

해양수조에서의 로티퍼 *Brachionus rotundiformis*와 *Brachionus plicatilis* 두종간의 경쟁*

정민민·노섬**

제주대학교 해양연구소 먹이생물연구실, **제주대학교 해양과학대학 증식학과

Competition between two rotifer species, *Brachionus rotundiformis* and *Brachionus plicatilis* in the rotifer culture tanks

Min-Min Jung and Sum Rho**

Food Organism Culture Lab., Marine Research Institute of Cheju National University,
Cheju-do 695-810, Korea

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

The marine rotifer of *Brachionus* species has been used as live food organism for marine fish larval rearing. But the marine *Brachionus* rotifers were co-existing cultured in the rotifer mass culture system of larval rearing centers. This study focuses on the interspecific relationship between two common marine rotifer of *Brachionus rotundiformis* Tschugunoff and *B. plicatilis* O. F. Muller for the stable rotifer culture.

For experiment two *Brachionus* rotifer species were mono-species cultured by feeding mono-species cultured *Nannochloropsis oculata*.

Population density of *B. rotundiformis* increased to the maximum of 1541.33ind. 40ml⁻¹ on 8th days from the culture start in the *B. rotundiformis* single species culture. However, population density of *B. rotundiformis* decreased by co-existing of other *Brachionus* rotifer, *B. plicatilis*. Population density of *B. plicatilis* was also suppressed by co-existing other *Brachionus* rotifer, *B. rotundiformis*. These two species competed for their limited food source of *N. oculata*. As a result, both *Brachionus* rotifer species were suppressed by each other comparing with single species culture.

These co-existing phenomenon of other *Brachionus* rotifer was acted as interference factor of rotifer growth and stable culture.

Key words : *Brachionus plicatilis*, *Brachionus rotundiformis*, competition, co-existing organism,
food competition, rotifer, stable culture

* 이 연구의 일부는 한국과학재단 국내 Post-doc. 연수사업 인력 2311-4254의 지원으로 수행되었음.

서론

Brachionus 속의 로티퍼는 해산어의 중요 생산 과정에서 초기 먹이생물로서 이용되는 동물플랑크톤의 일종이다 (Hino, 1990; Hirano, 1966). 로티퍼에 대한 분류학적 체계가 확립되기 이전에는 *Brachionus plicatilis*라는 학명으로 불리면서도 외부 형태 (Fu et al., 1991a), 유전적인 차이 (Fu et al., 1991b), 번식생리적 격리현상 (Hagiwara et al., 1995a) 등의 이유로 비교적 크기가 큰 대형의 로티퍼 strain을 Large형 (L-type), 그리고 L-type보다는 비교적 크기가 작은 로티퍼 strain은 Small형 (S-type)이라고 불려왔다 (Fu et al., 1991a; Hagiwara et al., 1995a). 그러나 1995년 개척된 국제 로티퍼 심포지움에서는 위에서 말한 여러 가지 이유를 근거로 기존의 L-type와 S-type는 별종임을 확인하고 새로운 분류 체계가 제기되었다. 즉, 종래의 L-type을 *Brachionus plicatilis* O. F. Muller 1786로 그리고 S-type을 *Brachionus rotundiformis* Tschugunoff 1921로 재분류하였다 (Segers, 1995).

한편 로티퍼의 대량 배양 과정중에서도 이들 두종 (종래의 S-type와 L-type: 이후 S-type은 *Brachionus rotundiformis*로 L-type은 *Brachionus plicatilis*로 부르도록 한다.)의 로티퍼는 서로 혼재 배양되어져 오고 있었다 (Hagiwara et al., 1995b; Jung et al., 1997). 이 연구에서는 배양 과정중 두종의 로티퍼 *Brachionus rotundiformis*와 *B. plicatilis*간에 어떠한 종간 관계를 형성하고 있는지를 검토하였다.

