

사육조건에 따른 일본(기수)재첩 유생의 성장과 생존

이정용, 김완기¹, 이재성¹

국립수산과학원, ¹수산자원사업단

Growth and survival of the brackish water clam, *Corbicula japonica* larvae according to rearing conditions

Jeong-Yong Lee, Wan-ki Kim¹ and Chae-sung Lee¹

National Fisheries Research and Development Institute, Busan 610-900, Korea

¹Korea Fisheries Resources Agency, Busan 612-020, Korea

ABSTRACT

In order to know the effects of rearing conditions such as water temperature, salinity, larval stocking density, kinds and amounts of food organism and seedling collection method on seedling production of the brackish water clam, *Corbicula japonica*, the growth and survival rate of the larvae were investigated at each rearing condition. The shell length of larvae showed faster growth at 24 °C and 27 °C, and survival rate showed good results at 18 °C and 21 °C. Based on growth and survival rate according to water temperature, the optimal water temperature for larvae rearing was 24 °C. At the salinity of more than 3 psu, the growth and survival rate were higher than 0 psu. The optimal salinities for larvae were 6-9 psu. Growth and survival rate of larvae were high at low stocking density and the optimum stocking density of larvae was 10 inds./ml. Daily feeding concentrations of 10,000-20,000 cell/ml of food organisms mixed *Pavlova lutheri*, *Isochrysis galbana* and *Chaetoceros calcitrans* were very effective. Full grown larvae collection from various substratum was significantly high in sand, especially sand size was less than 0.25 mm.

Keywords: Mortality, Brackish Water Clam, Larvae, Water Temperature, salinity

서론

재첩류 (*Corbicula* spp.) 는 우리나라와 일본의 맑은 강 하구나 담수, 또는 기수역에 서식하는 소형 조개류로서 예로부터 기호식품으로 애호를 받아 내수면 조개류 중 식용으로 가장 많이 이용되는 중요한 품종이다 (Lee and Chung, 1980; Kim *et al.*, 2002a). 그러나 재첩류의 생산량은 1984년 15,513톤이었으나 매년 감소하여 2000년 이전까지 1,000톤 전후로 생산되었으며, 2000년 이후에도 2004년 4,149톤을 제외하면 매년 1,500톤 이하이다 (Fig. 1)

최근 우리나라 일본(기수)재첩의 최대 생산지인 섬진강 하구의 환경 변화와 유폐 포획으로 인하여 자원이 매우 감소한

것으로 알려지고 있다. 이러한 재첩의 자원조성 및 안정적 생산을 위해서는 자연산 치패의 수집이나 인공종묘의 생산에 의한 종패의 확보가 선행되어야 하며, 안정적인 종패 확보를 위해서는 인공 종묘생산 기술개발은 필수적이다.

우리나라에서 재첩류에 관한 연구는 Park and Lee (1968) 의 자원학적 연구 이후, 분포와 생태 (Jung, 1977; Kim *et al.*, 2002a), 정자형성과정 (Kim and Yoo, 2000;

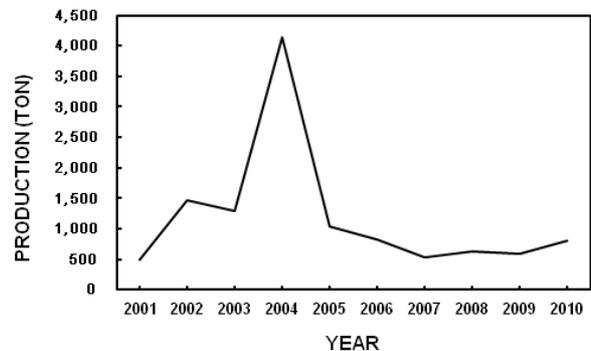


Fig. 1. Production of *Corbicula japonica* in Korea.

Received: October 31, 2011 ; Accepted: December 19, 2011

Corresponding author: jeong-yong Lee

Tel: +82 (51) 720-2842 e-mail: jylee@nfrdi.go.kr

1225-3480/24411

Lee *et al.*, 2004), 생식주기 (Lee and Chung, 1980; Kim and Yoo, 2000; Kim *et al.*, 2003) 및 분류 (Lee and Kim, 1997), 인공종묘생산 (Kim *et al.*, 2002b) 가 있으나 안정적 종묘생산을 위한 연구는 부족한 실정이다.

조개류 유생의 성장과 생존에 관한 연구는 수온과 염분의 환경적 요인 (Helm and Millican, 1977; Dos Santos and Nascimento, 1985), 먹이생물의 종류 (Enright *et al.*, 1986; Helm and Laing, 1987; Laing and Verdugo, 1991) 및 공급량 (Epifanio and Ewart, 1977; Nell and Wisely, 1984) 등이 있다.

