

## 고품질의 Rotifer와 Artemia의 생산을 위한 해양세균 이용과 대량생산에 따른 환경인자에 관한 연구

### 1. *Erythrobacter* sp. S $\pi$ -I에 의한 Rotifer, *Brachionus plicatilis*의 배양시 지방산과 아미노산 조성의 변화

이원재 · 박유수 · 박영태\* · 김성재\*\* · 김광양\*\*\*

부경대학교 미생물학과 · \*여수수산대학교 해양학과 · \*\*경상대학교식품과학과 · \*\*\*주식회사 제은

## Studies on the Availability of Marine Bacteria and the Environmental Factors for the Mass Culture of the High Quality of Rotifer and Artemia

### 1. Change of Fatty Acid and Amino Acid Composition During Cultivation of Rotifer, *Brachionus plicatilis* by Marine Bacteria *Erythrobacter* sp. S $\pi$ -I

Won-Jae LEE, You-Soo PARK, Young-Tae PARK\*, Sung-Jae KIM\*\* and Kwang-Yang KIM\*\*\*

Department of Microbiology, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

\*Department of Oceanography, Yosu National Fisheries University, Yosu 550-749, Korea

\*\*Department of Food Science, Kyongsang University, Tongyeong 650-160, Korea

\*\*\*Je Eun Co. LTD.

To develop a beneficial microbial feed for the cultivation of rotifer, *Brachionus plicatilis*, an aerobic photosynthetic bacterium, *Erythrobacter* sp. S  $\pi$ -I was isolated from marine structure at Haeundae beach in Pusan, Korea. Feeding effects of *Erythrobacter* sp. S  $\pi$ -I on the growth of rotifer were analyzed comparing to other feeds such as PSB (purple nonsulfur bacteria), *Chlorella* sp. and baker's yeast.

*Erythrobacter* sp. S  $\pi$ -I contained more linoleic acid (C<sub>18:3:0.3</sub>) and oleic acid (C<sub>18:1:0.9</sub>) and amino acids than PSB (purple nonsulfur bacteria), *Chlorella* sp. and baker's yeast. The rotifer fed on *Erythrobacter* sp. S  $\pi$ -I showed better effects than those fed on other feeds in the individual growth, size and weight. Also, the rotifer especially contained more eicosapentaenoic acid (C<sub>20:5:0.3</sub>) and docosahexaenoic acid (C<sub>22:6:0.3</sub>) in case of *Erythrobacter* sp. S  $\pi$ -I feeding than the other feeds. In case of the feed of PSB and baker's yeast, docosahexaenoic acid (C<sub>22:6:0.3</sub>) did not show. In amino acid analysis, the rotifer fed on *Erythrobacter* sp. S  $\pi$ -I showed more amino acid content comparing to those fed on other diets. Especially, arginine, isoleucine, histidine, lysine, methionine, phenylalanine, threonine, which are essential amino acid for fish growth, showed high contents. These results suggested that the aerobic photosynthetic bacterium, *Erythrobacter* sp. S  $\pi$ -I would be a beneficial microbial feed for the cultivation of rotifer.

**Key words :** aerobic photosynthetic bacteria, DHA (docosahexaenoic acid), EPA (eicosapentaenoic acid), *Erythrobacter* sp. S  $\pi$ -I, essential amino acid, rotifer

## 서 론

현재까지 종묘생산에서 기초 먹이생물로는 rotifer, artemia, *Daphnia*와 *Tigriopus* 등이 많이 사용되어 왔다. 특히 치·자어의 부화직후 초기먹이생물로서는 크기나 영양가가 적합한 rotifer, *Brachionus plicatilis*가 해산 자·치어나 갑각류 유생의 초기먹이생물로 많이 이용되고 있다 (Watanabe et al., 1983; Whyte and Nagata, 1990).

따라서 rotifer에 관한 관심이 증가되어 대량배양 및

영양강화를 위한 연구가 진행되고 있다. 이러한 rotifer의 대량배양에 사용되는 먹이로서 *Chlorella*를 이용하는 연구는 오래전부터 많이 진행되어 왔다 (Ben-Amotz et al., 1987; James and Abu-Rezeq, 1988). 그러나 *Chlorella*를 먹이로 한 경우 자연조건에서 생산할 수 있으나, 대규모의 생산시설과 관리가 필요하다. 또 다른 먹이사료로서 해양효모 (Furukawa and Hidaka, 1973)와 빵효모 (Watanabe et al., 1979; Hirayama and Funamoto, 1982)를 사용하였으며 효모의 낮은 영양가를 극복하기 위하여 난황

과 어유 등을 첨가하여 불포화지방산을 강화한 연구 보고도 있다 (Watanabe et al., 1979; Kitajima et al., 1980). 그러나 이러한 먹이 투여 방법은 섭취되고 남은 사료나 배설물 등에 의하여 배양 해수의 수질저하를 초래하여 생산성에 있어 불안정한 문제가 있다.

따라서 이러한 문제를 해결하기 위한 연구로서 Ogawa (1977), Yasuda and Taga (1980), Lee and Taga (1988) 등이 해양세균을 이용한 동물 플랑크톤이나 *artemia*의 배양결과를 보고하였고, Provasoli et al. (1959)은 수 중의 미소조류의 먹이가치를 비교하기 위하여 *artemia* 및 *Tigriopus japonicus*를 무균화시켜 기초적인 배양실험에 대한 결과를 보고하였다. 이들 해양세균 중 광합성 세균을 이용하여 rotifer배양에 필요한 비타민 B<sub>12</sub>생산에 관한 연구 (Yu et al., 1989)나 먹이사료로 이용한 보고서는 Kobayashi et al. (1967, 1969)이 있으며, 광합성 세균에 함유하고 있는 색소로 인한 종묘생산의 먹이로서의 장점 등에 관한 보고가 있다 (Sakamoto and Hirayama, 1983).

현재 우리나라의 종묘생산에 사용되는 초기 먹이생물의 경우 광합성 세균 (PSB)과 *Chlorella* (농축)등을 수입하여 사용하고 있는 실정이나 본 연구는 연안해역에서 분리·동정된 호기성 광합성 세균을 rotifer의 먹이로 사용한 결과와 *Chlorella*, 효모와 PSB를 사용한 결과를 비교 검토하여, 우수한 먹이생물로서의 균주개발을 하기 위하여 개체수, 체중, 체장, 및 지방산, 아미노산을 분석한 결과이다.

## 재료 및 방법

### 1. 시료

본 실험에 사용된 rotifer, *Brachionus plicatilis*와 *Chlorella* sp.는 부경대학교 수산과학연구소에서 분양받았으며, PSB (purple nonsulfur bacteria, 주식회사 한동), yeast (제일 유니버설 주식회사)는 시판용을 사용하였다. 호기성 광합성 세균의 분리 및 동정을 위한 시료는 부산 해운대 연안해역 (Fig. 1)에서 해조류, 해수, 모래, 해양구조물 (복판)등에서 채취하였다.

