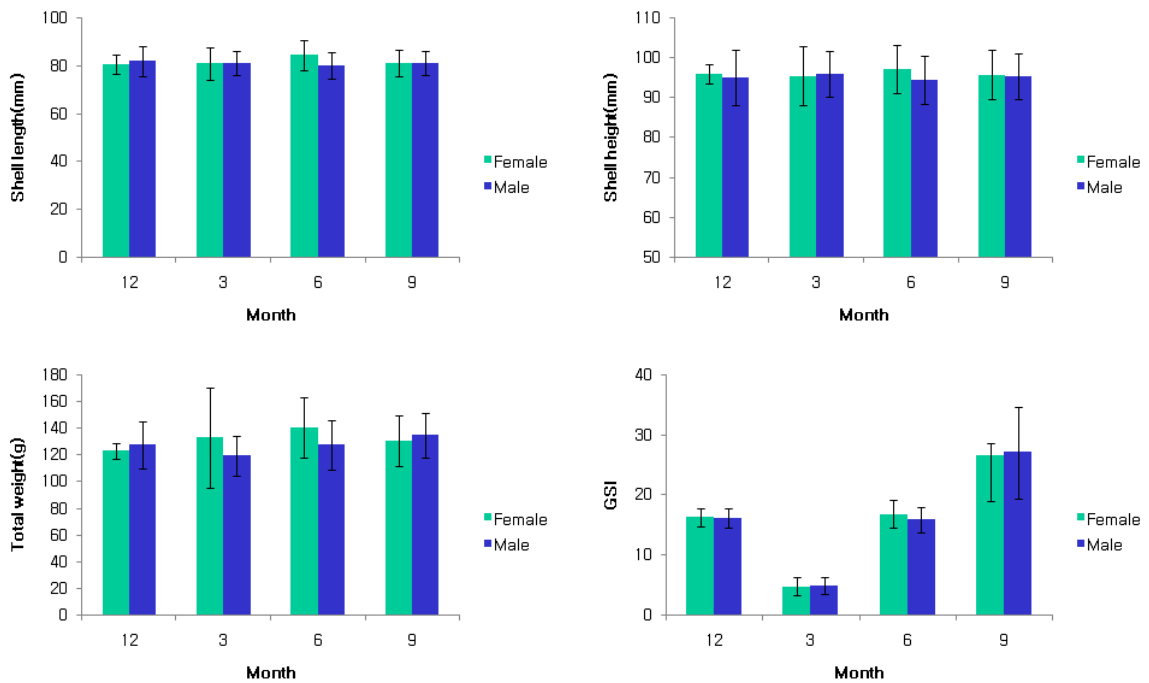


Fig. 3. Shell length, shell height, total weight and GSI of swift's scallop, *Chamys swiftii* collected from December, 2012 to September, 2013.

시한 결과, 모든 자극에 대하여 긍정적인 반응을 보였으며 광 자극은 암컷 1마리당 700-900천개, 온도자극은 700-800천개로 적은 산란량을 보인 반면 간출 자극이 700-1,200천개로 높았으며 간출 자극 후 온도자극이 1,000-1,500천개로 가장 높은 산란량을 보여주었다. 수정율에 있어 광 자극은 암컷 1마리당 71.7%, 온도자극은 73.4%, 간출 자극이 73.6%이었으며

간출 자극 후 온도자극은 76.3%로 가장 높았으나 자극방법에 따른 수정율의 유의적인 차이는 없었다 (Table 1).

3. 수정란 발생 및 유생 성장

고랑가리비의 발생은 수정란에서 2세포기, 4세포기, 8세포기, 16세포기, 상실기, 포배기, 낭배기를 거친 후 담륜자 유생

Table 1. The number and the fertilization rates of eggs spawned at several stimulating conditions such as sunlight exposure, air dry, seawater temperature rise (5°C) and seawater temperature rise (5°C) after exposure of air dry for spawning induction of swift's scallop, *Chamys swiftii*

Stimulation condition	Exposure time (min)	Number of spawning eggs (thousand/ind)	Fertilization rates (%)
Sunlight exposure	60	700-900	71.7
Air dry	60	700-1,200	73.6
Seawater temperature rise (5°C)	60	700-800	73.4
Seawater temperature rise (5°C) after exposure of air dry	30 + 30	1,000-1,500	76.3

으로 변태하였다. 수정란부터 D상 유생으로의 수온별 발생과정을 조사하기 위하여 비이커에 ml당 50개의 수정란을 수용하고 각각 8°C, 12°C, 16°C, 20°C 및 24°C에서 D상 유생으로 발생하는 생존율을 광학현미경을 사용하여 30분 간격으로 관찰한 결과, 8°C와 24°C의 실험군이 4.1%와 3.2%로 생존율이 낮은 편이었으며 16°C에서 32.7%로 가장 높은 생존율을 보여주었다 (Fig. 4).