또한 국내 조개류 유생사육에 관한 연구도 Yoo (1969) 의 중요 조개류 유생기 먹이와 성장에 관한 연구 이후, 피조개, *Anadara broughtonii* (Pyen *et al.*, 1976), 큰가리비, *Patinopecten yessoensis* (Lee and Jo, 1980), 굴, *Crassostrea gigas* (Kim *et al.*, 1995; Hur *et al.*, 2010), 꼬끼리조개, *Panope japonica* (Lee *et al.*, 1999), 살조개 *Protothaca jedoensis* (Yoon *et al.*, 2005), 비단가리비 *Chlamys farreri* (Park *et al.*, 2005) 등을 대상으로 사육수온, 수용밀도, 먹이생물의 종류 및 공급량 등에 대한 연구가 있으나, 다양한 조개류의 생리적 종특이성을 고려한다면 더욱 많은 연구가 요구된다.

이 연구에서는 일본(기수)재첩, *C. japonica* 유생사육을 위한 최적조건을 파악하기 위하여 수온, 염분, 유생 수용밀도, 먹이생물 종류 및 공급량에 따른 성장과 생존율을 조사하였으며, 채묘방법에 따른 성숙 유생의 성장과 생존율을 조사하였다.

재료 및 방법

1. 실험에 사용된 유생

실험에 사용한 일본(기수)재첩은 강원도 양양군 남대천 하구에서 행망으로 채취한 것으로 실내 수조에서 수온 상승 자극하여 산란유발한 수정란 중 부화하여 부상한 D형 유생을 사용하였다.

2. 수온과 염분에 따른 부유유생의 성장과 생존율

부유유생의 수온에 따른 성장과 생존율을 조사하기 위하여

18, 21, 24, 27, 및 30°C의 수온으로 조절된 10 L 아크릴 수조에서 10 개체/ml로 사육하였다. 실험은 2반복으로 12일간 실시하였으며, 먹이로는 *Isochrysis galbana*, *Pavlova lutheri*, *Chaetoceros calcitrans* 및 *Chlorella sp.*를 혼합 공급하였고, 수질관리를 위하여 물러망 (망목 60 μm) 을 이용하여 2일 1회 전량 환수하였다. 성장은 2일마다 50개체의 유생을 채집하여 만능투영기로 각장을 측정하였으며, 생존율은 환수 후 부유유생의 개체수를 조사하였다. 염분에 따른 유생의 성장과 생존율 실험은 0 (담수), 3, 6, 9 및 12 psu의 염분에서 24 ± 1°C 수온으로 실시하였으며, 다른 조건은 수온에 따른 실험과 동일하게 실시하였다.

3. 수용밀도에 따른 부유유생의 성장과 생존율

부유유생의 수용밀도에 따른 실험은 10 L 아크릴 수조에 1, 5, 10 및 50 개체/ml의 실험구를 설치하여 2일 간격으로 성장과 생존율을 조사하였다. 사육수온은 24 ± 1°C, 염분은 6 psu였으며, 다른 조건은 수온과 염분별 실험과 동일하게 하였다.

4. 먹이생물 종류 및 공급량에 따른 부유유생의 성장과 생존율

식물먹이생물에 따른 성장과 생존율을 조사하기 위하여 *P. lutheri*, *I. galbana*, *C. calcitrans* 및 *Chlorella sp.*를 각각 단독 및 혼합으로 공급하여 성장과 생존율을 조사하였다. 식물 먹이생물은 f/2 배지를 이용하여 실내 정온실에서 배양한 것으로 1일 2회 (10시와 18시) 공급하였으며, 먹이별 공급량은 이들의 체적을 감안하여 Table 1에 따라 공급하였다 (Park, 1994). 식물 먹이생물의 공급량에 따른 실험은 *P. lutheri*, *I. galbana*, *C. calcitrans* 및 *Chlorella sp.*를 1:1:1로 혼합하여 0.5×10⁴, 1×10⁴, 2×10⁴ 및 1×10⁴ cell/ml 밀도로 공급하여 성장과 생존율을 조사하였으며, 이외의 환경 조건으로 사육수온은 24±1°C, 염분은 6 psu 이었다.

5. 채묘방법에 따른 성숙유생의 성장과 생존율

효과적인 채묘방법을 조사하기 위하여 플라스틱 평판, 물러그물망, 모래바닥에 채묘하여 생존율을 조사하였다. 채묘는 수

Table 1. Food quantity on the different food organisms

Microalgae	Density (cells/ml)
<i>Pavlova lutheri</i>	1.0 × 10 ⁴
<i>Isochrysis galbana</i>	1.1 × 10 ⁴
<i>Chaetoceros calcitrans</i>	1.0 × 10 ⁴
<i>Nannochloropsis oculata</i>	5.7 × 10 ^v

정 후 12일째의 평균 각장 250.4 μm 인 유생을 이용하였으며, 채묘 10일 후 성장과 생존율을 조사하였다. 또한 모래바닥의 입자 조성에 따른 성장과 생존율을 조사하기 위하여 표준체 (standard sieve) 를 이용하여 미세사질 (입경 0.25 mm 이하), 세사질 (입경 0.25-0.75 mm), 사질 (입경 0.75 mm 이상) 로 구분하여 채묘를 하고 10일 후 성장과 생존율을 조사하였다.

