J. Aquaculture
Vol. 21(2), 76-81, 2008

한국양식학회지
Journal of Aquaculture
©Korean Aquaculture Society

초소형 Rotifer *Synchaeta kitina*의 성장을 위한 최적 먹이 및 공급량

박진철, 박흠기*
강릉대학교 해양생명공학부

Optimal Food and Concentration for the Growth of the Ultra-small Rotifer *Synchaeta kitina*

Jin Chul Park and Heum Gi Park*
Faculty of Marine Bioscience and Technology, Kangnung National University, Gangneung 210-702, Korea

We investigated the food-effect for ultra-small rotifer *Synchaeta kitina* cultured under a individual and community by several diets: 3 single trials (*Tetraselmis suecica*, TET; *Isochrysis galbana*, ISO; Marine *Chlorella ellipsoidea*, CHL) and 3 trials with a mixture of 2 species. The rotifer was cultured on the different feeding concentrations. In the individual cultures, the maximum number of offsprings and maximum lifespan of the female investigated to 5.8 inds. and 12.7 days in TET trial, respectively. Values of the developmental phases of the rotifer fed with *T. suecica* were higher than those of trials without *T. suecica*. Also it approached faster to maturation level. In the community cultures, the maximum density of TET+CHL trial elevated up to 1,569 inds./mL. But, CHL and ISO showed a poor growth rate and maximum density. The offsprings of the female increased continuously when fed by *T. suecica* trial, up to 10×10^3 cells/ind./day. As the quantity of supplied diet was lowered their lifespan were decreased. But, the maximum density and growth rate in the community cultures showed the highest value in the 10×10^3 cells/ind./day. The efficient food for mass culture of *S. kitina* was *T. suecica,* and optimum concentration of their food was 10,000 cells for an individual.

Keywords: *Synchaeta kitina*, food, concentration, *Tetraselmis suecica*

서 론

일반적으로 rotifer는 먹이로 공급된 식물먹이생물의 종류에 따라 생식률이 다르게 나타나며, 먹이 공급량에 따라 성장에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다(Snell et al., 1983; Galkovskaja, 1987; James and Abu-Rezeq, 1988). 그렇기 때문에 rotifer를 배양함에 있어 그들의 최적 먹이생물 및 적정 공급량의 규명은 반드시 필요하다. 현재 rotifer *Brachionus plicatilis* 및 *B. rotundiformis*를 대량배양하는데 있어 널리 이용되고 있는 식물먹이생물로는 해수산 *Chlorella ellipsoidea*, *Nannochloropsis oculata*, *Isochrysis galbana*, *Tetraselmis* sp. 및 담수산 *Chlorella vulgaris* 등을 들 수 있다(Yufera and Pascual, 1980; Korstad et al., 1989b; Park et al., 1999). 특히 이들은 세포벽이 두꺼운 *Chlorella*를 깨어 먹을 수 있는 강한 이빨을 가지고 있기 때문에 단백질 함량이 높은 *Chlorella*는 rotifer에게 있어 좋은 먹이생물이 되고 있다. 그 중에서도 담수산 *C. vulgaris*는 세포의 크기가 작고 성장이 좋으며 경제적이기 때문에 일반적으로 가장 널리 이용되고 있으며(Hagiwara et al., 2001), 최근에는 rotifer 생산비용의 절감을 위해 빵효모(baker's yeast)와 혼합하여 사용되어지고 있다(Lee et al., 2000). 하지만 이러한 먹이로 배양된 rotifer는 영양학적으로 HUFA 함량이 적기 때문에 자치어에게 공급되기 전에는 반드시 rotifer를 해수산 *C. ellipsoidea*로 2차 배양하고 있다(Fukusho et al., 1984; Satuito and Hirayama, 1989). 이처럼 rotifer의 질적양적 향상을 위해 주로 이용되어지고 있는 식물먹이생물로는 *Chlorella* sp.가 대표적이라 할 수 있다.

그러나 최근 입이 작은 자어들을 위해 새롭게 연구개발 중인 *Synchaeta* 속의 종들에게는 *Chlorella* sp.가 적합하지 않은 먹이생물로 알려져 있다. 지금까지 *Synchaeta* 속에 대한 최적 먹이

*Corresponding author: hgpark@kangnung.ac.kr

생물의 연구는 매우 다양하여 *S. littoralis* 및 *S. cecilia valentina* (Oltra and Todol, 1997; Bosque et al., 2001)는 *Tetraselmis suecica*를 공급할 때 배양에 성공하였으며, *S. cecilia* (Egloff, 1988)는 *N. oculata*, *Chroomonas salina* 및 *I. galbana* 종이 배양에 효과적이라고 보고하였다. 이처럼 rotifer에 공급되는 먹이 종류 및 먹이의 질적 차이는 rotifer 성장에 있어 매우 중요한 요인으로 작용하고 있는 것이다(Korstad et al., 1989a).

