

살조개, *Protothaca jedgeoensis* 자원조성을 위한 양식생물학적 연구 I. 난발생과 유생사육

윤호섭, 김정¹, 최상덕*

여수대학교 수산생명과학부, ¹여수대학교 수산증양식연구센터

Biological Studies on Aquaculture for Resources Enhancement of *Protothaca jedgeoensis* I. Egg Development and Larva Reared

Ho Seop Yoon, Jung Kim¹ and Sang Duk Choi*

Division of Aqua life Science, Yosu National University, Yosu 550-749, Korea
¹Aquaculture Research Center, Yosu National University, Yosu 550-900, Korea

In order to obtain the aquaculture fundamental data for resources enhancement of the *Protothaca jedgeoensis*, the egg development and larva growth were investigated at different conditons such as water temperature, phytoplankton and density. Water temperature, at which *P. jedgeoensis* egg successfully completed development, ranged from 15~30°C. The required time from fertilization to D-shaped larva was 39.7 hours at 15°C, 31.2 hours at 20°C, 26.8 hours at 25°C and 26.2 hours at 30°C in *P. jedgeoensis*. In regard to water temperature, growth and survival rates of larvae were high at 30°C. In growth and survival rates of larvae with various rearing densities, the highest average growth and survival rates were 4~6 ind./ml. When larvae were fed mixed phytoplankton, such as *Isochrysis galbana*, *Pavlova lutheri* and *Chaetoceros calcitrans*, their growth and survival rates were the high among the groups. In growth and survival rates of larvae with various rearing food concentrations, the highest average growth and survival rates were 218 µm, and 45% at the food concentration of 1×10⁴ cells/ml, respectively.

Keywords: *Protothaca jedgeoensis*, Egg development, Growth, Water temperature

서 론

우리나라 천해양식의 대표적인 패류 생산량은 1988년에는 42만톤에 달하였으나 1989~1997년에는 30~35만톤 내의 1999년에는 24만톤으로 감소하는 경향을 보이고 있다. 매년 급격히 감소추세를 보이는 패류의 생산량 증대를 위해서는 양식장의 환경개선과 대체어장의 개발, 더불어 새로운 양식품종 및 인공종묘생산 기술개발 등이 절실히 요구된다(유 등, 1993a; 유 등, 1993b; 김, 1996; 김, 1997; 양, 1999; 김, 2000; Bae, 1998).

살조개, *Protothaca jedgeoensis*는 서남연안에서 기호도가 높은 유용수산자원으로 서식생태가 작은 돌들이 섞인 모래질에 서식하는 특성이 있고, 맛도 우수하므로 앞으로 새로운 양식대체품종뿐만 아니라 양식대체어장의 개발에도 유용한 가치가 기대되는 종이다(김, 2002). 살조개의 자원증대 및 양식을 위해서는 안정적인 종묘의 확보가 이루어져야 하며, 이를 위해서는 인공 종

묘의 생산이 필수적이다. 조개류의 인공 종묘 생산을 위해서는 수정에서 유생단계까지의 초기 성장과 생존율을 높여야 하는데, 수산생물의 종묘생산 기간 중 먹이를 필요로 하지 않는 난발생 및 부화에 있어 수온과 염분 등의 환경요인에 따라 그 생존율이 달라진다(Imai, 1953).

조개류의 발생에서 온도는 초기 난할기의 세포 분열과 유생의 발생 및 사육에 큰 영향을 미치며, 대사율과 성장률에는 직접적으로, 환경 측면에는 간접적으로 영향을 미치는 요인이다(Ventilla, 1982). 따라서, 계절적 온도범위는 조개류의 양식에 있어 적절한 시기와 지역 결정에 영향을 미친다(Heasman et al., 1996). 수정란으로부터 유생단계에 이르기까지의 발생에 관한 연구로는 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.

그러나, 대부분이 단일 수온 조건에서 발생과정을 관찰한 결과들이어서 여러 단계의 수온에서 수정란을 발생시켜 적정 수온을 찾고자 하는 연구가 필요하다. 더욱이 조개류의 수온에 따

*Corresponding author: choisd@yosu.ac.kr

른 난발생 속도 및 발생 적정 수온을 비교하기 위해서는 여러 가지 수온에서 난발생을 관찰하여야 한다. 살조개에 관한 연구로는 국외 *P. staminea*의 성장(Paul et al., 1976a; 1976b), 상대 성장에 관한 연구(Paul and Feder, 1973), 생산(Feder et al., 1979), 집단 유전적 특징(Parker, 2000), 패각 형성에 있어서의 염분과 조수의 영향(Era, 1985), *P. asperrima*의 배 발생(Ewart et al., 1988), *P. thaca*의 수온내성(Urban, 1994)등의 보고가 있으며, 국내에서는 살조개 생식주기(김 등, 2002)를 제외하고는 전무한 실정이다.

이에 본 연구에서는 패류양식 활성화를 위해 새로운 양식대 상종으로서 개발 가능성이 높은 살조개를 대상으로 자원증식 및 종 보존을 위한 양식생물학적 기초 연구의 일환으로 수온에 따른 난발생과 유생사육 조건에 따른 성장과 생존율을 비교 조사하였다.

