

소형 rotifer, *Proales similis*의 성장을 위한 최적 먹이종류 및 공급량

이배익 · 김대중 · 김신권 · 이남실 · Hagiwara Atsushi* ·
권오남** · 박흥기** · 박진철†
(국립수산과학원 · *나가사키대학교 · **강릉원주대학교)

Optimal Food and Concentration for Growth of Small Rotifer, *Proales similis*

Bae-Ik LEE · Dae-Jung KIM · Shin-Kwon KIM · Nam-Sil LEE · Atsushi HAGIWARA* ·
O-Nam KWON** · Heum-Gi PARK** · Jin-Chul PARK†

(National Institute of Fisheries Science · *Nagasaki University · **Gangneung-Wonju National University)

Abstract

This study determined the optimum microalgae species and concentration for growth of small rotifer *Proales similis*, in community cultures by feeding it several different foods. Four single trials (*Tetraselmis suecica*, TET; *Isochrysis galbana*, ISO; *Nannochloropsis oculata*, NAN; freshwater *Chlorella vulgaris*, CHL) were conducted at 5 psu and 25°C. The maximum density and specific growth rate (SRG) were highest for rotifer fed CHL reaching 1,075 individuals (inds.)/mL and 0.83 respectively. By contrast, other foods of ISO, NAN and TET resulted in poor growth rates and maximum density.

In the freshwater *C. vulgaris* experiments examining a range of 0.05 to 8.8 mg/10⁴rotifers, the growth of rotifer tended to decrease with the amount of supplement. The maximum density and SGR of females was highest at 910 inds./mL and 0.55 respectively, at 0.05 mg/10⁴rotifers. These results suggest that the best microalgae species for the culture of *P. similis* is freshwater *C. vulgaris* and the optimum concentration is 0.05 mg/10⁴rotifers.

Key words : Small rotifer, *Proales similis*, Maximum density, Food, Concentration

I. 서론

수산증양식 분야에서 먹이생물로 널리 이용되어지고 있는 윤충류인 rotifer는 비선택적 여과섭식을 하는 종으로 주요 먹이인 식물성 먹이생물은 물론 박테리아, 효모까지도 먹이원으로 이용하는 것으로 알려져 있다(Enriquez García et al.,

2003). 이처럼 다양한 먹이원을 섭취하는 특징을 보이지만 일반적으로 rotifer는 주로 식물성 먹이생물을 섭취하며, 이 때 공급된 먹이의 종류에 따라 성장 및 생식에 직접적인 영향을 받게 된다(Chingbu and Suchar, 2006). 그렇게 때문에 인위적으로 rotifer를 대량배양하기 위해서는 그들의 적정 먹이종류는 반드시 규명해야만 한다. 현재

† Corresponding author : 033-640-2345, telss88@naver.com

* 이 논문은 2015년 뱀장어 인공종묘생산기술개발(RP-2015-AQ-068)의 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

까지 rotifer, *Brachionus* 속에 속하는 종들의 배양을 위해서는 해수산 *Chlorella ellipsoidea*, *Nannochloropsis* sp., *Isochrysis* sp., *Tetraselmis* sp. 및 담수산 *C. vulgaris* 등이 이용되고 있다 (Maruyama et al., 1997). 이러한 식물성 먹이생물들은 크기가 적당하고 영양소가 충분하기 때문에 아직까지도 대체 없이 이용되어지고 있는 것이다. 특히, 담수산 *C. vulgaris*는 세포성장이 빠르고, 시중에서 쉽게 구할 수 있으며, 경제적이기 때문에 전 세계적으로 널리 이용되고 있다 (Hagiwara et al., 2001).

하지만 모든 rotifer에게 있어 담수산 *C. vulgaris*가 적합한 먹이인 것은 아니다. 위에서 언급한 것처럼 *Brachionus* 속의 rotifer에게는 담수산 *Chlorella*가 적합하지만 100 μm 이하의 소형 rotifer, *Synchaeta*, *Keratella* 및 *Colurella* 속에게는 적합하지 않은 것으로 알려져 있어 종마다 선호하는 먹이가 다른 것으로 확인되고 있다 (Chingbu and Suchar, 2006; Park and Park, 2008a).

