

진주조개, *Pinctada fucata martensii*와 참굴, *Crassostrea gigas*의 난발생에 미치는 수온의 영향

장영진 · 최윤희 · 장윤정 · 최석원*
부경대학교 양식학과, *해양환경산업기술(주)

Effect of Water Temperature on the Egg Development of Pearl Oyster, *Pinctada fucata martensii* and Pacific Oyster, *Crassostrea gigas*

Young Jin CHANG, Youn Hee CHOI, Yun Jeong CHANG
and Seok Won CHOI*

Department of Aquaculture, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea
*Marine Environment Institute and Technology Engineer Cooperation

We studied to find out the effect of water temperature on the egg development of pearl oyster, *Pinctada fucata martensii* and Pacific oyster, *Crassostrea gigas*. The optimum water temperatures for egg development were 20~25°C in *P. fucata martensii* and 15~25°C in *C. gigas*. The required time from fertilization to D-shaped larva was 41.7 hours at 20°C and 27.5 hours at 25°C in *P. fucata martensii*, and 35.3 hours at 15°C, 26.3 hours at 20°C and 17.6 hours at 25°C in *C. gigas*, respectively. The relationships between the water temperature (WT: °C) and the required time (h: hour) from fertilization to each developmental stage were given as follows;

<i>P. fucata martensii</i> ;	
Up to 8-cell	1/h=0.0463WT-0.6945 (r ² =0.9702)
Up to morula	1/h=0.0196WT-0.2184 (r ² =0.8118)
Up to trochophore	1/h=0.0076WT-0.0802 (r ² =0.8756)
Up to D-shaped larva	1/h=0.0031WT-0.0380 (r ² =0.9075)
<i>C. gigas</i> ;	
Up to 8-cell	1/h=0.0210WT-0.1123 (r ² =0.9862)
Up to morula	1/h=0.0143WT-0.1077 (r ² =0.9833)
Up to trochophore	1/h=0.0052WT-0.0218 (r ² =0.9857)
Up to D-shaped larva	1/h=0.0029WT-0.0170 (r ² =0.9689)

Biological minimum temperature for egg development of *P. fucata martensii* and *C. gigas* was calculated as 12.3°C and 5.7°C, respectively.

Key words: Pearl oyster, *Pinctada fucata martensii*, Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, Egg development, Water temperature

서 론

최근 환경 오염 및 무분별한 채취 등에 의해 우량형질을 가진 재래종 조개류의 자원이 급격히 줄어들고 있으며, 굴, 피조개 등의 유용 양식 조개류의 자연 채묘가 어려운 상황에 놓여 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 인공 종묘생산에 관한 연구가 활발하며, 나아가 조개류의 발생배를 냉동보존하여 종보존이나 연중 인공 종묘생산을 위한 기반 연구가 진행되고 있다.

조개류의 발생에서 온도는 초기 난할기의 세포 분열과 유생의 발생 및 사육에 큰 영향을 미치며, 대사율과 성장률에는 직접적으로, 영양-환경 측면에는 간접적으로 영향을 미치는 요인이다 (Ventilla, 1982). 따라서 계절적 온도 범위는 조개류의 부화 및 양식에 대한 적절한 시기와 지역 결정에 영향을 미친다 (Heasman et al., 1996).

수정란으로부터 유생단계에 이르기까지의 발생에 관한 연구로

는 black-lip pearl oyster, *Pinctada margaritifera* (Doroudi et al., 1999), 대합, *Meretrix lusoria*와 가무락, *Cyclina sinensis* (Choi, 1975) 및 참굴, *Crassostrea gigas* (Kim et al., 1995) 등이 있다. 여기에서 발생온도는 black-lip pearl oyster에서 20~35°C, 대합과 가무락에서 29°C, 참굴에서 23°C로 수온이 수정란의 발생에 미치는 영향이 파악되고 있으나, 대부분이 단일 수온 조건에서 발생과정을 관찰한 결과들이어서 여러 단계의 수온에서 수정란을 발생시켜 적정 수온을 찾고자 하는 연구가 필요하다. 더욱이 조개류의 수온에 따른 난발생 속도 및 발생 적정 수온을 비교하기 위하여는 여러가지 수온에서 난발생을 관찰하여야 한다.

