

# 기수산 물벼룩, *Diaphanosoma celebensis*의 대량배양을 위한 최적 염분 및 수온 조건

박진철\* · 박흠기

강릉원주대학교 해양생명공학부

## Optimum Salinity and Temperature Condition for Mass Culture of the Brackish Water Flea, *Diaphanosoma celebensis*

Jin Chul Park\* and Heum Gi Park

Department of Marine Bioscience & Technology Graduate School,  
Gangneung-Wonju National University, Gangneung 210-702, Korea

This study investigated the optimum salinity and temperature conditions for mass culture of the brackish water flea, *Diaphanosoma celebensis*. Community and individual cultures of flea were maintained in 1 L beakers and 3 mL vessels (of a 12-well culture plate), respectively, and fed green algae, *Tetraselmis suecica*. In salinity experiments ranging from 5 to 34 psu, continuous growth of flea populations was found up to 34 psu. However, the specific growth rate and life span of females showed decreasing tendencies with the increase of salinity. The highest maximum density and offspring number were 33.6 individuals (ind.)/mL and 55.3 ind. at 10 psu, respectively. In the temperature experiments ranging from 20 to 40 °C, population growth of *D. celebensis* increased continuously until 35 °C and then decreased over 40 °C. The specific growth rate was significantly higher at 25 and 30 °C than at 20 and 40 °C. Female life span tended to decrease with temperature increase. The highest maximum density and offspring number were 52.3 ind./mL and 46.0 ind. at 30 °C, respectively. These results suggest that the optimum salinity and temperature for mass culture of *D. celebensis* may be 10 psu and 30 °C, respectively

Key words: *Diaphanosoma celebensis*, Optimum culture condition, Salinity, Temperature

### 서 론

최근 *Artemia*를 대체할 새로운 먹이생물들의 연구가 활발히 진행 중에 있으며, 후보 종으로는 요각류, 단각류 및 지각류가 주로 연구되어지고 있다 (Ganzon-Naret and Ferming, 1994; Lee et al., 2005; Støttrup and Norsker, 1997; Schipp et al., 1999; Aravind et al., 2007). 우선 먹이생물로 널리 이용되기 위해서는 이들 종의 빠른 번식력으로 인한 대량생산이 반드시 필요한데, 요각류와 단각류의 경우는 유성생식과 변태를 통한 성체까지의 발달단계가 너무 길기 때문에 대량배양에 많은 어려움이 있다 (Sudo and Azeta, 1996; Støttrup and Norsker, 1997; Schipp et al., 1999). 하지만 지각류는 좋은 환경 조건하에서 치어생식을 행함으로써 빠른 개체 성장을 유도하여 쉽게 대량배양이 가능한 종으로 알려져 있다 (Innes, 1997). 이러한 관점에서 기수산 물벼룩인 *D. celebensis*는 크기가 *Artemia*와 유사하며, 염분 변화에 매우 강하고 (Segawa and Yang, 1987; Korovchinsky, 1989), 치어생식을 통한 성장률도 높다 (Segawa and Yang, 1987; Achuthankutty et al., 2000) 어류 및 갑각류의 인공종묘생산에서 먹이생물로서 잠재적 가치가 높은 것으로 보고되어 있어 (Chen et al., 1977; de la Peña et al., 1998; Nakamoto et al., 2008) *Artemia*의 대체 먹이생물로 이용 가능성

이 매우 높을 것으로 판단된다. 그러나 아직까지 기수산 물벼룩, *D. celebensis*에 대해서는 대부분 종 동정을 위한 분류학적인 연구 (Korovchinsky, 1989; 1993)와 여과율, 성장률 및 변태율 등의 생물학적 특징을 분석한 연구 (Segawa and Yang, 1990), 염분 농도별 점프 이동에 대한 반응 (Jung et al., 2001)과 같은 기초 연구에 머물고 있으며, 대량배양을 위한 구체적인 최적 배양환경에 관한 자료는 미비한 실정이다.

따라서 본 연구는 먹이생물인 *Artemia*를 대체 가능한 것으로 판단되는 기수산 물벼룩, *D. celebensis*의 대량배양을 위한 기초 자료를 제공하기 위해 이들의 최적 성장 조건인 수온과 염분에 대해서 조사하였다.

### 재료 및 방법

기수산 물벼룩인 *D. celebensis*의 최적 염분 및 수온을 규명하기 위한 실험은 밀집배양과 개체배양으로 나누어 수행하였다. 염분에 따른 밀집배양 실험은 5, 10, 15, 20, 25 및 34 psu로 한 1 L 비커 (배양수 500 mL)에 *D. celebensis*의 개체밀도가 mL 당 1개체가 되도록 접종하였다. 먹이는 한국미세조류은행 (KMCC)에서 분양받은 녹조류, *Tetraselmis suecica* (KMCC-P-3)를  $1 \times 10^5$  cells/mL로 1일 1회를 기준으로 공급하였으며, 3일마다 전량환수를 시켜주었다. 또한 실험은 다채널배양기

\*Corresponding author: telss88@naver.com

(EYELA, MTI-202, Japan)를 수온 25℃로 설정하여 12일간 3반복으로 행하였으며, 실험기간 동안 폭기는 시켜주지 않았다. 개체배양 실험은 밀집배양과 동일한 염분구로 행하여 12 wells culture plate (배양수 3 mL)에 갓 산란된 어린 유생을 한 마리씩 접종한 후 발달단계, 산란수 및 수명을 조사하였다. 먹이 공급량은 밀집배양과 동일하게 공급하였다.