고랑가리비의 수정란 난경은 $72 \pm 2.1 \mu\text{m}$ 이며, 분리 침성란이었다. 고랑가리비 조기산란 모패는 수온 10°C 이하에서 성숙된 모패가 생식선지수가 높으므로 국내에서 인공종묘 생산을 위한 모패관리 시 수온이 낮은 적지를 조사하여 모패관리를 할 필요성이 있는 것으로 판단된다. 고랑가리비에서 산란한 미수정란에 희석시킨 정자를 넣어주면 수정된 난은 나선상 난할 (spiral cleavage) 을 시작하여 수온 16°C에서 5시간 만에 4세포기로 발달하였으며, 15시간이 경과하면 상질기 그리고 낭배기 (gastrula stage) 를 거쳐 수정 35시간 후에는 섬모가 출현하는 담륜자 (trochophore) 유생이 되어 부상 유영하며 헤엄치는 것을 볼 수 있다.

수온 16°C에서 수정 3일 후에는 편모를 가진 초기 피면자

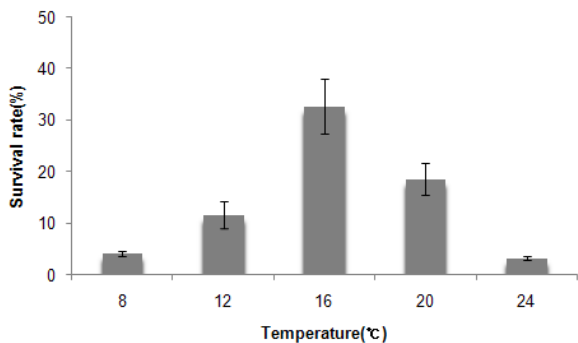


Fig. 4. Survival rate of D-shaped larvae of swift's scallop, *Chamys swiftii* reared in different seawater temperatures.

(early veliger) 인 경첩모양의 D형 유생기 (D-shaped larva) 가 시작되고, D형 유생은 수정 14일 후에 각장 $145 \pm 16.8 \mu\text{m}$ 의 각정기 유생으로 발달하였으며, 초기원각 (prodissoconch shell) 을 형성하여 각정기 유생기 (umbo stage larva) 의 각정 (umbones) 이 형성된다. 이후 이들 각정기 유생은 성숙하여 약 18일 후에는 $197 \pm 13.6 \mu\text{m}$ 크기의 대형 부유유생기가 되며 이들 유생의 특징은 섬모를 가지며 발 (foot) 과 안점 (eye spot) 이 뚜렷하게 나타나는 소위 족피면자 (pediveliger) 인 후기유생 시기를 2-3일 동안 거친다. 수정 후 22일 후에는 팜사나 경심그물망 등의 기질에 부착하여 부착치패로 생활하게 된다 (Fig. 5). 따라서 고랑가리비는 약 22일간의 부유유생 시기를 거치게 되며, 체묘 시기는 수정 후 안점이 나타나고 발이 출현하는 유생이 50% 정도 출현하는 시기가 이상적이었다.

고 찰

큰가리비는 좌각이 붉은 갈색, 우각은 황백색이며 패각의 방사륜은 24-26인 반면 고랑가리비는 좌각은 붉은색, 우각은 연분홍색이며 좌각의 귀가 우각의 귀보다 큰 것이 특징이며 좌각의 표면에는 매우 굵은 5-6개의 방사륜이 성장정지선을 만나 굴곡을 이루고 있는 것이 큰가리비, 비단가리비, 해만가리비와는 다른 큰 차이점이라 할 수 있다 (민 등, 2004). 고랑가리비는 자원이 점점 감소하고 있으며 성패확보가 어려워 기초연구가 부진한 실정이며 종묘생산을 위한 생식주기가 구명되지 않아 산업화가 어려운 실정이었다. 그래서 산업화 초기단계로서 고랑가리비 성패를 채집하여 고랑가리비의 생식소를 조사한 결과, 암컷의 생식소는 분홍색을 띄고 있으나 수컷 생식소는 유백색을 띄고 있었으며 9월과 11월 사이에 생식소가 성숙하는 것을 관찰할 수 있었다. 또한 고랑가리비 모패의 계측형질을 측정된 결과, 암컷의 평균 각장 크기는 80.4-84.6 mm, 수컷의 평균 각장 크기는 80.0-81.8 mm, 암컷의 각고는 95.8-97.2 mm, 수컷의 각고는 94.6-95.9 mm로 수컷과 암컷

