

로티퍼, *Brachionus rotundiformis*와 코페포다, *Tigriopus japonicus*의 혼합 배양조에 있어서 두 종간의 상호 관계

정민민 · 노 섬* · 김형신**

제주대학교 해양연구소 먹이생물연구실, *제주대학교 해양과학대학 증식학과, **일본 나가사키대학 해양생산과학연구과

Interspecific relationship between two food organisms in the combination culture tank of rotifer, *Brachionus rotundiformis* and copepod, *Tigriopus japonicus*

Min-Min JUNG, Sum-RHO, Hyeung-Sin KIM

Food organism culture lab., 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

**Graduate School of Marine Science and Engineering, Nagasaki University. Bunkyo-machi, Nagasaki 852-8521, Japan

The common harpacticoid copepod species *Tigriopus japonicus* was often observed in the mass culture of marine rotifer tanks of sea farming stations. In this study, we investigated the co-existing effect of *T. japonicus* to the rotifer *Brachionus rotundiformis* population growth. The culture conditions as temperature, salinity, culture volume, photo period, culture period and observation interval were 25°C, 22ppt, 40ml, 12L:12D, 16 days and every two days during the experimental period, respectively. *Nannochloropsis oculata* was used as the food for the two testing organisms. After counting the growth of rotifer and copepod, they were transferred to new culture tank with *N. oculata* at the density of 7×10^5 cells/ml. The population growth of *B. rotundiformis* was suppressed by *T. japonicus* when these two organisms were mix-cultured comparing to single culture of *B. rotundiformis*. But population growth of *T. japonicus* was not affected by the presence of *B. rotundiformis*. The interspecific relationships of prey-predation and food competition were not observed in the combination culture of rotifer *B. rotundiformis* and copepod *T. japonicus*.

Key words: *Brachionus rotundiformis*, co-existing organism, combination culture, copepod, interspecific relationship, rotifer, *Tigriopus japonicus*

서 론

로티퍼와 같은 먹이생물의 배양 과정에서는 배양수중에서 많은 생물들을 관찰할 수 있는데 (Jung et al., 1997), 배양을 목적으로 하는 목적 생물 (예를 들면 로티퍼) 이외의 생물들을 흔히 혼재 생물 (co-existing organism)이라고 부른다. 특히, 로티퍼의 대량 배양조에서는 고밀도의 코페포다 *Tigriopus japonicus*의 혼재가 관찰된다. 혼재되는 코페포다는 로티퍼의 배양수로 이용되는 해수를 배양수조에 채우는 과정에서 로티퍼의 배양조에 혼재되어 들어오는 것으로 추측되고 있는데, 배양 일수가 경과할수록 이들 혼재 생물 *T. japonicus*는 고밀도로 번식하여 수조의 벽면이나 바닥에서 육안으로도 쉽게 관찰되며, 번식이 왕성할 경우 *T. japonicus*는 해산 자치어의 먹이로서 급이 하기 위하여 로티퍼를 수확하는 과정에서 로티퍼 수집용 네트의 망목을 막을 정도의 고밀도로 혼재되기도 한다.

한편, 먹이 생물의 안정적인 배양을 적극적으로 유지하기 위해서는 배양조에서 배양을 목적으로 하는 생물 (목적생물; 이 실험에서는 로티퍼, *Brachionus rotundiformis*)과 배양을 목적으로 하지 않았음에도 불구하고 배양수중에서 배양기간중에 관찰되는

혼재 생물 (이 실험에서는 코페포다, *T. japonicus*) 사이에 형성되는 종간 관계의 규명이 중요하다고 할 수 있다.

이 연구에서는 이와 같이 로티퍼 *B. rotundiformis*의 배양조에서 혼재가 관찰되는 코페포다 *T. japonicus*가 배양을 목적으로 하고 있는 로티퍼 *B. rotundiformis*의 증식에는 어떠한 영향을 미치는지 알아보았다.

재료 및 방법

실험에 사용한 로티퍼는 흔히 S형 로티퍼로 불리웠던 *B. rotundiformis*로 대량 배양조의 배양수에서 분리 후 *Nannochloropsis oculata*를 먹이로 급이하면서 단일종 배양한 것이다. 그리고 코페포다 *T. japonicus*는 로티퍼를 대량 배양하던 중 로티퍼의 배양조에서 혼재가 관찰된 종으로 순수 분리 후 단일종 유지 배양하던 것이다.

