



미세조류의 종류와 농도에 따른 기수산 cyclopoid 요각류 *Paracyclops nana*의 섭식

민병희, 박흥기¹, 허성범*
부경대학교 양식학과, ¹강릉대학교 해양생명공학부

Grazing of Brackish Water Cyclopoid Copepod *Paracyclops nana* on Different Microalgae Species and Concentrations

Byeong-Hee Min, Heum-Gi Park¹ and Sung Bum Hur*

Department of Aquaculture, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

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

This study was carried out to investigate grazing of brackish water cyclopoid copepod *Paracyclops nana* on four microalgae species (*Tetraselmis suecica*, *Isochrysis galbana*, *Phaeodactylum tricornutum* and *Dunaliella tertiolecta*) and different food concentrations ranging from 5 to 55 ng chl a/ml. The grazing of *P. nana* was examined by the analysis of decreased number of microalgae and chlorophyll a content in rearing water and pigment content in the gut of *P. nana*. The maximum content of decreased chlorophyll a and gut pigment in *P. nana* varied with microalgae species and concentrations. It appeared at the food concentration 30 ng chl a/ml in *T. suecica*, 40 ng chl a/ml in *I. galbana* and *D. tertiolecta*, and 45 ng chl a/ml in *P. tricornutum*, respectively. The grazing rate of a *P. nana* per hour also varied with different microalgae species and concentrations. The maximum grazing rate per hour of *P. nana* fed *T. suecica* with 39.3 ng chl a/ml was the highest with 0.63 ng chl a/h, but lowest with 0.52 ng chl a/h. From these results, it can be concluded that *T. suecica* is the best species among four microalgae species for the mass culture of *P. nana* and daily optimum food concentration of *P. nana* is 25~39 ng chl a (approximately $10\sim15\times10^4$ cells).

Keywords: Copepod, Grazing, Microalgae, *Paracyclops nana*

서 론

요각류는 먹이의 종류와 농도에 의해 성이 결정되고 성장도 그에 따라 차이가 난다(Nagaraj, 1992). 따라서 요각류의 안정적인 대량배양을 위해서는 먹이의 종류와 농도가 중요하다.

요각류의 먹이 섭취율을 측정하는 방법으로는 배양수내 미세조류의 세포수와 클로로필 함량의 변화를 측정하거나 또는 장내용물 색소를 분석하는 방법이 있다. 요각류의 먹이 섭취는 수온(Dam and Peterson, 1988), 먹이 농도(Dagg and Walser, 1987)와 먹이의 질(Head, 1988; Mayzaud et al., 1998)에 따라 다르다. 또 낮 보다 밤에 먹이 섭취가 더 많다는 보고도 있다(Head et al., 1985; Atkinson et al., 1996; Tirelli and Mayzaud, 1999).

최근 해산어류 종묘생산에서 초기 동물먹이생물로 요각류의 배양이 중요시 되고 있다(Ohno and Okamura, 1988; Støttrup and Norsker, 1997). 그러나 요각류 배양에 관한 많은 연구 보

고에도 불구하고 다양한 요각류를 대량배양할 수 있는 기술은 아직 확립되어 있지 못하다(Lee et al., 2005).

*Paracyclops nana*는 우리나라의 기수지역에서 흔히 출현하는 부유성 종으로서 해산어와 갑각류의 먹이생물로 주로 사용되는 *Artemia nauplius*의 대체원으로써 충분한 잠재성이 있는 것으로 알려져 있다(Lee, 2004; Lee et al., 2006). 따라서 본 연구에서는 기수산 cyclopoid 요각류인 *P. nana*의 대량배양을 위하여 *P. nana*의 적합한 먹이생물로 알려진 4종의 미세조류(*Tetraselmis suecica*, *Isochrysis galbana*, *Phaeodactylum tricornutum*, *Dunaliella tertiolecta*) (Lee et al., 2006; Min et al., 2006)를 대상으로 먹이 종류와 농도에 따른 *P. nana*의 섭식 특성을 조사하였다.