특히, 어패류 생산에서 어미의 생식소 발달 및 발생에 있어 적산온도 (accumulated water temperature)를 산정할 때, 생물학적 영도 (biological minimum temperature)의 적용이 필요하다. 생물학적 영도는 발생이 정지하는 기초수온을 나타내는 것으로, 발생 속도에 관한 자료로써 얻을 수 있다. 지금까지 생물학적 영도를

밝힌 사례로는 참전복, *Haliotis discus hannai* (Kikuchi, 1964), 우렁챙이, *Halocynthia roretzi* (Yoo et al., 1990), 참돔, *Pagrus major* (Yoo et al., 1991)와 코끼리조개, *Panope japonica* (Lee and Rho, 1997)에서 연구된 바 있다.

그러므로 본 연구에서는 인공 종묘생산 뿐만 아니라 발생배의 냉동보존에 있어 적정 발생단계의 유생을 정확한 시간대에 얻고 적정 난발생 온도를 구명하기 위하여 진주조개, *Pinctada fucata martensii*와 참굴의 수정란을 재료로 하여 수온별, 경과시간별 발생단계를 관찰하고 생물학적 영도 및 생존율을 조사하였다.

재료 및 방법

1. 인공수정

인공수정을 위한 채란·채정용 어미로는 경상남도 자란만과 거제만에서 양식중인 진주조개와 참굴을 사용하였다. 채집한 진주조개와 참굴 어미는 껍질에 붙어있는 이물질을 제거한 후 계측하였으며, 크기는 각각 각장 64.6±6.0 mm, 63.2±9.2 mm, 전중 42.7±9.3 g, 117.6±31.4 g이었다 (Table 1).

진주조개 어미를 우 : ♂ = 5 : 1의 비율로 하여 50 l 수조에 수용한 후, 1시간 정도 방치하여 안정되었을 때 산란유발 자극을 주었다. 산란유발에서는 어미를 실내에서 2시간 동안 간출한 다음, 23℃에서 1시간에 걸쳐 29℃까지 상승시켜 6℃의 수온자극을 주어 채란·채정하였다. 참굴 어미로부터 알과 정자의 채취는 충분히 성숙한 암수 (5 : 1) 생식소 부위를 얇게 저민 다음, 미리 준비해 둔 여과해수 (34‰) 속에 풀어 난해수와 정자해수로 만들었다. 두 종의 알과 정자를 인공수정한 다음, 25 μm 필터로 1차 여과하여 차아염소산나트륨 150 ppm (McVey, 1993)으로 소독한 깨끗한 해수로 수정란을 씻어 주었다.

2. 난발생

진주조개와 참굴의 난발생 과정과 수온에 따른 발생속도의 차이를 파악하기 위하여 수정란을 10, 15, 20, 25, 30, 35 및 40℃로 유지한 수조에 각각 37 개/ml와 46 개/ml의 밀도로 수용한 다음, 8세포기, 상실기, 답륜자 및 D형 유생에 도달하는 시간을 조사하였다 (Fig. 1). 수정 여부는 제 1극체가 방출된 알로 판정하였으며, 각 발생단계에 이르기까지의 소요시간과 생존율은 광학현미경

(×100) 아래에서 조사하였다. 발생단계의 구분은 발생배의 50% 이상이 해당 발생단계에 달했을 때로 하였고, 이때까지의 소요시간을 측정하여 분석하였다. 또한 각 발생단계에 이른 발생배 가운데 형태적으로 기형을 나타내는 것은 죽은 것으로 간주하였으며, 답륜자와 D형 유생은 섬모로 선회 유행하는 것을 살아있는 것으로 판정하여 생존율을 조사하였다.