한편 먹이량은 rotifer의 생식률과 상관관계를 가지며(Snell et al., 1983; Hotos, 2002), 소화율, 동화작용 및 생활사와 같은 개체 성장에 직접적인 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다 (Starkweather, 1980; Korstad et al., 1989b). 또한 Park et al. (1999)은 rotifer 고밀도 배양에서 생산 경비 중 먹이로 사용되는 담수산 농축 *C. vulgaris*가 경비의 약 87%를 차지하여 적정 먹이공급량을 초과할 경우 먹이낭비로 이어져 경제적 측면에서도 매우 중요하다고 지적하였으며, Yoshimatsu et al. (1997)은 먹지 않고 남은 먹이는 배양수의 오염은 물론 수확부터 자어로의 공급에 이르는 일일 운영을 방해하는 찌꺼기 형성의 원인이 된다고 보고하였다. 이처럼 경제적, 효율적 및 안정적인 rotifer의 대량배양을 위해서는 그들에게 공급되는 먹이의 양을 반드시 규명할 필요가 있는 것이다.

이러한 관점에서 본 연구는 입이 작은 어류 자어들의 초기 먹이생물로 이용 가능성이 있는 초소형 rotifer *S. kitina* (60~90 μm)의 성장을 위한 최적의 먹이생물과 그에 따른 공급량을 조사해 보았다. 다만 본 실험에 있어 수온 및 염분 조건은 사전 실험을 통해 포란율, 성장률이 양호한 20℃, 15 psu로 설정하여 행하였다(Park and Park, 2008).

재료 및 방법

초소형 rotifer *S. kitina*의 최적 먹이생물과 공급량을 규명하기 위한 실험은 개체배양과 밀집배양으로 나누어 수행하였다. 본 실험에 이용된 *S. kitina*는 강원도 강릉시 경포호에서 순수 분리한 종으로 20℃ 및 15 psu 조건하에서 계대 배양한 후 사용하였다.

밀집배양에 있어서 먹이종류별 실험은 해수산 *C. ellipsoidea* (CHL), *T. suecica* (TET) 및 *I. galbana* (ISO)를 이용하였다. 실험구는 각각의 단독구와 혼합구 3개 (TET+ISO, TET+CHL, ISO+CHL)로 하였다. 접종밀도는 250 mL 삼각플라스크(배양수 150 mL)에 10개체/mL로 하였고 배양조건은 20℃ 및 15 psu로 설정하였다. 먹이량은 각각의 먹이를 원심분리하여 농축시킨 뒤 rotifer 1,000 개체 당 건중량 0.4 mg을 기준으로 1일 1회 공급하였다. 실험은 13일간 이루어졌으며 모든 실험은 3회 반복하였다. 개체배양 실험은 밀집배양과 동일한 먹이 조건으로 24 cluster chamber (배양수 1 mL)에 갓 부화한 *S. kitina*의 neonate를 한 마리씩 접종한 후 발달단계, 산란수 및 수명을 조사하였다. 각각의 먹이 공급량은 개체 당 *T. suecica*를 건중량 0.04 μg으로 기준하여 공급하였다.

먹이 공급량에 따른 밀집배양 실험은 *T. suecica*를 사용하여 rotifer 개체 당 2,500, 5,000, 10,000, 25,000 및 50,000세포로 각각 나누어 실시하였다. 접종밀도는 1 L 비이커(배양수 900 mL)에 10개체/mL로 하였고 배양조건은 20℃ 및 15 psu로 설정하였다. 실험은 7일간 이루어졌으며 모든 실험은 3회 반복하였다. 개체배양의 실험은 밀집배양과 동일한 실험구로 24 cluster chamber (배양수 1 mL)에 갓 부화한 *S. kitina*의 neonate를 한 마리씩 접종한 후 발달단계, 산란수 및 수명을 조사하였다.

밀집배양에서의 *S. kitina*는 Rico-Martinez and Stanley (1992)의 방법에 따라 성장률(Specific growth rate, r)을 계산하였고 [$r= (1/T) \ln(N_T/N_0)$ (T= 접종 이후 *S. kitina*가 최고밀도에 도달하기까지의 배양일수; N_T= T days의 *S. kitina* 개체밀도; N_0= *S. kitina*의 접종밀도)], 매일 개체수와 포란수를 조사하여 mL 당 개체수 및 포란률로 나타내었다.

개체배양 실험은 20°C 및 15 psu 조건에서 계대 배양하던 *S. kitina* 중에서 난을 달고 다니는 암컷을 따로 분리 수용하여 30분 간격으로 갓 부화된 개체를 확인한 뒤 24 cluster chamber에 한 마리씩 접종하여 폐사할 때까지 관찰하였다. 실험기간은 각각의 암컷이 폐사하는 시기까지로 하여 부화 시부터 첫 번째 알을 달게 되는 시간까지를 생식 전 단계(pre-reproductive phase), 첫 번째 알을 달 때부터 생존기간 내에 마지막 알이 부화할 때까지를 순 생식 단계(reproductive phase), 마지막 알이 부화한 후부터 각 개체가 폐사하기까지를 생식 후 단계(post-reproductive phase), 암컷의 수명(lifespan) 및 생존기간 내의 총 산란수(offspring)로 각각 구분하여 관찰하였다. 생식 전 단계는 1시간 간격으로 관찰하였으며, 이 후부터는 12시간 간격으로 관찰하였다.