한편, 먹이 공급량은 동물성 먹이생물을 배양함에 있어 산란수, 발달단계 및 대사작용 등에 영향을 미치는 중요한 환경인자이다 (Duncan, 1989; Martinez-Jeronimo and Gutierrez-Valdivia, 1991). 그러나 rotifer의 성장 및 생식에 영향을 미치는 중요한 환경 요인이지만 적정 공급량이 아닌 과도한 공급이 이루어질 경우에는 배양수의 수질악화나 찌꺼기 형성에 따른 자어 수조의 유입 등과 같은 부가적인 문제들까지도 발생할 수 있기 때문에 먹이의 적정 공급량도 반드시 규명되어야만 한다.

이러한 맥락으로 본 연구에 이용된 소형 rotifer, *Proales similis* (갑장 83 μm , 갑폭 40 μm)는 최근 부화 후 입의 크기가 작거나 식도가 좁은 어종을 위해 개발 중인 동물성 먹이생물이나 (Wullur et al., 2011; Wullur et al., 2013) 아직까지 국내·외적으로 적정 먹이와 그에 따른 공급량별에 따른 연구 사례는 전무하다.

따라서, 본 연구에서는 소형 rotifer, *P. similis*

종을 대량배양 하기 위한 일환으로 이들의 최적 먹이종류 및 공급량 조건을 조사해 보고자 한다.

II. 연구내용 및 방법

1. 실험재료 및 방법

가. 실험 중

소형 rotifer, *P. similis*는 일본 오키나와 이시가키 섬 내 기수역에서 채집되었으며, 나가사키 대학의 하기와라 교수 연구팀에서 종을 분양 받아 이용하였다 ([Fig. 1]). 분양 받은 종은 25°C로 맞춰진 인큐베이터에서 염분 5 psu의 배양수로 개체밀도가 mL 당 300개체에 도달할 때까지 계대 배양을 행한 후 실험에 이용하였다.



[Fig. 1] Microscope of 400 \times magnifications of a female *Proales similis*.

나. 실험구 및 실험방법

먹이종류별 실험을 위해 해수산 *Tetraselmis suecica* (TET), *Isochrysis galbana* (ISO), *Nannochloropsis oculata* (NAN) 및 담수산 농축 *Chlorella vulgaris* (CHL)를 이용하였다. Rotifer 접종밀도는 250 mL 삼각플라스틱(배양수 150 mL)에 300개체/mL로 하였고, 먹이량은 각각의 먹이를 원심분리하여 농축시킨 뒤 rotifer 10,000 개체당 건조중량 0.05 mg을 기준으로 1일 1회 공급하

였다. 모든 실험은 3반복으로 11일간 이루어졌으며, 환수는 3일마다 해주었다.

먹이공급량에 따른 실험은 담수산 농축 *C. vulgaris*를 사용하여 rotifer 10,000 개체 당 건조중량 0.05, 1.1, 2.2, 4.4 및 8.8 mg으로 각각 나누어 실시하였다. Rotifer 접종밀도는 250 mL 삼각플라스크(배양수 150 mL)에 100개체/mL로 하여 9일간 3회 반복하였으며, 실험기간 동안 환수는 실시하지 않았다.

소형 rotifer, *P. similis*의 먹이종류 및 공급량별 배양실험에서 수온은 25°C이였으며, 염분은 5 psu로 조절하여 진행하였다. 또한 결과 값에서 성장률(specific growth rate, SGR)은 Rico-Martinez and Dodson (1992)의 방법에 따라 계산하였고[SGR=(1/T) ln(NT/N0) (T= 접종 이후 *P. similis*가 최고 밀도에 도달하기까지의 배양일수; NT= T days의 *P. similis* 개체밀도; N0= *P. similis*의 접종밀도)], 매일 개체수를 해부현미경 하에서 카운팅하여 mL 당 개체밀도로 나타내었다.

다. 통계처리

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 Version 21 (SPSS, Michigan Avenue, Chicago, IL, USA) program으로 검정하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

먹이종류에 따른 rotifer의 개체밀도 변화를 [Fig. 2]에 나타내었다. TET 실험구를 제외하곤 배양 4일째까지 모든 실험구에서 유의적인 차이 없이 비슷하게 증가하는 경향을 보였으나 배양 7일째부터 CHL에서 유의적으로 높게 나타나기 시작하여 배양 11일째 1,075개체/mL로 가장 높은 개체밀도를 나타내었다(P<0.05). 반면 ISO 및 NAN는 배양 5일째부터 지속적으로 감소하는 경향을 보여 mL 당 최대 650개체 이하의 낮은 개

체밀도를 나타내었다. 또한 TET 실험구도 배양 3일째 725개체/mL를 보인 이후 급격한 개체밀도의 감소를 보이는 것으로 나타났다.

