J. Korean Fish. Soc. 32(6), 798~802, 1999

한수지, 32(6), 798~802, 1999

찰가자미 자어에 있어서 먹이생물의 영양강화을 위한 해양세균 (Erythrobacter sp. Sπ-1)의 이용

강석중 · 임영수* · 박상언* · 이원재** · 최병대*** · 박흠기**** · 박유수***** · 오혜영*****
경상대학교 양식학과, *국립수산진흥원, **부경대학교 미생물학과, ***경상대학교 식품과학과,
****강릉대학교 해양생명공학부, *****주식회사 제은

Availability of Marine bacteria (*Erythrobacter* sp. Sπ-1) for enrichment of livefood in the slime flounder larvae, Microstomus achne

Suck-Jung KANG, Young Soo LIM*, Sang Un PARK*, Won Jae LEE, Byeong-Dae CHO***, Heum Gi PARK****, You-Soo PARK***** and He-Young OH*****

Department of Aquaculture, Kyongsang National University, Tongyeong 650-160, Korea
**National Fisheries Research and Development Institute, Pusan 619-900, Korea*
***Department of Microbiology, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea*
****Department of Food science, Kyongsang National University, Tongyeong 650-160, Korea*
*****Faculty of Marine Bioscience & Technology, Kangnung National University, Kangnung 210-702, Korea*
******Je Eun Co. LTD., Korea*

This study was performed to compare the effect of enrichement of rotifer and *Artemia* fed marine bacteria (*Erythrobatcer* sp. Sπ-1) wiht those fed the different diets (Super Selco, ω-yeast and marine *Chlorella*) on the slime flounder larvae, *Microstomus achne*. Because the ratio of docosahexaenoic acid (DHA) to fatty acids in rotifer (dry weight %) fed on Super Selco and ESP-SR including *Erythrobatcer* sp. Sπ-1 was higher than that in rotifer fed marine *Chlorella*, the growth of the slime larvae fed the former showed better than the latter. And the ratio of DHA and highly unsaturated fatty acid (n-3 HUFA) to fatty acids in *Artemia* (dry weight %) enriched by ESP-A including *Erythrobatcer* sp. Sπ-1 were aslo higher than those in *Artemia* enriched by others or *Artemia* without enrichment. Larvae fed on *Artemia* enriched by ESP-A showed better growth and survival rate than those fed on *Artemia* enriched by others or *Artemia* without enrichment. With regard to dietary value of *Erythrobatcer* sp. Sπ-1, its use could improve the quality of the live foods for the slime flounder larvae.

Key words: ESP, DHA, n-3 HUFA, *Erythrobatcer* sp. Sπ-1, slime flounder, enrichment

서 론

해산어류의 종묘생산시 초기 단계의 동물 먹이생물로서 rotifer, *Brachionus plicatilis* (이전엔 L-type)과 *B. rotudiformis* (이전엔 S-type) 및 *Artemia*를 가장 많이 이용하고 있으며 해산자어의 정상적인 성장과 생존률을 얻기 위해서는 필수지방산으로 eicosapentaenoic acid (EPA)와 docosahexaenoic aicd (DHA) 등의 고도불포화지방산 (n-3 HUFA)이 반드시 필요하다 (Watanabe et al., 1983; Watanabe 1993; Rainuzzo et al., 1997). 따라서 해산자어에게 공급되는 먹이생물의 n-3 HUFA 함량이 중요하며, 이들의 함량은 먹이생물이 섭취하는 먹이의 n-3 HUFA 함량에 따라서 차이가 날 수 있다 (Rainuzzo et al., 1989).

Rotifer의 경우, 양적인 확보를 위해 가격이 싼 빵효모로 배양한 다음 n-3 HUFA의 함량을 높이기 위해서 빵효모에 어유를 첨가한 유지효모 (Watanabe et al., 1979; Lim and Hur, 1994), 유화오일 (Fernandez-Reiriz et al., 1993), 해양미세조류인 해산 *Chlorella* (Watanabe et al., 1983), *Nannochloropsis* (Lubzens et al., 1995), *Isochrysis*와 *Tetraselmis* (Reitan et al., 1993) 등으로 rotifer를 영양강화하여 n-3 HUFA를 개선시킨 후 해산 자어에 공급하고 있다.

또한 *Artemia*의 경우 산지나 연도에 따라 n-3 HUFA의 함량 차이가 많으며 부화후 어류자어에 공급했을 때 n-3 HUFA의 함량이 천연 copepoda의 일종인 *Acartia, Tigriopus* 등에 비하여 현저하게 낮아 자어의 성장 및 생존률에 많은 문제점이 되고 있다 (Park et al., 1998; Watanabe et al., 1978). 따라서 *Artemia*도 rotifer와 같은 방법으로 n-3 HUFA를 개선시킨 후 해산 자어에 공급하고 있다 (Rainuzzo et al., 1997).