재료 및 방법

실험에 사용된 두종의 로티퍼는 형태적, 유전적으로 동일 strain으로 두종 모두 각각의 배양 탱크에서 한 개체의 로티퍼를 순수 분리하여 단일종 배양 (mono species culture)한 strain을 실험 생물로 사용하였다. 순수 분리한 로티퍼는 *Nannochloropsis oculata*를 먹이로 공급하면서 단일종 배양하였다.

배양은 용량 50ml의 비이커에 40ml의 배양수를 채우고 수온 25°C, 염분 22ppt의 암흑하에서 먹이로

는 7×10^5 cells ml⁻¹의 *N. oculata*를 2일마다 급이하면서 실시하였다. 로티퍼의 계수는 2일 간격으로 비이커 안의 전 개체를 현미경하에서 계수하였고, 계수 후 새로운 배양수에 옮겨주었다. 그리고 배양수중에 로티퍼의 먹이로서 급이한 *N. oculata*는 로티퍼를 계수하기 전에 혈구계수판을 사용하여 먹고 남긴 먹이의 양을 확인하였다. 실험은 *B. rotundiformis*의 단독 배양구, *B. plicatilis*의 단독 배양구 그리고 *B. rotundiformis*와 *B. plicatilis*의 혼합 배양구를 설정하고 각 비이커에는 실험 개시시 20개체씩의 포란중인 단성 생식 개체를 수용하였고, 모든 실험은 동일 시기에 3회 반복했다. 계수시 *B. rotundiformis*와 *B. plicatilis*의 판정은 로티퍼의 anterior spine의 형태로 구분하였다. anterior spine의 모양이 비교적 둥근 모양은 *B. plicatilis*로, 날카로운 형태를 하고 있는 것은 *B. rotundiformis*로 판정하였다.

결과

*B. rotundiformis*의 단일종 배양에서 실험개시시 수용한 20ind. 40ml⁻¹ (0.5ind. ml⁻¹)의 *B. rotundiformis*는 실험개시후 4일째에 808ind. 40ml⁻¹로 급속한 증식을 보인후, 실험개시후 8일째에는 16일간의 실험기간중 최고 밀도인 1541.33ind. 40ml⁻¹로 증식하였다 (Fig. 1).

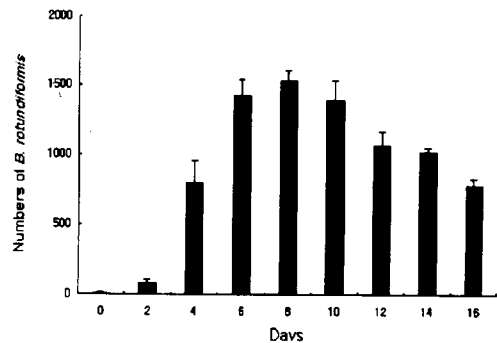


Fig. 1. Population density of *Brachionus rotundiformis* (so-called S-type of *B. plicatilis*) in the single species culture (unit: ind. 40ml⁻¹).

그러나, 혼재 배양한 경우, 즉 *B. rotundiformis*의 배양조에 먹이생물로서 널리 이용되고 있는 또 다른 *Brachionus* 속의 *B. plicatilis*를 같은 밀도로 혼재시킴으로서, *B. rotundiformis*는 단일종 배양한 경우에 비하여 그 증식이 억제되는 경향을 보였다. 즉, 실험개시시 접종밀도 20ind. 40ml⁻¹였던 *B. rotundiformis*의 증식은 단일종 배양에 비교하면 최고 밀도에 도달하는 시기가 2일 빨라져 실험개시후 6일째에 1525ind. 40ml⁻¹로 증식한 이후부터 증식 밀도의 감소 추세는 빨라졌다 (Fig. 2).

