

Paracyclopsina nana (Crustacea, Cyclopoida)의 생존, 개체발생 및 생산력에 관한 조도의 영향: 실험실내 배양

이균우 · 강정훈* · 박흥기¹

한국해양연구원 남해특성연구부, ¹강릉원주대학교 해양생명공학부

Effect of Light Intensity on Survival, Growth and Productivity of the Cyclopoid Copepod *Paracyclopsina nana*: A Laboratory Study

Kyun-Woo Lee, Jung-Hoon Kang* and Heum Gi Park¹

South Sea Environment Research Department, South Sea Branch, KORDI, Geoje 656-830, Korea

¹Faculty of Marine Bioscience and Technology, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 210-702, Korea

To determine the optimum light intensity for mass culture of the brackish-water cyclopoid copepod *Paracyclopsina nana*, survival, growth, and productivity of the copepod were examined at several light intensities (0, 10, 100, 500, 1,000 lx). The survival rate of *P. nana* from nauplius to adult decreased with increasing light intensity. The highest survival rate was found under the dark condition, with 61.7% surviving; no significant difference was observed between 0 and 10 lx (51.7%) and the lowest survival rate was with 100 lx (26.7%). Survival rates at 500 and 1,000 lx were significantly lower in comparison with other conditions. The developmental period from nauplius to copepodid (5.8 days) and to adult (11.8 days) at 10 lx was significantly shorter than in the other treatments. Daily mean nauplius production of adult females over 7 days at 0, 10 and 100 lx was significantly higher than at 500 and 1,000 lx. In the 1,000 lx treatment, 99% of the adult females died on the 14th day. The optimum light intensity for the mass culture of *P. nana* could be 10 lx, which had no adverse effects on survival, development, or reproduction.

Key words: Copepod, *Paracyclopsina nana*, Light intensity

서 론

해산어 종묘생산에서 요각류는 최적의 초기먹이생물로 인식 되어 세계적으로 이들의 대량생산을 위한 많은 연구가 진행되어 왔지만 고밀도 배양방법의 미개발과 고밀도배양이 가능한 요각류의 미확보로 아직까지 상업적 규모로의 안정적 대량생산에는 한계를 보이고 있다(Zillioux, 1969; Støttrup et al., 1986; Ohno and Okamura, 1988; Ohno et al., 1990; Sun and Fleeger, 1995; Støttrup and Norsker, 1997; Schipp et al., 1999; Lipman et al., 2001; Payne and Rippingale, 2001). 따라서 배양효율을 높이기 위한 지속적인 연구가 요구되는 실정이다.

일반적으로 요각류의 배양 시, 빛은 민감하게 고려되어야 할 환경요인으로 알려져 있다. UVB가 포함된 빛은 다른 동물 플랑크톤을 비롯하여 요각류도 해로운 영향을 받는다. *Acartia omani*의 경우, UVB는 먹이섭식, 난생산 및 난의 부화를 저해하며, 이 악영향은 요각류의 발달단계가 높을수록 그 영향을 덜 받는 것으로 알려져 있다(Lacuna and Uye, 2000). Matsudaira (1957)는 직사광선이 모든 *Sinocalanus tenellus*의 폐사를 가져오고 암흑 상태에서는 이 동물의 번식에 장애가 나타나는 것을 확인

하였다. 직사광선의 이러한 유해성 때문에 최근 실험실에서의 요각류 배양 시, 대부분 낮은 조도에서 실시되었다. 예를 들어, Jacobs (1961)과 Ban (1992)는 *Pseudodiaptomus coronatus*와 *Eurytemora affinis*를 각각 조도 200-300 ft-c (18.6-27.9 lx)와 60 lx에서 배양하였고, Halcrow (1963)는 *Calanus finmarchicus*의 배양 시 부드러운 인공 빛(subdued artificial light)을 사용하였으며, Mullin and Brooks (1967)는 *Calanus helgolandicus*와 *Rhincalanus nasutus*의 배양 시, 반암(semi-darkness) 상태를 유지하여 배양한 바 있다. 이와는 반대로, Person-Le Ruyet (1975)는 *Centropages* sp. 및 *Temora* sp.의 배양을 위해 1,000-1,200 lx, Zillioux (1969)는 *Acartia clausi* 및 *A. tonsa*의 배양에서 1,500 lx, Chang and Lei (1993)는 *Apocyclops royi*의 배양에서 600 lx의 비교적 높은 조도에서 배양한 바 있다. 이렇듯, 요각류 배양을 위해 종에 따라 여러 조도를 사용하였지만 정작 요각류의 배양을 위한 최적조도를 실험적으로 규명한 연구는 예상외로 찾기가 쉽지 않다.