### 2. 방법

호기성 광합성 세균은 Pfennig and Trüper (1984)와 Shiba and Simidu (1982) 등에 준하여 분리 및 동정하였다. 해수는 0.45  $\mu$ m milipore filter로 여과하고 멸균시킨 후 사용하였으며, 인공해수는 S $\pi$  (Super  $\pi$ 주식회사 제)활성수에 인공해수 성분을 녹여 사용하였다.

Rotifer배양은 5ℓ의 삼각플라스틱에 멸균해수 (인공해

수 포함)를 넣고 염분농도, 수온의 최적조건을 찾아 배양하면서 개체수, 체중, 체장을 측정하였다. Rotifer의 먹이사료나 배양된 rotifer의 지방산 조성은 Bligh and Dyer (1959)법으로 추출후, Metcalfe and Schmitz (1949)의 방법에 따라 methylation 하여 Gas chromatography (Shimaszu GC-17A)로 분석하였다. 또한 아미노산 조성은 아미노산 자동 분석기 (Hitachi 835-50)에 의하여 분석하였다. 사료로 사용된 *Erythrobacter* sp. S $\pi$ -I의 균수는 직접계수법 (Porter and Feig, 1980)으로 하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 호기성 광합성 세균의 분리

4개의 정점 (Fig. 1)에서 채취된 해조류, 모래, 해수, 해양구조물 등에서 색소형성 균주를 분리하였고, 이들 균주에서 전형적으로 광합성 세균이 가지는 bacteriochlorophyll (Bchl.)을 함유한 광합성 세균 *Erythrobacter* sp. S $\pi$ -I (Fig. 2)을 분리하였다. 이 균주는 호기적인 조건에서

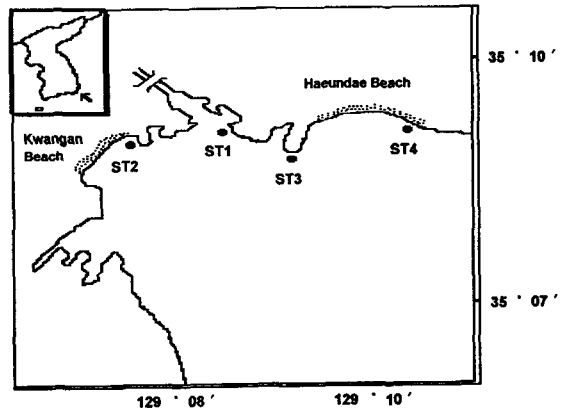


Fig. 1. Location of sampling station.

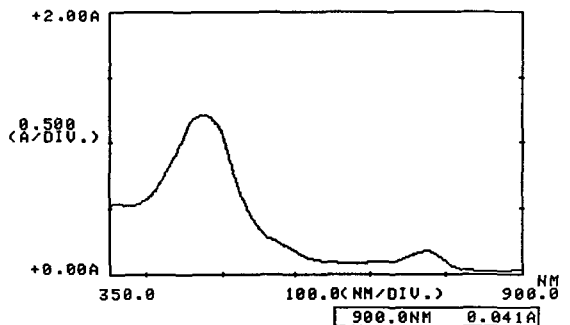


Fig. 2. Absorption spectrum of pigment extract of *Erythrobacter* sp. S $\pi$ -I.

Table 1. The list of the dominant species based on the number of individuals by Le Bris index in Chinhae Bay during the study period (June 1987 to May 1990)

Rank	Species name	Mean density (ind./m <sup>2</sup> ± SD)	Total ind.	% of total ind.	Cum. % of total ind.	Freq.	Le Bris index
1	<i>Lumbrineris longifolia</i> (po)	174.75 ± 208.79	42989	16.80	16.80	22	172406.53
2	<i>Paraprionospio pinnata</i> (po)	157.23 ± 541.33	38679	15.11	31.91	22	139099.20
3	<i>Theora fragilis</i> (bi)	83.45 ± 210.93	20529	8.02	39.93	22	76886.59
4	<i>Aricidea jeffreysii</i> (po)	62.11 ± 151.83	15279	5.97	45.90	22	62859.02
5	<i>Magelona japonica</i> (po)	56.46 ± 89.73	13889	5.43	51.33	22	54874.64
6	<i>Sigambra tentaculata</i> (po)	47.51 ± 90.94	11689	4.57	55.90	22	47032.43
7	<i>Raetellops pulchella</i> (bi)	34.75 ± 263.85	8547	3.34	59.24	22	34091.75
8	<i>Sternaspis scutata</i> (po)	26.80 ± 54.60	6593	2.58	61.82	22	28392.73
9	<i>Glycinde gurjanovae</i> (po)	25.36 ± 29.74	6240	2.44	64.26	22	25340.20
10	<i>Notomastus</i> sp.(po)	19.91 ± 39.84	4899	1.91	66.17	22	20273.17
11	<i>Tharyx</i> sp.(po)	18.16 ± 42.63	4469	1.75	67.92	22	17336.34
12	<i>S. cf. costarum</i> (po)	16.16 ± 36.83	3976	1.55	69.47	22	16834.19
13	<i>Mediomastus</i> sp.(po)	14.87 ± 69.81	3659	1.43	70.90	20	14137.16

po: polychaete, bi: bivalve

Table 2. The list of the dominant species based on the biomass (wet wt., g) by Le Bris index in Chinhae Bay during the study period (June 1987 to May 1990)

Rank	Species name	Mean biomass (g/m <sup>2</sup> ± SD)	Total Biomass	% of total biomass	Cum. % of total bio.	Freq.	Le Bris index
1	<i>Macoma tokyoensis</i> (bi)	14.69 ± 30.17	5559.894	22.64	22.64	22	219954.043
2	<i>Periglypta</i> cf. <i>puerpera</i> (bi)	8.71 ± 29.40	3834.244	15.61	38.25	20	135868.422
3	<i>Paraprionospio pinnata</i> (po)	4.17 ± 11.93	1813.380	7.38	45.64	22	72150.495
4	<i>Aclia divaricata</i> (bi)	4.47 ± 10.91	1744.244	7.10	52.74	13	33404.733
5	<i>Sternaspis scutata</i> (po)	3.66 ± 7.22	912.149	3.71	56.45	19	32549.410
6	<i>Yoldia johanni</i> (bi)	1.80 ± 6.64	767.990	3.13	59.58	22	28750.413
7	<i>Scapharca broughtonii</i> (bi)	4.02 ± 26.88	759.247	3.09	62.67	22	24589.753
8	<i>Protankyra bidentata</i> (ec)	6.86 ± 9.24	640.177	2.61	65.28	19	24394.751
9	<i>Pista cristata</i> (po)	1.89 ± 3.72	526.268	2.14	67.42	22	20533.716
10	<i>Glycera chirori</i> (po)	2.48 ± 3.63	506.854	2.06	69.49	22	19835.085
11	<i>Raetellops pulchella</i> (bi)	1.69 ± 7.53	442.869	1.80	71.29	22	17968.873
12	<i>Lumbrineris longifolia</i> (po)	1.24 ± 1.53	397.094	1.62	72.91	22	17144.760
13	<i>Notomastus</i> sp.(po)	1.11 ± 1.73	356.333	1.45	74.36	18	14694.996
14	<i>Zeuxis caelatus</i> (ga)	1.55 ± 2.92	347.853	1.42	75.78	22	12715.625