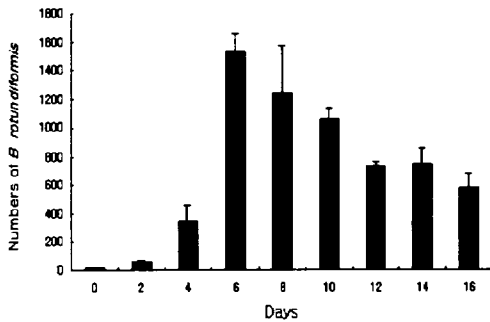


Fig. 2. Population density of *B. rotundiformis* (so-called S-type of *B. plicatilis*) in the mixed species culture with *B. plicatilis* (so called L-type of *B. plicatilis*). (unit: ind. 40ml⁻¹).

*B. plicatilis*를 단일종 배양한 경우에는 실험개시 후 8일째부터 급속한 증식 양상을 보여 실험개시시 접종한 20ind. 40ml⁻¹의 *B. plicatilis*는 765.3ind. 40ml⁻¹로 증식한후, 2일후인 10일째에 최고 밀도인 1053.3ind. 40ml⁻¹로 증식하였다 (Fig. 3).

그러나, 혼재 배양한 경우 *B. plicatilis*는 *B. rotundiformis*가 혼재됨으로서 그 증식이 크게 억제되었다. *B. rotundiformis*가 혼재된 상태에서는 *B. plicatilis*의 급속한 증식 현상을 관찰할 수 없었으며, 최고 밀도에 도달한 것도 다른 경우와 비교하여 가장 늦은 12일째에 나타났고, 그 밀도도 660ind. 40ml⁻¹에 불과하였다. 그리고 실험 종료일인 16일째에는 다른 실험구에 비하여 가장 낮은 증식 밀도인 206ind. 40ml⁻¹로 감소하였다 (Fig. 4).

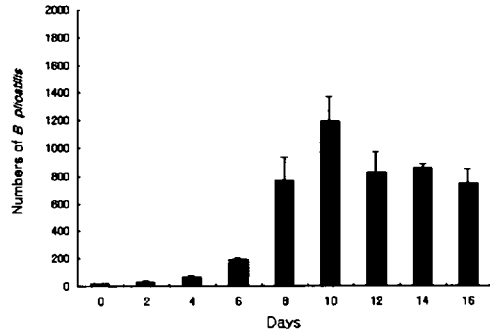


Fig. 3. Population density of *Brachionus plicatilis* (so-called L-type of *B. plicatilis*) in the single species culture (unit: ind. 40ml⁻¹).

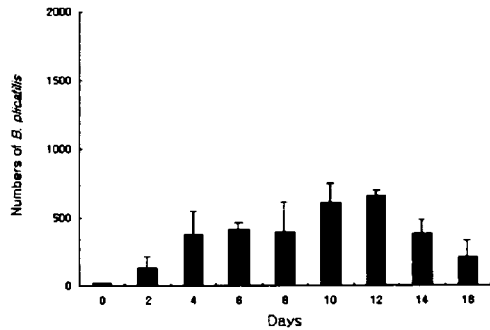


Fig. 4. Population density of *B. plicatilis* (so-called L-type of *B. plicatilis*) in the mixed species culture with *B. rotundiformis* (so called S-type of *B. plicatilis*). (unit: ind. 40ml⁻¹).

*B. rotundiformis*와 *B. plicatilis*의 혼재 배양에서 *Brachionus* 속 두종의 로티퍼는 단일종 배양에 비교하면, 모두 그 증식이 억제되었으며, 더욱이 *B. rotundiformis*의 증식보다는 *B. plicatilis*의 증식이 더 크게 억제되는 경향을 보였다. 이들 두종의 *Brachionus* 속 로티퍼는 혼재된 경우 먹이로 급이되는 식물플랑크톤 (이 실험에서는 *N. oculata*)을 서로 경쟁적으로 섭이하는 경향이 있었다 (Fig. 5). 먹이로서 급이한 *N. oculata*를 경쟁 급이한 결과 두종의 *Brachionus*의 혼재 배양에서는 실험 개시후 6일째부터는 급이한 7x10⁵cells ml⁻¹의 *N. oculata*를 남기지 않고 전부 섭이하였다 (Fig. 5). 그리고 *B.*

*rotundiformis*의 단일종 배양에서도 실험 개시후 6 일째이후부터는 급이한 먹이의 잔존량은 관찰할 수 없었다 (Fig. 5). 그러나, *B. plicatilis*의 단일종 배양에서는 실험개시후 10일까지도 *N. oculata*의 잔존량이 확인되었다 (Fig. 5).