수온과 발생단계별 소요시간과의 관계식, 각 발생단계까지의 소요시간 및 적산수온과의 관계식은 Yoo et al. (1990)에 의한 방법을 사용하여 구하였다. 즉, 수온별로 각 발생단계에 이르기까지의 소요시간을 X축으로, 각 수온에서 생물학적 영도를 뺀 수온의 적산치를 좌측의 Y축으로, 각 발생단계는 우측의 Y축으로 표시하여 이들 관계식을 나타내었다.

결 과

진주조개와 참굴의 수정 후 각 발생단계까지의 소요시간은 Table 2와 같다. 두 종의 수정란은 모두 분리침성란이었으며, 25℃를 기준으로 진주조개와 참굴의 수정란이 8세포에 이르기까지 소요된 시간은 각각 2.31시간과 2.46시간, 상실배는 4.42시간과 4.07시간, 섬모로 운동하는 답륜자는 10.59시간과 9.22시간, 패각과 면반이 형성되는 D형 유생까지는 25.33시간과 17.59시간인 것으로 나타났다.

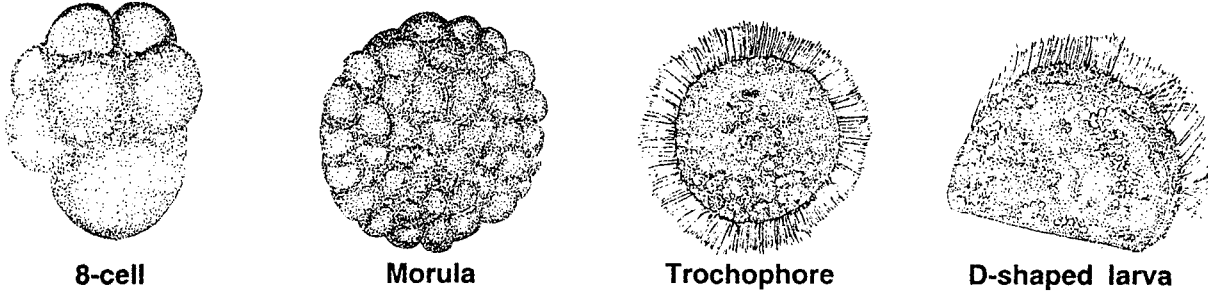
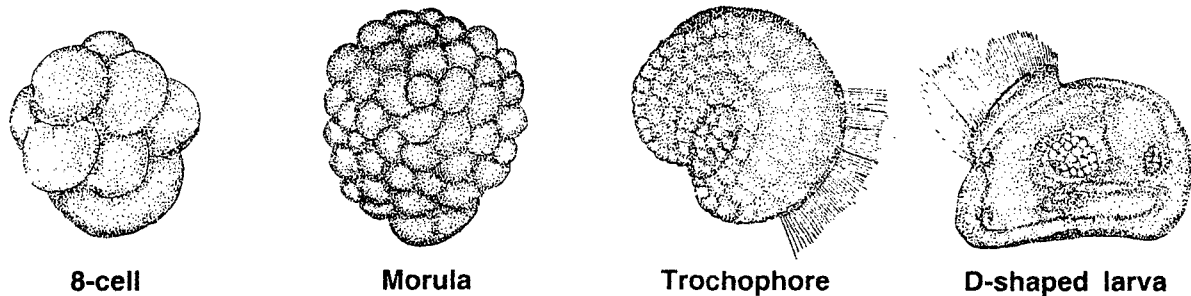
수정란이 D형 유생으로 발생할 때까지 생존한 수온은 진주조개에서 20℃와 25℃, 참굴에서는 15℃, 20℃와 25℃로 나타나 진주조개에 비해 참굴의 난발생 가능 수온 범위가 넓은 것을 알 수 있었다. 그리고 수정란으로부터 D형 유생에 이르기까지 20℃가 25℃에 비해 약 1.5배의 발생시간이 소요되어 수온이 높을수록 각 발생단계에 이르는 시간이 짧아지는 경향을 보였다. 또한 온도가 낮을수록 발생속도는 느렸으나 난분할 상태나 발생배의 외형은 정상적인 반면, 수온이 높을수록 발생배나 유생의 기형률이 높았다.