재료 및 방법

모패 채집 및 산란유발

인공수정을 위한 채란·채정용 어미는 전남 여수시 백야도 연안에서 채취한 살조개를 실내수조로 옮겨와 사용하였다. 실내수조에 옮겨진 살조개는 유수식으로 사육되었으며, 먹이는 실내 배양실에서 연속 배양된 식물플랑크톤인 *Isochrysis galbana*, *Pavlova lutheri* 및 *Chaetoceros calcitrans*를 1일 2회 혼합 공급하였다. 채란을 위한 산란유발은 2004년 6월 11일 자연수온으로 사육중인 모패를 대상으로 신경전달물질인 serotonin용액을 생식소에 주사하는 자극으로 실시하였다. 자극을 통해 방란 방정한 모패를 제거하고 30 µm 물러 가제를 이용하여 수정란을 수거하였다. 1 µm 필터로 1차 여과한 후 차아염소산나트륨 150 ppm (McVey, 1993)으로 소독한 해수를 이용 수거된 수정란은 3~4회 세란하였다.

난발생 및 유생사육

수온에 따른 난발생 실험은 세란 후 10, 15, 20, 25 및 30°C로 조절된 5L 유리비이커에 200 ind./ml로 수용하여 실시하였으며, 실험에 사용한 해수는 1 µm 필터로 여과한 후 자외선 살균하여 사용하였다.

수온별, 사육밀도별, 먹이생물에 따른 유생의 성장과 생존율을 알아보기 위하여, 수용하여 사육하였다. 10 L의 원형수조에 수온 15, 20, 25 및 30°C의 실험구간으로 유생을 3 ind./1ml를 수용하여 *I. galbana*, *P. lutheri*, *C. calcitrans*를 혼합하여 1~5×10⁴ cells/ml의 농도로 공급하면서 성장에 따라 공급량을 늘려주었고 2일마다 유생을 전량 환수하여 사육하였다. 사육밀도 조사는 2 ind./ml, 4 ind./ml, 6 ind./ml, 8 ind./ml의 4개의 구간으로 나누어 진행하였으며, 먹이생물별 조사는 *I. galbana*, *P. lutheri*, *C. calcitrans*를 단독 또는 혼합 공급한 4개의 실험구간으로 수온은 실험기간 동안 25°C로 고정하고 사육방법은

수온실험과 동일하게 하였다. 먹이생물 농도별 조사는 *I. galbana*, *P. lutheri*, *C. calcitrans*를 혼합하여 0.5×10⁴, 1×10⁴, 2×10⁴, 4×10⁴ cells/ml 공급하면서 사육하였고, 사육방법은 수온실험과 동일하게 하였으며, 각각의 실험은 2반복으로 실시하였다.

결 과

난발생과 수온별 생존율

살조개의 수정란은 분리침성란이었으며, 대부분이 난핵포가 소실되지 않은 상태였다(Fig. 1A). 수온 20°C를 기준으로 수정 직후 난핵포가 소실되고 수정막이 형성되었으며(Fig. 1B), 이후 난할이 시작되어 2, 4, 8세포기 및 포배기까지 각각 1.2, 1.8, 2.2 및 4.6시간이 소요되었다(Fig. 1C, D, E, F). 수정 후 7.9시간이 지나면 나선상의 상하운동을 반복하는 담륜자 유생으로 부화한다(Fig. 1G). 패각이 형성되고 면반으로 유행하는 초기 D상 유생(Fig. 1H)까지는 31.2시간이 소요되었다(Table 1). 살