채묘방법에 따른 채묘율과 치패의 성장에 대한 유의차는 평균을 분산분석과 Duncan's multiple range test에 의하여 검정하였다 (Zar, 1984).

결 과

1. 수온과 염분에 따른 부유유생의 성장과 생존율

부유유생의 수온별 사육실험 결과, 18 $^{\circ}\text{C}$ 와 21 $^{\circ}\text{C}$ 실험구에서는 50% 이상의 높은 생존율에 비하여 늦은 성장을 보였다. 24 $^{\circ}\text{C}$ 와 27 $^{\circ}\text{C}$ 실험구에서 빠른 성장을 보였으나, 각각 40%와 29% 생존하여 18 $^{\circ}\text{C}$ 와 21 $^{\circ}\text{C}$ 실험구에 비하여 낮은 생존율을 보였으며, 30 $^{\circ}\text{C}$ 실험구에서는 실험시작 6일 후 모두 폐사하였다 (Fig. 2). 부유유생의 염분별 사육실험 결과, 염분 0 psu 실험구에서는 실험시작 10일 후 모두 폐사 하였으나 염분 3 psu 이상 실험구에서 성장과 생존이 가능하였다. 사육 12일 후 염분 3 psu과 6 psu 실험구에서 성장이 빨랐으며, 염분 3 psu 실험구에서 생존율이 가장 높게 나타났다 (Fig. 3).

2. 수용밀도에 따른 부유유생의 성장과 생존율

부유유생의 수용밀도에 따른 사육실험 결과, 1 ml당 1-10 개체의 밀도 실험구에서는 밀도가 낮을수록 빠른 성장과 높은 생존율을 보였으며, 50개체/ml의 밀도 실험구에서는 늦은 성장을 보이다가 실험시작 12일째에 모두 폐사하였다 (Fig. 4).

3. 먹이생물 종류 및 공급량에 따른 부유유생의 성장과 생존율

식물 먹이생물에 따른 유생사육 실험 결과, 혼합 공급구가 가장 빠른 성장을 보였고, 단일 공급구에서는 *I. galbana*, *P. lutheri*, *C. calcitrans* 순으로 비슷한 성장을 보였으며, *Chlorella* sp.는 가장 늦은 성장을 보였다. 생존율 또한 혼합구가 가장 높고 *I. galbana*, *P. lutheri*가 비슷한 반면 *Chlorella* sp. 실험구가 가장 낮았다 (Fig. 5). 공급량에 따른 사육 실험에서는 먹이 공급량이 많을수록 유생의 성장은 양호 하였으나, 50,000 cells/ml 밀도에서 8일 후에 전량 폐사하였다. 실험 종료시인 12일째에는 20,000 cells/ml 밀도에서 가장 빠른 성장과, 10,000 cells/ml 밀도에서 높은 생존율을 보였으며, 5,000 cells/ml 밀도에서는 성장과 생존율 모두 낮았다 (Fig. 6).

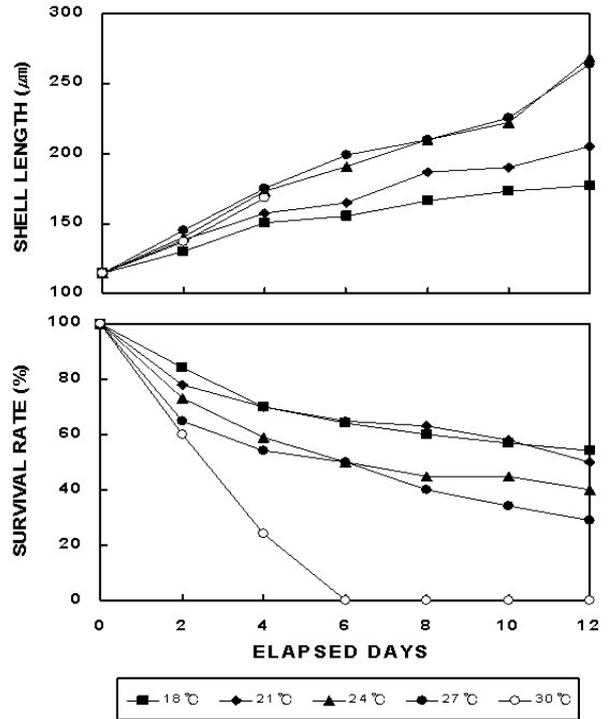


Fig. 2. Variations of shell length and survival rate of larvae reared at various water temperature.