po: polychaete, bi: bivalve, ga: gastropod, ec: echinoderm

진해만 중앙부에 위치한 정점 8, 9, 10과 입구에 위치한 정점 3, 4에서 그 출현 밀도가 높았다. 한편 내만에 위치한 정점 1, 2 및 12에서는 출현하지 않거나, 출현하더라도 밀도가 극히 적었다 (Fig. 1). 결국 이 종은 진해만 전역에 걸쳐 분포하지만, 만 중앙부 및 입구역에서 밀도가 상대적으로 높았고, 내만역 및 외해역은 상대적으로 밀도가 낮았다. 따라서 만 중앙부 및 입구역이 주된 분포역을 알 수 있었다. 계절별 분포해역의 특징을 보면, 여름철인 7, 8, 9월에는 주로 만 입구 정점에서 분포 밀도가 상대적으로 높았고, 내만에서의 밀도는 상대적으로 낮았다. 특히 8월부터 이듬해 2월까지의 진해만 내의 정

점 1과 2에서는 출현하지 않았다. 11월부터 밀도는 전반적으로 감소하는 양상이지만, 분포역은 내만으로 확대되었다. 그 후 봄철에는 여름철 이후 출현하지 않던 정점 1과 2에서도 출현하였다. 3월과 4월에는 내만의 정점 10에서 580개체/m<sup>2</sup> 및 784개체/m<sup>2</sup>가 출현하여, 다른 정점에 비해 상대적으로 높은 밀도를 나타내었다. 한편 정점 12의 경우 5월에 2개체/m<sup>2</sup>가 출현하였으며, 8월을 제외하고 6월부터 이듬해까지 계속 출현하지 않았다.

전체 정점에서의 월별 밀도 변동은 평균 104.0~309.5 개체/m<sup>2</sup>의 범위로서 (Fig. 2), 1987년 6월과 1989년 7월에 상대적으로 높은 밀도였으며, 가을철과 겨울철인 1987년

**Table 1. The change of rotifer's size and weight fed on *Erythrobacter* sp. S  $\pi$ -I, Photosynthetic bacteria, *Chlorella* sp., baker's yeast**

Feed	A			B			C		
	Length ( $\mu\text{m}/\text{indi.}$ )	Width ( $\mu\text{m}/\text{indi.}$ )	Dry weight (ng/indi.)	Length ( $\mu\text{m}/\text{indi.}$ )	Width ( $\mu\text{m}/\text{indi.}$ )	Dry weight (ng/indi.)	Length ( $\mu\text{m}/\text{indi.}$ )	Width ( $\mu\text{m}/\text{indi.}$ )	Dry weight (ng/indi.)
S $\pi$ -I	160 $\pm$ 18	92 $\pm$ 15	280	170 $\pm$ 17	94 $\pm$ 14	560	184 $\pm$ 17	100 $\pm$ 12	610
PSB	158 $\pm$ 15	90 $\pm$ 12	268	166 $\pm$ 13	92 $\pm$ 15	520	178 $\pm$ 12	96 $\pm$ 17	580
<i>Chlorella</i>	160 $\pm$ 17	92 $\pm$ 10	270	168 $\pm$ 15	94 $\pm$ 12	520	180 $\pm$ 13	96 $\pm$ 14	590
Yeast	158 $\pm$ 15	90 $\pm$ 11	260	162 $\pm$ 12	92 $\pm$ 12	500	172 $\pm$ 12	96 $\pm$ 13	570

The size and weight of starvated rotifer is 150  $\pm$  7  $\mu\text{m}$  (length), 85  $\pm$  14  $\mu\text{m}$  (width) and 140 ng/indi. (mean weight). Cultured rotifer during 5 days (A), 9 days (B) and 13 days (C).

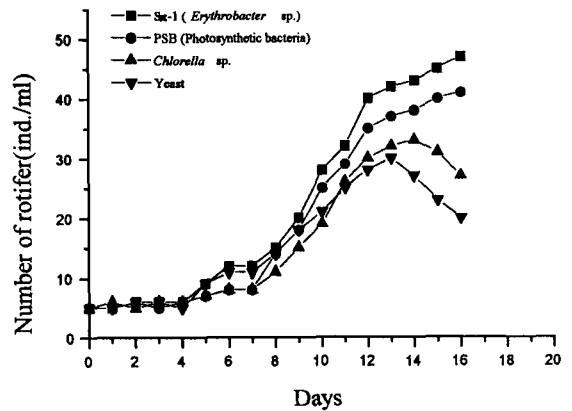
여하면서 개체수의 증가를 조사한 결과이다. 처음 3개체/ml에서 7일째는 20‰일 때, 30개체와, 25‰일 때, 23개체/ml, 30‰일 때가 15개체로 20‰과 25‰의 염분농도일 때가 ml당 개체수가 가장 많았다. Fig. 4는 온도에 따른 개체수의 증가를 보여준 것이다. 온도의 범위가 20, 25, 27, 30°C로서 27°C일 때 가장 많은 개체수를 보여주고 있다. 즉 온도 27°C일 때 염분 20‰~25‰에서 rotifer의 개체수 증식이 높았으며, *Chlorella* sp.를 먹이사료로 투여했을 경우에도 27°C와 20‰~25‰에서 rotifer의 개체수 증식이 높았다.

Hwang and Pyen (1995)에 의하면, rotifer는 25~30°C에서 잘 번식하고 22~27°C의 수온범위에서 small-type의 rotifer가 성장률이 높다는 보고와 일치하였고, 염분농도의 경우도 15~25‰의 범위에서 번식률이 높다고 하였으나 본 실험에서는 20~25‰에서 높은 번식률을 보였다.

### 3. Rotifer, *Brachionus plicatilis*의 개체수, 체중, 체장의 변화

Rotifer의 배양에 *Erythrobacter* sp. S  $\pi$ -I, PSB, *Chlorella* sp., yeast를 온도와 염분의 최적조건에서 각각 일정 시간 간격으로 투여했을 때 개체수, 체중, 체장의 변화는 Fig. 5와 Table 1과 같다.

Fig. 5에서 보면 5개체/ml에서 7일 후부터 점차 개체수가 증가하여 10일째에는 30개체 이상이 되었고 2주가 지난 후에는 투여된 먹이에 따라 차이를 보였다. *Erythrobacter* sp. S  $\pi$ -I의 경우 40개체/ml 이상이 되었고 PSB도 35개체/ml 이상이 되었다. 그러나 *Chlorella* sp. 나 yeast의 경우는 2주 이상이 지나면서 개체수가 감소되는 현상을 보여주었다. 이것은 *Chlorella* sp.의 경우 세포내에 cellulose를 rotifer가 소화시키지 못하여 죽게되는 이유중의 하나로 생각되고 효모의 경우는 성장에 따른 필수영양의 부족과 수질오염(암모니아 등)이 개체수 감소의 하나로 생각된다.