재료 및 방법

Paracyclops nana 배양을 위한 미세조류의 배양

미세조류 4종(*T. suecica* KMCC P-9, *I. galbana* KMCC

*Corresponding author: hurs@pknu.ac.kr

H-2, *P. tricorutum* KMCC B-45, *D. tertiolecta* KMCC C-9)은 부경대학교 양식학과 한국해양미세조류은행에서 분양받아 사용하였다.

미세조류의 배양은 f/2 배지(Guillard and Ryther, 1962)를 사용하였으며, 수온은 20±1°C였고 조도는 80 μmol m⁻²s⁻¹로 연속 조명하였다. 원종을 250 ml 삼각 flask에 접종하여 이를 배양 후 1 L 삼각 플라스크, 3 L 둥근 플라스크와 20 L 아크릴 원형 용기에 순차적으로 배양하였다.

***P. nana*의 순수분리 및 배양**

*P. nana*는 2000년 12월 강원도 기수호인 송지호(18 psu)에서 망목 100 μm plankton net로 채집하였고 모세유리관으로 암컷 1마리를 분리한 후 500 ml 비이커를 이용하여 20°C, 15 psu에서 배양하였다.

*P. nana*의 nauplius 생산은 20 L 아크릴 원형 용기에 배양된 성체를 수용하여 매일 120 μm와 40 μm 망목을 이용하여 nauplius만 수거한 후 다시 20 L 용기에서 성체까지 배양하였다. Nauplius 생산시 수온은 28°C로, 성체까지 성숙시에는 20°C로 유지하였고(Lee et al., 2006), 염분 15 psu, 조도 2 μmol m⁻²s⁻¹, 광주기 12L : 12D하에서 배양하였다. 먹이는 *T. suecica*를 *P. nana*의 유생단계에는 1 개체당 2×10⁴ cells를, 성체단계에는 5×10⁴ cells를 1일 1회 공급하였다.

먹이 종류와 농도에 따른 *P. nana*의 섭식

미세조류에 대한 *P. nana*의 섭식을 조사하기 위하여 배양수 내의 감소한 chlorophyll a 함량과 *P. nana*의 장내용물 함량(gut pigment content)을 측정하였다. 배양수의 chlorophyll a 측정은 비이커 바닥을 충분히 폭기시켜 조사하였다. 1 L 비이커(배양수 1 L)에 포함된 *P. nana* 암컷을 1 개체/ml로 접종하여 *T. suecica*, *I. galbana*, *P. tricorutum*과 *D. tertiolecta*를 먹이로 단독 공급하였다. 수온과 염분은 앞의 배양 실험에서와 동일하였고 3반복 실험하였다.

먹이 농도는 ml 당 chlorophyll a의 함량을 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 ng으로 구분하여 공급하였다. 먹이 공급 후 24시간에 90 μm 망목으로 *P. nana* 성체 100개체를 수거한 후 수조내의 감소한 chlorophyll a의 함량과 *P. nana*의 장내용물 함량을 조사하였다. 한편 각 미세조류 모두 55 ng chl a/ml의 먹이 농도를 공급한 후 시간 경과(0.5, 1, 1.5, 2, 4, 6, 12, 18, 24시간)에 따른 *P. nana*의 장내용물의 함량 변화를 조사하였다. Chlorophyll a의 측정은 먹이공급 24시간 후에 *P. nana*를 90 μm 망목으로 수거하고, 남은 배양수를 GF/C filter로 여과한 후 Lorenzen (1967)의 방법으로 측정하였다. 수거된 100개체의 *P. nana*는 15 ml 원심분리관에 수용하여 90% acetone을 10 ml 되도록 첨가하여 추출한 후 4500 rpm으로 10분간 원심분리한 후 24 h 동안 냉장 보관한 다음 분석을 위하여 -80°C에 보관하였다. 665 nm에서 산화전 색소의 흡광도를 측정하고

1N HCl 2 방울을 떨어뜨린 후 665 nm에서 산화 후 색소의 흡광도를 측정하였다(Lorenzen, 1967).