한편, 우리나라의 기수지역에 주로 분포하는 요각류인 *Paracyclopsina nana*는 대부분 부유성이고 수괴전체에 고루 분포하는 습성을 가지며 비교적 고밀도 배양이 가능한 종으로 알려져 있다(Lee et al., 2006). 또한, 넙치자어의 초기먹이생물로서 공급시, 자어의 성장률, 생존율 및 변태율을 증가시키고 백화율 또

*Corresponding author: jhkang@kordi.re.kr

한 감소시키는 것으로 보고되어 먹이생물로써의 우수성이 확인된 바 있다(Kwon et al., 2008).

본 연구는 고밀도배양의 잠재성이 있는 기수산 요각류 *P. nana*의 효율적인 대량생산을 위한 적정 배양조건을 규명하기 위해 실시되었다.

재료 및 방법

*Paracyclopsina nana*의 성체 암컷의 생산력 및 생존율

*P. nana*의 성체 암컷의 nauplius 생산력 및 생존율조사는 실험구로 비이커 표면 조도 0, 10, 100, 500, 1,000 lx에서 각각 3회씩 실시하였다. 수온 24℃로 유지되는 incubator에서 100, 500, 1,000 lx 실험구의 비이커 내부 표면조도는 형광등 개수, 형광등과의 거리를 달리하여 조정하였고 10 lx 실험구의 경우는 형광등 앞에 차광막을 설치하여 조도를 조절하였다. 또한 0 lx 실험구는 알루미늄호일을 사용하여 빛을 완전히 차단시켜 0 lx를 유지하였다. 각 실험구의 비이커 내부의 표면조도 측정은 조도계(DX-100, INS Enterprise, Taiwan)를 사용하여 이루어졌다. 250 mL 비이커(배양수 100 mL)에 갓 포란한 암컷 100 개체를 수용하여 14일 동안 염분 15 psu에서 먹이로 *Tetraselmis suecica*를 성체암컷 당 20,000 cells로 공급하면서 광주기 12L:12D 조건하에서 배양하였다. 매일 용기 바닥에 가라앉은 폐사한 암컷을 스포이드를 사용하여 분리·기록함과 동시에 암컷으로부터 생산된 nauplius를 120 μm sieve를 사용하여 분리한 다음 계수하였고 분리된 암컷은 새 배양수가 담긴 250 mL 비이커에 다시 수용하였다.

Paracyclopsina nana nauplius의 개체발생과 성체까지의 생존율

P. nana nauplius의 개체발생과 성체까지의 생존율 조사에서 실험조건은 위의 조건과 동일하였고, 250 mL 비이커(배양수 200 mL)에 부화 후 24시간이 경과하지 않은 nauplius I-II 기를 10 개체/mL로 수용하여 nauplius기에서 성체가 될 때까지 염분 15 psu, 수온 24℃에서 먹이로 *Tetraselmis suecica*를 5000 cells/nauplius로 공급하면서 15일 동안 배양하였다. 배양수는 3일마다 전량 환수하였으며, 매일 1 mL 배양수를 취하여 10% 포르말린 1 방울을 떨어뜨려 nauplius의 각 발생단계별 개체수를 입체현미경하에서 구분·계수하였다. *P. nana*의 발생단계별 기간(day)은 실험구내의 요각류가 각 발생단계에 50%까지 도달했을 때의 기간으로 나타내었다(Landry, 1983; Peterson and Painting, 1990).

통계 분석

결과는 SPSS (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) program (Ver. 17.0)을 사용하여 통계 분석을 하였다. Nauplius의 성체까지의 생존율, 발생단계별 기간, 성체암컷의 nauplius 생산수 및 생존율 결과에 대해 One-way ANOVA test를 실시하였으며, 평균간

의 유의성($P < 0.05$)은 Turkey's multiple comparison test로 검정하였다.