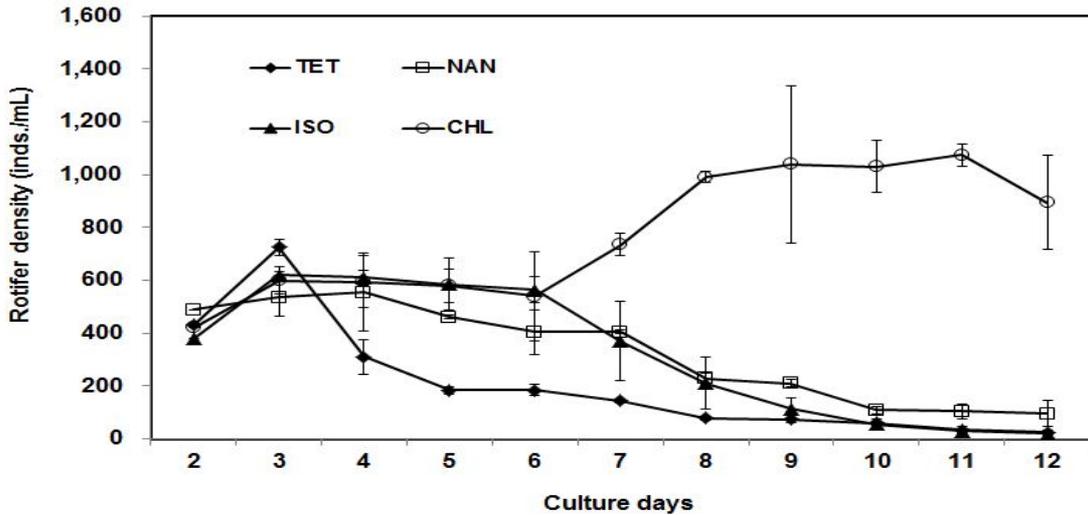
한편, 최고밀도에 따른 개체 성장률(SGR)을 [Fig. 3]에 나타내었다. 일일 개체밀도 변화의 그래프와 동일하게 성장률에 있어서도 CHL 공급구가 0.83으로 가장 높은 값을 보였으며(P<0.05), 그 외 다른 먹이 공급구에서는 유의적으로 낮은 값을 나타내었다(P<0.05).

먹이종류는 rotifer의 생활사(수명, 생존률, 포란율 및 발달단계)에 절대적인 영향을 미치게 된다 (Lucia-Pavon-Meza et al., 2005). 현재 rotifer를 배양함에 있어 chlophyceae에 포함되는 *Chlorella*, *Scenedesmus*, *Cryptomonas* 속의 식물성 먹이생물은 세포 크기가 작고 독성이 없으며 영양학적으로 우수하여 rotifer가 쉽게 동화시킬 수 있어 아직까지도 주요 먹이원으로 이용되어지고 있다 (Enriquez-García et al., 2003). 하지만, 분류학상 같은 rotifer (윤충류)에 속할지라도 적정 먹이생물들은 모두 동일할 수 없기에 대량배양을 위해서는 반드시 그들만의 적정 먹이생물을 규명해야만 한다.

