

기수산 요각류 *Paracyclops nana*의 섭식, 성장 및 생산력에 관한 먹이농도의 영향

이균우¹, 강정훈^{1*}, 박흥기²
¹한국해양과학기술원, ²강릉원주대학교 해양자원육성학과

Effect of food concentration on grazing, growth and fecundity of cyclopoid copepod *Paracyclops nana*

Kyun-Woo Lee¹, Jung-Hoon Kang^{1*} and Heum Gi Park²

¹South Sea Environment Research Department, South Sea Research Institute, KIOST

²Faculty of Marine Bioscience and Technology, Gangneung-Wonju National University

요 약 기수산 요각류 *P. nana*의 대량배양을 위한 최적 먹이공급량을 규명하기 위해 먹이공급량에 따른 *P. nana*의 섭식량, 성장 및 성체암컷의 nauplius 생산수를 조사하였다. 실험을 위한 먹이생물로 해양 식물플랑크톤인 *Tetraselmis suecica*를 사용하였으며 실험은 발달 단계에 따라 6 그룹으로 나누어 실시하였다. 먹이공급량은 각 단계 그룹마다 0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 40, 60 및 80×10^4 cells/mL로 설정하였고 *P. nana* 암컷의 nauplius 생산수 측정실험은 0.2, 0.5, 1, 2, 3 및 4×10^4 cells/mL의 먹이공급실험구를 두어 실시하였다. 실험결과, 먹이 공급량에 따른 *P. nana* 각 발달 단계의 시간 당 초식율은 모든 발달단계가 *T. suecica*의 농도가 높아짐에 따라 계속 증가하는 경향을 보였다. *P. nana*는 nauplius 기간에서, 먹이량이 증가함에 따라 개체 발달에 영향을 미치지 않는 것으로 나타난 반면, copepodite 단계에서는 먹이량이 $1 \times 10^4 \sim 5 \times 10^4$ cells/mL을 기준으로 감소하거나 증가할 때, 개체 발달에 악영향을 미치는 것으로 나타났다. 먹이 공급 농도에 따른 암컷의 일일 nauplius 생산은 먹이 공급량이 증가함에 따라 증가하였고 3 및 4×10^4 cells/mL 실험구는 2×10^4 cells/mL 실험구와 유의적인 차이를 보이지 않았다. 결과적으로, *P. nana*의 대량배양을 위한 *T. suecica* 공급밀도는 nauplius 단계는 5,000 cells/mL, copepodite 단계와 성체수컷은 10,000 cells/mL, 성체암컷은 20,000 cells/mL이 가장 효율적인 먹이 공급 밀도라고 판단된다.

Abstract We studied the effect of food concentration on grazing, growth and fecundity of cyclopoid copepod *Paracyclops nana*. Marine phytoplankton *Tetraselmis suecica* was used as a livefood for the copepod. Six stage compositions were used and food concentrations for the experiment were 0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 40, 60 and 80×10^4 cells/mL. Range of food concentrations with 0.2, 0.5, 1, 2, 3 and 4×10^4 cells/mL were used for nauplii production experiment. Grazing rates of *P. nana* in all developmental stages on the different concentrations were increased with increasing diet concentration. While the growth of nauplius was not affected by increase of food concentration, food concentration outside of 1×10^4 to 5×10^4 cells/mL range negatively affected that of copepodite. Daily nauplii production was increased with increasing food concentration but 3×10^4 and 4×10^4 cells/mL treatments were not significantly different with 2×10^4 cells/mL treatment. As a result, optimum concentration of *T. suecica* for mass culture of *P. nana* was considered to be 5,000 cells/mL for nauplius stage, 10,000 cells/mL for copepodite stage and adult male, 20,000 cells/mL for adult female, respectively.

Key Words : *Paracyclops nana*, Grazing rate, Developmental composition, Nauplii production

본 논문은 한국해양과학기술원(PE98746)의 연구과제로 수행되었음.