장내용물 함량(gut pigment)은 chlorophyll a와 phaeopigment 함량의 합으로 구하였다.

$$\text{chlorophyll a (mg/m}^3\text{)} = \frac{26.7(665_0 - 665_a) \times v}{V \times l}$$

$$\text{phaeopigments (mg/m}^3\text{)} = \frac{26.7(1.7[665_a] - 665_0) \times v}{V \times l}$$

665₀: 산화전 665 nm에서 흡광도, 665_a: 산화 후 665 nm에서 흡광도, v: 추출에 사용된 acetone 량(ml), V: 여과된 물량(liters), l: 통과한 파장(cm)

한편 *P. nana*의 단위 시간당 섭식률(G, ng chl a equiv. ind⁻¹ h⁻¹)은 다음 식에 의해 계산되었다.

$$G = \frac{V(C_0 - C_f)}{N \times t}$$

C₀은 실험 초기 미세조류의 세포 농도, C_f는 t 시간 후의 실험구에서의 세포 농도, V는 실험구의 배양수량, N은 용기내 요각류의 수, f는 실험구에서 요각류의 섭취계수

통계처리

결과는 one-way ANOVA test를 실시한 후 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)를 실시하여 평균 간의 유의성(P<0.05)을 SPSS program (Ver. 10.1)으로 검정하였다.

결 과

먹이 종류와 농도에 따른 *P. nana*의 섭식

먹이의 종류와 농도에 따른 *P. nana*의 먹이 섭취량을 24시간 후 사육수내 감소된 chlorophyll a로 조사한 결과는 Fig. 1과 같다. *T. suecica*의 경우 감소된 chlorophyll a의 양은 먹이 공급 농도가 30 ng chl a/ml까지는 계속 증가하다가 35~55 ng chl a/ml 농도에서는 거의 일정하였다. *I. galbana*와 *D. tertiolecta*의 경우 감소된 chlorophyll a의 양은 40 ng chl a/ml 농도까지 증가하다가 45~55 ng chl a/ml 농도에서는 거의 일정하였다. *P. tricorutum*은 45 ng chl a/ml 농도까지 증가한 후 일정한 수준을 유지하였다.

한편 먹이종류와 농도에 따른 *P. nana*의 24시간 동안의 먹이 섭취량을 장 내용물 함량으로 조사한 결과는 Table 1과 같다. 4 종류 먹이에서 모두 먹이 농도가 높아질수록 장 내용물 함량은 증가하여 최고의 함량을 보인 후 감소하는 경향이였다. *T. suecica*는 먹이 농도 30 ng chl a/ml와 35 ng chl a/ml에서 장 내용물 함량이 최고치를 보였고, *I. galbana*와 *D. tertiolecta*는 40 ng chl a/ml에서, *P. tricorutum*은 45 ng chl a/ml에서 최고치를 보였다. 먹이 농도 30 ng chl a/ml까지는 *T. suecica*

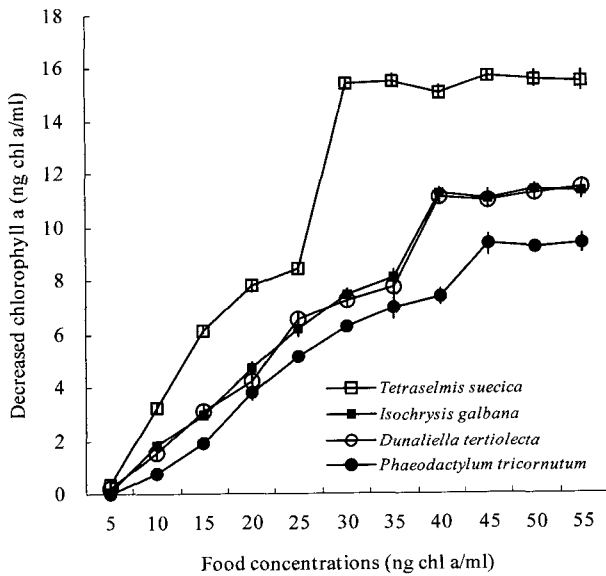


Fig. 1. Decreased chlorophyll a (mean±sd) in the water of *Paracyclopsina nana* fed different food concentrations of microalgae.

