

해만가리비, *Argopecten irradians*의 인공산란과 유생 및 치패의 발생

오봉세, 정춘구, 김숙양¹

여수수산종묘시험장, ¹국립수산과학원 유해생물과

Artificial Spawning, Larval and Spat Developments of the Bay Scallop, *Argopecten irradians*

Bong-Se Oh, Choon-Goo Jung and Sook-Yang Kim¹

Yeosu Hatchery, National Fisheries Research and Development Institute,

¹Department of Harmful Biology, National Fisheries Research and Development Institute, Pusan 619-902, Korea

ABSTRACT

Artificial spawning, larval and spat developments of the bay scallop, *Argopecten irradians*, which was transplanted from China on 16 August 1996, were investigated monthly until August 1997 in the Deukyang Bay, Jangheung-gun, Jeollanam-do, Korea.

Sufficient amount of cultured microalgae supplemented seawater were supplied as food (6 kinds of phytoplankton) for fully grown adult individuals at 17.1-23.2°C for 44 days. A total of 45,320,000 eggs were spawned by way of 2 times of artificial spawning inductions such as exposure stimulus to the air and thermal shock (with water temperature) on 29 January and 31 January in 1997. Artificially fertilized eggs were developed to D-shaped larvae (77.5 × 63.8 μm) and metamorphosed to larvae (191.8 × 181.2 μm) in the attached larval stage on the collectors. A total of 110,000 spats (average 3.04 mm in shell length) were produced at 22.8-26.3°C and 31.0-34.4 psu in the indoor rearing tank from 14 February through 7 May in 1997. In case of *Argopecten irradians*, if the attached larvae in the attachment stage are detached from the collector, they could not live. Accordingly, it is assumed that survival (%) of the attached larvae of *A. irradians* showed very low because of weak power attached to the collector due to the small number of the byssuses

of the attached larva, not the short attachment period by the byssus as seen in other scallops such as *Argopecten balloti*.

Keywords: Bay scallop, *Argopecten irradians*, Artificial spawning, Larval and spat developments.

서 론

해만가리비 (*Argopecten irradians*)는 미국의 대서양 연안과 걸프만이 원산지로 *Argopecten irradians irradians* (Lamarck), *A. irradians concentricus* (Say), *A. irradians amplicostatus* (Dall)의 3개 아종이 있다 (Wilber, 1995). 해만가리비는 미국에서 굴, 고막류, sea scallop (*Placopecten magellanicus*) 다음으로 산업상 중요한 패류 (Castagna and Duggan, 1971)이고, 중국에서도 1982년 산둥반도 발해만으로 이식하여 양식을 시작한 이후 현재는 패류 생산량 (1985년 6,000톤, 1987년 46,000톤, 1996년 999,000톤) 중에서 상당 부분을 차지하는 것으로 알려져 있다 (Chew and Fusui, 1993).

한편, 우리나라에 서식하는 가리비 종류를 보면 국자가리비 (*Pecten albicans*), 고랑가리비 (*Chlamys swifti*) 및 혼한가리비 (*Chlamys nobilis*) 등 총 12종의 가리비류가 있는데 (Kwon et al., 1993), 이 중에서 양식 대상으로 연구된 품종은 큰가리비 (*Patinopecten yessoensis*)와 비단가리비 (*Chlamys farreri farreri*)에 대한 연구 (Chang et al., 1997; Na et al., 1995; Park, 1998; Son et al., 1996; Son, 1997)만 있을 뿐이었다. 이에 새로운 양식품종으로 개발하고자 국립수산과학원 남해수산연구소에서 1996년 중국에

Received December 02, 2002; Accepted May 10, 2003
Corresponding author: Oh, Bong-Se
Tel: (82) 61-644-3760 e-mail: obsksy@nfrdi.re.kr
1225-3480/19103
© The Malacological Society of Korea

서 해만가리비를 최초로 국내에 이식하여 실내에서 인공종묘생산으로 치패를 생산하고 이 치패를 사육하면서 동절기 성장 (Oh and Jung, 1999), 밀도별 성장 (Oh et al., 2000), 양식 생물학적연구 (Oh, 2000), 수심별 성장 (Oh et al., 2002), 생식주기 (Oh et al., 2002), 선발효과 (Oh et al., 2002) 등에 관한 연구를 수행하고 그 결과를 보고 한 바 있다. 한편, 외국에서는 산란 및 생식생태 (Loosanoff and Davis, 1963; Taylor and Capuzzo, 1983; Gibbons and Castagna, 1984; Rose et al., 1988; Barber andz Blake, 1991; Smith and Tettelbach, 1996), 성숙과 산란에 미치는 수온의 영향 (Sastry, 1966) 그리고 자웅동체 (Wilbur, 1995) 등 여러 분야에 걸쳐 많은 연구결과들이 꾸준히 보고되어져 왔다.