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 (SPSS Inc., 1997) program으로 검정하였다.

결 과

먹이종류에 따른 밀집배양에서 *S. kitina*의 개체 성장과 포란률은 Table 1과 Fig. 1에 나타내었다. 밀집배양 시 최고밀도는 TET+CHL 혼합 공급구에서 1,569.4개체/mL로 유의적으로 가장 높게 나타났으며($P<0.05$), 그 뒤로 TET+ISO 혼합 공급구와 TET 단독구가 높게 나타났다. 반면에 ISO의 단독구와 ISO+CHL의 혼합 공급구는 유의적으로 낮게 나타났으며($P<0.05$), CHL 단독 공급구의 경우는 배양 2일째에 모두 폐사하였다. 최고밀도에 따른 포란률의 경우는 TET+ISO의 혼합 공급구에서 25.0%로 유의적으로 가장 높게 나타났다($P<0.05$). 최고밀도에 따른 개체 성장률(r)은 TET+CHL 및 TET+ISO의 혼합 공급구와 TET 단독 공급구가 유의적으로 높게 나타난 반면, *T. suecica*가 들어가지 않은 다른 먹이 공급구는 유의적으로 낮게 나타났다($P<0.05$).

먹이종류별에 따른 *S. kitina*의 개체배양에서 암컷의 발달단계, 산란수 및 수명은 Table 2에 나타내었다. 암컷의 산란수 및

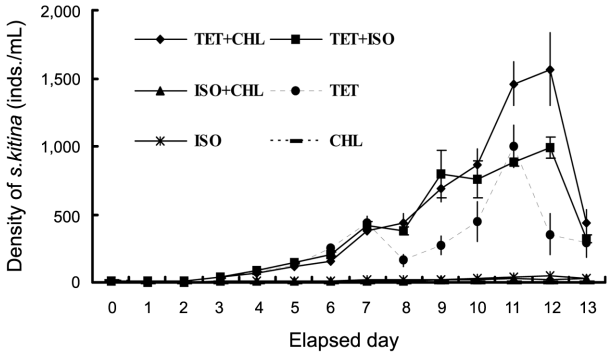

Fig. 1. Population growth of *S. kitina* Gyeongpoho strain cultured at the different diets; *Tetraselmis suecica* (TET), *Isochrysis galbana* (ISO), Marine *Chlorella ellipsoidea* (CHL).

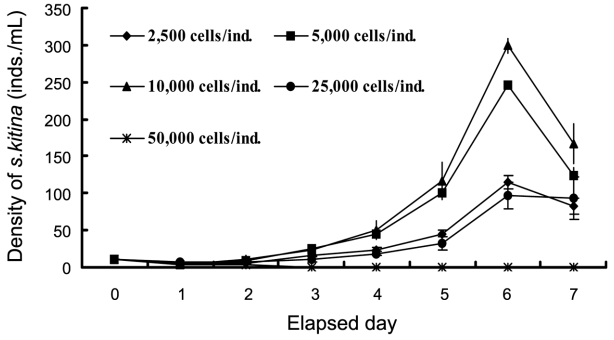

Fig. 2. Population growth of *S. kitina* Gyeongpoho strain cultured at the different food concentrations.

수명은 *T. suecica*를 공급한 실험구가 그렇지 않은 실험구보다 높게 나타나는 경향을 보였다. 특히 TET의 단독 공급구는 12.7개체와 5.8일로 유의적으로 가장 높게 나타났다(P<0.05). 반면에 ISO의 단독 공급구와 CHL+ISO 혼합 공급구는 유의적으로 낮게 나타났으며(P<0.05), CHL의 단독 공급구는 밀집배양 때와 마찬가지로 배양 2일째 모두 폐사하였다. 이러한 경향은 암컷의 발달단계에서도 나타나 생식 전 단계와 순 생식 단계에서 *T. suecica*가 들어간 실험구가 그렇지 않은 실험구보다 높은 성장을 보였다.

먹이 공급량에 따른 밀집배양에서 *S. kitina*의 개체 성장과 포란률은 Table 3과 Fig. 2에 나타내었다. 밀집배양 시 최고밀도는 10,000세포/개체 공급구에서 298.9개체/mL로 유의적으로 가장 높게 나타났다(P<0.05). 반면에 2,500 및 25,000세포/개체 공급구는 유의적으로 낮게 나타났으며(P<0.05), 50,000세포/개체 공급구의 경우는 배양 3일째에 모두 폐사하였다. 최고밀도에 따른 포란률은 50,000세포/개체 공급구를 제외한 모든 실험구에서 유의적인 차이를 보이지 않았다(P>0.05). 최고밀도에 따른 개체 성장률은 5,000 및 10,000세포/개체 공급구에서 각각 0.911, 0.944로 유의적으로 가장 높게 나타났다(P<0.05).