이 연구에서는 배양수중에서 로티퍼 *B. rotundiformis*와 코페포다 *T. japonicus*가 어떠한 종간 관계를 형성하고 있는지를 알아보기 위하여 두 종을 각각 단일종 배양한 경우와 두종을 혼합 배양한 후, 각종의 증식을 비교하였다. 한편, *T. japonicus*의 계수는 노플

리우스 (nauplii), 코페포디드 (copepodites) 그리고 포란 암컷 (ovisac carrying female)의 각 발생 단계별로 분리, 계수하였다.

배양 조건은 현장의 배양 환경과 가능한 한 일치하도록 하였는데, 수온 25°C, 염분 22 ppt, 광 주기 12L:12D의 조건하에서 배양 수량 50 ml의 비이커에 배양수는 40 ml였다. 실험 개시시의 접종 개체수는 단성란을 포란중인 로티퍼 *B. rotundiformis* 20개체/40 ml씩을 로티퍼 단독 배양구와 코페포다와의 혼합 배양구에 각각 수용하였고, 코페포다 *T. japonicus* 3개체/40 ml씩을 코페포다 단독 배양구와 로티퍼와의 혼합 배양구에 각각 수용하였다. 관찰은 2일 마다 로티퍼 *B. rotundiformis*와 코페포다 *T. japonicus*의 전 개체수를 계수하면서 16일간에 걸쳐서 실시했다. 그리고 계수 후의 로티퍼 *B. rotundiformis*와 코페포다 *T. japonicus*는 새로운 용기의 배양 해수에 수용하였다. 아울러 2일 간격으로 새로운 용기의 배양 해수에 옮길 때마다 7×10^5 cells/ml의 *N. oculata*를 먹이로 급이하였다. 급이한 먹이 *N. oculata*의 잔존량은 혈구계수판을 이용하여 실험기간 중 2일 간격으로 계수, 관찰하였다. 실험기간의 결과는 Student t-test로 유의성 검정하였다.

결 과

로티퍼 *B. rotundiformis*를 단독 배양한 경우와 *T. japonicus*와 혼합 배양한 경우, 두 조건간의 *B. rotundiformis*의 증식을 비교하여 보면 *B. rotundiformis*를 단독 배양한 경우에는 배양 개시 후 지속적으로 높은 증식을 보여 실험 종료일인 16일째에는 2858.67 ± 90.74 ind./40 ml로 증식이 관찰되었다. 그러나, *T. japonicus*를 *B. rotundiformis*의 배양조에 혼합시킨 경우 *B. rotundiformis*의 증식은 배양 개시 후 4일째에 *B. rotundiformis*를 단독 배양한 경우에 비하여 다소 증식이 억제되기 시작하여 8일째에는 *B. rotundiformis*를 단독 배양한 경우에는 1553.67 ± 333.34 ind./40 ml 인 반면, *T. japonicus*와 혼합 배양한 경우의 *B. rotundiformis*의 증식은 652.67 ± 243.95 ind./40 ml로 크게 억제되었고, 실험 종료일까지 그 증식은 정체되는 양상을 보였다 (Fig. 1; $p < 0.01$).

그러나, 코페포다 *T. japonicus*의 증식은 *T. japonicus*를 단독 배양한 경우에 비교하여 로티퍼 *B. rotundiformis*와 혼합 배양하여도 그 증식에는 큰 차이가 없었다 (Fig. 2). 뿐만 아니라, 코페포다의 증식을 nauplius (Fig. 3), copepodid (Fig. 4) 그리고 ovisac carrying female (Fig. 5)의 각 성장 단계별로 관찰한 결과에서도 단독 배양한 경우와 *B. rotundiformis*와 혼합 배양한 경우의 결과 사이에도 큰 차이를 관찰할 수 없었다. 한편, 전 발생 단계의 개체수를 비교 관찰한 경우 *T. japonicus*의 증식은 실험 기간 중 8일째를 중심으로 *T. japonicus*의 단독 배양은 물론 *B. rotundiformis*와 혼합 배양한 경우 모두 그 증식이 서서히 억제되는 경향을 보였다 (Fig. 2). 특히, 이러한 현상은 nauplius의 비교 결과에서 두드러지게 나타났는데, *T. japonicus*의 단독 배양은 물론 *B. rotundiformis*와 혼합 배양한 경우에도 배양 개시 후 8일째 이후 그 증식이 크게 억제되었다 (Fig. 3).

