

로티퍼 *Brachionus rotundiformis*와 코페포다 *Apocyclops* sp.의 혼합 배양

정민민 · 노 섬*

제주대학교 해양연구소 먹이생물연구실
*제주대학교 해양과학대학 증식학과

Combination Culture of Rotifer *Brachionus rotundiformis* and Copepod *Apocyclops* sp.

Min-Min Jung and Sum Rho*

Marine Research Institute of Cheju National University, 3288 Hamdok-ri,
Chochon-eup, Pukjeju-gun, Cheju-do, 695-810, Korea

*Department of Aquaculture, Cheju National University, Cheju 690-756, Korea

The small size food organism (under the size 150 μm) is needed as food for early stage of marine fish larvae of small mouse (e.g. the group of grouper). This study was investigated to develop a method for copepod *Apocyclops* sp. culture in combination with the rotifer *B. rachionus* for stable culture of copepod species and harvest of various size food organisms.

The culture conditions as temperature, salinity, culture volume, photo period, culture preiod and observation interval were 25°C, 22ppt, 40ml, all dark except to observation time, 16 days and every two day during the experimental period, respectively. The *Tetraselmis suecica* was used as the food for the two testing organisms. After every two day counting, these two organisms were transferred to fresh culture tanks with *Tetraselmis suecica* of 7×10^5 cells/ml.

In the mixed culture of *B. rotundiformis* and *A. sp.*, growth of rotifer was suppressed by mixed culture with *A. sp.* whereas the growth of copepod *Apocyclops* was promoted in the mixed culture with rotifer *B. rotundiformis* (the maximum density was 22 individuals/ml through the 16 culture days). Moreover, the number of copepod nauplius were promoted about 2 times in the mixed culture compared to the numbers in single species culture.

With this combinaton culture, the havested two food organisms of variable sizes. This size variation of food organisms was useful tools for larval rearing of small mouse marine fish larvae and the next step food organism size of post hatched larvae.

Key words : *Apocyclops* sp., *Brachionus rotundiformis*, Combination culture, Food organism, Size variation

서 론

종묘 생산 과정에서 먹이 생물로서 이용되고 있는 코페포다는 대량 배양을 안정적으로 유지하

는 것이 어렵다. 오히려 로티퍼와 같이 고밀도의 배양을 안정적으로 유지하려고하는 노력보다는 연안에서 대량 채집하여 먹이로 이용하는 것이 일반적인 방법이다. 그러나, 필요한 양의 코페포

다을 필요한 시기에 자연 채집량에 의존하여 수급한다는 것은 계획적으로 이루어져야하는 해산어의 종묘 생산 과정에서는 유용한 방법이 될 수 없다 (Iwasaki, 1973 ; Kitajima, 1973).

최근 능성어와 같은 고급해산어의 양식에 대한 연구가 진행되고 있지만, 부화후 섭이 개시 직후의 자어의 구경이 작은 이유 때문에 현재 배양하고 있는 로티퍼 보다 소형의 먹이 생물이 절실히 요구되고 있다. 그리고 로티퍼 섭이시기를 지난 후기 자어들이 인공 배합사료로 들어가기 전에 먹을수 있는 다소 큰 크기의 영양가 높은 먹이 생물의 배양이 필요하게 되었다.

Fukusho는 로티퍼의 배양조에 *Tigriopus japonicus*를 접종해 대량의 *T. japonicus*를 채집하는데 성공 (Fukusho et al., 1977 ; Fukusho, 1980a)하였고, 채집된 *T. japonicus*는 참돔, 돌돔 (Fukusho et al., 1977) 그리고 가지미류 (Fukusho et al., 1980b) 등의 해산 유용 어종의 종묘 생산과정에서 자치어의 먹이로 사용했다.

이 실험에서는 이와 같은 현실적인 요구 사항에 부응하여 다양한 사이즈의 먹이 생물을 이용 가능하도록 하는 것을 목적으로 *B. rotundiformis* (종전의 S형 로티퍼)와 코페포다 *Apocyclops* sp.을 이용, 로티퍼와 코페포다의 혼합배양의 가능성을 검토하였다.

