

## Cyclopoid 요각류, *Paracyclops nana*의 대량배양을 위한 최적밀도

이균우\*, 박흥기<sup>1</sup>

한국해양연구원 해양생물자원연구본부  
<sup>1</sup>강릉대학교 해양생명공학부

### Optimum Culture Density for the Intensive Mass Production in Cyclopoid Copepod, *Paracyclops nana*

Kyun-Woo Lee\* and Heum-Gi Park<sup>1</sup>

Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan P.O. Box 29, 425-600, Korea

<sup>1</sup>Faculty of Marine Bioscience & Technology, Kangnung National University, Gangneung 210-702, Korea

This study was performed to investigate the optimum density for the intensive mass production of cyclopoid copepod, *Paracyclops nana* in terms of nauplii and adults production. Effect of three development stages on the fecundity of adult female for nauplii production, survival rate of *P. nana* nauplii with different initial nauplii culture densities for adults production and cannibalistic feeding behavior of *P. nana* was examined, respectively. The fecundity of adult female by different female, copepodite and nauplii density in 2 ml water volume decreased with the density of adult female, but was not affected by the density of either copepodite or nauplii. The average daily nauplii production for a adult female in 8 L water volume was  $2.3 \times 10^5$  individuals with the incubation density of 7 adult females/ml, and this average value was significantly higher than those values of 0.6 to  $1.7 \times 10^5$  individuals with the incubation density of 1, 3, 5, 10 adult females/ml ( $P < 0.05$ ). Survival rate of *P. nana* nauplii with different initial nauplii culture densities in 5 L vessels for 15 days were 32.7, 30.7, 28.9 and 23.0% with the culture density of 50, 100, 150 and 200 inds./ml, respectively, but these were significantly higher than those values 19.7 and 18.4% with the culture density of 250 and 300 inds./ml ( $P < 0.05$ ). Cannibalistic behavior of *P. nana* adults on their offspring was observed, but the behavior decreased when phytoplankton was supplemented though there was no statistical difference ( $P > 0.05$ ). These results may indicate that *P. nana* is adaptable to the hatchery conditions and this species is cultured at the high densities. Optimum culture density for nauplii and adults production of *P. nana* were 7 adult females/ml and 200 nauplii/ml, respectively.

**Keywords:** *Paracyclops nana*, Culture density, Cannibalistic behavior

## 서 론

요각류는 해산 어류의 초기먹이로 중요하며 특히 몇몇 어종의 종묘생산에서 중요한 역할을 한다. 그러나 종묘생산장에서 copepod의 사용은 주로 자연수역으로부터의 채집형태로 이루어지며 배양을 하더라도 단위면적당 낮은 밀도로 생산되기 때문에 이들의 사용은 극히 제한적이었다. 그러나 세계적인 *Artemia* cyst 자원의 부족현상과 해양 관상어처럼 자어기에 크기가 매우 작은 새로운 종이나 *Artemia* nauplius나 rotifer 같은 일반적인 먹이생물로 키우기 어려운 종, 또한 능성어 *Epinephelus* sp. (Toledo et al., 1999), dhufish *Flaucosoma* sp. (Payne et al., 2001), red snapper *Lutjanus argentimaculatus* (Doi et al., 1997) 같이 자어기에 작은

입 크기를 가지는 어종의 종묘생산 등의 이유로 1990년대 초부터 요각류의 집약적인 배양에 대한 시도가 다시 활발해지기 시작하였다(Stottrup and McEvoy, 2003).

대부분의 요각류는 rotifer에 비해 매우 낮은 밀도로 배양되기 때문에 상업적 양식에 적용할 수 있는 원활한 양적 확보가 어려운 실정이다. 따라서 먹이생물로서 요각류의 충분한 양을 확보하기 위해서는 이들의 배양규모를 늘리거나 요각류의 배양 밀도를 높여야 하는데, 배양규모를 늘리는 것은 많은 시설비와 그에 따른 노동력 증가 문제가 뒤따르기 때문에 배양밀도 증가를 위해 효율적인 배양밀도 구명이 요구된다. 그러나 요각류의 집약적 배양 시, 배양밀도 증가는 이들의 배양에 있어 악영향을 미치는 것으로 보고되고 있다. 예를 들면, *Tigriopus fulvus*의 경우, 과일집 조건에서 암컷의 성숙이 지연되는 결과를 보였고 (Lazzarret et al., 1990) 이러한 성숙지연 현상에 대해서는 이들

\*Corresponding author: kyunu@kordi.re.kr

의 번식 습성에 있어 개체밀도가 음성적 피드백 기작을 통해 조절되어 질 수도 있다고 Miralto et al. (1996)에 의해 보고된 바 있다. 포란한 *Apocyclops royi* 암컷의 배양 시 1 개체/ml를 배양하였을 때 가장 높은 nauplius 생산을 보였고 암컷의 배양 밀도가 높아짐에 따라 nauplius 생산수가 감소하였다(Cheng et al., 2001). 또한 Stottrup et al. (1986)은 *Acartia tonsa*의 대량 배양 시, 50~100 개체/L의 고밀도로 배양하였을 때, 비교적 낮은 생산결과를 가져왔는데 이것은 난에 대한 성체의 공식과 먹이부족현상, 과밀집 등의 문제를 제시하였다.

일반적으로 해양에서 *Acartia* sp. 같은 여러 잡식성 calanoid 요각류는 그들의 nauplius를 포식하기 때문에 이들의 배양 시 가능한 빨리 nauplius를 성체와 분리할 필요가 있다(Payne and Ripplingale, 2001). 또한 요각류의 배양 시, 높은 난 폐사율은 배양수내에 같이 존재하는 다른 요각류에 의한 포식과 크게 관련될 수 있다(Uye and Sano, 1995). 이러한 요각류의 공식은 요각류 대량배양에 있어 큰 중식 저해요인으로 작용할 수 있다. 따라서 요각류의 대량배양에 있어 공식현상의 유무확인과 이러한 공식을 억제시키는 것은 매우 중요한 요소일 것으로 판단된다.