Development of fertilized eggs and larvae in swift's scallop

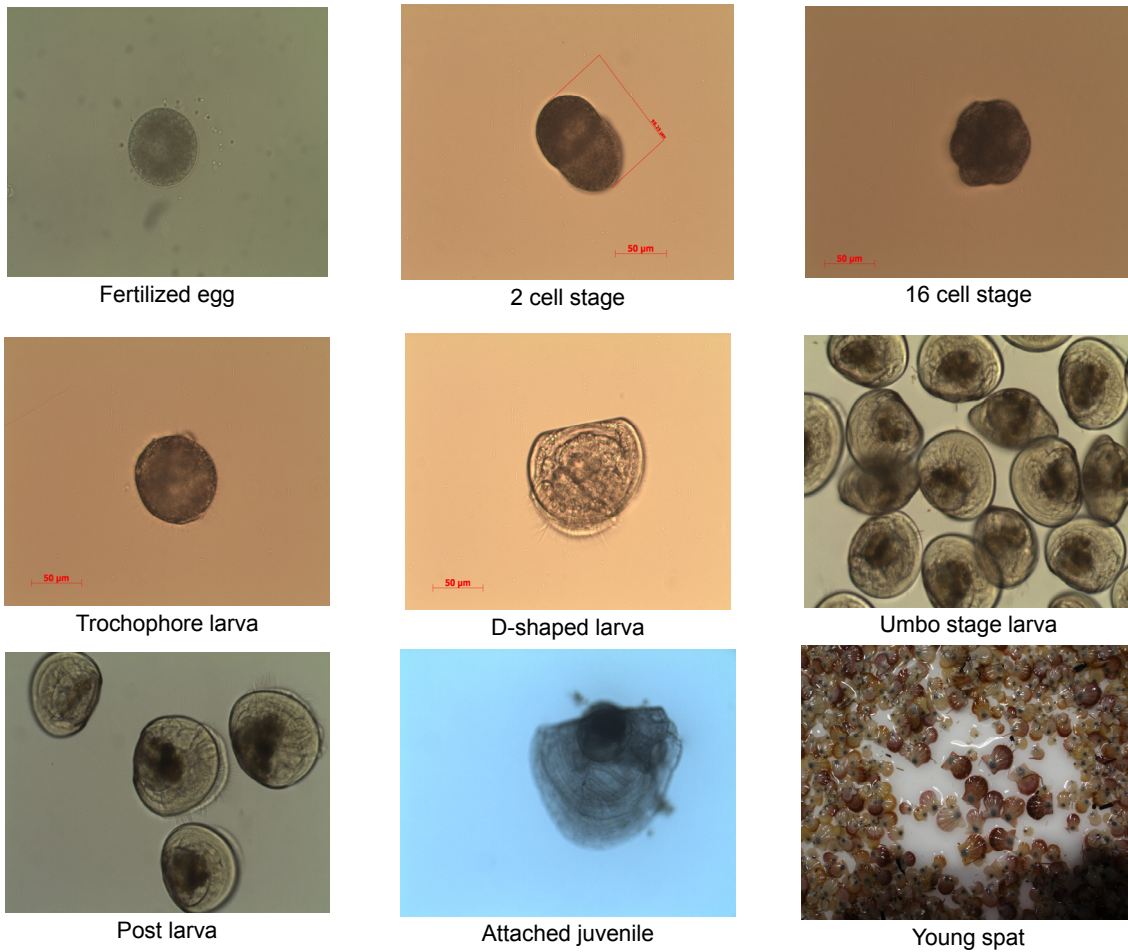


Fig. 5. Developmental process of swift's scallop, *Chamys swiftii* reared in the laboratory.

의 각장 및 각고는 차이점을 발견할 수 없었다. 고랑가리비는 해만가리비, 비단가리비, 큰가리비와 다르게 각고가 각장보다 크며 폐각의 전이가 후이보다 큰 것이 특징적이었다. 전중량은 암컷은 123.0-140.7 g, 수컷은 전중량이 119.4-134.7 g으로 계절별로 암컷과 수컷의 전중량의 차이는 크지 않았다. 고랑가리비는 자웅이체로 암컷의 생식소는 분홍색을 띄고 있으나 수컷 생식소는 유백색을 띄고 있었다. 고랑가리비의 생식소를 2012년 12월부터 2013년 9월까지 조사한 결과, 2012년 12월 암컷의 생식소 지수는 16.3 ± 1.50 , 2013년 3월 4.8 ± 1.64 , 6월 16.8 ± 2.40 , 9월 26.6 ± 6.44 이었으나 수컷의 생식소 지수는 2012년 12월 16.2 ± 1.53 , 2013년 3월 5.0 ± 1.33 , 6월 15.9 ± 2.16 , 9월 27.1 ± 7.59 를 나타내었다. 고랑가리비의 암컷과 수컷의 생식소는 6월에 성장하여 9월부터 11월 사이에 생식소가 최대로 성숙하고 12월 이후부터 다시 생식소가 축소하는 것으로 추정되나 조기 성 성숙에 의한 인공종묘를 생산하기 위해서는 고랑가리비의 생식주기는 좀 더

자세한 연구가 필요하다.