이때패류 모패의 생식소 발달 및 성숙을 인공적으로 유도하기 위해서는 먹이로 공급되는 식물플랑크톤의 종류와 먹이 섭취량이 모패의 성숙에 영향을 미치는 것으로 보고되어 있다 (YSFRI, 1991; Toba, 1990). 해만가리비의 산란유도와 유생 및 치패의 생존율을 높이기 위해서는 먹이로 공급되는 식물플랑크톤의 종류와 유생이 발생한 후 채묘기에 부착한 후 부착 치패가 탈락되지 않도록 철저한 관리를 하는 것이 본 종의 양식 성공의 관건이 되고 있으나, 이에 관한 상세한 정보 및 보고가 없어 정보 확보와 연구가 급선무라고 생각된다. 이를 위해서는 특히 해만가리비의 부착시기에 부착치패가 채묘망에서 쉽게 탈락하여 폐사하게 되는 원인을 규명하는 것이 양식 생산을 위해 무엇보다 중요하다.

따라서 본 연구에서는 해만가리비를 새로운 양식품종으로 개발하기 위하여 인공 종묘생산과 관련된 정보 및 기초자료인 인공산란 방법, 유생 및 부착기와 초기치패의 성장 및 관리 등에 관하여 조사를 하였던 바 귀중한 몇 가지 정보 및 기초자료를 얻었기에 보고한다.

재료 및 방법

인공 산란을 위한 해만가리비 (*Argopecten irradians*) 어미는 1996년 10월 16일 중국 산둥성에서 이식한 치패를 진라 남도 장흥군 앞바다에서 수하식으로 사육한 것이며, 어미패의 가온사육은 1996년 12월 17일부터 1997년 1월 29일까지 44

일간 여수수산종묘시험장에서 100 마리를 대상으로 실시하였다. 사육수의 수온은 9.5℃에서 1일 1℃씩 상승시켜 수온 17.1-23.2℃ 범위를 유지하였다. 가온 사육기간 중 먹이생물은 *Isochrysis galbana*, *Pavlova lutheri*, *Chaetoceros calcitrans*, *Chlorella* sp. 및 *Phaeodactylum* sp.를 혼합하여 1일 10⁵ cells/ml 내외로 공급하였다

인공 산란은 이들 어미패를 바람이 잘 통하는 실내 (25℃)에서 2시간 동안 음건하여 산란을 유도하는 간출 자극과 사육수온을 4-5℃ 높여 25℃까지 상승시키는 수온 자극 방법으로 각각 유도하였다. 인공 수정된 수정란들은 20 μm Müller gauze로 여과 세란하여 부화조에 수용하였다. 부화조에 수용 후 사육수는 매일 1/3씩 살균 여과 해수로 교환하여 주었고, 이후 D형 유생은 40 μm 망목의 Müller gauze로 걸러 1.5톤의 사각 FRP 부화수조에서 사육하였다. 사육 기간 중 수온은 25℃를 유지시켰으며, 먹이는 인공 배양된 *Isochrysis galbana*와 *Chaetoceros calcitrans*를 사육수 1 ml 당 10⁴ cells 내외로 공급하였고, 환수는 2일 간격으로 전량 실시하였다. 채묘는 안점이 형성된 성숙 유생의 출현율이 50%에 이르는 시기에 망목 5.0 mm 크기의 모지망 채묘기 (40 × 60 cm)를 부화 수조에 수직으로 수하하여 채묘하였다. 채묘기에 부착한 치패가 각고 1 mm 내외로 성장하면 채묘기를 양파망 (망목 1.0 mm)에 넣어서 계속 사육하였다.

성장도 조사는 만능투영기 (Model Nikon V12-A)를 이용하여 각 발달 단계별 유생의 각고, 각장을 1.0 μm까지 측정하였고, 유생의 생존율은 용적법으로 환산하여 조사하였다.