*Corresponding Author : Jung-Hoon Kang

Tel: +82-55-639-8517 email: jhkang@kiost.ac

접수일 12년 10월 05일

수정일 12년 10월 12일

게재확정일 12년 11월 08일

1. 서론

해산 요각류는 해양 먹이사슬에서 식물 플랑크톤과 고등 생물을 연결시켜주는 역할을 하기 때문에[1] 자어와 치어 및 갑각류의 먹이원으로 중요한 역할을 한다[2,3]. 또한 해산 요각류는 그들의 작은 크기뿐만 아니라 높은 영양가치로 인해 자어를 위한 최상의 먹이로 알려져 있다[4]. 따라서 이러한 요각류는 인간에게로의 직접적인 사용은 거의 없지만, 오래 전부터 채집이나 배양에 의해 어류나 갑각류의 종묘생산에 사용되어 오고 있는 먹이생물이며[5], 현재까지 이들을 어류의 먹이생물로 이용하기 위한 대량배양 연구가 국내외적으로 많이 수행되고 있다.

한편, 기수산 cyclopoid 요각류인 *Paracyclopsina nana*는 우리나라의 기수지역에서 흔히 출현하는 종으로 대부분 부유성이고 성체의 크기(체장)가 508~624 μm 로 *Artemia nauplius*와 비슷하다[6]. *Artemia nauplius*는 전세계적으로 해산어와 갑각류의 인공종묘생산시 먹이생물로 주로 사용되고 있고 국내의 경우 전량 수입에 의존하는데 이를 대체하기 위한 대체원으로 이 요각류를 이용하기 위한 연구가 일부 수행된 바 있다. 최근 국내연구진에 의해, *P. nana*의 대량배양을 위한 최적 먹이로 해양 식물플랑크톤인 *Tetraselmis suecica*가 제시된 바 있으나[6] *P. nana*를 위한 이 먹이생물의 최적 공급량에 관해서는 아직 보고되지 않고 있다. 요각류 배양에서 최적 먹이량의 규명은 요각류의 배양효율과 생산성측면에서 상업적 적용여부를 판단할 만큼 매우 중요한 요인 중의 하나이다. 따라서 본 연구는 *P. nana*의 대량배양을 위한 최적 먹이공급량을 규명하기 위한 것으로 먹이공급량에 따른 *P. nana*의 섭식량, 성장 및 성체암컷의 nauplius 생산수를 조사하였다.

2. 재료 및 방법

발달 단계에 따라 6 그룹으로 나누어 실험하였으며 각 발달 단계 그룹의 단계조성과 mL 당 수용 요각류의 수를 표 1에 나타내었다. *P. nana*의 먹이생물로 *T. suecica*를 배양하여 사용하였다. 먹이공급량은 각 단계 그룹마다 0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 40, 60 및 80×10^4 cells/mL로 설정하였고 대조구로 무공급구를 두었으며 3회 반복 실험하였다. 실험은 6 mL 12 wells culture plate에 배양수 2 mL로 하였으며 Aluminium foil로 싸서 암흑상태를 유지하여 수온 28°C인 배양기에 24시간 동안 배양하였다. 24시간 후 모든 실험구에 10% 포르말린을 1방울 떨어뜨리고 스포이드를 사용하여 잘 교반시킨 뒤, hemacytometer로 잔

량의 *Tetraselmis suecica*를 계수하였고 현미경 하에서 요각류의 발달 단계를 식별하여 계수하였다.

각 발달단계 별 초식물 (G , 먹은 세포수/요각류/시간)은 다음 식에 의해 계산되었다.

$$G = \frac{Vf}{N} \frac{C_{tf} - C_0}{(k-f)t}$$

C_0 은 실험 초기 *T. suecica*의 세포 밀도, C_{tf} 는 t 시간 후의 각각 대조구와 실험구에서의 밀도, V 는 실험구의 배양수량, N 은 용기내 요각류의 수, k 는 대조구에서 *T. suecica*의 성장계수, f 는 실험구에서 요각류의 섭취계수로 표기하였다.

