

한국 담수산 윤충 *Brachionus calyciflorus*의 생물학적 특징과 온도별 성장

강언종 · 이배익 · 김응오

국립수산진흥원 진해내수면연구소

Biological Characteristics and Growth of the Korean Freshwater Rotifer, *Brachionus calyciflorus* at Various Temperatures

Eon-Jong Kang, Bae-Ik Lee and Eung-Oh Kim

Chinhae Inland Fisheries Research Institute, Chinhae 645-250, Korea

This study was conducted to determine the optimal conditions for raising the freshwater rotifer, *Brachionus calyciflorus*. The authors presented some biological information obtained from incubation experiment under the various controlled temperatures.

Lorica size of the rotifer was divided into two groups; the length and the width for the S-type was $141.0 \pm 16.7 \mu\text{m}$ ($110.1-182.5 \mu\text{m}$, $n=44$) and $107.0 \pm 20.3 \mu\text{m}$ ($75.3-152.3 \mu\text{m}$, $n=44$), and those for the L-type was $262.8 \pm 15.2 \mu\text{m}$ ($234.4-288.6 \mu\text{m}$, $n=20$) and $182.6 \pm 13.4 \mu\text{m}$ ($159.8-207.0 \mu\text{m}$, $n=20$), respectively.

The number of eggs being attached on the female varied from 1 to 11 at various culture conditions. Egg type was divided into two groups, large and small. Large and small egg was measured in its major axis as $85.7-107.8 \mu\text{m}$ and $55.1-65.2 \mu\text{m}$ for S-type, and $104.9-121.8 \mu\text{m}$ and $62.8-89.1 \mu\text{m}$ for L-type respectively.

The maximum density was reached at 4th day after incubation. The density was 583.9 rotifers/ml for 25°C-experimental. group and 421.3 rotifers/ml for 22°C-experimental. group respectively. In the case of 28°C-experimental. group, it suddenly decreased into 4.7 rotifers/ml at 1st day after incubation and did not recover to its initial density.

The maximum rate of increase of population per day was reached 0.802 for 22°C-experimental. group at day 2 and fluctuated thereafter. For 25°C-experimental. group it increased to 0.964 at day 3 of incubation and then declined. And the egg ratio of female was reached the maximum of 0.614 for 22°C- at 3rd day and 0.772 for 25°C-experimental. group at 4th day of incubation.

Key words : Freshwater rotifer, *Brachionus calyciflorus*

서 론

근래 어류 등 수산생물을 통한 단백질 공급의

중요성은 증대되고 있는 한편 오염과 남획 등으로 어획량은 감소하고 있어, 양식을 통한 질 좋은 단백질의 공급이 중요시되고 있다. 한편 양식

이 연구는 1995-1996년도 수산특정연구과제 연구비의 지원으로 이루어졌음.

산업의 성공은 년중 필요한 시기에 질 좋은 종묘가 얼마나 보급되는지에 달려있다. 그러나 수산생물의 종묘를 조절된 시기에 대량으로 생산하기 위해서는 초기 성장을 보장할 완전 사료가 필요하나 초기 배합사료의 개발이 어렵기 때문에 자연 생태계의 먹이사슬관계를 이용한 살아있는 동물과 식물을 먹이로서 이용하고자 하는 노력이 계속되고 있다.

어류 양식의 경우 부화자어에 대한 초기 먹이로서 윤충배양에 대한 연구는 주로 해산 윤충인 *Brachionus plicatilis*를 중심으로 이루어져 왔는데, 대량배양을 위한 연구(Hirayama and Nakamura, 1976), 먹이 종류별 윤충의 생식을 변화(Snell et al., 1983), 윤충의 먹이인 *Chlorella* 밀도별 배양시험(James and Abu-Rezeq, 1988) 등 많은 연구가 이루어져 왔고, Watanabe et al.(1983)은 그 가치에 대해 재조명한 바 있다.

국내에서도 *B. plicatilis*의 배양을 위한 적정 먹이생물 종에 대한 연구(許와 金, 1988; 許等, 1989), 연속반복수확을 위한 연구(文, 1981), 허와 박(1996a, b)에 의한 해산 윤충인 *Brachionus plicatilis*에 대한 내구란의 연구 등이 이루어지는 등 어류의 자어 사육에 윤충의 이용이 일반화되었다.