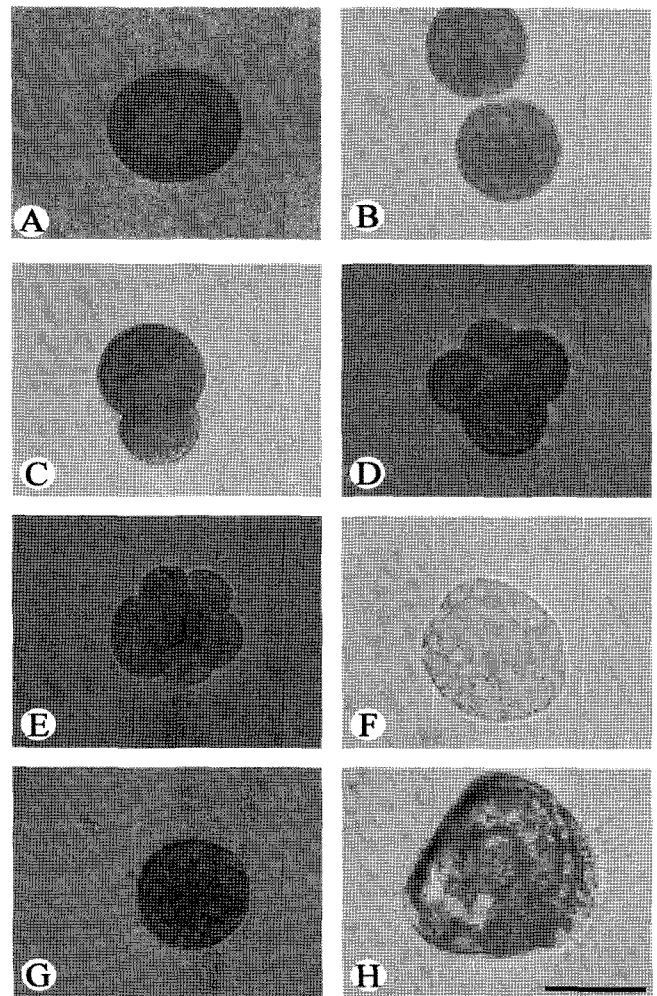


Fig. 1. Egg developmental stages of *Protothaca jedoensis*. A, Unfertilized egg; B, Fertilized egg; C, 2-cell stage; D, 4-cell stage; E, 8-cell stage; F, Morula stage; G, Trochophore stage; H, Early D-shaped larva. Scale bar=50 µm.

Table 1. Relationships between water temperature and time (hour) required to reach each developmental stage from fertilized egg of *Protothaca jedomensis*

Developmental stage	Water temperature				
	10°C	15°C	20°C	25°C	30°C
8-cell	ND	2.3	2.2	1.9	1.7
Morula	ND	4.5	4.6	4.1	3.8
Trochophore	ND	8.2	7.9	6.9	6.5
D-shaped larva	ND	39.7	31.2	26.8	26.2

ND: no more developed

조개에 초기 난발생에 있어 수온이 높을수록 각 발생단계에 이르는 시간이 짧아지는 경향을 보였으나 발생배나 유생의 기형률이 높았다. 반면, 수온이 낮을수록 발생속도는 느렸으나 난분할 상태나 발생배의 외형은 정상적으로 진행되었다.

수온에 따른 D형유생기까지의 생존율을 조사한 결과, 5°C와 10°C에서 난발생이 확인되지 않았으며, 5°C와 10°C를 제외한 온도구간에서는 시간이 지날수록 감소하는 경향을 보일 뿐, 발생을 하지 않거나 전개체가 폐사하는 경우는 보이지 않았다. 또한, 5°C와 10°C를 제외한 구간에서 수온이 높아질수록 생존율이 감소하는 것을 알 수 있다. 실험종료시인 60시간째에 15°C에서 66.7%로 생존율이 가장 높았고 30°C에서 48.2%로 가장 낮은 생존율을 보였다(Fig. 2).

수온별 유생사육

수온별 유생사육 실험결과 유생의 성장은 모든 실험구간에서 유의한 차이를 보이지 않았으나, 사육 5일째 이후부터 차이를 나타내기 시작하여 15°C와 20°C에서는 사육 6일째 성장이 멈추었다. 한편, 사육 5일째 25°C에서는 135 μm, 30°C에서는 147 μm로 성장하였으며 사육 후 10일째에는 25°C, 30°C 각각 205 μm, 230 μm를 나타내어 수온이 높을수록 빠른 성장을 나타내었다(Fig. 3). 또한 수온별 생존율의 경우 15°C와 20°C에서

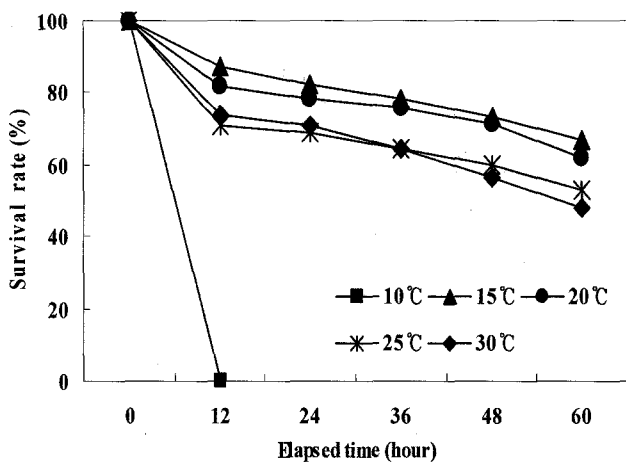


Fig. 2. Survival rates of fertilized eggs of *Protothaca jedomensis*, at various water temperature.

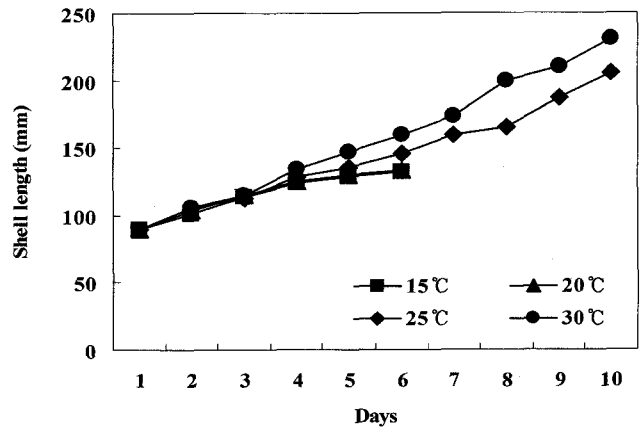


Fig. 3. Growth of *Protothaca jedomensis* larvae, at various water temperature.