현재 요각류의 집약적인 배양에 주로 사용되는 요각류는 calanoid목과 harpacticoid목이 있으며 harpacticoid목은 비교적 고밀도 배양이 가능하나 주로 바닥이나 벽면에 부착하는 습성이 있어 어류 인공종묘생산 시 어류자어의 먹이로 부적합한 특성을 보이고 calanoid목은 배양밀도가 낮은 단점이 있다(Stottrup and Norsker, 1997; Payne and Ripplingale, 2000; Payne and Ripplingale, 2001). 그러나 cyclopoid 요각류인 *Paracyclops nana*는 대부분 부유성이고 수괴전체에 고루 분포하는 습성을 가지며 비교적 고밀도 배양이 가능한 종으로 알려져 있다(Lee, 2004).

따라서 본 연구는 *P. nana*의 집약적인 대량배양을 위한 최적 배양밀도를 규명하기 위한 것으로 nauplius 생산과 성체생산의 두 가지 측면에서 조사되었다.

## 재료 및 방법

### *P. nana* 암컷의 생산력에 미치는 각 성장 단계별 밀도의 영향 암컷 밀도의 영향(배양수 2 ml)

실험은 갓 포란한 암컷 1, 5, 10, 20, 30 및 40 개체/ml로 구분하여 12 wells culture plate의 각 hole (배양수 2 ml)에 수용하였다. 배양조건은 수온 28°C, 염분 15 ppt, 광조건 100 lx로 incubator에서 실시하였고, 먹이는 암컷 1개체 당 *Tetraselmis suecica* 10,000 cells를 1일 1회 공급하였다. 매일 배양수를 전량 환수하면서 24시간 동안 생산된 nauplius를 계수하였으며 계수한 nauplius는 제거하였다. 실험은 7일 동안 3회 반복하였다.

### 암컷 밀도의 영향(배양수 8 L)

실험은 갓 포란한 암컷 1, 3, 5, 7 및 10 개체/ml로 구분하여 20 L 사각 수조(배양수 15 L)내에 8 L 원통 sieve (120 µm)를

넣고 여기에 암컷을 밀도별로 수용하였다. 배양 조건은 수온 28°C, 염분 15 ppt를 유지하면서 약하게 포기하였다. 먹이는 암컷 1개체 당 *T. suecica* 10,000 cells를 1일 1회 공급하였다. 매일 배양수를 전량 환수하면서 24시간 동안 생산된 nauplius를 계수하였다. 실험은 14일 동안 3회 반복하였다.

### Copepodid 밀도의 영향(배양수 2 ml)

실험은 copepodid (C1~C3기)를 각각 0, 5, 10, 20, 30 및 40 개체/ml로 구분하였고 12 wells culture plate의 각 hole (배양수 2 ml)에 갓 포란한 암컷 2 마리를 넣은 다음 각 copepodid를 밀도별로 함께 수용하였다. 배양조건은 수온 28°C, 염분 15 ppt, 광조건 100 lx로 incubator에서 실시하였고, 먹이는 암컷 1개체 당 *T. suecica* 10,000 cells 및 copepodid 1개체 당 5,000 cells를 1일 1회 공급하였다. 매일 배양수를 전량 환수하면서 24시간 동안 생산된 nauplius를 계수하였으며 계수한 nauplius는 제거하였다. 실험은 3일 동안 3회 반복하였다.

### Nauplius 밀도의 영향(배양수 2 ml)

실험은 nauplius (N4~N6기)를 각각 0, 10, 20, 40, 60, 80, 100 및 120 개체/ml로 구분하였고 12 wells culture plate의 각 hole (배양수 2 ml)에 갓 포란한 암컷 2마리를 넣은 다음 각 nauplius를 밀도별로 함께 수용하였다. 먹이는 암컷 1개체 당 *T. suecica* 10,000 cells 및 nauplius 1개체 당 2,000 cells를 1일 1회 공급하였다. 매일 배양수를 전량 환수하면서 24시간 동안 생산된 nauplius 1~3기를 계수하였으며 계수한 nauplius는 제거하였다. 실험은 1일 동안 3회 반복하였다.

### *P. nana* nauplius의 배양밀도에 따른 생존

부화 후 24시간이 경과하지 않은 nauplius를 사용하여 5 L 원형 수조에 50, 100, 150, 200, 250 및 300 개체/ml로 각각 수용한 뒤 수온 20°C, 염분 15 ppt에서 C4~성체가 될 때까지 먹이로 *T. suecica* 2,000 cells를 1일 1회 공급하면서 배양하였다. 배양 7일째 배양수 전체를 환수하였으며 매일 1 ml의 배양수를 취해 nauplius의 개체수를 계수하였으며 실험은 14일 동안 3반복 실시하였다.

### *P. nana*의 공식 유무

*P. nana*의 공식유무를 조사하기 위해서 먹이를 첨가하지 않고 nauplius와 포란하지 않은 암컷과 수컷을 혼합한 2개의 실험구(♀+N, ♂+N), ♀+N 및 ♂+N 실험구의 조건에 먹이로서 *T. suecica*를 첨가한 2개의 실험구(♀+N+T, ♂+N+T) 및 대조구로서 nauplius만 넣은 실험구(N)와 nauplius에 *T. suecica*를 첨가한 실험구(N+T)를 두어 총 6개의 실험구로 구분하였다. 실험은 6 wells culture plate의 각 hole (배양수 6 ml)에 24시간이 경과하지 않은 nauplius를 30 개체 수용한 뒤 성체 10마리를 각각 수용하였다. 배양 조건은 수온 28°C, 염분 15 ppt에서 먹이 첨가구는 *T. suecica*를  $3 \times 10^5$  cells/ml을 공급하였다. 실험은 배양 24시간 후 각 실험구의 생존 nauplius를 계수하였고 3회 반

복 실시하였다.

