

환수율 및 접종밀도에 따른 초소형 rotifer, *Synchaeta kitina*의 대량배양

오정수·박진철·박흠기*
강릉원주대학교 해양생명공학부

Mass Culture of Ultra-small Rotifer, *Synchaeta kitina* at the Exchange Rate of Culture Water and Initial Inoculation Density

Jeong Soo OH, Jin Chul PARK and Heum Gi PARK*
Faculty of Marine Bioscience & Technology, Gangneung-Wonju National University,
Gangneung 210-702, Korea

The productivity of ultra-small rotifer, *Synchaeta kitina* was investigated at the exchange rate of culture water (10, 20, 30, 40 and 50%) and initial inoculation densities (250, 600 and 900 inds. per mL) in semi-continuous culture. Also, the possibility of mass culture was investigated in a 100 L culture tank. *Tetraselmis suecica* was used as the feed for *S. kitina* in all experiments. The production of *S. kitina* increased with an increase in exchange rate of culture water. The highest production (82.0×10^5 inds.) was achieved at 40% exchange rate of culture water. The production of *S. kitina* increased with an increase of initial inoculation density during the first week and the highest total production (17.4×10^6 inds.) was achieved at 900 inds. per mL of initial inoculation density. However, on the second week, all treatments were not significantly different in total production ($P > 0.05$). During the two weeks, total production of *S. kitina* at 900 inds. per mL of initial inoculation density was higher than at 600 inds. of initial inoculation density, but there was no significant difference ($P > 0.05$). In the 100 L culture tank, density of *S. kitina* was kept from 516 to 890 inds. per mL and *S. kitina* was daily harvested 15.5×10^6 to 26.7×10^6 during the experimental period. The production cost for 100 million rotifers in semi-continuous culture was 63,656 won. The results from this study indicate that the optimal exchange rate of culture water and initial inoculation density for the semi-continuous culture of ultra-small rotifer, *S. kitina* are 40% and 600 inds. per mL, respectively.

Key words: Mass culture, *Synchaeta kitina*, Exchange rate of culture water, Initial inoculation density

서 론

현재 우리나라의 주요 양식 대상어종은 넙치 (*Paralichthys olivaceus*), 조피볼락 (*Sebastes schlegelii*) 등과 같은 특정 어류에만 한정되어 있다. 그러나 최근 무역 개방화로 인접국가와의 수산물 생산 비교 경쟁에서 매우 불리하게 작용하고 있으며 특히, 한정된 양식 대상종을 생산하는 국내 양식 산업은 매우 취약한 위치에 있다. 이러한 위기를 극복하기 위해서는 가격 경쟁력을 갖춘 고부가가치 어종의 개발이 필요하다. 하지만 고부가가치 어종으로 분류되고 있는 쥐치 (*Stephanolepis cirrhifer*), 붉바리 (*Epinephelus akaara*), 강담돔 (*Oplegnathus punctatus*) 및 능성어류 (*Epinephelus* sp.) 등은 자어의 입 크기가 다른 해산어류에 비해 매우 작기 때문에 기존의 초기 먹이 생물로써 사용되고 있는 *Brachionus plicatilis* (140~320 μ m, L-type으로 총칭함)와 *B. rotundiformis* (100~240 μ m, S-type으로 총칭함)를 정상적으로 섭취하는데 큰 어려움을 겪고 있다 (Duray et al., 1997; Kohno et al., 1997; Suchar and Chigbu,

2006; Park and Park, 2008a). 따라서 이러한 어려움을 해결하기 위해서는 이들 어류 자어의 입 크기에 맞는 새로운 먹이생물 개발이 필요하다.

최근 입 크기가 작은 어류 자어의 인공종묘생산을 위해 전 세계적으로 많은 연구가 진행되고 있는 가운데 성체의 크기가 80 μ m 전후인 초소형 rotifer, *Synchaeta kitina*는 이러한 어종의 초기 먹이생물로써 이용 가능성이 높을 것으로 보여진다. 현재 본 종을 대량배양 하기 위한 연구로써 최적 염분, 수온, 먹이종류 및 공급량 조건 등이 보고되고 있다 (Park and Park, 2008a,b). 하지만 실질적으로 자어의 입 크기가 작은 쥐치, 강담돔 및 능성어류 등의 초기 먹이생물로써 이용하기 위해서는 이들 연구 이외에 *S. kitina*를 현장규모에 적용시킬 수 있는 대량배양 연구도 수행되어야만 한다.