비단가리비의 산란행동은 폐각을 열고 닫는 행동을 반복해서 하면서 배설물을 배출하는 행위를 반복하였다. 그 후 폐각 후이부와 폐각근 사이의 생식공을 통하여 가는 실모양으로 방란과 방정을 하는 과정을 관찰할 수 있었다. 비단가리비의 경우 폐각을 세차게 개폐하면서 3-5회에 걸쳐 많은 양의 알과 정자를 방출하며 정자는 하양고 난자는 분홍색으로 관찰된다고 하였으나 고랑가리비의 경우 폐각사이로 10회에 걸쳐 비연속적으로 방란과 방정을 실시하였으며 정자는 유백색이었고 난자는 진한 분홍색이었다. 비단가리비는 방란과 방정을 유도하기 위하여 간출자극, 수온상승 자극, 자외선 자극, 혼합자극 및 세로토닌 자극방법을 사용하여 자극을 주었더니 세로토닌 1 mM 농도로 0.4 ml를 폐각근에 주사한 것이 암수 모두 100%의 반응을 보였다고 보고하였다 (Park, 2002). 혼한가리비는 산란유발을 위하여 광 자극, 자외선 자극, 간출자극, 수온상승 자극에 대한 모패의 반응은 광 자극 및 자외선 자극에서는 암

Table 2. Comparison of fertilized eggs and larvae depending on the different developmental phases in the scallop species such as *Chlamys swiftii*, *Chlamys farrerii* and *Chlamys nobilis*

Development phase	<i>Chlamys swiftii</i> (present study) 16°C		<i>Chlamys farrerii</i> (Park, 2002) 18°C		<i>Chlamys nobilis</i> (Lee, 1991) 22.3-24.7°C	
	Size (μm)	Time (hr)	Size (μm)	Time (hr)	Size (μm)	Time (hr)
Fertilized egg	72 \pm 2.1	0	69.5	0	79	0
Trochophore	103 \pm 3.8	35 \pm 2.6	-	20	-	14
D-shaped larvae	129 \pm 10.4	72 \pm 3.5	91.4	40	116-123	24
Umbo stage larvae	145 \pm 16.8	336 \pm 6.3	151.3	264	134-185	96
Post larvae	197 \pm 13.6	432 \pm 7.2	-	-	180-215	264

수 모두 100%의 반응을 보인 반면 간출 자극에서는 암컷 60%, 수컷 70%가 반응을 보였고 수온상승 자극에서는 암컷 70%, 수컷 80%가 반응을 보였으며 산란반응 시간을 조사한 결과, 광 자극에서는 실험개시 후 40분 이내에 암수 모두 방란, 방정을 하였으며 가장 좋은 결과를 도출하였다고 하였다 (Won and Han, 2004). 고랑가리비는 산란유발을 위하여 광 자극, 간출 자극, 온도 자극, 그리고 간출 후 온도자극을 수온 16 \pm 0.5°C에서 60분 동안 각각 실시한 결과, 모든 자극에 대하여 긍정적인 반응을 보였으며 광 자극은 암컷 1마리당 700-900천개, 온도자극은 700-800천개로 적은 산란량을 보인 반면 간출 자극이 700-1,200천개로 높았으며 간출 자극 후 온도자극이 1,000-1,500천개로 가장 높은 산란량을 보여주었다. 수정율에 있어 광 자극은 암컷 1마리당 71.7%, 온도자극은 73.4%, 간출 자극이 73.6%이었으며 간출 자극 후 온도자극은 76.3%로 가장 높았으나 자극방법에 따른 수정율의 유의적인 차이는 없었다 (Table 1).

