

코끼리조개의 인공종묘생산에 관한 연구

I. 산란유발 및 부화

이채성·노 섬*·박영재**

국립수산진흥원 서해수산연구소

*제주대학교 증식학과

**국립수산진흥원 강릉수산종묘배양장

Studies on the Artificial Seedling Production of Geoduck Clam, *Panope japonica* I. Spawning Induction and Hatching

Chae Sung Lee, Sum Rho* and Young Je Park**

Wast Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research & Development Institute, Incheon 400-201, Korea

*Department of Aquaculture, Cheju National University, Cheju 690-756, Korea

**Kangnung Hatchery, National Fisheries Research & Development Institute, Kangwon-do 210-800, Korea

In order to develop the techniques for artificial seedling production of geoduck clam, *Panope japonica*, various stimulation for spawning induction and hatching condition were studied.

Spawning induction by the air dry or UV-irradiation stimulus were not effective. Water temperature stimulus was responded 15.0~25.0% in May and 10.0% in June. But spawning induction by the gonad incision was highest with 15.0~45.0%.

Ammonium hydroxide (NH₄OH) stimulus adding in seawater were responded 15.0% at 8/1000N~10/1000N, and ammonium hydroxide solution injected in the gonads were responded 5.0~10.0% at 5/100N~7/100N.

The highest fertilization and hatching rate at various water temperature were ranged 74.5~89.2% in 11~17°C, 84.3~89.5% in 8~14°C, respectively. The highest fertilization rate and hatching rate in various salinity were ranged 72.5~88.5% in 25~35‰, 82.7~86.9% in 30~35‰, respectively. The optimum water temperature and salinity for fertilization and hatching to the 11~14°C and 30~35‰, respectively.

Key words : Spawning induction, Fertilization and hatching, Geoduck clam

서 론

우리나라의 천해는 수심이 얇고 광활하여 수산물의 생산에 좋은 환경적인 조건을 갖추고 있다. 특히 굴, 피조개, 대합, 바지락 등의 패류는 국민에게 중요한 단백질 공급원으로 큰 역할을 하여

왔으며, 1970년대부터는 굴과 피조개의 천연 종묘생산으로 종패의 확보가 용이해지고 양식장이 비약적으로 확대됨에 따라 패류생산이 급격히 증가되어 왔다.

그러나 최근에는 우리나라 패류양식의 주종을 이루던 굴과 피조개의 자연채묘가 부진함에 따라

생산량이 격감하여 그 대처방안으로 인공종묘생산에 대한 관심이 높아지고 있으며, 아울러 새로운 패류양식 종의 기술개발이 절실히 요구되고 있다.

동해안에 서식하는 패류는 북방대합, 민들조개 등 한해성 품종으로 한정되어 있어 패류 서식지로 그렇게 중요하게 여겨지지 않고 있었으나, 1988년경부터 어민들에 의해 코끼리조개가 어획되기 시작하여 동해안에 다량 분포하고 있음이 확인됨으로써(江原道, 1990), 본 종의 중요성이 인정되어 관심이 고조되고 있다.

코끼리조개는 이동성이 거의 없는 대형 종이며, 치패로부터 성패까지 성장기간이 길어 자원 회복력이 낮으므로 마구잡이로 채취할 경우 자원이 고갈될 우려가 커 지속적인 자원관리와 아울러 인공종묘생산 기술개발이 시급한 실정이다.

코끼리조개와 생태적으로 유사한 왕우럭조개(*Tresus keens*)에 대하여는 생태학적 연구, 인공종묘생산시험 및 치패육성에 관한 연구 등(龜山, 1966; 溝上和 堀田, 1971 a, b; 濱本와 大林, 1985 a; 濱本와 高木, 1985; 高見와 河本, 1986, 1987)의 많은 보고가 있다.

그러나 코끼리조개에 관한 연구는 일본에서 연안의 분포와 어업실태에 관한 보고(濱本와 大林, 1985b)와 우리나라에서 동해안의 서식환경과 성장에 관한 보고(金 等, 1991)가 있을 뿐, 종묘생산에 관한 보고는 전무한 실정이다.

본 연구는 강원연안에 서식하는 코끼리조개의 인공종묘생산 기술개발을 목적으로 산란유발, 수온 및 염분농도가 수정율과 부화율에 미치는 영향을 조사하였다.

재료 및 방법

실험에 사용한 코끼리조개는 1993년 4월부터 1995년 6월까지 강원도 양양군 현남면 인구연안 수심 20~30 m 해역에서 잠수기선으로 채취한 것이다(Fig. 1).