현재 rotifer는 회분 배양 (batch culture), 반연속 배양 (semi-continuous culture) 및 연속 배양방법 (continuous culture)에 의해 배양되고 있으며, 이 중 반연속 배양은 배양기간이 길며, 작업이 간단하고, 원하는 만큼 수확할 수 있다는 장점이 있다. 따라서 본 연구에서는 *S. kitina*의 반연속 배양을 위한 연구의 일환으로 환수율 및 접종밀도에 따른 실험을 실시하였고, 이

*Corresponding author: hgpark@kangnung.ac.kr

들 결과를 이용하여 100 L 수조에서 *S. kitina*의 대량배양 가능성을 조사하였다.

재료 및 방법

환수율에 따른 초소형 rotifer, *S. kitina*의 생산성

환수율에 따른 초소형 rotifer, *S. kitina*의 생산성 실험은 6 L 배양수조(배양수 5 L)에서 초기 접종밀도를 450개체/mL로 설정하여 실시하였다. 실험 구간은 배양수의 10, 20, 30, 40 및 50% 환수로 구분하였고, 실험 수온은 18±1°C로 유지하였다. 배양수의 염분은 해수에 담수를 혼합하여 25 psu로 조절하였고, 용존산소는 실험기간 동안 5 ppm 이상 유지하였다. 수확은 접종 당일부터 정해진 환수율에 따라 매일하였고, 수확 후 먹이로는 배양수와 동일한 조건에서 배양된 *Tetraselmis suecica* (100~170×10⁴ cells/mL)를 500 mL씩 매일 공급하였다. 그 외 부족한 양은 25 psu 배양수를 첨가하여 수위를 항상 5 L로 유지하였다. Rotifer 계수는 매일 환수 전에 입체현미경(SZ40, Olympus, JAPAN)에서 1일 3회 계수하였으며, 이를 통해 매일 수확한 *S. kitina*의 개체수를 파악하였다. 실험은 2반복으로 실시하였다.

초기 접종밀도에 따른 초소형 rotifer, *S. kitina*의 생산성

초기 접종밀도에 따른 초소형 rotifer, *S. kitina*의 생산성 실험은 6 L 원형수조(배양수 5 L)에서 초기 접종밀도를 각각 250, 600 및 900개체/mL로 설정하였고 매일 배양수의 40%를 환수해 주었다. 실험 수온은 20±1°C로 유지하였으며 배양수의 염분은 해수에 담수를 혼합하여 15 psu로 조절하였다. 수확은 배양 1일째부터 정해진 환수율에 따라 매일하였고, 수확 후 먹이로는 배양수와 동일한 조건에서 배양된 *T. suecica* (160~340×10⁴ cells/mL)를 매일 1 L씩 공급하였다. 그 외 부족한 양은 15 psu 배양수를 첨가하여 수위를 항상 5 L로 유지하였다. Rotifer 계수는 매일 환수 전에 입체현미경(SZ40, Olympus, JAPAN)에서 1일 3회 계수하였으며, 이를 통해 매일 수확한 *S. kitina*의 개체수를 파악하였다. 실험은 2반복으로 실시하였다. 실험기간 동안 배양수의 환경변화(용존산소, NH₃-N 및 pH)는 환수 전에 용존산소 측정기(550A, YSI, USA) 및 다채널 수질분석기(920A, Orion, USA)를 이용하여 ppm 단위로 배양 5일째부터 측정하였다.

100 L 수조에서 초소형 rotifer, *S. kitina*의 대량배양

S. kitina 대량배양 실험은 110 L 배양수조(배양수 100 L)에 초기 접종밀도를 600개체/mL로 설정하여 매일 배양수의 40%를 환수해 주면서 실시하였다. 실험 수온은 17±1°C로 유지하였으며 배양수의 염분은 해수에 담수를 혼합하여 16±1 psu로 조절하였다. 수확은 배양 1일째부터 정해진 환수율에 따라 매일 하였고, 수확 후 먹이로는 배양수와 동일한 조건에서 배양된 *T. suecica* (95~325×10⁴ cells/mL)를 매일 개체 당 600 cells이 되도록 공급하였다. 그 외 부족한 양은 15 psu 배양수를 첨가하여 수위를 항상 100 L로 유지하였다. Rotifer 계수는 매일 입체현미경(SZ40, Olympus, JAPAN)으로 1일 3회 계수하였으며, 이를 통해 매일 수확한 *S. kitina*의 개체수를 파악하

였다. 실험은 2반복으로 실시하였다. 실험기간 동안 배양수의 용존산소 측정은 용존산소 측정기(550A, YSI, USA)를 이용하였고, 그 외 수온 및 pH는 다채널수질분석기(920A, Orion, USA)를 사용하여 측정하였다. NH₃-N는 Kit(HS-NH₃(N)-SW, HUMAS, KOREA)를 이용하여 ppm 단위로 측정하였다. 아울러, rotifer 1억 개체를 생산할 때 소요되는 경비를 Park et al. (1999)의 자료를 토대로 조사하여 경제성을 평가해 보았다.