그러나, *T. japonicus*의 copepodid 단계는 배양 개시 후 12일째 이후 일정하게 유지되는 증식 양상이 관찰되었고 (Fig. 4), ovisac

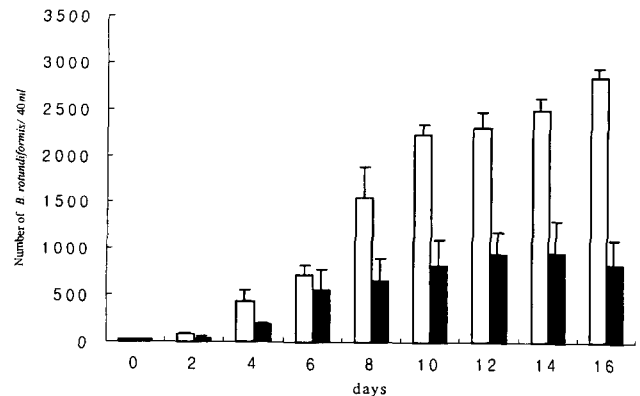


Fig. 1. Population growth of rotifer, *B. rotundiformis* of single culture (□) and mixed culture with copepod, *T. japonicus* (■).

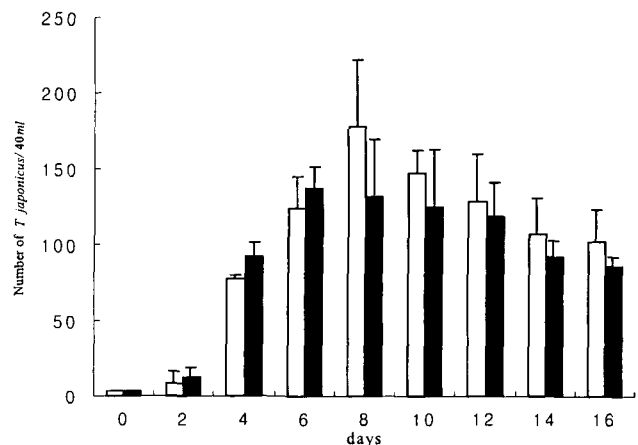


Fig. 2. Population growth of copepod, *T. japonicus* of single culture (□) and mixed culture with rotifer, *B. rotundiformis* (■).

carrying female의 개체수는 배양 일수가 경과될수록 *T. japonicus* 단독 배양과 *T. japonicus*와 *B. rotundiformis* 혼합 배양 모두 그 개체수가 증가하였다 (Fig. 5).

한편, 2일 간격으로 먹이로 급이한 *N. oculata*의 잔존량을 관찰한 결과, 로티퍼 *B. rotundiformis*를 단독 배양한 경우와 *B. rotundiformis*와 코페포다 *T. japonicus*를 혼합 배양한 두 실험 조건의 경우 *N. oculata*의 잔존량은 배양 개시 후 6일 이후에는 전혀 관찰할 수 없었다. 그러나, *T. japonicus*의 단독 배양구에서는 급이한 *N. oculata*가 배양수중에서 증식하여 실험 개시시 급이하는 세포수보다 더 많은 세포수의 증식이 관찰되었는데, 이와 같은 결과는 코페포다 *T. japonicus*가 먹이로서 급이한 *N. oculata*를 거의 이용하지 않았음을 알 수 있다 (Fig. 6; $p < 0.01$).