발생과정중 경과시간에 따른 진주조개와 참굴 수정란의 수온별 생존율은 진주조개에서는 수온 40℃에서 실험시작 5시간째에 모두 폐사하였으며, 15℃와 35℃에서는 실험시작 5시간째 약 50%의 생존율을 보이다가 10시간째에는 모두 폐사하였다 (Fig. 2). 10, 15 및 30℃에서의 수정란은 D형 유생으로 발생하지 않고 중간에 모두 폐사하였다. 20℃와 25℃에서는 D형 유생으로 발생하기까지 40%의 생존율을 보였다. 한편 참굴에서는 Fig. 2와 같이 수온 35℃와

Table 1. Adult shells of *P. fucata martensii* and *C. gigas* used for the collection of eggs and sperm

Sex	Number	Shell length (mm)	Shell height (mm)	Shell width (mm)	Total weight (g)
<i>P. fucata martensii</i>					
Female	30	64.8 ± 6.0	70.7 ± 5.5	23.8 ± 2.0	42.6 ± 9.4
Male	6	63.5 ± 6.2	69.7 ± 7.9	23.4 ± 1.4	43.3 ± 9.8
Average		64.6 ± 6.0	70.5 ± 5.8	23.8 ± 1.9	42.7 ± 9.3
<i>C. gigas</i>					
Female	60	62.5 ± 9.6	114.7 ± 16.0	33.1 ± 5.3	113.6 ± 31.5
Male	12	66.8 ± 6.3	120.1 ± 13.5	33.4 ± 2.2	137.4 ± 22.9
Average		63.2 ± 9.2	115.6 ± 15.6	33.2 ± 4.9	117.6 ± 31.4

Data presented as mean ± SD.

P. fucata martensii*C. gigas*Fig. 1. Egg developmental stages of pearl oyster, *P. fucata martensii* and Pacific oyster, *C. gigas*.Table 2. The mean required time (hours) from fertilization to each developmental stage with seven different water temperature regimes in *P. fucata martensii* and *C. gigas*

Developmental stage	10°C	15°C	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C
<i>P. fucata martensii</i>							
8-cell	ND	6.00 ± 0	4.06 ± 0.08	2.31 ± 0.08	1.42 ± 0.12	dead	dead
Morula	—	ND	5.14 ± 0.09	4.42 ± 0.12	2.59 ± 0.37	—	—
Trochophore	—	—	12.38 ± 0.18	10.59 ± 0.13	6.36 ± 0.16	—	—
D-shaped larva	—	—	41.38 ± 0.29	25.33 ± 2.95	dead	—	—
<i>C. gigas</i>							
8-cell	ND	5.09 ± 0.12	3.13 ± 0.06	2.46 ± 0.06	2.31 ± 0.01	dead	dead
Morula	—	9.71 ± 0.06	5.38 ± 0.29	4.07 ± 0.14	3.59 ± 0.23	—	—
Trochophore	—	17.55 ± 0.18	12.83 ± 0.49	9.22 ± 0.07	8.90 ± 0.26	—	—
D-shaped larva	—	35.25 ± 0.11	26.28 ± 0.21	17.59 ± 0.12	dead	—	—

ND: No more developed.

40°C에서는 실험시작 5시간째에 모두 폐사하였다. 35°C에서는 실험시작 후 5시간까지 4세포기가 대부분이었으며, 일부 8세포에 이른 것도 있었으나 더 이상의 발생은 이루어지지 않았다. 15~30°C에서는 실험시작 후 10시간까지 대부분 80%의 생존율을 보이고 있었으나, 30°C에서는 보다 낮은 생존율을 나타냈다. 이후 D형 유생으로 되기까지의 생존율은 20°C와 25°C에서는 약 80%를 유지한 반면, 15°C에서는 66%로 비교적 낮았다 (Fig. 2).

이상의 난발생 결과를 종합한 진주조개와 참굴의 수온별 발생

속도는 모두 직선회귀의 관계를 나타냈다 (Fig. 3). Fig. 3에서 X축은 수온, Y축은 시간의 역수를 나타내고 있으며, 이로부터 얻어진 수온 (WT: °C)과 발생 단계별 소요 시간 (h: hour)의 관계식은 다음과 같다.

