

사육조건과 먹이생물에 따른 왕우럭조개 (*Tresus keenae*) 유생의 성장과 생존

민병희

부산광역시 수산자원연구소

Growth and Survival on Rearing Conditions and Live Food for Larvae of the Keen's gaper *Tresus keenae*

Byeong-Hee Min

Busan Marine Fisheries Resources Research Institute, Busan 46763, Korea

ABSTRACT

In order to determine optimal larval rearing conditions, the growth and the survival (%) of larvae on rearing conditions (water temperature, salinity, rearing density) and live food for keen's gaper *Tresus keenae* were investigated. Live food was used by cultured three microalgal species (*Isochrysis galbana*, *Chaetoceros gracilis*, *Tetraselmis tetrathele*) and microalgae concentrates (Shellfish diet 1800[®], Reed Mariculture Inc., San Jose, CA, USA). The fastest growth was observed at 25°C and the survival rate was over 30% at 15°C and 20°C. The fastest growth and high survival of larvae were observed at 30 psu. The rearing density of larvae showed the fastest growth and the highest survival at 5 inds./mL. In the optimum rearing conditions of larvae the water temperature was 20°C, salinity was 30-35 psu and the rearing density of larvae was below 5 inds./mL. Larvae fed on different concentrations of cultured microalgae showed the fastest growth at 3×10^4 cells/mL/day and the highest survival at 1×10^4 cells/mL/day. Larvae fed on cultured microalgal species and microalgae concentrates showed the fastest growth and the highest survival at CM100 (cultured microalgae 100%) but the late growth at IA100 (instant algae 100%). Larvae fed on different feeding concentrations of microalgae concentrates showed the fastest growth at 2×10^4 cells/mL/day and the high survival at 1×10^4 cells/mL/day. Thus, larvae showed the fast growth and the high survival fed on microalgae concentrates or cultured microalgal species mixed instant algae. The optimal concentration of microalgae concentrates was $1 \times 10^4 - 2 \times 10^4$ cells/mL/day for elevating the growth and the survival for larval rearing of *T. keenae*.

Key words: *Tresus keenae*, Larvae, Rearing Conditions, Live food, Microalgae Concentrates, Instant Algae, Growth, Survival

서 론

왕우럭조개 (*Tresus keenae*) 는 개량조개과 (Mactridae), 왕우럭속 (*Tresus*) 에 속하는 비부착성 대형 패류로 우리나라

거제, 사천, 남해, 여수 연안 및 일본의 조간대 수심 20 m 사이의 사질 및 사니질에 서식한다. 경제성이 높은 왕우럭조개는 최근에 이르러 연안해역의 오염과 남획으로 인해 자원량이 감소하고 있는 실정이다 (Rha, 2005; Kang and Kim, 2018).

이러한 왕우럭조개의 자원조정 및 안정적 생산을 위해서는 자연산 치패를 수집하거나 인공종자의 생산에 의한 종자의 확보가 선행되어야 하고, 종자의 지속적인 방류에 따른 자원조정 없이는 매우 어렵다고 보이므로 인공종자생산 기술개발은 필수적이며 이에 관한 연구가 따라야 한다.

왕우럭조개 인공종자생산에 관한 연구는 일본에서 산란유발 (秋山, 1966), 부유 유생사육 (大橋·山本, 1986), 치패 중간육성 (山本·大橋, 1987), 모패 축양 (大橋·山本, 1986) 등에 관한 연구가 있었으며, 국내에서는 배우자형성, 생식주기, 번식

Received: March 18, 2019; Revised: March 25, 2019;
Accepted: March 30, 2019

Corresponding author: Byeong-Hee Min

Tel: +82 (51) 209-0941, e-mail: bhmin714@korea.kr
1225-3480/24718

This is an Open Access Article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License with permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproducibility in any medium, provided the original work is properly cited.

생태 및 착저 유인, 영양성분 및 수온과 염분 등의 환경요인에 따른 생존 및 먹이섭취, 산란 유도과 수정란의 발생 등에 관한 연구가 보고되었다 (Kim *et al.*, 1999; Choi *et al.*, 2005; Kim *et al.*, 2005; Rha, 2005; Shin and Yang, 2005; Kang and Kim, 2018).

왕우럭조개는 산업적 가치가 높은 양식대상 품종이며, 자원 감소에 대비하여 자원조성을 위한 대량 인공종자생산 및 양식 방법 확립이 필요한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 왕우럭조개 유생사육을 위한 최적 조건을 파악하기 위하여 사육조건 (수온, 염분, 사육밀도) 과 먹이생물 (배양한 미세조류, 농축먹이생물) 에 따른 왕우럭조개 유생의 성장 및 생존율을 조사하였다.

재료 및 방법

1. 유생사육 및 먹이생물 배양

유생사육에 필요한 수정란 및 유생을 얻기 위해 사용한 왕우럭조개 어미는 경남 거제시 장목면 일원에서 제1·2구 잠수기 수협 거제지소의 협조로 자연 성숙된 개체를 채취하여 이를 운반한 후 생식소절개법으로 채란하였다. 수정란은 다른 점액질 및 불순물을 제거하기 위하여 깨끗한 여과해수로 수회 세척 후 수온 $20.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$ 의 여과해수가 채워진 수용적 1.5 톤 FRP 사각수조 및 5 톤 사각콘크리트 수조에 수용하여 D형 유생까지 발생시킨 후 다시 망목 $40 \mu\text{m}$ 인 거름망으로 수거하여 유생 사육밀도를 5 개체/mL 이하로 하였다.

유생사육은 초기 D형 유생에서 침착기 유생까지 성장시키는 것으로 사육방법은 지수식으로 1일 마다 30-50% 부분 환수와 4-5일 마다 전환수를 실시하였고, 수온은 $20.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$ 로 유지하였으며, 사육수조는 부화 시와 동일하였다. 사육수 처리는 섬유여과기로 1차 여과 후 자외선 살균기를 통과시킨 다음 $0.3 \mu\text{m}$ 카트리지필터로 2차 여과를 거쳐 $1 \mu\text{m}$ bag filter로 3차 여과 후 사용하였다. 그리고 유생 사육시 수질개선을 위하여 미생물제인 아쿠아락-EM [*Lactobacillus plantarum* 등 5종 포함, 한남바이오(주)] 을 1일에 1회 1-2 ppm 첨가하였다.