고 찰

*Brachionus*속의 로티퍼와 코페포다 *T. japonicus*는 현재 해산어의 중요 생산 과정에서 먹이 생물로서 이용되는 대표적인 동물

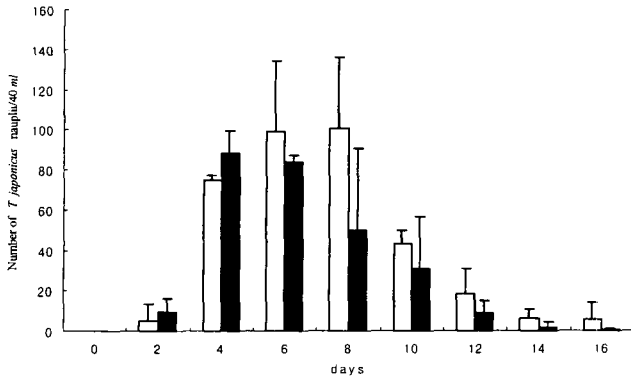


Fig. 3. Population growth of copepod nauplii in the *T. japonicus* of single culture (□) and mixed culture with rotifer, *B. rotundiformis* (■).

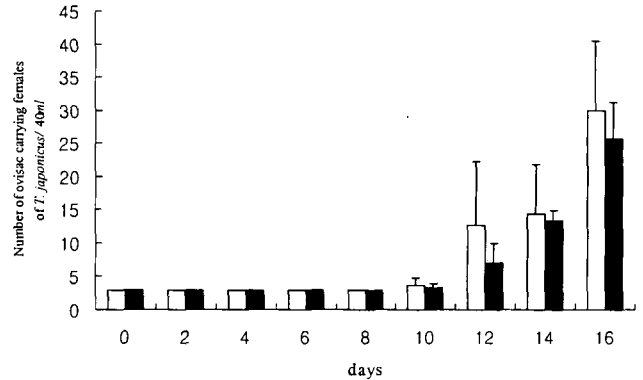


Fig. 5. Population growth of ovisac carrying females copepod in the *T. japonicus* of single culture (□) and mixed culture with rotifer, *B. rotundiformis* (■).

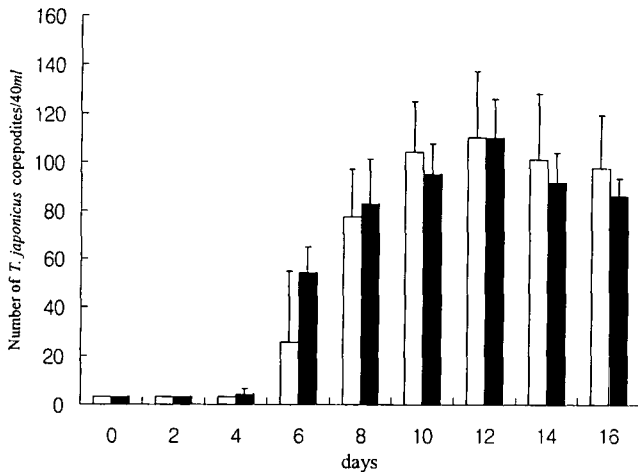


Fig. 4. Population growth of copepod copepodites in the *T. japonicus* of single culture (□) and mixed culture with rotifer, *B. rotundiformis* (■).

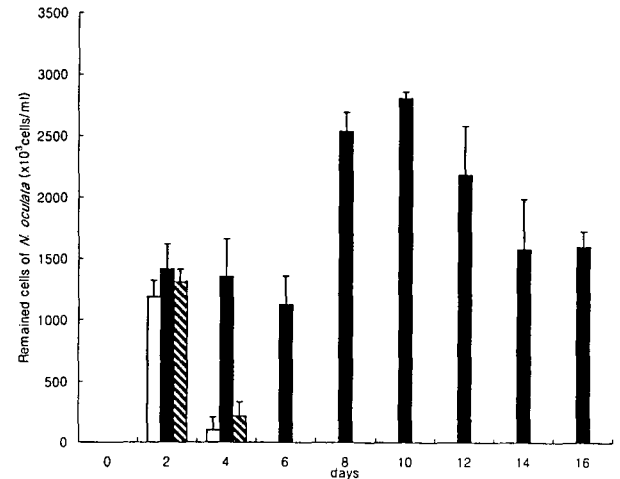


Fig. 6. Remained cell numbers of *N. oculata* in the tanks for single culture of *B. rotundiformis* (□), single culture of *T. japonicus* (■) and two species mixed culture of rotifer, *B. rotundiformis* and copepod, *T. japonicus* (▨).