산란유발

산란유발을 위하여 사용한 모패는 1993년부터

1995년까지 매년 4~6월에 채집된 것으로 총 590 마리(각장 108.2 ± 4.8 mm, 전중 290.4 ± 23.1 g)를 이용하였다(Table 1). 산란유발은 수온자극, 간출자극, 자외선 조사해수자극, NH₄OH용액을 해수에 첨가하는 자극, NH₄OH용액을 생식소에 주사하는 자극 및 생식소를 절개하여 인공수정하는 등 6가지 방법을 사용하였다.

수온자극은 Fig. 2와 같이 수온을 상승 또는

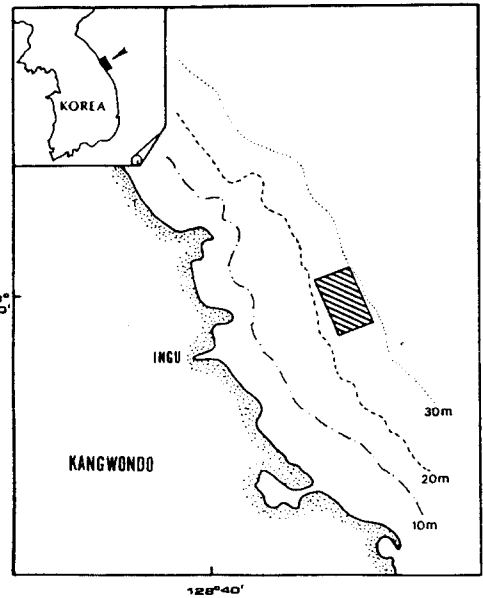


Fig. 1. The map showing of the sampling site of *Panope japonica* in Ingu, Korea.

Table 1. Number and size of adult geoduck clam, *Panope japonica* used for the experiment of spawning induction

Year	No. of adult	Shell length (mm)	Total weight (g)
1993	230	92.7~121.4 (103.6±4.5)	179.1~479.6 (274.1±22.6)
1994	300	89.2~128.0 (109.8±5.1)	160.3~482.4 (291.9±27.2)
1995	60	93.1~125.3 (111.2±4.7)	195.5~385.4 (305.1±19.4)
Total	590	89.2~128.0 (108.2±4.8)	160.3~482.4 (290.4±23.1)

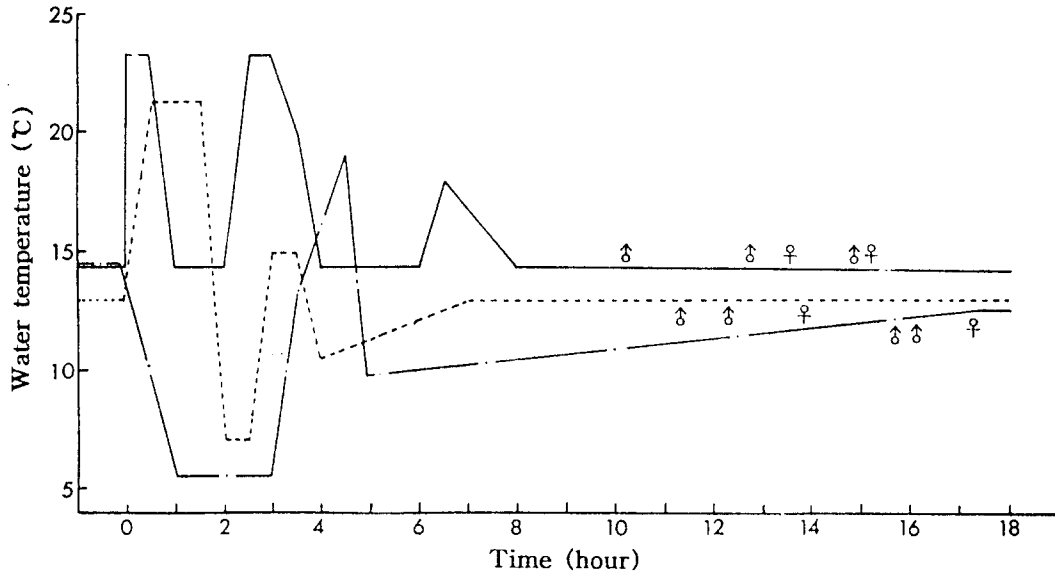


Fig. 2. Number of responses on the spawning induction and stimulation process of water temperature of *Panope japonica*. ♀ : Egg discharging females ; ♂ : Sperm discharging males.