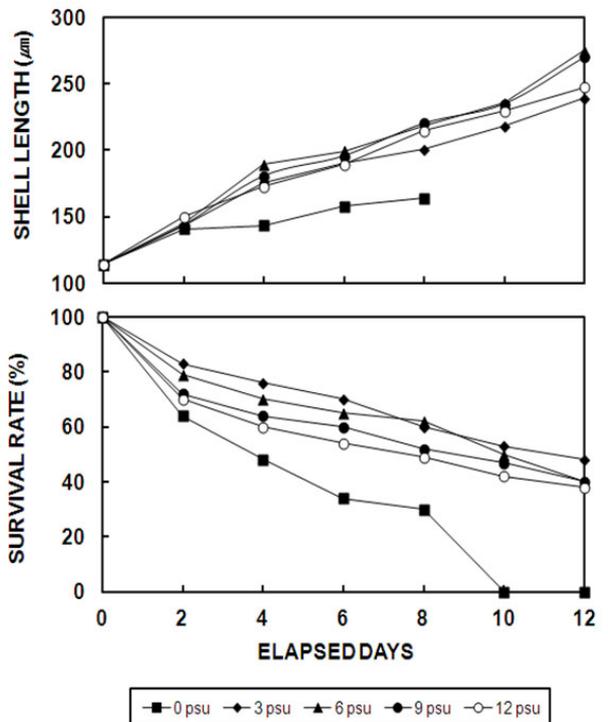


Fig. 3. Variations of shell length and survival rate of *Corbicula japonica* larvae reared at various salinities.

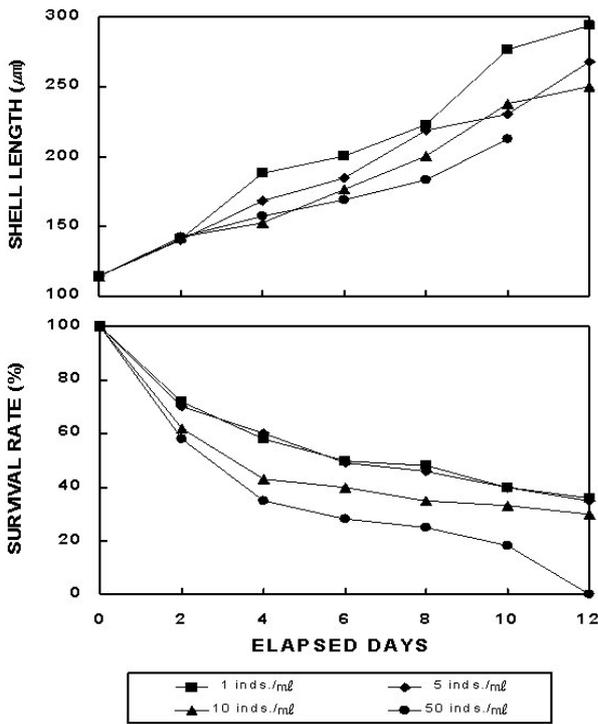


Fig. 4. Variations of shell length and survival rate of *Corbicula japonica* larvae reared at different larvae densities.

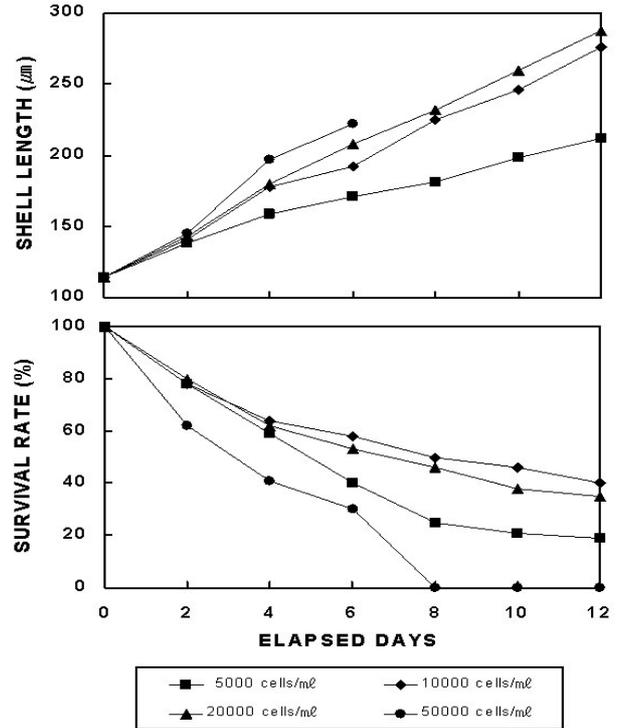


Fig. 6. Variations of shell length and survival rate of *Corbicula japonica* larvae reared at different amounts of mixed microalgae.

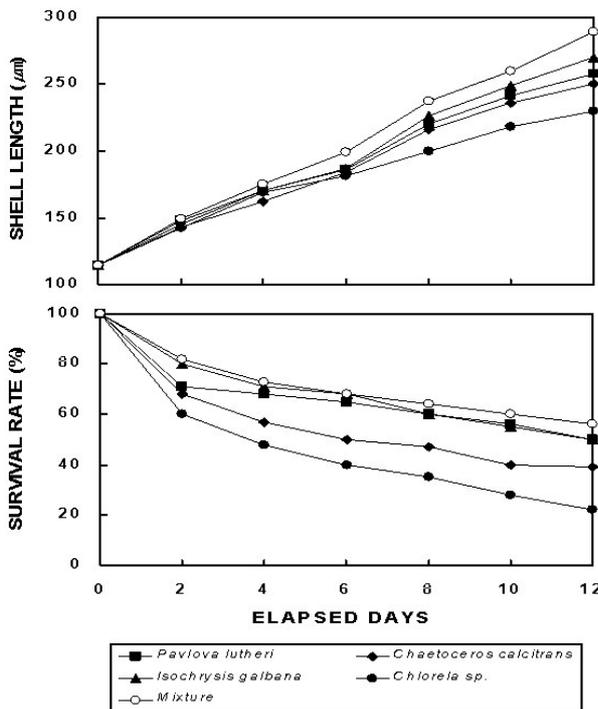


Fig. 5. Variations of shell length and survival rate of *Corbicula japonica* larvae fed four different or mixed microalgae.