유생사육 시 공급된 먹이생물은 *Isochrysis galbana*

(M081), *Chaetoceros gracilis* (M004), *Tetraselmis tetrahele* (M097) 를 혼합하여 일일 2회 공급하였다 (Table 1). 먹이공급량은 초기 D형 유생을 기준으로 1회 공급 시 최초 0.3×10^4 cells/mL/day로 매 환수 시 마다 증가시켜 5×10^4 cells/mL/day로 침착기 유생까지 사육하였다.

먹이생물 대량배양을 위한 원종은 (주)엔엘피 (NLP, Natural & Live Plankton) 에서 분리배양 중이던 것을 분양 받아 증보준 및 계대배양하여 이용하였다. 먹이생물 배양은 정지배양으로 하였고, Conwy 배지 (Walne, 1974) 로 온도 $22.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$, $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 연속 조명 하에서 3-30 L 수조를 이용하여 배양하였으며, 규조류인 *C. gracilis* 배양 시에는 기본배지 외에 규산나트륨 용액 ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$: 증류수 1 L 에 100 g 용해) 을 배양수 1 L에 1 mL를 첨가해 주었다.

유생의 성장은 매일 사육수조에서 30 mL씩 3회 표본하여 실체현미경 (Olympus SZX16, Japan) 와 Motic Images Plus 2.0 Program (Motic, China) 을 이용하여 각장과 각고를 $0.1 \mu\text{m}$ 단위로 측정하였다.

2. 수온과 염분에 따른 유생의 성장과 생존

유생의 수온에 따른 성장과 생존율을 조사하기 위하여 15, 20, 25, 30°C 의 수온으로 조절된 2 L 원형 플라스틱 용기 (수량 1.5 L) 에서 5 개체/mL로 사육하였다. 실험은 3반복으로 14일간 실시하였으며, 먹이로는 *I. galbana.*, *C. gracilis*, *T. tetrahele*를 혼합하여 일일 2회 나누어 공급하였고, 수질관리를 위하여 2일 마다 1회 전량 환수하였다. 그리고 유생 사육시 수질개선을 위하여 미생물제인 아쿠아락-EM을 1일에 1회 1-2 ppm 첨가하였다. 성장은 2일 마다 10 mL씩 3회 표본 하여 위의 유생사육 실험과 동일하게 각장을 조사하였으며, 생존율은 표본 개체수를 계수한 평균치를 용적법으로 계산한 후 전체 유생의 생존율로 환산하였다.

염분에 따른 유생의 성장과 생존을 실험은 15, 20, 25, 30, 35 psu의 염분에서 $20.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$ 의 수온으로 실시하였으며, 다른 조건은 수온에 따른 유생의 성장 및 생존 실험과 동일하게 실시하였다.

Table 1. Cell size of three microalgal species cultured at $22.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$

Species	Source of strain	Cell size (mean \pm SD, μm)		
		Major axis	Minor axis	Spine
<i>Isochrysis galbana</i>	NLP-M081*	5.0 ± 0.6	4.5 ± 0.6	-
<i>Chaetoceros gracilis</i>	NLP-M004	5.7 ± 0.7	4.7 ± 0.7	14.3 ± 4.5
<i>Tetraselmis tetrahele</i>	NLP-M097	12.8 ± 1.3	8.4 ± 1.1	-

*NLP, Natural & Live Plankton.

3. 사육밀도에 따른 유생의 성장과 생존

유생의 사육밀도에 따른 실험은 2 L 원형 플라스틱 용기에 1, 5, 10, 20 개체/mL의 실험구를 설정하여 2일 간격으로 성장과 생존율을 조사하였다. 사육수온은 $20.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$, 염분은 30 psu였으며, 다른 조건은 수온에 따른 유생의 성장과 생존 실험과 동일하게 하였다.

4. 먹이생물 공급량에 따른 유생의 성장과 생존

먹이생물의 공급량에 따른 유생의 성장 및 생존을 알아보기 위하여 먹이생물 공급량을 달리하여 사육실험을 실시하였다. 먹이생물 공급량은 3종의 미세조류 (*Isochrysis galbana*, *Chaetoceros gracilis*, *Tetraselmis tetraathele*) 를 동일한 비율로 혼합한 후 0.5×10^4 , 1×10^4 , 3×10^4 , 5×10^4 , 10×10^4 cells/mL/day 밀도로 일일 2회 공급하였다. 14일 동안 지수식으로 사육하며 매 2일 마다 전환수를 하였고, 실험은 3반복으로 실시하였다. 사육수온은 $20.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$, 염분은 30 psu였으며, 다른 조건은 수온에 따른 유생의 성장과 생존 실험과 동일하게 하였다.

5. 농축먹이생물 공급에 따른 유생의 성장과 생존

자체 배양한 3종의 미세조류 (*I. galbana.*, *C. gracilis*, *T. tetraathele*) 와 농축먹이생물의 공급량을 달리하여 사육실험을 하였다. 사용된 농축먹이생물은 *Isochrysis* 등 6종의 미세조류가 포함된 Shellfish diet 1800[®] (IA, Instant algae[®], Reed Mariculture Inc., San Jose, CA, USA). 먹이생물 공급구는 자체 배양한 3종의 미세조류 (CM, cultured live microalgae) 를 혼합 공급한 실험구 (CM100, 배양한 미세조류 100%, 5×10^4 cells/mL/day), 자체 배양한 미세조류와 농축먹이생물 (IA, Instant algae[®], Shellfish diet 1800[®]) 을 다른 비율로 혼합한 4개 실험구이었다. CM75 + IA25는 자체 배양한 미세조류 75%와 농축먹이생물 25%를 혼합, CM50 + IA50은 자체 배양한 미세조류 50%와 농축먹이생물 50%를 혼합, CM25 + IA75는 자체 배양한 미세조류 25%와 농축먹이생물 75%를 혼합, IA100은 자체 배양한 미세조류는 공급하지 않고 농축먹이생물만을 100% 공급한 실험구이다. 이를 일일 2회로 나누어 각각 공급하여 유생의 성장과 생존을 조사하였고, 실험은 3반복으로 실시하였다.