한편 담수 생물 양식을 위한 먹이생물에 대한 연구는 해외에서도 *B. plicatilis*의 잉어류 자어에 대한 먹이생물로서 가능성 시험(Lubzens et al., 1987), 담수산 윤충인 *B. rubens*의 대량배양에 대한 연구(Groeneweg and Schlüter, 1981), pH 상승에 따른 *B. calyciflorus*의 생존율과 번식에 대한 연구(Mitchell and Joubert, 1986), 그리고 최근 Rico-Martinez and Dodson (1992)의 *B. calyciflorus* 배양에 대한 연구, Awais and Kestemont (1992)의 온도별 개체군 동향에 대한 연구 등이 있을 뿐이다.

국내에서는 담수산 윤충의 배양에 대한 연구가 거의 없어 허와 박(1996)의 *B. calyciflorus* 분리에 대한 보고 등 기초 연구가 시작되었을 뿐이다.

이러한 실정으로 담수에서 종묘생산은 야외사육지에서 소독과 시비 후 먹이연쇄에 의해 발생하는 먹이생물 계열을 이용(Yu, 1989)하고 있으며, 부화자어 수용시기, 적절한 크기의 먹이생물 발생시기 조절 등에 문제가 있어 안정적인 종묘생산과 보급 그리고 경제성 있는 새로운 어종의 양식기술개발과 자원보강을 위한 종묘생산 등에 어려움이 따르고 있다.

이 연구는 담수산 어류 양식 기술개발에 필수적인 초기 먹이생물 배양을 위한 연구의 일환으로 수행되었으며, 담수산 윤충인 *B. calyciflorus*를 순수분리하고 일부 생물학적 특징을 밝혔으며, 배양에 필요한 적정조건을 구명하고자 일차로 온도별 성장에 대하여 시험하였기에 대량배양에 대한 기초자료로 보고하고자 한다.

재료 및 방법

실험에 이용한 담수산 윤충인 *B. calyciflorus* (Fig. 1)는 진해내수면 연구소 야외 사육지에서 플랑크톤 망(망목 100 μm)을 이용하여 채집하였고, 曹(1993)와 Pennak(1978)에 따라 동정하였다.

채집한 윤충은 대형 부유생물을 분리하는 일반적인 방법(Finlay et al., 1988)에 따라 입체 현미경하에서 한 개체씩 capillary pipette로 분리하였다. 분리한 윤충은 담수산 *Chlorella* 용액 5 ml(농도 $5 \times 10^6 \text{ cell/ml}$)이 분주된 12-well plate에 각각 수용한 후 배양기에 넣고 분리 당시 원 서식지와 유사한 온도인 25°C에서 배양하였다.

배양 과정은 매 24시간마다 입체현미경하에서 관찰하였으며, 윤충의 밀도가 10개체/ml 이상이 되었을 때 100 ml flask에 분리시와 동일한 *Chlorella*액 50 ml을 넣고 옮겨 계대배양하였다. 시험에 사용한 윤충은 계대배양중인 윤충을 계대배양시와 동일한 농도의 *Chlorella* 용액 250 ml를 넣은 500 ml 삼각플라스크에서 배양하여 시험에 적절한 개체수를 확보한 후 각 실험구에

무작위적으로 분주하였다.

온도별 성장 특성을 조사하기 위해서 예비시험으로 15-30℃ 까지 5℃ 간격으로 4개의 실험구를 설정 성장상태를 비교하여 대략의 성장에 적합한 온도범위를 결정하였고, 본 실험에서는 예비시험 결과 나타난 배양 온도 범위 중 성장이 비교적 양호한 범위인 22-28℃까지를 3℃ 간격으로 3개의 실험구를 설정하다.

각 실험구는 분리시와 동일한 *Chlorella*액 500 ml을 넣은 1000 ml flask 3개를 1조로 하였고, 사용한 윤충은 S-type으로 시험 시작시 20개체/ml를 접종하였다. 시험중 배양액은 배양액 용량에 대해 *Chlorella*의 밀도가 5×10^6 cell/ml이 되도록 매일 첨가하였고 pH는 7.0-8.0 사이를 유지하였으며, 시험은 배양중인 윤충의 밀도가 최대에 도달한 후 급격히 하락하기 시작한 2일 후 종료하였다.