먹이공급 밀도에 따른 *P. nana* 암컷의 nauplius 생산수 측정은 *T. suecica*의 실험 공급 밀도 0.2, 0.5, 1, 2, 3 및 4×10^4 cells/mL로 두어 실시하였다. 6 mL 12 cells wall (배양수 5 mL)에 성숙하여 갓 포란한 암컷 1마리씩 총 10 개체를 접종하여 수온 24°C, 염분 15‰에서 배양하였다. 매일 스포이드를 사용하여 cell wall에서 암컷만 남기고 생산된 nauplius를 배양수와 함께 뽑아 광학현미경 하에서 계수하였고 새로운 배양수를 cell wall에 공급하여 전량 환수하였으며 실험은 10일간 실시하였다.

발달단계조성과 성체암컷의 nauplius 생산실험에 대한 결과는 one-way ANOVA test를 실시하였으며, 처리평균간의 유의성($P < 0.05$)은 Turkey의 다중검정법(Turkey's multiple comparison test)으로 분석하였다. 모든 통계 분석은 SPSS program (Ver. 12.0)을 사용하여 실시하였다.

[표 1] *Paracyclopsina nana*의 발달단계별조성 및 접종밀도

[Table 1] Stage compositions and inoculated densities of *Paracyclopsina nana*

Experiment group	Stage compositions (%)				Number of <i>P. nana</i> (inds./mL)
	N1	N2	N3	N4	
1	73.1	26.9			20.0
2					15.0
3					21.0
4					16.5
5					7.5
6					5.0

3. 결과

3.1 *P. nana*의 초식율

먹이 공급량에 따른 *P. nana* 각 발달 단계의 시간 당 초식율은 모든 발달단계가 *T. suecica* 농도가 높아짐에 따라 계속 증가하는 경향을 보였다. 따라서 각 발달단계에 있어 가장 높은 초식율을 보인 *T. suecica*의 농도는 N1~N2는 6×10^5 cells/mL에서 199 cells/개체/시간, N2~N5는 8×10^5 cells/mL에서 227 cells/개체/시간, N3~N6는 6×10^5 cells/mL에서 327 cells/개체/시간, N6~C2는 4×10^5 cells/mL에서 826 cells/개체/시간, C♀4~♂는 6×10^5 cells/mL에서 943 cells/개체/시간, C♀5~♂는 8×10^5 cells/mL에서 2,269 cells/개체/시간을 각각 초식한 것으로 나타났다(그림 1).

3.2 *P. nana*의 발달단계 조성

그림 2는 먹이 공급량에 따른 *P. nana* 각 발달 단계 조성을 나타내었는데 각 실험에서 24시간 후 N1~N2 실험구는 N5, N2~N5 실험구는 N6, N3~N6 실험구는 C2, N6~C2 실험구는 C4까지 각각 발달하였다. 각 실험에서 최고 발달단계 비율은 N1~N2, N2~N5, N3~N6은 무첨가 공급구를 제외하고 모두 유의적인 차이를 보이지 않았으며 N6~C2는 5×10^4 cells/mL 공급구가 19.3%로 가장 높게 나타났으나 1×10^4 , 2×10^4 cells/mL 공급구와 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$). 1×10^5 cells/mL 이상 공급구는 점차 감소하여 40×10^5 cells/mL 공급구에서는 2.6%로 무공급구 및 0.5×10^4 cells/mL 공급구와 함께 다른 실험구에 비해 유의적으로 낮은 비율을 보였다($P < 0.05$).

3.3 *P. nana*의 nauplius 생산력

먹이 공급 농도에 따른 암컷의 일일 nauplius 생산은 먹이 공급량이 증가함에 따라 증가하다가 2×10^4 cells/mL 공급한 실험구가 17.9 개체로 0.2, 0.5, 1×10^4 cells/mL 실험구에 비해 유의적으로 높은 nauplius 생산력을 보였으나($P < 0.05$), 3×10^4 , 4×10^4 cells/mL를 공급한 실험구와는 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$; 그림 3).