결 과

1. 인공 산란

해만가리비 어미패를 1996년 12월 17일부터 44일간 가온 사육한 후, 1997년 1월 29일 및 31일 2회에 걸쳐 음건 간출과 수온 자극 방법을 병행하여 산란을 유발하여 총 4,532만 개의 난을 인공적으로 채란하였다 (Table 1).

2. 난 발생, 부착기 유생 및 초기치패 성장

1997년 1월 29일부터 2월 13일까지 채란된 해만가리비 수정란을 수온 24℃에서 실내 발생시킨 결과, 각 발생 단계별 난과 유생의 형태 변화는 Fig. 1과 같다. 수정란은 구형으로 평

Table 1. Number of spawned eggs and the D-shaped larvae of *Argopecten irradians*.

Spawning day	No. of adults	No. of eggs (× 10 ⁴)	Fertilized eggs		D-shaped larvae	
			No. (× 10 ⁴)	Rate (%)	No. (× 10 ⁴)	Rate (%)
29 Jan. 1997	41	2,596	2,136	82.3	408	15.7
31 Jan. 1997	48	1,936	1,695	87.6	670	34.6

Table 2. Number of rearing larvae and the attachment rate of attached larvae of *Argopecten irradians*.

Rearing days	Rearing of larvae			Attachment of larvae			
	No. of D-shaped larvae ($\times 10^4$)	Size (μm)	No. of Umbo stage larvae ($\times 10^4$)	Size (μm)	Number ($\times 10^4$)	Size (μm)	Attachment rate (%)
30 Jan. 1997- 13 Feb. 1997	1,078	77.5 \times 63.8	352	184.3 \times 121.7	154	298.3 \times 271.5	43.8

균 난경은 52 μm 였으며 (Fig. 1A) 이후 2세포기 (Fig. 1C), 4세포기 (Fig. 1D), 8세포기 (Fig. 1E) 담륜자 유생기 (Fig. 1F) 를 거쳐, 수정 28시간째에 각장 77.5 \times 각고 63.8 μm 의 초기 D형 유생으로 발달한 후 (Fig. 1G), 각장 107 \times 각고 98 μm 의 후기 D형 유생으로 발달하였다 (Fig. 1H). 정상적인 D형 유생은 총 1,078만 마리로 평균 발생률은 25.2%였으며, D형 유생까지의 발생 소요 시간은 28시간이었다. 이후 각정기 유생단계 (Fig. 1I)를 거쳐 9일째부터는 안점이 형성된 성숙 유생 (각장 191.8 \times 각고 181.2 μm) 으로 발달하여

(Fig. 1J), 채묘기에 부착하기 시작하였다 (Fig. 1K, 1L). 이 기간 중 채묘율은 43.8%로 비교적 높게 나타났다 (Table 2).

2월 14일부터 5월 7일까지 부착된 치패들을 실내 사육한 결과, 평균 각장 3.04 mm까지 총 110,000 마리가 성장 발달하였으며, 이때까지의 생존율은 7.1%로 조사되었다 (Table 3).

각 유생 및 치패 발달 단계별 각고와 각장간 성장을 상관 관계식으로 나타내면, D형 유생에서 부착기 유생까지는 SH (shell height) = 1.0536 SL (shell length) - 20.4782, r = 0.9708 (Fig. 2), 부착기 치패에서 초기 치패까지는 SH