그리고 농축먹이생물을 단독으로 그 공급량을 달리하여 6개 실험구 (0.5×10^4 , 1×10^4 , 2×10^4 , 3×10^4 , 4×10^4 , 5×10^4 cells/mL/day) 의 공급 밀도로 일일 2회로 공급하여 유생의 성장과 생존을 조사하였다. 다른 조건은 먹이생물 공급량에 따른 유생의 성장 및 생존 실험과 동일한 방법으로 실시하였다.

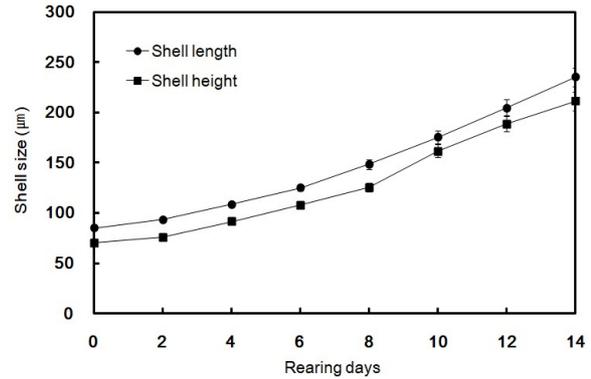


Fig. 1. Growth in shell length and height of *Tresus keenae* larvae fed on mixed microalgae (*Isochrysis galbana* + *Chaetoceros gracilis* + *Tetraselmis tetraathele*).

6. 통계처리

모든 실험 결과는 ANOVA test를 실시하였으며, 평균 간의 유의성 ($p < 0.05$) 은 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955) 로 검정하였다. 통계 분석은 SPSS program 을 사용하여 분석하였다.

결 과

1. 유생의 성장

사육일수에 따른 유생의 성장은 다음과 같이 나타났다 (Fig. 1). 사육초기인 D형 유생에서 각장 100 µm까지는 완만한 성장을 보이다가, 이후 직선적인 성장을 보였다. 부화 직후 평균 각장과 각고의 크기는 각각 85.0 ± 2.0 µm, 70.1 ± 1.6 µm였고, 사육 6일 된 초기 각정기 유생의 평균 각장과 각고의 크기는 각각 125.0 ± 3.3 µm, 108.0 ± 3.4 µm, 사육 10일 된 후기 각정기 유생의 평균 각장과 각고의 크기는 각각 175.3 ± 6.5 µm, 161.5 ± 6.4 µm였다. 그리고 사육 12일째 새로운 운동기관이 발이 형성되어 면반과 같이 유영 또는 포복 운동을 하였으나 각장과 각고의 크기는 각각 204.3 ± 8.3 µm, 188.7 ± 8.0 µm였다. 이후 사육 14일째 평균 각장과 각고가 235.0 ± 9.5 µm, 211.3 ± 9.2 µm인 부착기 유생으로 발달하였다.

2. 수온과 염분에 따른 유생의 성장과 생존

수온에 따른 유생 사육실험 결과, 15°C에서 유의하게 낮은 성장을 보였고, 25°C에서 가장 빠른 성장 (각장 238.8 ± 9.3 µm) 을 보였으나 ($p < 0.05$), 20°C와 유의한 차이가 없었다. 15°C와 20°C에서는 30% 이상의 높은 생존율을 보였고, 25°C에서는 매우 낮은 생존율을 나타내었으며, 30°C에서는 사육 4

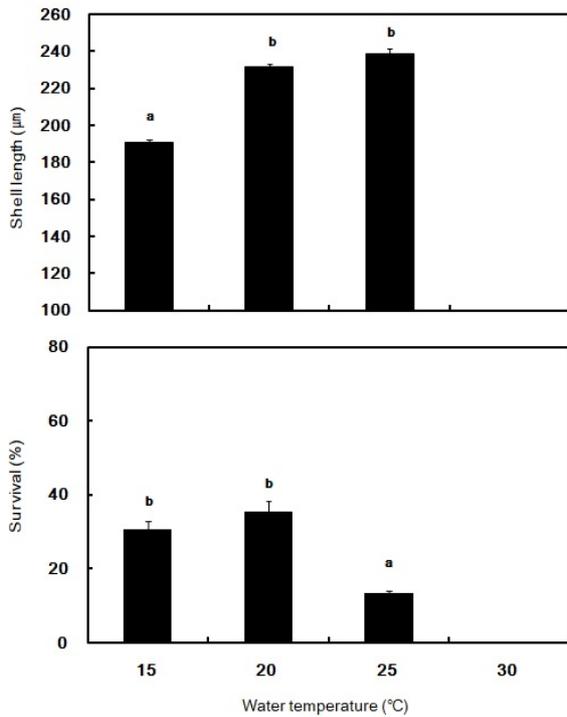


Fig. 2. Growth in shell length and survival of *Tresus keenae* larvae at different water temperature. Different letters are significantly different ($p < 0.05$).

일 후 모두 폐사하였다 (Fig. 2).

염분에 따른 유생 사육실험 결과, 염분 15 psu에서는 사육 6일 후 모두 폐사하였고, 20 psu에서는 유의하게 매우 늦은 성장과 낮은 생존율을 보였다 ($p < 0.05$). 25 psu에서는 성장은 가능하였으나 낮은 생존율을 나타내었고, 30 psu에서 가장 빠른 성장 ($230.3 \pm 9.5 \mu\text{m}$) 과 높은 생존율 ($52.7 \pm 4.3\%$) 을 보였다 ($p < 0.05$). 35 psu에서 성장은 25 psu와 유의한 차이는 없었고, 30 psu 보다 유의하게 낮은 성장과 생존율을 나타내었다 ($p < 0.05$, Fig. 3).