수온에 따른 밀집배양 실험은 20, 25, 30, 35 및 40℃로 조절된 다채널배양기 (EYELA, MTI-202, Japan)에서 1 L 비커 (배양수 500 mL)에 10 psu의 배양수를 준비하여 mL 당 1개체가 되도록 접종한 후 행하였다. 먹이는 *T. suecica*를 1일 1회  $2 \times 10^5$  cells/mL로 공급하였으며, 4일마다 전량환수를 시켜주었다. 실험은 3반복으로 19일간 이루어졌으며 실험기간 동안 폭기는 시켜주지 않았다. 개체배양 실험은 밀집배양과 동일한 실험구로 행하여 12 wells culture plate (배양수 3 mL)에 갓 산란된 어린 유생을 한 마리씩 접종한 후 발달단계, 산란수 및 수명을 조사하였다. 이 때 염분 및 먹이 공급량은 밀집배양과 동일하게 하였다.

염분 및 수온별에 따른 밀집배양 실험에서 성장률 (Specific growth rate,  $r$ )은 Rico-Martinez and Dodson (1992)의 방법에 따라 계산하였고, 매일 개체수를 조사하여 mL 당 개체수로 나타내었다.

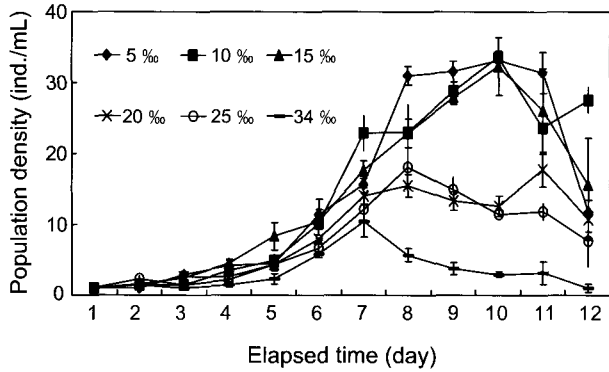


Fig. 1. Population growth of *D. celebensis* at the different salinities. Vertical bars represent standard errors.

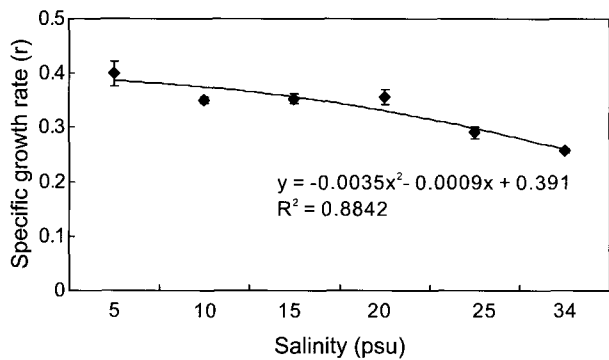


Fig 2. Specific growth rate of *D. celebensis* at the different salinities. Vertical bars represent standard errors.

개체배양 실험은 계대배양 하던 *D. celebensis* 중에서 무성 생식으로 포란한 암컷을 따로 분리 수용하여 30분 간격으로 급방 산란된 어린 유생을 확인한 뒤, 12 wells culture plate (배양수 3 mL)에 한 마리씩 접종하여 폐사할 때까지 관찰하였다. 실험기간은 각각의 암컷이 폐사하는 시기까지로 하여 어린 유생단계부터 첫 번째 알을 포란하여 처음으로 유생을 산란하는 시간까지를 생식 전 단계 (Pre-reproductive phase), 첫 번째 유생을 산란한 후 수명 내에 마지막 유생을 산란할 때까지를 순 생식 단계 (Reproductive phase), 암컷의 수명 및 총 산란수로 각각 구분하여 관찰하였다. 관찰간격은 생식 전 단계는 1시간 간격으로 관찰하였으며, 이후부터는 12시간 간격으로 조사하였다.

모든 실험결과는 one-way ANOVA-test를 실시 후 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)를 실시하여 처리 평균 간의 유의성 ( $P < 0.05$ )을 SPSS program (Ver. 14.0)으로 검정하였다.

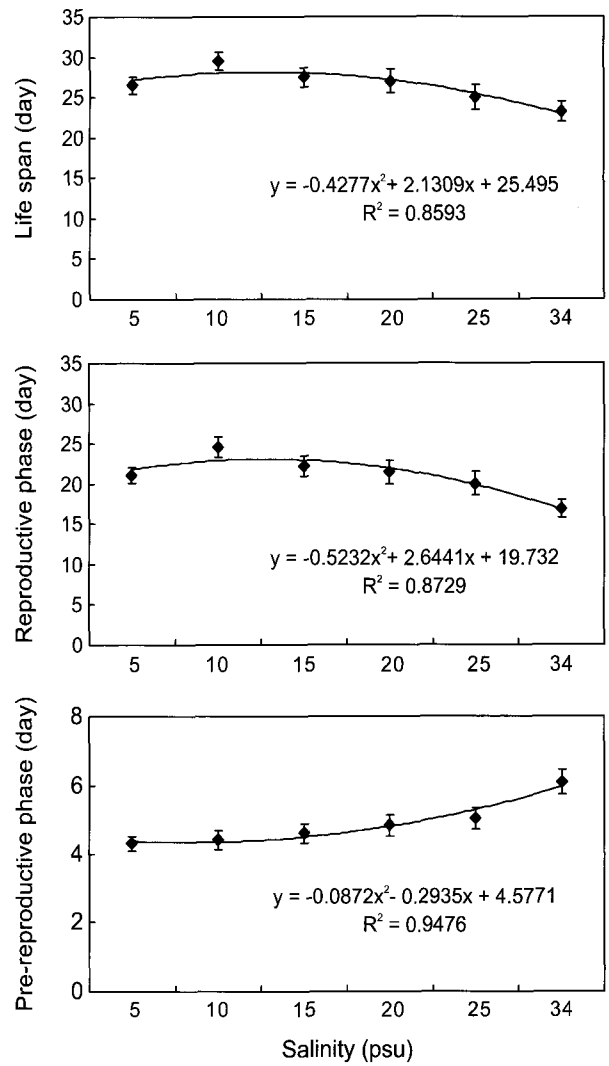


Fig. 3. Reproduction and life span of *D. celebensis* at the different salinities. Vertical bars represent standard errors.