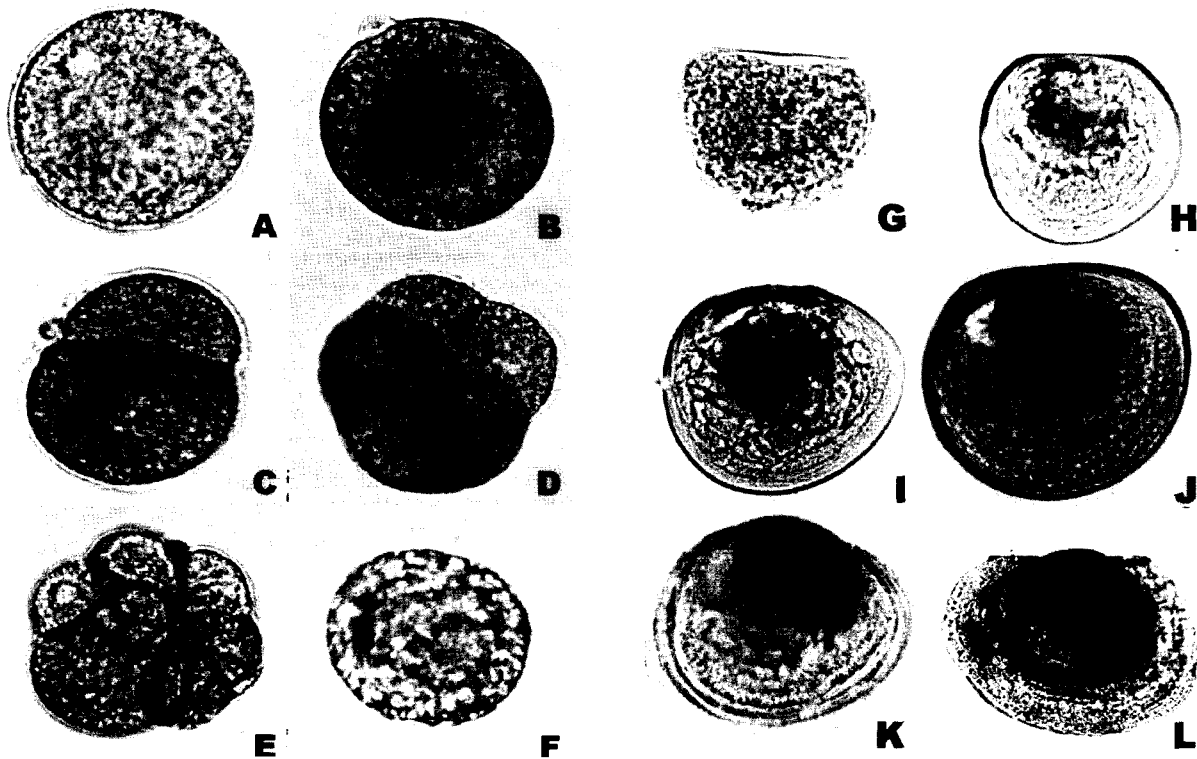


Fig. 1. Photomicrographs of the egg and spat developmental phases of *Argopecten irradians*. (A-L). A: Fertilized egg; B: appearance of the polar body; C: two cell stage; D: four cell stage; E: eight cell stage; F: trochophore larva; G: early D-shaped larval stage; H: late D-shaped larval stage; I and J: larva in the umbo stage; K and L: spats in the attachment stage.

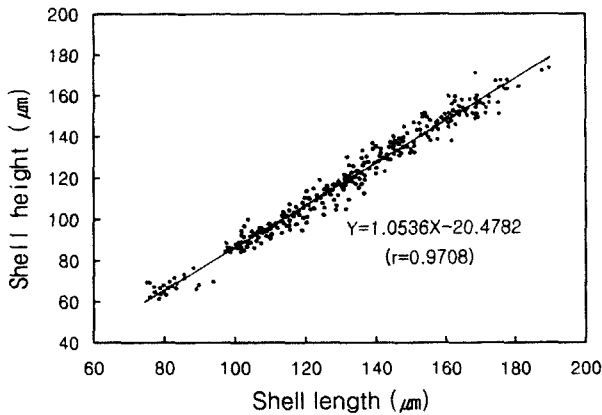


Fig. 2. Relationship between shell length and shell height of larvae of *Argopecten irradians*.

= 0.6880 SL + 45.2379, r = 0.9376 그리고 각장 700 μm 이상의 치패에서는 SH = 1.0762 SL - 141.3675, r = 0.9315로 각각 조사되어 (Fig. 3) 발달 단계별로 패각 성장 패턴에서의 차이를 보였다.

고찰

우리나라에서 양식되고 있는 동해안의 참가리비 (Park, 1998), 서해안과 남해안의 비단가리비 (Na et al., 1995) 및 제주도 해가리비 (Ha, 1994; Son et al., 1996) 등은 모두 생식소가 자웅이체형인데 비하여 해만가리비는 모든 개체가 자웅동체형 (Castagna, 1973) 으로, 생식소가 위치한 반원형의 각상돌기에서 좌우로 반은 정소로 회색을 띠고 있고 나머지 반은 난소부분으로 옅은 오렌지색을 나타내었다. 따라서 육안으로 생식소 색상만으로도 성숙도 구분이 가능하여, 실제 인공종묘 생산시 생식소 색상만으로도 그 성숙 여부를 쉽게 판단할 수 있었다.