3. 사육밀도에 따른 유생의 성장과 생존

유생의 사육밀도에 따른 사육실험 결과, 1 mL당 1개체의 밀도에서 가장 빠른 성장 ($247.0 \pm 9.7 \mu\text{m}$) 과 높은 생존율 ($60.0 \pm 4.3\%$) 을 보였으며 ($p < 0.05$), 5 개체/mL의 밀도의 생존율과는 유의한 차이가 없었다. 5 개체/mL 이하에서 밀도가 낮을수록 빠른 성장과 높은 생존율을 보였고, 20 개체/mL의 밀도에서는 가장 늦은 성장과 낮은 생존율을 나타내었다 ($p < 0.05$, Fig. 4).

4. 먹이생물 공급량에 따른 유생의 성장과 생존

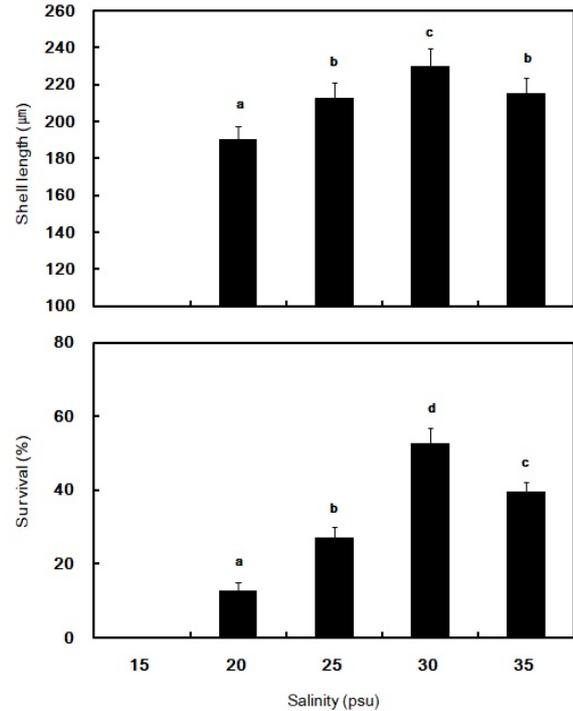


Fig. 3. Growth in shell length and survival of *Tresus keenae* larvae at different salinity. Different letters are significantly different ($p < 0.05$).

먹이생물의 공급량에 따른 유생의 성장을 비교한 결과, 먹이생물 3종을 0.5×10^4 , 1×10^4 , 3×10^4 , 5×10^4 , 10×10^4 cells/mL/day로 14일간 혼합 공급하여 사육 실험한 결과, 먹이공급량이 많을수록 유생의 성장은 양호하였으나 5×10^4 cells/mL/day 이상에서는 성장과 생존을 모두 낮았으며, 0.5×10^4 cells/mL/day에서는 성장과 생존을 ($183.5 \pm 7.5 \mu\text{m}$, $25.8 \pm 1.5\%$) 모두 낮았다 ($p < 0.05$). 3×10^4 cells/mL/day에서 가장 빠른 성장 ($235.0 \pm 10.5 \mu\text{m}$) 을 보였고, 1×10^4 cells/mL/day에서 가장 높은 생존율 ($47.1 \pm 4.5\%$) 을 나타내었으며 ($p < 0.05$), 3×10^4 cells/mL/day와는 유의한 차이가 없었다 (Fig. 5).

5. 농축먹이생물 공급에 따른 유생의 성장과 생존

자체 배양한 3종의 미세조류 (*I. galbana.*, *C. gracilis*, *T. tetrathele*) 와 농축먹이생물의 공급량을 달리하여 사육실험한 결과, CM100 (자체 배양하는 미세조류 100% 공급구) 이 가장 빠른 성장 ($235.3 \pm 11.5 \mu\text{m}$) 과 높은 생존율 ($40.5 \pm 3.3\%$) 을 보였고, IA100 (농축먹이생물 100% 공급구) 이 가장 늦은 성장 ($225.0 \pm 9.4 \mu\text{m}$) 을 보였다 ($p < 0.05$). 다른 실험구들 간의 성장은 유의한 차이가 없었고, IA100의 생존율

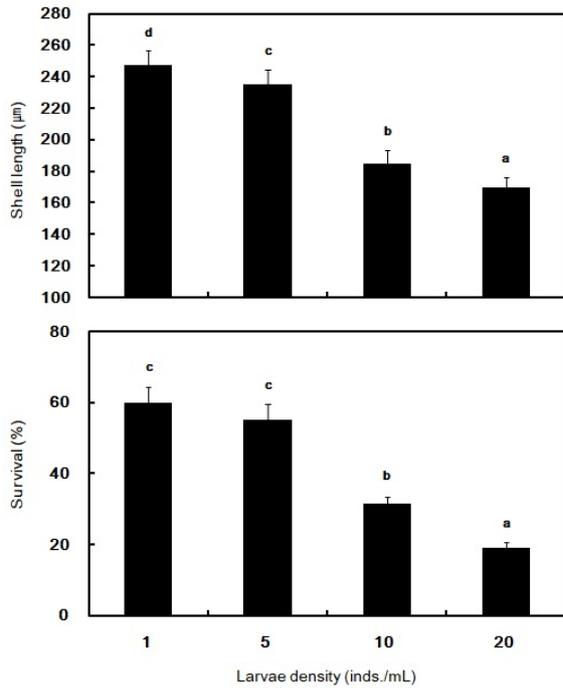


Fig. 4. Growth in shell length and survival of *Tresus keenae* larvae at different larval densities. Different letters are significantly different ($p < 0.05$).