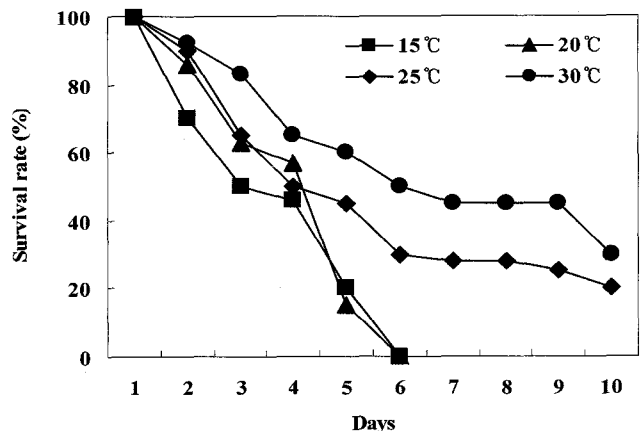


Fig. 4. Survival rate of *Protothaca jedomensis* larvae, at various water temperature.

사육 후 4일째 각각 46%, 57%이던 것이, 5일째 각각 20%, 15%로 급격히 감소하여 사육 6일째에는 모두 폐사함을 알 수 있었다. 25°C와 30°C의 경우 사육 후 3일째 이후 감소하기 시작하여 4일째 각각 50%, 65%를 나타내었으며, 10일째는 각각 20%, 30%를 나타내었다(Fig. 4).

수온별 살조개 유생의 성장률과 생존율을 조사한 결과 비교적 수온이 높은 25°C와 30°C에서 양호한 결과를 나타냄을 알 수 있었다.

사육밀도별 유생사육

사육밀도별 유생사육 실험에서는 D상유생 후 5~6일 까지는 성장에서 큰 차이를 보이지 않았으나 7일부터 6 ind./ml, 8 ind./ml 실험구에서 성장률의 차이를 보이기 시작했다. 8 ind./ml 실험구에서 가장 빠른 성장을 나타내었으며, 사육 10일째 평균각장은 211 μm로 가장 빠른 성장은 보이나 10일째 생존율이 28%로 낮은 생존율을 나타내었다. 반면 6 ind./ml 실험구에서는 10일째 평균 각장이 202 μm로 8 ind./ml 실험구보다 적은 성장을 보였으나 생존율이 39%로 높았고, 4 ind./ml 실험구의 경우

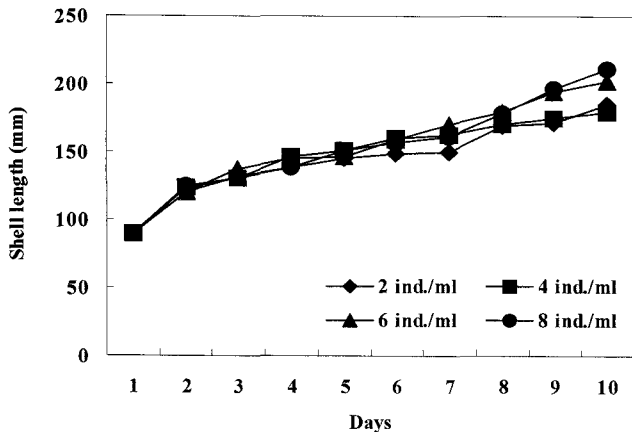


Fig. 5. Effect of stocking density on growth of *Protothaca jedoensis* larvae.

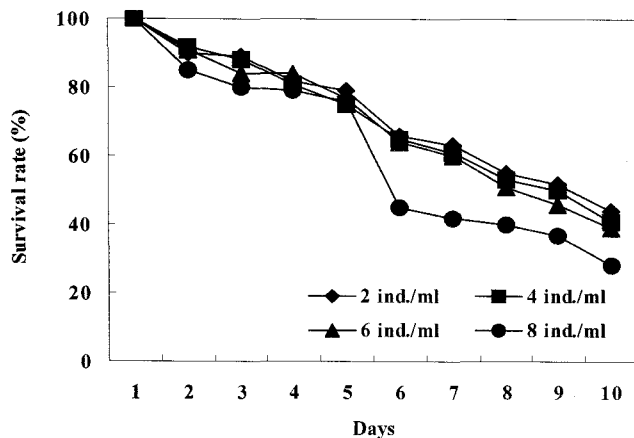


Fig. 6. Effect of stocking density on survival of *Protothaca jedoensis* larvae.

41%로 가장 높게 나타났으나 성장률이 낮았다. 또한, 2 ind./ml, 4 ind./ml 실험구에서의 성장률은 큰 차이를 보이지 않았다. 10일 경과 후 평균 각장이 2 ind./ml, 4 ind./ml 실험구 각각 185 μ m, 180 μ m로 나타났으나 생존율은 2 ind./ml 실험구에서 44%로 가장 높은 생존율을 나타내었다(Figs. 5, 6). 위의 결과에 따라 살조개 유생의 사육 밀도는 4~6 ind./ml가 유생 사육 밀도로서 가장 적합한 것으로 나타났다.