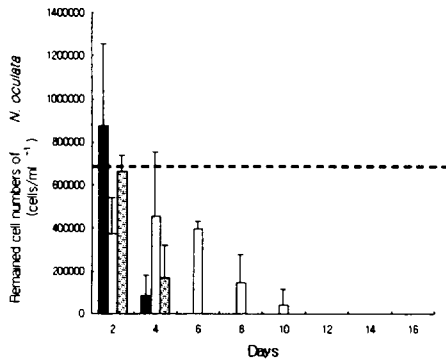


Fig. 5. Remained cell numbers of *N. oculata* in the each culture tanks, *B. rotundiformis* single culture (■), *B. plicatilis* single culture (□) and mixed culture of *B. rotundiformis* and *B. plicatilis* (■). The dotted line indicated every feeding density of 7×10^5 cells/ml *N. oculata*.

고찰

넙치와 같은 해산어의 종묘 생산과정에서는 부화 직후의 초기 먹이생물로서 *Brachionus* 속의 로티퍼가 대량 배양되어 먹이로서 이용되고 있다. 그러나, 이종들도 원래는 순수 해산 유래종이 아니다. *Brachionus* 속의 로티퍼가 먹이생물로서 주목을 받기 시작한 곳은 염분 2ppt이하의 뱀장어 양식장에서 처음으로 주목을 받았다 (Ito, 1958a: 1958b). 더욱이 처음 학자들의 주목을 받은 것은 지금과 같이 인간에게 유익한 생물로서가 아니라, 인간의 산업 활동에 해로운 유해 생물로서 주목을 받았다 (Ito, 1958a: 1958b). 가운을 위하여 비닐하우스내에서 사육되는 뱀장어의 사육 탱크의 높은 수온은 로티퍼의 증식을 촉진시킬뿐만 아니라, 뱀장어의

사육 과정중에서 이루어지는 물만들기라는 공정은 로티퍼에게 먹이가 될수 있는 풍부한 식물플랑크톤을 제공한다. 즉, 뱀장어 양식장에 출현한 로티퍼는 증식하는데 필요한 적절한 수온 환경과 먹이 환경이 갖추어져 있는 뱀장어 양식 비닐하우스 안에서 대증식을 하여 동물플랑크톤 종류중에서는 항상 우점종의 위치를 차지할 정도로 대증식을 하게 된다. 이렇게 폭발적으로 증식한 로티퍼는 뱀장어의 사육 탱크에서 뱀장어에게 공급되는 산소를 중간에서 가로채어 뱀장어의 대량 폐사를 야기시키고 물만들기를 방해하는 해로운 생물이었다. 이와 같이 환경만 갖추어지면 단성 생식법으로 쉽게 대량 번식이 가능한 로티퍼는 당시 해산어의 인공 종묘 생산 과정에서 초기 먹이생물의 불안정적인 먹이 공급 문제를 해결할수 있는 실마리로서 이용하기 위하여 먼저 자연 해수에서의 순치 배양이 시도되었다 (Ito, 1960).

이 과정에서 각지의 뱀장어 양식장으로부터 채집된 로티퍼는 그 당시부터 비교적 큰크기의 로티퍼와 그보다 작은 크기의 로티퍼가 존재하고 있음이 알려져 왔으며, 이들 종은 동일종으로 취급되어 같은 배양수조에서 배양되거나, 배양을 거듭하거나, 로티퍼를 다른 시설에 분양하는 과정에서 두 종(두 형태)은 섞이게 된 것이다. 한때 배양온도에 따라서 배양중인 로티퍼의 크기가 바뀐다고하여, 배양을 하는 목적에 따라 온도를 달리하면 더 작은 크기의 로티퍼가 배양 가능하다고 하였다. 그러나, 이러한 현상은 이미 두종이 섞여져 배양되어온 배양조에 배양 환경 조건으로서 온도가 바뀌면서 설정된 온도에 비교적 강한 종이 배양조에서 우점하게 된 것으로 판단되어지고 있다.