먹이 공급량에 따른 *S. kitina*의 개체배양에서 발달단계, 산란수 및 수명은 Table 4에 나타내었다. 먹이 공급량별 개체배양에서의 생식 전 단계는 먹이량이 가장 높은 50,000세포/개체 공급구에서 19.9시간으로 가장 짧게 나타났으나 5,000세포/개체 공급구를 제외한 다른 실험구와의 유의적인 차이는 보이지 않았다(P>0.05). 순 생식 단계는 25,000세포/개체 공급구에서 2.8일로 유의적으로 가장 높게 나타났으나(P<0.05), 10,000 및 50,000세포/개체 공급구와의 유의적인 차이는 보이지 않았다(P>0.05). 생식 후 단계는 2,500세포/개체 공급구를 제외한 모든 실험구에서 19.5~23.0시간으로 유의적인 차이가 없이 나타났다(P>0.05). 또한 먹이량에 따른 암컷의 산란수 및 수명은 25,000세포/개체 공급구에서 각각 7.1개체와 4.4일로 유의적으로 가장 높게 나타났으나(P<0.05), 10,000 및 50,000세포/개체 실험구와의 유의적인 차이는 보이지 않았다(P>0.05). 그러나 먹이량이 적은 2,500 및 5,000세포/개체를 공급한 실험구의 경우는 유의적으로 낮게 나타났다(P<0.05).

고 찰

먹이종류에 따른 *S. kitina*의 개체 및 밀집배양 실험에서 *T. suecica*를 공급한 실험구가 그렇지 않은 실험구에 비해 성장이 우수한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 *S. littoralis* (Bosque et al., 2001)와 *S. cecilia valentina* (Oltra and Todol, 1997)을 배양하기 위한 먹이생물로 *T. suecica*가 효과적이라는 연구 자료와 동일하게 나타난 것이다. 이는 *T. suecica*는 운동성을 가지고 있는 식물플랑크톤으로서 포식자인 rotifer가 유영을 하면서 먹이를 접할 빈도가 높았기 때문인 것으로 판단된다(Salt, 1987; Hotos, 2002). 또한 Egloff (1988)는 *S. cecilia*에게 *T. suecica*를 제외한 다른 먹이생물인 *I. galbana*를 공급했을 때 성장이 가

Table 1. Maximum densities, fecundities and specific growth rates of *Synchaeta kitina* Gyeongpoho strain cultured at the different diets*

Diet[1]	Maximum density (inds./mL)	Fecundity (%)	Specific growth rate (r)
TET+CHL	1,569.4±266.99^{d}	18.7±1.60^{c}	0.628±0.0165^{e}
TET+ISO	993.3±74.09^{c}	25.0±0.86^{d}	0.591±0.0119^{d}
TET	998.8±157.49^{c}	14.8±0.74^{b}	0.624±0.0141^{de}
ISO+CHL	35.7±5.25^{b}	14.6±1.97^{b}	0.259±0.0060^{b}
ISO	44.4±3.47^{b}	18.2±0.62^{bc}	0.294±0.0083^{c}
CHL	10.0±0.00^{a}	10.0±0.00^{a}	0.000±0.0000^{a}

[1]TET, *Tetraselmis suecica*; ISO, *Isochrysis galbana*; CHL, Marine *Chlorella ellipsoidea*.
*Values (Mean±SE) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

Table 2. The developmental phases, offsprings and lifespans of *Synchaeta kitina* Gyeongpoho strain cultured at the different diets*

Diet[1]	Pre-reproductive phase (hour)	Reproductive phase (day)	Post-reproductive phase (hour)	Number of offsprings (inds.)	Lifespan (day)
TET+CHL	18.8±0.27^{b}	4.0±0.29^{c}	22.0±2.12^{b}	10.0±0.88^{b}	5.6±0.28^{b}
TET+ISO	18.9±0.26^{b}	4.2±0.24^{c}	21.5±2.50^{b}	12.3±0.93^{bc}	5.8±0.24^{b}
TET	19.5±0.22^{b}	4.1±0.28^{c}	22.3±2.98^{b}	12.7±1.02^{c}	5.8±0.27^{b}
ISO+CHL	21.5±0.25^{c}	0.5±0.04^{ab}	15.7±2.11^{b}	0.5±0.25^{a}	2.1±0.10^{a}
ISO	21.1±0.44^{c}	0.8±0.07^{b}	21.6±2.23^{b}	2.1±0.19^{a}	2.6±0.08^{a}
CHL	0.0±0.00^{a}	0.0±0.00^{a}	0.0±0.00^{a}	0.0±0.00^{a}	2.6±0.15^{a}