플랑크톤이다. Fukusho는 로티퍼의 대량 배양조에서 대량 발생하는 코페포다 *T. japonicus*를 성공적으로 대량 채집한 것을 (Fukusho et al., 1976; Fukusho et al., 1977; Fukusho, 1980) 참돔, 돌돔 (Fukusho et al., 1977) 그리고 가자미류 (Fukusho et al., 1980) 등의 해산 유용 어종의 종묘 생산과정에서 자치어의 먹이로 사용했다. 그러나, 이들의 연구에서는 로티퍼의 대량 배양조를 배경으로 채집이 가능했던 *B. plicatilis*와 *T. japonicus*의 수확량을 기준으로 두 종간의 관계를 유추하였는데, 이것은 대량 배양조를 이용하여 수확 가능한 양을 중심으로 혼합 배양의 효과를 설명한 것에 불과한 것으로 두 종간에 어떠한 중간 관계가 형성 되어있는지, 아울러 로티퍼나 코페포다의 안정 배양에는 상호 혼재 생물이 어떠한 영향을 미치는지에 대해서는 확실한 결과나 고찰이 없다.

이 연구에서는 로티퍼 *B. rotundiformis*와 코페포다 *T. japonicus*를 두 종의 혼재가 관찰되는 배양조에서 직접 분리하여 단일종 배양한 후, 다른 생물의 영향을 배제한 상황에서 실시한 실험으로 저차 수서 생태계내에서 일어나는 미소 동물 플랑크톤간의 중간 관계를 규명하기 위해서는 이와 같은 방법하에서 실험이 이루어져야 한다. 한편, *T. japonicus*는 부화 직후의 노플리우스 유생이

성체가 된 후 다음 세대를 만드는데까지 소요되는 최소 일수는 약 12일이 소요되는데 (Takano, 1971), 이것은 같은 부류의 코페포다에 관한 보고서 중에서도 생활사 순환에 소요되는 기간이 비교적 짧은 경우에 해당된다. 이와 같이 생활사가 짧다는 것은 로티퍼 배양조에 혼재된 *T. japonicus*가 다른 종류의 코페포다류보다도 짧은 기간에 로티퍼 배양조안에서 증식할 수 있음을 의미하는 것으로 로티퍼의 배양 과정에서 가장 혼하게 그리고 가장 먼저 관찰되는 코페포다로 *T. japonicus*가 관찰되는 주된 이유가 된다고 할 수 있다.

비교적 용이하게 안정적인 배양이 가능한 것으로 알려진 코페포다 *Acartia* (Iwasaki, 1973; Omori, 1973)와 *T. japonicus* (본인의 미발표 관찰중에서)는 배양 환경내에서 자신들의 개체군을 조절하는 한 수단으로서 성숙한 암컷이 포란하고 있는 난낭을 공식하는 습관이 있다. 이러한 현상은 코페포다류의 대량 배양을 목적으로 한 경우에 커다란 문제점으로 대두되어, 계획적인 대량 배양을 불가능하게 하기도 한다. 그러나, 이 실험을 실시하는 과정에서 로티퍼 *B. rotundiformis*와 코페포다 *T. japonicus*의 종간 관계

(interspecific relation)에서는 물론 코페포다 *T. japonicus* 자신들 간의 종내 관계 (innerspecific relation)에서도 피포식 또는 공식 현상은 관찰할 수 없었다.

한편, *B. rotundiformis*와 *T. japonicus*를 혼합 배양한 경우, *B. rotundiformis*는 크게 증식이 억제되는 경향이 관찰되었는데, 이것은 *T. japonicus*가 먹이로서 급이한 *N. oculata*는 전혀 이용하지 않았으므로 먹이 경쟁 (food competition) 관계와 같은 직접적인 관계를 형성하여 *B. rotundiformis*의 증식을 억제하였다기보다는 배양조내에서 박테리아 식성의 *T. japonicus* (Jung et al., 1998a)와 배양조내의 혼재 박테리아의 영향에 민감하게 반응하는 *B. rotundiformis* (Jung et al., 1998b) 그리고 박테리아를 중심으로 이루어진 미소 생태계내에서 형성되는 간접적인 효과일 가능성이 제시된다 (Hino, 1990).