먹이생물별 유생사육

먹이별 유생사육 실험에서는 *I. galbana*, *P. lutheri*, *C. calcitrans*의 단독실험구와 *Iso.+Pav.+Cha.* 혼합구 사이의 성장과 생존율이 큰 차이를 보이지 않았다. 실험종료시 각장에서 *C. calcitrans* 단독실험구는 210 μ m, *I. galbana* 단독실험구는 202 μ m로 성장을 하였고, *P. lutheri* 단독실험구에서 200 μ m를 나타내 *C. calcitrans* 단독실험구의 경우 혼합실험구보다는 낮지만 단독실험구 중 가장 높은 성장율을 나타내었다(Fig. 7).

생존율에 있어서는 전구간 37~44%의 생존율을 나타내었으며, 그 중 *C. calcitrans* 단독실험구가 44%로 가장 높은 생존율

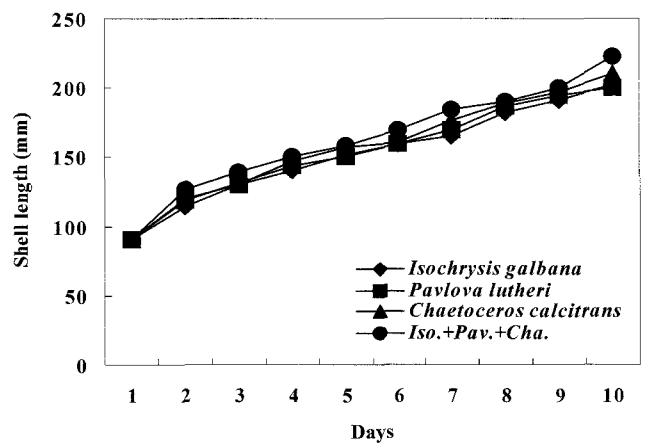


Fig. 7. Effect of food organisms on growth of *Protothaca jedoensis* larvae.

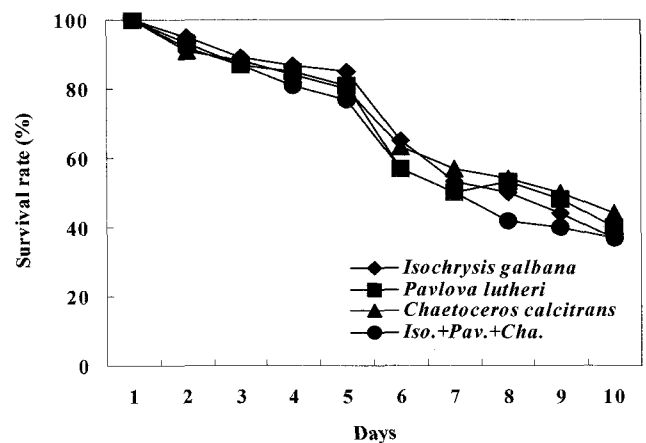


Fig. 8. Effect of food organisms on survival of *Protothaca jedoensis* larvae.

을 나타내었다. 반면 높은 성장을 나타낸 혼합실험구와 *I. galbana* 단독실험구에서 37%의 가장 낮은 생존율을 나타내었다(Fig. 8). 본 실험의 결과 성장은 *Iso.+Pav.+Cha.*, *C. calcitrans*, *I. galbana*, *P. lutheri* 순으로 성장하였으며, 생존율은 큰 차이를 보이지 않으므로 혼합하여 공급하는 것이 유생 사육시 가장 양호한 것으로 나타났다.

먹이생물 농도별 유생사육

먹이농도별 유생사육 실험의 결과는 Fig. 9에서 보는 바와 같다. 실험종료시 각 실험구간별 각장의 성장을 보면 0.5×10^4 cells/ml 실험구에서는 194 μ m, 1×10^4 cells/ml 실험구에서는 218 μ m, 2×10^4 cells/ml 실험구에서는 200 μ m 그리고 4×10^4 cells/ml 실험구에서는 184 μ m의 성장을 보임으로써 1×10^4 cells/ml에서 가장 좋은 성장을 보였으며, 4×10^4 cells/ml에서 가장 낮은 성장을 보였다(Fig. 9). 생존율은 5일째까지 큰 변화를 보이지 않다가 6일째부터 급격히 감소하는 경향을 보였으며 10일째에는 1×10^4 cells/ml 실험구가 45%로 가장 높은 생존율을 보였고,

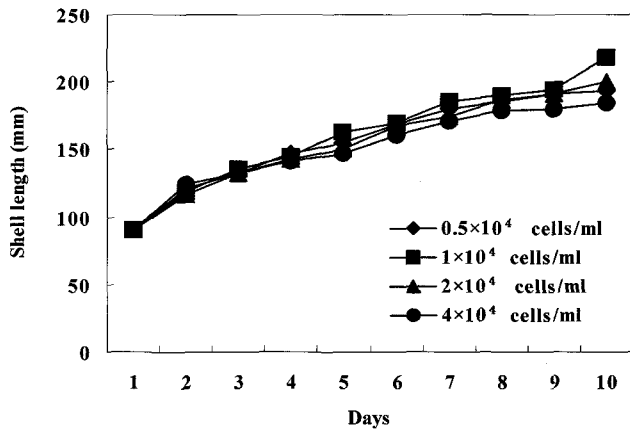


Fig. 9. Effect of food density on growth of *Protothaca jedgeensis* larvae.