하강하거나 반복시켜 자극온도 변화와 자극시간의 차이에 의한 효과를 조사하였다. 간출자극은 자연수온에서 사육하던 어미를 온도가 9~11°C 높은 공기중에 40분~60분간 노출시킨 후 해수에 옮겨 방란·방정을 시도하였다.

자외선 조사해수자극은 菊地와 浮(1974)의 방법에 따랐으며, NH₄OH을 해수에 첨가하는 자극은 NH₄OH용액의 해수농도를 각각 1/1000 N, 3/1000N, 5/1000N, 8/1000N, 10/1000N 및 15/1000N로 조정하여 첨가 농도별 산란유발 효과를 비교하였다. NH₄OH용액을 생식소에 주사하는 자극은 각각 1/100N, 3/100N, 5/100N, 7/100N 및 10/100N로 조정하여 용액 2 ml를 생식소에 주사한 뒤 각 처리 농도에 따른 산란유발율을 조사하였다. 주사는 생식소 위치를 확인한 후 외부막 외부에서 생식소내를 향하여 주사하였다. 절개법은 생식소를 메스로 절개하여 현미경 관찰에 의해서 암수를 구별한 후 손으로 눌러 인위적으로 채란, 채정하여 습식법으로 인공수정시켰다. 산란유발 자극방법에 따라 방란·방정된 알과 정자는 즉시 인공수정 시킨 후 30

µm 망목에서 깨끗한 여과해수로 3~4회 세란한 뒤 부화용 수조(10 ℓ원형 플라스틱수조)에 수용하였다.

수정율 및 부화율

수온에 따른 난의 수정율과 부화율을 알기 위하여 수온을 5, 8, 11, 14 및 17°C의 5개 구간으로 정하였으며, 수온은 환경자동조절 수조(주식회사 海同)를 이용하여 수온을 5°C로 유지시켰다. 이 수조내에 사각 플라스틱 시험구(30×40×30 cm) 5개를 설치하고, 각 시험구마다 히타와 온도조절기를 사용하여 시험구의 수온을 5, 8, 11, 14 및 17°C로 유지시킨 후 2 ℓ 유리수조에 난을 각각 10,000개씩 수용하고 정자를 혼합하여 수정하였다. 수정율은 수정 후 1시간 후에 제 1극체의 출현비율로 구하였다. 부화율은 2 ℓ 유리수조에 수정난을 수용하고 2일 후 담륜자로 부화하는 것을 확인하여 전체 수정난에 대한 부화개체의 백분율로 나타내었다.

염분농도에 따른 부화율을 알기 위하여 수온을 11°C로 유지한 후 염분농도를 각각 15, 20, 25,

30, 35, 40 및 45%로 조절한 2 l 유리수조에 난을 각각 10,000개씩 수용하여 3회 반복 실험하였다. 수정율과 부화율은 수온에 따른 실험과 같은 방법으로 조사하였다.

결 과

산란유발

코끼리조개의 산란기는 3월에서 6월까지이며, 주산란은 4월 하순부터 5월 중순까지이므로 성숙상태가 양호한 산란기를 중심으로 산란유발 시험을 실시하였다.

코끼리조개의 산란유발을 위하여 수온자극, 간출자극, 자외선 조사해수자극, NH_4OH 를 해수에 첨가하는 자극과 생식소에 주사하는 자극에 의한 산란유발과 생식소절개 등으로 얻은 난과 정자의 인공수정을 실시한 결과는 Table 2와 3에서와 같다.

수온자극은 4월 13일에서 6월 5일까지 9회 실시하였는데 4월에는 5.0% 이하의 반응을 보였으나 5월에는 15.0~25.0%의 반응을 나타내었고, 6월에는 수컷만 일부 반응(10.0%)하였다. 이중 5월 14일에 실시한 방법이 가장 양호하였으며, 그 결과를 보면(Fig. 2) 수온 14.4°C로

Table 2. Result of the spawning induction experiments with *Panope japonica* by various stimulation methods