**통계 분석**

결과는 one-way ANOVA test를 실시하였으며, 평균간의 유의성( $P>0.05$ )은 Turkey's의 다중검정법(Turkey's multiple comparison test)으로 하였다. 모든 통계 분석은 SPSS program (Ver. 10.0)을 사용하여 실시하였다.

**결 과**

***P. nana* 암컷의 생산력에 미치는 각 성장 단계별 밀도의 영향**

2 ml 배양용기에서 암컷 밀도에 따른 암컷의 nauplius 생산수는 암컷 1 개체/ml일 때 일일 평균 16.9 개체/female로 가장 높은 생산력을 보였으며 5 개체/ml, 10 개체/ml 순으로 암컷 밀도가 높아짐에 따라 감소하는 것으로 나타났다( $P<0.05$ ). 그러나 20 개체/ml, 30 개체/ml 및 40 개체/ml는 유의적인 차이를 보이지 않았다( $P>0.05$ ). 또한 7일 간 암컷 1 마리당 nauplius 생산수는 1 개체/ml일 때 3일째 26 개체/female 까지 증가하다

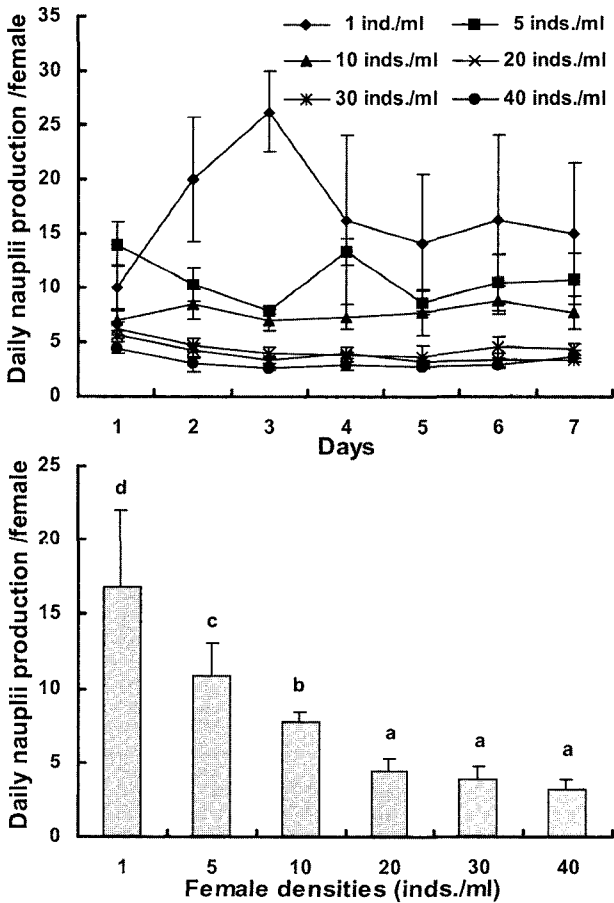


Fig. 1. Changes of daily nauplii production (top) and mean daily nauplii production (bottom) of *Paracyclopsina nana* female on different female densities during seven days. Vertical bars represent standard error.

가 다시 감소하는 경향을 보였을 뿐 다른 실험구는 큰 변화를 보이지 않았다(Fig. 1).

8 L 배양용기에서 *P. nana* 암컷의 배양밀도에 따른 nauplius 생산량은 시간이 경과함에 따라 배양 7일까지 어느 정도 일정한 생산량을 보이다가 그 이후부터 전체적으로 감소하여 배양 15일째는 거의 생산을 하지 않았다(Fig. 2A). 생산량이 어느 정도 일정했던 일주일 동안의 암컷 1개체 당 nauplius 생산량은 1 개체/ml로 배양한 실험구가 일일 평균 13.2개체로 가장 많았으며( $P<0.05$ ), 3, 5 및 7 개체/ml로 배양한 실험구는 일일 평균 각각 10.2, 8.4, 9.4개체를 생산하였으나 통계적인 차이는 보이