가 다른 3 종의 먹이에 비해 장 내용물 함량이 유의하게 가장 높았고, *P. tricorneratum*은 가장 낮은 경향을 보였다($P<0.05$).

먹이 공급 후 시간 경과에 따른 *P. nana*의 장내용물 함량의 변화는 Table 2와 같다. 4종의 먹이 실험구 모두에서 먹이 공

급 후 0.5시간째에 장 내용물 함량이 최고치를 보인 후, 4시간까지는 계속 감소하고 그 이후는 일정한 수준을 유지하는 경향이였다. *T. suecica* 공급구에서 *P. nana*의 장내용물 함량은 먹이 공급 후 1.5시간째에 0.25 ng pigment, 4시간째에 0.17 ng pigment로 타 먹이 실험구에 비해 유의하게 크게 감소하였으며 ($P<0.05$), 그 이후로는 거의 일정하였다.

*I. galbana*와 *D. tertiolecta* 공급구에서는 먹이 공급 후 2시간째에 각각 0.22와 0.21 ng pigment로 *T. suecica*와 유의한 차이가 없었다. *P. tricorneratum* 공급구에서는 먹이 공급 후 6시간까지 다른 실험구에 비해 유의하게 높은 함량의 경향을 보여 대조적이었다. 그러나 12시간째부터는 4 실험구에서 모두 유사한 경향을 보였다.

먹이 종류와 농도에 따른 *P. nana*의 시간당 섭취물의 변화는 Fig. 2와 같다. *T. suecica*를 먹이로 공급할 경우 *P. nana* 성체 1 개체의 시간당 섭취물은 먹이 농도가 39.3 ng chl a/ml일 때 0.63 ng chl a로 가장 높게 나타났으나, 먹이 농도가 25 ng chl a/ml 부터는 섭취물이 거의 일정하였다. *I. galbana*의 경우는 먹이 농도가 44.7 ng chl a/ml일 때 섭취물이 0.60 ng chl a ind.⁻¹ h⁻¹로 가장 높게 나타났다. *P. tricorneratum*의 경우는 먹이 농도가 44.5 ng chl a/ml일 때, 그리고 *D. tertiolecta*의 경우는 먹이 농도가 49.8 ng chl a/ml일 때, *P. nana* 성체 1 개체의 시간당 섭취물은 각각 0.41 ng, 0.52 ng chl a로 가장 높게 나타났다.

Table 1. Total pigments in the gut of a *Paracyclopsina nana* fed different food concentrations of microalgae

Food concentrations (ng chl a/ml)	<i>Tetraselmis suecica</i>	<i>Isochrysis galbana</i>	<i>Dunaliella tertiolecta</i>	<i>Phaeodactylum tricorneratum</i>
5	0.17±0.003 ^a	0.17±0.007 ^{ab}	0.17±0.005 ^a	0.16±0.005 ^b
10	0.19±0.009 ^a	0.17±0.004 ^b	0.17±0.009 ^b	0.16±0.008 ^b
15	0.22±0.011 ^a	0.21±0.014 ^a	0.22±0.012 ^a	0.18±0.010 ^b
20	0.28±0.011 ^a	0.24±0.008 ^b	0.16±0.007 ^d	0.21±0.013 ^c
25	0.32±0.010 ^a	0.28±0.017 ^b	0.30±0.012 ^{ab}	0.25±0.007 ^c
30	0.43±0.018 ^a	0.31±0.015 ^c	0.35±0.007 ^b	0.25±0.009 ^d
35	0.43±0.020 ^a	0.33±0.017 ^c	0.38±0.016 ^b	0.31±0.014 ^c
40	0.40±0.008 ^a	0.40±0.013 ^a	0.41±0.015 ^a	0.34±0.012 ^b
45	0.38±0.011 ^a	0.38±0.014 ^a	0.38±0.021 ^a	0.39±0.019 ^a
50	0.38±0.010 ^a	0.37±0.010 ^{ab}	0.37±0.009 ^{ab}	0.36±0.017 ^b
55	0.39±0.003 ^a	0.37±0.012 ^a	0.37±0.008 ^a	0.35±0.017 ^b

Values in the same row with different superscript letters are significantly different ($P<0.05$).