Won과 Han (2004) 은 혼한가리비의 발생 가능 수온은 15-30°C이며 D상 유생으로의 변태율 및 생존율은 25°C 실험구에서 73.6%와 74.7%로 가장 높았고 20°C 실험구에서 69.9%와 71.8%로 양호한 결과를 보여주었으며 15°C 실험구에서는 4.4%와 8.8%로 매우 낮은 결과를 보여주었다고 설명하였다. Park *et al.* (2005) 은 비단가리비는 수온 18°C에서 발생을 관찰한 결과 수정 후 40시간 후에는 각장 91.4 μm , 각고 73.5 μm 의 D상 유생으로 변태하였다고 설명하였으며, Na *et al.* (1995) 은 11.5°C에서 사육한 비단가리비 수정란은 22시간 후에 담륜자 유생이 관찰되었고 72시간 후에는 초기 D상 유생으로 변태하였으며 크기는 각장 95 μm 라고 보고하였다. 고랑가리비의 발생은 수정란에서 2세포기, 4세포기, 8세포기, 16세포기, 상실기, 포배기, 낭배기를 거친 후 담륜자 유생으로 변태하였다. 수정란부터 D상 유생으로의 수온별 발생 과정을 조사하기 위하여 비이커에 ml당 50개의 수정란을 수용

하고 각각 8°C, 12°C, 16°C, 20°C 및 24°C에서 D상 유생으로 발생하는 생존율을 광학현미경을 사용하여 30분 간격으로 관찰한 결과, 8°C와 24°C의 실험군이 4.1%와 3.2%로 생존율이 낮은 편이었으며 16°C에서 32.7%로 가장 높은 생존율을 보여주었다 (Fig. 4). 혼한가리비의 발생과정에서 D상 유생으로의 변태율 및 생존율이 25°C에서 73.6%와 74.7%로 가장 높은 이유는 혼한가리비가 아열대종에 기인한 것으로 판단되며 비단가리비가 18°C에서 40시간 후에는 각장 91.4 μm , 11.5°C에서 사육한 비단가리비 수정란은 72시간 후에는 초기 D상 유생으로 각장 95 μm 라는 설명은 온대종의 발생특성을 보여주고 있으며 고랑가리비의 D상 유생이 16°C에서 32.7%로 가장 높은 생존율을 보여 준 결과는 냉수성 종이지만 유생사육은 비교적 높은 수온에서 실시하여야 할 것으로 판단되나 종묘 대량 생산을 위해서는 유생 발생 단계별로 더 많은 연구가 필요할 것으로 생각된다.

*Chlamys*속에 속하는 고랑가리비, 비단가리비 및 혼한가리비 수정란을 비교한 결과 고랑가리비 난경은 72 μm , 비단가리비 수정란은 69.5 μm 이었으나 혼한가리비 수정란은 79 μm 로 가장 큰 난경을 보여주었다 (Table 2). Park *et al.* (2005) 은 비단가리비는 수온 18°C에서 발생을 관찰한 결과, 수정 후 5시간이 지나면 4세포기, 14시간이 경과하면 상실기에 도달하고 20시간 후에는 자유로운 유영활동을 하는 담륜자 유생으로 변태하였다고 보고하였다. 고랑가리비의 경우 산란한 미수정란에 희석시킨 정자를 넣어주면 수온 16°C에서 수정된 난은 나선상 난할 (spiral cleavage) 을 시작하여 5시간 만에 4세포기로 발달하였으며, 15시간이 경과하면 상실기 그리고 낭배기 (gastrula stage) 를 거쳐 수정 35시간 후에는 섬모가 출현하는 담륜자 (trochophore) 유생이 되어 부상 유영하며 헤엄치는 것을 볼 수 있었는데 비단가리비와 비교한 결과, 수정란 발생시간은 비슷하였으나 담륜자 유생 출현은 비단가리비가 18°C에서 15시간 빠른 것으로 나타났다 (Table 2).

Table 3. Juvenile size and elapsed duration from fertilized eggs to early attached juveniles in *Chlamys swiftii*, *Chlamys farrerii* and *Chlamys nobilis*

Species	Juvenile size (μm)	Elapsed time (hr)	Rearing temperature ($^{\circ}\text{C}$)
<i>Chlamys swiftii</i> (present study)	245 \pm 15.8	528 \pm 8.6	16 \pm 0.5
<i>Chlamys farrerii</i> (Park, 2002)	175.4	432	18
<i>Chlamys nobilis</i> (Lee, 1991)	210-265	360	22.3-24.7