4. 고찰

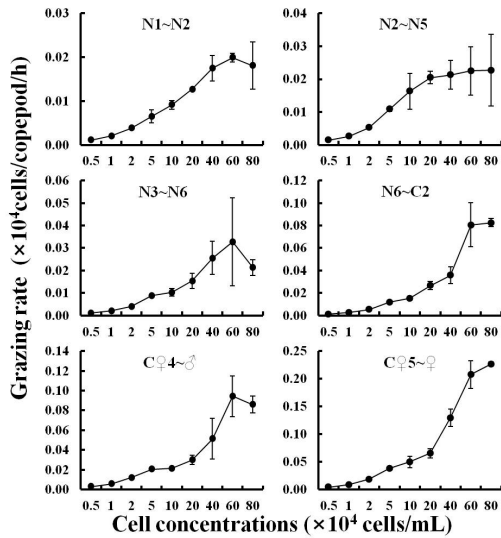
일반적으로 먹이공급량은 요각류의 발달과 암컷의 난 생산율에 영향을 미치는 가장 중요한 요인으로 알려져 있으며[7-11] 본 실험에서도 *P. nana*의 발달과 암컷의 난 생산율이 먹이공급량에 영향을 받는 것으로 나타났다.

본 연구에서 먹이공급농도가 높아짐에 따라 *P. nana*의 모든 단계의 초식율이 계속적으로 증가하다가 일정하게 유지되거나 다시 감소하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 *Calanus hyperboreus*에게 *Ditylum brightwellii*와 *Thalassiosira fluviatilis*를 다양한 밀도로 공급했을 때[12]와 *Calanus pacificus*에게 다양한 구조류를 공급했을 때[13]와 비슷한 결과를 보였다. 한편, 94.5%가 수컷인 C♀4~♂ 실험구의 초식율은 최고 먹이 농도에서 암컷 초식율의 약 40%로 나타났다. 이것은 *C. helgolandicus* 수컷의 초식율이 암컷 초식율의 20%로 나타난 결과[14]와 유사하여 *P. nana*도 암컷이 수컷보다 초식율이 매우 높은 것으로 판단된다.

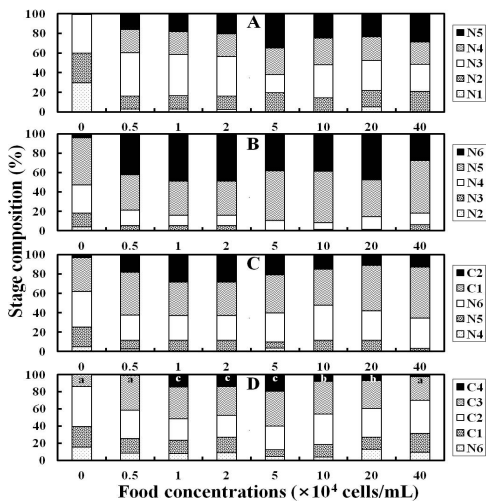
*Oithona davisae*의 경우, 부화 직후 N1은 낮은 먹이조건에서 폐사율이 높으며 특히, 수온이 높을 때는 먹이가 충분히 많은 곳에 있어야 한다고 보고된 바 있다[15]. 그림 2 (A, B, C)에서 nauplius에게 공급한 최소 공급량(5,000 cells/mL)과 최대 공급량(400,000 cells/mL)은 nauplius의 발달에 있어 차이를 보이지 않았으므로($P > 0.05$) 최소 공급량인 5,000 cells/mL은 nauplius 발달에 있어 충분한 먹이 밀도라고 판단된다. 그러나 *P. nana*의 생존율에 있어 *T. suecica*의 공급량은 먹이를 공급하지 않은 대조구와도 차이를 보이지 않았다. 따라서 *P. nana*의 생존은 단기간 내(24시간)에 먹이량에 크게 영향을 받지 않는 것으로 판단되지만 장기간 배양 시, 먹이량에 대한 영향을 받을 가능성을 배제할 수 없기 때문에 실험기간을 더 길게 하여 조사할 필요가 있을 것으로 판단된다.