현재 rotifer와 *Artemia*의 n-3 HUFA의 함량을 높이기 위해서 다양한 먹이를 개발하고 있으며, Nichols et al. (1996)은 먹이생물의 영양강화제로 세균을 이용할 때 식물플랑크톤보다 양질의 먹이생물을 생산할 수 있다고 보고하였으며 n-3 HUFA중 EPA를 많이 생산하는 균주를 분리하였다. 또한 rotifer 성장에 해양 광합성세균 (Erythrobacter sp. Sπ-1)을 이용한 결과, 해수산 *Chlorella*로 배양한 rotifer보다 성장과 n-3 HUFA의 함량이 높게 나타났다 (Lee et al., 1997).

이처럼 해양 광합성세균 (*Erythrobacter* sp. Sπ-1)을 이용하여 먹이생물의 n-3 HUFA의 함량을 개선시킬 수 있는 것으로 판단되어 *Erythrobacter* sp. Sπ-1을 공급한 rotifer와 *Artemia* nauplius를 찰가자미 (*Microstomus achne*) 자어를 대상으로 이들의 먹이효율을 조사하였다.

재료 및 방법

Rotifer 적용 실험

Rotifer 적용 실험에 이용된 찰가자미 자어는 국립수산진흥원 울진종묘배양장에서 인공채란한 난을 이용하였다. 각 실험수조는

50 ℓ 타원형 플라스틱 수조 (배양수 40 ℓ)에 부화직전의 난을 1,072 ± 21.7개를 수용하여 각 실험수조에서 부화시켰고 부화후 rotifer를 10~15개체/㎖ 공급하였다. 찰가자미 자어의 사육 수온은 11~12℃였고, 환수율은 15%로 하였다. 실험 11일째 무작위로 자어를 취하여 전장과 체폭을 측정하였다.

자어에게 먹이로 공급된 rotifer는 4 ton rotifer 배양수조에서 해양 광합성세균인 *Erythrobacter* sp. Sπ-1가 첨가된 ESP-SR (주식회사, 제은)를 공급한 실험구, 해수산 *Chlorella*를 공급한 실험구와 해수산 *Chlorella*로 배양한 후 Super Selco (Artemia System SA, USA)로 12시간 2차 영양강화시킨 Super Selco 실험구로 하였다. 각 실험구는 3회 반복하였다.

Artemia 적용 실험

Artemia 적용 실험은 부화 10일째인 찰가자미 자어 (전장 7.48 ± 0.53 mm, 체폭 1.59 ± 0.22 mm, 무게 1.23 ± 0.42 mg) 110마리를 50 ℓ 타원형 플라스틱 수조 (배양수 40 ℓ)에 수용하였고 *Artemia* napulius를 5개체/㎖ 공급하였다. 찰가자미 자어의 사육 수온은 11~13℃였고, 환수율은 15%로 하였다. 실험 15일째 무작위로 자어를 취하여 전장, 체폭, 전중을 측정하였다. *Artemia*는 *Artemia* cyst (Great Salt Lake, Utah, USA)를 28℃, 자연해수에서 24시간 부화시켰다. 또한 자어에게 먹이로 공급되기전 부화된 *Artemia* nauplius 300,000개체를 3 ℓ 비이커에 수용하여 해양 광합성세균 *Erythrobacter* sp. Sπ-1가 첨가된 ESP-A (주식회사, 제은), Super Selco, ω-yeast (주식회사, 이화유지), 해수산 *Chlorella*로 12시간 영양강화시킨 4개의 실험구와 영양강화를 하지 않은 대조구로 하였다. 영양강화제 공급량은 각 영양강화제의 건조중량 0.2 g을 공급하였고 각 실험구는 3회 반복하였다.