4. 채묘방법에 따른 성숙유생의 성장과 생존율

성숙유생을 대상으로 플라스틱평판, 물러망, 모래바닥에 채묘하여 10일후 성장과 생존율을 조사한 결과, 성장은 모래바닥에서 평균 각장 740 μm 로 빠른 성장을 보였으나 플라스틱 평판과 물러망에서는 평균 각장 420 μm 과 400 μm 의 낮은 성장을 보여 유의한 차이를 나타냈다 ($P < 0.05$). 생존율도 플라스틱평판과 물러망에서는 5% 미만을 보였으나 모래바닥에서는 14.0%로서 유의한 차이를 나타냈다 ($P < 0.05$, Table 2).

모래바닥 입도조성에 따른 채묘율은 유의한 차이를 보이지 않았으나 ($P > 0.05$), 0.25 mm 이하의 미세사질에서 20.5%로 가장 양호하였으며, 나머지 모래 크기에서는 14.0% 전후로 나타났다 (Fig. 7).

고찰

조개류의 유생은 소화기관이 형성된 D형 유생에서 부착기질에 부착하거나 바다 생활을 시작하는 변태 완료기까지 부유 생활을 하며, 여과 섭식으로 성장하게 된다. 그러나 이 시기의 유생은 크기가 매우 작고 약하여 세균의 침투, 환경 등에 매우 민감하므로 유생사육 시 사육수의 위생처리와 적정 먹이생물

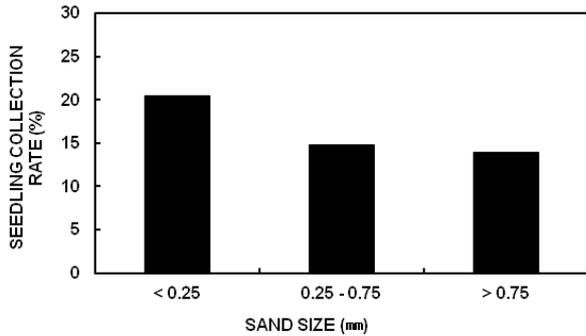


Fig. 7. Variations of seedling collection rate of *Corbicula japonica* larvae by sand size.

의 공급 그리고 사육 환경 조절에 세심한 주의가 요구 된다 (Kim et al., 2001).

조개류의 인공 종묘생산에 있어 유생기의 성장에 미치는 중요한 요인으로 수온, 염분, 조도, 유생의 밀도 및 먹이생물 등이 있으나 그 중에서도 수온은 성장을 지배하는 가장 중요한 요인이며, 수온에 따라 먹이생물의 섭취량이 달라지고 유생의 성장에도 큰 영향을 미친다 (Loosanoff, 1950). 일반적으로 수온은 유생사육의 중요한 요인으로 낮은 온도에서는 성장과 발달이 늦으나 높은 온도에서는 폐사율이 증가한다 (O'Connor and Heasman, 1998). 이 연구에서도 일본(기수)재첩의 유생은 낮은 수온인 18℃와 21℃에서는 생존율이 양호하였으나 성장이 늦었던 반면, 24℃와 27℃에서는 성장이 빨랐으나 생존율이 낮았으므로 동일한 경향을 보였다. 따라서 일본(기수)재첩 부유유생은 18-27℃의 넓은 수온범위에서 사육 가능하였지만, 성장과 생존율을 고려한 적정 사육 수온은 21-24℃이며, 한 개의 개체에서 다량 산란하는 조개류의 인공 종묘 생산시 생존율 보다는 빠른 성장을 고려하는 것이 효과일 것으로 생각되므로 최적 수온은 24℃로 판단된다.

조개류는 염분이 변화할 경우 세포내의 삼투조절이 시작되어 폐각을 단거나 자극물의 영향에서 벗어나기 위하여 이동한다. 또한 염분내성은 수온과 상호 보완적인 관계를 가져 극단적인 한 요인이 다른 요인의 내성을 감소시키는 것으로 알려져 있다 (O'Connor and Heasman, 1998). 가리비의 일종으로

고염분종인 *Minachlamys asprima*의 유생성장과 생존은 수온보다 염분변화에 더욱더 민감하였다 (O'Connor and Heasman, 1998). 그러나 이 연구에서 일본(기수)재첩은 염분 3 psu 이상부터 실험이 이루어진 염분 12 psu 범위에서는 성장과 생존에 큰 차이를 보이지 않음으로서 염분에 대한 내성은 넓은 종으로 판단된다. 또한 염분 0 psu에서는 실험 10일째 전량 폐사함으로써 담수종은 아닌 것으로 확인되었다.