재료 및 방법

실험에 사용한 로티퍼는 *Brachionus rotundiformis*의 고시키주 (Koshiki strain)를 사용했다. 그리고 코페포다는 사육 용기의 벽면에 포착하지 않는 자유 유영형의 종으로 *Apocyclops* sp.를 이용했다. 로티퍼와 코페포다의 먹이생물로는 *Terraselmis suecica*를 2일 간격으로 급이했다.

로티퍼 *B. rotundiformis*와 코페포다 *Apocyclops* sp.를 각각 단일종 배양한 경우와 두종을 혼합 배양한 경우의 각각의 증식을 비교했다. 아울러 코페포다 *Apocyclops*의 경우는 노플리우스 (*nauplii*), 코페포디드 (copepodite) 그리고 포

란 암컷 (egg carrying females)의 각 성장 단계별로 분리, 계수했다.

배양조건은 수온 25°C, 염분 22ppt, 배양수량은 50ml의 비이커에 사육수 40ml, 실험기간 16일간, 2일마다 전량계수, 관찰시간을 제외한 전실험기간 암흑조건하에서 3반복 실시했으며, 포기는 하지 않았다. 급이한 먹이 *T. suecica*의 잔존량은 혈구계수관을 이용하여 실험기간중 2일 간격으로 계수하였다. 실험 결과는 student-t test로 실험값간의 유의성을 검정하였다.

결 과

단독 배양의 코페포다 *Apocyclops*는 실험기간 동안에 계속 대수증식을 보여 실험 종료일에는 1ml당 평균 12.2 ± 4.6 (avg \pm SD) 개체에 달하였다 (Fig. 1a). 더욱이 코페포다 *Apocyclops*의 증식은 코페포다 *Apocyclops* 단독 배양의 경우보다도 로티퍼 *B. rotundiformis*와 혼합 배양했을때가 탁월한 증식을 보였다 (Fig. 1b, $p < 0.05$). 로티퍼 *B. rotundiformis*와의 혼합 배양에서 코페포다 *Apocyclops*는 16일간의 배양 기간중 최고 밀도가 20.15 ± 4.45 (avg \pm SD) 개체/ml에 까지 증식하였다 (Fig. 1b). 특히 로티퍼와 *Apocyclops*의 혼합 배양구에서 코페포다 노플리우스의 최고 밀도는 1ml당 9.88 ± 1.38 (avg \pm SD) 개체로서 코페포다 *Apocyclops* 단독 배양의 경우 (최고 밀도 4.48 ± 1.52 개체/ml)와 비교하면 약 2배 이상의 증식을 보였다 (Fig. 2a, $p < 0.05$). 그리고 코페포디드 단계와 포란 암컷의 개체수를 비교한 결과에서도 코페포다 *Apocyclops*를 단독 배양한 경우에 비해서 로티퍼 *B. rotundiformis*와 혼합 배양한 경우가 대체적으로 호증식이 관찰되었다 (Fig. 2b, c). 그러나, 로티퍼 *B. rotundiformis*의 증식은 단독 배양에 비하여 (Fig. 3a) 코페포다 *Apocyclops*와 혼합 배양함으로써 그 증식은 억제되었다 (Fig. 3b, $p < 0.05$).

먹이로서 급이한 *T. suecica*는 로티퍼 *B. rotundiformis* 단독 배양구와 코페포다 *Apocyclops*와

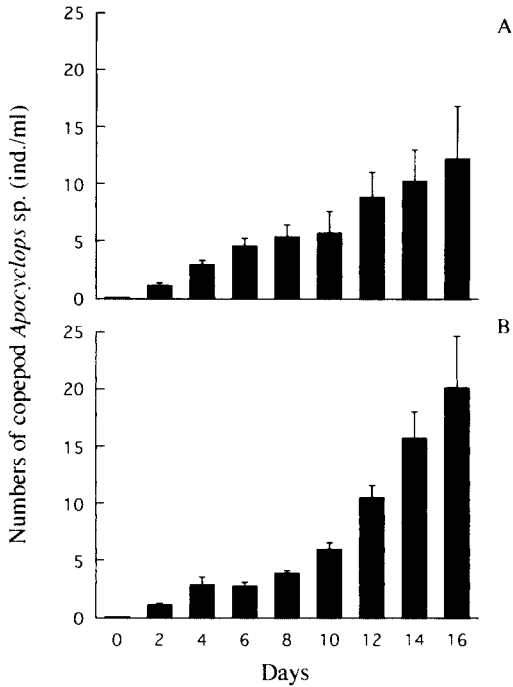


Fig. 1. Numbers of copepod *Apocyclops* sp. in the copepod *Apocyclops* sp. single species culture (A) and mixed culture with rotifer *Brachionus rotundiformis* (B).