시험기간 중 윤충의 밀도는 피펫으로 각 실험구의 개별 시험 플라스크에서 배양액 1 ml을 취한 후 입체현미경 하에서 암컷 개체만을 계수하였으며 3회 반복하였고, 실험구별 평균치를 구하였다. 한편 각 실험구별 성장률은 다음 식에 의해 구했다(Rico-Martinez et al., 1992 ; Schmid-Araya, 1995).

$$r = [\ln(D_t/D_0)]/t$$

(단, r=성장률, D_t =측정 당시의 밀도,

D_0 =접종 밀도, t=배양시간)

시험에 사용한 *Chlorella*의 밀도는 100배율에서 혈구계산판을 이용하여 그리고 윤충의 피갑과

난의 측정은 50배율에서 영상분석기(SiS사, 독일)에 의해 처리하였다.

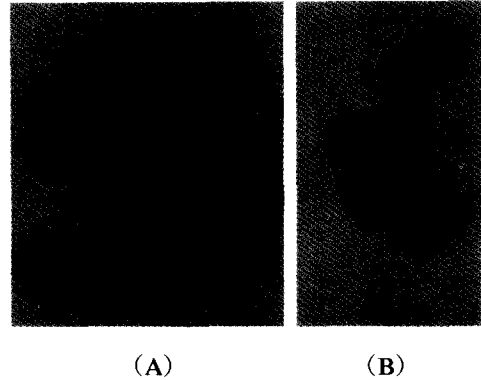


Fig. 1. Freshwater rotifer, *Brachionus calyciflorus* with various number of eggs (A) and resting egg (B).

결 과

1. *B. calyciflorus*의 형태적 특징

시험에 사용하기 전 배양중인 *B. calyciflorus*의 피갑 크기, 난의 크기, 포란한 난의 수를 측정 및 계수한 결과는 Table 1, 2와 같다.

피갑은 1997년 3월과 4월의 두 strain을 측정된 결과 두 가지 중복되지 않는 범위의 크기로 나타났다(Table 1). 즉 길이가 평균 $141.0 \pm 16.7 \mu\text{m}$ ($110.1-182.5 \mu\text{m}$, $n=44$), 폭이 평균 $107.0 \pm 20.3 \mu\text{m}$ ($75.3-152.3 \mu\text{m}$)인 작은 것과 길이가 평균 $262.8 \pm 15.2 \mu\text{m}$ ($234.4-288.6 \mu\text{m}$, $n=20$), 폭이 평균 $182.6 \pm 13.4 \mu\text{m}$ ($159.8-207.0 \mu\text{m}$)인 두 가지로 구분되어 잠정적으로 각각을 S-type과

Table 1. Size of the rotifer *B. calyciflorus* isolated from the fish farm of Chinhae Inland Fisheries Research Institute (CIFRI). $n=86$

Type	Sampling area	Sampling date	Lorica	
			Length (μm)	Width (μm)
S-type	Fish farm of CIFRI	Apr. 25, 1997	141.0 ± 16.7 (110.1-182.5)	107.0 ± 20.3 (75.3-152.3)
L-type			Mar. 23, 1997	262.8 ± 15.2 (234.4-288.6)

L-type으로 구분하였다.

한 개체가 조사 당시 포란하고 있는 난의 수는 1-11개로 다양하였는데, 난의 크기는 한 개체당 포란하고 있는 난의 수에 따라 두 가지로 구분되었다(Table 2). 즉, 피갑의 크기가 작은 S-type에 있어서 1-2개 포란한 경우 난의 장경은 평균 범위가 87.5-107.8 μm 로 대형이었고 3개 이상 포란한 경우는 평균 55.1-65.2 μm 로 소형이었다. 피갑의 크기가 큰 L-type의 경우 난의 크기는 다소 커서 1-3개를 포란한 경우 난의 장경은 평균 범위가 104.9-121.8 μm 로 대형이었고, 4개 이상 포란한 경우 62.8-89.1 범위로 소형난이어서 S-type의 난보다 비교적 큰 편이었다.

한편 휴면란은 L-type에서만 관찰되었는데 일반 난의 크기보다 장경 및 단경이 약간 컸다(Table 2; Fig. 1).

2. 실험구별 배양일수에 따른 운충 밀도의 변화
각 실험구별 배양일수에 따른 밀도의 변화는 Fig. 2에 나타내었다.

실험구중 밀도가 가장 높게 배양되었던 실험구는 25 $^{\circ}\text{C}$ 실험구로 최대 밀도는 배양 4일째에 이루어졌으며, 평균 583.9개체/ml로 시험 시작 시보다 29.2배 증식되었으며 이후 점차 감소하였다.