Rotifer, *Artemia* 및 찰가자미 자어의 지방산 분석

Rotifer와 *Artemia*의 지방산 분석은 자어에게 먹이로 공급되기 전에 수확하여 담수로 깨끗이 세척한 후 −75℃에 보관하였다. 또한 찰가자미 자어의 지방산 분석은 실험종료 후 살아있는 개체를 수집한 후 −75℃에 보관하였다. 냉동된 시료를 Bligh and Dyer (1955)의 방법에 따라 지질을 추출하였다. 지방산 methyl ester 유도체화는 AOAC법에 따라 시료 일정량과 내부표준물질 (C23:0 methyl ester) 1 ㎖ (1 mg C23:0)를 cap tube에 취하고, 0.5N NaOH-methanol 용액 1.5 ㎖를 가하여 질소 충진한 다음 100℃에서 3분간 가열하여 검화하였다. 방냉 후 12% BF_3-methanol 2 ㎖를 가하고 질소 충진한 다음 tube의 뚜껑을 단단히 죄어서 100℃에서 20분간 가열하여 methylester화 하였다. 약 30~40℃로 냉각한 후 isooctane 1 ㎖를 첨가하고 질소 충진한 다음 30초간 vortex mixer로 혼합하였다. 즉시 5 ㎖의 포화식염수를 가하고 질소 충진한 다음 흔들어 방치하여 isooctane층이 분리되도록 하였다. isooctane층을 시료병 (4 ㎖)에 옮긴 후 다시 isooctane 1 ㎖를 첨가한 다음 흔들어 재 추출하여 시료병에 모으고 이를 지방산 methyl ester 시료로 하였다.

지방산 분석에 사용하는 GLC는 Omegawax-320 (bonded polyglycol phase) open-tubular column (30 m×0.32 mm, i.d., SUPELCO, PA, USA)이 장치된 Shimadzu GC 14A를 이용하였다. 분석조건은 column온도 185℃~220℃ (3℃/min), injector온도 250℃, detector 온도 250℃ 그리고 carrier gas는 He (1.0 kg/cm²)을 사용하였다. 지방산의 분석은 동일조건에서 분석한 표준품의 ECL과 비교하여 동정하였으며, 지방산 표준품은 14:0, 16:0, 18:1, 18:2, 18:3, 20:0, 22:1, 24:0 (D-104 Doosan Serdary Research Lab., Kyungki-do, Korea)과 GC-MS로 동정된 menhaeden oil을 사용하였다.

먹이종류에 따라 rotifer와 *Artemia*를 공급한 찰가자미 자어의 성장, 생존률 및 자어의 지방산 조성에 대한 실험 결과는 one-way ANOVA-test를 실시하여 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 처리 평균간의 유의성 ($P<0.05$)을 SPSS (SPSS Inc., 1997) program (Ver. 7.5)으로 검정하였다.

결 과

먹이 종류에 따른 rotifer의 지방산 조성은 Table 1과 같다. 해수산 *Chlorella*로 배양한 후 Super Selco로 영양강화한 실험구와 해수산 *Chlorella*로 배양한 실험구에서 EPA 비율이 각각 22.48%, 23.49%로 높게 나타났다. 또한 해수산 *Chlorella*로 배양한 후 Super Selco로 영양강화한 실험구에서 DHA가 높게 나타났다. 그러나 해수산 *Chlorella*로 배양한 실험구에서는 DHA가 0.98%로 다른 실험구보다 매우 낮게 나타났다. n-3 HUFA의 비율은 해수산 Chlorella로 배양한 후 Super Selco로 영양강화한 실험구에서 41.67%로 가장 높게 나타났다.

먹이 종류에 따른 rotifer를 섭취한 찰가자미 자어의 성장과 생존률은 Table 2와 같다. 찰가자미 자어의 전장은 해수산 *Chlorella*로 배양한 후 Super Selco로 영양강화한 실험구에서 8.69 mm로

Table 1. Fatty acids composition (area %) of the rotifer fed on the different diets

Fatty acids	Diets		
	ESP-SR	Marine *Chlorella*	Super selco
14:0	2.53	4.15	2.70
16:0	12.23	14.46	9.59
16:1n-7	11.16	16.11	10.43
18:1n-9	17.19	2.46	2.12
18:0	4.75	2.82	7.15
18:1n-7	3.89	3.60	3.53
18:2n-6	8.69	3.05	4.47
18:3n-3	1.17	0.22	0.60
18:4n-3	0.38	0.21	0.55
20:1n-9	1.93	0.93	1.34
20:2n-6	0.47	0.23	0.35
20:3n-6	0.96	0.54	0.45
20:4n-6	1.58	2.88	2.18
20:3n-3	0.18	0.16	0.19
20:4n-3	0.86	0.71	1.23
20:5n-3 (EPA)	6.86	22.48	23.49
22:5n-6	0.51	0.00	0.25
22:6n-3 (DHA)	3.07	0.90	9.86
n-3 HUFA*	14.65	31.19	41.67

*HUFA, highly unsaturated fatty acid (C≥20).

높게 나타났지만 ESP-SR로 배양한 실험구와는 유의적인 차이는 보이지 않았다. 그러나 찰가자미 자어의 체폭과 생존률에 있어서는 먹이 종류에 따른 유의적인 차이는 보이지 않았다.