[1]TET, *Tetraselmis suecica*; ISO, *Isochrysis galbana*; CHL, Marine *Chlorella ellipsoidea*.
*Values (Mean±SE) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

Table 3. Maximum densities, fecundities and specific growth rates of *Synchaeta kitina* Gyeongpoho strain cultured at the different food concentrations*

Food concentration (cells/rotifer/day)	Maximum density (inds./mL)	Fecundity (%)	Specific growth rate (r)
2,500	115.0±0.94^{b}	11.7±2.19^{b}	0.774±0.0146^{c}
5,000	246.6±2.88^{c}	13.2±1.92^{b}	0.911±0.0020^{d}
10,000	298.9±10.64^{d}	12.3±1.21^{b}	0.944±0.0060^{d}
25,000	97.2±22.0^{b}	15.6±2.09^{b}	0.645±0.2924^{b}
50,000	10.0±0.00^{a}	0.0±0.00^{a}	0.000±0.0000^{a}

*Values (Mean±SE) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

Table 4. The developmental phases, offsprings and lifespans of *Synchaeta kitina* Gyeongpoho strain cultured at the different food concentrations*

Food concentration (cells/rotifer/day)	Pre-reproductive phase (hour)	Reproductive phase (day)	Post-reproductive phase (hour)	Number of off-springs (inds.)	Lifespan (day)
2,500	20.6±0.34^{ab}	1.3±0.09^{a}	39.0±3.70^{b}	2.1±0.19^{a}	3.5±0.14^{a}
5,000	21.1±0.59^{b}	2.0±0.20^{b}	22.0±1.71^{a}	3.7±0.43^{b}	3.9±0.21^{ab}
10,000	20.1±0.37^{ab}	2.5±0.16^{c}	20.5±2.44^{a}	6.8±0.60^{c}	4.2±0.16^{bc}
25,000	20.2±0.22^{ab}	2.8±0.14^{c}	19.5±1.88^{a}	7.1±0.43^{c}	4.4±0.16^{c}
50,000	19.9±0.21^{a}	2.6±0.16^{c}	23.0±2.49^{a}	6.0±0.59^{c}	4.4±0.15^{c}

*Values (mean±SE) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

능하였다고 보고하였다. 본 실험에서도 *I. galbana*를 공급한 실험구에서 성장이 가능했던 점을 보아 *I. galbana*는 *S. kitina*의 보조먹이로서 사용이 가능한 것으로 판단된다.

그러나 해수산 *C. ellipsoidea*는 밀집 및 개체배양 실험에서 접종 2일째 모두 폐사하는 경향을 보였기 때문에 본 종에게 있어 적합하지 않은 먹이생물이라 판단된다. 이러한 이유로는 종에 따른 세포벽의 두께, 성분 및 분해효소 등의 차이에 의한 것으로 판단된다. Chlorophyceae 에 속하는 *Chlorella* sp.의 세포벽은 여러 겹의 두꺼운 cellulose로 이루어진 반면, Prasinophyceae에 속하는 *Tetraselmis* sp.는 가장 바깥쪽에 두꺼운 cellulose 세포벽 대신에 theca이라고 불리우는 세포외벽을 가지고 있어 두 종간의 세포벽 구조와 두께가 다른 것으로 보고되고 있다(Sze, 1986; Boney, 1989; Maruyama et al., 1997). 또한 theca를 이루고 있는 주성분은 galactose 및 galacturonic acid로 성분에 있어서도 *Chlorella* sp.와 차이가 있는 것으로 알려져 있다(Becker et al., 1989). 아울러 Chun et al. (1996)은 *Brachionus* 속에는 peptidoglycanase가 있기 때문에 세포벽이 다량의 peptidoglycan으로 이루어진 *Chlorella* sp.를 쉽게 소화시킬 수 있다고 보고하였다. 그러나 본 실험에 사용된 종은 *Brachionus* 속에 비해 이러한 분해효소 활성이 매우 적거나 없기 때문에 *C. ellipsoidea*을 분해할 수 없어서 성장이 낮았던 것으로 판단되며, 이 부분에 대해서는 추가적으로 이들의 효소적 방법을 이용한 증명이 필요할 것으로 판단된다.

그럼에도 불구하고 본 실험 중 밀집배양에서의 최고밀도는 TET+CHL 혼합 공급구에서 유의적으로 가장 높게 나타났는데, 이는 *S. kitina*의 먹이 선택성이 강하여 자신에게 적합한 *T. suecica*만을 섭취한 결과라 판단된다. Egloff (1988)는 37가지의 먹이를 가지고 실험을 행하였을 때 2~3가지의 먹이만이 *S. cecilia* 성장에 영향을 미쳐 먹이선택에 있어 매우 민감함을 지적하였다. 본 실험에서도 예비실험을 통해 *C. ellipsoidea* 및 *T. suecica*를 같이 공급해 주어 섭취량을 조사해 본 결과, 선택적으로 *T. suecica*를 더 많이 섭취하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 TET+CHL 혼합 공급구에서 *T. suecica*의 먹이 공급량은 TET 및 TET+ISO 공급구의 먹이량에 비해 부족하지 않았기 때문에 성장에는 지장을 주지 않았던 것으로 판단된다.