진주조개-8 세포기: $1/h = 0.0463WT - 0.6945$ ($r^2 = 0.9702$)

상 실 기: $1/h = 0.0196WT - 0.2184$ ($r^2 = 0.8118$)

담 른 자: $1/h = 0.0076WT - 0.0802$ ($r^2 = 0.8756$)

D형 유생: $1/h = 0.0031WT - 0.0380$ ($r^2 = 0.9075$)

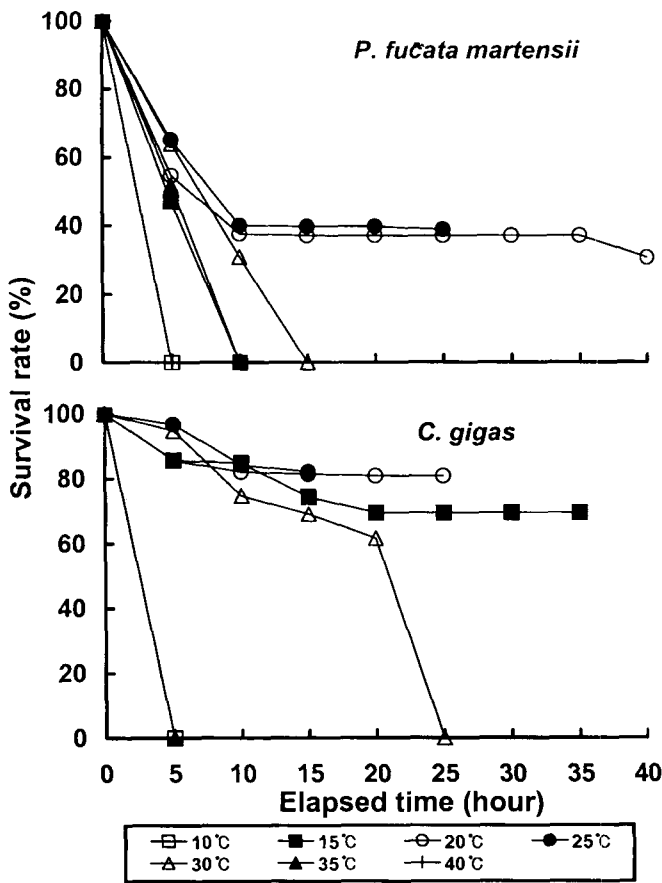


Fig. 2. Survival rates of fertilized eggs at various water temperatures.

참 굴-8 세포기: $1/h = 0.0210WT - 0.1123$ ($r^2 = 0.9862$)
 상 실 기: $1/h = 0.0143WT - 0.1077$ ($r^2 = 0.9833$)
 담 룬 자: $1/h = 0.0052WT - 0.0218$ ($r^2 = 0.9857$)
 D형 유생: $1/h = 0.0029WT - 0.0170$ ($r^2 = 0.9689$)

이들 관계식을 기초로 하여 진주조개와 참굴의 난발생이 정지하는 생물학적 영도 (θ)의 평균값을 구한 결과, 진주조개 12.3°C, 참굴 5.7°C로 산정되었다.

또한 위의 관계식을 활용하여, 각 발생단계에 이르는 소요시간에 대한 수온 · 시간 적산치의 직선회귀 관계를 발생수온별로 나타내어 진주조개와 참굴의 각 발생단계까지의 소요시간 및 적산수온을 손쉽게 알아볼 수 있도록 하였다 (Fig. 4).