Stimulation methods	Date	Process of stimulation	Number of experiment	Number of responses		Rate of response (%)
				♀	♂	
Temperature (heating and cooling)	Apr. 13, 1993	10°C→17°C(1h*)→10°C	10	—	—	0
	Apr. 26	12.5°C→20°C(1h)→13°C	20	—	—	0
	Apr. 26	12.5°C→18°C(1h)→11°C→15°C	20	—	1	5.0
	May 3	13.1°C→5°C(1h)→12°C	20	—	—	0
	May 3	13.1°C→21.4°C(1h)→7°C(0.5h)→15°C(0.5h)→10.3°C→13.0°C	20	1	2	15.0
	May 14	14.4°C→23.2°C(1h)→17°C	20	—	—	0
	May 14	14.4°C→23.2°C(0.5h)→14.4°C(1h)→23.2°C(0.5h)→14.4°C→18.0°C→14.4°C	20	2	3	25.0
	May 15	14.5°C→5.6°C(2h)→13.2°C→19°C→10°C→12.8°C	20	1	2	15.0
	June 5	18.3°C→23.0°C(0.5h)→18.3°C→23.0°C(1h)→18.3°C	20	—	2	10.0
Air dry and submerge	Apr. 15, 1993	9.5°C→21.8°C(1h)→9.5°C	20	—	—	0
	May 10	13.2°C→23.0°C(1h)→13.2°C	20	—	—	0
	June 5	18.3°C→25.2°C(1h)→18.3°C	20	—	—	0
Pulse spawning	Apr. 15, 1994	Incision of gonads	20	5	4	45.0
	May 10	〃	20	3	3	30.0
	June 5	〃	20	1	2	15.0
UV irradiation	May 7, 1995	243.7mWh/ℓ	10	—	—	0
	〃	487.5 〃	10	—	—	0
	〃	609.4 〃	10	—	—	0
	〃	812.5 〃	10	—	—	0
	May 8, **	609.4 〃	10	—	—	0
	〃	812.5 〃	10	—	—	0

* : Time for stimulation

** : Dried (1hr.) before UV irradiation

Table 3. Results of spawning induction experiments with *Panope japonica* by NH_4OH stimulation in 1994

Stimulation method	Date	Process of stimulation	Number of experiment	Number of responses		Rate of response (%)
				♀	♂	
NH ₄ OH solution in the tank	May 15	1/1000 N	20	—	—	0
	〃	3/1000 N	20	—	—	0
	〃	5/1000 N	20	—	1	5.0
	〃	8/1000 N	20	1	2	15.0
	〃	10/1000 N	20	1	2	15.0
	〃	15/1000 N	20	—	2	10.0
Injection of NH ₄ OH to the gonad	May 15	1/100 N	20	—	—	0
	〃	3/100 N	20	—	—	0
	〃	4/100 N	20	—	—	0
	May 16	5/100 N	20	—	1	5.0
	〃	7/100 N	20	1	1	10.0
	〃	10/100 N	20	—	—	0

사육하던 모패를 23.2℃에서 30분간 자극한 후 14.4℃로 하강시키고, 1시간뒤 다시 상승시키는 자극을 1회 반복하고 2시간을 기다렸지만 방란 방정이 이루어지지 않았다. 그 후 2시간 동안에 18℃로 상승시켰다가 14.4℃의 자연수로 유지시키던 중 수컷 1마리가 방정하기 시작한 뒤 간혈적으로 방란·방정이 암컷 2마리, 수컷 3마리에서 반응을 보여 약 6만개의 수정란을 얻을 수 있었다. 이외에도 5월 3일과 15일에 방란·방정이 있었지만 암수의 방란·방정이 시간적으로 차이가 있거나, 방정만 하므로서 손조로운 수정란을 얻을 수가 없었다.

간출자극과 자외선 조사해수자극에서는 방란·방정이 전혀 일어나지 않았다. 그러나 생식소를 절개(절개법)하여 얻은 알과 정자의 인공수정은 15.0~45.0%가 정상적으로 수정되었으며, 그 중 4월 15일에 인공수정 시킨 것은 45.0%의 수정율을 나타내었다.

NH₄OH용액을 해수에 첨가하는 자극의 경우 3/1000N이하에서는 반응을 보이지 않았으며, 5/1000N 이상에서 반응을 보이기 시작하여 8/1000N~10/1000N에서는 2~3시간이내에 암컷 1마리, 수컷 2마리가 방란·방정하여 약 2만개의 수정란을 얻을 수 있었다.

NH₄OH용액을 생식소에 주사하는 자극의 경우 5/100N~7/100N에서 5.0~10.0%의 반응을 보였지만 정상적인 수정은 이루어지지 않았다.

수온 및 염분농도에 따른 수정율과 부화율

수온에 따른 수정과 부화율을 조사하기 위하여 5단계의 수온(5, 8, 11, 14 및 17℃)에서 실험한 결과는 Fig. 3과 같다.