한편 *Brachionus* 속의 종들은 먹이종류에 따라 개체발달 및

수명에 직접적인 영향을 받는 것으로 보고되고 있다(Yufera and Pascual, 1980; Korstad et al., 1989b; Park et al., 1999; Lee et al., 2000). 이러한 경향은 최근 연구에 의해 *Synchaeta* 속에서도 동일한 것으로 밝혀지고 있다(Egloff, 1988; Oltra and Todol, 1997; Bosque et al., 2001). 이러한 먹이종류에 따른 성장 및 생식의 차이는 결국 먹이 내에 들어있는 영양소가 다르기 때문인 것으로 판단된다(Snell et al., 1983). 본 연구의 밀집 및 개체배양에서 각각의 먹이를 단독 공급했을 때의 성장을 살펴보게 되면, 분명 *T. suecica*가 다른 단일 먹이에 비해 높은 성장과 생식률을 보이고 있다. 이는 결국엔 본 종의 성장에 있어 *T. suecica*가 다른 먹이에 비해 질적으로 우수하다는 사실을 확인시켜 주는 것이다.

한편 rotifer를 배양함에 있어 적정 먹이량을 규명하는 것은 매우 중요한 과제라 할 수 있다. 적정 먹이량의 그 이상이나 이하로 공급될 경우에는 성장률, 포란률 및 생존률에 악영향을 미치기 때문이다(Halbach and Halbach-Keup, 1974; Stemberger and Gilbert, 1985; Rico-Martinez and Dodson, 1992). 본 연구의 밀집 및 개체배양 실험에서는 *T. suecica*를 개체 당 10,000세포로 공급한 실험구가 다른 실험구에 비해 높은 성장률, 산란수 및 수명을 보여 적정 먹이량은 개체 당 10,000세포인 것으로 판단된다. 그러나 밀집배양 시 10,000세포/개체 이상의 먹이 공급구에서는 성장이 다소 낮게 나타난 반면, 개체배양에서는 산란수 및 수명에 효과적인 것으로 조사되어 두 실험간에 서로 상반된 결과로 나타났다. 이러한 이유는 밀집배양 시 공급되는 먹이의 양이 급격히 증가하였기 때문인 것으로 판단된다. 일반적으로 rotifer의 성장과 번식은 먹이의 농도에 직접적인 영향을 받으며, 그로 인해 소화기능에도 영향을 받게 된다(Schlosser and Anger, 1982; Rothhaupt, 1990). 본 연구에서는 먹이량을 개체 당 25,000 및 50,000세포로 공급하였는데 이는 개체배양 시에는 큰 문제가 없을 만큼의 공급량이였으나 밀집배양에서는 먹이를 1일 1회로 공급하였기 때문에 한꺼번에 과도한 양이 들어가 성장에 악영향을 미친 것으로 판단된다. 이처럼 과도한 먹이량은 결국엔 rotifer 소화기능의 장애, 과잉의 먹이소실과 배설물 증가에 따른 배양수질 악화, 섬모를 통한 유영능력의 저하 및 비효율적인 동화작용 등으로 나타날 수 있기 때문이다(Halbach and Halbach-Keup, 1974; Pourriot, 1977; Starkweather and Gillbert, 1977; Starkweather, 1980).

한편 *S. littoralis* (Bosque et al., 2001)와 *S. cecilia valentina* (Oltra and Todol, 1997)를 각각 개체배양 했을 때 먹이량은 산란수에는 영향을 미친 반면, 수명에는 영향을 미치지 않는 것으로 보고되었다. 이러한 경향은 rotifer *Encentrum linnhei*을 이용한 실험에서도 동일하게 나타났다(Schmid-Araya, 1991). 또한 Bosque et al. (2001)와 Oltra and Todol(1997)에서 *S. littoralis* 및 *S. cecilia valentina*의 평균 크기는 180~238 μm이였으며 개체배양 실험 시 먹이량은 *T. suecica*를 개체 당 15,000~150,000세포로 공급하였다. 그러나 이러한 먹이량은 비슷한 크기의 *B. plicatilis*를 개체배양 했을 때의 먹이량인 500,000세포/개체(Carmona et al., 1994; Serra et al., 1994) 보다 매우 적은 양으로 결국엔 생산력 대신 성장에만 먹이를 이용함으로써 산란수에만 영향을 끼친 것이라고 결론을 내린 바 있다. 그러나 본 개체배양 실험에서는 이와 상반된 결과로 먹이량이 수명 및 산란수에 모두 영향을 미친 것으로 나타났다. 이러한 결과는 rotifer 종들 간에 크기(중량)와 먹이량에 따른 상관성 때문이라 판단된다(Stemberger and Gilbert, 1985). 본 실험에서 사용된 *S. kitina*는 *S. littoralis* 및 *S. cecilia valentina* 보다도 그 크기가 1/2~1/4의 수준이며, 그로 인해 먹이 섭취량이 적었을 것으로 판단된다. 따라서 본 개체배양 실험에서 공급된 먹이량은 *S. kitina*의 수명과 생산력에 있어 문제가 없을 만큼의 충분한 양이였고 그로 인해 Bosque et al. (2001) 및 Oltra and Todol(1997)의 연구결과보다는 다소 낮은 값을 보인 것으로 판단된다.