종묘의 대량생산을 위해서는 유생의 밀도를 높이는 것이 경제적이지만 한계 이상으로 높아지면 유생간의 상호 먹이생물 섭취 및 공간경쟁으로 인하여 성장률이 낮아지거나 변태속도가 느려지며, 유생의 과다한 배설물 축적으로 수질이 악화되어 폐사하기 쉽다. 그러므로 유생사육시 적정 밀도의 파악은 매우 중요하다. Dos Santos and Nascimento (1985) 는 *Crassostrea rhizophorae*의 인공 종묘생산에 있어 수정란의 발생과 부화된 유생의 생존은 염분 및 수온과 같은 환경요인뿐만 아니라 수용밀도에 따라 크게 영향을 받으며, 유생의 최적 수용밀도는 사육수 1 ml당 10-40 개체라 보고하였다. 또한 Helm and Millican (1977) 은 굴의 부유유생 사육에서 사육수 1 ml당 1 개체에서 5 개체로 유생의 밀도가 증가하면 D형 유생의 경우 성장이 16% 감소하는 반면, 더 높은 밀도에서는 60%의 감소경향을 보임으로써 성장과 생존율은 사육밀도에 큰 영향을 받는다고 하였다. 이 연구에서도 일본(기수)재첩 부유유생은 1 ml당 1-10개체의 밀도에서는 성장과 생존율이 양호하였으나, 50 개체/ml의 밀도에서는 성장과 생존율이 모두 낮았으며, 실험 시작 12일째에 모두 폐사함으로써, 고밀도 사육은 유생의 성장 및 생존을 저해하는 것으로 나타났다. 따라서 기수재첩의 인공종묘생산을 위한 부유유생의 최적 사육 밀도는 1 ml당 10 개체 이상부터 50 개체 이하 범위의 부가적인 실험이 필요하나 이 실험에서는 10 개체인 것으로 조사되었다.

조개류는 식물성 부유생물을 여과 섭식함으로써 인공 종묘생산을 위해서는 식물성 부유생물의 확보가 매우 중요하며 (Epifanio, 1979), 조개류의 먹이로는 *C. calcitrans*, *P. lutheri*, *I. galbana*가 많이 이용되고 있다 (Delaunay et al., 1992; Marty et al., 1992). 먹이생물의 가치를 판단하는 기준으로는 세포크기, 소화가능성, 운동성, 독성의 유무 그

Table 2. Survival rate and growth of *Corbicula japonica* in seedling collection method (10 days after seedling collection)

Seedling collection method	Survival rate (%)	Shell length (μm) (ave.)
Plastic plate	3.2 ^b	373-545 ^{ab} (420)
Muller net	4.8 ^b	350-510 ^b (400)
Sand bottom	14.0 ^a	657-974 ^a (740)

리고 대량배양 가능성 등이 있다 (Webb and Chu, 1983). 이러한 단세포 식물 먹이생물은 세포내에 함유된 영양 가치에 따라 유생의 변태, 성장, 생식소의 성숙 및 생존율에 영향을 미친다 (O' Connor et al., 1992). 굴 및 *C. rhizophorae*은 *I. galbana*를 먹이로 사용하였을 경우 양호한 결과를 얻었으며 (Helm and Laing, 1987), Enright et al. (1986)는 조개류 유생사육 시 *P. lutheri* 및 *I. galbana*는 초기 먹이로서 우수하다고 보고하였다. Kim et al. (1995)은 굴 유생에 대하여 *I. galbana*, *P. lutheri* 및 *C. calcitrans*을 공급한 연구에서 단일종 보다는 2종 또는 3종을 혼합하여 공급하는 것이 유생의 성장과 생존율을 높일 수 있다고 보고하였다. 이 연구에서도 혼합 공급구가 가장 빠른 성장을 보였으며, 단일 공급구에서는 *I. galbana*와 *P. lutheri*가 비슷한 성장을 보였다. 또한 생존율에 있어서도 혼합구, *I. galbana*와 *P. lutheri*가 비슷한 경향을 보였다.

유생사육 시 먹이생물 공급량이 부족하면 영양 부족으로 성장에 영향을 미치며, 너무 많이 공급하면 사육환경을 악화시켜 생존율과 성장에 영향을 미치므로 적절한 먹이생물 공급량을 결정하는 것은 매우 중요하다. 이 연구에서 일본(기수)재첩 유생 사육을 위한 먹이생물 공급량에 따른 사육 실험에서는 1 ml당 5,000-20,000 cells의 실험구에서는 공급량이 많을수록 높은 성장을 보였으나 생존율은 10,000 cells, 20,000 cells, 5,000 cells 순으로 높은 생존율을 보였다. 따라서 일본(기수)재첩 부유유생 사육을 위한 먹이생물은 *I. galbana*, *P. lutheri*, *C. calcitrans*를 혼합하여 10,000-20,000 cell/ml의 밀도로 공급하는 것이 효과적인 것으로 판단된다.