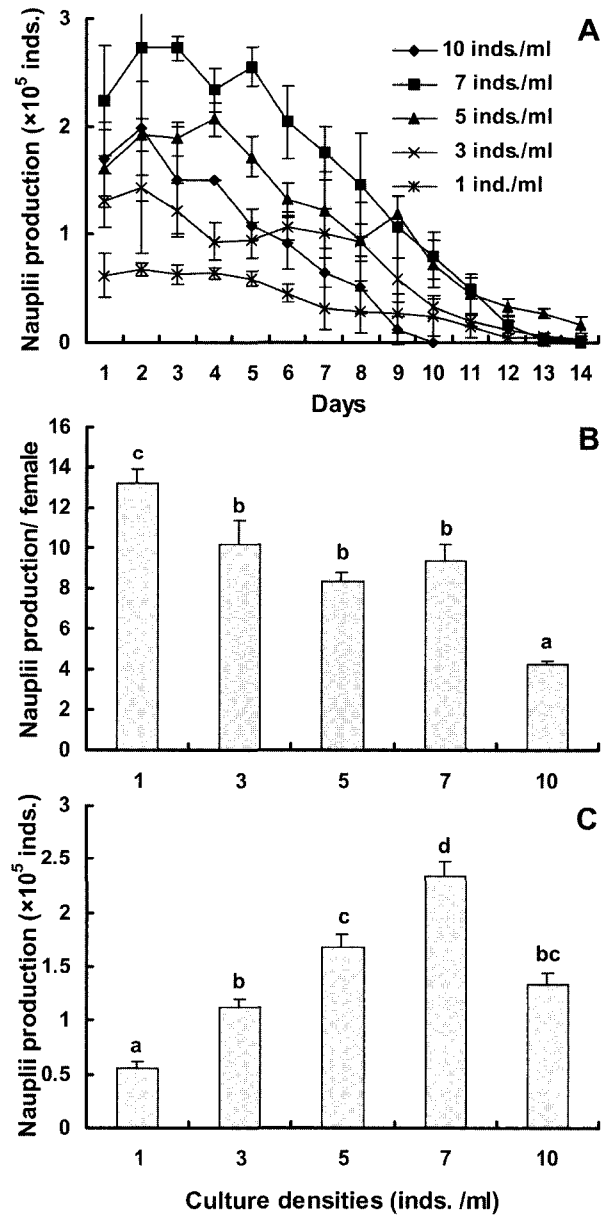


Fig. 2. Changes in daily nauplii production of *Paracyclopsina nana* female at different female densities during fourteen days (A). Daily nauplii production (B) of a female and total daily nauplii production (C) at different female densities in 8 L vessel during the first one week. Vertical bars represent standard error.

지 않았다( $P>0.05$ ). 그러나 10 개체/ml로 배양한 실험구는 4.2 개체로 가장 낮은 생산량을 보였다( $P>0.05$ , Fig. 2B). 또한 8 L 배양 용량에서 초기 일주일 동안 암컷의 일일 평균 생산량은 1, 3, 5, 7 개체/ml 실험구에서 각각 0.6, 1.1, 1.7,  $2.3 \times 10^5$  개체로 배양밀도가 증가할수록 생산량이 증가하였으나 10 개체/ml로 배양한 실험구는  $1.3 \times 10^5$  개체로 7 개체/ml로 배양한 실험구보다 낮은 생산량을 보였다( $P<0.05$ , Fig. 2C).

Copepodid 밀도에 따른 암컷의 nauplius 생산수는 평균 14.0 개체/female로 차이를 보이지 않았고 또한 nauplius 밀도에 따른 암컷의 nauplius 생산수는 평균 22.6 개체/female로 모든 실험구가 차이를 보이지 않았다( $P>0.05$ , Figs. 3 and 4).

***P. nana* nauplius의 배양밀도에 따른 생존**

집중 밀도에 따른 *P. nana*의 생존개체는 모든 실험구가 시간이 경과함에 따라 감소하는 경향을 보였으며, 15일째, C4~성체까지의 생존율은 50, 100, 150 및 200 개체/ml 실험구에서 각각 32.7, 30.7, 28.9 및 23.0%로 배양밀도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였으나 유의적인 차이는 없는 것으로 나타났다( $P>0.05$ ). 그러나 250 개체/ml와 300 개체/ml로 배양한 실험

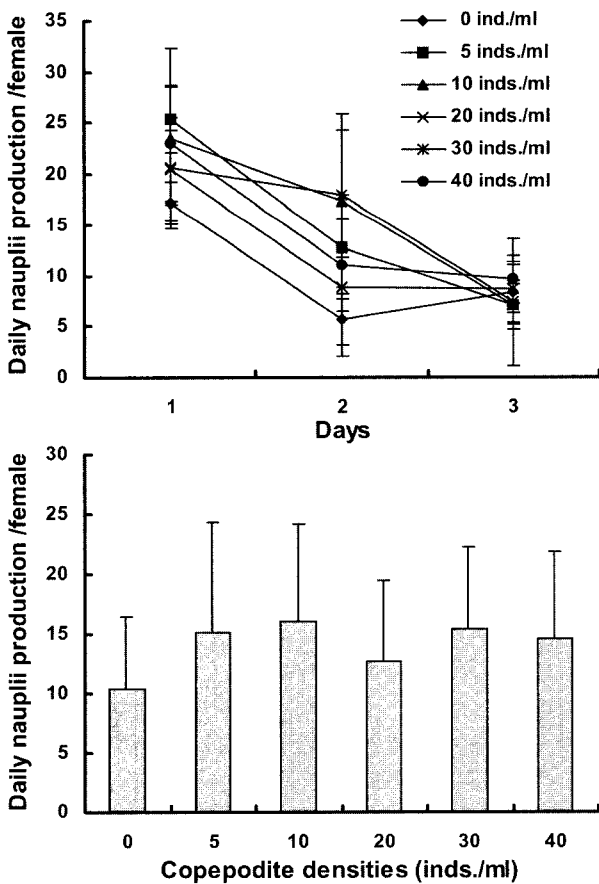


Fig. 3. Changes of daily nauplii production (top) and daily mean nauplii production (bottom) of *Paracyclops nana* female on different copepodite densities during three days. Vertical bars represent standard error.

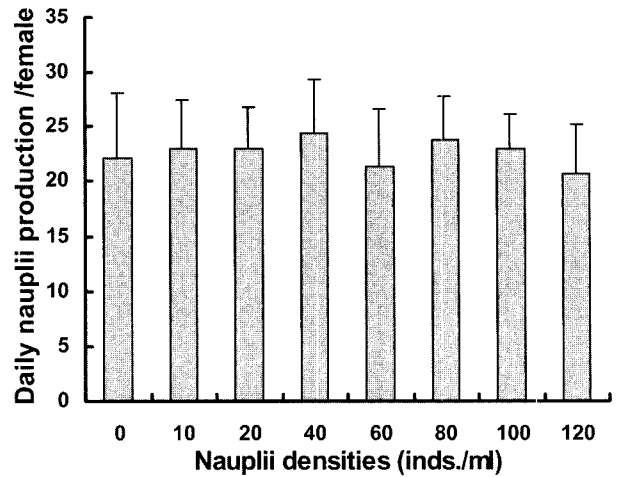


Fig. 4. Daily nauplii production of *Paracyclops nana* female on different nauplii densities. Vertical bars represent standard error.