의 혼합 배양구의 경우에는 실험 개시후 10일째부터 그 잔존량은 거의 관찰할수 없었으나 (그림 4a, c), 코페포다 *Apocyclops*의 단독 배양구에서는 전 실험 기간중 최저 $6.25 \times 10^5 \pm 5 \times 10^4$ cells/ml (avg \pm SD) 잔존량이 유지되었다 (그림 4b, $p < 0.05$). 즉, 로티퍼와 코페포다간에서는 같은 먹이를 가지고 서로 다투는 먹이 경쟁 관계는 관찰할수 없었다.

실험 개시시 수용한 포란 암컷으로부터 처음으로 부화된 노플리우스는 단독, 혼합 배양 구분없이 배양 개시후 4일째부터 코페포디드 단계로서 관찰되기 시작하였고, 배양 개시후 8-10일째에는 새로운 포란 암컷의 개체가 관찰되었다. 결국 실험에 사용한 *Apocyclops*는 25°C의 배양 조건하에서 한 세대를 교번하는데 약 12일이 소요되었다.

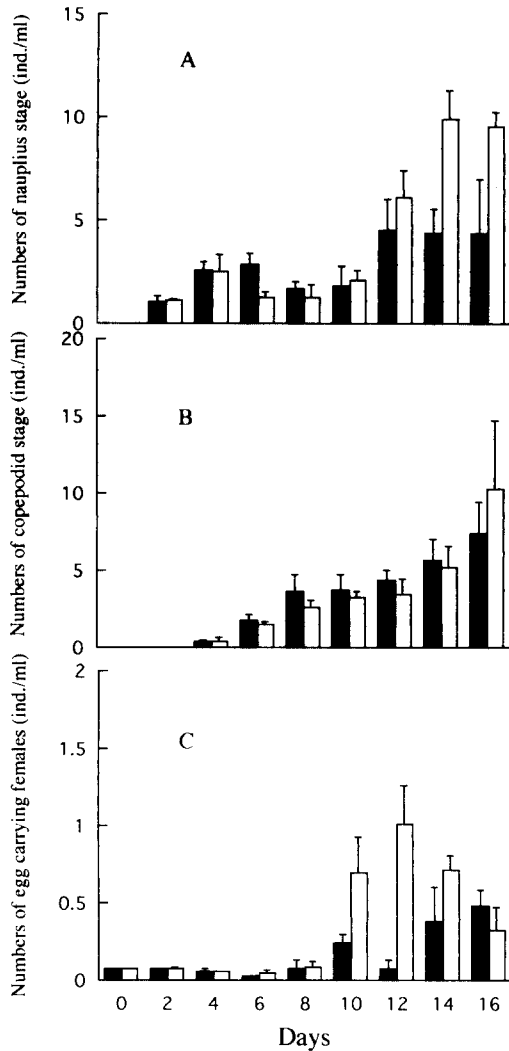


Fig. 2. Numbers of copepod *Apocyclops* sp. of each stages in the copepod single species culture (black bar) and mixed culture with rotifer *B. rotundiformis* (white bar). A : numbers of nauplius stages, B : numbers of copepodid stages and C : numbers of egg carrying females in the copepod *Apocyclops* sp.