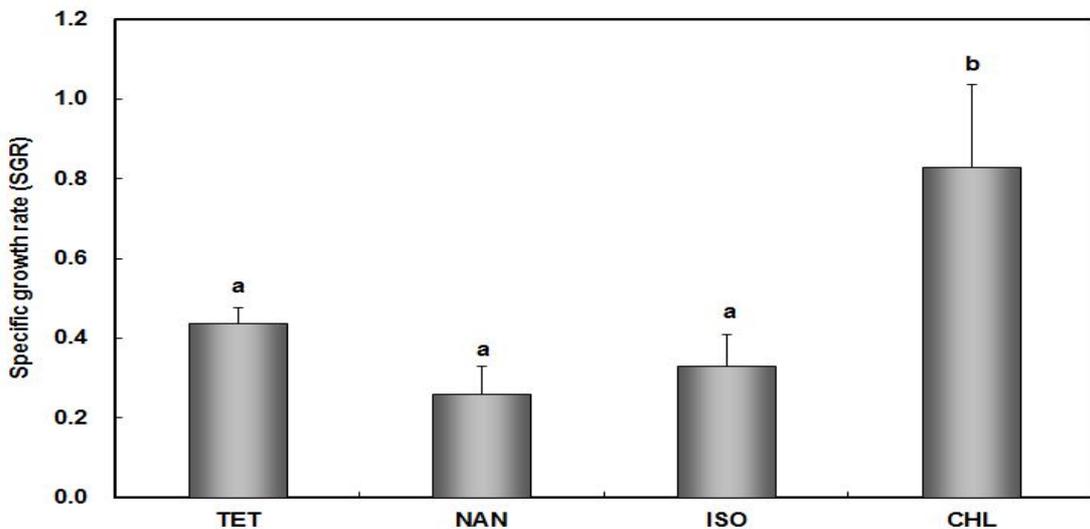
이러한 측면에서 본 연구인 먹이종류에 따른 *P. similis*는 담수산 농축 *Chlorella* (CHL)를 먹이로 공급할 때 다른 3종류의 먹이에 비해 성장이 우수한 것으로 나타났다. Maruyama et al. (1997)은 rotifer 대량배양을 위한 먹이로 담수산 농축 *Chlorella*가 효과적이라 보고하였다. 오늘날 동물성 먹이생물인 *Brachionus* 속의 rotifer가 대량배양이 가능해져 전 세계적으로 널리 이용되고 있는 이유로는 주요 먹이원인 식물성 먹이생물의 농축 기술 개발, 즉 담수산 농축 *Chlorella*의 개발이라 할 수 있다(Maruyama et al., 1997; Yoshimura et al., 1997). 이러한 *Chlorella*는 시중에서 쉽게 구입이 가능하고 mL 당 200억 이상의 세포수를 보이며 18 L 기준으로 US\$ 140~150 정도로 가격도 비교적 저렴하다(Hagiwara et al., 2001). 담수산 농축 *Chlorella* 이외에 다른 식물성 먹이생물을 양

식 현장에서 rotifer 먹이용으로 배양한다면 실외에서 대량배양을 행해야 하는데 실외는 계절에 따라 기온 및 일조량이 다르기 때문에 안정적인 배양이 불가능해져 결국 rotifer 먹이로써 이용이 제한적일 수 밖에 없게 된다. 이러한 측면으로 볼 때, 본 실험에서 다양한 장점을 지닌 담수산

농축 *Chlorella* (CHL)로 배양이 되었다는 사실은 추후 현장 규모로 대량배양을 행함에 있어 큰 잇점으로 작용할 수 있으며, 그로 인해 새로운 먹이생물로써 개발 가능성이 더욱 높아졌다는 것을 의미한다.



[Fig. 2] Population growth of rotifer, *Proales similis* cultured at the different foods. TET, *Tetraselmis suecica*; NAN, *Nannochloropsis oculata*; ISO, *Isochrysis galbana*; CHL, *Chlorella vulgaris*.



[Fig. 3] Specific growth rate (SGR) of rotifer, *Proales similis* at the different foods. Symbols are same with [Fig. 2].

한편, 다른 소형 rotifer인 *Synchaeta kitina* (60~80 μm), *Keratella* sp. (90~140 μm)는 본 연구와 달리 담수산 농축 *Chlorella*로 배양이 되지 않고, 대신에 *T. suecica*로 배양이 잘 되는 것으로 나타나 본 연구의 결과와 대조적인 것으로 나타났다 (Park and Park, 2008b; Lee et al., 2013). 이러한 차이는 아마도 실험에 적용된 동물성 먹이생물의 운동성과 먹이인 *T. suecica*의 세포 이동속도 때문이라 판단된다. 본 종은 교반을 하지 않은 상태에서는 바닥 기질에 발을 고정하고 생활하는 종으로 다른 소형 rotifer인 *S. kitina* 및 *Keratella* sp. 종에 비해 운동성이 약한 종이다. 이러한 종에게 세포 이동속도가 빠른 *T. suecica*는 먹이 섭취의 빈도를 저하시킬 수 밖에 없는 부적합한 먹이였기에 다른 소형 rotifer에 비해 *T. suecica*에서 성장이 낮았던 것으로 판단되어진다. 또한 본 종은 평균 갑장 80 μm 정도로 작은 초소형 rotifer인데 공급되어진 *T. suecica*는 평균 10 μm (Gagneux-Moreaux et al., 2006)로 다른 먹이에 비해 크기가 다소 컸기에 여과섭식을 통한 먹이 섭취가 원활하지 않았을 가능성도 있다고 판단된다.