요각류는 성장에 있어 어린 단계보다 후기 단계가 먹이량에 대한 영향을 더 받는다[16]. 또한 제한적인 먹이는 요각류의 거의 모든 단계의 성장률을 감소시키는 원인이 되고 특히, *Acartia*, *Temora*, *Centropages*의 후기 copepodite 단계에 더 영향을 미친다[17]. 본 실험에서도 마찬가지로 *P. nana*는 nauplius 기간에서, 먹이량이 증가함에 따라 개체 발달에 영향을 미치지 않는 것으로 나타난 반면, copepodite 단계에서는 먹이량이 $1 \times 10^4 \sim 5 \times 10^4$ cells/mL을 기준으로 감소하거나 증가할 때, 개체 발달에 악영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러나 요각류의 초기 nauplius의 성장률이 먹이량에 크게 의존한다는 연구결과도 보고되고 있다[18].

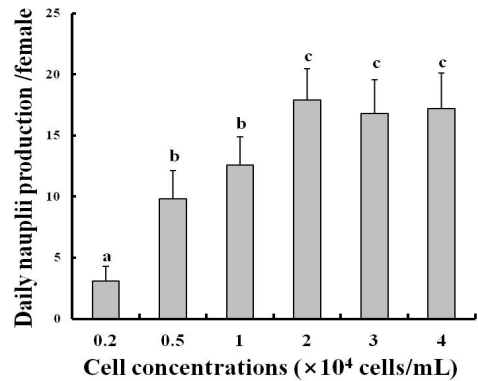
Cyclopoid 요각류인 *Oithona similis*의 경우, 먹이농도는 암컷의 난 생산에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다[19]. 본 실험에서 *P. nana*는 먹이 농도 20,000 cells/mL 이상에서 nauplius 생산력이 차이를 보이지 않았으므로 가장 효율적인 *P. nana* 암컷의 *T. suecica* 공급밀도는 20,000 cells/mL인 것으로 판단된다.



[그림 1] 먹이농도에 따른 *Paracyclopsina nana*의 섭식율 변화
 [Fig. 1] Changes in grazing rate of *Paracyclopsina nana* at different food concentrations for an hour



[그림 2] 먹이농도에 따른 *Paracyclopsina nana*의 발달 단계조성
 [Fig. 2] Development stage composition of *Paracyclopsina nana* at different food concentrations for a day. Initial stages of A, B, C and D were N1~N2, N2~N5, N3~N6 and N6~C2, respectively. ^{a,b,c} Two data black bars in D with dissimilar letters indicate significant difference ($P<0.05$).



[그림 3] 먹이농도에 따른 *Paracyclopsina nana* 성체 암컷의 일일 nauplius 생산수
 [Fig. 3] Daily nauplii production of *Paracyclopsina nana* at different food concentrations. ^{a,b,c} Two data bars with dissimilar letters indicate significant difference ($P<0.05$) over the other. Values are shown as means \pm SE.

결과적으로, *P. nana*의 대량배양을 위한 *T. suecica* 공급밀도는 nauplius 단계는 5,000 cells/mL, copepodite 단계는 10,000 cells/mL, 암컷은 20,000 cells/mL이 가장 효율적인 먹이 공급 밀도라고 판단된다.

References

- [1] W. C. M. Klein Breteler, N. Schogt and S. R. Gonzalez, "On the role of food quality in grazing and development of life stages, and genetic change of body size during cultivation of pelagic copepods" J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 135, 177-189, 1990.
- [2] B. Sun and J.W. Fleeger, "Sustained mass culture of *Amphiascoides atopus* a marine harpacticoid copepod in a recirculating system" Aquaculture, 136, 313-321. 1995.
- [3] C. S. C. Pinto, L. P. Souza-Santos and P. J. P. Santos, "Development and population dynamics of *Tisbe biminiensis* (Copepoda: Harpacticoida) reared on different diets" Aquaculture, 198, 253-267. 2001.
- [4] R. S. J. Gapasin and M. N. Duray, "Effects of DHA-enriched live food on growth, survival and incidence of opercular deformities in milkfish (*Chanos chanos*)" Aquaculture, 193, 49-63. 2001.
- [5] J. G. Støttrup and N. H. Norsker, "Production and use of copepods in marine fish larviculture" Aquaculture, 155, 231-247. 1997.