결 과

조도에 따른 *P. nana*의 nauplius에서 성체까지의 생존율은 모든 실험구에서 시간이 경과함에 따라 감소하는 경향을 보였으며 100, 500 및 1,000 lx 실험구는 배양 9일째 nauplius의 생존율이 급격하게 감소하였고 500 lx와 1,000 lx 실험구는 15일째 대부분 폐사하였다(Fig. 1A). Nauplius의 성체까지의 최종생존율은 조도가 높을수록 낮아지는 경향을 보여 0 lx와 10 lx가 각각 61.7%와 51.7%로 가장 높은 생존을 보였으며($P < 0.001$), 다음으로 100 lx가 26.7%였다. 500 lx와 1,000 lx에서의 생존율

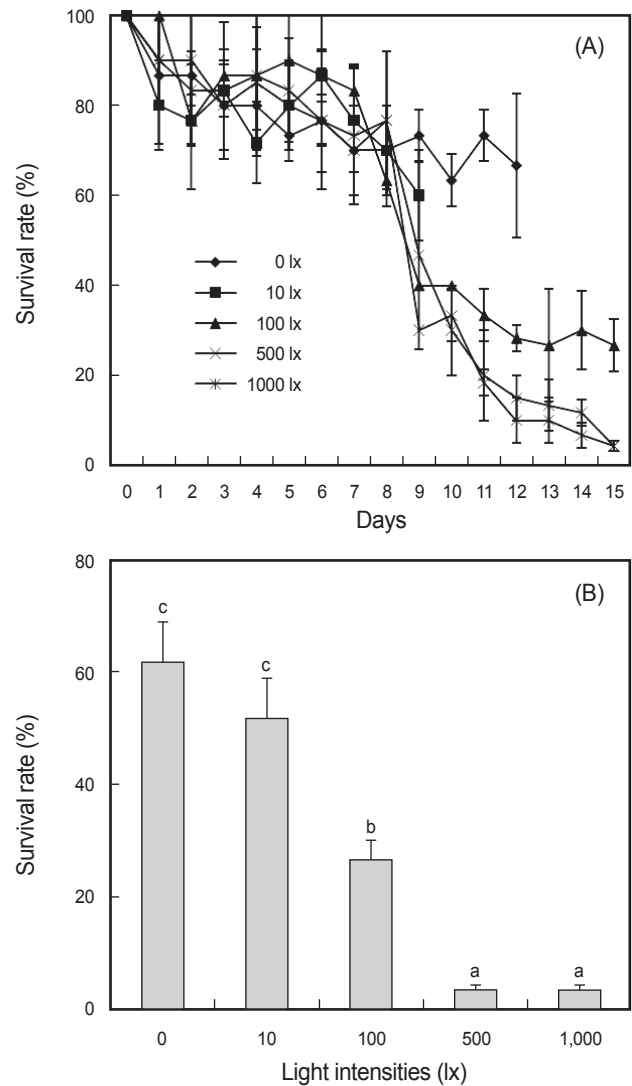


Fig. 1. Changes of survival rate of *Paracyclopsina nana* from nauplii to adults (A) and final survival rate from nauplii to adults (B) at different light intensities.

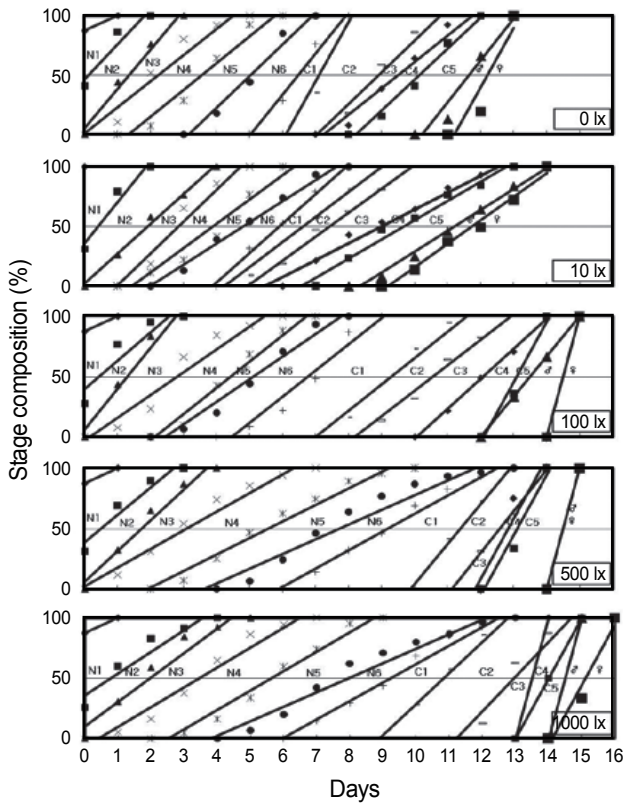


Fig. 2. Developmental stage composition (cumulative percentage of the population having completed a given development stage versus time) of *Paracyclopsina nana* from nauplii to adults at different light intensities.