고 찰

본 연구에 사용한 진주조개와 참굴의 수정란이 D형 유생으로 발생할 때까지 생존한 수온은 전체 실험수온인 5~40°C에서 진주조개는 20°C와 25°C, 참굴은 15°C, 20°C 및 25°C였으며, 20°C가 25°C에 비해 약 1.5배의 발생시간이 소요되어 수온이 높을수록 각 발생단계에 이르는 시간이 짧아지는 경향을 보임으로써, 수온과 난발생 속도는 높은 정상관 관계가 있음을 알 수 있었다. 이는 온도가 상

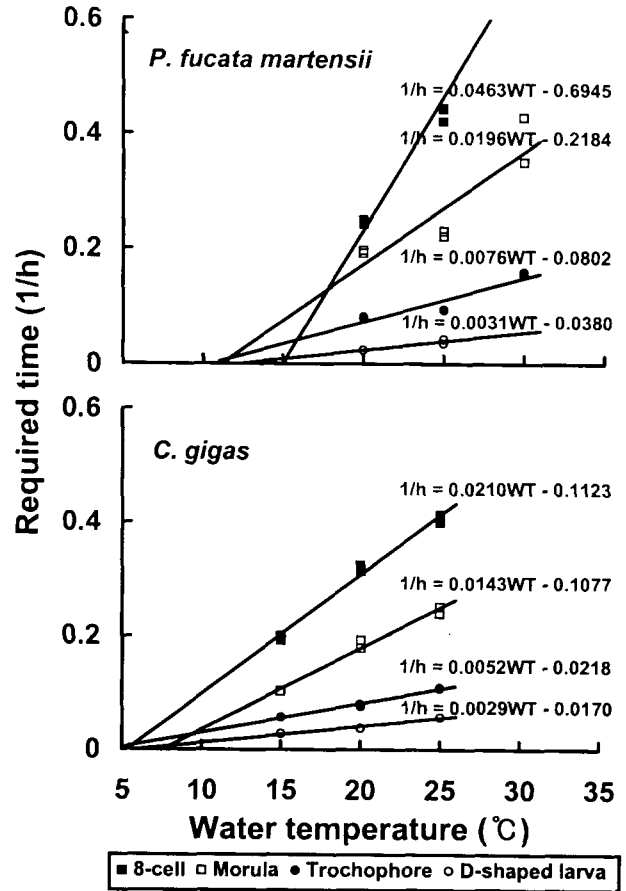


Fig. 3. Relationship between water temperature and required time (1/h; hour) from fertilization to each developmental stage after fertilization.

승할수록 대사활동도 같이 증가하기 때문인 것으로 판단된다 (Heasman et al., 1996).

또한 진주조개와 참굴의 난발생 속도는 온도가 낮을수록 느려지면서 난분할 상태나 발생배의 외형은 정상적인 반면, 수온이 높을수록 발생속도는 빨라지면서 기형률과 폐사율이 높았다. Dos Santos and Nascimento (1985)는 mangrove oyster의 수정란을 수온 20°C, 25°C 및 30°C에 수용한 결과 30°C에서 정상적인 발생배의 생존율이 평균 $1.7 \pm 2.35\%$, 가리비 (Heasman et al., 1996)의 경우에도 D형 유생을 15~27°C에서 사육하였을 때, 온도가 높을수록 생존율이 감소하여 본 연구 결과를 뒷받침해주고 있다.

진주조개의 수정란으로부터 D형 유생까지 폐사가 없는 발생수온 범위는 20~25°C, 참굴에서는 진주조개보다 넓은 15~25°C였다. 특히 진주조개와 참굴의 난발생을 위한 최적 수온은 25°C로 나타났다. 이는 Doroudi et al. (1999)이 흑엽조개의 수정란을 20°C, 25°C, 30°C 및 35°C에 수용하여 발생시켰을 때, 25~30°C에서 정상적인 발생을 보인 결과와 유사하였다.