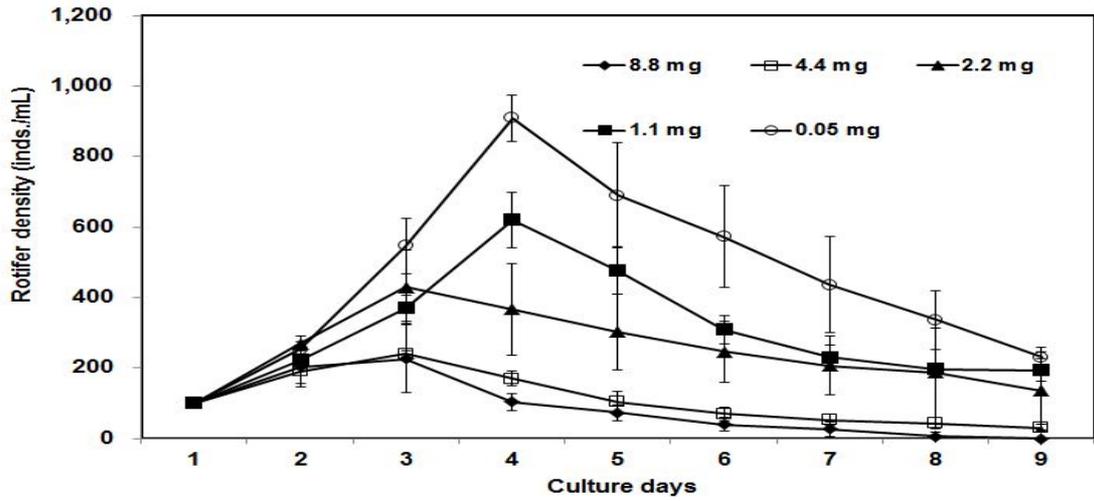
그 외 다른 먹이인 ISO, NAN에서 성장이 낮았던 것은 아마도 먹이 내 존재하는 특정 영양소가 부족했기 때문인 것으로 판단되어진다 (Lucua-Pavon-Meza et al., 2005). 성장이 낮았던 *N. oculata* (NAN) 및 *Isochrysis galbana* (ISO)는 성장이 높았던 *Chlorella*와 세포 크기를 비교했을 때 2~5 μm 수준으로 크기에 있어서는 유사한 것으로 알려져 있다 (Hagiwara et al., 2001; Sionato et al., 2013). Rothhaupt (1990)는 초식 동물성 먹이생물은 그들만의 먹이 섭취 전략과 먹이선택성이 존재하는데, 특히 먹이 입자의 크기가 매우 중요하다고 언급하였다. 하지만, 위에서도 언급한 것처럼 *T. suecica* (평균 10 μm)를 제외한 나머지 먹이들은 그 크기가 유사하였기에 단순 크기에 따른 문제는 아닌 것으로 판단되어진다. 결국 크기의 문제가 아닌 성장 및 생존에 있어 특정 영양

소의 존재 유무나 그 양에 있어서 절대치가 부족했기 때문에 개체 성장에 있어 불리하게 작용된 것으로 판단된다. 또한, rotifer처럼 비선택적 여과 섭식(filter-feeding)을 행하는 물벼룩(*Moina macrocopa*)에 있어서도 특정 영양소가 충족된 적합한 먹이생물을 섭취하였을 때는 성장 및 생존이 원활하나 특정 영양소가 불충분한 먹이를 섭취할 경우에는 영양적인 스트레스를 받아 결국 성장의 저해로 나타난다고 하였다 (Oka et al., 1982; Kim et al., 2001). 아울러, 세포벽의 두께나 세포를 구성하고 있는 성분을 소화시킬 수 있는 효소적 반응도 작용 가능성이 있기 때문에 이와 관련된 실험은 추가적으로 진행되어야 할 것으로 사료된다.