[6] K. W. Lee, H. G. Park, S. M. Lee and H. K. Kang, "Effects of diets on the growth of the brackish water cyclopoid copepod *Paracyclops nana* Smirnov" *Aquaculture* 256, 346-353. 2006.

[7] C. J. Corkett and I. A. McLaren, "Relationships between development rate of eggs and older stages of copepods" *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, 50, 161-168. 1970.

[8] M. R. Landry, "The relationship between temperature and the development of life stages of the marine copepod *Acartia clarsi* Giesbr" *Limnol. Oceanogr.*, 20, 854-858. 1975.

[9] D. M. Jr. Checkley, "The egg production of a marine planktonic copepod in relation to its food supply: laboratory studies" *Limnol. Oceanogr.*, 25, 430-446. 1980.

[10] K. Kimoto, S. Uye and T. Onbé, "Egg Production of a brackish-water calanoid copepod *Sinocalanus tenellus* in relation to food abundance and temperature" *Bull. Plankton Soc. Japan*, 33, 133-145. 1986.

[11] S. Uye, "Temperature-dependent development and growth of *Calanus sinicus* (Copepoda: Calanoida) in the laboratory" *Hydrobiologia*, 167/168, 285-293. 1988.

[12] M. M. Mullin, "Some factors affecting the feeding of marine copepod of the genus *Calanus*" *Limnol. Oceanogr.*, 8, 239-250. 1963.

[13] B. W. Frost, "Effects of size and concentration of food particles on the feeding behavior of the marine plankton copepod *Calanus pacificus*" *Limnol. Oceanogr.*, 17, 805-815. 1972.

[14] G. A. Paffenhöfer, "Grazing and ingestion rates of nauplii, copepodids and adults of the marine planktonic copepod *Calanus helgolandicus*" *Mar. Biol.*, 11, 286-298. 1971.

[15] M. Uchima and R. Hirano, "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. 1986.

[16] S. Razouls and C. Razouls, "Seasonal size distribution of developmental stages of sub-antarctic copepod" *Hydrobiologia*, 167/168, 239-246. 1988.

[17] W. C. M. Klein Breteler, H. G. Fransz and S. R. Gonzalez, "Growth and development of four calanoid copepod species under experimental and natural conditions" *Neth. J. Sea Res.* 16, 195-207. 1982.

[18] A. Calbet and M. Alcaraz, "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. 1997.

[19] M. Sabatini and T. Kiørboe, "Egg production, growth and development of the cyclopoid copepod *Oithona similis*" *J. Plankton Res.*, 16, 1329-1351. 1994.

이 균 우(Kyun-Woo Lee)

[정회원]



- 2001년 2월 : 강릉원주대학교 해양생명공학과 (이학석사)
- 2004년 2월 : 강릉원주대학교 해양생명공학과 (이학박사)
- 2004년 3월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 전문연구사업인력

<관심분야>
해양생물학, 해양환경독성학

강 정 훈(Jung-Hoon Kang)

[정회원]



- 1998년 2월 : 서울대학교 해양학과 (이학석사)
- 2004년 8월 : 서울대학교 지구환경과학부 (이학박사)
- 2007년 3월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 책임연구원

<관심분야>
해양생물학, 외래생물생태학

박 흠 기(Heum Gi Park)

[정회원]



- 1990년 2월 : 부경대학교 수산양식학과 (이학석사)
- 1997년 2월 : 부경대학교 수산양식학과 (이학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 강릉원주대학교 교수

<관심분야>
먹이생물학, 해양생물학, 신재생에너지