**Fig. 5. Mass culture of rotifer fed on *Erythrobacter* sp. S  $\pi$ -I, PSB (photosynthetic bacteria), *Chlorella* sp. and baker's yeast at the condition of 27°C, 20‰ sea water 5 l and constant aeration.**

Watanabe et al. (1983)과 Ben-Amotz et al. (1987)은 yeast와 *Chlorella*를 rotifer에 먹였을 때 효모에서 생성되는 암모니아와 낮은 영양가, 그리고 *Chlorella*의 세포벽 성분인 cellulose로 인한 rotifer 체내에서의 소화 불량 등으로 rotifer의 장기간 배양시 성장 유지 및 영양 유지에 매우 어려움이 많다고 하였다. 그러나, 광합성 세균의 편모는 갑각질을 함유하고 있으며 세포벽과 세포막을 *Chlorella* 등 다른 조류와는 달리 아주 탄력성이 유연하여 부화직후의 치·자어 먹이 뿐만 아니라 rotifer배양에도 적합하다고 하였으며 수질 정화에 있어서도 효과가 있다고 하였다 (Kobayashi et al., 1969). 福所·平山 (1989)은 광합성 세균중 *Thiocapsa roseopersicina*가 rotifer 성장에 좋은 효과를 준다고 보고하였고, roifer 배양해수에서 *Aeromonas* sp., *Pseudomonas* sp., *Acinetobacter* sp., *Vibrio* sp. *Flavobacterium* sp. 등이 공존한다고 하였다. 본 실험의 성장율을 보면 yeast, *Chlorella* sp. PSB의 사료보다 *Erythrobacter* sp. S  $\pi$ -I 사료가 우수함을 보여주고 있다.

**Table 2. Fatty acid composition of *Erythrobacter* sp. S  $\pi$ -I, PSB (Photosynthetic bacteria), *Chlorella* sp., baker's yeast and rotifer, *Brachionus plicatilis* (area %)**

Fatty acids	<i>Erythrobacter</i> sp. S $\pi$ -I	PSB	<i>Chlorella</i> sp.	yeast	rotifer
C <sub>11:0</sub>	0.4	-	1.4	4.2	4.8
C <sub>12:0</sub>	0.6	-	-	3.6	2.1
C <sub>13:0</sub>	1.3	-	0.7	2.5	-
C <sub>14:0</sub>	0.8	1.4	7.7	0.3	-
C <sub>14:1<math>\omega</math>5</sub>	3.8	1.0	0.8	3.3	4.7
C <sub>15:0</sub>	1.6	0.2	-	14.5	8.1
C <sub>15:1<math>\omega</math>5</sub>	-	0.7	-	16.8	11.5
C <sub>16:0</sub>	9.2	3.3	23.9	-	8.9
C <sub>16:1<math>\omega</math>7</sub>	6.1	5.6	19.5	-	-
C <sub>17:0</sub>	0.3	0.1	-	3.0	-
C <sub>16:3<math>\omega</math>3</sub>	1.7	-	-	-	-
C <sub>17:1<math>\omega</math>7</sub>	9.7	-	-	15.9	7.2
C <sub>18:0</sub>	1.0	2.0	-	17.3	-
C <sub>18:1<math>\omega</math>9</sub>	36.5	4.1	25.6	5.4	19.2
C <sub>18:1<math>\omega</math>7</sub>	13.3	28.3	0.9	-	-
C <sub>18:2<math>\omega</math>6</sub>	-	1.4	4.3	2.1	10.5
C <sub>18:3<math>\omega</math>3</sub>	8.6	2.5	-	-	11.5
C <sub>20:1<math>\omega</math>9</sub>	5.1	31.3	-	-	9.5
C <sub>20:2<math>\omega</math>6</sub>	-	5.0	-	-	-
C <sub>20:3<math>\omega</math>6</sub>	-	2.2	-	-	-
C <sub>20:4<math>\omega</math>6</sub>	-	2.1	-	-	-
C <sub>20:5<math>\omega</math>3</sub>	-	-	-	-	2.0
C <sub>21:0</sub>	-	1.0	13.1	-	-
C <sub>22:0</sub>	-	3.4	-	-	-
C <sub>22:1<math>\omega</math>9</sub>	-	4.2	-	-	-
$\Sigma_{\omega-3}$ HUFA*	-	-	-	-	2.0

\* HUFA : High Unsaturated Fatty Acid

**Table 3. Fatty acid composition of rotifer, *Brachionus plicatilis* fed on *Erythrobacter* sp. S  $\pi$ -I, PSB (Photosynthetic bacteria), *Chlorella* sp. and baker's yeast (area %)**

Fatty acids	<i>Erythrobacter</i> sp. S $\pi$ -I			PSB			<i>Chlorella</i> sp.			yeast		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
C <sub>11:0</sub>	2.7	6.0	-	10.4	19.7	13.1	15.7	15.2	10.8	11.9	9.1	9.2
C <sub>12:0</sub>	2.5	3.5	2.7	2.6	3.1	1.6	5.7	5.1	1.3	6.5	4.5	4.9
C <sub>13:0</sub>	2.5	2.1	0.3	0.2	1.2	2.3	3.2	4.1	1.4	3.2	3.4	4.0
C <sub>14:0</sub>	1.6	1.9	0.6	0.7	-	1.1	0.8	2.1	0.4	-	-	-
C <sub>14:1<math>\omega</math>5</sub>	7.9	3.0	6.2	2.7	1.4	5.1	9.2	8.0	7.8	8.2	6.4	6.5
C <sub>15:1<math>\omega</math>5</sub>	8.6	3.5	5.5	8.4	6.1	9.2	8.3	5.4	5.4	10.9	10.0	4.5
C <sub>16:0</sub>	10.3	3.1	7.1	8.8	5.9	7.2	7.8	8.3	9.2	9.9	9.5	1.9
C <sub>16:1<math>\omega</math>7</sub>	-	0.2	2.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C <sub>17:1<math>\omega</math>7</sub>	10.5	3.4	0.7	9.1	5.8	6.7	8.0	9.1	10.3	9.6	10.0	8.1
C <sub>18:0</sub>	-	1.6	-	-	10.3	-	-	-	-	-	-	-
C <sub>18:1<math>\omega</math>9</sub>	17.0	22.3	9.7	10.0	10.6	19.3	4.9	4.4	5.6	12.6	15.4	8.1
C <sub>18:1<math>\omega</math>7</sub>	-	7.2	8.0	9.3	7.2	9.2	11.5	6.4	9.0	7.7	8.7	4.1
C <sub>18:2<math>\omega</math>6</sub>	5.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C <sub>18:3<math>\omega</math>3</sub>	-	5.6	5.1	-	-	0.1	-	-	1.0	-	-	-
C <sub>19:0</sub>	10.3	6.1	12.1	9.6	7.0	8.1	6.3	6.0	10.5	6.0	7.6	1.3
C <sub>20:1<math>\omega</math>9</sub>	6.3	4.5	4.8	6.6	5.3	1.2	3.8	5.0	8.5	2.7	2.7	1.8
C <sub>20:5<math>\omega</math>3</sub>	4.4	7.2	8.4	5.9	4.8	8.6	3.0	1.1	6.2	1.3	3.4	1.1
C <sub>22:6<math>\omega</math>3</sub>	2.2	4.9	9.9	-	-	-	2.5	3.9	6.7	-	-	-
C <sub>23:0</sub>	-	3.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$\Sigma_{\omega-3}$ HUFA	6.6	12.1	18.3	5.9	4.8	8.6	5.5	5.0	12.9	1.3	3.4	1.1