($39.5 \pm 3.7\%$) 은 자체 배양한 미세조류와 농축먹이생물을 혼합 공급한 실험구들 보다 생존율이 높았으나 유의한 차이는 없었다. 농축먹이생물을 포함하여 공급한 실험구들은 농축먹이생물 공급량이 많아질수록 성장은 낮아지고 생존율은 높아지는 경향을 보였으며 유의한 차이는 없었다.

그리고 농축먹이생물을 단독으로 그 공급량을 달리하여 사육실험한 결과, 농축먹이생물을 0.5×10^4 cells/mL/day로 공급한 실험구에서 가장 늦은 성장을 보였고 ($195.7 \pm 7.3 \mu\text{m}$), 2×10^4 cells/mL/day에서 가장 빠른 성장 ($233.3 \pm 9.3 \mu\text{m}$) 을 나타내었으나 1×10^4 cells/mL/day로 공급한 실험구와의 유의한 차이가 없었다. 3×10^4 cells/mL/day 이상에서는 늦은 성장과 낮은 생존율을 나타내었고, 1×10^4 cells/mL/day에서 가장 높은 생존율 ($55.5 \pm 4.3\%$) 을 보였으나 2×10^4 cells/mL/day로 공급한 실험구와는 유의한 차이가 없었다.

고 찰

조개류 부유유생기의 성장에 미치는 중요한 요인은 수온, 염분, 조도, 유생의 밀도 및 먹이생물 등이 있으나 그중에서 수온이 성장을 지배하는 가장 중요한 요인이며, 수온에 따라 먹이

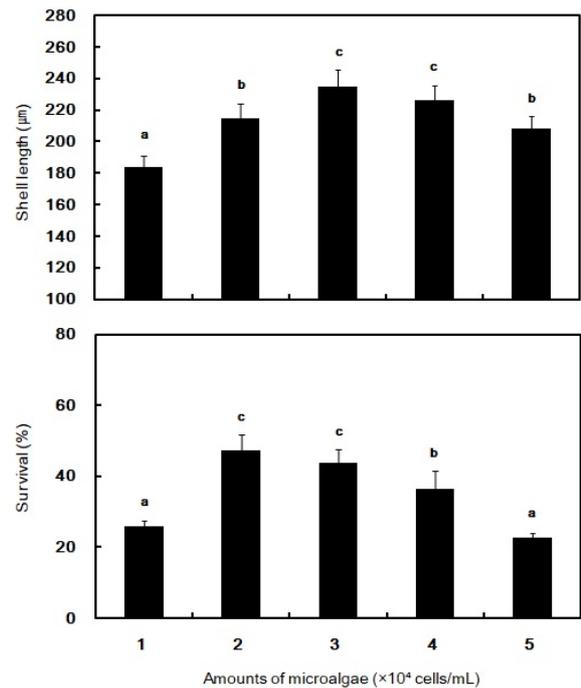


Fig. 5. Growth in shell length and survival of *Tresus keenae* larvae fed on different concentrations of microalgae mixed three microalgal species (1, 0.5×10^4 cells/mL; 2, 1×10^4 cells/mL; 3, 3×10^4 cells/mL; 4, 5×10^4 cells/mL; 5, 10×10^4 cells/mL; mixed microalgae, *Isochrysis galbana* + *Chaetoceros gracilis* + *Tetraselmis tetraathele*). Different letters are significantly different ($p < 0.05$).

생물의 섭취량이 달라지고 성장도 큰 영향을 받는다 (Loosanoff, 1950; Loosanoff and Davis, 1963; Lee *et al.*, 2011). 일반적으로 수온은 유생사육의 중요한 요인으로 낮은 온도에서는 성장과 발달이 늦으나 높은 온도에서는 폐사율이 증가한다 (O'Connor and Heasman, 1998). 본 연구에서도 왕우럭조개 유생은 낮은 수온인 15°C 와 20°C 에서는 생존율이 양호하였으나 성장이 늦었으며, 25°C 에서는 성장은 빨랐으나 생존율이 낮았고 30°C 에서는 전량 폐사하여 유사한 경향을 보였다. 따라서 왕우럭조개 유생은 $15\text{-}25^\circ\text{C}$ 의 수온 범위에서 사육 가능하지만, 성장과 생존율을 고려한 적정 사육 수온은 $15\text{-}20^\circ\text{C}$ 이며, 조개류의 인공종자생산 시 빠른 성장을 고려한다면 최적 수온은 20°C 로 판단된다.

조개류는 염분이 변화할 경우 세포내의 삼투조절이 시작되어 폐각을 닫거나 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; Lee *et al.*, 2011). Helm and Millican (1977) 은 *Crassostrea gigas* 유생의

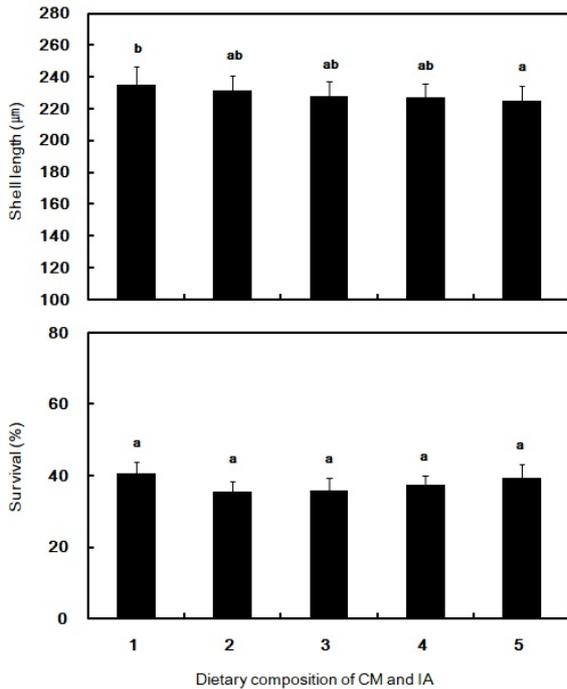


Fig. 6. Growth in shell length and survival of *Tresus keenae* larvae fed on cultured live microalgae (CM, mixed three microalgal species) and instant algae (IA, concentrated microalgae). 1, CM100, cultured live microalgae 100%; 2, CM75 + IA25, cultured live microalgae 75% + Instant algae 25%; 3, CM50 + IA50, cultured live microalgae 50% + Instant algae 50%; 4, CM25 + IA75, cultured live microalgae 25% + Instant algae 75%; 5, IA100, Instant algae 100%. Different letters are significantly different ($p < 0.05$).