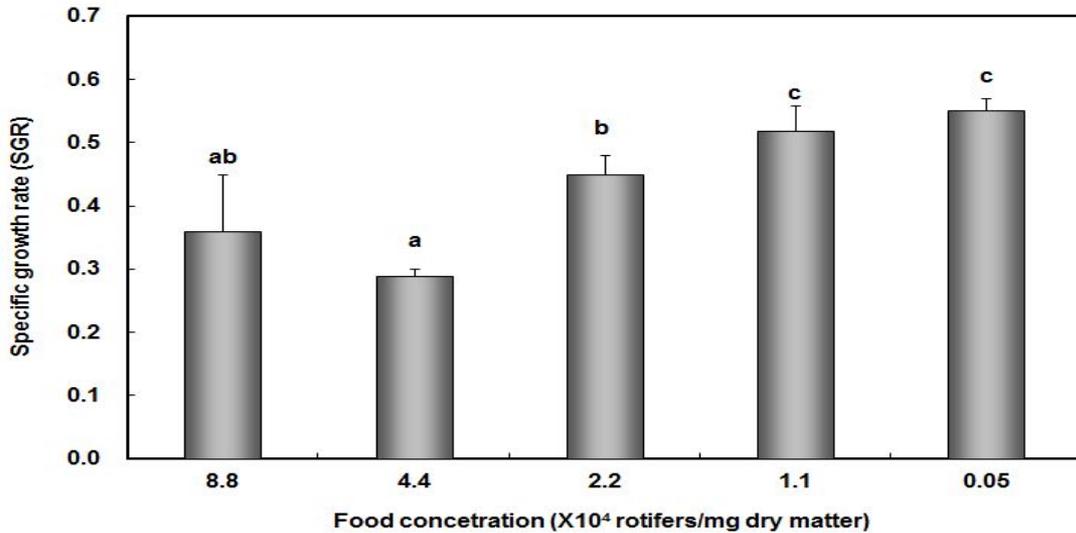
한편, 먹이 공급량에 따른 개체밀도의 변화를 [Fig. 4]에 나타내었다. 배양 2일째까지는 모든 실험구간에서 유의적인 차이가 없는 것으로 나타났으나 ($P>0.05$), 배양 3일차부터 점차 유의적인 차이가 나타났다가 ($P<0.05$), 최고밀도는 0.05 mg 실험구로 배양 4일차에 mL 당 910개체로 다른 실험구에 비해 가장 높은 것으로 조사되었다 ($P<0.05$). 다음으로 1.1 및 2.2 mg 실험구에서 각각 620, 430개체/mL로 높게 나타난 반면 8.8 mg 실험구는 227개체/mL로 가장 낮은 값을 보였다 ($P<0.05$). 먹이 공급량이 증가할수록 개체밀도는 점점 감소하는 경향을 나타내었다.

한편, 먹이 공급량에 따른 개체 성장률(SGR)을 [Fig. 5]에 나타내었다. 최고밀도를 보였던 0.05 mg 실험구에서 0.55로 유의적으로 가장 높은 값을 보였으나 ($P<0.05$), 1.1 mg 실험구와의 유의적인 차이는 나타나지 않았다 ($P>0.05$). 반면에 4.4 및 8.8 mg는 각각 0.29, 0.36으로 유의적으로 가장 낮게 나타났다 ($P<0.05$).

적정 먹이량의 그 이상이나 이하로 공급할 경우에는 rotifer의 성장률, 포란률 및 생존률에 악영향을 미치기 때문에 적정 먹이량을 규명하는 일은 매우 중요하다고 할 수 있다 (Stemberger and Gilbert, 1985; Rico-Martinez and Dodson, 1992).



[Fig. 4] Population growth of rotifer, *Proales similis* cultured at the different food concentrations.



[Fig. 5] Specific growth rate (SGR) of rotifer, *Proales similis* at the different food concentrations.

Rico-Martinez and Dodson (1992)는 rotifer를 배양함에 있어 먹이농도가 증가됨에 따라 성장률 및 생식률이 증가한다고 보고하였다. Dong et al. (2012)는 *B. calyciflorus*에게 *S. obliquus*의 먹이농도를 1.0, 2.0, 4.0 및 8.0×10⁶ cells/L로 달리 공급하였을 때 먹이량이 높아질수록 수명, 성장 및 생식률이 높아진다고 보고하였다. 이에 반해

Sarma and Nandini (2001)은 *B. variabilis* 종에게 담수산 *Chlorella*를 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0×10⁶ cells/mL의 범위로 공급하였을 때 먹이량이 증가할수록 포란율은 오히려 감소한다고 보고하여 과한 먹이공급에 대한 부정적인 견해를 언급하였다. 또한 Dong et al. (2004)는 rotifer, *B. calyciflorus*에게 먹이량을 달리 공급(1.5, 3.0, 6.0,