은 모두 3.3%로 다른 실험구에 비해 매우 낮은 생존율을 보였다 ($P < 0.001$; Fig. 1B).

배양시간에 따른 *P. nana*의 각 발달단계별 누적백분율을 Fig. 2에 나타내었다. *P. nana*의 nauplius기간(실험구당 전체 요각류의 50%가 copepod으로 변화하는데 까지 걸린 시간)은 10 lx 실험구가 평균(± 표준오차) 5.8 ± 0.54 일로 가장 짧게 나타났으며 0 및 100 lx 실험구와는 통계적 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$). 그러나 500 및 1,000 lx에서는 각각 9.3 ± 0.22 및 9.4 ± 0.56 일로 0, 10, 100 lx 실험구에 비해 유의적으로 긴 발달기간을 보였다($P < 0.05$). 성체암컷까지의 발달기간(실험구당 전체 요각류의 50%가 포란할 때까지 걸린 시간)은 10 lx 실험구가 11.8 ± 0.76 일로 가장 빠른 발달을 보였고 다음으로 0 lx 실험구가 12.3 ± 0.11 일로 나타났으며 100, 500 및 1,000 lx 실험구는 각각 14.4 ± 0.13 , 14.5 ± 0.00 , 14.8 ± 0.33 일로 나타나 0 및 10 lx 실험구와 유의적인 차이를 보였다($P < 0.05$).

조도에 따른 암컷의 nauplius 생산은 배양 시간이 경과함에 따라 감소하는 경향을 보였고 500 lx와 1,000 lx 실험구는 배양 3일째 부터 0, 10 및 100 lx 실험구에 비해 nauplius 생산력이 낮은 경향을 보였다(Fig. 3A). 배양 7일 동안의 암컷의 일일 평균 nauplius 생산을 비교하였을 때, 0, 10 및 100 lx 실험구는 암

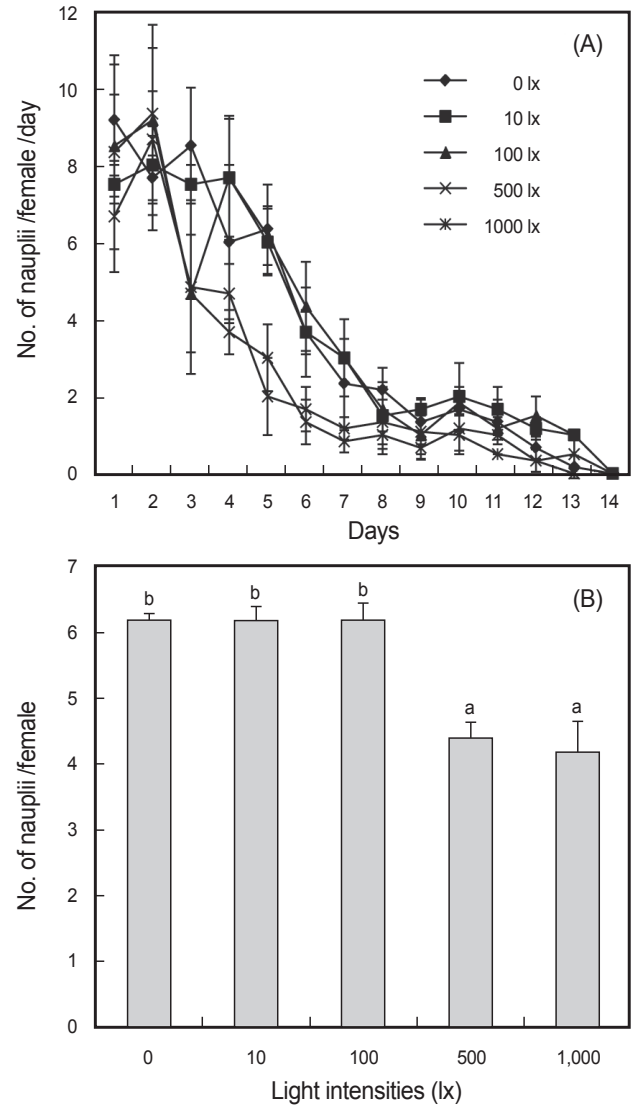


Fig. 3. Changes in daily nauplii production of an adult female for 14 days (A) and daily mean nauplii production of an adult female for seven days (B) of *Paracyclopsina nana* exposed at different light intensities.