해만가리비의 인공 성숙유도를 위한 급이시에는 여러 종류의 식물 플랑크톤을 혼합 공급하는 것이 한 종류만을 공급하는 것보다 생식소 발달을 더 빠르게 한다는 보고 (YSFRI, 1991)와

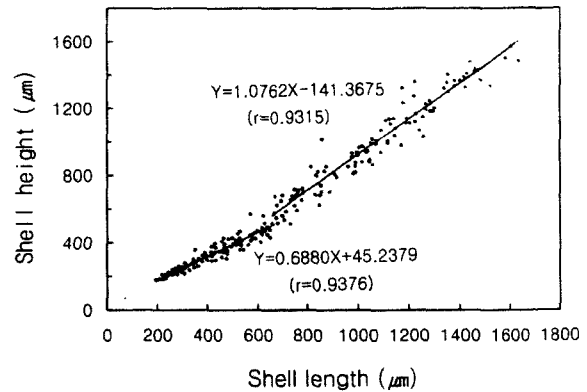


Fig. 3. Relationship between shell length and shell height of spats of *Argopecten irradians*.

모패의 먹이 섭취량이 이매패류의 성숙속에 영향을 미친다는 보고 (Toba, 1990) 등을 고려하여, 본 실험에서는 먹이생물로 *Isochrysis galbana*, *Pavlova lutheri*, *Chaetoceros calcitrans*, *Chlorella* sp., *Phaeodactylum* sp.의 5종을 혼합하여 어미에 공급하여 44일 만에 인위적 성숙을 유도할 수 있었다.

이매패류의 인공 산란유발 방법으로는 간출 및 수온자극 (Loosanoff and Davis, 1950; Kanno, 1962; Hur, 1994), 전기자극 (Kanno, 1962), NH₄OH, H₂O₂, NaCl 등의 화학적 자극 (Sagara, 1958; Iwata, 1971) 및 Serotonin 처리 (Gibbons and Castagna, 1984) 등의 방법이 있으나, 본 연구에서는 전복, 굴 등의 산란 유발 방법으로 보편화되어 있는 간출과 수온 자극법을 선택하여 2시간 간출 자극 후 수온을 25℃로 높인 사육수를 공급하여 산란을 유도하였다.

해만가리비의 산란은 누적 수온이 400℃ 부근에서 일어난다고 하였는데 (Yu et al., 1994), 본 연구에서는 생식소가 발달하는 하한 수온을 10℃로 볼 때 일 평균 사육 수온의 합계가 538.2℃가 된 1월 29일 및 31일에 산란을 유도하여 4,532만 개를 채란하였다. 채란수는 어미패 1마리당 50.9만 개로 미국에서 보고된 산란수 100만 개 (Smith and Tettelbach,

Table 3. Rearing experiment of *Argopecten irradians* spat in the indoor tank.

Rearing period	Initial		Final			Environment	
	Size (μm)	Number (× 10 ⁴)	Size (mm)	Number (× 10 ⁴)	Survival (%)	Water Temperature (°C)	Salinity
14 Feb. 1997- 7 May 1997	298.3 × 271.5	154	3.04 × 3.42	11	7.1	13.8-26.6	32.1-34.1

1996) 의 절반 수준이었으나, 중국에서 보고된 산란수 50-60만 개 (YSFRI, 1991) 와는 유사한 결과를 나타내었다. 난경은 52 μm 로 비단가리비 65 μm (Na *et al.*, 1995) 과 해가리비 72 μm (Son, 1997) 보다 다소 적었다. D상 유생까지의 발생에는 수정 후 24시간에서 28시간이 소요되어, 해가리비 45시간 (Son *et al.*, 1996) 및 비단가리비 3일 (Na *et al.*, 1995) 에 비하여 빠르게 성장하였다. 부착기까지는 15일 (평균 각장 298.3 μm) 이 소요되어 해가리비의 17일 (평균 각장 232.4 μm) 과 비슷하였으나, 비단가리비 27일 (평균 각장 155 μm) 에 비하여 짧았다. 수정란의 난경은 해가리비나 비단가리비에 비하여 작았으나 부착기 유생의 크기는 오히려 크게 나타나 해만가리비 유생의 성장은 유사한 가리비 종류들에 비해 빠른 것으로 나타났다. 한편, 해만가리비 유생의 생존율은 수정란에서 D상 유생까지 25.2%, D상에서 부착기 유생까지 14.3%로 제주도산 해가리비의 10.4% 및 20.0%와 비슷하였다 (Son *et al.*, 1996). 채묘기에 부착한 유생을 83일간 사육한 결과, 각장 3.0 mm의 치패로 성장하였으며, 생존율은 7.1%로 낮은 경향을 보였는데, 이러한 현상은 *Argopecten balloti*와 같이 족사에 의한 부착기간이 짧기 때문 (Rose *et al.*, 1988) 이 아니라, 해만가리비 부착 치패의 족사는 비단가리비, 굴 및 진주담치에 비하여 족사의 수가 적고 부착력이 약하므로 채묘장에서 쉽게 탈락되어 생존율을 낮추는 원인이 되는 것으로 생각되었다.