9.0×10⁶ cells/mL)하여 실험을 행한 결과 분명 발달단계 등과 같은 성장에 영향을 미치며, 다소 적은 먹이량인 3.0×10⁶ cells/mL에서 가장 높은 수명을 보인다고 하였다. 본 연구에서도 rotifer 10,000 개체 당 건조중량 0.05 mg로 공급한 실험구에서 가장 높은 개체밀도 및 성장률을 보여 다른 연구결과처럼 먹이량이 다소 낮을 때 성장이 유리한 것으로 나타났다. 먹이는 rotifer의 생식 및 성장에 필요한 에너지를 충족시켜 주나 과한 먹이량은 오히려 본 종에게 있어 악영향을 주는 것으로 나타났다. 위에서 언급한 것처럼 rotifer는 비선택적인 여과섭식을 행하기 때문에 먹이량이 너무 과할 경우에는 소화기능의 장애 및 비효율적인 동화작용으로 말미암아 성장의 저해를 유발시킬 수 있다(Schlosser and Anger, 1982; Rothhaupt, 1990). 또한 먹이인 식물성 먹이생물의 단세포가 배양수 내 과하게 존재한다면 rotifer의 섬모에 부딪혀 유영기능까지 저하시킬 수 있기 때문에 적정 먹이량을 유지하는 것은 매우 중요하다고 할 수 있다(Pourriot, 1977; Starkweather and Gillbert, 1977; Starkweather, 1980). 아울러, Rico-Martinez and Dodson (1992)에 의하면 rotifer는 낮은 먹이 농도에서 번식을 위한 먹이 사용을 보다 효율적으로 이용하는 경향을 보인다고 하여 다소 적은 먹이량을 권장하였다. 다만, 본 실험에서 먹이량이 가장 적은 실험구(0.05 mg)에서 가장 높은 개체밀도와 성장률을 보였기에 추후 이보다 적은 먹이량을 적용해 봐야할 것으로 판단되어진다.

한편, 본 먹이 공급량별 실험에서 모든 실험구가 배양 3~4일차에 최고밀도를 보인 이후 감소하는 경향들을 보였다. 특히, 먹이량이 많은 실험구는 배양 3일에, 먹이량이 적었던 실험구는 4일차에 감소하는 것으로 나타났다. 본 실험에서는 실험기간인 9일동안 환수를 행하지 않았기에 배양일이 경과함에 따라 바닥에 축적된 유실 먹이에 의해 수질 변화가 나타났고, 그로 인해 비교적 짧은 배양 3~4일차에 개체밀도가 붕괴된 것으로

판단된다. 이에 적정 환수일만 규명한다면 널리 이용되어지고 있는 *Brachionus* 속의 rotifer만큼 추후 mL 당 2,000 개체까지 증가될 것으로 기대되어진다.

최종적으로 본 실험을 종합해 볼 때, 소형 rotifer *P. similis*의 대량배양에 있어 가장 최적의 먹이는 담수산 *Chlorella*이며, 그에 따른 적정 공급량은 rotifer 10,000 개체 당 건조중량 0.05 mg 인 것으로 조사되었다.

References

- Chingbu, P. & Suchar, V. A.(2006). Isolation and culture of the marine rotifer, *Colurella dicentra* (Gosse, 1887), from a Mississippi Gulf Coast estuary. *Aquaculture Research*, 37, 1400~1405.
- Dong, L. L. · Xi, Y. L. · Liu, G. Y. · Chen, F. · Ge, Y. L. & Wen, X. L.(2004). Effect of temperature and food concentration on the population dynamics of three *Brachionus calyciflorus* strains. *Chin. J. Appl. Ecol*, 15, 2165~2169.
- Dong, L. L. · Yang, J. W. · Cen, Z. L. & Huang, S.(2012). Effects of *Scenedesmus obliquus* density on the population dynamics of *Brachionus calyciflorus* from Xin'an River. *Chinese Journal of Ecology*, 31, 124~130.
- Duncan, D. B.(1955). Multiple-range and mutiple F tests. *Biometrics*, 11, 1~42.
- Duncan, A.(1989). Food limitation and body size in the life cycles of planktonic rotifers and cladocerans. *Hydrobiologia*, 186/187, 11~28.
- Enríquez-García, C. · Nandini, S. & Sarma, S. S. S.(2003). Food type effects on the population growth patterns of littoral rotifers and cladocerans. *Acta. hydrochim. hydrobiol*, 31(2), 120~133.
- Gagneux-Moreaux, S. · Cosson, R. · Bustamante, P. & Moreau, C.(2006). Growth and metal uptake of microalgae produced using salt ground-waters from the Bay of Bourgneuf. *Aquatic Living Resources*, *EDP Sciences*, 19(3), 247~255.
- Hagiwara, A. · Gallardo, W. G. · Assavaaree, M. · Kotani, T. & de Araujo, A. B.(2001). Live food production in Japan: recent progress and future