컷 1 개체 당 일일 평균 6.2 개체를 생산하여 500, 1,000 lx 실험구 각각 4.4, 4.2 개체보다 유의적으로 높은 생산성을 보였다 ($P < 0.001$; Fig. 3B).

성체암컷의 생존율은 모든 실험구가 배양 11일째까지 서서히 감소하다가 배양 12일과 13일부터 급격히 감소하였으며 1,000 lx 실험구는 14일째 생존율 1%로 대부분 폐사하였다(Fig. 4).

고찰

강한 태양광선은 요각류에게 유해한 것으로 알려져 있고 실제로 자연에서 요각류는 낮에는 음의 주광성을 보이다 밤에는

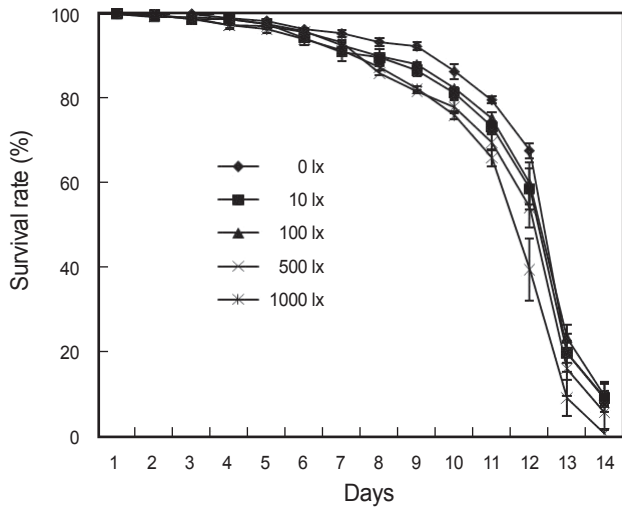


Fig. 4. Changes in survival rate of adult female of *Paracyclops nana* exposed at different light intensities for 14 days.

양의 주광성을 보인다(Dussart and Defaye, 2001). 이러한 습성은 배양된 요각류의 수확 시 유용하게 이용된다. 예를 들어 양의 주광성을 가지는 *Gladioferens imparipes*와 *Tisbe holothuriae*의 nauplius는 배양 후 간편한 수확을 위해 수확직전 수조 위에 전등을 켜서 모은 다음 수확 되어진다(Støttrup and Norsker, 1997; Payne and Rippingale, 2001). 또한 *Acartia clausi*와 *A. tonsa*의 배양에서도 마찬가지로 배양수조 상부의 전등조사에 의해 수조 윗부분 한쪽 구석에 요각류가 모이고 또 이러한 현상을 이용하여 쉽게 수확이 가능한 것으로 보고 된 바 있다(Zillioux, 1969). 그러나 *P. nana*의 경우, 실험실내에서의 전등에 의한 약한 음의 주광성을 관찰할 수 있었지만 배양 후 수확을 위한 밀집현상은 보이지 않았다. 이처럼, 요각류는 태양이 아닌 인위적인 빛에 의해 종에 따라 다양하게 반응하며 이러한 특성은 배양시에 유용하게 이용될 수 있다. 따라서 요각류가 선호하는 조도는 종에 따라 다양할 수 있으며 요각류의 배양시에 영향을 미치는 외부환경요인으로 조도는 요각류의 생산에 크게 영향을 미칠 수 있다.

해산요각류는 낮보다는 주로 밤에 먹이를 섭취한다(Boyd et al., 1980; Hayward, 1980). 북극 요각류 *Calanus hyperboreus*와 *C. glacialis*는 조도가 4 W/m^2 이하에서 주로 먹이섭식이 이루어지고 아침이 되면 먹이를 거의 섭취하지 않는다(Head et al., 1985). 본 실험에서 *P. nana*의 개체발생시간은 높은 조도에 비해 낮은 조도에서 유의적으로 짧게 나타나 고조도 조건은 *P. nana*의 개체발생에 악영향을 미치며 이는 불충분한 먹이섭식의 결과일 수 있다. 결과적으로 *P. nana*의 최적 개체발생을 위한 조도범위는 10 lx 이하로 판단할 수 있다. Li et al. (2008)은 배양수조 내에서 조도 증가에 의한 조류의 광합성 촉진과 용존산소의 증가로 인해 요각류의 먹이섭식을 자극시킬 수 있으나 한계치를 넘는 조도조건은 요각류의 정상적인 생리기능의 손상을 유발하여 먹이섭식률을 감소시키는 것으로 보고하였다. Li et al. (2008)의