본 실험을 종합해 볼 때, *S. kitina*의 대량배양에 있어 가장 안정적인 최적의 먹이는 *T. suecica*이며, 그에 따른 공급량은 개체 및 밀집배양에서 높은 개체밀도와 성장률을 보인 10,000세포/개체 공급구가 적합한 것으로 판단된다.

요 약

본 연구는 입이 작은 어류들의 초기 먹이생물로 이용 가능성이 있는 초소형 rotifer *Synchaeta kitina*의 대량배양을 위한 이들의 최적 먹이생물 및 공급량을 규명하는데 그 목적이 있다. 초소형 rotifer *S. kitina*를 대상으로 각기 다른 종류의 먹이를 6개(TET, ISO, CHL, TET+ISO, TET+CHL 및 ISO+CHL)의 실험구로 나누어 이들의 최고밀도, 포란률, 성장률, 발달단계, 산란수 및 수명 등을 조사하였다. 먹이종류에 따른 밀집배양에서 최고밀도, 포란률 및 성장률은 *T. suecica*를 단독 또는 혼합 공급한 실험구가 그렇지 않은 실험구에 비해 높은 것으로 나타났다. 또한 개체배양 실험에서도 생식 전 단계, 순 생식 단계, 산란수 및 수명이 *T. suecica*를 공급한 실험구에서 더 높은 것으로 조사되었다.

먹이 공급량에 따른 개체 및 밀집배양 실험에서는 rotifer 개체 당 *T. suecica*를 10,000세포로 공급하는 것이 최고밀도, 포란률, 성장률, 산란수 및 수명에 효율적인 것으로 나타났다.

따라서 초소형 rotifer *S. kitina*의 대량배양을 위한 최적의 먹이생물은 *T. suecica*이며, 그에 따른 공급량은 개체 당 10,000세포가 적합할 것으로 판단된다.

참고문헌

Becker, B., K. Hard, M. Melkonian, J. P. Kamerling and J. F. G. Vliegenthart, 1989. Identification of 3-deoxy-manno-2-octulosonic acid, 3-deoxy-5-O-methyl-manno-2-octulosonic acid and 3-deoxy-lyxo-2-heptulosaric acid in the cell wall (theca) of the green alga *Tetraselmis striata* Butcher (Prasinophyceae). Eur. J. Biochem., 182, 153–160.