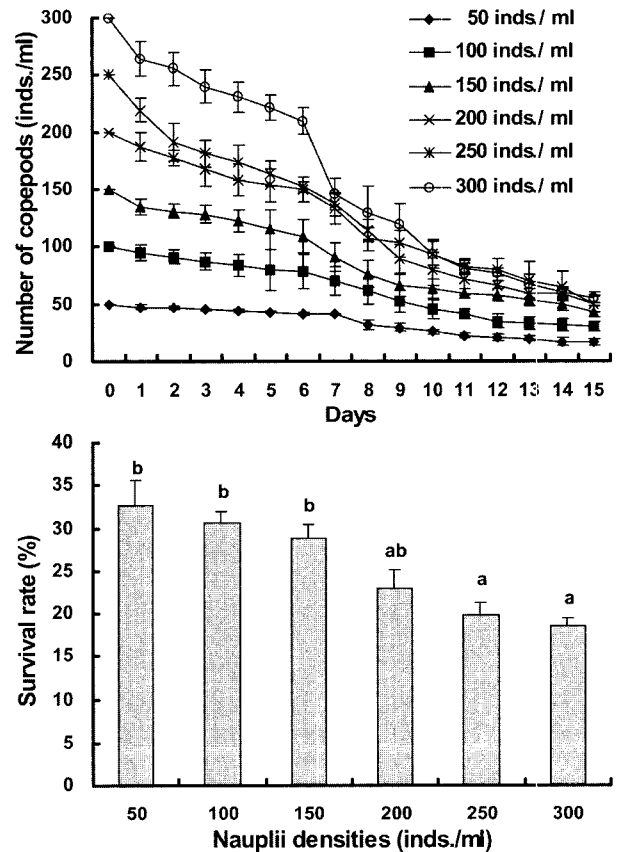


Fig. 5. Changes in survived individual (top) and survival rate of *Paracyclops nana* nauplii at different nauplii densities for fifteen days (bottom). Vertical bars represent standard error.

험구는 각각 19.7%와 18.4%로 50, 100, 150 개체/ml 실험구보다 낮은 생존율을 보였다( $P>0.05$ , Fig. 5).

***P. nana*의 공식 유무**

24시간 후 nauplius가 가장 많이 생존한 실험구는 nauplius 단독구로 이 실험구는 우+N, ♂+N 및 우+N+T 실험구와 유의

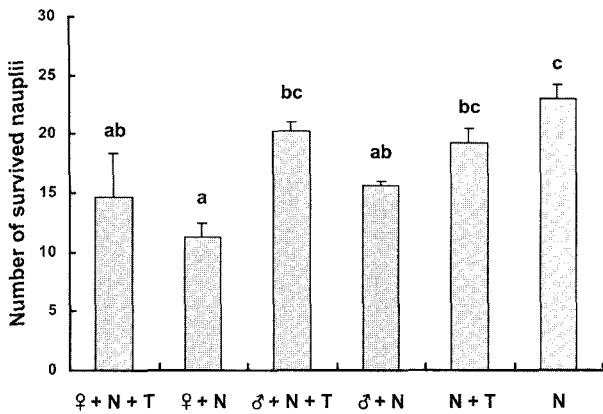


Fig. 6. Number of survived *Paracyclopsina nana* nauplii on different adults (female, male) after twenty four hours. '♀', '♂', 'N' and 'T' indicate female, male, nauplius and *Tetraselmis suecica*, respectively. Vertical bars represent standard error.

적인 차이를 보였고( $P>0.05$ ) 나머지 실험구와는 차이를 보이지 않았다( $P>0.05$ ). ♀+N 실험구는 가장 낮은 nauplius 생존율을 보였지만 ♀+N+T 및 ♂+N 실험구와는 차이를 보이지 않았다( $P>0.05$ , Fig. 6).

### 논 의

자연에서 요각류는 군생형태를 이루며 이러한 군집은 포식에 대한 스트레스를 줄여주는 이점을 제공할 수 있다. 이러한 조건에서 개체수는 최고 0.1~10 개체/ml까지 달하는 것으로 알려져 있으며(Haury and Yamazaki, 1995) 이것은 각 개체가 이용할 수 있는 먹이의 양이 줄어드는 것뿐만 아니라 그들의 생산력을 감소시키는 원인이 된다(Miralto et al., 1996). 또한 요각류의 인공배양 시 성체 암컷의 과밀집은 번식력을 감소시키는 원인이 될 수 있다는 많은 보고가 있다(Davis and Alatalo, 1992; Ohman and Runge, 1994; Laabir et al., 1995; Miralto et al., 1996). 본 실험에서, *P. nana* 성체 암컷의 nauplius 생산력은 nauplius 밀도나 copepodid 밀도에 따라 영향을 받지 않는 것으로 나타났고 오직 성체의 밀도가 증가함에 따라 nauplius 생산력이 줄어드는 것으로 나타났으며, 이것은 *P. nana*는 성체에 의해 개체밀도가 조절된다는 것을 의미한다. 밀도 의존적 메카니즘에 의한 개체조절은 요각류를 포함하여 다양한 생물에 대해 연구되어 왔다(Kahan et al., 1988). 이러한 개체조절의 메카니즘 중, 요각류의 화학적 신호는 교미와 같은 요각류의 번식 습성을 조절하는 매우 중요한 요인으로 알려져 있다(Van Leeuwen and Maly, 1991). 또한 포식자를 발견하고 회피하는 것 뿐 아니라 먹이를 찾고 포획하는 데 중요한 것으로 알려져 왔다(Legier-Visser et al., 1986; Bollens et al., 1994). 그러나 페로몬은 고밀도 조건에서 그들의 번식을 멈추게 하는 역할에는 관여하지 않을 수 있으며(Kimmerer, 1984), 이러한 결과는 Miralto et al. (1996)의 실험에서도 확인되었다. 이 실험에서 요

각류 암컷은 인공적으로 높은 밀도 조건에서 난 생산력이 줄어들며 이러한 생산력의 감소원인은 개체간의 화학적 신호보다는 배양공간의 감소로 인한 개체간의 충돌횟수의 증가 같은 물리적 요동 때문이라고 보고한 바 있다.