통계 분석

환수율 및 접종밀도에 따른 실험결과는 one-way ANOVA-test를 실시하여 Duncan의 다중검정(Duncan, 1955)으로 처리 평균 간의 유의성(P<0.05)을 SPSS(SPSS Inc., 2005) program(Ver. 14.0)으로 검정하였다.

결 과

환수율에 따른 초소형 rotifer, *S. kitina*의 생산성

환수율에 따른 *S. kitina*의 성장, 일일 생산량 및 총 생산량은 Fig. 1에 나타내었다. 배양기간 동안 *S. kitina*의 mL 당 개체밀도는 10% 실험구에서 450~1,145개체, 20% 실험구에서 450~1,053개체, 30% 실험구에서 325~883개체, 40% 실험구에서 323~805개체, 50% 실험구에서 238~595개체로 각각 나타났다. 최고밀도는 배양 3일째에 10% 실험구에서 1,145개체

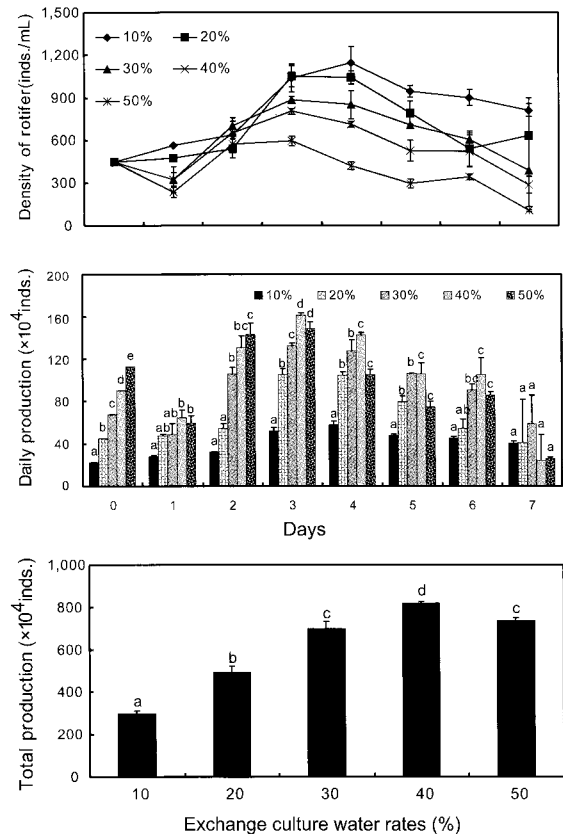


Fig. 1. Daily and total production of ultra-small rotifer, *S. kitina* at the different exchange rates of culture water.

/mL로 가장 높게 나타났으나 1,043개체/mL를 보인 20% 실험구와 유의적인 차이를 보이지 않았으며 ($P>0.05$), 각각 420, 713 및 850개체/mL를 보인 30, 40 및 50% 실험구보다는 유의적으로 높은 개체밀도를 보였다 ($P<0.05$). 배양기간 동안 실험구간의 일일 생산량은 10% 실험구에서 $2.3 \times 10^5 \sim 5.7 \times 10^5$ 개체, 20% 실험구에서 $4.2 \times 10^5 \sim 10.5 \times 10^5$ 개체, 30% 실험구에서 $4.9 \times 10^5 \sim 13.2 \times 10^5$ 개체, 40% 실험구에서 $2.5 \times 10^5 \sim 16.1 \times 10^5$ 개체, 50% 실험구에서 $2.6 \times 10^5 \sim 14.9 \times 10^5$ 개체로 각각 나타났다. 최고 일일 생산량은 배양 3일째에 40% 실험구에서 16.1×10^5 개체로 나타났으나 14.9×10^5 개체를 보인 50% 실험구와 유의적인 차이는 보이지 않았다 ($P>0.05$), 그러나 각각 5.2×10^5 , 10.5×10^5 및 13.2×10^5 개체를 보인 10, 20, 30% 실험구보다는 유의적으로 높은 최고 일일 생산량을 보였다 ($P<0.05$). 총 생산량은 40% 실험구에서 82.0×10^5 개체로 각각 29.8×10^5 , 49.4×10^5 , 70.1×10^5 및 73.6×10^5 개체를 보인 10, 20, 30, 50% 실험구보다 유의적으로 높은 총 생산량을 보였다 ($P<0.05$).