Cultured rotifer during 5 days (A), 9 days (B) and 13 days (C).

Table 1은 먹이사료 투여에 따라 체장과 체중을 나타낸 것이다. 먹이사료투여전의 체장은  $150 \pm 7 \mu\text{m}$ , 폭이  $85 \pm 14 \mu\text{m}$ 였고, 체중은  $140 \text{ ng/개체}$ 였으나, 먹이사료투여 5일 후 S  $\pi$ -I은 체장  $160 \pm 18 \mu\text{m}$ ,  $92 \pm 15 \mu\text{m}$ , 체중  $280 \text{ ng/개체}$ 이고, PSB의 경우 체장  $158 \pm 15 \mu\text{m}$ ,  $90 \pm 12 \mu\text{m}$ , 체중  $268 \text{ ng/개체}$ , *Chlorella* sp.의 경우는  $160 \pm 17 \mu\text{m}$ ,  $92 \pm 10 \mu\text{m}$ 의 체장과  $270 \text{ ng/개체}$ 의 체중을 보였다. 약 2주후의 경우 S  $\pi$ -I의 경우  $184 \pm 17 \mu\text{m}$ ,  $100 \pm 12 \mu\text{m}$ 의 체장에  $610 \text{ ng/개체}$ 로 가장 우수함을 보여주고 있다. Scott and Baynes (1979)의 연구결과에서는 초기 rotifer의 체중이  $120 \sim 360 \text{ ng/개체}$ 에서 영양을 보충해 줌으로써 최고  $620 \text{ ng/개체}$ 까지 증가시켰다고 한다. 이때 영양 보충으로 인공적으로 만든 ample food를 사용하였는데 Minkoff (1987)는 빵효모로 배양하고 있는 rotifer 배양수조에 algae를 첨가 보충하므로써 rotifer 체장이  $12 \sim 23\%$ 까지 증가함을 보고하였다. 따라서 본 실험에서 사용한 *Erythrobacter* sp. S  $\pi$ -I가 rotifer의 먹이로서 우수함을 알 수 있다.

#### 4. Rotifer 배양시의 *Erythrobacter* sp. S $\pi$ -I 섭취량

멸균된 삼각플라스크내에 멸균해수를 넣고 rotifer 5개체/ml되게 넣은 후  $0.45 \mu\text{m}$  여과해수로 씻은 *Erythrobacter* sp. S  $\pi$ -I을 배양수조내의 세균수를  $3.0 \times 10^6$ 개체/ml로 되게 넣은 다음 rotifer의 대수증식기에 하루당 rotifer 한 마리가 섭취하는 세균량을 측정한 결과 약  $10^4 \sim 10^5$ 개체를 알 수 있었다.

#### 5. 먹이사료와 rotifer의 지방산 조성

Rotifer의 먹이사료로 사용된 *Erythrobacter* sp. S  $\pi$ -I와 비교로서 PSB, *Chlorella* sp., yeast의 지방산 조성을 분석한 결과 Table 2와 같다.

*Erythrobacter* S  $\pi$ -I의 경우  $C_{18:1\omega9}$  36.5%,  $C_{18:1\omega7}$  13.3%,  $C_{18:3\omega3}$ 이 8.6%이고 PSB의 경우  $C_{18:1\omega7}$ 이 28.3%,  $C_{20:1\omega9}$ 가 31.3%, *Chlorella* sp.의 경우  $C_{18:1\omega9}$ 가 25.6%,  $C_{21:0}$ 이 13.1%였으며 yeast의 경우  $C_{15:1\omega5}$ 가 16.8%,  $C_{15:0}$ 가 14.5%,

$C_{17:1\omega7}$ 가 15.9%,  $C_{18:0}$ 가 17.3%였다. 또한 먹이사료 투여전의 rotifer의 지방산 조성은  $C_{18:1\omega9}$ 가 19.2%,  $C_{18:1\omega9}$ 가 10.5%,  $C_{18:3\omega3}$ 이 11.5%,  $C_{20:5\omega3}$ 가 2.0%였다.

Table 3은 *Erythrobacter* S  $\pi$ -I, PSB, *Chlorella* sp., yeast를 rotifer에 투여했을 때 rotifer의 체내 지방산 조성을 보여주고 있다. *Erythrobacter* S  $\pi$ -I의 경우  $C_{18:1\omega9}$ 가 9.7~22.3%로 가장 많은 함량을 보여주었고,  $C_{19:0}$ 은 6.1~12.1%였다. 한편,  $C_{20:5\omega3}$  (EPA)는 4.5~6.3,  $C_{22:6\omega3}$  (DHA)는 2.2~9.9%였다. PSB의 경우,  $C_{18:1\omega9}$ 가 배양기간중 10.0~19.3%,  $C_{19:0}$ 은 7.0~9.6%, EPA는 4.8~8.6%였으나 DHA는 분석되지 않았다. *Chlorella* sp.의 경우는  $C_{18:1\omega9}$ 가 배양기간중 4.4~5.6%,  $C_{19:0}$ 은 6.0~10.5%,  $C_{20:5\omega3}$  (EPA)는 1.1~6.2%,  $C_{22:6\omega3}$  (DHA)는 2.5~6.7%였다. yeast의 경우,  $C_{18:1\omega9}$ 가 8.1~15.4%,  $C_{19:0}$ 은 1.3~7.6%, EPA가 1.1~3.4%이나 DHA는 검출되지 않았다. 이상의 분석 결과에서  $C_{20:5\omega3}$  (EPA)와  $C_{22:6\omega3}$  (DHA)를 정리한 것이 Table 4와 같다. EPA와 DHA가 rotifer체내에 함유되게 하는 먹이사료로서는 S  $\pi$ -I과 *Chlorella* sp.이다. 특히 *Erythrobacter* sp. S  $\pi$ -I은 EPA나 DHA의 함량이 *Chlorella* sp.보다 높은 함량을 보여주고 있다.