생존 가능 염분이 15.0-34.0 psu이고, 최적 염분은 25 psu라고 보고하였다. Davis and Calabrese (1964) 는 *C. virginica* 유생의 생존 가능 염분은 10.0-27.5 psu이고, 최적 염분은 17.5-27.0 psu라고 보고한 바 있다. Kim (2006) 은 말뚝합 유생의 생존 가능 염분이 10-40 psu, 최적 염분은 25 psu라고 보고하였는데, 이는 *C. virginica*, *C. gigas*의 유생과 유사하였다. 그리고 개량조개 유생은 말뚝합에 비해 저염분에 약하여 최적 염분은 30-35 psu였고, 최소한 30 psu 이상에서 사육하는 것이 적합하였다 (Min and Shin, 2010). 본 연구에서 왕우럭조개 유생은 25 psu를 중심으로 염분이 낮을수록 성장이 느린 경향을 보였고, 생존율은 염분이 높을수록 높은 경향을 보였으며, 15 psu에서는 전량 폐사하였고 20 psu에서는 매우 낮은 성장과 생존율을 나타내었다. 따라서 왕우럭조개는 개량조개와 유사하게 저염분에 약하여 적정 사육 염분은 30-35 psu였고, 생존율을 고려한다면 최적 염분은 최소한 30 psu 이상에서 사육하는 것이 적합하다고 판단된다.

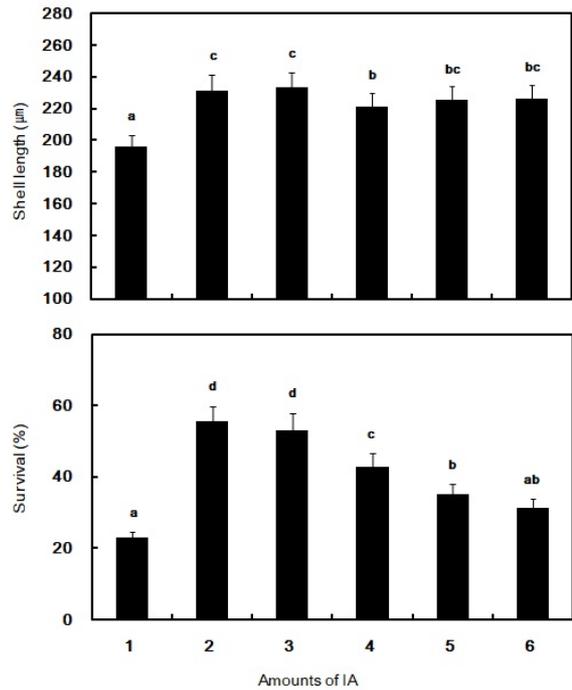


Fig. 7. Growth in shell length and survival of *Tresus keenae* larvae fed on different concentrations of instant algae (IA) concentrated microalgae (1, 0.5×10^4 cells/mL; 2, 1×10^4 cells/mL; 3, 2×10^4 cells/mL; 4, 3×10^4 cells/mL; 5, 4×10^4 cells/mL; 6, 5×10^4 cells/mL). Different letters are significantly different ($p < 0.05$).

종자의 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 유생사육 시 적정 밀도의 파악은 매우 중요하다 (Loosanoff and Davis, 1963; Lee *et al.*, 2011). Lee *et al.* (1999) 는 꼬끼리조개 유생이 5 개체/mL 이하에서는 성장이 비교적 양호하였고, 생존율은 밀도가 낮을수록 높았으며, 성장 및 생존율을 고려할 때 적정 사육밀도는 5 개체/mL라고 보고하였다. 그리고 Lee *et al.* (2011) 는 일본 (기수) 재첩 부유유생이 1-10 개체/mL의 밀도에서는 성장과 생존율이 양호하였고, 일본재첩의 부유유생의 최적 사육밀도는 10 개체/mL라고 보고하였다. 본 연구에서 왕우럭조개 유생은 5 개체/mL 이하에서 밀도가 낮을수록 빠른 성장과 높은 생존율을 보였고, 20 개체/mL에서는 가장 늦은 성장과 낮은 생존율을 나타내었으며, 이는 꼬끼리조개 유생의 사육밀도와 유사한 경향을 보였다. 따라서 왕우럭조개 유생의 적정 사육밀도는 1-5 개체/mL이며, 성장과 생존율을 고려할 때 최적 사육밀도는 5 개체/mL 이하로 판단된다.

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. Kim *et al.* (2011)과 Lee *et al.* (2011)은 말뚝합과 일본재첩 유생의 먹이 공급량이 $1 \times 10^4 - 2 \times 10^4$ cells/mL, 3,000-7,000 cells/개체의 밀도로 공급하는 것이 적절하다고 보고한 바 있다. 본 연구에서 왕우럭조개 유생의 먹이 공급량이 많을수록 유생의 성장은 양호하였으나 5×10^4 cells/mL/day 이상에서는 성장과 생존을 모두 낮았으며, 0.5×10^4 cells/mL/day에서는 성장과 생존을 모두 낮았다. 3×10^4 cells/mL/day에서 가장 빠른 성장을 보였고, 1×10^4 cells/mL/day에서 가장 높은 생존율을 보이며 본 연구에서도 일본재첩이나 말뚝합 유생의 먹이공급량과 유사한 경향을 보였다. 본 연구의 결과로 유생의 사육밀도 뿐만 아니라 과도한 먹이생물의 공급도 사육수의 수질 악화를 초래하여 유생의 성장과 생존율에 불리하게 작용하는 것으로 추정된다. 따라서 왕우럭조개 유생사육 시 최적 먹이공급량은 $1 \times 10^4 - 3 \times 10^4$ cells/mL/day로 공급하는 것이 효과적인 것으로 판단된다.