자연에서 비부착성 조개류의 채묘방법으로는 완류식 채묘가 있으나 실내에서의 효과적인 채묘 방법에 관한 연구는 드물다. 일본(기수)재첩의 착저기 유생은 플라스틱평판이나 물리망에서는 바닥 생활 중에 서로 붙어서 함께 폐사하는 현상이 관찰되었다. 그러나 모래바닥에서는 이동이 어렵고 표면적이 넓어짐으로 인하여 폐사율이 감소하였으며, 착저후 초기 성장에 있어서도 안정된 환경에서 이동 없이 충분한 먹이를 먹음으로써 빠른 성장을 보인 것으로 판단된다.

또한 모래바닥의 입도 조성에 따른 성장과 생존율을 조사한 결과, 미세사질 (입경 0.25 mm 이하)에서 높은 생존율을 보였는데 이것은 표면적이 넓어지고, 사질 속의 유기물을 함께 먹음에 따른 안정적인 사육환경으로 인한 현상으로 생각된다. 그러나 성장과 생존율 제고를 위한 다양한 채묘 방법이 지속적으로 연구되어야 할 것으로 판단된다.

요 약

일본(기수)재첩 유생사육을 위한 최적조건을 파악하기 위하여 수온, 염분, 유생 수용밀도, 먹이생물 종류 및 공급량, 채묘

방법에 따른 성장과 생존율을 조사하였다.

일본(기수)재첩의 부유유생은 24℃와 27℃에서 빠른 성장을 보였으며, 18℃와 21℃에서 50% 이상의 높은 생존율을 보임으로서 유생 사육을 위한 적정 수온은 21-24℃이며, 최적 수온은 24℃ 이었다. 또한 염분 3 psu 이상에서 성장과 생존이 가능하였으나 적정 염분은 6-9 psu 이었다. 유생밀도별 사육시험에서 1 ml당 1-10 개체에서 높은 성장과 생존율을 보였으나 경제성을 고려한 적정 유생사육 밀도는 1 ml당 10 개체였다. 먹이생물에 따른 유생의 성장과 생존율은 *Isochrysis galbana*, *Pavlova lutheri* 및 *Chaetoceros calcitrans*를 혼합하여 10,000-20,000 cells/ml의 밀도로 공급하는 것이 가장 효과적이었다. 성숙유생의 채묘는 모래저질에서 성장과 생존율이 유의하게 효과적 이었으며, 특히 0.25 mm 이하의 미세사질에서 높은 생존율을 보였다.

REFERENCES

- Delaunay, F., Marty Y., Moal J. and Samain J.F. (1992) Growth and lipid class composition of *Pecten maximus* (L) larvae grown under hatchery conditions. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **163**: 209-219.
- Dos Santos, A.E. and Nascimento I.A. (1985) Influence of gamete density, salinity and temperature on the normal embryonic development of the mangrove oyster, *Crassostrea rhizophorae* Guilding. *Aquaculture*, **47**: 335-352.
- Enright, C.T., Newkirk, G.F. and Castell, J.D. (1986) Comparison of phytoplankton as diets for juvenile, *Ostrea edulis* L. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **96**: 1-13.
- Epifanio, C.E. (1979) Comparison of yeast and algal diets for bivalve mollusca. *Aquaculture*, **16**: 187-192.
- Epifanio, C.E. and Ewart, J. (1977) Maximum ration of four algal diets for the oyster *Crassostrea virginica* Gmelin. *Aquaculture*, **11**: 13-29.
- Helm, M.M. and Laing, I. (1987) Preliminary observations on the nutritional value of Tahiti *Isochrysis* to bivalve larvae. *Aquaculture*, **62**: 281-288.
- Helm, M.M. and Millican, P.E. (1977) Experiment in the hatchery rearing of Pacific oyster larvae (*Crassostrea gigas* Thunberg). *Aquaculture*, **11**: 1-12.
- Hur, Y.B., Kim, T.E., Lee, S.J. and Hur, S.B. (2010) Variations in reserved nutrient consumption and growth of Pacific oyster, *Crassostrea gigas* larvae during starvation. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **43**: 489-494. [in Korean]
- Jung, J.Y. (1977) Ecological studies of a brackish water clam, *Corbicula japonica* from Nac Dong river. *Nat. Fresh Water Fish Hat. of Fish. Cheong-pyong, Koera*, **2**: 130-140. [in Korean]
- Kim, B.H., Moon, Y.B., Ryu, H.Y. and Han, S.J. (1995) The artificial seedling production of the Pacific oyster *Crassostrea gigas*. *Bulletin of the National*