본 실험에서 8 L 배양규모보다 2 ml의 소규모 배양에서 더 높은 암컷의 nauplius 생산력을 보였다. Payne and Rippingale (2001)는 calanoid 요각류인 *Gladioferens imparipes*의 대량배양실험에서 배양수조의 부피가 증가함에 따라 배양수조의 리터 당 nauplius 생산수가 감소하는 경향을 보였으며 이는 *Gladioferens imparipes*와 harpacticoid 요각류같이 내부표면적을 이용하는 요각류 중에서 작은 수조일수록 이들의 생산성이 증가하는 것은 배양수조 부피에 대한 표면적의 비가 증가하기 때문일 수 있으며 큰 부피의 적은 수의 수조보다 작은 부피의 많은 수의 수조에서 배양하면 더 많은 요각류 nauplius를 생산하는 것이 가능할 것이라고 보고하였다. 이러한 경향은 harpacticoid 요각류에서 더 뚜렷하며 예로 Stottrup and Norsker (1997)는 harpacticoid 요각류인 *Tisbe holothuriae*의 대량배양에서 내부표면적을 늘리기 위해 배양수조 내에 플라스틱 공을 채웠고, Sun and Fleeger (1995)는 *Amphiascoides atopus*의 대량배양에서 수조 바닥에 석회암 자갈을 깔아서 내부표면적을 높여 배양 밀도를 높인바 있다.

Lipman et al. (2001)의 *Oithona* sp.의 배양에서, 성체의 밀도를 각각 0.64, 1.28, 2.56 및 5.12 개체/ml로 두어 nauplius 생산량을 실험하였는데 밀도가 가장 높은 5.12 개체/ml 실험구에서 가장 많은 nauplius를 수확하였으나 암컷 한 개체 당 nauplius 생산량은 0.64, 1.28, 2.56 개체/ml 실험구는 8.1~8.5 개체로 큰 차이를 보이지 않았으나 5.12 개체/ml 실험구에서는 4.7개체로 급격히 줄어드는 것으로 나타났다. 본 실험에서도 암컷 한 개체 당 nauplius 생산수가 3, 5 및 7 개체/ml의 밀도로 배양한 실험구에서 9.4~10.2개체로 유의적인 차이를 보이지 않았지만( $P>0.05$ ) 10 개체/ml의 밀도로 배양한 실험구에서는 4.2개체로 급격히 줄어들어( $P>0.05$ ) Lipman et al. (2001)의 실험결과와 비슷한 경향을 보였다. 따라서 *P. nana*의 nauplius 생산 시, 암컷의 밀도가 10 개체/ml 이상은 비효율적인 것으로 판단된다.

동물 플랑크톤의 배양 시, 배양밀도의 증가는 각 개체가 이용할 수 있는 배양수의 양을 줄어줄게 할 뿐 아니라 암모니아와 같은 대사산물의 증가를 초래한다(Miralto et al., 1996). 따라서 본 실험의 성체생산을 위한 nauplius 배양에서도 초기 접종 밀도가 증가함에 따라 성체까지의 생존율이 감소하는 경향을 보였다. 주로 감모가 일어나는 시기는 nauplius기 후반부에서 copepodid 1기로 넘어가는 시기인 부화 6~9일 사이로 평균 27%가 감모하였으며 배양밀도가 300 개체/ml 실험구에서는 이 시기에 약 30%의 감모가 일어났다. 이러한 결과는 Lonsdale (1981)의 실험에서 *Oithona colcarva*의 배양 시 nauplius 4기에서 copepodid 1기 동안에 비교적 높은 폐사율을 보여 본 실험의 결과와 유사하였다. 따라서 성체생산을 위한 nauplius 배양

시, 보다 더 효율적인 생산을 위해서는 이들의 생존율을 높이는 것은 무엇보다 중요하며 앞으로 이를 위한 보다 구체적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

요각류의 집약적 배양 시 배양밀도가 증가함에 따라 암컷의 nauplius 생산력이 감소하는 또 다른 원인으로 nauplius에 대한 성체의 공식을 들 수 있으며 특히 해양 부유성 요각류 (*Rhincalanus nasutus*, *Labidocera trispinosa*, *Acartia clausi*, *Oithona nana*, *Acartia tonsa*, *Tortanus discaudatus*, *Centropages furcatus*, *Calanus pacificus*, *Oithona davisae* and *Temora longicornis*)의 공식에 대한 연구가 많이 보고되고 있다(Hada and Uye, 1991). Hada and Uye (1991)와 Hada (1991)은 해양의 부유성 요각류의 공식이 nauplius 폐사의 주요 원인으로 작용할 수 있다고 보고하였다. 본 실험에서 *P. nana* 성체는 nauplius의 생존에 영향을 미치는 것으로 나타났으며( $P < 0.05$ ),  $\uparrow + N + T$  실험구와  $\uparrow + N$  실험구가 유의적인 차이를 보여( $P > 0.05$ ) 수컷보다는 암컷이 공식 경향이 더 강한 것으로 판단된다. 따라서 배양밀도의 증가 시 암컷의 nauplius 생산력의 감소현상의 원인으로 nauplius에 대한 성체의 공식 가능성을 배제할 수 없다.