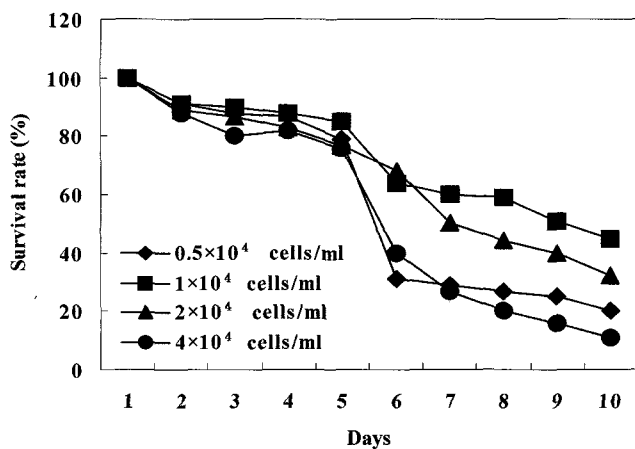


Fig. 10. Effect of food density on survival of *Protothaca jedgeensis* larvae.

4×10^4 cells/ml 실험구에서는 11%로 가장 낮은 생존율을 나타내었다. 위의 실험의 결과에 따라 1×10^4 cells/ml의 먹이 농도로 공급 하였을 때 생존율 및 성장이 가장 양호하였다(Fig. 10).

고 찰

본 연구에서 사용한 살조개의 수정란이 D형 유생으로 발생할 때까지 생존한 수온은 15~30°C로 15°C가 30°C에 비해 약 1.5배의 발생시간이 소요되어 수온이 높을수록 각 발생단계에 이르는 시간이 짧아지는 경향을 보임으로써, 수온과 난발생 속도는 높은 정상관관계가 있음을 알 수 있었다. 이는 온도가 상승할수록 대사활동도 같이 증가하기 때문인 것으로 판단된다(Heasman et al., 1996). 살조개의 초기발생은 수정후 2일째에 D상으로 변태하였는데 이는 가무락의 경우 20~23시간(小野, 1972), 참담치, *Mytilus coruscus*(유 등, 1993b) 및 북방대합, *Spisula sachalinensis*(이, 1996)의 수온 15°C에서 2일이 걸린 것과 유사하였다.

또한, 살조개의 난발생 속도는 온도가 낮을수록 느려지면서

난분할 상태나 발생배의 외형은 정상적인 반면, 수온이 높을수록 발생속도는 빨라지면서 기형율과 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 감소하였으며 본 연구 결과도 유사하게 나타났다.

조개류 유생기의 성장에 미치는 중요한 요인으로 수온, 먹이 생물, 유생밀도 및 조도 등을 들 수 있으며, 그 중에서도 수온은 성장을 지배하는 가장 중요한 요인으로 수온에 따라 먹이생물의 섭취량이 달라진다(Loosanoff and Davis, 1963). 또한 일반적으로 낮은 수온에서는 성장과 발달이 늦으나 높은 수온에서는 폐사율이 증가한다(O'Connor and Heasman, 1998). 본 연구에서는 25°C와 30°C에서의 유생의 성장이 15°C와 20°C에 비해 빠른 성장을 보였다. 또한, 생존율에서는 30°C 구간에서 가장 높은 생존율을 보였으며, 15°C와 20°C 구간에서는 비교적 낮은 생존율을 나타내어 높은 수온에서는 폐사율이 증가한다는 보고(O'Connor and Heasman, 1998)와는 다소 다른 경향을 보였다. 이러한 결과는 살조개 유생의 종특이성에 기인한 것으로 생각되며, 여러 추측가능한 요인들에 대한 다각적인 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다. 이와같이 수온은 살조개의 대사와 생존에 직접적으로 영향을 주는 것으로 판단되며, 건강한 인공종묘의 대량생산을 위해서는 발생 초기 다양한 범위에서 수온의 영향을 파악하는 것이 중요한 것으로 사료된다.

패류에서 적정 사육밀도에 대한 실험은 참굴(Breese and Malouf, 1977; Min, 1998; Kim, 1996), 해가리비(Son, 1997), 참담치(유 등, 1993b) 등 여러 종에서 보고된 바가 있다. 이들 결과에서 종에 따라 적정 사육밀도는 다소 다르게 나타나고 있으나 일반적으로 사육밀도가 낮을수록 성장은 빠른 경향을 보이고 있지만 대부분의 종에서 성장률과 생존율 등을 비교하여 경제성을 고려하였을 때 5 ind./ml의 밀도로 사육하는 것이 가장 바람직하다고 보고하고 있다. 본 종에 대한 실험에서는 2~8 ind./ml까지의 구간에서 큰 성장차이를 보이지는 않았으나, 8 ind./ml의 밀도구간이 다른 구간에 비해 빠른 성장을 나타내었다. 생존율에서는 2~6 ind./ml의 구간에서 비슷한 수준을 보이며 2 ind./ml의 구간이 가장 높은 생존율을 보였다. 그러나 4~6 ind./ml의 구간이 성장률과 생존율에 있어 양호한 상태를 보여 살조개 유생의 사육 밀도는 4~6 ind./ml 개체가 유생 사육 밀도로 가장 적합한 것으로 판단되며, 위에서 언급한 보고와 유사한 양상을 보였다.