한편, 진주조개와 참굴의 난발생은 생존율이 가장 좋았던 25°C를 기준으로 할 때, 8세포, 상실배, 담룬자 및 D형 유생에 이르기까지 각각 2.31, 4.42, 10.59, 25.33시간과 2.46, 4.07, 9.22, 17.59시간이 소

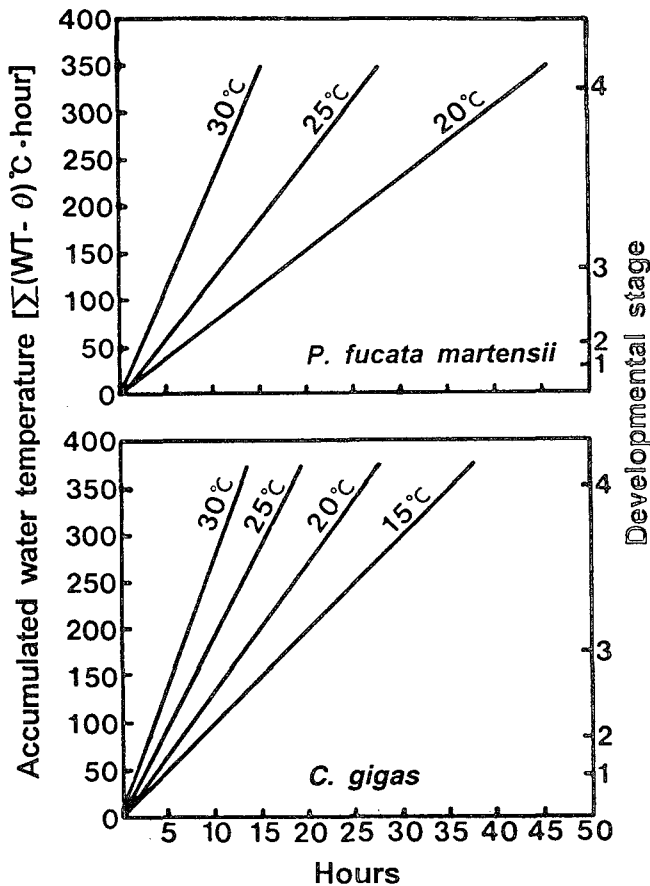


Fig. 4. Relationship between required time from fertilization to each developmental stage and accumulated water temperature. 1: 8-cell, 2: morula, 3: trochophore, 4: D-shaped larva. WT: water temperature, θ : biological minimum temperature.

요되어 참굴의 발생속도가 진주조개에 비해 빠른 것으로 나타났다. 또한 진주조개의 수정란을 25°C와 30°C에 수용하여 발생시켰을 때, 25°C에서는 D형 유생까지 27.5시간이 소요되었으나 30°C에서는 상실배 이후 폐사하였다. 반면, 백엽조개의 수정란을 27~29°C에 수용한 결과, D형 유생까지 18~24시간이 소요 (Rose and Baker, 1994) 되었으며, 흑엽조개에서는 30.5°C에서 20시간이 소요 (Alagarwami et al., 1989) 되어, 같은 진주조개과라도 난발생 수온에서 차이가 나는 것을 알 수 있었다.

진주조개와 참굴은 한해성 종인 북방대합 (Lee et al., 1996)과 코끼리조개 (Lee and Rho, 1997)에 비해 발생속도가 빠르게 나타났다. 북방대합의 경우 정상적인 D형 유생에 이르기까지 15~20°C에서 27~42시간, 코끼리조개에서는 11°C에서 3일이 소요되었다. 이것은 종별 분포수역에 따라 적정 난발생 수온과 소요시간이 다르다는 것을 보여주는 결과라고 할 수 있다. 더욱이 본 연구에서 두 종의 발생속도를 기준으로 하여 생물학적 영도를 산정한 결과에서도 진주조개는 12.3°C, 참굴 5.7°C로서, 이는 코끼리조개의 3.82°C보다 높아, 두 종 모두 한해성 종보다는 높은 기초수온을 가지고

있는 것을 알 수 있었다.

난발생속도에 대한 관계식과 생물학적 영도를 이용하여 작성한 Fig. 4는 8세포, 상실배, 담륜자, D형 유생까지에 대한 각각의 적산수온 및 각 발생수온별로 소요시간을 손쉽게 알아볼 수 있는 조건표가 될 것이다. 예를 들면, 진주조개의 수정란을 25°C의 수온에서 D형 유생까지 소요되는 시간과 적산수온을 알기 위해서는 Fig. 4의 윗그림에서 제시된 25°C 직선식을 우측의 4번과 연결하여 보면, 각각 약 28시간과 250°C임을 알 수 있다. 이 그림은 조개류의 발생배 보존연구에서 적정 발생단계의 유생을 원하는 시간대에 얻거나 종묘생산의 공정화를 기할 수 있는 자료로 유용하게 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

요 약

진주조개와 참굴의 성숙한 모패를 이용하여 인위적으로 산란유발한 다음 수온별로 난발생 실험을 하였다.