한편, D상 유생과 부착기 치패의 각고와 각장의 상관관계식에서 성장계수는 1.05 및 1.08로 참담치, 비단가리비, 바지락, 동죽 및 가무락보다 높은 값 (Hur, 1994) 을 나타내었는데, 이것은 해만가리비의 성장이 빠르는데 그 원인이 있는 것으로 보인다.

요 약

중국에서 이식하여 어미패로 양성한 해만가리비를 수온 17.1-23.2°C로 44일간 *Isochrysis galbana* 등 5종의 먹이생물을 혼합시켜 공급하면서 성숙을 유도하여, 1997년 1월 29일 및 31일 2회에 걸쳐 간출과 수온 자극을 가하여 총 4,532만개의 수정란 (평균 52 μm) 을 채란하였다. 난 발생 단계를 조사한 결과, D형 유생의 크기는 평균 77.5 × 63.8 μm 이었고, 부착기 유생은 191.8 × 181.2 μm 의 크기였으며, 부착기 유생은 이 크기에서 파판에 부착하여 치패로 발달하였다. 이 치패는 2월 14일부터 5월 7일까지 수온 22.8-26.3°C, 염분 31.0-34.4에서 실내 사육한 결과, 평균 각장 3.04 mm로 성장하였다. 비단가리비의 경우는, 부착기의 부착유생들은 채묘기 (collector) 에서 떨어지면 폐사하게 되는데, 이것은 *Argopecten balloti*에서 나타나는 바와 같이, 족사에 의한 부착기간이 짧아서가 아니라 부착유생들이 각기 소수의 족사를

가지기 때문에 채묘기에 대한 부착력이 약하여 부착유생의 생존율이 비교적 낮았던 것으로 사료된다.

REFERENCES

- Barber, B.J. and Blake, N.J. (1991) Reproductive physiology. In: *Scallops: Biology, Ecology and Aquaculture*. (ed. by Shumway, S.E.), pp. 377-428. Elsevier, New York.
- Castagna, M. (1973) Culture of the bay scallop, *Argopecten irradians*, in Virginia. MFR Paper 1113, pp. 19-24.
- Castagna, M. and Duggan, W. (1971) Rearing the bay scallop, *Argopecten irradians*. *Proceedings of National Shellfish Association*, 61: 80-85.
- Chang, Y.J., Lim, H.K. and Park, Y.J. (1997) Reproductive cycle of the cultured scallop, *Patinopecten yessoensis*, in eastern waters of Korea. *Korean Journal of Aquaculture*, 10(2): 133-141.
- Chew, K.K. and Fusui, Z. (1993). Recent developments in bay scallop, *Argopecten irradians*, culture in China. *Proceeding of the 9th international Pectinid Workshop, Nanaimo*, 2: 4-8.
- Gibbons, M.C. and Castagna, M. (1984) Serotonin as an inducer of spawning in six bivalve species. *Aquaculture*, 40: 189-191.
- Ha, D.S. (1994) Reproductive Ecology and Egg Development of *Amusium japonicum japonicum* (Gmelin). Master of Thesis. University of Jeju, pp. 39. [in Korean]
- Hur, Y.B. (1994) Comparative Studies on the Embryonic Development and the Growth of Larvae of Eight Bivalve Species. Master of Thesis. National Fisheries University of Pusan, pp. 56 [in Korean]
- Iwata, K.S. (1971) Spawning of *Mytilus edulis*, acid-inhibition of spawning by KCl. *Bulletin of Japanese Society of Scientific Fisheries*, 17: 91-93.
- Kanno, H. (1962) Artificial discharge of reproductive substance of Mollusca caused by repeated stimulation of temperature. *Bulletin of Tohoku Regional Fisheries Research Laboratory*, 20: 114-120.
- Kwon, O.K., Park, G.M. and Lee, J.S. (1993) Coloured Shells of Korea. pp. 1-445, Academy Publishing Company, Seoul. [in Korean]
- Loosanoff, V.L. and Davis, H.C. (1950) Conditioning V. *Mercenaria* for spawning in winter and breeding its larvae in the laboratory. *Biological Bulletin*, 98: 60-65.
- Loosanoff, V.L. and Davis, H.C. (1963) Rearing of bivalve mollusks. *Advanced Marine Biology*, 1: 1-136.
- 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. *Journal of Aquaculture*, 8(4): 307-316.
- 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. *Korean Journal of*