조개류의 인공 종묘생산을 위해서는 식물 먹이생물의 확보가 중요하며(Epifanio, 1979), 조개류의 먹이로는 *C. calcitrans*, *P. lutheri* 및 *I. galbana*가 많이 이용되고 있다(Marty et al., 1992). 참굴 및 *C. rhizophorae* 등은 *I. galbana*를 먹이로 사용했을 경우 양호한 결과를 얻었으며(Helm and Laing, 1987), Enright et al.(1986)도 조개류 유생사육시 *P. lutheri* 및 *I. galbana*

는 초기먹이로서 우수한 먹이라고 보고하였다. 또한 유 등(1993a)에 의해 피조개 유생사육에서도 *C. calcitrans*, *I. galbana*를 공급한 실험구가 *P. lutheri*와 *Chlorella* sp.를 공급한 실험구보다 생존율에서 좋은 효과를 보여주었다. 본 연구에서도 단일 공급구에서는 *I. galbana*와 *C. calcitrans*, *P. lutheri*가 모두 비슷한 성장을 보였으며, 혼합 공급구에서 가장 빠른 성장을 보였다. 생존율에서는 단일 공급구와 혼합구의 큰 차이를 보이지 않아, 본 결과로, 단일종 보다는 혼합하여 공급하는 것이 성장과 생존에 효과적인 것으로 판단된다.

먹이 농도별 유생사육 결과를 살펴보면, 1×10^4 cells/ml의 먹이 농도로 공급하였을 때 생존율과 성장이 가장 양호한 것으로 나타났다. 따라서 본 연구결과와 동일선상에서의 비교, 고찰은 대단히 어려우나, 참담치의 경우 각장 250 μ m에서 *C. calcitrans*를 1.5×10^4 cells/ml, 피조개 각장 201~269 μ m 일때 *Cyclotella nana*를 1×10^4 cells/ml로 공급시 가장 양호한 성장을 보였다는 결과와 (유, 2003) 유사한 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 다양한 농도에 따른 공급시 살조개 유생에 있어 가장 적합한 먹이 공급 농도의 범위로 판단되며, 향후 살조개 대량종묘생산시 유용한 먹이 공급 농도의 판단 기준이 될 것으로 사료된다.

이상의 결과를 종합해 볼 때, 살조개의 난발생 적정 수온은 생존율이 15°C에서 가장 높은 결과를 보였으며, 유생사육은 30°C에서 4~6 ind./ml 밀도로 3종의 먹이생물을 혼합하여 1×10^4 cells/ml 농도로 공급하는 것이 가장 효과적이었다.

따라서 이러한 조건이 유생사육에 있어 최적조건이라 사료되며, 추후 자세한 검토를 위해서 유생의 장기간 사육에 따른 연구가 앞으로 수행되어야 할 것으로 판단된다.

요 약

살조개의 안정적인 인공종묘생산을 위한 기초 연구로서 수온별 난발생, 먹이생물, 밀도에 따른 유생의 성장과 생존율을 조사하였다. 살조개의 발생가능 수온은 15~30°C인 것으로 나타났으며 초기 D형 유생에 이르는 시간은 15°C에서 30°C까지 각각 39.7, 31.2, 26.8, 26.2시간이 소요되었다.

수온별 유생사육에서는 30°C에서 성장과 생존율이 가장 양호하였다. 사육밀도에 따른 성장과 생존율은 4~6 ind./ml의 밀도에서 가장 적합한 것으로 나타났다. 식물먹이생물에 따른 성장과 생존율은 *Isochrysis. galbana*, *Pavlova. lutheri*, *Chaetoceros. calcitrans*를 혼합 공급하는 것이 가장 효과적이었다. 먹이생물 농도에 따른 성장과 생존율은 1×10^4 cells/ml에서 218 μ m와 45%로 가장 높았다.

참고문헌

Bae, P. A., 1998. Biological study of the reproductive ecology on the pacific oyster *Crassostrea gigas* in the southern coast of