Table 2. Variations of total pigment content in the gut of *Paracyclopsina nana* fed different microalgal diet during twenty-four hours

Hour	<i>Tetraselmis suecica</i>	<i>Isochrysis galbana</i>	<i>Dunaliella tertiolecta</i>	<i>Phaeodactylum tricorneratum</i>
0.5	0.43±0.028 ^a	0.40±0.013 ^a	0.44±0.029 ^a	0.42±0.036 ^a
1	0.36±0.029 ^{ab}	0.35±0.007 ^b	0.38±0.014 ^{ab}	0.39±0.019 ^a
1.5	0.25±0.007 ^c	0.31±0.013 ^b	0.29±0.018 ^b	0.34±0.006 ^a
2	0.22±0.011 ^b	0.22±0.012 ^{ab}	0.21±0.023 ^b	0.26±0.032 ^a
4	0.17±0.003 ^c	0.20±0.005 ^b	0.20±0.012 ^b	0.22±0.012 ^a
6	0.17±0.003 ^b	0.17±0.007 ^b	0.17±0.005 ^b	0.19±0.009 ^a
12	0.17±0.003 ^a	0.17±0.007 ^a	0.17±0.005 ^a	0.17±0.017 ^a
18	0.17±0.003 ^a	0.17±0.007 ^a	0.17±0.005 ^a	0.16±0.007 ^a
24	0.17±0.003 ^a	0.17±0.007 ^{ab}	0.17±0.005 ^a	0.16±0.005 ^b

Values in the same row with different superscript letters are significantly different ($P<0.05$).