조개류 유생사육 시 사용되는 먹이생물은 각종 영양원이 균형 잡혀 있어야 하며 (Webb and Chu, 1983), 지방산 중 고도불포화지방산 특히, 필수지방산의 비율이 높아야 한다 (Langdon and Waldock, 1981; Chu and Webb, 1984). 또한 원활한 공급이 가능하고 (Herrero and Lid, 1991; Lid *et al.*, 1992), 유생이 섭취 가능한 크기 (Haven and Morales-Alamo, 1970) 이며, 쉽게 소화되어야 한다 (Epifanio *et al.*, 1981).

농축먹이생물은 조개류 뿐만 아니라 해삼류 등의 인공종자 생산 시 국내외에서 부분적으로 사용하고 있으며 이에 대한 연구들도 일부 보고된 바 있다 (Duy *et al.*, 2016; Southgate *et al.*, 2016; Wassnig and Southgate, 2016; Southgate *et al.*, 2017; Duy *et al.*, 2017). 본 연구에서 자체 배양한 3종의 미세조류 (*I. galbana.*, *C. gracilis*, *T. tetrathele*) 와 농축먹이생물을 혼합 공급하여 사육하였을 때 유생의 성장과 생존율은 배양한 미세조류 공급구와 농축먹이생물을 혼합한 공급구 간에 큰 차이가 나지 않았고, 농축먹이생물이 더 많이 포함된 공급구에서 높은 생존율을 나타내었는데 이는 농축먹이생물이 자체 배양한 미세조류에 비하여 사육수로 배지성분인 영양염류와 대사산물의 유입이 적으므로 생물이 공급구에 비하여 세균 및 원생동물의 발생빈도가 낮아져 생존율이 높은 것으로 판단된다.

그리고 Wassnig and Southgate (2016) 은 *Pteria penguin* 유생사육 시 상업적으로 이용되고 있는 농축먹이생물을 공급하였을 때 공급량이 $1 \times 10^4 - 2 \times 10^4$ cells/mL의

밀도에서 유생의 성장과 생존율이 양호하였고, 농축먹이생물을 2×10^4 cells/mL 이하의 밀도로 공급하는 것이 적절하다고 보고한 바 있다. 본 연구에서 왕우럭조개 유생사육 시 이와 유사한 경향을 보였으며, 농축먹이생물의 최적 공급량은 $1 \times 10^4 - 2 \times 10^4$ cells/mL/day의 밀도로 공급하는 것이 효과적인 것으로 판단된다. 따라서 왕우럭조개 유생사육 시 자체 배양한 미세조류와 농축먹이생물을 혼합하여 사용하거나 농축먹이생물을 단독으로 먹이 공급하여 유생의 성장과 생존율을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

요 약

왕우럭조개 유생사육을 위한 최적조건을 파악하기 위하여 사육조건 (수온, 염분, 사육밀도) 과 먹이생물 (배양한 미세조류, 농축먹이생물) 에 따른 왕우럭조개 유생의 성장 및 생존율을 조사하였다.

수온별 유생사육 시 25°C에서 가장 빠른 성장을 보였고, 15°C와 20°C에서는 30% 이상의 높은 생존율을 보였다. 또한 염분별 유생사육 시 30 psu에서 가장 빠른 성장과 높은 생존율을 보였다. 유생은 1 mL당 1 개체와 5 개체의 밀도에서 빠른 성장과 높은 생존율을 나타내었다. 왕우럭조개 유생사육 시 최적 조건은 수온 20°C, 염분 30-35 psu, 사육밀도 5 개체/mL 이하이었다.

자체 배양한 3종의 미세조류 (*Isochrysis galbana*, *Chaetoceros gracilis*, *Tetraselmis tetrathele*) 와 농축먹이생물 (Shellfish diet 1800[®]) 을 혼합하여 공급한 경우, CM100 (자체 배양하는 미세조류 100% 공급구) 이 가장 빠른 성장과 높은 생존율을 보였고, IA100 (농축먹이생물 100% 공급구) 이 낮은 성장을 보였다. 그리고 농축먹이생물을 단독으로 공급한 경우, 유생은 농축먹이생물의 공급량이 2×10^4 cells/mL/day에서 빠른 성장을 나타내었고, 1×10^4 cells/mL/day에서 높은 생존율을 보였다.

따라서 왕우럭조개 유생사육 시 자체 배양한 미세조류와 농축먹이생물을 혼합하여 사용하거나 농축먹이생물을 단독으로 $1 \times 10^4 - 2 \times 10^4$ cells/mL/day로 공급하여 유생의 성장과 생존율을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCES

- Choi, J.H., Shin, T.S. and Ahn, C.B. (2005) Nutrient components in the siphon of the surf clam *Tresus keenae*. *Journal of Fish Science and Technology*, **8**: 43-50.
- Chu, F.L.E. and Webb, K.L. (1984) Polyunsaturated fatty acids and neutral lipids in developing larvae of the oyster *Crassostrea virginica*. *Lipids*, **19**: 815-820.