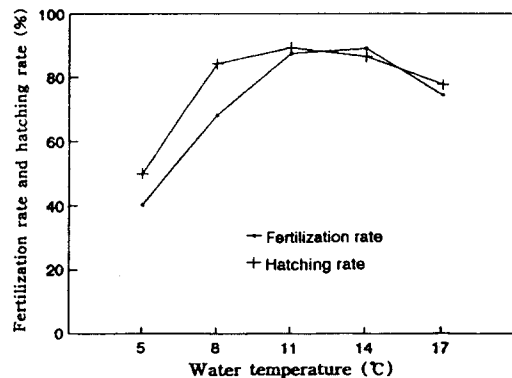


Fig. 3. Changes of fertilization rate and hatching rate of *Panope japonica* in various water temperature regimes.

수정율은 수온 11~17℃ 범위에서 74.5~89.2

%로 높게 나타났으나, 8°C 이하에서는 40.5~68.3%로 저조하였다. 부화율은 수온 8~17°C 범위에서 77.8~90.5%로 높게 나타났고, 5°C에서는 50.1%로 비교적 낮았다.

염분에 따른 수정과 부화율을 조사하기 위하여 7단계의 염분농도(15, 20, 25, 30, 35, 40 및 45‰)에서 실험한 결과는 Fig. 4와 같다.

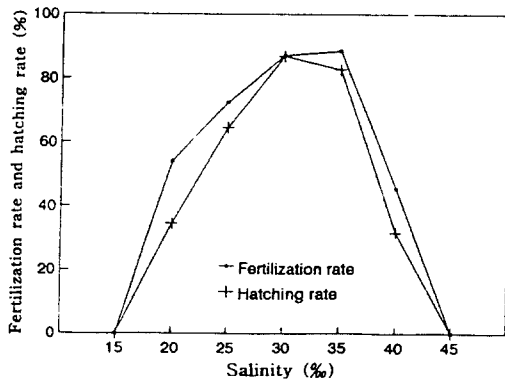


Fig. 4. Changes of fertilization rate and hatching rate of *Panope japonica* in various salinity regimes.

염분농도에 따른 수정율은 염분 25~35‰ 범위에서 72.5~88.5%로 비교적 높았고, 15‰와 45‰에서는 수정이 이루어지지 않았으며, 부화율에서는 염분 30~35‰ 범위에서 82.7~86.9%로 높게 나타났으나 40‰에서는 31.7%로 저조하였으며, 45‰에서는 부화가 이루어지지 않았다. 여기에서 수온과 염분농도에 의한 난의 수정율 및 부화율을 고려해 볼때 수온은 11~14°C, 염분농도는 30~35‰가 최적조건이라 여겨진다.

고 찰

이매패류의 산란유발 방법으로는 온도자극 (Loosanoff and Davis, 1950; Kanno, 1962), 간출자극(柳等, 1993), 전기자극(Kanno, 1962) 등의 물리적 자극과 NH_4OH 처리, H_2O_2 처리, Na_4Cl 등에 의한 화학적 자극(Sagara, 1958; Iwata, 1971; 崔, 1975; Lee, 1976; Gibbons

and Castagna, 1984; Crawford, 1986), 자외선조사해수법(Lee and Lee, 1981), 신경절 현탁액자극(Morse et al., 1977; Matsutani and Nomura, 1982; Osada et al., 1992; Michaelidis, 1993)등이 시도되고 있다.

수온자극은 총 9회 실시하여 암컷 3회, 수컷 5회의 방란·방정이 있었으며, 그 중 가장 양호한 것은 수온 14.4°C의 자연수에서 사육하던 크꼬리조개를 23.2°C로 상승시켰다가 14.4°C로 하강시킨 후 1시간뒤 다시 수온상승을 2회 반복하여 약 6만개의 수정란을 얻을 수 있었다. 이러한 결과는 수온자극에 의한 폐류의 산란유발이 단일 자극보다는 반복자극에 의해 효과가 높으며 온도변화 폭의 크기에 따라 산란유발율이 좌우된다(Kanno, 1962)는 보고와 일치하고 있다. 한편 간출자극과 자외선 조사해수에 의한 자극은 거의 반응을 보이지 않으므로 실효성이 없는 것으로 나타났다.