연구에서 조도가 $20\text{-}200 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ (약 1,480-14,800 lx)의 범위에서 calanoid 요각류 *Schmackeria dubia*의 먹이섭식률이 높게 나타났고 그 이상의 조도에서는 감소하는 것으로 나타났으며 가장 낮았던 약 148 lx에서는 먹이를 거의 섭취하지 않는 것으로 나타났다. 또한 Camus and Zeng (2008)은 *Acartia sinjiensis*의 배양연구에서 암흑상태에서 빛에 노출된 실험구에 비해 긴 개체발생기간을 보였기 때문에 이들의 대량배양을 위해서 빛 노출은 필수불가결한 요인으로 보고하였다. 이러한 조도조건은 본 실험에서의 *P. nana*의 최적 생존과 발달을 위한 조도범위에 비해 상반되게 높은 것을 알 수 있다.

Nauplius에서 copepodid기까지의 변태기간과 암컷이 포란하기까지의 개체발생기간은 암흑상태(0 lx)보다 10 lx에서 더 짧게 나타났다. 이러한 이유는 먹이를 포획하기 위한 시야확보의 용이성으로 인해 더 많은 먹이를 섭취할 수 있었기 때문인 것으로 판단된다(Diéguéz and Gilbert, 2003). 따라서 nauplius의 배양 시, 암흑조건 보다는 10 lx 이하의 낮은 조도를 유지하여 배양하는 것이 가장 유리할 것으로 판단된다.

본 실험에서 조도는 *P. nana*의 nauplius 생산에 영향을 미쳤고 100 lx 이하의 낮은 조도가 그 이상의 조도에 비해 높은 nauplius 생산을 보이는 것으로 나타났다. 이에 반해, harpacticoid 요각류 *Tigriopus japonicus*는 조도 3,000 lx의 고조도 조건에서 가장 높은 nauplius 생산을 보이는 것으로 알려져 있다(Park and Hur, 1993). 또한 지금까지 보고된 연구에서, 요각류 nauplius 생산을 위해 사용된 배양조도가 calanoid 요각류 *Centropages* sp. 및 *Temora* sp. 경우 1,000-1,200 lx (Person-Le Ruyet, 1975), *Acartia clausi*, *A. tonsa* 및 *A. sinjiensis*는 각각 1,500, 1,875 및 1,250 lx (Zillioux, 1969; Støttrup et al., 1986; Camus and Zeng, 2008), *Pseudocalanus* sp.는 1,350 lx (Davis, 1983)였으며 cyclopoid 요각류 *Apocyclops royi*는 600 lx (Chang and Lei, 1993)로 본 실험에서의 *P. nana*에 비해 비교적 고조도 조건이다. 비록 요각류의 배양을 위한 최적조도규명연구는 거의 전무한 실정이지만, 위 연구들에서 사용된 조도는 최소한 악영향을 미치는 조도범위가 아니라는 것은 각 연구의 긍정적인 nauplius 생산 결과를 미루어 봤을 때 예상이 가능하다. 따라서 *P. nana*는 다른 요각류에 비해 특이적으로 고조도 조건에 매우 민감한 중임을 알 수 있다.

조도에 대한 nauplius-copepodid기와 성체암컷의 민감도 측면에서, nauplius-copepodid기의 경우 성체까지의 생존이 100 lx에서 악영향을 받는 것으로 나타났지만 성체 암컷의 경우 nauplius 생산력이 100 lx에서도 더 낮은 조도와 nauplius 생산수에 있어 차이를 보이지 않았고 조도에 따른 생존율도 유의적으로 영향을 받지 않는 것으로 나타나 nauplius 보다 성체가 100 lx 이상의 조도에 더 강한 것으로 판단된다.