- Davis, H.C. and Calabrese, A. (1964) Combined effects of temperature and salinity on development of eggs and growth of larvae of *Mercenaria mercenaria* and *Crassostrea virginica*. *Journal of Fish Biology*, **63**: 643-655.
- Duncan, D.B. (1955) Multiple-range and multiple F tests. *Biometrics*, **11**: 1-42.
- Duy, N.D.Q., Francis, D.S., Pirozzi, I. and Southgate, P.C. (2016) Use of micro-algae concentrates for hatchery culture of sandfish, *Holothuria scabra*. *Aquaculture*, **464**: 145-152.
- Duy, N.D.Q., Francis, D.S. and Southgate, P.C. (2017) The nutritional value of live and concentrated micro-algae for early juveniles of sandfish, *Holothuria scabra*. *Aquaculture*, **473**: 97-104.
- Epifanio, C.E., Valenti, C.C. and Turk, C.L. (1981) A comparison of *Phaeodactylum tricornutum* and *Thalassiosira pseudonana* as foods for the oyster, *Crassostrea virginica*. *Aquaculture*, **23**: 347-353.
- Haven, D.S. and Morales-Alamo, R. (1970) Filtration of particles from suspension of the American oyster *Crassostrea virginica*. The Biological Bulletin by Marine Biological Laboratory, Woods Hole, Mass., **139**: 248-264.
- Helm, M.M. and Millican, P.F. (1977) Experiments in the hatchery rearing of Pacific oyster larvae (*Crassostrea gigas* Thunberg). *Aquaculture*, **11**: 1-12.
- Herrero, C. and Lid, A. (1991) Yields in biomass and chemical constituents of four commercially important marine microalgae with different culture media. *Aquaculture Engineering*, **10**: 99-110.
- Kang, H.S. and Kim, C.W. (2018) Spawning and larval developments of the surf clam, *Tresus keenae*. *Korean Journal of Malacology*, **34**: 9-15.
- Kim, J.H., Kim, D.H., Yoo, M.S. and Yang, M.H. (2005) Ultrastructure of gametogenesis of the surf clam (*Tresus keenae*) (Mactridae: Bivalvia). *Journal of the Korean Fisheries Technology*, **38**: 94-99.
- Kim, D.H., Lim, H.K., Min, K.S., Chang, Y.J. and Kim, T.I. (1999) Reproductive cycle of surf clam (*Tresus keenae*) in southern coast of Korea. *Journal of the Korean Fisheries Society*, **32**: 659-663.
- Kim, T.Y. (2006) Studies on the artificial seedling production of the hard clam *Meretrix lusoria* (Röding). Ph.D. thesis, Pukyong National University, 114pp.
- Kim, T.I., Ko, C.S., Hur, Y.B., Yang, M.H. and Chang, Y.J. (2011) Growth and survival of the hard clam, *Meretrix petechialis* (Lamarck) larvae to food organisms. *Korean Journal of Malacology*, **27**: 175-180.
- Langdon, C.J. and Waldock, M.J. (1981) The effect of algal and artificial diets on the growth and fatty acid composition of *Crassostrea gigas*. *J. Mar. Biol. Ass. UK*, **61**: 431-448.
- 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 National Fisheries Research and Development Institute*, **55**: 113-121.
- Lee, J.Y., Kim, Y.K. and Lee, C.S. (2011) Growth and survival of the brackish water clam, *Corbicula japonica* larvae according to rearing conditions. *Korean Journal of Malacology*, **27**: 337-343.
- Lid, A., Abalde, J. and Herrero, C. (1992) High yield mixotrophic cultures of the marine microalga *Tetraselmis suecica* (Kylin) Butcher (Prasinophyceae). *Journal of Applied Phycology*, **4**: 31-37.
- Loosanoff, V.L. (1950) Rate of water pumping and shell movements of oyster in relation to temperature (Abstract). *Amat. Rec.*, **108**: 620.
- Loosanoff, V.L. and Davis, H.C. (1963) Rearing of bivalve molluscs. *Advances in Marine Biology*, **1**: 1-136.
- Min, B.H. and Shin, H.J. (2010) Effects of rearing condition and species of microalgae on growth and survival of larvae of the sunray surf clam, *Mactra chinensis*. *Korean Journal of Malacology*, **26**: 303-310.
- 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.
- Rha, S.J. (2005) Reproductive ecology and induction of settlement of keen's gaper *Tresus keenae* (Kroda & Habe). Ph.D. thesis, Yosu National University, 134pp.
- Shin, Y.K. and Yang, M.H. (2005) Effects of temperature and salinity on the survival and metabolism of *Tresus keenae* (Mollusca: Bivalvia). *Journal of Fish Science and Technology*, **8**: 161-166.
- Southgate, P.C., Beer, A.C. and Ngaluafe, P. (2016) Hatchery culture of the winged pearl oyster, *Pteria penguin*, without living micro-algae. *Aquaculture*, **451**: 121-124.
- Southgate, P.C., Braley, R.D. and Militz, T.A. (2017) Ingestion of micro-algae concentrates by veliger larvae of the giant clam, *Tridacna noae*. *Aquaculture*, **473**: 443-448.
- Walne, P.R. (1974) Culture of bivalve molluscs. Whitefriars Press Ltd., London and Tondridge, 173pp.
- Wassnig, M. and Southgate, P.C. (2016) The effects of stocking density and ration on survival and growth of winged pearl oyster (*Pteria penguin*) larvae fed commercially available micro-algae concentrates. *Aquaculture Reports*, **4**: 17-21.
- Web, K.L. and Chu, F.L.E. (1983) Phytoplankton as a food source for bivalve larvae. In: Pruder, G.D., Langdon, C., Conklin, D. (Eds.), Proceedings of the 2nd International Conference of Aquaculture Nutrition: Biochemical and Physiological Approaches to Shellfish Nutrition. *World Mariculture Society Special Publication*, **2**: 272-291.
- 大橋裕, 山本翠. (1986) ミルクイガイ親貝畜養試験. 山口県内海栽培漁業センタ報告, 52-97.

大橋裕, 山本翠. (1986) ミルクイガイ *Tresus keenae* KURODA et HABEの増殖に関する研究-昭和57年度までの概況. 山口県内海栽培漁業センタ報告, 55-71.

山本翠, 大橋裕. (1987) ミルクイガイ中間育成試験. 山口県内海栽培漁業センタ報告, 61-65.

秋山展示. (1966) ミルクイガイ幼生の水槽飼育について. 水産増殖, 14: 151-156.