Kiørboe and Sabatini (1994)는 공식은 포낭을 달고 다니는 종에서는 현저하게 줄어든다고 보고하였다. Cyclopid 요각류인 *Oithona davisae*의 경우, 먹이가 충분할 때 공식을 하지 않거나 공식현상이 감소한다(Uchima and Hirano, 1986; Laabir et al., 1995). 그러나 calanoid 요각류인 *Sinocalanus tenellus* (Hada and Uye, 1991)와 *Acartia tsuensis* (Ohno et al., 1990)의 경우는 먹이가 충분한 상태에서도 공식을 하는 것으로 알려져 있다. 본 실험에서 사용한 *P. nana*는 포낭을 달고 다니는 습성이 있으며, 본 실험에서 nauplius와 성체의 공존 시 배양수 내의 먹이(*T. suecica*) 유무에 따른 nauplius의 생존은 유의적인 차이는 보이지 않았지만( $P > 0.05$ ) 먹이를 공급한 실험구의 nauplius 생존 개체가 더 많은 경향을 보였다. 따라서 *P. nana* 성체는 먹이 공급 시 공식 현상이 감소하는 것으로 판단되며 대량배양 시 nauplius에 대한 성체의 공식현상을 방지하기 위해서는 충분한 먹이를 공급하여야 할 것으로 판단된다.

현재 어류나 갑각류의 초기 먹이생물로 사용되고 있는 rotifer의 경우, 하루에 필요한 양을 확보하기 위해서 수백 톤의 배양 수조가 필요하며 이것은 높은 관리비와 시설비로 종묘생산원가를 높이는 원인이 될 수 있다(Park et al., 1999a; Park et al., 1999b). 따라서 *P. nana*의 경제적인 대량배양을 위해서는 가능한 고밀도로 배양하는 것이 효과적일 것으로 판단된다. 이러한 관점에서, *P. nana*의 nauplius 생산 시, 가능한 암컷의 배양밀도는, 암컷 1개체 당 nauplius 생산수가 비교적 높으며 하루에 가장 많은 nauplius를 생산할 수 있는 밀도인 7 개체/ml인 것으로 판단된다. 마찬가지로 *P. nana*의 성체 생산을 위한 nauplius의 최대 접종 밀도는, 생존율이 100 개체/ml 이하와 차이를 보이지 않는 200 개체/ml까지가 가능할 것으로 판단된다. 결론적으로 *P. nana*는 단위면적당 고밀도 배양이 가능하며 이것은 어류 종묘 생산

장에서 초기 먹이생물로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

## 요 약

본 연구는 *P. nana*의 집약적인 대량배양을 위한 최적 배양밀도를 규명하기 위한 것으로 nauplius 생산과 성체생산의 두 가지 측면에서 조사되었다. 2 ml 배양규모에서 성체 암컷 밀도에 따른 성체 암컷의 nauplius 생산력은 성체 암컷의 밀도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였지만 copepod과 nauplius의 밀도는 성체 암컷의 생산력에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 8 L 배양 용량에서 일주일 동안 암컷의 일일 평균 생산량은 1, 3, 5, 7 개체/ml 실험구에서 각각 0.6, 1.1, 1.7, 2.3×10<sup>5</sup> 개체로 배양밀도가 증가할수록 생산량이 증가하였으나 10 개체/ml로 배양한 실험구는 1.3×10<sup>5</sup>개체로 7 개체/ml로 배양한 실험구보다 낮은 생산량을 보였다.

5 L 배양용기에서 15일 동안 *P. nana* nauplius의 접종 밀도에 따른 생존개체는 모든 실험구가 시간이 경과함에 따라 감소하는 경향을 보였으며, 15일째, C4~성체까지의 생존율은 50, 100, 150 및 200 개체/ml 실험구에서 각각 32.7, 30.7, 28.9 및 23.0%로 배양밀도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였으나 유의적인 차이는 없는 것으로 나타났다. 그러나 250 개체/ml와 300 개체/ml로 배양한 실험구는 각각 19.7%와 18.4%로 50, 100, 150 개체/ml 실험구보다 낮은 생존율을 보였다.

*P. nana* 성체의 nauplius에 대한 공식은 있는 것으로 나타났으며 먹이의 공급 시 공식이 줄어드는 것으로 판단된다. 결과적으로 *P. nana*는 성체 생산을 위한 nauplius의 최대 접종밀도가 200 개체/ml인 점을 고려해 볼 때, 비교적 고밀도로 배양이 가능하며 어류 종묘생산장에서 먹이 생물로 사용이 가능할 것으로 보인다.

## 감사의 글

본 연구는 해양수산부에서 시행한 2000년도 수산특정연구개발사업과제에 의해 수행된 연구결과이며 연구비를 지원해 주신 해양수산부에 심심한 사의를 표합니다.

## 참고문헌

- Bollens, S. M., B. H. Frost and J. R. Cordell, 1994. Chemical, mechanical and visual cues in the vertical migration behavior of the marine planktonic copepod *Acartia hudsonica*. *J. Plankton Res.*, 16, 555-564.
- Cheng, S. H., H. C. Chen, S. L. Chang, T. I. Chen and I. C. Liao, 2001. Study on the optimal density of mass culture in copepod *Apocyclops royi*. The 6th asian fisheries forum book of abstracts, 58 pp.
- Davis, C. S. and P. Alatalo, 1992. Effects of constant and intermittent food supply on life-history parameters in a marine copepod.