한편, 본 실험에서 강한 조도가 *P. nana*의 성장과 번식에 미치는 여러 가지 악영향의 요인으로 조도 자체의 영향 이외에 조도에 의한 먹이생물 즉 *T. suecica*의 양적 및 질적인 변화에 의한 영향을 예상할 수 있다. 그러나 본 실험에서 사용한 최고 조도인

1,000 lx 이상의 조도, 심지어 약 30,000 lx에서도 *T. suecica*는 성장에 악영향을 받지 않는 것으로 알려져 있어(Borghini et al., 2009) 고조도 조건에서 먹이의 부족으로 인한 개체발생의 지연 효과는 배제할 수 있다. 질적인 측면으로, 조도의 증가에 의한 *T. suecica*의 생화학적 조성의 변화를 예상할 수 있는데, 조도의 증가에 의해 *T. suecica*가 영양성분이 급격히 감소되거나 독성물질을 생성한다는 보고는 현재까지 찾기가 쉽지 않다. 오히려 고조도 조건일수록 *T. suecica* 세포 내 carotenoid인 lutein과 zeaxanthine의 함성이 증가되고(Ruivo et al., 2011) 이들은 요각류 체내에서 이로운 항산화역할을 수행하는 astaxanthin의 합성을 위한 전구체로 사용되는 것으로 알려져 있다(Rhodes, 2007). 그러나 조도에 의한 *T. suecica*의 알려지지 않은 변화가 *P. nana*의 성장에 영향을 미쳤을 가능성은 남아 있으며 차후 이에 대한 보다 세밀한 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

결과적으로, 기수산 cyclopoid 요각류 *P. nana*의 대량생산을 위한 최적조도는 다른 실험조도에 비해 생존, 개체발생 및 번식에 악영향을 미치지 않는 10 lx인 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 “전략 무인도서 해양생태계 기반 관리 기술 개발연구” 사업(PE98583)과 한국학술진흥재단(KRF-2008-355-F00018)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- Ban S. 1992. Effects of photoperiod, temperature, and population density on induction of diapause egg-production in *Eurytemora affinis* (Copepoda, Calanoida) in lake Ohnuma, Hokkaido, Japan. *J Crustacean Biol* 12, 361-367.
- Borghini F, Colacevich A, Bergamino N, Micarelli P, Dattilo AM, Focardi S, Focardi S and Loisel SA. 2009. The microalgae *Tetraselmis suecica* in mesocosms under different light regimes. *Chem Ecol* 25, 345-357.
- Boyd CM, Smith SL and Cowles TJ. 1980. Grazing patterns of copepods in the upwelling system off Peru. *Limnol Oceanogr* 25, 583-596.
- Camus T and Zeng CS. 2008. Effects of photoperiod on egg production and hatching success, naupliar and copepodite development, adult sex ratio and life expectancy of the tropical calanoid copepod *Acartia sinjiensis*. *Aquaculture* 280, 220-226.
- Chang WB and Lei CH. 1993. Development and energy content of a brackish-water copepod, *Apocyclops royi* (Lindberg) reared in a laboratory. *Bull Inst Zool Acad Sinica* 32, 62-81.
- Davis CS. 1983. Laboratory rearing of marine calanoid copepods. *J Exp Mar Biol Ecol* 71, 119-133.
- Diéguez M. and Gilbert JJ. 2003. Predation by *Buenoa macrotibialis* (Insecta, Hemiptera) on zooplankton: effect of light on selection and consumption of prey. *J Plankton Res* 25, 759-769.
- Dussart BH and Defaye D. 2001. Introduction to the copepoda. In: *Guides to the Identification of the Microinvertebrates of the Continental Waters of the World*. Dumont HJF., ed. Backhuys, Leiden, Holland, 1-344.
- Halcrow K. 1963. Acclimation to temperature in the marine copepod, *Calanus finmarchicus* (Gunner). *Limnol Oceanogr* 8, 1-8.
- Hayward TL. 1980. Spatial and temporal feeding patterns of copepods from the North Pacific central gyre. *Mar Biol* 58, 295-309.
- Head EJH, Harris LR and Debs CA. 1985. Effect of daylength and food concentration on in situ diurnal feeding rhythms in Arctic copepods. *Mar Ecol Prog Ser* 24, 281-288.
- Jacobs, J. 1961. Laboratory cultivation of the marine copepod *Pseudodiaptomus coronatus* WILLIAMS. *Limnol Oceanogr* 6, 443-446.
- Kouwenberg JHM, Browman HI, Runge JA, Cullen JJ, Davis RF and St-Pierre JF. 1999. Biological weighting of ultraviolet (280-400 nm) induced mortality in marine zooplankton and fish. II. *Calanus finmarchicus* (Copepoda) eggs. *Mar Biol* 134, 285-293.
- Kwon ON, Lee KW, Kim GU and Park HG. 2008. Digestive enzymatic and nucleic acid responses of olive flounder *Paralichthys olivaceus* larvae fed cyclopoid copepod *Paracyclopsina nana*. *J Aquaculture* 21, 190-195.
- Lacuna DG and Uye SI. 2000. Effect of UVB radiation on the survival, feeding, and egg production of the brackish-water copepod, *Sinocalanus tenellus*, with notes on photoreactivation. *Hydrobiologia* 434, 73-79.
- Lacuna DG and Uye SI. 2001. Influence of mid-ultraviolet (UVB) radiation on the physiology of the marine planktonic copepod *Acartia omorii* and the potential role of photoreactivation. *J Plankton Res* 23, 143-155.
- Landry MR. 1983. The development of marine calanoid copepods with comment on the isochronal rule. *Limnol Oceanogr* 28, 614-624.
- Lee KW, Park HG, Lee SM and Kang HK (2006) Effects of diets on the growth of the brackish water cyclopoid copepod *Paracyclopsina nana* Smirnov. *Aquaculture* 256, 346-353.
- Li CL, Luo XX, Huang XH and Gu BH. 2008. Effects of temperature, salinity, pH, and light on filtering and grazing rates of a calanoid copepod (*Schmackeria dubia*). *TheScientificWorldj* 8, 1219-1227.
- Lipman EE, Kao KR and Phelps RP. 2001. Abstract, *Aquaculture* 2001 1-379.