초기 접종밀도에 따른 초소형 rotifer, *S. kitina*의 생산성
 반연속 배양 시 초기 접종밀도에 따른 *S. kitina*의 일일 생산

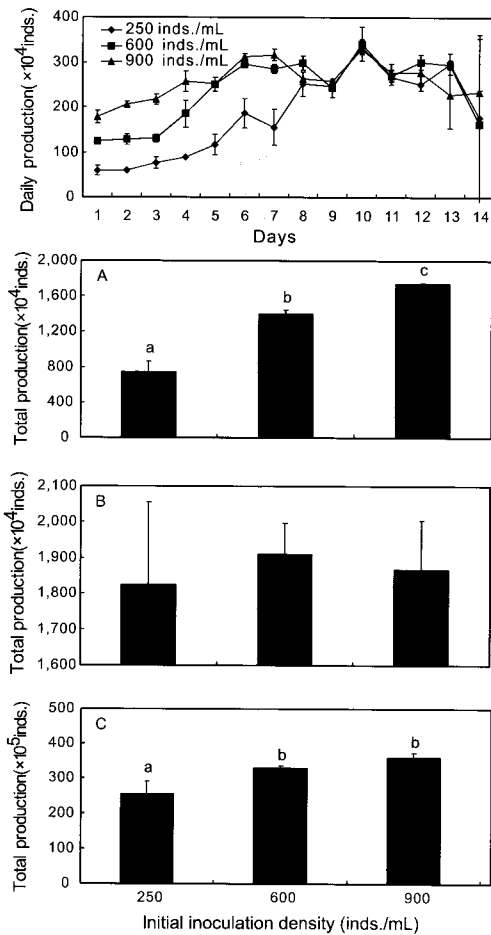


Fig. 2. Daily and total production of ultra-small rotifer, *S. kitina* at the different initial inoculation densities (a, total production from 1 to 7 days; b, total production from 8 to 14 days; c, total production from 1 to 14 days).

량은 Fig. 2에 나타내었다. 배양기간 동안 *S. kitina*의 일일 생산량은 250개체/mL 실험구에서 $5.9 \times 10^5 \sim 33.5 \times 10^5$ 개체, 600개체/mL 실험구에서 $12.5 \times 10^5 \sim 34.1 \times 10^5$ 개체, 900개체/mL 실험구에서 $17.8 \times 10^5 \sim 32.8 \times 10^5$ 개체로 각각 나타났다. 900개체/mL 실험구는 배양 1일째부터 4일째까지 250 및 600개체/mL 실험구보다 유의적으로 높은 일일 생산량을 나타냈고 ($P<0.05$), 5일째부터 7일째까지는 600개체/mL 실험구와 유의적인 차이를 보이지 않았으나 ($P>0.05$), 200개체/mL 실험구보다는 유의적으로 높은 일일 생산량을 보였다 ($P<0.05$). 그러나 배양 8일째부터는 모든 실험구간에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다 ($P>0.05$).

반연속 배양 시 초기 접종밀도에 따른 *S. kitina*의 총 생산량 및 배양수의 환경변화는 Fig. 2, 3에 나타내었다. 초기 접종밀도에 따른 1일째부터 7일째까지의 총 생산량은 900개체/mL 실험구에서 17.4×10^6 개체로 나타나 각각 7.4×10^6 , 14.0×10^6 개체를 보인 250 및 600개체/mL 실험구보다 유의적으로 높은 총 생산량을 보였다 ($P<0.05$). 배양 8일째부터 14일째까지의 총 생산량은 250, 600 및 900개체/mL 실험구에서 각각 18.3×10^6 , 19.1×10^6 , 18.7×10^6 개체를 보여 모든 실험구간의 유의적인 차이가 나타나지 않았다 ($P>0.05$). 배양 1일째부터 14일째까지의 총 생산량은 900개체/mL 실험구에서 36.1×10^6 개체로 가장 높게 나타났으나, 33.1×10^6 개체를 보인 600개체/mL 실험구와 유의적인 차이는 없었으며 ($P>0.05$), 25.7×10^6 개체를 보인 250개체/mL 실험구보다는 유의적으로 높은 생산량을 보였다 ($P<0.05$). 배양기간 중 배양수의 pH는 250, 600 및 900개체/mL