크꼬리조개와 생태적으로 유사한 왕우럭조개의 산란유발에 대하여는 일본에서 1980년 11월 14일에 방부산 어미로부터 간출자극 및 수온자극에 의해 19마리중 암컷 2마리가 산란하고 수컷은 반응이 없어 절개하여 수정시킨 보고가 있으며(山口縣内海水産試驗場, 1981), 그외 대부분은 생식소절개에 의해 채란 수정시키고 있다(山口縣内海水産試驗場, 1982; 高見 1983a, b). 일반적으로 이매패의 수정은 자연산란되거나 인공자극에 의해 산란된 난이라도 거의 대부분이 卵核胞(germinal vesicle)가 소실된 후에 정상적인 발생이 이루어지는 것으로 알려지고 있으나(Loosanoff and Davis, 1963) 卵核胞의 유무에 관계없이 수정이 용이한 종도 있다(Allen, 1953; Dube, 1988; Clotteau and Dube, 1993).

濱本와 大林(1985b)은 크꼬리조개의 생식소를 절개하여 왕우럭조개와 같은 방법으로 인공수정을 시도하였지만 부유유생을 얻지 못했다고 보고하였으나 본 연구에서는 생식소절개하여 15.0~45.0%의 높은 반응을 보여 濱本와 大林(1985b)의 보고와 차이가 있었다. 이는 난의 성숙도가 충

분하지 못할 경우 방란방정의 유도효과가 좋지 못하므로 산란시기, 난적출 및 수정방법 등에 의한 차이에서 오는 것으로 여겨지며, 난이 완숙하면 인위적인 생식소 적출로도 수정을 유도할 수 있는 것으로 판단된다.

木下等(1943)은 큰가리비의 사육수에 NaOH 나 NH₄OH 용액을 첨가하면 해수의 pH를 높여 산란이 유발된다고 보고하였다. Sagara (1958)는 동족에 NH₄OH 첨가의 경우, 8/1000N 이하에서 방란방정이 일어난다고 보고하였으며, 본 연구에서는 8/1000N~10/1000 N에서 가장 좋은 반응을 나타내어 Sagara (1958)와 같은 결과를 보였다. 그러나 키조개(鄭等, 1986)에서는 이 자극으로 산란유발 효과를 보지 못하였다고 보고하여 종에 따라 상이함을 알 수 있다.

NH₄OH용액을 생식소에 주사하는 자극에서 崔(1975)는 대합과 가무락을 대상으로 산란유발을 시도하였는데 대합에서는 4/100N, 가무락에서는 3/100N에서 가장 좋은 결과를 얻었다고 하였으며, 본 연구에서는 5/100N~7/100N에서 좋은 반응을 보여 崔(1975)가 보고한 대합, 가무락 보다 높은 농도에서 반응을 하였고, 鄭等(1986)이 키조개를 대상으로 시험한 보고와는 유사한 경향을 보였다.

이상의 결과에서 자극법에 의한 산란유발은 온도자극법이 가장 양호하였으나 전체적으로 볼 때 모패의 생식소를 인위적으로 절개하여 인공 수정시킨 것이 가장 좋은 성적을 보임으로써 코끼리조개의 산란유발은 생식소를 절개하여 인공 수정시키는 것이 효과적이라 생각된다. 그러나 코끼리조개의 생식소는 패각과 외투막으로 덮혀 있어 속도판정에 어려움이 있으므로 모패활력과 산란시기를 정확히 판단하여야 하며, 보다 효율적인 산란유발 방법이 강구되어야 한다. 금후 Matsutani and Nomura (1982)에 의해 가리비 산란에 대한 신경전달물질 Serotonin (5-hydroxytryptamine)의 효과가 인정되고 있으므로 코끼리조개에 대해서도 신경전달물질을 이용한 산란유발법을 검토해 볼 필요가 있다고 생각된다.

한해성 품종인 북방대합(*Spisula solidissima*)의 정자와 난은 수온에 대한 내성이 강하여 6~20℃ 범위에서는 80% 이상의 수정율을 보였고, 수온이 높을수록 胚의 발달이 촉진되었다(Clotteau and Dube, 1993).

코끼리조개의 난은 수온 11~17℃ 범위에서 수정율은 74.5~89.2% 였으나 8℃ 이하에서는 40.5~68.3%로 낮았고, 부화율은 8~14℃ 범위에서 80% 이상을 보여 북방대합(Clotteau and Dube, 1993) 보다는 수온범위가 협소한 것으로 나타났으며, 코끼리조개의 경우 수온이 10~15℃가 되는 3~5월이 산란기인점을 감안할 때 어미의 실내사육 및 산란유발시에는 자연상태하의 수온조건에서 실시하는 것이 효과적이라 판단된다.