고찰

Fukusho는 로티퍼의 대량 배양조에서 대량 발생하여 로티퍼의 안정적인 배양을 방해하는 코페포다 *T. Japonicus*를 성공적으로 대량 채집한

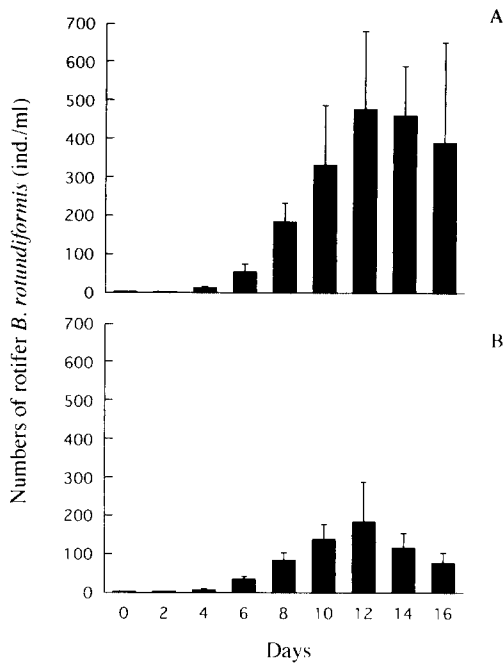


Fig. 3. Numbers of rotifer *B. rotundiformis* in the rotifer single species culture (A) and mixed culture with copepod *Apocyclops* sp. (B).

것을 (Fukusho et al., 1976)을 시작으로 로티퍼와 코페포다 *T. Japonicus*의 혼합 배양에 관한 많은 연구 결과를 발표했다 (Fukusho et al., 1977; Fukusho, 1980a). 그러나, *T. japonicus*와 같은 하르팍티코이드의 코페포다는 노플리우스 그리고 성체의 단계에서 배양 용기의 벽면 등에 부착 포복하는 성질이 강하여 (Kitajima, 1973) 자의력에 의한 유영력이 발달되지 못한 부화 자어의 성장 초기 과정에서 부착 포복성이 강한 *T. Japonicus*을 먹이로 급이한 경우에는, 자어의 포식 섭이율이 떨어질 것이라고 생각된다. 그러나 이 실험에 이용한 *Apocyclops*의 경우에는 전 발생 단계에서 사육수중에서 천천히 부유하기 때문에 유영력이 미비한 섭이 개시 직후의 자어의 먹이 생물에 대한 포식 섭이율을 향상시키는데 도움이 될 것이라고 생각된다.

이 실험에 사용한 코페포다 *Apocyclops*가 세대

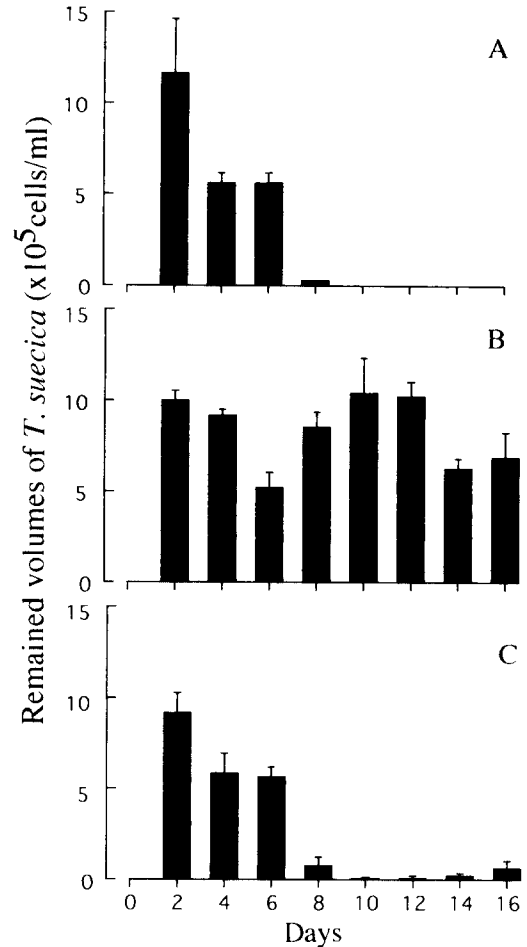


Fig. 4. Remained volumes of food *Tetraselmis suecica* in the rotifer *B. rotundiformis* single species culture (A), copepod *Apocyclops* sp. single species culture (B) and mixed culture rotifer *B. rotundiformis* and copepod *Apocyclops* sp. (C).