결 과

*D. celebensis*의 최적 염분

염분에 따른 *D. celebensis*의 밀집배양에서 일일 개체밀도를 Fig. 1에 나타내었다. 최고밀도는 10 psu에서 배양 10일째 33.6 개체/mL로 유의적으로 가장 높게 나타났다 ( $P < 0.05$ ). 그러나 5 및 15 psu와의 유의적인 차이는 보이지 않았다 ( $P > 0.05$ ). 반면에 20, 25 및 34 psu 실험구는 각각 17.8, 18.1, 12.5개체/mL로 다른 실험구에 비해 유의적으로 낮게 나타났다 ( $P < 0.05$ ). 최고밀도까지의 개체성장률 ( $r$ )은 낮은 염분인 5 psu에서 0.40으로 가장 높게 나타났으나 ( $P < 0.05$ ), 염분이 증가할수록 낮아지는 경향을 보여 25 및 34 psu에서 유의적으로 가장 낮게 나타났다 ( $P < 0.05$ , Fig. 2).

한편, 염분별에 따른 개체배양에서 생식단계 및 수명은 Fig. 3에 나타내었다. 우선 첫 번째 유생을 산란하는 시기인 생식 전 단계는 염분이 낮을수록 유의적으로 단축되는 경향을 보여 5 및 10 psu에서 4.3일로 가장 빠른 산란을 하였으며, 34 psu는 6.1일로 가장 늦게 나타났다 ( $P < 0.05$ ). 순 생식 단계도 비교적 저염분의 실험구에서 높은 값을 보여 10 psu에서 24.6일로 유의적으로 가장 길게 나타났다 ( $P < 0.05$ ).

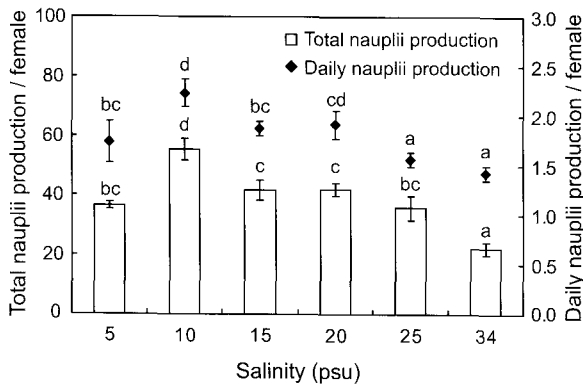


Fig. 4. Effects of salinity on the daily production and total production of nauplii of *D. celebensis* at 25°C. Vertical bars represent standard errors.

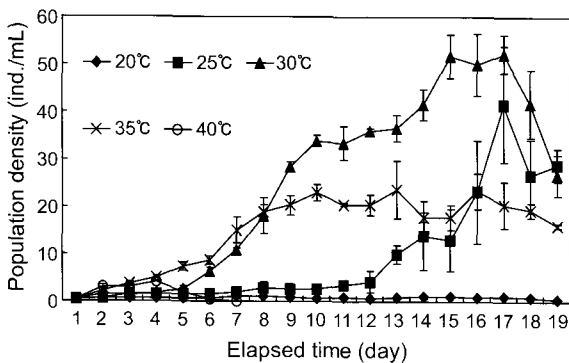


Fig. 5. Population growth of *D. celebensis* at the different temperatures. Vertical bars represent standard errors.

그러나 5 및 15 psu와의 유의적인 차이는 보이지 않았다 ( $P > 0.05$ ). 평균 수명은 10 psu에서 29.5일로 가장 긴 수명을 나타냈고, 34 psu에서 23.3일로 가장 빠른 폐사를 보여 염분이 낮을수록 긴 경향을 보였다 ( $P < 0.05$ ).

*D. celebensis* 성체의 암컷 당 총 산란수는 10 psu에서 평균 55.3개체로 가장 높게 나타났고, 그 뒤로 5, 15 및 20 psu가 유의적인 차이 없이 높게 나타났다( $P < 0.05$ , Fig. 4). 반면 높은 염분인 34 psu는 22.3개체로 유의적으로 가장 낮게 나타났다 ( $P < 0.05$ ). 또한 일간 산란수에 있어서도 10 psu에서 2.2개체로 가장 높은 값을 보인 반면 염분이 증가할수록 낮아지는 경향을 보여 34 psu에서 1.4개체로 가장 낮게 나타났다 ( $P < 0.05$ ).

*D. celebensis*의 최적 수온

수온에 따른 밀집배양에서 일일 개체밀도를 Fig. 5에 나타내었다. 최고밀도는 30°C에서 배양 17일째 52.3개체/mL로 유의적으로 가장 높게 나타났다 ( $P < 0.05$ ). 그러나 25°C와의 유의적인 차이는 나타나지 않았다 ( $P > 0.05$ ). 반면 20 및 40°C는 각각 1.1, 4.2개체/mL로 다른 실험구에 비해 유의적으로 낮게 나타났다 ( $P < 0.05$ ). 이러한 경향은 최고밀도까지의 개체성장률 ( $r$ )에서도 나타나 25 및 30°C에서 0.39로 가장 높게 나타난 반면 20 및 40°C는 가장 낮은 값을 보였다 ( $P < 0.05$ , Fig. 6).