22 $^{\circ}\text{C}$ 실험구의 최대 밀도 도달시기는 25 $^{\circ}\text{C}$ 실험구와 마찬가지로 배양 4일째 였으며, 이때의 밀도는 평균 421.3개체/ml로 시험 시작시보다

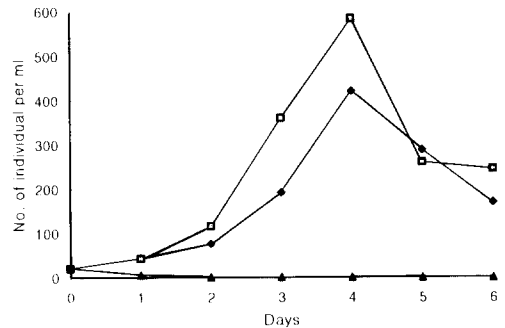


Fig. 2. The change of population density of *B. calyciflorus* during the first 7-day culture.

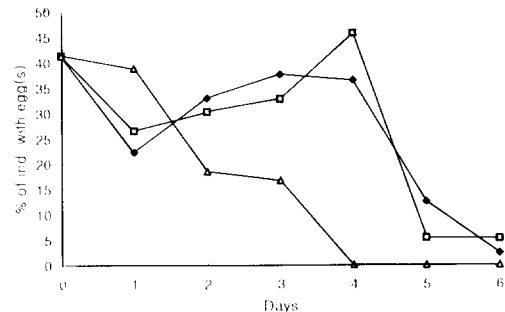


Fig. 3. Daily change of % individuals of *B. calyciflorus* with egg(s) during the first 7-day culture.

21.1배 증식한 후 점차 감소하였다. 이는 25 $^{\circ}\text{C}$ 실험구에 비해 최대 밀도에서 다소 낮은 수치였다.

28 $^{\circ}\text{C}$ 실험구의 경우 배양 밀도는 배양 시작 1일 후 평균 4.7개체/ml로 급격히 감소하였으며 3일째에는 3개체/ml 이하로 감소하였고, 시험 종료 때까지 회복되지 않았다.

Table 2. The egg size group distinguished by their number of eggs deposited on each individual rotifer and those of resting egg of L- and S-type of *B. calyciflorus*. Unit : μm .

Type	Amictic egg								Resting egg	
	No. of egg(s) deposited on amictic female								Major	Minor
	1		2		3		>4			
Major	Minor	Major	Minor	Major	Minor	Major	Minor	Major	Minor	
S-type	107.8 \pm 6.8 (92.7-115.9)	76.2 \pm 4.2 (69.0-84.6)	87.5 \pm 10.7 (71.3-119.2)	75.0 \pm 4.8 (65.2-83.7)	65.2 \pm 5.9 (54.8-78.0)	50.0 \pm 6.3 (34.0-58.7)	55.1-65.9*	47.0-52.7*	not found	
L-type	121.8 \pm 4.7 (115.9-126.7)	84.5 \pm 6.0 (75.3-91.1)	108.9 \pm 12.6 (90.2-117.6)	76.4 \pm 7.9 (66.2-84.1)	104.9 \pm 13.8 (83.7-121.3)	80.3 \pm 8.3 (74.7-110.3)	62.8-89.1	48.5-78.8	160.0 \pm 5.6 (149.4-169.9)	93.7 \pm 5.0 (81.1-99.3)

* : range of mean

3. 포란율의 변화 및 개체 성장률

포란개체 출현율은 시험 시작시 41.3%이었으며, 전 실험구에서 배양 1일 후에는 22.3-38.8%로 감소하는 경향이였다(Fig. 3).

이러한 포란개체 출현율은 22°C와 25°C 실험구의 경우 배양 2일째부터 증가하기 시작하였으나 28°C 실험구의 경우 계속 감소하였다.

22°C 실험구의 경우 배양 3일째에는 포란 개체의 출현율이 37.6%를 보여 시작시보다는 낮은 수치이였으나 거의 원상태로 회복되었으며 이후 급격히 감소하였다. 25°C 실험구는 변화의 경향은 마찬가지로이였으나 회복된 시기는 배양 4일째로 45.7%에 달해 시험 시작시보다 약간 높게 증가하였고, 이 후 급격히 감소되었다.