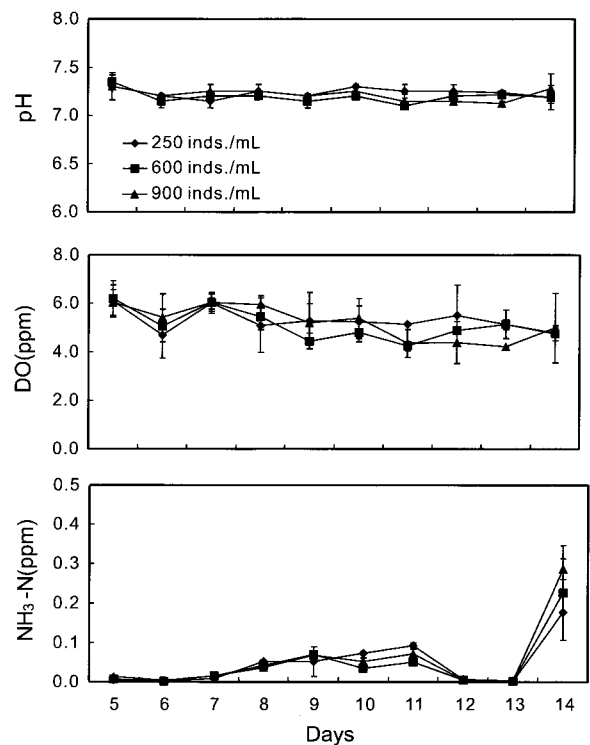


Fig. 3. Changes of pH, DO and $\text{NH}_3\text{-N}$ in the culture medium at the different initial inoculation densities.

실험구에서 각각 7.2~7.3, 7.1~7.4 및 7.1~7.3의 범위를 보였으며, 용존산소는 250, 600 및 900개체/mL 실험구에서 각각 4.7~6.1, 4.2~6.2 및 4.2~6.0 ppm의 분포를 나타냈다. NH₃-N은 250, 600 및 900개체/mL 실험구에서 각각 0.00~0.18, 0.00~0.23 및 0.00~0.34 mg/L의 범위를 보였다.

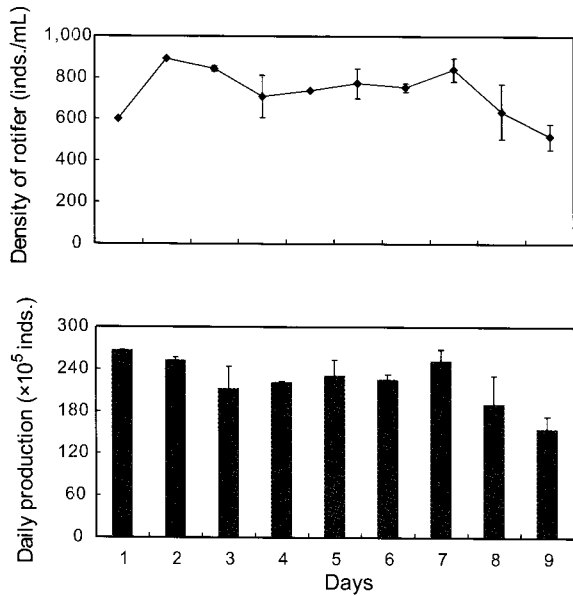


Fig. 4. Population growth and daily production of ultra-small rotifer, *S. kitina* in semi-continuous culture (100 L tank).

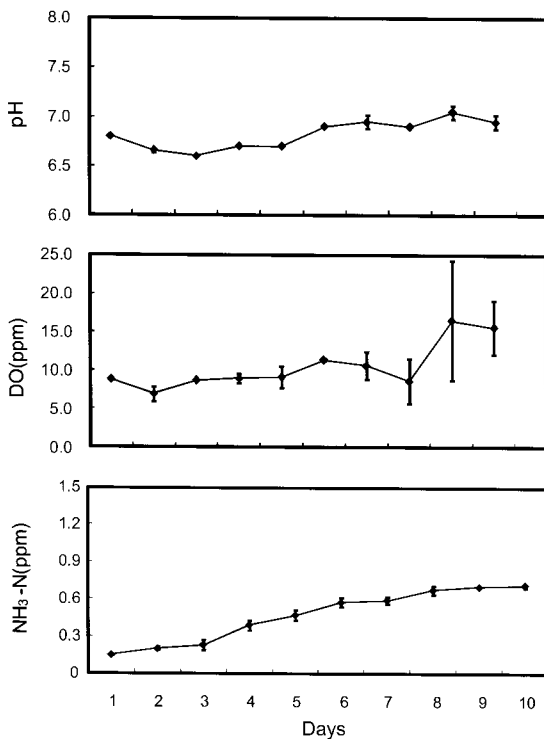


Fig. 5. Changes of pH, DO and NH₃-N in the culture medium at semi-continuous culture.

100 L 수조에서 초소형 rotifer, *S. kitina*의 대량배양

100 L 수조에서 반연속 배양에 따른 *S. kitina*의 성장, 일일 생산량 및 배양수의 환경변화는 Figs. 4, 5에 나타내었다. 반연속 배양에서 배양기간 동안 개체밀도는 516~890개체/mL로 유지되었으며, 일일 생산량은 15.5×10⁶~26.7×10⁶개체로 나타났다. 배양기간 중 배양수의 용존산소는 6.20~15.08 ppm 사이의 범위를 보였고, NH₃-N은 0.2~0.7 ppm로 나타났으며, pH는 6.46~6.95의 범위를 보였다.