교번에 소요한 일수는 25°C의 배양 조건하에서 약 12일이 걸렸다. 이 결과는 고밀도의 배양 밀도에 도달하는데 소요되는 배양 소요 기간이 짧음을 의미한다. 참고적으로 현재 인위적인 관리 배양이 가능한 몇종의 코페포다류의 예를 들면, *Acartia tonsa*가 배양 수온 16-26°C에서 7-25일, *Glabidiferens imparipes*가 18°C에서 18 내지 26일, *Tisbe furcata*가 15-21°C의 배양 조건하에서

14내지 24일 그리고 *Oithona nana*가 18°C에서 30일이 소요되었다고 한다 (Ikeda, 1973).

로티퍼와 코페포다의 혼합 배양에서 로티퍼의 증식은 단독 배양에 비교하면 코페포다와 혼합 배양함으로써 그 증식은 억제되는 경향을 보였다. 코페포다와의 혼합배양에서 로티퍼의 증식이 억제된 원인에 대해서는 정확히 밝혀내지 못하였지만, 실험 기간중 코페포다 *Apocyclops*는 먹이 (*T. suecica*)을 여과 섭식하는 과정에서 로티퍼 *B. rotundiformis*도 같이 빨아들었다. 그러나, 바로 빨아들어 로티퍼를 직접적으로 섭이하는 것은 관찰할 수 없었다. 즉, 로티퍼와 코페포다간에 직접적인 피포식 관계는 형성되지 않지만 코페포다가 여과섭식 행동을 하는 과정에서 로티퍼에게 물리적인 손상을 입혔을 가능성은 있을 것으로 판단된다. 한편 Fukusho의 보고에서도 로티퍼 *B. plicatilis*와 코페포다 *T. japonicus*의 혼합 배양 과정에서는 혼합 배양 개시후 20-30일경부터 로티퍼의 증식은 정지되고, *T. japonicus*의 증식은 급속도로 증식하는 것을 관찰하였다 (Fukusho et al., 1976).

비교적 용이하게 안정 배양이 가능한 것으로 알려진 코페포다 *Acartia* (Iwasaki, 1973; Omori, 1973)는 배양 환경내에서 자신들의 개체군을 조절하는 한 수단으로서 성숙한 암컷이 포란하고 있는 난낭을 공식하는 습관이 있다. 이러한 현상은 대량 배양을 목적으로 한 경우, 커다란 문제점으로 대두되어, 계획적인 대량 배양을 불가능하게 하기도 한다. 그러나, 이 실험동안에는 로티퍼와의 종간 관계 (interspecific relation)에서는 물론 코페포다 *Apocyclops* 자신들간의 종내 관계 (innerspecific relation)에서도 피포식의 현상은 관찰할 수 없었다.

Fukusho의 보고에 의하면, 로티퍼 *B. plicatilis*와 코페포다 *T. japonicus*의 혼합배양을 다양한 먹이 조건하에서 검토한 결과, 유지 효모를 먹이로 사용했을때가 가장 높은 밀도를 나타내었다. 유지 효모를 먹이로 배양한 경우, *T. japonicus*의 최고 밀도는 약 22개체/ml (22,048개체/ℓ)였다. 그때

의 로티퍼의 최고 밀도는 169개체/ml였다 (Fukusho, 1980a). 이 연구의 로티퍼 *B. rotundiformis*와 코페포다 *Apocyclops*의 혼합 배양 결과에서는 16일간의 배양기간중 *Apocyclops*의 최고 밀도는 20.15 ± 4.45 개체/ml (avg±SD)이고, 로티퍼 *B. rotundiformis*의 최고 밀도는 184.6 ± 101.1 개체/ml (avg±SD)로 Fukusho의 보고와 비교하여도 로티퍼와 코페포다의 증식은 거의 비슷한 증식을 보였다.

한편, 로티퍼 *B. rotundiformis*와 *Apocyclops*를 단독 배양했을 경우와 혼합 배양했을때의 증식을 비교해보면, 로티퍼의 경우는 *Apocyclops*와 혼합 배양하면 로티퍼를 단독 배양했을 경우보다 그 증식이 억제되었지만, *Apocyclops*의 증식은 로티퍼와 혼합 배양함으로써 그 증식이 향상되었다.