진주조개와 참굴의 난발생은 수온이 높을수록 발생단계별 소요시간이 짧아지는 경향을 보였으며, 적정 발생수온은 각각 20~25°C와 15~25°C였으며, 진주조개에서 초기 D형 유생에 이르는 시간은 20°C와 25°C에서 각각 41.7, 27.5시간, 참굴에서는 15°C, 20°C, 25°C에서 각각 35.3, 26.3, 17.6시간이 소요되었다.

수온 (WT: °C)과 발생 단계별 소요 시간 (h: hour)의 관계식은 다음과 같다.

$$\text{진주조개-8 세포기: } 1/h = 0.0463WT - 0.6945 \quad (r^2 = 0.9702)$$

$$\text{상 실 기: } 1/h = 0.0196WT - 0.2184 \quad (r^2 = 0.8118)$$

$$\text{담 륜 자: } 1/h = 0.0076WT - 0.0802 \quad (r^2 = 0.8756)$$

$$\text{D형 유생: } 1/h = 0.0031WT - 0.0380 \quad (r^2 = 0.9075)$$

$$\text{참 굴-8 세포기: } 1/h = 0.0210WT - 0.1123 \quad (r^2 = 0.9862)$$

$$\text{상 실 기: } 1/h = 0.0143WT - 0.1077 \quad (r^2 = 0.9833)$$

$$\text{담 륜 자: } 1/h = 0.0052WT - 0.0218 \quad (r^2 = 0.9857)$$

$$\text{D형 유생: } 1/h = 0.0029WT - 0.0170 \quad (r^2 = 0.9689)$$

이들 관계식을 기초로 하여 진주조개와 참굴의 초기 발생에 있어서 난발생이 정지하는 생물학적 영도의 평균값을 구한 결과, 진주조개 12.3°C, 참굴 5.7°C로 산정되었다.

참 고 문 헌

- Alagarwami, K., S. Dharmaraj, A. Chellam and T.S. Velayudhan. 1989. Larval and juvenile rearing of black-lip pearl oyster, *Pinctada margaritifera* (Linnaeus). *Aquaculture*, 76, 43~56.
- 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).
- Doroudi, M.S., P.C. Southgate and R.J. Mayer. 1999. The combined effects of temperature and salinity on embryos and larvae of the black-lip pearl oyster, *Pinctada margaritifera* (L.). *Aquaculture Research*, 30, 271~277.
- 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* Gulding, 1828.

- Aquaculture, 47, 335~352.
- Heasman, M.P., W.A. O'connor and A.W.J. Frazer. 1996. Ontogenetic changes in optimal rearing temperatures for the commercial scallop, *Pecten fumatus* Reeve. J. Shell. Res., 15, 627~634.
- Kikuchi, S. 1964. Study on the culture of abalone, *Haliotis discus hannai*. Contribution at the 1964 Peking symposium, (Gen 041).
- 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'l Fish. Res. Dev., 50, 103~114 (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.Y., Y.J. Chang and Y.J. Park. 1996. Spawning induction and egg development of surf clam, *Spisula sachalinensis*. J. Aquaculture, 9, 419~427 (in Korean).
- Rose, R.A. and S.B. Baker. 1994. Larval and spat culture of the Western Australian silver-or goldlip pearl oyster, *Pinctada maxima* Jameson (Mollusca: Pteriidae). Aquaculture, 126, 35~50.
- McVey, J.P. 1993. CRC handbook of mariculture. 56 pp.
- Ventilla, R.F. 1982. The scallop industry in Japan. Adv. Mar. Biol., 20, 309~382.
- 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., 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).

2000년 9월 25일 접수

2000년 11월 22일 수리