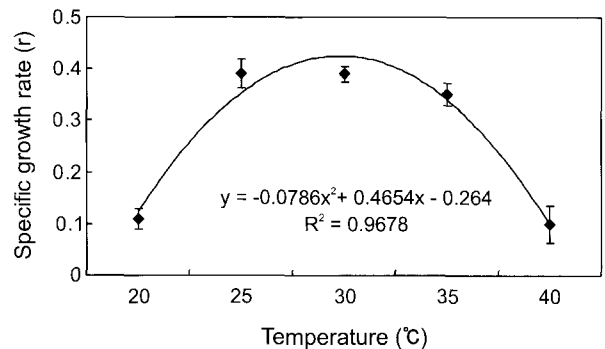


Fig. 6. Specific growth rate of *D. celebensis* at the different temperatures. Vertical bars represent standard errors.

수온별에 따른 *D. celebensis*의 개체배양에서 생식단계 및 수명은 Fig. 7에 나타내었다. 생식 전 단계는 수온이 높을수록 유의적으로 단축되는 경향을 보여 높은 온도인 35 및 40°C에서 2.5~2.6일로 가장 단시간에 산란을 하였다 ( $P < 0.05$ ). 반면에 20°C는 11.3일이 소요되어 가장 긴 시간이 지난 후 산란을 하였다. 순 생식 단계는 수온이 낮을수록 유의적으로 길어지는 경향을 보여 25°C에서 20.6일로 가장 길게 나타났다 ( $P < 0.05$ ). 그러나 20 및 30°C 실험구와의 유의적인 차이는 보이지 않았지만 40°C는 3.7일로 가장 낮은 값을 보였다. 평균 수명에 있어서도 20°C에서 29.7일로 가장 높은 수명을 보인 반면 수온이 증가할수록 낮아지는 경향을 보여 40°C 실험구에서는 가장 낮은 7.2일로 나타났다 ( $P < 0.05$ ).

암컷 당 총 산란수는 30°C에서 평균 46.3개체로 가장 높게 나타났고, 다음으로 25°C에서 유의적인 차이 없이 높게 나타

났다 ( $P < 0.05$ , Fig. 8). 그러나 가장 낮고 높은 실험구인 20 및 40°C에서는 각각 3.0, 3.8개체로 낮게 나타났다 ( $P < 0.05$ ). 또한 일간 산란수에 있어서도 30°C에서 2.7개체로 가장 높은 값을 보인 반면 수온이 가장 높고 낮은 20 및 40°C에서는 낮아지는 경향을 보였다 ( $P < 0.05$ ).

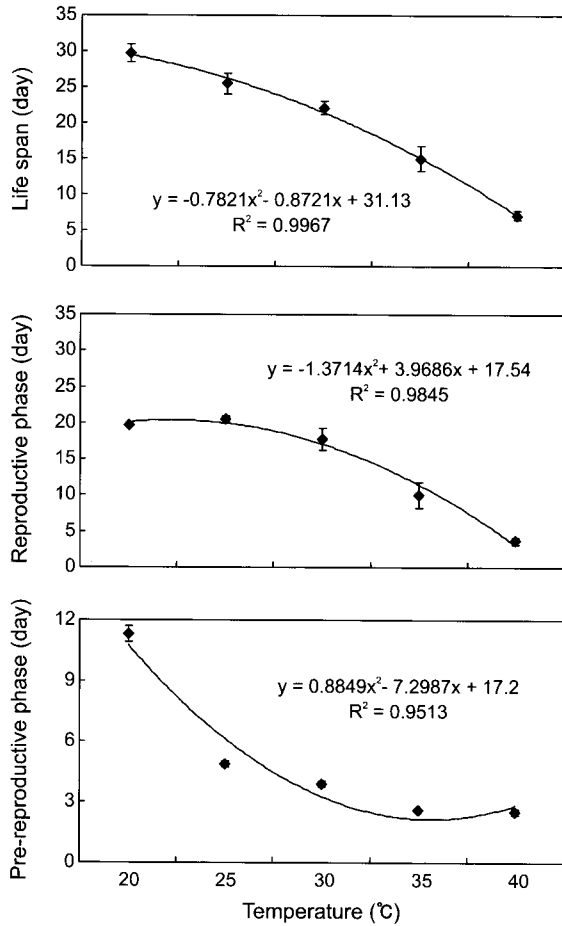


Fig. 7. Reproduction and life span of *D. celebensis* at the different temperatures. Vertical bars represent standard errors.

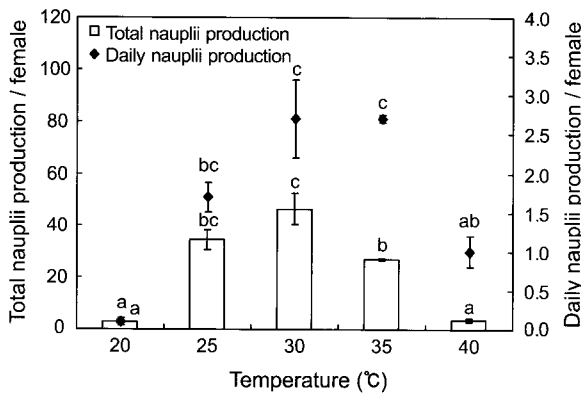


Fig. 8. Effects of temperature on the daily production and total production of nauplii of *D. celebensis* at 10 psu. Vertical bars represent standard errors.