- Fisheries Research Development*, **50**: 103-114. [in Korean]
- Kim, J.D. and Koo, J.H. (1973) Studies on the seedling production of the ark shell *Anadara broughtonii* (Schrenck) in tank (1). *Bulletin of the National Fisheries Research Development*, **11**: 71-78. [in Korean]
- Kim, J.H. and Yoo, M.S. (2000) Spermatogenesis and sperm morphology in marsh clam, *Corbicula leana* (Prime). *Bulletin of Korean Fisheries Society*, **33**: 171-175. [in Korean]
- Kim, W.K., Lee, C.S., Lee, J.Y., Baik, K.K. and Hur, S.B. (2002a) Environmental Factors and population density of brackish water clam, *Corbicula japonica* on Namdae stream in Yangyang, Gangwon, *Journal of Aquaculture*, **15**: 1-6. [in Korean]
- Kim, W.K., Lee, C.S., Lee, J.Y. and Hur, S.B. (2002b) Production of artificial seedling of the brackish water clam, *Corbicula japonica*. *Journal of Aquaculture*, **15**: 23-29. [in Korean]
- Kim, W.K., Lee, J.Y., Lee, C.S., An, C.M., Kim, H.S., Choi, C.Y., Kim, J.W., Chung, E.Y. and Kim, B.S. (2003) Reproductive cycle and the sex ratio of *Corbicula japonica* from Namdae stream in Gangwon-do, Korea. *The Korean Journal of Malacology*, **19** : 117-124. [in Korean]
- Laing, I. and Verdugo, C.G. (1991) Nutritional value of spray-dried *Tetraselmis suecica* for juvenile bivalves. *Aquaculture*, **92**: 207-218.
- Lee, B.H. and Jo, M.K. (1980) Study on spat collection method of scallop *Patinopecten yessoensis* Jay in Yeongil bay. *Bulletin of the National Fisheries Research Development*, **24**: 59-66. [in Korean]
- Lee, C.S., Park, Y.J. Hong, K.E. and Kim, Y.D. (1999) Influence of water temperature and stocking density on the growth and survival rate of geoduck clam, *Panope japonica* larvae. *Bulletin of the National Fisheries Research Development*, **55**: 113-121. [in Korean]
- Lee, J.S. and Kim, J.B. (1997) Systematic study on the genus *Corbicula* (Bivalvia : Corbiculidae) in Korea. *Korean Journal of Systematic Zoology*, **13**: 233-246. [in Korean]
- Lee, J.Y., Kim, W.K., Lee, C.S. and Chang, Y.J. (2004) Spermatogenesis and sperm ultrastructure of the marsh clam (*Corbicula japonica*) (Bivalvia : Veneridae). *Bulletin of Korean Fisheries Society*, **37**: 281-286. [in Korean]
- Lee, T.Y. and Chung, E.Y. (1980) Reproductive cycle of marsh clam, *Corbicula fluminea* (v. MULLER). *Publ. Inst. Mar. Sci. National Fisheries University of Busan*, **12**: 47-54. [in Korean]
- Loosanoff, V.L. 1950. Rate of water pumping and shell movements of oyster in relation to temperature (Abstract). *Anat. Rec.*, **108**: 620pp.
- Marty, Y., Delaunay, F., Moal, J. and Samain, J.F. (1992) Changes in the fatty acid composition of *Pecten maximus* (L) during larval development. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **163**: 221-234.
- Nell, J.A. and Wisely, B. (1984) Experimental feeding of Sydney rock oyster (*Saccostrea commercialis*). III. Food concentration and fattening procedures. *Aquaculture*, **37**: 197-208.
- O'Connor, W.A., Nell, J.A. and Diemar, J.A. (1992) The evaluation of twelve algal species as food for juvenile Sydney rock oyster *Saccostrea ommercialis*. *Aquaculture*, **108**: 277-283.
- O'Connor, W.A. and Heasman, M.P. (1998) Ontogenetic changes in salinity and temperature tolerance in the doughboy scallop, *Mimachlamys asperrima*. *Journal of Shellfish Research*, **17**: 89-95.
- Park, J.E. (1994) The optimum culture environment of four species of phyto-food organisms. *Master thesis, National Fisheries University of Busan*, 34pp. [in Korean]
- Park, K.Y., Kim, S.K., Seo, H.C. and Ma, C.W. (2005) Spawning and larval development of the jicon scallop, *Chlamys farreri*. *Journal of Aquaculture*, **18**: 1-6. [in Korean]
- Park, S.W. and Lee, S.H. (1968) Analysis of the shell height frequencies on the flesh water cockle, *Corbicula elatior*, by means of probability graph. *Bulletin of Korean Fisheries Society*, **1**: 31-43. [in Korean]
- Pyen, C.K., Rho, Y.G. and Yoo, Y.K. (1976) Studies on spat collection and rearing of the larvae, *Anadara broughtonii* (Schrenck) in tank. *Bulletin of the National Fisheries Research Development*, **15**: 7-18. [in Korean]
- Webb, K.L. and Chu, F.L.E. (1983) Phytoplankton as a food source for bivalve larvae. *Biochemical and Physiological Approches to Shellfish Nutrition*. 272-291.
- Yoo, S.K. (1969) Food and growth of the larvae of certain important bivalves. *Bulletin of National Fisheries University of Busan*, **9**: 65-87. [in Korean]
- Yoon, H.S., Kim, J. and Choi, S.D. (2005) Biological studies on *Aquaculture* for resources enhancement of *Protothaca jedoensis* I. Egg development and larva reared. *Journal of Aquaculture*, **18**: 260-266. [in Korean]
- Zar, J.H. (1984) Biostatistical analysis. 2nd. Prentice-Hall, 718pp.