- Limnol. Oceanogr., 37, 1618–1639.
- Doi, M., J. D. Toledo, M. Salvacion, M. S. Golez, M. Santos and A. Ohno, 1997. Preliminary investigation of feeding performance of larvae of early red-spotted grouper, *Epinephelus coioides*, reared with mixed zooplankton. *Hydrobiologia*, 358, 259–263.
- Hada, A. and S. Uye, 1991. Cannibalistic feeding behavior of the brackish-water copepod *Sinocalanus tenellus*. *J. Plankton Res.*, 13, 155–166.
- Hada, A., 1991. Effect of cannibalism on the laboratory cultured population of the brackish-water copepod *Sinocalanus tenellus*. *Bull. Plankton Soc. Japan*, 38, 43–52.
- Haurly, L. R. and H. Yamazaki, 1995. The dichotomy of scales in the perception and aggregation behavior of zooplankton. *J. Plankton Res.*, 17, 191–197.
- Kahan, D., Y. Berman and T. Bar-El, 1988. Maternal inhibition of hatching at high population densities in *Tigriopus japonicus* (Copepoda, Crustacea). *Biol. Bull.*, 174, 139–144.
- Kimmerer, W. J., 1984. Spatial and temporal variability in egg production rates of the calanoid copepod *Acrocalanus inermis*. *Mar. Biol.*, 78, 165–169.
- Kirboe, T. and M. Sabatini, 1994. Reproductive and life cycle strategies in egg-carrying cyclopoid and free-spawning calanoid copepods. *J. Plankton Res.*, 16, 1353–1366.
- Lazzaretto, I., B. Salvato and A. Libertini, 1990. Evidence of chemical signalling in *Tigriopus fulvus* (Copepoda, Harpacticoida). *Crustaceana*, 59, 171–179.
- Laabir M., S. A. Poulet and A. Ianora, 1995. Measuring production and viability of eggs in *Calanus helgolandicus*. *J. Plankton Res.*, 17, 1125–1142.
- Lee, K. W., 2004. Mass culture and food value of the cyclopoid copepod *Paracyclopsina nana* Smirnov. Ph. D. thesis, Kangnung University, pp. 1–124.
- Legier-Visser, M. F., J. G. Mitchell, A. Okubo and J. A. Fuhrman, 1986. Mechanoreception in calanoid copepods. A mechanism for prey detection. *Mar. Biol.*, 90, 529–535.
- Lipman, E. E., K. R. Kao and R. P. Phelps, 2001. Production of the copepod *Oithona* sp. under hatchery conditions. *Aquaculture 2001: Book of abstracts*, 379 pp.
- Lonsdale, D. J., 1981. Influence of age-specific mortality on the life history traits of two estuarine copepods. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 5, 333–340.
- Miralto, A., A. Ianora, S. A. Poulet, G. Romano and M. Laabir, 1996. Is fecundity modified by crowding in the copepod *Centropages typicus*. *J. Plankton Res.*, 18, 1033–1040.
- Ohman, M. D. and J. A. Runge, 1994. Sustained fecundity when population resources are in short supply: Omnivory by *Calanus finmarchicus* in the Gulf of St. Lawrence. *Limnol. Oceanogr.*, 39, 21–36.
- Ohno, A., T. Takahashi and Y. Taki, 1990. Dynamics of exploited populations of the calanoid copepod, *Acartia tsuensis*. *Aquaculture*, 84, 27–39.
- Park, H. G., S. K. Kim, K. Y. Park and Y. J. Park, 1999a. High density cultivation of rotifer, *Brachionus rotundiformis* in the different diets. *J. Korean Fish. Soc.*, 32, 280–283.
- Park, H. G., K. W. Lee and S. K. Kim, 1999b. Growth of rotifer by the air, oxygen gas-supplied and the pH-adjusted productivity of the high density culture. *J. Korean Fish. Soc.*, 32, 757–283.
- Payne, M. F. and R. J. Rippingale, 2000. Rearing west Australian seahorse, *Hippocampus subelongatus*, juveniles on copepod nauplii and enriched *Artemia*. *Aquaculture*, 188, 353–361.
- Payne, M. F. and R. J. Rippingale, 2001. Intensive cultivation of the calanoid copepod *Gladioferens imparipes*. *Aquaculture*, 201, 329–342.
- Payne, M. F., R. J. Rippingale and J. J. Cleary, 2001. Cultured copepods as food for west Australian dhufish (*Glaucosoma hebraicum*) and pink snapper (*Pagrus auratus*) larvae. *Aquaculture*, 194, 137–150.
- Stttrup J. G. and L. A. McEvoy, 2003. Live feeds in marine aquaculture. (in) J. G. Stttrup (ed.), *Production and nutritional value of copepods*. Blackwell Science Ltd, pp. 145–205.
- Stttrup, J. G. and N. H. Norsker, 1997. Production and use of copepods in marine fish larviculture. *Aquaculture*, 155, 231–247.
- Stttrup, J. G., K. Richardson, E. Kirkegaard and N. J. Pihl, 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 J. W. Fleeger, 1995. Sustained mass culture of *Amphiascoides atopus* a marine harpacticoid copepod in a recirculating system. *Aquaculture*, 136, 313–321.
- Toledo, J. D., M. S. Golez, M. Doi and A. Ohno, 1999. Use of copepod nauplii during early feeding stage of grouper *Epinephelus coioides*. *Fish. Sci.*, 65, 390–397.
- Uchima, M and R. Hirano, 1986. Food of *Oithona davisae* (Copepoda: Cyclopoida) and the effect of food concentration at first feeding on the larval growth. *Bull. Plankton Soc. Japan*, 33, 29–41.
- Uye, S. and K. Sano, 1995. Seasonal reproductive biology of the small cyclopoid copepod *Oithona davisae* in a temperate eutrophic inlet. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 118, 121–128.
- Van Leeuwen, H. C. and E. J. Maly, 1991. Changes in swimming behavior of male *Diaptomus leptopus* (Copepoda: Calanoida) in response to gravid females. *Limnol. Oceanogr.*, 36, 1188–1195.

원고접수 : 2004년 12월 16일

수정본 수리 : 2005년 1월 11일