강한 여과섭식성을 가진 로티퍼종 *Brachionus* 속의 해산 로티퍼는 먹이로서 급이한 식물플랑크톤이나 이스트 (yeast)를 빠른 속도로 여과섭식하여 자신들의 증식에 필요한 영양원으로서 이용한다 (Oogami, 1977; Yamasaki and Hirata, 1986). 그리고 *Brachionus* 속의 두종의 해산 로티퍼 *B. rotundiformis*와 *B. plicatilis*는 배양 수온에 따라서 그 증식율은 크게 변화되는데 적정 배양 수온은 *B. rotundiformis*가 *B. plicatilis*보다는 높은 온도에서

높은 성장율을 보인다 (Hirayama, 1985). 즉, *B. rotundiformis*의 증식율은 배양수온 15°C의 조건에서는 1.3%, 20°C에서 60%, 30°C에서 190% 그리고 34°C에서는 250%로 온도가 상승함에 따라 증식율도 높아지는 반면, *B. plicatilis*의 증식율은 11°C에서 9%, 15°C에서 21%, 20°C에서 50%, 25°C에서 170%로 온도의 상승에 따라 증식율도 높아지나, 25°C 이상의 배양온도에서는 120%로 증식율이 오히려 저하하는 경향을 보였다 (Oogami, 1977). 한편 이 실험에서는 종묘 생산 현장에서 가장 보편적으로 적용하고 있는 온도이고, 또한 증식율도 두종 모두 적절한 조건으로 주어지는 25°C의 조건에서 실시하였다.

이 연구의 결과, *Brachionus* 속 두종의 해산 로티퍼는 동일 배양환경내에서 먹이로서 급이되는 식물플랑크톤을 서로 경쟁 섭이하는 것을 알수 있었다. 그리고 이들 로티퍼간의 먹이 경쟁 현상은 결국 각 로티퍼의 증식을 억제시키는 결과를 초래하는 것도 이 연구를 통하여 알수 있었다. 즉, 현장에서 관찰되는 *Brachionus* 속 두종간의 혼재 현상은 배양을 목적으로 하는 로티퍼 종의 대량, 안정 배양을 저해하는 요소로 작용하는 것을 알수 있다. 그러므로, 안정 배양을 유지하기 위해서는 로티퍼의 단일종 배양이 확립되어야하고 아울러 *Brachionus* 속 해산 로티퍼의 생물학적 특징을 숙지할 필요가 있을것으로 판단된다.

요 약

해산어의 종묘 생산 과정에서 초기 먹이생물로서 널리 이용되는 해산 로티퍼 *Brachionus plicatilis*와 *Brachionus rotundiformis*는 대량 배양 과정중에서 혼재 배양되는 경우가 많다. 이 연구에서는 배양조내에서 두종의 *Brachionus* 속 해산 로티퍼, *B. rotundiformis*와 *B. plicatilis*간에 어떠한 종간 관계가 형성되고 있는지를 검토하였다.

실험에 사용된 두종의 로티퍼는 형태적, 유전적으로 동일 strain으로 한 개체의 로티퍼를 순수 분리하여 단일종 배양 (mono species culture)한 것으

로 순수 분리 배양한 *Nannochloropsis oculata*를 먹이로 공급하면서 단일종 배양하였다.