혼한가리비는 초기 D형 유생까지 수온 25 $^{\circ}\text{C}$ 의 경우 19.5 시간 (Won and Han, 2004), 수온 22.3-24.7 $^{\circ}\text{C}$ 의 경우 24시간 (Lee, 1991), 해만가리비는 초기 D형 유생까지 수온 24 $^{\circ}\text{C}$ 의 경우 28시간 (Oh, 2000), 해가리비는 초기 D형 유생까지 수온 20 $^{\circ}\text{C}$ 의 경우 45시간 (Son *et al.*, 1998), 비단가리비는 초기 D형 유생까지 수온 18 $^{\circ}\text{C}$ 의 경우 40시간 (Park, 2002) 이 소요되었으나 고랑가리비는 수온 16 $^{\circ}\text{C}$ 에서 수정 72시간 후에 D형 유생기 (D-shaped larva) 가 관찰되어 비교적 수온이 높을수록 초기 D형 유생까지 수정란 발생이 빠른 것으로 나타났다 (Fig. 5). Lee (1991) 는 혼한가리비의 경우 수온 22.3-24.7 $^{\circ}\text{C}$ 에서 4일 후 각장 134-153 μm 의 초기 각정기 유생이 되고, 7일 후 각장 150-185 μm 의 후기 각정기 유생이 되며, 11일 후에는 각장 185-215 μm 의 후기 유생이 된다고 보고하였다. Park (2002) 은 비단가리비의 경우 수온 18 $^{\circ}\text{C}$ 에서 수정 11일 후에 각장 151.3 μm 의 각정기 유생이 되고 18일이 경과한 후에는 각정부가 돌출하면서 투명한 주연각이 형성되며 각장 175.4 μm 의 후기 각정기 유생이 된다고 보고하였으나 고랑가리비의 경우 수정 14일 후에 각장 145 \pm 16.8 μm 의 각정기 유생으로 발달하였으며, 각정기 유생은 성숙하여 약 18일 후에는 197 \pm 13.6 μm 크기의 후기 유생이 관찰되었다 (Fig. 5). 이들 유생의 특징은 섬모를 가지며 발 (foot) 과 안점 (eye spot) 이 뚜렷하게 나타나는 소위 족피면자 (pediveliger) 인 후기유생 시기를 4-8일 동안 거쳤다 (Table 2).

*Chlamys*속에 속하는 고랑가리비, 비단가리비 및 혼한가리비의 수정란부터 초기 부착종묘 소요시간과 크기를 조사한 결과 고랑가리비 종묘는 16 $^{\circ}\text{C}$ 에서 528시간 경과 후 245 μm , 비단가리비 종묘는 18 $^{\circ}\text{C}$ 에서 432시간 경과 후 175.4 μm (Park, 2002) 이었으나 혼한가리비 종묘 출현은 22.3-24.7 $^{\circ}\text{C}$ 에서 360시간 경과 후에 210-265 μm (Lee, 1991) 로 소요시간이 가장 짧았다. 고랑가리비는 16 $^{\circ}\text{C}$ 에서 수정 후 22일째에 팍사나 경심고물망 등의 부착기질에 부착하여 부착치패로 생활하게 되므로, 채묘 시기는 22일 후에 안점이 나타나고 발이 출현하는 유생이 50% 정도 출현하는 시기에 채묘기를 투입하는 것이 가장 이상적인 것으로 밝혀졌다 (Table 3).

요 약

고랑가리비의 산란을 유도하고 수정란의 발생과 유생의 성장과정을 조사하였다. 산란자극 방법으로 광 자극, 간출 자극, 온도 자극, 그리고 간출 후 온도자극을 수온 16 \pm 0.5 $^{\circ}\text{C}$ 에서 각각 실시하였다. 광 자극은 암컷 1마리당 700-900천개, 온도 자극은 700-800천개로 적은 산란량을 보인 반면 간출 자극은 700-1,200천개로 높았으며 간출 자극 후 온도자극이 1,000-1,500천개로 가장 높은 산란량을 보였다. 수정유에 있어 광 자극은 암컷 1마리당 71.7%, 온도자극은 73.4%, 간출 자극이 73.6%이었으며 간출 자극 후 온도자극은 76.3%로 가장 높았으나 자극방법에 따른 수정율의 유의적인 차이는 없었다. 수정란부터 D상 유생으로의 수온별 발생과정을 조사하기 위하여 비이커에 ml당 1,000개의 수정란을 수용하고 각각 8 $^{\circ}\text{C}$, 12 $^{\circ}\text{C}$, 16 $^{\circ}\text{C}$, 20 $^{\circ}\text{C}$ 및 24 $^{\circ}\text{C}$ 에서 D상 유생으로 발생하는 생존율을 광학현미경을 사용하여 30분 간격으로 관찰한 결과, 8 $^{\circ}\text{C}$ 와 24 $^{\circ}\text{C}$ 의 실험군이 4.1%와 3.2%로 생존율이 낮은 편이었으며 16 $^{\circ}\text{C}$ 에서 32.7%로 가장 높은 생존율을 보여주었다. 수정란의 크기는 72 \pm 2.1 μm , 답륜자 유생은 103 \pm 3.8 μm , D상 유생은 129 \pm 10.4 μm , 각정기 유생은 145 \pm 16.8 μm , 후기 유생은 197 \pm 13.6 μm 이었으며 528시간 후에 각장 245 \pm 15.8 μm 의 초기 부착종묘로 성장하였다.