- aspects. *Aquaculture*, 200, 111~127.
- Kim, B. H. · Choi, M. K. & Takamura, N.(2001). Dietary contributions of phytoplankton and zooplankton to young silver carps. *Korean J. Limnol*, 34(2), 98~105.
- Lee, B. I. · Kim, S. K. · Kwon, O. N. · Park, H. G. & Park, J. C.(2013). The optimal salinity and temperature condition for the growth of rotifer, *Keratella* sp. *JFMSE*, 25(5), 1206~1214.
- Lucía-Pavon-Meza, E. · Sarma, S. S. S. & Nandini, S.(2005). Combined effects of algal (*Chlorella vulgaris*) food level and temperature on the demography of *Brachionus havanaensis* (Rotifera): a life table study. *Hydrobiol*, 546, 353~360.
- Martínez-Jerónimo, F. & Gutiérrez-Valdivia, A.(1991). Fecundity, reproduction and growth of *Moina macrocopa* fed different algae. *Hydrobiologia*, 222, 45~55.
- Maruyama, I. · Nakao, T. · Shigeno, I. · Ando, Y. & Hirayama, K.(1997). Application of unicellular algae *Chlorella vulgaris* for the mass-culture of marine rotifer *Brachionus*. *Hydrobiologia*, 358, 133~138.
- Oka, A. · Suzuki, N. & Watanabe, T.(1982). Effect of fatty acids in *Moina* on the fatty acid composition of larval ayu *Plecoglossus altivelis*. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish*, 48, 1159~1162.
- Park, J. C. & Park, H. G.(2008a). Optimal food and concentration for the growth of the ultra-small rotifer *Synchaeta kitina*. *J. Aquaculture*, 21(2), 76~81.
- Park, J. C. & Park, H. G.(2008b). Optimal salinity and temperature conditions for the growth of the ultra-small rotifer *Synchaeta kitina*. *J. Aquaculture*, 21(2), 70~75.
- Pourriot, R.(1977). Food and feeding habits of Rotifera. *Arch. Hydrobiol. Beih*, 8, 243~260.
- Rico-Martínez, R. & Dodson, S. I.(1992). Culture of the rotifer, *Brachionus calyciflorus* Pallas. *Aquaculture*, 105, 191~199.
- Rothhaupt, K. O.(1990). Changes of the functional responses of the rotifers *Brachionus rubens* and *Brachionus calyciflorus* with particle sizes. *Limnol. Oceanogr*, 35, 24~32.
- Sarma, S. S. S. & Nandini, S.(2001). Life table demography and population growth of *Brachionus variabilis* Hampel, 1896 in relation to algal (*Chlorella vulgaris*) density. *Hydrobiologia*, 446/447, 75~83.
- Schlosser, H. J. & Anger, K.(1982). The significance of some methodological effects on filtration and ingestion rates of the rotifer *Brachionus plicatilis*. *Helgol. Meeresunters*, 35, 215~225.
- Simionato, D. · Block, M. A · La Rocca, N. · Jouhet, J. · Meréchal, E. · Finazzi, G. & Morosinotto, T.(2013). The response of *Nannochloropsis gaditana* to nitrogen starvation includes de novo biosynthesis of triacylglycerols, a decrease of chloroplast galactolipids, and reorganization of the photosynthetic apparatus. *Eukaryot Cell*, 12, 665~676.
- Starkweather, P. L. & Gilbert, J. J.(1977). Radiotracer determination of feeding in *Brachionus calyciflorus*: the importance of gut passage times. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergb. Limnol*, 8, 261~263.
- Starkweather, P. L.(1980). Aspects of the feeding behavior and trophic ecology of suspension-feeding rotifers. *Hydrobiologia*, 73, 63~72.
- Stemberger, R. S. & Gilbert, J. J.(1985). Body size, food concentration and population growth in planktonic rotifers. *Ecology*, 66, 1151~1159.
- Wullur, S. · Sakakura, Y. & Hagiwara, A.(2011). Application of the minute monogonont rotifer *Proales similis* de Beauchamp in larval rearing of seven-band grouper *Epinephelus septemfasciatus*. *Aquaculture*, 315, 355~360.
- Wullur, S. · Yoshimatsu, T. · Tanaka, H. · Ohtani, M. · Sakakura, Y. · Kim, H. J. & Hagiwara, A.(2013). Ingestion by Japanese eel *Anguilla japonica* larvae on various minute zooplankton. *Aquaculture Science*, 61(4), 341~347.

• Received : 30 October, 2015

• Revised : 13 January, 2016

• Accepted : 18 January, 2016