### 고찰

본 연구의 염분별 밀집배양 실험을 수행한 결과, 5~34 psu에서 성장 및 생식이 가능한 *D. celebensis*는 광염성의 종이라 판단된다. 그러나 고염분인 34 psu에서 낮은 성장률을 보여 순수한 해수산 종은 아니며, 단지 염분에 대한 내성력이 강하다는 사실을 확인할 수 있었다. 이처럼 염분변화에 강한 것은 분포하는 서식지와 그 서식지의 환경에 적응하려는 생물의 반응 때문이라 판단된다. 기존 연구에 의하면, *D. celebensis* 종은 주로 기수역에서 서식하는 것으로 알려져 있으며 (Segawa and Yang, 1987; Achuthankutty et al., 2000), 이러한 기수역은 연중 염분변화의 폭이 매우 큰 특징을 가지고 있다. He et al. (2001)는 기수역에서 서식하는 동물플랑크톤들은 염분변화에 매우 강한 특징을 가지고 있으며, Grzesiuk and Mikulski (2006)와 Hebert et al. (2002)는 기수역과 같은 환경에서 서식하는 수중생물들은 삼투압 조절, 이온 조절 및 세포생리의 항상성을 유지하려는 능력을 가지고 있다고 언급하였다. 본 실험에서도 이러한 기수산 종의 특징 때문에 염분에 대한 내성력이 높아 34 psu에서도 성장 및 생식이 가능했던 것으로 판단되어진다.

한편, Segawa and Yang (1987)에 의하면, *D. aspinosum* (= *D. celebensis*) 종에게 있어 염분 상승은 포란율 및 산란율의 저하로 이어진다고 하였으며, Achuthankutty et al. (2000)도 염분 상승에 따라 생존율은 감소한다고 하였다. 또한 Hall and Burns (2002)의 *Daphnia carinata* 종은 염분이 증가할수록 성장률은 낮아지며, Baillieul et al. (1998)의 *Daphnia magna* 종도 높은 염분일수록 폐사율이 높다고 보고하였다. 본 염분별 밀집배양 실험에서도 비교적 낮은 염분구인 5, 10 및 15 psu에서 성장이 양호했던 반면 염분이 증가할수록 최고밀도 및 성장률은 유의적으로 낮아지는 경향을 보여 동일한 결과를 얻을 수 있었다. 이처럼 염분이 높아질 때 개체밀도 및 성장률이 낮아지는 것은 배양수 내 존재하는 이온의 영향과 그에 따른 요구량의 차이 때문이라 판단된다. Hall and Burns (2002)는 염분에 따라 칼슘 이온의 농도가 다르기 때문에 염분이 *D. carinata* 종의 성장과 생식에 영향을 준다고 보고하였으며, Aladin (1991)는 *Daphnia* 속의 종들은 염분에 의한 스트레스를 받게 되면 성장을 위한 필수 이온의 흡수율이 증가하기 때문에 이온의 요구량이 높아진다고 언급하였다. 또한 Martínez-Jerónimo and Espinosa-Chávez (2005)에 의하면, *Moina hutchinsoni* 종은 고염분에서 성장 및 생식력이 낮게 나타났는데 이는 염분이 높아질수록 염화 화합물의 이온이 증가하게 되며, 이로 인해 물벼룩이 스트레스를 받게 되어 성장에 필수 이온인 마그네슘 및 칼슘 등을 요구량만큼 충족시키지 못한 결과라 보고하였다. 본 실험에서도 이러한 영향들이 작용하여 염분이 증가할수록 개체의 성장이 낮아졌던 것으로 판단되어진다.

한편, 본 염분별 개체배양 실험에서 생식 전 단계는 염분이 낮아질수록 소요되는 시간이 단축되는 것으로 나타났으며, 그로 인해 낮은 염분에서의 순 생식 단계 기간이 높은 염분에 비해 긴 것으로 조사되었다. 이는 Achuthankutty et al. (2000)의

*D. celebensis* 종을 각각 5, 17, 25 및 30 psu 조건에서 행한 연구결과와 동일하게 나타난 것이다. 이러한 이유로는 낮은 염분에서의 먹이 섭취력이 높은 염분에서보다 높아 동화작용으로 얻게 되는 에너지를 성숙과 생식에 보다 효율적으로 이용했기 때문인 것으로 판단된다. Achuthankutty et al. (2000)는 본 종에게 먹이인 *Isochrysis galbana*를 공급하였는데 낮은 염분에서 장내 색소농도가 높게 나타나 먹이 섭취량이 높은 것을 확인하였으며, 또한 높은 염분에서는 스트레스에 의해 먹이 섭취량과 소화력이 저하되어 몸의 크기가 작아졌다고 보고하였다. 이는 결국 먹이를 통한 에너지의 이용성 차이가 생식과 성장에 영향을 주었기 때문인데 본 실험에서도 이러한 영향이 작용하여 고염분에서의 생식단계가 낮았던 것으로 판단되어진다.

한편, 염분이 증가할수록 총 산란수 및 평균 수명은 저하되는 경향을 보였다. 이는 *M. mongolica* (He et al., 2001), *D. aspinosum* (Segawa and Yang, 1987) 및 *D. celebensis* (Achuthankutty et al., 2000)의 실험결과와 유사하게 나타난 것이다. Grzesiuk and Mikulski (2006)에 의하면, 일반적으로 지각류는 염분이 높아질수록 삼투압 조절을 통한 생존에 에너지를 주로 소비하기 때문에 생식능력은 다소 저하된다고 보고하였다. 또한 Santangelo et al. (2008)의 *M. micrura* 종은 염분이 높아질수록 생리적 호르몬 자극에 부정적인 영향을 받는다고 언급하였다. 본 종도 염분이 높아질수록 생존에만 의존하려는 경향에 맞춰 성장과 생식에 관여하는 호르몬의 분비가 불균형을 이뤘기 때문에 산란수와 수명이 저염분에 비해 낮았던 것으로 판단되어진다. 아울러, 본 종의 최고 산란수는 10 psu에서 55.3개체로 나타났는데 이는 해산 지각류인 *Penilia avirostris* 보다도 최소 8배 정도 높은 것이며 (Segawa and Yang, 1987), 기수산 지각류 *M. mongolica*의 42.1개체 (He et al., 2001) 보다도 높은 것으로 나타났기 때문에 다른 지각류 종들보다도 대량배양의 가능성이 높은 종이라 할 수 있겠다.