대부분의 미생물의 균체내의 지방산은 20개 이하의 탄소사슬로 이루어져 있으며, 일부 미생물을 제외하고는 포화지방산과 단순 불포화지방산으로 이루어져 있다 (Shaw, 1974). Shiba and Simidu (1982)는 호기성 광합성 세균의 주 지방산은  $C_{18:1}$ 이라 보고하였고, Urakami and Komagata (1988)에 따르면 *Erythrobacter longus*의 주 지방산이  $C_{16:0}$ 과  $C_{18:1}$ 이라 보고하였는데 이것은 S  $\pi$ -I의 주 지방산 조성과의 비슷하였다. 그리고 해산 어류의 치·자어의 성장과 생존은 공급되는 초기 먹이생물의 크기나 영양가에 의해서 결정된다. 최근의 연구에서 필수지방산 (essential fatty acid)인 고도 불포화지방산 (highly unsaturated fatty acid)이 해산 치·자어의 성장과 생존에 필수적인 영양성분이라고 밝혀졌으며 (Navarro et al., 1988) 특히 해산어류에 있어서 EPA (eicosapentaenoic acid,  $C_{20:5\omega3}$ )와 DHA (docosahexaenoic acid,  $C_{22:6\omega3}$ )는 중요한

Table 4. Eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid composition of rotifer, *Brachionus plicatilis* fed on *Erythrobacter* sp. S  $\pi$ -I, PSB (Photosynthetic bacteria), *Chlorella* sp. and baker's yeast (area %)

Feed	A		B		C	
	EPA	DHA	EPA	DHA	EPA	DHA
<i>Erythrobacter</i> sp. S $\pi$ -I	4.4	2.2	7.2	4.9	8.4	9.9
PSB	5.9	-	4.8	-	8.6	-
<i>Chlorella</i>	3.0	2.5	1.1	3.9	6.2	6.7
Yeast	1.3	-	3.4	-	1.1	-

Cultured rotifer during 5 days (A), 9days (B) and 13 days (C).

**Table 5. Amino acid composition of *Erythrobacter* sp. S  $\pi$ -I, PSB (Photosynthetic bacteria), *Chlorella* sp. and baker's yeast**

Amino acid	<i>Erythrobacter</i> sp. S $\pi$ -I	PSB	<i>Chlorella</i> sp.	yeast
Taurine	0.1	0.0	0.1	0.2
Aspartic acid	45.2	10.9	9.1	1.3
Threonine	21.9	6.1	4.9	28.6
Serine	15.1	3.7	3.7	14.5
Glutamine	61.6	17.3	12.1	23.6
Glycine	31.2	7.4	6.1	18.2
Alanine	43.7	9.4	6.6	22.8
Cystein	0.0	2.2	1.7	0.0
Valine	29.4	7.7	6.1	20.6
Methionine	9.8	3.2	1.7	6.3
Ileucine	21.0	5.0	4.4	19.4
Leucine	35.6	9.4	8.8	28.6
Tyrosine	12.2	3.8	3.2	12.8
Phenylalanine	21.7	5.2	5.0	15.2
Lysin	28.7	7.5	7.2	56.7
Histidine	2.6	1.8	1.6	3.1
Arginine	26.3	7.7	4.8	27.4
Proline	16.9	4.5	4.2	32.6
E.A.A	197.0	53.6	44.5	205.8
Total	423.0	112.8	44.5	205.8

\*E.A.A. : Essential amino acid

고도 불포화지방산 (HUFA)이라고 알려져 있다. 이들 치·자어의 먹이생물인 rotifer의 지방산 조성은 먹이사료에 의해 주로 결정된다고 하였는데 (Scott and Middleton, 1979; Watanabe et al., 1983), *Erythrobacter* sp. S  $\pi$ -I을 rotifer 배양에 투여했을 때 특히 고도불포화지방산인 C<sub>20:5 $\omega$ 3</sub> (EPA), C<sub>22:6 $\omega$ 3</sub> (DHA) 함량이 다른 먹이사료를 투여할 경우보다 높게 나타났으며, 배양일이 경과할수록 고도불포화지방산 함량이 증가함을 알 수 있다. 따라서 *Erythrobacter* sp. S  $\pi$ -I을 투여했을 때 해산 치·자어의 성장과 생존에 필수영양성분이 rotifer체내에 많이 함유된 것을 보아 다른 먹이사료에 비해 그 효과가 월등함을 알 수 있다.

6. 먹이사료와 rotifer의 아미노산 조성

Table 5는 *Erythrobacter* sp. S  $\pi$ -I, PSB, *Chlorella* sp., yeast의 아미노산 함량을 비교한 것으로서, *Erythrobacter* sp. S  $\pi$ -I의 아미노산 함량이 나머지 먹이사료보다 월등히 높음을 알 수 있다. 즉 aspartic acid, threonine, glutamic acid, serine, glycine, alanine, valine, methionine, isoleucine, leucine, tyrosin, phenylalanine, lysine, arginine 및 proline이 종래의 rotifer 먹이사료보다 높은 함량을 나타내었고, 특히 aspartic acid (45.2 mg%), glutamine (61.6 mg%), glycine (31.2 mg%), alanine (43.7 mg%), valine

(29.4 mg%), leucine (35.6 mg%), lysine (28.7 mg%), phenylalanine (21.7 mg%)은 현저히 높은 함량을 나타내어, 총 아미노산의 함량에 있어서 PSB의 112.8 mg%, *Chlorella* sp.의 91.3 mg%, yeast의 331.9 mg% 보다 훨씬 높은 423.0 mg%을 나타내었다.

여러종의 해산 조류와 yeast가 rotifer의 아미노산 함량을 높일 수 있는 좋은 먹이사료라고 보고한 바가 있으며 (Watanabe et al., 1983; Dendrinis and Thorpe, 1987; Minkoff, 1987; Rezeq and James, 1987), 특정 단백질원의 단백질 (영양) 품질은 구성 아미노산의 비율과 이용가능성에 달려있다고 하였는데, 조류의 필수 아미노산 조성 양식 동물의 필수 아미노산 조성과의 가까움 경우 조류의 단백질 품질은 높은 것으로 간주된다고 하였으며, 먹이 실험에 근거하여 아미노산 leucine, isoleucine, lysine, histidine, arginine, tryptophan, phenylalanine, threonine, methionine은 일련의 어류 중에 필수적인 것이라 하였다 (Coway and Tacon, 1983). Castell et al. (1986)은 rotifer의 지방산 및 아미노산 함량이 해산 치·자어의 성장에 큰 영향을 미친다고 하였다.