시험기간동안 개체군의 성장 속도를 알아보기 위해 최대 밀도에 도달한 당시 개체군 성장률 및 전일 대비 일간 개체군 성장률을 조사하였고, 개체군 성장에 미치는 요인을 알아보기 위해 전체 개체군의 암컷이 가지는 평균 난수를 조사한 결과는 Table 3과 같다.

조사 결과 각 실험구별 성장속도가 가장 높았던 시점은 22°C 실험구의 경우 배양 2일째로 0.802이었고 다시 낮아진 다음 최대 밀도에 도달했던 4일째에 0.762로 회복되었으며, 25°C 실험구의 경우 배양 3일째 0.964까지 점진적으로 높아진 후 감퇴되었다.

개체군 증가율에 영향을 미칠 것으로 예상되는 암컷 개체당 포란수는 22°C 실험구의 경우 배양 3일째 0.614로 가장 높았으며, 25°C 실험구의 경우 배양 4일째로 0.772이었다.

고 찰

분리한 *B. calyciflorus*의 피갑의 크기는 두 가지

크기로 구분되어 잠정적으로 S-type과 L-type으로 구분하였으며, 이는 해산 윤충인 *B. plicatilis*의 S-type과 L-type 각각의 크기와 유사하였다(허와 박, 1996a). 한편 허와 박(1996a)은 국내 4 장소에서 담수산 *B. calyciflorus*를 분리하였는 바, 평균 피갑장의 크기는 211.8-229.9 μm 범위이어서 본 결과 나타난 S-type과 L-type의 중간에 해당하였으며, Rico-Martinez and Dodson(1992)의 4 strain에 대한 측정결과인 195.3-277.3 μm과는 일치하였는데 이는 strain의 차이가 아닌가 사료되며 종 수준에서의 연구도 필요하리라 사료된다.

휴면란의 경우도 허와 박(1996a)이 보고한 것보다 더 크게 나타나 주목된다.

온도별 배양시험에서 도달한 최대 밀도의 경우 성장이 가장 좋은 25°C 실험구에서 583.9개체/ml 그리고 22°C 실험구에서 421.3개체/ml이어서 허와 박(1996)이 보고한 해산 *B. plicatilis*의 753.3개체/ml 보다 약간 낮은 수치이였지만 배양장에서 일반적으로 수확하는 밀도인 200-300개체/ml (Fulks and Main, 1991)보다는 훨씬 높아 초기 먹이로서의 배양 및 이용가치가 기대되었다.

한편 온도별 성장 결과 28°C 실험구에서는 거의 배양이 이루어지지 않는 반면 22, 25°C 실험구에서는 시작밀도에 대해 최대 밀도 도달시 21, 29배로 증식하는 등 적정 배양 온도범위는 25°C로 나타났으며 이는 Awais and Kestemont (1992)의 결과와 일치하지만 30°C에서 좋은 성장을 보였던 Rico-Martinez and Dodson (1992)의 결과와는 차이를 보여 주목되었다. 한편 성장이 가장 양호했던 25°C 실험구에서 성장률은 0.749-0.964 범위로 동일 종에 대한 Rico-Mart-

Table 3. Daily change of growth rate and egg rate for 5 days of culture

Exp. group	Estimated rates	Culture day				
		Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5
22°C	Growth rate	0.802	0.673	0.755	0.762	0.534
	Egg rate	0.343±0.069	0.542±0.175	0.614±0.112	0.566±0.019	0.144±0.127
25°C	Growth rate	0.749	0.882	0.964	0.844	0.513
	Egg rate	0.395±0.070	0.628±0.103	0.704±0.169	0.772±0.367	0.056±0.005

inez and Dodson (1992)의 보고와는 일치하지만 유사종인 *B. plicatilis*의 0.194-0.552보다는 훨씬 높았다(1996a).

이 종의 무성생식 암컷은 부화 약 18시간부터 시작하여 약 2일간 3시간 간격으로 계속 알을 낳아 피갑에 달고 다니므로 흔히 3개에서 13개까지의 알이 관찰되는데 부화 소요기간은 25°C에서 약 6시간인 것으로 알려졌다(Gilbert, 1963). 본 시험 결과 포란수는 1-11개까지 관찰되는 등 이러한 기존의 결과와 부합하였으며, 포란한 개체의 비율은 배양 3-4일째에 최대에 달하였으므로 접종을 위한 개체군의 선택은 배양 3-4일째가 적절하리라 사료되었다. 한편 전 개체군에서 암컷이 가지는 평균 난수는 성장이 가장 좋았던 25°C 실험구의 경우 0.395-0.792로 Rico-Martinez and Dodson (1992)의 0.183-1.617보다는 약간 낮은 수치였다.