Boney, A. D., 1989. Phytoplankton. Edward Arnold, London, 2nd

edn., 11–13.
Bosque, T., R. Hernández, R. Pérez, R. Todolí and R. Oltra, 2001. Effects of salinity, temperature and food level on the demographic characteristics of the seawater rotifer, *Synchaeta littoralis* Rousselet. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 258, 55–64.
Carmona, M. J., M. Serra and M. R. Miracle, 1994. Effect of population density and genotype on life-history traits in the rotifer *Brachionus plicatilis* O. F. Müller. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 182, 223–235.
Chun, C. Z., H. G. Park, S. B. Hur and Y. T. Kim, 1996. Biochemical studies of an endoglucanase from marine rotifer, *Brachionus plicatilis*. Journal of Aquaculture, 9(4), 453–459.
Ducan, D. B., 1955. Multiple-range and mutiple F tests. Biometrics, 11, 1–42.
Egloff, D. A., 1986. Effects of *Olithodiscus luteus* on the feeding and reproduction of the marine rotifer *Synchaeta cecilia*. J. Plank. Res., 8, 263–274.
Egloff, D. A., 1988. Food and growth relations of the marine microzooplankton, *Synchaeta cecilia* (Rotifera). Hydrobiologia, 157, 129–141.
Fukusho, K., M. Okauchi, S. Nuraini, A. Tsujigado and T. Watanabe, 1984. Food value of rotifer *Brachionus plicatils*, cultured with *Tetraselmis tetrathele* for larvae of red sea bream *Pagrus major*. Bull. Hap. Soc. Sci. Fish., 50(8), 1439–1444.
Galkovskaja, G. A., 1987. Planktonic rotifers and temperature. Hydrobiologia, 147, 307–317.
Hagiwara, A., W. G. Gallardo, M. Assavaaree, T. Kotani and A. B. de Araujo, 2001. Live food production in Japan: recent progress and future aspects. Aquaculture, 200, 111–127.
Halbach, U. and G. Halbach-Keup, 1974. Quantitative beziehungen zwischen Phytoplankton und der Populationsdynamik der Rotators *Brachionus calyciflorus* Pallas. Befunde aus Laboratoriumsexperimenten und Freilanduntersuchungen. Arch. Hydrobiol., 73, 272–309.
Hotos, G. N., 2002. Selectivity of the rotifer *Brachionus plicatilis* fed mixtures of algal species with various cell volumes and cell densities. Aquat. Res., 33, 949-957.
James, C. M. and T. S. Abu-Rezeq, 1988. Effect of different cell densitise of *Chlorella capsulata* and marine *Chlorella* sp. for feeding the rotifer *Brachionus plicatilis*. Aquaculture, 69, 43–56.
Korstad, J., Y. Olsen and O. Vadstein, 1989a. Life history characteristics of *Brachionus plicatilis* (rotifera) fed different algae. Hydrobiologia, 186/187, 43–50.
Korstad, J., O. Vadstein and Y. Olsen, 1989b. Feeding kinetics of *Brachionus plicatilis* fed *Isochrysis galban*a. Hydrobiologia, 186/187, 51–57.
Lee, K. W., H. G. Park and K. Y. Park, 2000. Different combinations of condensed *chlorella* and baker's yeast for mass culture of the freshwater rotifer, *Brachionus calyciflorus* Pallas. J. Aquacult., 13(2), 147–152.
Maruyama, I., T. Nakao, I. Shigeno, Y. Ando and K. Hirayama, 1997. Application of unicellular algae *Chlorella vulgaris* for the mass-culture of marine rotifer *Brachionus*. Hydrobiologia, 358, 133–138.
Oltra, R. and R. Todol, 1997. Effects of temperature, salinity and food level on the life history traits of the marine rotifer, *Synchaeta cecilia valentina*, n. subsp. J. Plank. Res., 19, 693–702.
Park, H. G., K. W. Lee and S. K. Kim, 1999. Growth of rotifer by the air, oxygen gas-supplied and the pH adjusted productive of the high density culture. J. Kor. Fish. Soc., 32, 757–784.
Park, J. C. and H. G. Park, 2008. Optimal salinity and temperature condition for the growth of the ultra-small rotifer Synchaeta kitina
Pourriot, R., 1977. Food and feeding habits of Rotifera. Arch. Hydrobiol. Beih., 8, 243–260.
Rico-Martinez, R. and S. I. Dodson, 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.
Salt, G. W., 1987. The components of feeding behavior in rotifers. Hydrobiologia, 147, 271–281.
Satuito, C. G. and K. Hirayama, 1989. Fat soluble vitamin requirements of the rotifer, *Brachionus plicatilis*. (in) J. Maclean, L. Dizon and L. Hosillos. (Eds). The First Asian Fisheries Forum, Manila, Philippines, 619–622.
Schlosser, H. J. and K. Anger, 1982. The significance of some methodological effects on filtration and ingestion rates of the rotifer *Brachionus plicatilis*. Helgol. Meeresunters, 35, 215–225.
Schmid-Araya, J. M., 1991. The effect of food concentration on the life histories of *Brachionus plictilis* and *Encentrum linnhei*. Scott. Arch. Hydrobiol., 121, 87–102.
Serra, M., M. J. Carmona and M. R. Miracle, 1994. Survival analysis of three clones of *Brachionus plicatilis* (Rotifera). Hydrobioloia, 227, 97–105.
Snell, T. W., C. J. Bieberich and R. Fuerst, 1983. The effects of green and blue-green algal diets on the reproductive rate of the rotifer *Brachionus plicatilis*. Aquaculture, 31, 21–30.
SPSS Inc., 1997. SPSS Bass 12.0 for window, SPSS Inc., 444N. Michigan Avenue, Chicago. IL, 60611.
Starkweather, P. L. and J. J. Gilbert, 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. and J. J. Gilbert, 1985. Body size, food concentration and population growth in plankonic rotifers. Ecology, 66, 1151–1159.
Sze, P., 1986. A biology of the algae. Wm. C. Brown Publisher, 35–40.
Yoshimatsu, T., H. Imoto, M. Hayashi, K. Toda and K. Yoshimura, 1997. Preliminary results in improving essential fatty acids enrichment of rotifer cultured in high density. Hydrobiologia, 358, 153–157.
Yufera, M. and E. Pascual, 1980. Estudio del rendimiento de cultivos del rotífero *Brachionus plicatilis* O. F. Muller alimentados conlevadura de panificatión. Invest. Pseq., 44(2), 361–368.

원고접수 : 2008년 3월 18일
심사완료 : 2008년 5월 8일
수정본 수리 : 2008년 5월 11일