이상의 염분에 따른 밀집 및 개체배양 실험을 통해 *D. celebensis*의 대량배양을 위한 염분 조건은 비교적 낮은 5~15 psu이나 그 중에서도 산란기간, 수명 및 산란수가 가장 높았던 10 psu가 최적 염분이라고 판단된다.

수온은 동물플랑크톤들의 생식 및 성장에 직접적으로 영향을 주는 환경인자이다 (Gordo et al., 1994). 일반적으로 수온이 증가할수록 동물플랑크톤의 생물학적인 반응에 긍정적인 영향을 미치게 되는데, 우선 개체간의 성장률이 증가하고 (Vijverberg, 1980), 배아 생성과 알의 발달에 관여하며 (Bottrell, 1975), 개체군의 성장률 증가 (Armitage et al., 1973) 등으로 이어지게 된다. 본 종의 수온별 밀집배양 실험에서도 이러한 영향이 작용하여 수온이 증가할수록 개체밀도 및 성장률은 높아지는 경향을 보였다. 또한 Khan and Khan (2008)에 의하면, *D. magna* 종은 수온이 증가함에 따라 운동성, 호흡계수 및 체액의 순환활동 등이 증가하여 에너지를 보다 많이 요구한다고 보고하였다. 그로 인해 물벼룩 체내에서는 세포 내 ATP 합성과 ATPase 효소에 의한 가수분해로 에너지를 보다 많이 얻으려는 신진대사작용이 진행하게 되는데, 이 때

수온 증가가 이러한 반응을 보다 촉진시킨다고 하였다. 본 실험에서도 수온에 따른 신진대사작용의 차이가 작용하였기 때문에 수온이 증가할수록 성장이 높았던 것으로 판단되어진다. 하지만 40℃의 고수온 실험구에서는 성장이 오히려 낮아지는 경향을 보였는데, 이는 성장 한계수온에 따른 영향 때문이라 판단된다. Shihab (1977)에 의하면, *M. micrura*의 생식능력이 떨어지는 성장 한계수온은 38℃ 이상이며, *M. mongolica* 종의 성장은 35℃까지 가능한 것으로 보고되고 있다(He et al., 2001). 또한 Gordo et al. (1994)도 *Moina salina* 종의 성장 한계수온을 적용하였는데, 30℃ 이상은 반치사 수온이며 비교적 저온인 15℃는 스트레스를 받아 성장과 생식에 문제가 생기는 수온구라 언급하였다. 본 실험에 사용된 *D. celebensis* 종도 비록 수온이 증가할수록 성장은 높아졌으나 40℃ 이상의 성장 한계수온에서는 높은 수온에 따른 스트레스, 유산된 알의 증가와 배아 형성의 저하 등이 원인으로 작용하여 성장이 낮아졌던 것으로 판단되어진다 (Vijverberg, 1980; Langeland et al., 1985; Gordo et al., 1994).

한편, 본 수온별 밀집배양에서 25 및 30℃ 실험구는 최고밀도를 보인 이후 급격히 개체가 감소하는 경향을 보였는데, 이는 수온이 높아지고 개체밀도가 지속적으로 증가함에 따른 일시적인 용존산소 (dissolved oxygen; DO)의 부족현상 때문이라 판단된다. 본 실험은 규모가 작은 1 L 비커에서 행해졌기 때문에 따로 폭기를 시켜주지 않았다. 그로 인해 용존산소의 영향이 작용한 것으로 사료되며, 앞으로 용존산소와 개체밀도 사이의 연관성에 대한 실험도 필요할 것으로 판단되어진다.

본 수온별 개체배양에서 생식 전 단계는 수온이 높아질수록 단축되는 경향을 보였다. 수온이 증가함에 따라 알의 생식과 발달 시간이 짧아지는 것은 다른 지각류에서도 동일하게 나타난 결과이다 (Bottrell, 1975; Anderson and Benke, 1994; Hall and Burns, 2002; Lemke and Benke, 2003; Marazzo and Valentin, 2003). 다만, 30℃ 조건하에서 본 종은 3.9일이 소요된 반면 다른 기수산 지각류인 *M. salina*, *M. mongolica* 및 *M. hutchinsoni* 종들은 각각 3.0, 3.4, 5.0일로 본 종과 다소 차이를 보였다 (Gordo et al., 1994; He et al., 2001). 이는 *Moina* 및 *Diaphanosoma* 속에 따른 종의 특성이 서로 달랐기 때문인 것으로 판단된다. 또한 본 개체배양 실험에서 수온이 증가할수록 순 생식 단계와 평균 수명은 짧아지는 경향을 보였는데, 이는 다른 연구결과와 유사하게 나타난 것이다 (Gordo et al., 1994; Martínez-Jerónimo et al., 2004). 하지만 다른 지각류들과 비교했을 때 다소 값에 차이를 보였는데 이는 종간 특성도 있겠지만 서로 다른 먹이종류와 그에 따른 공급량의 차이가 작용한 결과라고 판단된다. 먹이의 질과 양은 개체의 생식과 생존에 절대적인 영향을 미치기 때문이다 (Ferrão-Filho et al., 2003; Fileto et al., 2004).