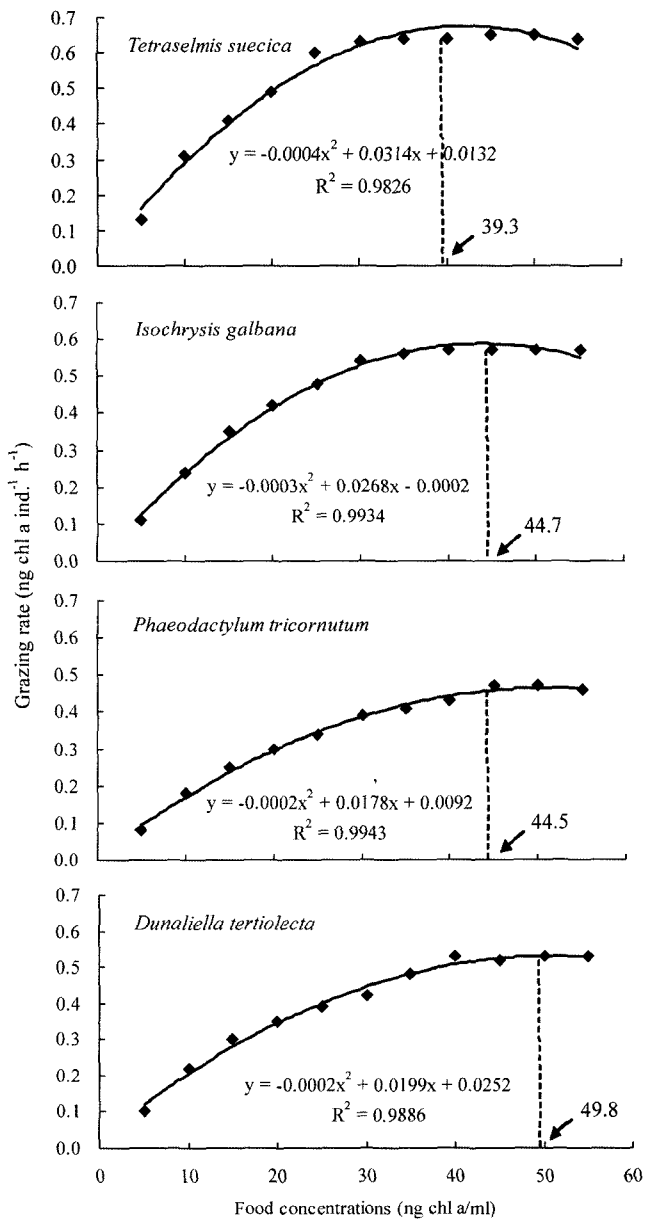


Fig. 2. Variations of grazing rate of a *Paracyclopsina nana* per hour, which fed different food concentrations of microalgae.

고찰

일반적으로 먹이 종류와 공급량은 요각류의 성장과 포란율에 영향을 미치는 가장 중요한 요인으로 알려져 있으며(Corkett and McLaren, 1970; Mayzaud et al., 1998; Knuckey et al., 2005), cyclopoid 요각류인 *Oithona similis*도 먹이 농도는 암컷의 난 생산에 영향을 미친다고 하였다(Sabatini and Kiørboe, 1994). 본 연구에서도 4종의 미세조류에서 먹이 농도가 높아짐에 따라 *P. nana*의 섭식률이 계속적으로 증가하다가 일정하게 유지되는 경향을 보였다. 이는 *Calanus hyperboreus*와 *C. pacificus*에 *Ditylum brightwellii*, *Thalassiosira fluviatilis* 등의

규조류를 다양한 밀도로 공급했을 때(Mullin and Brooks, 1963), Frost (1972)의 실험 결과와 유사하다. 또 cyclopoid 요각류인 *Oithona similis*가 먹이 농도에 따라 포란율이 다르다는 결과(Sabatini and Kiørboe, 1994)와 일치하였다.

Calbet and Alcaraz (1997)는 요각류의 초기 nauplius의 성장률이 먹이양에 크게 의존하는 것으로 보고하였다. Lee (2004)는 *P. nana*가 nauplius 단계에서 *T. suecica*의 먹이 공급량이 증가함에 따라 개체 발달에 영향을 미치지 않는 것으로 나타난 반면, copepodid 단계에서는 먹이양이 $1\sim5\times 10^4$ cells/ml을 기준으로 감소하거나 증가할 때, 개체 발달에 악영향을 미친다고 하였다.

본 실험에서 먹이 공급 후 시간 경과에 따른 섭식률을 장내 용물 함량의 변화로 분석한 결과, *P. nana*는 먹이 공급 직후 가장 섭식률이 활발하고 시간이 지날수록 감소하여 4~6시간 이후에는 일정한 수준을 유지하였다. 또 먹이 종류에 따라서도 시간 경과에 따른 섭식률은 차이를 보였다. 이러한 결과를 볼 때, *P. nana*의 먹이 소화 시간은 4~6시간 정도로 추측되며, 본 실험에서 사용한 4 종류 먹이 중 가장 선호하는 종은 *T. suecica*, *D. tertiolecta*, *I. galbana*, *P. tricornutum*의 순일 것으로 판단된다.