- Malacology*, **15**(2): 71-79.
- Oh, B.S., Jung, C.G., Yang, M.H. and Kim, S.Y. (2000) Effect of rearing density in culture cage on the growth of the bay scallop, *Argopecten irradians*. *Bulletin of National Fisheries Research and Development 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. University of Inha, pp. 174.
- Oh, B.S., Jung, C.G., Kim, S.Y. and Chung, E.Y. (2002) Reproductive cycle of the bay scallop, *Argopecten irradians* transplanted from China. *Journal of the Korean Fisheries Society*, **35**(3): 201-206.
- Oh, B.S., Jung, C.G. and Kim, S.Y. (2002) Study of growth on bay scallop, *Argopecten irradians* in differential cultured depths. *Korean Journal of Aquaculture*, **15**(1): 61-68.
- Oh, B.S., Yang, M.H. Jung, C.G., Kim, J.I., Kim, Y.S. and Kim, S.Y. (2002) Effect of selected spat on growth of bay scallop (*Argopecten irradians*) during aquaculture. *Journal of Aquaculture*, **15**(3): 123-129.
- Park, Y.J. (1998) Biological Studies on Aquaculture of the Scallop, *Patinopecten yessoensis* (Jay). Ph.D. Dissertation, Cheju National University, pp. 185.
- Rose, R.A., Campbell, G.R. and Sanders, S.C. (1988) Larval development of the saucer scallop, *Amusium balloti* Bernardi. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, **39**: 153-160.
- Sagara, J. (1958) Artificial discharge of reproductive elements of certain bivalves caused by treatment of seawater and injection with NH₄OH. *Bulletin of Japanese Society of Scientific Fisheries*, **23**: 505-510.
- Sastry, A.N. (1966) Temperature effects in reproduction of the bay scallop *Aequipecten irradians* Lamarck. *Biological Bulletin*, **130**: 118-134.
- Smith, C.F. and Tettelbach, S.T. (1996) Bay Scallop Restoration, Western Peconic Bay, Project Report. pp. 44.
- Son, P.W. (1997) Biological Studies on Aquaculture of the Sun and Moon scallop, *Amusium japonicum japonicum*. Ph.D. Thesis. University of Jeju, pp. 128.
- 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). *Korean Journal of Aquaculture*, **9**: 409-417.
- Taylor, R.E. and Capuzzo, J.M. (1983) The reproductive cycle of the bay scallop, *Argopecten irradians irradians* (Lamarck), in a small coastal embayment on Cape Cod, Massachusetts. *Estuaries*, **6**(4): 431-435.
- Toba, M. (1990) Gonadal development and spawning induction in artificially conditioned Manila clams *Ruditapes philippinarum*. *Bulletin of Japanese Society of Scientific Fisheries*, **57**: 1269-1275.
- Wilbur, A.E. (1995) Population Genetics of the Bay Scallop, *Argopecten irradians* (Lamarck): An analysis of Geographic Variation and the Consequences of Self-fertilization. Ph.D. Thesis, Delaware University, pp. 128.
- YSFRI (Yellow Sea Fisheries Research Institute) (1991) Training manual on breeding and culture of scallop and sea cucumber in China. Regional sea farming Development and Demonstration Project (RAS/90/002), pp. 84.
- Yu, R., Xing, K., Sun, Z., Wang, C., Wang, X. and Xiang, X. (1994) A study on high yield techniques for breeding *Argopecten irradians* in large volumes of water. *Journal of Oceanographic Huanghai Bohai Seas Huangbohai Haiyang*, **12**(1): 65-70.