한편, 본 개체배양 실험에서 성장 한계수온인 40℃를 제외 하곤 수온이 증가할수록 평균 산란수가 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 이유는 높은 온도에 따른 체내 기작에서 생식 에너지의 이용성이 보다 높았기 때문인 것으로 판단된다 (Benider et al., 2002). 또한 30℃를 기준으로 할 때 *M.*

*mongolica*의 평균 산란수와 수명은 각각 10.1개체, 4.4일 (He et al., 2001)이었으며, *M. salina*는 26.6개체, 10.9일 (Gordo et al., 1994)로 본 종의 40.0개체와 16.2일에 비해 낮은 산란수를 보여 *D. celebensis* 종은 다른 지각류와 비교할 때 대량배양의 가능성이 높은 종이라고 판단된다.

이상의 수온에 따른 본 실험을 통해, 기수산 물벼룩인 *D. celebensis*의 대량배양을 위한 수온 조건은 25~30℃이나 그 중에서도 세대교번이 빠르고 산란수가 가장 높았던 30℃가 최적 수온이라 판단된다.

따라서 본 연구를 종합하여 볼 때, 지금까지 해산어 종묘생산 시 *Artemia*의 대체 먹이생물로 가장 많이 이용되고 있는 담수산 지각류, *Moina macrocopa*는 대량배양이 가능함에도 불구하고 15 psu에서는 전량 폐사가 일어나는 약한 염분 내성력 때문에 그 동안 해산 양식산업에서 제한적으로 사용될 수밖에 없었다 (Jung et al., 2001). 그러나 본 실험에 이용된 *D. celebensis* 종은 5~34 psu까지 성장이 가능한 것으로 나타나 광범위한 염분 내성력의 장점을 지니고 있으며, 또한 다른 *Diaphanosoma* 속의 종들보다도 증식속도가 20% 이상 빠른 것 (Segawa and Yang, 1990)으로 알려져 있기 때문에 평균 산란수가 다른 기수산 및 해수산 지각류보다 높아 해산 종묘생산을 위한 먹이생물로써 그 이용 가능성이 높을 것으로 판단된다.

## 사 사

본 연구는 2009년도 강릉원주대학교 기성회 학술연구조성비 지원에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

- Achuthankutty CT, Shrivastava Y, Mahambre GG, Goswami SC and Madhupratap M. 2000. Parthenogenetic reproduction of *Diaphanosoma celebensis* (Crustacea: Cladocera): influence of salinity on feeding, survival, growth and neonate production. *Mar Biol* 137, 19-22.
- Aladin NV. 1991. Salinity tolerance and morphology of the osmoregulation organs in Cladocera with special reference to Cladocera from the Aral sea. *Hydrobiologia* 225, 291-299.
- Anderson DH and Benke AC. 1994. Growth and reproduction of the Cladoceran *Ceriodaphnia dubia* from a forested floodplain swamp. *Limnol Oceanogr* 39, 1517-1527.
- Aravind NP, Sheeba P, Nair KKC and Achuthankutty CT. 2007. Life history and population dynamics of an estuarine amphipod, *Eriopisa chilkinsis* Chilton. *Estuarine Coastal and Shelf Sci* 74, 87-95.
- Armitage KB, Saxena B and Angino EE. 1973. Population dynamics of pond zooplankton 1. *Diaptomus pallidus* Herrick. *Hydrobiologia* 42, 295-333.
- Baillieux M, De Wachter B and Blust R. 1998. Effects of salinity on the swimming velocity of the water flea *Daphnia magna*. *Physiol Zool* 71, 703-707.
- Benider A, Tifnoui A and Pourriot R. 2002. Growth of *Moina macrocopa* (Straus 1820) (Crustacea, Cladocera): influence of trophic conditions, population density and temperature. *Hydrobiologia* 468, 1-11.
- Bottrell HH. 1975. The relationship between temperature and duration of egg development in some epiphytic Cladocera and Copepoda from the River Thames, Reading, with a discussion of temperature functions. *Oecologia* 18, 63-84.
- Chen FY, Chow M, Chao TM and Lim R. 1977. Artificial spawning and larval rearing of the grouper, *Epinephelus tauvina* (Forsk.) in Singapore. *Singapore J Prim Ind* 5, 1-21.
- de la Peña MR, Fermin AC and Lojera DP. 1998. Partial replacement of *Artemia* sp. by the brackishwater cladoceran, *Diaphanosoma celebensis* (stingelin) in the larval rearing of sea bass, *Lates calcarifer* (bloch). *Isr J Aquat Bamidgeh* 50, 25-32.
- Ducan DB. 1955. Multiple-range and multiple F tests. *Biometrics* 11, 1-42.
- Ferrão-Filho AS, Arcifa MS and Fileto C. 2003. Resource limitation and food quality for Cladocerans in a tropical Brazilian lake. *Hydrobiologia* 491, 201-210.
- Fileto C, Arcifa MS, Ferrão-Filho AS and Silva LHS. 2004. Influence of phytoplankton fractions on growth and reproduction of tropical cladocerans. *Aquat Ecol* 38, 503-514.
- Ganzon-Naret ES and Fermin AC. 1994. Effect of delayed feeding of *Artemia salina* and partial replacement by *Moina macrocopa* on growth and survival of sea bass, *Lates calcarifer* (Bloch), larvae. *Isr J Aquat Bamidgeh* 46, 48-52.
- Gordo T, Lubián LM and Cañavate JP. 1994. Influence of temperature on growth, reproduction and longevity of *Moina salina* Daday, 1988 (Cladocera, Moinidae). *J Plankton Res* 16, 1513-1523.
- Grzesiuk M and Mikulski A. 2006. The effect of salinity on freshwater crustaceans. *Pol J Ecol* 54, 669-674.
- Hall CJ and Burns CW. 2002. Mortality and growth response of *Daphnia carinata* to increases in temperature and salinity. *Freshwater Bio.* 47, 451-458.
- He ZH, Qin JG, Wang Y, Jiang H and Wen Z. 2001. Biology of *Moina mongolica* (Moinidae, Cladocera) and perspective as live food for marine fish larvae review. *Hydrobiologia* 457, 25-37.
- Hebert PD, Remigio EA, Colbourne JK, Taylor DJ and