반연속 배양방법에 따른 *S. kitina* 1억 개체 생산 시 소요경비는 먹이비 33,656원 (52.9%), 인건비 24,000원 (37.7%) 및 연료비 6,000원 (9.4%)으로 총 63,656원 중 먹이비가 높은 비율을 차지하였다 (Fig. 6).

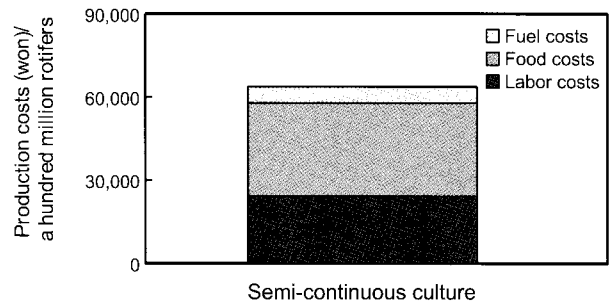


Fig. 6. Production cost of ultra-small rotifer, *S. kitina* in semi-continuous culture (100 L tank).

고찰

Boraas (1983)에 따르면, 담수산 rotifer, *B. calyciflorus*의 경우 환수율에 따른 생산량은 높은 환수율일수록 높게 나타나는 반면 낮은 환수율은 생산량이 낮게 나타난다고 보고하였다. 반면 본 실험에서는 40% 실험구가 50% 실험구보다 높은 생산성을 보여 Boraas (1983) 결과와는 다소 다른 결과로 나타났다 (Fig. 1). 이는 먹이공급 방법의 차이에 의한 것으로 판단된다. Boraas (1983)의 경우 환수율이 증가함에 따라 먹이공급량도 증가시켰으나 본 실험에서는 환수율에 상관없이 일정한 양의 먹이를 공급하였기 때문에 이러한 먹이공급 방법의 차이에 의한 결과라고 판단된다.

한편 총 생산량에 있어 40% 실험구에서 가장 높은 생산성을 보였는데 (Fig. 1), 이는 높은 환수율에 의한 배양수의 교환은 낮은 환수율 보다 암모니아 제거율이 높아져 결국 rotifer 번식에 유리하게 작용한 것으로 판단된다 (Lubzens et al., 2001). 하지만 50% 실험구의 경우 40% 실험구에 비해 다소 낮은 생산성을 나타냈는데 이는 개체 성장보다는 수확율이 높았기 때문에 배양일이 지날수록 낮은 생산성을 보인 것으로 판단된다. 따라서 대량배양 시 *S. kitina*의 높은 생산성을 유지하기 위해서는 40% 환수가 가장 효과적인 것으로 판단된다.

초기 집중밀도에 따른 생산성 실험에서는 배양 1~7일째까지 900개체/mL 실험구에서 가장 높은 생산성을 유지하였지

만, 배양 8일째부터는 모든 실험구에서 유의적인 차이가 없는 것으로 나타났다 (Fig. 2). 이는 가장 높은 접종밀도로 인해 900개체/mL 실험구에서 배양 초기에 가장 높은 생산성을 유지하였지만, 배양기간이 경과함에 따라 일정한 양의 먹이를 공급한 250, 600개체/mL 실험구가 개체 당 먹이 이용성이 900개체/mL 실험구에 비해 높아서 높은 성장률과 산란수를 보인 것으로 판단된다 (Ooms-Wilms et al., 1999).