먹이 종류에 따른 rotifer를 섭취한 찰가자미 자어의 지방산 비율은 Table 3과 같다. 먹이종류에 따른 EPA와 n-3 HUFA의 비율은 각각 7.2~9.9%, 17.3~18.5%로 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 그러나 Super Selco와 ESP-SR에서의 DHA 비율은 5.7%로 비슷하게 나타났지만 해수산 *Chlorella*는 매우 낮게 나타났다 ($P<0.05$).

영양강화제에 따른 *Artemia*의 지방산 조성은 Table 4와 같다. ESP-A로 영양강화한 *Artemia*가 EPA, DHA 및 n-3 HUFA의 비율이 다른 실험구보다 매우 높게 나타났다. 그러나 해수산 *Chlorella*로 영양강화한 *Artemia*와 영양강화를 하지 않은 *Artemia*는 EPA, DHA 및 n-3 HUFA의 비율에 있어서 낮은 경향을 보였다.

영양강화제에 따른 *Artemia*를 공급한 찰가자미 자어의 성장과 생존률은 Table 5와 같다. 찰가자미 자어의 전장은 실험구에 따른 차이는 나타나지 않았다. 그러나 체폭은 ESP-A를 공급한 실험구에서 3.25 mm로 가장 높게 나타났지만 Super Selco를 공급한 실험구 2.81 mm와는 차이가 없었다. 영양강화를 하지 않은 *Artemia* 실험구가 가장 낮은 2.25 mm로 나타났지만 유지효모와 해수산 *Chlorella*로 영양강화한 *Artemia* 실험구와는 유의적인 차이는 보이지 않았다. 또한 전중은 ESP-A를 영양강화한 *Artemia* 실험구에서 56 mg으로 높게 나타났지만 영양강화를 하지 않은 *Artemia* 실험구를 제외하고는 유의적인 차이는 보이지 않았다. 생존률에 있어서는 ESP-A 실험구에서 가장 높은 33%를 보였지만 유지효모와 Super Selco 실험구와는 차이가 없었다. 또한 영양강화를 하지 않은 *Artemia* 실험구가 가장 낮은 6.0%로 나타났지만 해수산 *Chlorella* 실험구 (10.0%)와는 차이가 없었다.

Table 2. Growth and survival of the slime flounder larvae, *Microstomus achne*, fed on rotifer enriched with the different diets

Diets	Total length (mm)	Body width (mm)	Survival rate (%)
ESP-SR	8.47 ± 0.123^{ab}	2.12 ± 0.056^{a}	48.0 ± 3.87^{a}
Marine Chlorella	7.55 ± 0.124^{a}	2.27 ± 0.302^{a}	42.8 ± 2.32^{a}
Super Selco	8.69 ± 0.202^{b}	2.06 ± 0.144^{a}	32.2 ± 10.84^{a}

Values (mean ± s.e. of three replication) in the same column not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$).

Table 3. Fatty acid compositions (area %) of the slime flounder larvae, *Microstomus achne*, fed on rotifer enriched with the different diets

Fatty acids	Diets		
	ESP-SR	Marine *Chlorella*	Super Selco
EPA	7.2 ± 1.10^{a}	9.7 ± 0.44^{a}	9.9 ± 0.74^{a}
DHA	5.7 ± 1.25^{b}	2.6 ± 0.06^{a}	5.7 ± 0.89^{b}
n-3 HUFA*	17.3 ± 3.02^{a}	17.3 ± 0.71^{a}	18.5 ± 2.64^{a}

Values (mean ± s.e. of three replication) in the same column not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$)
*HUFA, highly unsaturated fatty acid (C≥20).

영양강화제 종류에 따른 *Artemia*를 공급한 찰가자미 자어의 지방산 비율은 Table 6과 같다. ESP-A를 공급한 자어의 경우 다른 먹이로 영양강화한 자어보다 EPA (22.4%), DHA (19.8%) 및 n-3 HUFA (48.8%)가 가장 높게 나타났다.