*B. rotundiformis*의 단일종 배양에서는 순조로운 증식을 보여, 실험개시후 8일째에는 최고 밀도인 1541.33ind. 40ml⁻¹로 증식하였다. 그러나, *B. rotundiformis*의 배양조에 *B. plicatilis*를 같은 밀도로 혼재시키면, *B. rotundiformis*의 증식은 억제되었다. 한편, *B. plicatilis*를 단일종 배양한 경우에는 실험개시후 10일째에 최고 밀도인 1053.33ind. 40ml⁻¹로 증식한 반면, *B. rotundiformis*가 혼재됨으로서 그 증식은 크게 억제되었다. 더욱이 실험 종료일인 16일째에는 *B. plicatilis*의 증식이 다른 실험구에 비하여 가장 낮은 밀도인 206ind. 40ml⁻¹로 크게 감소되었다. 이들 두종의 *Brachionus* 속 로티퍼는 급이한 먹이를 가지고 경쟁한 결과, 서로의 증식을 억제하는 상호 요인으로 작용하였다.

이 연구의 결과, 종묘생산 현장에서 관찰되는 *Brachionus* 속 두종간의 혼재 현상은 결국 로티퍼의 안정 배양을 저해하는 요인으로서 작용하고 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

- Fu, Y., K. Hirayama and Y. Natsukari. 1991a. Morphological differences between two type of the rotifer *Brachionus plicatilis* O. F. Muller. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 151, 29~41.
- Fu, Y., K. Hirayama and Y. Natsukari. 1991b. Genetic divergence between S and L type strains of the rotifer *Brachionus plicatilis* O. F. Muller. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 151, 43~56.
- Hagiwara, A., T. Kotani, T.W. Snell, A-A. Mavit and K. Hirayama. 1995a. Morphology, reproduction, genetics and mating behavior of small, tropical marine *Brachionus* strains (Rotifera). J. Mar. Biol. Ecol., 194, 25~37.
- Hagiwara, A., M.-M. Jung, T. Sato and K. Hirayama. 1995b. Interspecific relations

- between marine rotifer *Brachionus rotundiformis* and zooplankton species contaminating in the rotifer mass culture tank. Fisheries Science, 61, 623~627.
- Hino, A. 1990. The function of microbial ecosystem in a mass culture pond of living food organisms. Suisan Zoshoku, 38, 294~295. (in Japanese)
- Hirano, R., 1966. Plankton culture and aquatic animals seedling production. Inform. Bull. Planktol. Japan, 13, 72~75. (in Japanese)
- Hirayama, K. 1985. Biological aspects of the rotifer *Brachionus plicatilis* as a food organism for mass culture of seedling. Coll. Fr.-Japon. Oceanogr., 8, 41~50. (in Japanese)
- Ito, T. 1958a. Studies on the Mizukawari in eel-culture ponds. X. The density of dormant eggs of rotifer on bottom deposit in eel-culture ponds. Rep. Fac. Fish. Pref. Univ. Mie, 3, 170~177. (in Japanese)
- Ito, T. 1958b. Studies on the Mizukawari in eel-culture ponds. The hatching activity of dormant eggs of *Brachionus plicatilis* O. F. Muller. Rep. Fac. Fish. Pref. Univ. Mie, 3, 178~192. (in Japanese)
- Ito, T. 1960. On the culture of mixohaline rotifer *Brachionus plicatilis* O. F. Muller in the seawater. Rep. Fac. Fish. Pref. Univ. Mie, 3, 708~740. (in Japanese)
- Jung, M.-M., A. Hagiwara and K. Hirayama, 1997. Interspecific interactions in the marine rotifer microcosm. Hydrobiologia, 358, 121~126.
- Oogami, H. 1977. Relative to feeding rate, growth rate and culture temperature of rotifer. *Brachionus plicatilis*. The Izu Branch of Shizuoka Pref. Inst. Fish., Izu Bunjo Dayori, 187, 2~5. (in Japanese)
- Segers, H. 1995. Nomenclatural consequences of some recent studies on *Brachionus plicatilis* (Rotifera, Brachionidae). Hydrobiologia, 313/314, 121~122.
- Yamasaki, S. and H. Hirata. 1986. Food consumption rates of two types of rotifer *Brachionus plicatilis*. Suisanzoshoku, 34, 137~140. (in Japanese)