윤충의 난 크기는 포란하는 난의 수에 반비례로 줄어들며 이는 에너지 소비를 줄이는 생식 전략일 수 있음이 시사된 바 있다(Walz et al., 1995). 또한 난의 크기는 몸의 크기에 비례하며 작은 난에서 부화된 유생은 큰 난에서 부화된 유생에 비해 성체로 성장하는데 걸리는 시간이 긴 것에 비해 큰 난은 부화 후 성장시간이 짧은 이점이 있을 것으로 사료되며 배양 조건에 따른 난 크기 그리고 수적 변화 등의 분석이 필요하다(Ricci, 1995). 또한 유성생식 암컷에 있어서는 암컷이 취한 영양조건에 무관하게 난 체적의 변화가 일어나지 않는다는 보고(Galino and Guisande, 1993)가 있어 본 조사결과 나타난 소형난의 역할은 윤충 배양에 있어 추후 반드시 연구되어야 할 사항으로 남는다.

요 약

담수산 윤충의 대량배양을 위한 기초연구의 일환으로 진해내수면연구소 야외사육지에서 micro-pipette을 이용하여 *Brachionus calyciflorus*를 분리하여, 피갑의 크기, 포란 수 등을 조

사하였고, 온도별 배양시험을 수행한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 분리한 담수산 윤충인 *B. calyciflorus*의 피갑의 크기는 두 가지로 S-type은 길이가 평균 $141.0 \pm 16.7 \mu\text{m}$ (110.1-182.5 μm , n=44), 폭이 평균 $107.0 \pm 20.3 \mu\text{m}$ (75.3-152.3 μm , n=44)이었으며, L-type은 길이가 $262.8 \pm 15.2 \mu\text{m}$ (234.4-288.6 μm , n=20), 폭이 $182.6 \pm 13.4 \mu\text{m}$ (159.8-207.0 μm)이었다.
2. 배양시 개체당 포란수는 1개에서 11개까지 다양하였으며, 난의 장경은 대형난과 소형난으로 구분되었는데 S-type의 경우 1-2개 포란한 경우 장경 평균 범위가 85.7-107.8 μm 이었고 3개 이상 포란한 경우는 장경 평균의 범위가 55.1-65.2 μm 이었다. 한편 L-type의 경우 1-3개 포란한 경우 장경 평균 범위는 104.9-121.8로 대형이었고, 4개 이상 포란한 경우 62.8-89.1 범위로 소형난이어서 S-type의 난보다 비교적 큰 편이었다.
3. 온도별 실험구에서 최대 밀도에 도달한 시기는 4일째로 성장이 가장 양호한 실험구는 25°C 실험구로 평균 배양 밀도 583.9개체/ml로 최대이었으며, 22°C 실험구는 배양 밀도 421.3개체/ml로 최대 밀도에 달하였으며, 28°C 실험구의 경우 배양 1일 후 평균 4.7개체/ml로 급격히 감소한 후 3일째에는 3개체/ml 이하로 감소하여 성장이 극히 불량하여 배양조건으로 부적합하였다.
4. 일간 개체군 증가율은 22°C 실험구의 경우 배양 2일째에 가장 높아 0.802이었고, 다시 낮아진 다음 최대 밀도에 도달했던 4일째에 0.762로 회복되었으며, 25°C 실험구의 경우 배양 3일째 0.964까지 점진적으로 높아진 후 감퇴되었다. 암컷 개체당 포란수는 22°C 실험 구의 경우 배양 3일째 0.614로 가장 높았으며, 25°C 실험구의 경우 배양 4일째로 0.772이었다.

사 사

본 연구를 수행함에 있어 격려와 조언을 해

주신 진해내수면연구소 노용길 소장님 그리고 시험 시작부터 원고 작성까지 끊임없이 조언과 검토를 아끼지 않은 부경대학교 허성범 교수님께 심심한 사의를 표합니다.