이 연구의 결과, 로티퍼 *B. rotundiformis*의 대량 배양조에서 혼재 생물로서 자주 관찰되는 코페포다 *T. japonicus*가 *B. rotundiformis*의 배양조에서 관찰되는 경우에는 로티퍼의 증식 저해요인으로서 작용하므로 혼재가 되지 않도록 각별한 주의가 필요함을 알 수 있었다. 그러나, 코페포다 *T. japonicus*의 증식은 *T. japonicus*를 단독 배양하거나, *B. rotundiformis*와 혼합 배양하여도 그 증식에는 차이가 없었다. 따라서, 먹이생물로서 *T. japonicus*를 배양하고자 하는 경우에는 로티퍼를 일부러 혼재시킴으로서 먹이생물로서 코페포다 외에도 부수적인 먹이 생물로서 로티퍼의 생산 효과를 추가시킬 수 있음을 알 수 있었다.

요 약

이 연구에서는 로티퍼 *B. rotundiformis*의 대량 배양조에서 흔히 혼재가 관찰되는 코페포다 *T. japonicus*가 배양을 목적으로 하고 있는 로티퍼 *B. rotundiformis*의 증식에 어떠한 영향을 미치는지 알아보았다.

실험에 사용한 로티퍼와 코페포다는 로티퍼의 대량 배양조에서 순수 분리 후 단일종 배양하던 것이다. 배양 조건은 현장의 배양 환경과 되도록 일치하도록 하였으며, 먹이는 7×10^5 cells/ml의 *N. oculata*를 급이하였다.

*B. rotundiformis*의 배양조에 혼재된 *T. japonicus*는 *B. rotundiformis*를 단독 배양한 경우에 비하여 증식이 크게 억제되었고, 실험 종료일까지도 그 증식은 정체되는 양상을 보였다. 그러나, *T. japonicus*의 증식은 *T. japonicus*를 단독 배양한 경우에 비교하여 *B. rotundiformis*와 혼합 배양하여도 그 증식에는 큰 차이가 없

었다. 또한, *B. rotundiformis*와 *T. japonicus*의 혼합 배양에서 두 종간의 피포식 관계나 먹이 경쟁 관계와 같은 직접적인 상호 작용은 관찰할 수 없었다.

이 연구의 결과, 로티퍼 *B. rotundiformis*의 대량 배양조에서 혼재 생물로서 자주 관찰되는 코페포다 *T. japonicus*는 *B. rotundiformis*의 증식 저해요인으로서 작용하고 있음을 알 수 있었다.

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. Ins. 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. Ins. Fish., 3, 33~39.
- Fukusho, K. 1980. Mass production of a copepod, *Tigriopus japonicus* in combination culture with a rotifer *Brachionus plicatilis*, fed ω -yeast as a food source. Bull. Japanese Soc. Sci. Fish., 46, 625~629.
- Fukusho, K., T. Arakawa and T. Watanabe. 1980. Food value of a copepod, *Tigriopus japonicus*, cultured with ω -yeast for larvae and juveniles of mud dab *Limanda yokohamae*. Bull. Japanese Soc. Sci. Fish., 46, 499~503.
- Hino, A. 1990. The function of microbial ecosystem in a mass culture pond of living food organisms. Suisanzoshoku, 38, 294~295.
- 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.
- Jung, M.-M., S. Rho and P.-Y. Kim. 1998a. Feeding of bacteria by copepod *Tigriopus japonicus*. J. Aquaculture, 11, 113~118.
- Jung, M.-M., S. Rho and P.-Y. Kim. 1998b. Growth of axenic rotifer *Brachionus rotundiformis*. J. Aquaculture, 11, 91~97.
- Omori, M. 1973. Cultivation of marine copepods. Bull. Plankton Soc. Japan, 20, 3~11.
- Takano, H. 1971. Breeding experiments of a marine littoral copepod *Tigriopus japonicus* Mori. Tokai Reg. Fish. Res. Lab., 64, 71~79.

1999년 10월 29일 접수

2000년 1월 10일 수리