따라서 이 각각의 먹이사료의 아미노산 함량이 rotifer 배양에 투여했을 때 rotifer의 아미노산 함량의 변화에 얼마만큼 영향을 미치는지에 대해 실험해 본 결과 Table 6과 같은 결과를 얻었다. *Erythrobacter* sp. S  $\pi$ -I의 경우

**Table 6. Amino acid composition of rotifer, *Brachionus plicatilis* fed on *Erythrobacter* sp. S  $\pi$ -I, PSB (Photosynthetic bacteria, *Chlorella* sp. and baker's yeast**

Amino acid	<i>Erythrobacter</i> sp. S $\pi$ -I	PSB	<i>Chlorella</i> sp.	yeast
Taurine	0.2	0.2	0.2	0.1
Aspartic acid	2.0	1.8	1.2	0.8
Threonine	0.2	0.1	0.1	6
Serine	0.1	0.1	0.1	0.1
Glutamine	2.3	2.3	1.5	1.0
Glycine	1.2	1.1	0.8	0.6
Alanine	0.8	0.8	0.5	0.3
Cystein	0.4	0.4	0.3	0.3
Valine	1.5	1.7	1.1	0.6
Methionine	0.1	0.0	0.0	0.0
Ileucine	1.4	1.3	0.9	0.6
Leucine	0.6	0.5	0.4	0.3
Tyrosine	0.6	0.5	0.4	0.3
Phenylalanine	0.5	0.5	0.4	0.3
Lysin	4.2	4.1	4	0
Histidine	0.9	0.9	0.9	0.8
Arginine	0.3	0.3	0.1	0.1
Proline	3.3	3.8	2.7	1.5
E.A.A	11.2	8.9	8.6	3.2
Total	21.8	21.7	16.3	8.3

\*E.A.A. : Essential amino acid

lysine이 4.2 mg%, glutamine 2.3 mg% 등 다른 사료보다 높았으며 특히 lysine이 높게 함유되어 성장을 촉진시키는 것으로 생각된다. Glutamine의 경우 *Erythrobacter* sp. S  $\pi$ -I이 2.3 mg%, PSB가 2.3 mg%, valine은 *Erythrobacter* sp. S  $\pi$ -I이 1.5 mg%, PSB가 1.7 mg% 이었으며 methionine은 S  $\pi$ -I의 투여에서만 0.1 mg% 이었다. 따라서 *Erythrobacter* sp. S  $\pi$ -I을 rotifer배양에 투여했을 때 다른 먹이사료보다 어류종의 성장과 생존에 필수적인 isoleucine (1.4 mg%), lysine (4.2 mg%), arginine (0.3 mg%), histidine (0.9 mg%), phenylalanine (0.5 mg%), threonine (0.2 mg%), methionine (0.1 mg%)이 높게 나타났다.

이와 같이 아미노산 함량에 있어서 *Erythrobacter* sp. S  $\pi$ -I의 rotifer배양효과를 살펴 본 결과 종래의 rotifer 먹이사료인 PSB, *Chlorella* sp., yeast 보다 우수함을 알 수 있었다.

## 요 약

연안해역에서 호기성 광합성 세균 *Erythrobacter* sp. S  $\pi$ -I를 분리 및 동정하여 rotifer, *Brachionus plicatilis*의 먹이로 투여하였을 때 개체수, 체장, 체중 및 지방산 조성과 아미노산 조성을 분석한 결과를 요약하면 아래와 같다.

1. *Erythrobacter* sp. S  $\pi$ -I은 지방산의 함량중 C<sub>18:1 $\omega$ 9</sub>가 36.5%, C<sub>18:1 $\omega$ 7</sub>이 13.3%, C<sub>18:3 $\omega$ 3</sub> 8.6% 함유하였고 아미노산은 glutamic acid가 61.6 mg%, aspartic acid가 45.2 mg%, alanine이 43.7 mg%, lysine이 28.7 mg% 등 높은 함량을 보였다.

2. *Erythrobacter* sp. S  $\pi$ -I을 rotifer, *Brachionus plicatilis*에 투여했을 때 (초기 개체수 5개체/mL) 개체수는 5일째 9개체/mL, 9일째 20개체/mL, 13일째는 43개체/mL로 증가하였다. 또한 체중은 초기 140 ng/개체에서 5일째 280 ng/개체, 9일째 560 ng/개체, 13일째 610 ng/개체로 증가하였으며, 체장은 초기 150  $\pm$  7  $\mu$ m (length), 85  $\pm$  14  $\mu$ m (width)에서 5일째 160  $\pm$  18  $\mu$ m (length), 92  $\pm$  15  $\mu$ m (width), 9일째 170  $\pm$  17  $\mu$ m (length), 94  $\pm$  14  $\mu$ m (width), 13일째는 184  $\pm$  17  $\mu$ m (length), 100  $\pm$  12  $\mu$ m (width)로 성장하였다.

3. Rotifer 개체당 24시간내에 10<sup>4</sup>~10<sup>5</sup>개체의 세균을 섭취하였다.

4. *Erythrobacter* sp. S  $\pi$ -I을 rotifer에 먹이로 투여했을 때 EPA, DHA가 증가하였다. 비교실험에 사용한 *Chlorella* sp. PSB, yeast에 비하여 EPA와 DHA의 함량이 높았다. 특히 DHA는 S  $\pi$ -I과 *Chlorella* sp.에서만 분석되었으며 S  $\pi$ -I이 높았다.

5. *Erythrobacter* sp. S  $\pi$ -I과 비교로서 PSB, *Chlorella*



sp., yeast를 rotifer에 먹이로 투여했을 때 S $\pi$ -I에서 lysine이 가장 높았고, PSB, *Chlorella1* sp. 순으로 분석되었다. yeast에서는 검출되지 않았다.