한편 rotifer 대량배양 중 갑작스러운 배양환경 변화는 rotifer 생산량의 급격한 감소를 빈번히 발생시켜 자어의 먹이로 공급할 수 있을 만큼 충분한 양의 rotifer를 확보하는데 많은 어려움을 초래한다 (Lee et al., 2001). 현재 이러한 주요한 원인으로서는 용존산소 부족, NH₃-N의 수중 축적에 의한 독성, 농축 먹이의 부족 등으로 알려져 있다 (Park et al., 2001; Yoshimura et al., 1997, 2003). Park et al. (2001)과 Yoshimura et al. (1994)에 따르면 *Brachionus* spp. 배양 시 용존산소는 2 mg/L 이상 유지되어야 한다고 보고하였고, 또한 Park et al. (1999)은 *B. rotundiformis* 배양 시 용존산소가 1 ppm 이상이면 고밀도 배양이 가능한 것으로 보고하였다. 본 연구에 이용된 *S. kitina*의 경우는 용존산소가 1.4 ppm 이하일 때 개체가 감소하는 경향을 보였다 (미발표 자료). 본 *S. kitina*의 접종밀도 실험에서 250, 600 및 900개체/mL 실험구는 4.21~6.21 ppm의 용존산소를 보였고, 100 L 대량배양에서는 6.20~15.05 ppm의 용존산소를 보여 산소 부족에 의한 *S. kitina*의 성장 저해는 없었을 것으로 판단된다. Schlüter and Groeneweg (1985)에 따르면 *B. rubens*는 3~5 mg/L의 NH₃-N 농도에서 폐사하지는 않지만 번식률이 감소한다고 보고하였으며, 5 mg/L 이상의 농도에서는 2일 안에 rotifer가 폐사한다고 나타났다. 또한 Lee et al. (2001)와 Park et al. (1999)에 따르면 *B. rotundiformis*와 *B. calyciflorus*의 성장에 영향을 미치는 NH₃-N 농도는 16~25 ppm이라고 보고하였으며, Yu and Hirayama (1986)는 2.1 ppm 이상의 농도에서 성장이 억제된다고 하였다. 이와 달리 Park (2007)의 *S. kitina* 실험에서는 *Brachionus* 속보다 낮은 0.5 ppm 일 때 개체밀도에 악영향을 미친다고 보고하였다. 접종밀도 실험의 경우 배양기간 동안 250, 600 및 900개체/mL 실험구에서 각각 0.0~0.2, 0.0~0.2 및 0.0~0.3 ppm의 NH₃-N 농도를 나타내 높은 NH₃-N 농도에 의한 성장 저하는 없었을 것으로 판단된다. 이러한 결과로부터 배양 10일째 이후 모든 실험구의 일일 생산량 감소는 용존산소 및 NH₃-N보다는 잦은 환수에 따른 rotifer의 스트레스 증가 및 난(egg) 손실 등에 의한 영향인 것으로 보여진다 (Assavaaree et al., 2001a,b). 다만 100 L 대량배양의 경우 배양기간 동안 0.2~0.7 ppm의 NH₃-N 농도 범위를 나타냈으며, 0.7 ppm에서 개체밀도가 감소하는 경향을 보여 Park (2007)의 연구 결과와 비슷한 농도에서 성장에 영향을 받는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 통해 *S. kitina*는 *Brachionus* 속에 비해 NH₃-N에 상당히 민감한 것으로 나타났는데, 이는 각기 다른 종의 특이성에 의한 것으로 판단된다. Shiel and Koste (1993)과 Park and Park (2008a)에 따르면 *S. kitina*는 *Brachionus* 속과는 달리 lorica가 없으며, 이러한 형태

학적 특성 때문에 NH₃-N에 매우 민감한 것으로 추측된다 (Park, 2007). 따라서 추후 lorica와 NH₃-N에 관련된 실험이 추가적으로 수행되어야 할 것으로 판단된다.

한편 최근의 rotifer 대량배양은 먹이로써 담수산 농축 *Chlorella*를 기본으로 하여 발달되어 왔다 (Dhert et al., 2001; Yoshimura et al., 1997). 반면 본 실험에서 사용되어진 *T. suecica*의 경우 타가영양번식에 의해 생산되는 담수산 *Chlorella*와는 달리 자가영양 즉, 광합성을 통해 번식을 한 *T. suecica*를 *S. kitina*의 먹이로 공급하였기 때문에 양적인 측면뿐만 아니라 세포밀도에 있어서도 큰 어려움이 있어 낮은 개체밀도를 보였다. 따라서 본 종의 고밀도 배양을 위해서는 타가영양에 의한 농축 *T. suecica*를 개발하거나 담수산 농축 *Chlorella*의 이용성을 높일 수 있는 방법을 찾아야 할 것으로 판단되며, 이러한 것들이 이뤄진다면 생산성이 높은 반연속 배양에서 52.9%를 차지하는 (Fig. 6) 먹이비용의 절감으로 효율적이고 경제적인 생산이 이루어질 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 관점에서 9일 동안 배양이 가능했던 100 L 대량배양은 대규모 대량배양이 가능할 것으로 보여지며, 여기에 농축 *T. suecica*가 개발된다면 고밀도의 *S. kitina* 생산도 충분히 가능할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 농림수산식품부에서 시행한 2005년도 수산특정 연구개발사업과제에 의해 수행한 연구결과이며 연구비를 지원해 주신 농림수산식품부에 심심한 사의를 표합니다.