참 고 문 헌

- Awaiss, A. and P. Kestemont, 1992. An investigation into the mass production of the freshwater rotifer *Brachionus calyciflorus* Pallas. 2. Influence of temperature on the population dynamics. *Aquaculture*, 105 : 337-344.
- Fulks, W. and K. L. Main, 1991. Rotifer and microalgae culture systems. Proceedings of a U. S.-Asia Workshop. Hawaii, 364p.
- Galindo, M. D. and C. Guisande, 1993. The reproductive biology of mictic females in *Brachionus calyciflorus* Pallas. *J. Plankton Res.*, 15(7) : 803-808.
- Gilbert, J. J., 1963. Mictic female production in the rotifer *Brachionus calyciflorus*. *J. Exp. Zool.*, 153 : 113-124.
- Groeneweg, J. and M. Schlüter, 1981. Mass production of freshwater rotifers on liquid wastes. II. Mass production of *Brachionus rubens* Ehrenberg 1838 in the effluent of high-rate algal ponds used for the treatment of piggy waste. *Aquaculture*, 25 : 25-33.
- Hirayama, K. and K. Nakamura, 1976. Fundamental studies on the physiology of rotifers in mass culture. V. Dry *Chlorella* powder as a food for rotifers. *Aquaculture*, 8 : 301-307.
- James, C. M. and T. Abu-Rezeq, 1988. Effect of different cell densities of *Chlorella capsulata* and a marine *Chlorella* sp. for feeding the rotifer *Brachionus plicatilis*. *Aquaculture*, 69 : 43-56.
- Lubzens, E., S. Rothbard, A. Blumenthal, G. Kolodny, B. Perry, B. Olund, Y. Wax and H. Farbstein, 1987. Possible use of *Brachionus plicatilis* (O. F. Müller) as food for freshwater cyprinid larvae. *Aquaculture*, 60 : 143-155.
- Mitchell, S. A. and J. H. B. Joubert, 1987. The effect of elevated pH on the survival and reproduction of *Brachionus calyciflorus*. *Aquaculture*, 55 : 215-220.
- Pennak, R. W., 1978. Fresh-water invertebrates of the United States. 2nd ed., John Wiley & Sons, New York. 157-210.
- Ricci, C., 1995. Growth pattern of four strains of a Bdelloid rotifer species : egg size and numbers. *Hydrobiologia* 313/314 : 157-165.
- Rico-Martinez, R. and S. I. Dodson, 1992. Culture of the rotifer *Brachionus calyciflorus* Pallas. *Aquaculture*, 105 : 191-199.
- Schmid-Araya, J. M., 1995. Disturbance and population dynamics of rotifers in bed sediments. *Hydrobiologia* 313/314 : 279-290.
- 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.
- Walz, N., S. S. S. Sarma, and U. Benker, 1995. Egg size in relation to body size in rotifers : an indication of reproductive strategy. *Hydrobiologia* 313/314 : 165-170.
- Watanabe, T., C. Kitajima, and S. Fujita, 1983. Nutritional values of live organisms used in Japan for mass propagation of fish : a review. *Aquaculture*, 34 : 115-143.
- Yu, Shigang, 1989. Pond fertilization and fish feeds, 51-70. *In* Integrated fish farming in China. Network of Aquaculture Centers in Asia and the Pacific, Bangkok, Thailand.
- 文榮鳳, 1981. 輪蟲의 連續反復 收穫을 爲한 適正 輪蟲接種密度와 適正 *Chlorella* 濃度에 대하여. *韓水誌* 14(2) : 86-93.
- 曹圭松 編, 1993. 韓國淡水動物플랑크톤 圖鑑. 아카데미서적, 서울. 387p.
- 許聖範·金炫浚, 1988. Rotifer (*Brachionus plicatilis*) 飼育을 위한 *Chlorella* 培養. I. 適種 *Chlorella*의 選擇. *韓國養殖學會誌* 1(2) : 135-143.
- 허성범·박흥기, 1996a. 한국산 rotifer, *Brachionus*

- plicatilis*와 *B. calyciflorus*의 크기 및 내구란 형성. 韓國養殖學會誌 9(3) : 187-194.
- 허성범 · 박흠기, 1996b. 한국산 rotifer, *Brachionus plicatilis* (L과 S-type)의 내구란 대량생산. 韓國養殖學會誌 9(4) : 345-351.
- 許聖範 · 李昌奎 · 李應昊, 1989. 高溫期 및 低溫期の rotifer, *Brachionus plicatilis* 培養을 위한 適種 植物 먹이生物 選擇. 韓國養殖學會誌 2(2) : 91-106.