감사의 글

본 연구는 국립수산과학원의 가리비류 산업화 기술개발 (RP-13-AQ-62) 의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 실험과정에 많은 도움을 주신 최선화, 김기식과 자료분석과 정리에 도움을 주신 김재왕에게 감사의 말씀을 드립니다.

REFERENCES

- Chang, Y.J., Mori, K. and Nomura, T. (1985) Studies on the scallop, *Patinopecten yessoensis* in sowing cultures in Abashiri water- Reproductive periodicity. *Tohoku J. of Aquaculture*, **35**: 91-105.
- Chang, Y.J. (1991) Seasonal variations of digestive

- diverticula in the scallop, *Patinopecten yessoensis*. *J. of Aquaculture*, **4**: 19-30.
- Chang, Y.J. (1993) Identification of blood cells and their physiological functions in the scallop, *Patinopecten yessoensis*. *J. of Aquaculture*, **6**: 1-12.
- Chang, Y.J., Lim, H.K. and Park, Y.J. (1997) Reproductive cycle of the cultured scallop, *Patinopecten yessoensis* in eastern waters of Korea. *J. of Aquaculture*, **10**: 133-141.
- Duncan, D.B. (1955) Multiple-range and mutiple F tests. *Biometrics*, **11**: 1-42.
- Feindel, S.C. (2000) Optimization of hatchery culture of the sea scallop, *Placopecten magellanicus* (Gmelin, 1791): Dietary lipid quality and fatty acid requirements. MSc. Thesis, Memorial University of Newfoundland, St. John's, Newfoundland, Canada.
- Jo, Q., Lee C., Oh, B.S., Bang J.D., Kim, Y., Jeon, I.G. and Ahn, M.M. (2007) Batch-specific quality of the reproductive outputs and nursery acclimation in the seed production of *Patinopecten yessoensis* - case study on Korean coasts of the East Sea. *J. of Aquaculture*, **20**: 81-84.
- Hall, J.M., Parrish, C.C. and Thompson, R.J. (2002) Eicosapentaenoic acid regulates scallop (*Placopecten magellanicus*) membrane fluidity in response to cold. *Biol. Bull.*, **202**: 201-203.
- Kang, T.G. and Zhang, C.I. (2000) A study on the growth and spawning of Korean scallop (*Chlamys farreri*) around Wando, Korea. *Bulletin of Korean Society and Fisheries Technology*, **36**(3): 210-221.
- Kuang, S.H., Sun, F.L. and Fang, J. (1997) Feeding and growth of the scallop *Chlamys farreri* before and after spawning. *Marine Fisheries Research. China*, **17**(2): 80-86.
- Lee, B.H. and Chang, S.I. (1977) A study on the culture of scallop, *Patinopecten yessoensis* (Jay) (1). Experiment on spat collection and culture by hanging in the eastern coast of Korea. *Bulletin of National Fisheries Research and Developmental Institute. Korea*, **16**: 165-178.
- Lee, J.S. and Min, D.K. (2002) A Catalogue of molluscan fauna in Korea. *The Korean Journal of Malacology*, **18**: 93-217.
- Li, M.B., Biao, Z.P. and Sun, J. (1989) The use of micro-algae in rearing experiments on larval scallop, *Chlamys farreri* (Jones and Preston). *Transaction of Oceanography and Limnology*, **1**: 30-37.
- Liao, C., Xu, Y. and Wang, Y. (1983) Reproductive cycle of the scallop *Chlamys farreri* (Jones and Preston) at Qingdao. *Journal of Fisheries. China*, **7**(1): 1-13.
- Marty, Y., Delaunay, F., Moal, J. and Samain, J.F. (1992) Changes in fatty acid composition of *Pecten maximus* (L.) during larval development. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **163**: 221-234.
- Maru, K. (1978) Studies on the reproduction of a scallop, *Patinopecten yessoensis* (Jay)-2. Gonad development in 1-year-old scallops. *Science Report of the Hokkaido Fisheries Experimental Station*, **18**: 9-26.
- Milke, L.M., Bricelj, V.M. and Parrish, C.C. (2004) Growth of postlarval sea scallops, *Placopecten magellanicus*, on microalgal diets, with emphasis on the nutritional role of lipids and fatty acids. *Aquaculture*, **234**: 293-317.
- Min, D.G., (2004) Mollusks in Korea. Min Molluscan Institute, pp. 550.
- Na, G.H., Jeong, W.G. and Cho, C.H. (1995) A study on seedling production of Jicon scallop, *Chlamys farreri* 1. Spawning, development and rearing of larvae. *J. of Aquaculture*, **8**: 307-316 [in Korean] .
- Naidu, K.S. (1991) Sea scallop, *Placopecten magellanicus*. **In**: Shumway, S.E. (Ed.), *Scallops: Biology, Ecology, and Aquaculture*. Elsevier, New York, pp. 861-898.
- Oh, B.S. and Jung, C.G. (1999) Studies on the growth of bay scallop, *Argopecten irradians* in winter season in south sea of Korea. *The Korean Journal of Malacology*, **15**: 71-79.
- Oh, B.S., Jung, C.G., Yang, M.H. and Kim, S.Y. (2000) Effects of rearing density in culture cage on the growth of bay scallop, *Argopecten irradians*. *Bulletin of National Fisheries Research and Developmental Institute. Korea*, **58**: 88-95.
- Oh, B.S. (2000) Studies on the seedling production and aquaculture of bay scallop, *Argopecten irradians* (Lamarck). Ph. D. thesis. Inha University, pp. 174.
- Oh, B.S., Jung, C.G., Yang, M.H., Kim, S.Y. and Jung, E.Y. (2002a) Reproductive cycle of bay scallop, *Argopecten irradians* transplanted from China. *Journal of the Korean Fisheries Society*, **35**: 201-206.
- Oh, B.S., Jung, C.G. and Kim, S.Y. (2002b) Study of the growth on bay scallop, *Argopecten irradians* in differential cultured depths. *J. of Aquaculture*, **15**: 61-68.
- Oh, B.S., Yang, M.H., Jung, C.G., Kim J.J., Kim Y.S. and Kim, S.Y. (2002c) Effect of selected spat on growth of bay scallop (*Argopecten irradians*) during aquaculture. *J. of Aquaculture*, **15**: 123-129.
- Oh, B.S., Jung, C.G. and Kim, S.Y. (2003) Artificial spawning, larval and spat developments of the bay scallop, *Argopecten irradians*. *The Korean Journal of Malacology*, **19**: 19-24.
- Park, K.Y., Kim, S.K., Seo, H.C. and Ma, C.W. (2005) Spawning and larval development of the Jicon scallop, *Chlamys farreri*. *J. of Aquaculture*, **18**(1): 1-6.
- Park, Y.J. (1998) Biological studies on aquaculture of the scallop, *Patinopecten yessoensis* (Jay). Ph. D. thesis. Cheju National University, pp. 185.
- Park, Y.J., Rho, S. and Lee, J. Y. (2000) Intermediate culture of the scallop, *Patinopecten yessoensis* in the east coast of Korea. *The Korean Journal of Malacology*, **13**: 339-351.
- Park, Y.J., Rho, S. and Lee, C.S. (2001) Growth of the scallop, *Patinopecten yessoensis* in suspended culture in the east coast of Korea. *J. of Aquaculture*, **14**: 181-195 [in Korean] .
- Rhodes, E.W. and Widman, J.C. (1980) Some aspects of