참 고 문 헌

- Assavaaree, M., A. Hagiwara and E. Lubzens. 2001a. Factors affecting low temperature preservation of the marine rotifer *Brachionus rotundiformis* Tschugunoff. *Hydrobiologia*, 446/447, 355-361.
- Assavaaree, M., A. Hagiwara, K. Ide, K. Maruyama and E. Lubzens. 2001b. Low-temperature preservation (at 4°C) of marine rotifer *Brachionus*. *Aquacult. Res.*, 32, 29-39.
- Boraas, M.E. 1983. Population dynamics of food-limited rotifers in two-stage chemostat culture. *Limnol. Oceanogr.*, 28, 546-563.
- Dhert, P., G. Rombaut, G. Suantika and P. Sorgeloos. 2001. Advancement of rotifer culture and manipulation techniques in Europe. *Aquaculture*, 200, 129-146.
- Duncan, D.B. 1955. Multiple-range and multiple F tests. *Biometrics*, 11, 1-42.
- Duray, M.N., C.B. Estudillo and L.G. Alpasan. 1997. Larval rearing of the grouper *Epinephelus suillus* under laboratory conditions. *Aquaculture*, 150, 63-76.
- Kohno, H., R.S. Ordonio-Aguilar, A. Ohno and Y. Taki. 1997. Why is grouper larval rearing difficult?: an

- approach from the development of the feeding apparatus in early stage larvae of the grouper, *Epinephelus coioides*. Ichthyol. Res., 44, 267-274.
- Lee, K.W., H.G. Park and S.H. Cho. 2001. Productivity of freshwater rotifer, *Brachionus calyciflorus* and marine rotifer, *B. rotundiformis* in the semi-continuous high density culture. J. Kor. Fish. Soc., 34, 156-159.
- Lubzens, E., O. Zmora and Y. Barr. 2001. Biotechnology and aquaculture of rotifers. Hydrobiologia, 446/447, 337-353.
- Ooms-Wilms, A.L., G. Postema and R.D. Gulati. 1999. Population dynamics of planktonic rotifers in Lake Loosdrecht (The Netherlands) in relation to their potential food and predators. Freshwater Biology, 42, 77-97.
- Park, H.G., K.W. Lee and S.K. Kim. 1999. Growth of rotifer by the air, oxygen gas-supplied and the pH-adjusted and productivity of the high density culture. J. Kor. Fish. Soc., 32, 753-757.
- Park, H.G., K.W. Lee, S.H. Cho, H.S. Kim, M.M. Jung and H.S. Kim. 2001. High density culture of the freshwater rotifer, *Brachionus calyciflorus*. Hydrobiologia, 446/447, 369-374.
- Park, J.C. 2007. Mass culture of rotifer, *Synchaeta* sp.. M.S. Thesis, Kangnung-Wonju National University, Gangneung, Korea, pp. 50.
- Park, J.C. and H.G. Park. 2008a. Optimal salinity and temperature conditions for the growth of the ultra-small rotifer *Synchaeta kitina*. J. Aquaculture, 21, 70-75.
- Park, J.C. and H.G. Park. 2008b. Optimal food and concentration for the growth of the ultra-small rotifer *Synchaeta kitina*. J. Aquaculture, 21, 76-81.
- Schlüter, M. and J. Groeneweg. 1985. The inhibition by ammonia of population growth of the rotifer, *Brachionus rubens*, in continuous culture. Aquaculture, 46, 215-220.
- Shiel, R.J. and W. Koste. 1993. Rotifera from australian inland waters. IX. Gastropodidae, Synchaetidae, Asplanchnidae (Rotifera: Monogononta). Trans. Roy. Soc. S. Aust., 117, 111-139.
- SPSS Inc.. 2005. SPSS Base 14.0 for windows, SPSS Inc., 444N. Michigan Avenue, Chicago, IL, USA.
- Suchar, V.A. and P. Chigbu. 2006. The effects of algae species and densities on the population growth of the marine rotifer, *Colurella dicentra*. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 337, 96-102.
- Yoshimura, K., C. Kitajima, Y. Miyamoto and G. Kishimoto. 1994. Factors inhibiting growth of the rotifer *Brachionus plicatilis* in high density cultivation by feeding condensed *Chlorella*. Nippon Suisan Gakkaishi, 60, 207-213.
- Yoshimura, K., K. Usuki, T. Yoshimatsu, C. Kitajima and A. Hagiwara. 1997. Recent development of a high density mass culture system for the rotifer *Brachionus rotundiformis* Tschugunoff. Hydrobiologia, 358, 139-144.
- Yoshimura, K., K. Tanaka and T. Yoshimatsu. 2003. A novel culture system for the ultra-high-density production of the rotifer, *Brachionus rotundiformis*-a preliminary report. Aquaculture, 227, 165-172.
- Yu, J. and K. Hirayama. 1986. The effect of un-ionized ammonia on the population growth of the rotifer in mass culture. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 52, 1509-1513.

2009년 4월 28일 접수
 2009년 6월 30일 수정
 2009년 7월 14일 수리