일반적으로 요각류는 먹이 농도가 아주 낮을 때는 먹이 섭취를 중지하든지 섭취 속도를 늦춘다고 알려져 왔다(Mullin and Brooks, 1963; Frost, 1972; Huntley, 1981). *Acartia tonsa*의 경우 최대 먹이 공급 농도는 $7\sim150$ $\mu\text{gC/L}$ 로 상당한 변이가 있다고 하였다(Reeve and Walter, 1977). 본 연구에서도 *T. suecica*, *I. galbana*, *P. tricornutum*, 그리고 *D. tertiolecta*를 대상으로 한 *P. nana* 성체 1 개체의 시간당 섭식률은 각 미세조류의 공급 농도가 각각 39.3, 44.7, 44.5와 49.8 ng chl a/ml일 때 각각 0.63, 0.60, 0.41 및 0.52 ng chl a로 최대로 나타나 먹이 종류와 농도에 따라 *P. nana*의 섭식률이 다름을 알 수 있었다. Chlorophyll a 농도와 세포수 사이의 직선식을 이용하여 이들 각 미세조류의 chlorophyll a의 농도를 세포수로 환산하면 각각 약 15×10^4 , 130×10^4 , 80×10^4 , 26×10^4 cells/ml로 추정된다. 그리고 *P. nana*의 장내용물 함량과 시간당 섭식률이 먹이 농도에 따라 증가하다가 최대치를 보인 후에는 먹이 농도가 증가하여도 거의 일정하게 유지되었다. 따라서 *P. nana*의 대량배양시 먹이의 농도는 최대 섭식률을 보이는 먹이 농도로 공급하는 것이 경제적이다. 이와 같은 *P. nana*의 섭식 특성을 볼 때 *T. suecica*는 *P. nana*의 대량배양에 가장 효율적인 먹이생물이며, 성체 1 개체당 1일 먹이섭취량은 약 15 ng chl a (약 5.7×10^4 cells) 이하일 것이나 적정 공급 밀도는 약 25~39 ng chl a (약 $10\sim15\times 10^4$ cells)일 것으로 판단된다.

요약

본 연구는 기수산 cyclopoid 요각류인 *Paracyclopsina nana*의 먹이 종류와 농도에 따른 섭식률을 조사하였다. 먹이 공급 24

시간 후 먹이의 종류와 농도에 따른 *P. nana*의 장내용물 함량과 섭취된 먹이의 양을 색소분석 방법으로 조사하였다. *T. suecica*는 30 ng chl a/ml, *I. galbana*와 *D. tertiolecta*는 40 ng chl a/ml, *P. tricorutum*는 45 ng chl a/ml 농도로 공급하였을 때 섭취된 먹이의 양과 *P. nana*의 장내용물 함량이 가장 높았다.

T. suecica, *I. galbana*, *P. tricorutum*, 그리고 *D. tertiolecta*에 대한 *P. nana* 성체 1 개체의 시간당 최대 섭취율은 각 미세조류의 공급 농도가 각각 39.3, 44.7, 44.5와 49.8 ng chl a/ml 일 때 각각 0.63, 0.60, 0.41 및 0.52 ng chl a로 나타났다. 따라서 *P. nana*의 대량배양시 가장 적합한 먹이생물은 공급 농도가 낮으면서도 섭취율이 가장 높은 *T. suecica*이며, 성체 1 개체당 1일 먹이 공급량은 약 25~39 ng chl a (약 $10\sim 15 \times 10^4$ cells)가 가장 경제적인 것으로 판단된다.