Development of fertilized eggs and larvae in swift's scallop

- the controlled production of the bay scallop (*Argopecten irradians*). *Proc. World Maricult. Soc.*, **11**: 235-246.
- Son, P.W., Ha, D.S., Rho, S. and Chang D.S. (1996) Studies on the age and growth of sun and moon scallop, *Amusium japonicum japonicum* (Gmelin). *J. of Aquaculture*, **9**: 409-417.
- Son, P.W. (1997) Biological studies on aquaculture of the sun and moon scallop, *Amusium japonicum japonicum*. Ph. D. thesis. Cheju National University, pp. 128.
- Soudant, P., Marty, Y., Moal, J., Masski, H. and Samain, J.F. (1998) Fatty acid composition of polar lipid classes during larval development of scallop *Pecten maximus*. *Comp. Biochem. Physiol.*, **121A**: 279-288.
- Whyte, J.N.C, Bourn, N and Hodgson, C.A. (1989) Influence of algal diets on biochemical composition and energy reserves in *Patinopecten yessoensis* (Jay) larvae. *Aquaculture*, **78**: 333-347.
- Wilson, J.H. (1987) Environmental parameters controlling growth of *Ostrea edulis* L. and *Pecten maximus* L. in suspended culture. *Aquaculture*, **64**: 119-131.
- Yang, H., Zhang, T., Wang, J., Wang, P., He, Y. and Zhang, F. (1999) Growth characteristics of and its relation with environmental factors in the intensive raft-culture areas of Sishiliwan Bay, Yantai. *Journal of Shellfish Research*, **18**(1): 71-76.
- Yoo, S.K., Ryu, H.Y. and Park, K.Y. (1981) The growth of the culture scallop, *Patinopecten yessoensis*. *Bulletin of National Fisheries Research and Developmental Institute. Korea*, **14**: 221-226.