- Matsudaira C. 1957. Culturing of a Copepoda, *Sinocalanus tenellus*. Inform. Bull Planktol Japan 5, 1-6.
- Mullin MM and Brooks ER. 1967. Laboratory culture, growth rate, and feeding behavior of a planktonic marine copepod. Limnol Oceanogr 12, 657-666.
- Naganuma T, Inoue T. and Uye S. 1997. Photoreactivation of UV-induced damage to embryos of a planktonic copepod. J Plankton Res 19, 783-787.
- Ohno A and Okamura Y. 1988. Propagation of the calanoid copepod, *Acartia tsuensis*, in outdoor tanks. Aquaculture 70, 39-51.
- Ohno A, Takahashi T and Taki Y. 1990. Dynamics of exploited populations of the calanoid copepod, *Acartia tsuensis*. Aquaculture 84, 27-39.
- Park HG and Hur SB. 1993. Optimum culture environment of the benthic copepod, *Tigriopus japonicus*. J Aquaculture 6, 147-157.
- Payne MF and Rippingale RJ. 2001. Intensive cultivation of the calanoid copepod *Gladioferens imparipes*. Aquaculture 201, 329-342.
- Person-Le Ruyet J. 1975. Élevage de copepods calanoids. Biologie et dynamique des populations: premières résultats. Ann Inst Océanogr 51, 203-221.
- Peterson WT and Painting SJ. 1990. Developmental rates of the copepods *Calanus australis* and *Calanoides carinatus* in the laboratory, with discussion of methods used for calculation of development time. J Plankton Res 12, 283-293.
- Rhodes ACE. 2007. Dietary effects on carotenoid composition in the marine harpacticoid copepod *Nitokra lacustris*. J Plankton Res 29, i73-i83.
- Ruivo M, Cartaxana P and Amorim A. 2011. Effects of growth phase and irradiance on phytoplankton pigment ratios: implications for chemotaxonomy in coastal waters. J Plankton Res 33, 1012-1022.
- Saito H and Taguchi S. 2003. Influence of UVB radiation on hatching success of marine copepod *Paracalanus parvus* s. l. J Exp Mar Biol Ecol 282, 135-147.
- Schipp GR, Bosmans JMP and Marshall AJ. 1999. A method for hatchery culture of tropical calanoid copepod, *Acartia* spp. Aquaculture 174, 81-88.
- Støttrup JG and Norsker NH. 1997. Production and use of copepods in marine fish larviculture. Aquaculture 155, 231-247.
- Støttrup JG, Richardson K, Kirkegaard E and Pihl NJ. 1986. The cultivation of *Acartia tonsa* Dana for use as a live food source for marine fish larvae. Aquaculture 52, 87-96.
- Sun B and Fleeger JW. 1995. Sustained mass culture of *Amphiascoides atopus* a marine harpacticoid copepod in a recirculating system. Aquaculture 136, 313-321.
- Zillioux EJ. 1969. A continuous recirculating culture system for planktonic copepods. Mar Biol 4, 215-218.

2011년 7월 11일 접수

2011년 9월 19일 수정

2011년 12월 6일 수리