로티퍼가 먹이생물로서 이용되기 시작한 이후 사육 대상어의 치어 생존율은 탁월한 향상을 보였다. 그러나, 최근에 들어서 소구경의 어종 (예를 들면 능성어류)이 양식 대상어종으로서 각광받기 시작하면서 현재 배양중인 로티퍼의 사이즈로는 종묘 생산의 초기 과정에서 자어가 먹이를 먹지 못하는 기아 현상으로 대량 폐사와 같은 문제점들이 발생되고 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 최근에 들어와서는 현재 일반적으로 배양 중인 소형 로티퍼 (사이즈180µm 전후의 *B. rotundiformis*)보다 더 작은 사이즈의 먹이 생물을 검색하기 위한 연구가 진행되고 있다. 현재 연구 중인 소구경 어종 대상 먹이 생물로는 *B. rotundiformis*보다 더 작은 사이즈의 로티퍼 (平成元年度特定研究開發促進事業, 1990a)와 원생동물 (昭和63年度特定研究開發促進事業, 1989; 平成元年度特定研究開發促進事業, 1990b) 등이 있다. 한편, 이 실험에서는 이러한 요구 사항에 부응하여 현재 배양중인 소형 로티퍼 (*B. rotundiformis*)와 소구경 어종들이 요구하고 있는 먹이 생물의 사이즈, 즉 150µm 전후의 노플리우스가 생산 가능한 코페포다 *Apocyclops*를 혼합 배양하였다. 이 실험에 사용한 S형 로티퍼의 사이즈는 0.19 ± 0.02 mm이고 (Jung et al., 1997), 코페포다 *Apocyclops*의

사이즈는 노플리우스 I 부터 VI 단계의 사이즈가 125~342 μ m이고, 코페포디드 I 부터 V 단계의 사이즈는 429~919 μ m이며, 포란중인 암컷 성체의 사이즈는 1105 μ m이다. 이와 같이 다양한 사이즈의 먹이생물을 혼합 배양하여 자어에게 먹이로서 급이한다면 소구경 어종이 요구하는 사이즈의 문제는 극복 가능할 것이다. 뿐만 아니라, 사이즈 280 μ m 전후의 대형 로티퍼 (*B. plicatilis*)와 부화 직후의 알테미아 유생 (사이즈 950 μ m)을 사용하고 있는 현재의 먹이 생물 급이 계열에서 초래되는 또 하나의 문제점인 중간 사이즈 (사이즈 500 μ m 전후)의 먹이 생물의 필요성에 대한 문제도 해결 가능할 것으로 생각된다.

요 약

농성어와 같은 고급해산어의 양식에 대한 연구가 활발히 진행되고 있지만, 부화후 섭이 개시 직후의 자어의 구경이 작은 이유 때문에 현재 배양하고 있는 로티퍼 보다 소형의 먹이 생물이 요구되고 있다. 이실험에서는 이와 같은 현실적인 요구 사항에 부응하여 다양한 사이즈의 먹이 생물을 이용 가능하도록 하는 것을 목적으로 S형 로티퍼 *B. rotundiformis*와 코페포다 *Apocyclops* sp.의 혼합배양을 시도하였다. 실험은 S형 로티퍼로 불리는 *B. rotundiformis*와 자유 유영형의 사이크로포이드의 코페포다 *Apocyclops* sp.에게 *T. suecica*를 먹이로 급이하면서 두종을 혼합 배양하였다. 실험조건은 수온 25 $^{\circ}$ C, 염분 22ppt, 배양수량은 50ml의 비이커에 사육수 40ml, 실험기간 16일간, 2일마다 전개체수를 계수하면서, 암흑조건하에서 배양했다.

단독 배양구의 코페포다 *Apocyclops*는 실험기간 동안에 계속 대수증식을 하여 평균 최고 밀도는 12개체/ml에 달하였다. 더욱이 코페포다 *Apocyclops*의 증식은 코페포다 *Apocyclops* 단독 배양의 경우보다도 로티퍼 *B. rotundiformis*와 혼합 배양했을때가 탁월한 증식을 보였다 (최고 밀도는 20.15 \pm 4.45개체/ml). 특히 로티퍼와 *Apocyc-*

*lops*의 혼합 배양구에서 노플리우스의 개체수는 9.88 \pm 1.38개체/ml로서 코페포다 *Apocyclops* 단독 배양의 경우와 비교하면 약 2배 이상의 증식을 보였다. 그러나, 로티퍼 *B. rotundiformis*의 증식은 단독 배양에 비하여 코페포다 *Apocyclops*와 혼합 배양함으로써 그 증식이 크게 억제되었다.