감사의 글

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

참고문헌

- Atkinson, A., P. Ward and E. J. Murphy, 1996. Diel periodicity of subantarctic copepods: relationships between vertical migration, gut fullness and gut evacuation rate. *J. Plankton Res.*, 18, 1387-1405.
- Calbet, A. and M. Alcaraz, 1997. Growth and survival rates of early developmental stages of *Acartia grani* (Copepoda: Calanoida) in relation to food concentration and fluctuations in food supply. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 147, 181-186.
- Corkett, C. J. and I. A. McLaren, 1970. Relationships between development rate of eggs and older stages of copepods. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, 50, 161-168.
- Dagg, M. J. and W. E. J. Walser, 1987. Ingestion, gut passage, and egestion by the copepod *Neocalanus plumchrus* in the laboratory and in the the subarctic Pacific Ocean. *Limnol. Oceanogr.*, 32, 178-188.
- Dam, H. J. and W. T. Peterson, 1988. The effect of temperature on the gut clearance rate constant of planktonic copepods. *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.*, 123, 1-14.
- Duncan, D. B., 1955. Multiple-range and multiple F tests. *Biometrics*, 11, 1-42.
- Frost, B. W., 1972. Effects of size and concentration of food particles on the feeding behavior of the marine plankton copepod *Calanus pacificus*. *Limnol. Oceanogr.*, 17, 805-815.
- Guillard, R. R. L. and J. H. Ryther, 1962. Studies on marine planktonic diatoms. *Cyclotella nana* Hustedt and *Detonula confervacea* (Clece) Gran. *Can. J. Microbiol.*, 3, 229-239.
- Head, E. J. H., 1988. Copepod feeding behaviour and the measurement of grazing rates *in vivo* and *in vitro*. *Hydrobiologia*, 167/168, 31-41.
- Head, E. J. H., L. R. Harris and C. Abou Debs, 1985. Effect of daylength and food concentration on *in situ* diurnal feeding rhythms in arctic copepods. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 24, 281-288.
- Huntley, M., 1981. Nonselective, nonsaturated feeding by three calanoid copepod species in the Labrador Sea. *Limnol. Oceanogr.*, 26, 831-842.
- Knuckey, R. M., G. L. Semmens, R. J. Mayer and M. A. Rimmer, 2005. Development of an optimal microalgal diet for the culture of the calanoid copepod *Acartia sinjiensis*: Effect of algal species and feed concentration on copepod development. *Aquaculture*, 249, 339-351.
- Lee, C. S., P. J. O'Bryen and N. H. Marcus, 2005. Copepod in aquaculture. Blackwell Publishing, Iowa, 269 pp.
- Lee, K. W., 2004. Mass culture and food value of the cyclopoid copepod *Paracyclops nana* Smirnov. Ph.D. thesis, Kangnung National University, 124 pp.
- Lee, K. W., H. G. Park, S. M. Lee and H. K. Kang, 2006. Effects of diets on the growth of the brackish water cyclopoid copepod *Paracyclops nana* Smirnov. *Aquaculture*, 256, 346-353.
- Lorenzen, C. J., 1967. Determination of chlorophyll and phaeopigments: spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanogr.*, 12, 343-346.
- Mayzaud, P., V. Tirelli, J. M. Bernard and O. Roche-Mayzaud, 1998. The influence of food quality on the nutritional acclimation of the copepod *Acartia clausi*. *J. Mar. Syst.*, 15, 483-493.
- Min, B. H., H. G. Park, K. W. Lee and S. B. Hur, 2006. Selection of optimum microalgal species for culture of the brackish water cyclopoid copepod *Paracyclops nana*. *J. Kor. Fish. Soc.*, 39 (in Press).
- Mullin, M. M. and E. R. Brooks, 1963. Some factors affecting the feeding of marine copepod of the genus *Calanus*. *Limnol. Oceanogr.*, 8, 239-250.
- Nagaraj, M., 1992. Combined effects of temperature and salinity on the development of the copepod *Eurytemora affinis*. *Aquaculture*, 103, 65-71.
- Ohno, A. and Y. Okamura, 1988. Propagation of the calanoid copepod, *Acartia tsuensis*, in outdoor tanks. *Aquaculture*, 187, 85-96.
- Reeve, M. R. and M. A. Walter, 1977. Observations on the existence of lower threshold and upper critical food concentrations for the copepod *Acartia tonsa* Dana. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 29, 211-221.
- Sabatini, M. and T. Kjørboe, 1994. Egg production, growth and development of the cyclopoid copepod *Oithona similis*. *J. Plankton Res.*, 16, 1329-1351.
- Støttrup, J. G. and N. H. Norsker, 1997. Production and use of copepods in marine fish larviculture. *Aquaculture*, 155, 231-247.
- Tirelli, V. and P. Mayzaud, 1999. Gut evacuation rates of Antarctic copepods during austral spring. *Polar Biol.*, 21, 197-200.

원고접수 : 2006년 9월 7일

수정본 수리 : 2006년 10월 27일