Clotteau and Dube (1993)는 북방대합이 20~35%의 염분범위에서는 수정율은 80% 이상이었으나 20~35% 이상과 이하의 염분에서는 급격히 감소하므로 수정시 염분도의 급격한 변화에 민감함을 보고하였다. Imai et al. (1953)은 북방대합의 난은 염분 27.1~32.5%에서는 정상적으로 발생했지만, 13% 이하 또는 37.9% 이상에서는 발생은 진전되지 못했다고 보고하고 있다.

코끼리조개의 난은 염분 25~35% 범위에서 수정율은 72.8~88.5%였으나 15%와 45%에서는 수정이 이루어지지 않았고, 부화율은 염분 30~35%에서 80% 이상으로 높게 나타남으로써 Imai et al. (1953)의 보고와는 유사하였으나 Clotteau and Dube (1993)의 보고보다는 고염성인 것으로 나타났다.

요 약

강원연안에 서식하는 코끼리조개의 인공종묘생산 기술개발을 목적으로 산란유발 방법 및 수정과 부화를 위한 수온과 염분농도의 최적조건 등을 연구한 결과를 요약하면 다음과 같다.

코끼리조개의 산란유발은 간출자극과 자외선

조사해수자극에서는 전혀 반응이 없었다. 수온 자극에서는 5월에 15.0~25.0%의 반응을 보였고, 6월에는 10.0%의 반응을 보였다. 그러나 생식소를 절개한 것은 15.0~45.0%로 가장 높은 반응을 보였다.

NH₄OH 용액을 해수에 첨가하는 자극에서는 8/1000N~10/1000N에서 15.0%의 반응을, 그리고 NH₄OH 용액을 생식소에 주사하는 자극은 5/100N~7/100N에서 5.0~10.0%의 반응을 보였다.

코끼리조개의 수온에 따른 수정율은 수온 11~17°C 범위에서 74.2~89.2%였고, 부화율은 수온 8~14°C에서 84.3~90.5%로 가장 높았다. 염분 농도에 의한 수정율은 염분 25~35‰ 범위에서 72.5~88.5%, 부화율은 염분 30~35‰에서 82.7~86.9%였다. 수정과 부화를 위한 수온과 염분농도의 최적조건은 수온 11~14°C, 염분농도 30~35‰로 나타났다.

참 고 문 헌

- Allen, R. D., 1953. Fertilization and artificial activation in the egg the surf clam *Spisula solidissima*. Biol. Bull. 105 : 213~239.
- 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.
- Dube, F., 1988. The relationships between early ionic events, the pattern of protein synthesis, and oocyte activation in the surf clam, *Spisula solidissima*. Develop. Biol. 126 : 233~241.
- Gibbons, M. and M. Castagna, 1984. Serotonin as an inducer of spawning in six bivalve species. Aquaculture 40 : 189~191.
- Imai, T. et al., 1953. Tank breeding of the Japanese surf clam, *Macra sachalinensis* Schrenck. Rep. Inst. Agr. Res. Tohoku Univ. 87 : 121~131.
- Iwata, K. S., 1971. Spawning of *Mytilus edulis*, acid-inhibition of spawning by KCl. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 17(2) : 91~93.
- Kanno, H., 1962. Artificial discharge of reproductive substance of mollusca caused by repeatedly stimulation of temperature. Bull. Tohoku Rep. Fish. Res. Lab. 20 : 114~120.
- Lee, J. J., 1976. Ecological studies for the culture of the clam, *Gomphia veneriformis*. I. Studies on the spawning season, artificial fertilization and egg development. Bull. Mar. Biol. St. Jeju Nat. Univ. 1 : 11~20.
- Lee, J. J. and J. Y. Lee, 1981. The effect of irradiated seawater with ultraviolet rays on inducing spawning of some cultivated shells. Bull. Mar. Resour. Res. Inst. Jeju Nat. Univ. 5 : 9~15.
- Loosanoff, V. L. and H. C. Davis, 1950. Conditioning *V. mercenaria* for spawning in winter and breeding its larvae in the laboratory. Biol. Bull. 98 : 60~65.
- Loosanoff, V. L. and H. C. Davis, 1963. In : Advances in Marine Biology Vol. 1. Academic Press. New York : 14~26.
- Matsutani, T. and T. Nomura, 1982. Induction of spawning by serotonin in the scallop, *Patinopecten yessoensis* (Jay). Mar. Biol. Letters 3 : 353~358.
- Michaelidis, M., 1993. The effect of 5-hydroxytryptamine on glycolysis in the perfused ventricle of the freshwater bivalve *Anodonta cygnea* : evidence for phosphorylation/dephosphorylation control of phosphofructokinase. J. Exp. Biol. 180 : 15~25.
- Morse, D. E., H. Duncan, H. Hooker and A. Morse, 1977. Hydrogen peroxide induces spawning in molluscs, with activation of prostaglandin endoperoxide synthetase. Science 196 : 298~300.
- Osada, M., K. Mori and T. Nomura, 1992. *In vitro* effects of estrogen and serotonin on release of eggs from the ovary of the scallop. Nippon Suisan Gakkaishi. 58(2) : 223~227.
- Sagara, J., 1958. Artificial discharge of reproductive elements of certain bivalves caused by treatment of seawater and by injection with NH₄OH. Bull. Japanese Soc. Sci. Fish.