먹이로서 급이한 *T. suecica*는 로티퍼 *B. rotundiformis* 단독 배양구와 코페포다 *Apocyclops*와의 혼합 배양구에서는 실험 개시후 10일째부터 잔존량을 거의 관찰할수 없었다. 그러나, 코페포다 *Apocyclops*는 적극적으로 *T. suecica*을 섭이하지는 않았다. 즉, 로티퍼와 코페포다간의 먹이 경쟁 관계는 관찰할수 없었다.

이 연구에서는 소구경 어종의 종묘 생산 초기 과정에서 자어의 기아현상으로 인한 초기 대량 폐사와 같은 문제점을 해결하기 위하여 일반적으로 배양중인 로티퍼 (사이즈180 μ m 전후)보다 더 작은 사이즈의 먹이 생물을 검색하기 위한 한 방법으로서 소구경 어종들이 요구하고 있는 먹이 생물의 사이즈, 즉 150 μ m 전후의 노플리우스가 생산 가능한 코페포다 *Apocyclops*를 로티퍼와 혼합 배양하였다.

이와 같이 다양한 사이즈의 먹이생물을 혼합 배양하여 사육 대상 자치어에게 먹이로서 급이 가능하다면, 소구경 어종이 요구하는 사이즈의 문제는 극복 가능할 것이다. 뿐만 아니라, 사이즈 280 μ m 전후의 대형 로티퍼 (*B. plicatilis*)와 부화 직후의 알테미아 유생 (사이즈 950 μ m)을 사용하고 있는 현재의 먹이 생물 급이 계열에서 요구되는 중간 사이즈 (사이즈 300-500 μ m 전후) 먹이 생물의 공급도 해결 가능할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- Fukusho, K., O. Hara and J. Yoshio, 1976. Records on collection of the copepod *Tigriopus japonicus* appeared in large-scale outdoor tanks for mass culture of the rotifer *Brachionus plicatilis* by yeast. Bull. Nagasaki Pref. Inst. Fish., 2 : 117-121.

- Fukusho, K., O. Hara, H. Iwamoto and C. Kitajima, 1977. Mass production of the copepod *Tigriopus japonicus*, in combination with the rotifer *Brachionus plicatilis*, feeding baking yeast and using large-scale outdoor tanks. Bull. Nagasaki Pref. Inst. Fish., 3 : 33-39.
- Fukusho, K., 1980a. Mass production of a copepod, *Tigriopus japonicus* in combination culture with a rotifer *Brachionus plicatilis*, fed ω -yeast as a food source. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 46 : 625-629.
- Fukusho, K., T. Arakawa and T. Watanabe, 1980b. Food value of a copepod, *Tigriopus japonicus*, cultured with ω -yeast for larvae and juveniles of mud dab *Limanda yokohamae*. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish., 46 : 499-503.
- Ikeda, T., 1973. On the criteria to select copepod species for mass culture. Bull. plankton Soc. Japan 20 : 41-48.
- Iwasaki, H., 1973. Problems in the cultivation and mass culture of marine copepods. Bull. plankton Soc. Japan 20 : 72-73.
- Jung, M.-M., A. Hagiwara and K. Hirayama, 1997. Interspecific interactions in the marine rotifer microcosm. Hydrobiologia 358 : 121-126.
- Kitajima, C., 1973. Experimental trials on mass culture of copepods. Bull. plankton Soc. Japan 20 : 54-60.
- Omori, M., 1973. Cultivation of marine copepods. Bull. plankton Soc. Japan 20 : 3-11.
- 昭和63年度特定研究開発促進事業, 1989. 初期餌料の培養技術開発研究-II. ユ-プロテスの培養条件の検討. ながさき県水産試験場, 1-11.
- 平成元年度特定研究開発促進事業, 1990a. 初期餌料の培養技術開発研究-III. ユ-プロテスの培養条件の検討. ながさき県水産試験場, 1-11.
- 平成元年度特定研究開発促進事業, 1990b. 初期餌料の培養技術開発研究-III. 小型ワムシの培養条件の検討. ながさき県水産試験場, 12-22.