## 참 고 문 헌

- Ben-Amotz, B., R. Fishler and A. Schneller. 1987. Chemical composition of dietary species of marine unicellular algae and rotifers with emphasis on fatty acids. *Marine Biology*, 95, 1~36.
- Bligh, E. G. and W. J. Dyer. 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can. J. Biochem. Physiol.*, 37, 911~917.
- Castell, J. D., D. E. Conklin, J. S. Craigie, S. P. Lall and K. Norman-Boudreau. 1986. Aquaculture nutrition. In M. Bilio, H. Rosenthal and C. J. Sindermann (eds), *Realism in Aquaculture; Achievements, Constraints, Perspectives*. European Aquaculture Society, Bredene, Belgium; 251~308.
- Coway, C. B. and A. G. J. Tacon. 1983. Fish nutrition-relation to invertebrates. In *Proc. of the 2nd int. Conf. Aquaculture nutrition*, edited by G. D. Pruder et al., World Mariculture Society, Spec. Publ. No. 2, Louisiana State University, Louisiana, 13~30.
- Dendrinis, P. and J. P. Thorpe. 1987. Experiments on the artificial regulation of the amino acid and fatty acid contents of food organisms to meet the assessed nutritional requirements of larval, post-larval and juvenile Dover sole (*solea solea* L.). *Aquaculture*, 61, 121~154.
- Furukawa, I. and K. Hidaka. 1973. Technical problems encountered in the mass culture of the rotifer using marine Yeast as food organisms. *Bull. Plankton Soc. Jap.*, 19, 61~71 (in Japanese).
- Hirayama, K. and H. Funamoto. 1982. Supplementary effect of several nutrients on nutritive deficiency of baker's yeast for population growth of the rotifer, *Brachionus plicatilis*. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 49, 505~510 (in Japanese).
- Hirayama, K. and I. M. Rumengan. 1993. the fecundity patterns of S and L type rotifer of *Brachionus plicatilis*. *Hydrobiologia*, 255/256, 153~157 (in Japanese).
- Hwang, H. K. and C. K. Pyen. 1995. The effects of water temperature and salinity on the propagation of rotifer, *Brachionus plicatilis*. *J. of Aquaculture*, 8, 59~67 (in Korean).
- James, C. M. and T. S. 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.
- Kitajima, C., T. Arakawa, f. Oowa, S. Fujita, O. Imada, T. Watanabe and Y. Yone. 1980. Dietary value for red sea bream larvae of rotifer, *Brachionus plicatilis* cultured with a new type of yeast. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 46, 43~46.
- Kobayashi, M., A. Kawamura, S. Oya, K. Mikami, H. Nakaniishi, K. Murata, Y. Kinugasa and T. Kawasugi. 1969. Sewage purification by photosynthetic bacteria and its use as a fish-feed. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 35, 1021~1026 (in Japanese).
- Kobayashi, M., K. Mochida and A. Okuda. 1967. The amino acid composition of Photosynthetic bacterial cells. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 33, 657~660 (in Japanese).
- Lee, W. J. and N. Taga. 1988. Investigation of marine bacteria for the food of *Tigriopus japonicus* Mori (Harpacticoida). *Bull. Korean Fish. Sci.* 21 (1), 50~56 (in Korean).
- Lubzen, E., A. Tandler, and G. Minkoff. 1989. Rotifers as food in aquaculture. *Hydrobiologia*, 186/187, 387~400.
- Metcalfe, L. D. and A. A. Schmitz. 1949. The rapid preparation of fatty acids esters for gas chromatographic analysis. *Anal. Chem.*, 177, 751.
- Minkoff, G. 1987. The effect of secondarily enriched rotifers on growth and survival of marine fish larvae. Ph. D. thesis University of Stirling, UK.
- Mustahal, S. and H. Hirata. 1991. Adaptability of five strains of the rotifer, *Brachionus plicatilis* at various salinities. *Suisanzoshoku*, 39, 447~453.
- Navarro, J. C., F. Hontoria, I. Varo and F. Amat. 1988. Effect of alternate feeding with a poor long-chain polyunsaturated fatty acid *Artemia* strain and a rich one for sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and prawn (*Penaeus Kerathurus*) larvae. *Aquaculture*, 74, 307~317.
- Ogawa, K. 1977. The role of bacterial floc as food for zooplankton in the sea. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 43, 395~407 (in Japanese).
- Pfennig, N. and H. G. Trüper. 1984. Anoxicogenic Photosynthetic Bacteria. IN *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. Edited by Staley, J. T., M. P. Bryant, N. Pfennig, and J. G. Holt, 1635~1709. The Williams and Wilkins Co., Baltimore.
- Porter, K. G. and Y. S. Feig. 1980. The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora. *Limnol. Oceanogr.*, 25, 943~948.
- Provasoli, L., K. Shiraishi and J. R. Lance. 1959. Nutritional Idiosyncrasies of *Artemia* and *Tigriopus* in monoxenic culture. *Ann. New York Acad. Sci.*, 77, 250~261.
- Rezeq, T. A. and C. M. James. 1987. Production and nutritional quality of the rotifer *Brachionus plicatilis* fed *Chlorella* sp. at different cell densities. *Hydrobiology*, 147, 257~261.
- Sakamoto, H. and K. Hirayama. 1983. Dietary effect of *Thiocapsa roseopersicina* (Photosynthetic bacteria) on

- the rotifer, *Brachionus plicatilis*. Bull. Jac. Fish. Nagasaki Univ., 54, 13~20 (in Japanese).
- Scott, A. P. and S. M. Baynes. 1979. The effect of unicellular algae on survival and growth of turbot larvae (*Scophthalmus maximus* L.). In J. E. Halver and K. Teiws (eds), Finfish Nutrition and Fishfeed Technology. Proc. World Symp., Jamburg, 20~23, June, 1978, Vol. 1, 423~433.
- Scott, A. P. and C. Middleton. 1979. Unicellular algae as a food for turbot (*Scophthalmus maximus* L.) larvae-The importance of dietary long-chain polyunsaturated fatty acids. Aquaculture, 18, 227~240.
- Shaw, N. 1974. Lipid composition as a guide to the classification of bacteria. Adv. Appl. Microbiol., 17, 63~108.
- Shiba, T. 1991. *Roseobacter litoralis* gen. nov., sp. nov., and *Roseobacter denitrificans* sp. nov., aerobic pink-pigmented bacteria which contain bacteriochlorophyll a. System. Appl. Microbiol., 14, 140~145.
- Shiba, T., U. Simidu and N. Taga. 1979. Distribution of aerobic bacteria which contain bacteriochlorophyll a. Appl. Environ. Microbiol., 38, 43~45.
- Shiba, T. and U. Simidu. 1982. *Erythrobacter longus* gen. nov., sp. nov., an aerobic bacterium which contains bacteriochlorophyll a. Inter. J. System. Bacteriol., 32, 211~217.
- Urakami, T. and K. Komagata. 1988. Cellular fatty acid composition with special reference to the existence of hydroxy fatty acids, and occurrence of squalene and sterols in specise of *Rhodospirillaceae* genera and *Erythrobacter longus*. J. Gen. Appl. Microbiol., 34, 67~84.
- Watanabe, T., F. Oowa, C. Kitajima, S. Fujita and Y. Yone. 1979. Relationship between the dietary value of rotifers, *Brachionus plicatilis* and their content of  $\omega$  highly unsaturated fatty acids. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 45, 883~889.
- Watanabe, T., C. Kitajima and S. Fujita. 1983. Nutritional values of live organisms used in japan for mass propagation of fish. Review. Aquaculture, 34, 115~143.
- Whyte, J. N. C. and W. K. Nagata. 1990. Carbohydrate and fatty acid composition of the rotifer, *Brachionus plicatilis* fed monospecific diets of yeast or phytoplankton. Aquaculture, 89, 263~272.
- Yasuda, S. and N. Taga. 1980. Culture of *Brachionus plicatilis* (Muller) using bacteria as food. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 46, 933~940.
- Yu, J. P., A. Hino, M. Ushiro and M. Maeda. 1989. Function of bacteria as vitamine B<sub>12</sub> producers during mass culture of the rotifer *Brachionus plicatilis*. Nippon Suisan Gakkaishi, 55, 1799~1806 (in Japanese).
- 福所拜産 · 平山和次. 1989. 初期飼料生物Rotifer, *Brachionus plicatilis*. 恒星社厚生閣, 34~36.

---

1997년 1월 6일 접수

1997년 5월 3일 수리