- 23(9) : 505~510.
- 江原道, 1990. 江原沿岸 主要 貝類資源 調査 報告書. 大成文化出版社, 175pp.
- 高見東洋, 1983a. ミルクイガイの種苗生産に関する研究-I. 受精後1~2週間にみられる大量へい死について. 山口縣内海水産試験場 11 : 6~9.
- 高見東洋, 1983b. ミルクイガイの種苗生産に関する研究-II. Up welling法による稚仔貝飼育について. 山口縣内海水産試験場 11 : 10~16.
- 高見東洋・河本良彦, 1986. ミルクイガイの増殖に関する研究-III. 人工種苗の冲出し時期, 大きさおよび保護網の目合と中間育成の歩留りについて. 山口縣内海水産試験場報告 14 : 10~18.
- 高見東洋・河本良彦, 1987. ミルクイガイの増養殖に関する研究-IV. 中間育成における潜砂床の厚さと成長. 歩留り. 山口縣内海水産試験場研報 15 : 10~13.
- 溝上昭男・堀田正勝, 1971a. ミルクイ *Tresus keenae* KURODA et HABEの増殖に関する研究-I. 浮遊幼生と沈着初期稚貝の成長について. 水産増殖 18 : 238~246.
- 溝上昭男・堀田正勝, 1971b. ミルクイ *Tresus keenae* KURODA et HABEの増殖に関する研究-II. 潜入稚貝の成長について. 水産増殖 18 : 247~257.
- 金炯燮・朴榮濟・金完起・張貞源・金鐘斗, 1991. 江原沿岸 코끼리조개의 棲息環境과 成長. 國立水産振興院 研究報告 45 : 269~282.
- 木下虎一郎・滋谷三五郎・清水二郎, 1943. ホタテガイ, *Pecten (Pationpecten) yessoensis* JAYの産卵誘發に関する試験(豫報). 日水誌, 11(5-6) : 168~170.
- 濱本俊策・高木俊祐, 1985. 備讃瀬戸海域に生殖するタイラギ *Akrina (Servatrina) pectinata* (LINNAEUS)およびミルクイガイ *Tresus keenae* (KURODA et HABE)の形態的特徴. 香水試研報, *Bull. Kagawa Pref. Fish. Exp., Sta. No.* 1 : 25~36.
- 濱本俊策・大林萬鋪, 1985a. ミルクイガイ *Tresus keenae* (KURODA et HABE)の採卵適期と種苗生産上の問題點. 香水試研報, *Bull. Kagawa Pref. Fish. Exp., Sta. No.* 1 : 1~9.
- 濱本俊策・大林萬鋪, 1985b. 備讃瀬戸鹽飽諸島海域におけるナミカイ *Panopea japonica* (A, ADAMS)の大量發生とその漁業實態. 栽培技研 14(2) : 7~25.
- 山口縣内海水産試験場, 1981. 山口縣内海水産試験場研報 : 1~32.
- 山口縣内海水産試験場, 1982. 山口縣内海水産試験場研報 : 1~30.
- 柳浩英 外, 1993. 참담치 人工種苗生産技術에 關한 研究. 慶尚南道 : 1~156.
- 鄭成采・許宗秀・文榮鳳・李鐘寬・宋泉浩・金慶吉, 1986. 키조개의 種苗生産을 爲한 實驗的 研究. 水振研報 39 : 143~150.
- 崔信錫, 1975. 대합(*Meretrix lusoria*)과 가무락(*Cyclina sinensis*)의 初期發生 및 成長에 關한 比較研究. 韓國水産學會誌 8(3) : 185~195.
- 龜山展志, 1966. ミルクイ幼生の水槽飼育について. 水産増殖 14(3) : 151~156.