- Wilson CC. 2002. Accelerated molecular evolution in halophilic crustaceans. *Evolution* 56, 909-926.
- Innes DJ. 1997. Sexual reproduction of *Daphnia pulex* in a temporary habitat. *Oecologia* 111, 53-60.
- Jung MM, Kim HS, Rho S, Hur SI, Yoon YS and Kim JW. 2001. Survival and growth responses on jumping of the each saline concentrations of freshwater Cladoceran *Moina macrocopa* and estuarine Cladoceran *Diaphanosoma celebensis*. *J Kor Fish Soc* 34, 697-704.
- Khan MAQ and Khan MA. 2008. Effect of temperature on water flea *Daphnia magna* (Crustacea: Cladocera). *Nature Precedings*. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10101/npre.2008.1909.1>.
- Korovchinsky NM. 1989. Redescription of *Diaphanosoma celebensis* Stingelin, 1900 (Crustacea, Cladocera). *Hydrobiologia* 184, 7-22.
- Korovchinsky NM. 1993. New records of *Diaphanosoma celebensis* Stingelin, 1900 (Crustacea: Daphniiformes: Sididae) in tropical Asia with remarks on the morphological variability and biology of the species. *Rev Hydrobiol Trop* 26, 119-125.
- Langeland A, Koksvik JI and Olsen Y. 1985. Postembryonic development and growth rates of *Daphnia pulex* de Geer and *Daphnia galeata* Sars under food conditions. *Verh Int Verein Limnol* 22, 3124-3130.
- Lee KW, Kwon ON and Park HG. 2005. Effects of temperature, salinity and diet on the productivity of the cyclopoid copepod, *Apocyclops royi*. *J Aquacult* 18, 52-59.
- Lemke AM and Benke AC. 2003. Growth and reproduction of three Cladoceran species from a small wetland in the south-eastern U.S.A. *Freshwater Biol* 48, 589-603.
- Marazzo A and Valentin JL. 2003. Population parameters of *Pleopis polyphemoides* (Crustacea, Cladocera) in a tropical bay. *Estuarine, Coastal and Shelf Sci* 57, 1015-1021.
- Martínez-Jerónimo F and Espinosa-Chávez F. 2005. Notes on the reproduction and survival of *Moina hutchinsoni* Brehm, 1937 (Moinidae: Anomopoda) grown in media of varying salinity. *Aquat Ecol* 39, 113-118.
- Martínez-Jerónimo F, Elías-Gutiérrez M and Suárez-Morales E. 2004. A redescription of *Moina hutchinsoni* Brehm, a rare cladoceran (Branchiopoda: Anomopoda) found in remnants of a Mexican saline lake, with notes on its life history. *J Crustacean Biol* 24, 232-245.
- Nakamoto T, Maruyama I, Kimura H, Inada Y and Hagiwara A. 2008. Two cladoceran species *Moina macrocopa* and *Diaphanosoma celebensis*, as live feed for larval prawn, *Penaeus japonicus*. *Suisan Zoshoku* 56, 31-36.
- Rico-Martínez R and Dodson SI. 1992. Culture of the rotifer, *Brachionus calyciflorus* Pallas. *Aquaculture* 105, 191-199.
- Santangelo JM, Bozelli RL, Rocha ADM and Esteves FDA. 2008. Effects of slight salinity increases on *Moina micrura* (Cladocera) populations: field and laboratory observations. *Ma Freshwater Res* 59, 808-816.
- Schipp GR, Bosmans JMP and Marshall AJ. 1999. A method for hatchery culture of tropical calanoid copepods, *Acartia* spp.. *Aquaculture* 174, 81-88.
- Segawa S and Yang WT. 1987. Reproduction of an estuarine *Diaphanosoma aspinosum* (Branchiopoda: Cladocera) under different salinities. *Bull Plankton Soc Japan* 34, 43-51.
- Segawa S and Yang WT. 1990. Growth, moult, reproduction and filtering rate of an estuarine cladoceran, *Diaphanosoma celebensis* in laboratory culture. *Bull Plankton Soc Japan* 37, 145-155.
- Shihab AF. 1977. The effects of some environmental factors on the growth, reproduction and longevity of the water flea *Moina micrura* Kurz (1874) (Crustacea: Cladocera). MSc. Thesis, College of Science, University of Baghdad, Baghdad, Iraq, 25.
- Støttrup JG and Norsker NH. 1997. Production and use of copepods in marine fish larviculture. *Aquaculture* 155, 231-247.
- Sudo H and Azeta M. 1996. Life history and production of the amphipod *Byblis japonicus* Dahl (Gammaridea: Ampeliscidae) in a warm temperate zone habitat, Shijiki Bay, Japan. *J Exp Mar Biol Ecol* 198, 203-222.
- Vijverberg J. 1980. Effect of temperature in laboratory studies on development and growth of Cladocera and Copepoda from Tjeukemeer, the Netherlands. *Freshwater Biol* 10, 317-340.

---

2010년 2월 5일 접수

2010년 4월 5일 수정

2010년 4월 19일 수리