Korea. Ph.D. Thesis, Dong Eui University. 131 pp.
 Breese, W. P. and R. E. Malouf, 1977. Hatchery rearing techniques for the oyster *Crassostrea rivularis* Gould. *Aquaculture*, 12, 123-126.
 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.
 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). *Aquacult. Res.*, 30, 271-277.
 Dos Santos, A. E. and L. 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.
 Enright, C. T., G. F. Newkirt 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.
 Era, A. M., 1985. Effects of tide and salinity on increment and line formation in the shells of the bivalve mollusk *Protothaca staminea* Dissertation Abstracts International Part B: Science and Engineering, 46, 107.
 Ewart, J. W., M. R. Carriker, J. R., Villalaz, J. A., Gomez and L. D'Cruz, 1988. Gametogenic development of the venerid clam *Protothaca asperrima* in the Bay of Panama. *J. Shellfish Res.*, 7, 118.
 Feder, H. M., J. C. Hendee, P. Holmes, G. J. Mueller and A. J. Paul, 1979. Examination of a reproductive cycle of *Protothaca staminea* using histology, wet weight-dry weight ratios, and condition indices. *The Veliger*, 22, 182-187.
 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. Shellfish Res.*, 15, 627-634.
 Helm, M. M. and Laing, I., 1987. Preliminary observations on the nutritional value of Tahiti Isochrysis' to bivalve larvae. *Aquaculture*, 62, 281-288.
 Imai, T., 1953. Mass production of molluscs by means of rearing the larvae in tanks. *Venus*, 25, 157-167.
 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.*, 50, 103-114.
 Kim, C. W., 1996. Selection of optimum species of *Tetraselmis* for mass culture and dietary value of *Tetraselmis. suecica*. Ms. Thesis, Pukyong National University. 62 pp.
 Lee, J. Y. and D. K. Ryou, 1995. Environmental survey on the cultivation ground in the west coast of Korea, 5. Bottom conditions on a coastal farm of Kunsan areas. *Aquaculture*, 8(2), 85-98.
 Loosanoff, V. L. and H. C. Davis, 1963. Rearing of bivalve molluscs. *Adv. Mar. Biol.*, 1, 1-136.
 Marty, Y., Delaunay, F., Moal, J. and Samain, J. F., 1992. Changes in the fatty acid composition of *Pecten maximus* (L) during

- larval development. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 163, 221-234.
- McVey, J. P., 1993. CRC handbook of mariculture. 56 pp.
- Min, K. S., 1998. Studies on the commercial scale production of artificial seedling of the pacific oyster, *Crassostrea gigas* (Thunberg). Ph. D. Thesis, Pukyong National University. 248 pp.
- O'Connor, W. A. and Heasman, M. P., 1998. Ontogenetic changes in salinity and temperature tolerance in the doughboy scallop, *Mimachlamys asperrima*. J. Shellfish Res., 17, 89-95.
- Parker, M. S., 2000. Population genetics of *Protothaca staminea* and *Nacoma balthica* in Puget Sound, WA. J. Shellfish Res., 19, 686-705.
- Paul, A. J. and H. M. Feder, 1973. Growth, recruitment, and distribution of the littleneck clam, *Protothaca staminea*, in Galena Bay, Prince William Sound, Alaska. United States, Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Marine Fisheries Service, Fishery Bulletin, 71, 665-677.
- Paul, A. J., J. McDonald Paul and H. M. Feder, 1976. Recruitment and growth in the bivalve *Protothaca staminea*, at Olson Bay, Prince William Sound, ten years after the 1964 earthquake. The veliger, 18, 385-392.
- Paul, A. J. and J. McDonald Paul, H. M. Feder, 1976. Growth of the littleneck clam, *Protothaca staminea*, on Porpoise Island, southeast Alaska. The veliger, 19, 163-166.
- Son, P. W., 1997. Biological studies on aquaculture of the Sun and Moon scallop, *Amusium japonicum japonicum*. Ph. D. Thesis, Cheju National University. 121 pp.
- Ventilla, R. F., 1982. The scallop industry in Japan. Adv. Mar. Biol., 20, 309-382.
- Urban, H. J., 1994. Population dynamics of the bivalves *Gari solida*, *Semele solida* and *Protothaca thaca* from a small bay in Chile at 36°, Marine ecology progress series, 115.
- 김대회, 1997. 왕우럭 인공종묘 생산 기술개발에 관한 연구. 남해수산연구소 사업보고, 414-423.
- 김정, 2002. 한국산 살조개, *Protothaca jedgeensis*의 계통유연 관계 및 생식주기에 관한연구. 여수대학교 박사학위논문, 169 pp.
- 김정, 윤호섭, 라성주, 문성용, 서호영, 최규정, 최상덕, 2002. 한국산 살조개, *Protothaca jedgeensis*의 생식주기. 한국환경생물학회지, 20, 245-255.
- 김태익, 1996. 진주조개 종묘생산. 남해수산연구소 사업보고, 317-320.
- 김호진, 2000. 한국산 개불, *Urechis unicinctus*의 생식생태와 유생사육 조건에 관한 연구. 여수대학교 박사학위논문, 111 pp.
- 양문호, 1999. 벗굴, *Ostrea dendelamellosa*의 종묘생산을 위한 생물학적 연구. 동의대학교 박사학위논문, 161 pp.
- 유성규, 2003. 천해양식. 구덕출판사, 639 pp.
- 유호영, 박두원, 전창영, 정춘구, 김대회, 김경희, 임영섭, 김민철, 김수호, 1993a. 피조개 인공종묘생산에 관한 연구. 경상남도, 221 pp.
- 유호영, 박두원, 정춘구, 김경희, 전창영, 김대회, 명정인, 임영섭, 김수호, 손형우, 1993b. 참담치 인공종묘생산기술에 관한 연구. 경상남도, 156 pp.
- 이정용, 1996. 북방대합, *Spisula sachalinensis*의 생식주기와 산란유발. 부산수산대학교 대학원 석사학위논문, 47 pp.
- 小野 剛, 1972. ハマクリの人工種苗生産に就て. 養殖 1, 114-118

원고접수 : 2005년 7월 23일

수정본 수리 : 2005년 11월 2일