고 찰

해산어류 자어의 영양원인 필수지방산중에 관한 연구에서 EPA 및 DHA와 같은 n-3 HUFA의 함량은 해산자어의 정상적인 성장과 생존률에 많은 영향을 미친다. (Watanabe et al., 1983; Watanabe, 1993). 따라서 해산자어의 정상적인 성장과 생존률을 얻기 위해서는 자어에게 공급되는 초기 먹이생물인 rotifer와 *Artemia*의 n-3 HUFA의 함량을 높여야 한다 (Watanabe et al., 1983). 그러

Table 4. Fatty acid compositions (area %) of the *Artemia* fed with the different enrichments

Fatty acids	Enrichments				
	Control[2]	ESP-A	Super Selco	ω-yeast	Marine *Chlorella*
14:0	0.88	0.99	0.71	0.66	0.70
16:0	12.50	8.45	8.78	12.47	12.85
16:1n-7	4.55	2.84	2.80	0.00	1.52
18:0	4.94	4.20	5.50	5.74	5.99
18:1n-9	15.61	11.94	16.35	16.09	10.40
18:1n-7	5.54	4.52	4.82	6.54	2.83
18:2n-6	5.69	4.52	5.22	5.30	5.49
18:3n-3	28.65	14.44	24.62	26.53	27.41
18:4n-3	4.19	2.46	3.72	4.01	3.97
20:1n-9	0.44	1.45	0.80	0.95	0.52
20:2n-6	0.15	0.26	0.22	0.21	0.20
20:3n-6	0.16	0.19	0.22	0.21	0.20
20:4n-6	1.37	1.46	1.60	1.59	1.60
20:3n-3	0.48	0.40	0.52	0.57	0.57
20:4n-3	0.46	0.81	0.58	0.49	0.00
20:5n-3 (EPA)	0.17	14.02	5.79	1.19	0.77
22:5n-6	0.00	0.44	0.12	0.00	0.00
22:6n-3 (DHA)	0.06	11.91	2.95	0.90	0.22
n-3 HUFA[1]	1.17	30.61	10.04	3.16	1.55

[1]HUFA, highly unsaturated fatty acid (C≥20).
[2]Control, without enrichment

Table 5. Growth and survival of the slime flounder larvae, *Microstomus achne*, fed on *Artemia* enriched with the different enrichments

Enrichments	Total length (mm)	Body width (mm)	Body weight (mg)	Survival rate (%)
Control*	8.81 ± 0.365^{a}	2.25 ± 0.305^{a}	30 ± 7.0^{a}	6.0 ± 2.89^{a}
ESP-A	10.14 ± 0.469^{a}	3.25 ± 0.063^{c}	56 ± 3.0^{b}	33.0 ± 5.56^{b}
Super Selco	9.80 ± 0.319^{a}	2.81 ± 0.143^{bc}	47 ± 6.6^{b}	20.6 ± 1.50^{ab}
ω-yeast	9.84 ± 0.187^{a}	2.63 ± 0.069^{ab}	42 ± 8.0^{ab}	24.8 ± 9.44^{ab}
Marine *Chlorella*	9.90 ± 0.248^{a}	2.56 ± 0.112^{ab}	43 ± 4.0^{ab}	10.0 ± 5.77^{a}

Values (mean ± s.e. of three replication) in the same column not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$).
*Control, without enrichment

Table 6. Fatty acid compositions (% area) of the slime flounder larvae, Microstomus achne, fed on Artemia enriched with the different enrichments

Fatty acids	Enrichments				
	Control[2]	ESP-A	Superselco	ω-yeast	Marine *Chlorella*
EPA	0.25	22.4 ± 1.03[b]	2.9 ± 0.44[a]	1.9 ± 1.01[a]	1.4 ± 0.69[a]
DHA	1.25	19.8 ± 0.94[b]	1.8 ± 0.20[a]	1.3 ± 0.45[a]	1.2 ± 0.61[a]
n-3 HUFA[1]	7.43	48.8 ± 2.21[b]	12.3 ± 0.74[a]	9.7 ± 1.05[a]	10.0 ± 3.03[a]

Values (mean ± s.e. of three replication) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).
[1]HUFA, highly unsaturated fatty acid (C≥20).
[2]Control, without enrichment and no replication.

나 먹이생물인 rotifer와 *Artemia*의 n-3 HUFA의 함량은 이들 먹이생물에 공급되는 먹이의 n-3 HUFA의 함량에 따라서 차이가 나기 때문에 (Rainuzzo et al., 1989), 여러 종류의 영양강화제를 이용하여 n-3 HUFA를 개선시킨 후 자어의 먹이로 공급하였다.

본 연구에서 영양강화제에 따른 rotifer와 *Artemia*의 n-3 HUFA의 비율이 높을수록 찰가지미 자어의 성장과 생존률은 높게 나타나는 경향을 보였다. 그러나 ESP-SR를 공급한 rotifer의 경우 n-3 HUFA의 비율은 해수산 *Chlorella*보다 낮았고 자어의 생존률은 큰 차이를 보이지 않았지만 성장은 높게 나타났다 (Table 2). 이와같은 결과는 냉수성 자어가 n-3 HUFA중 EPA보다 DHA를 더 많이 요구하는데 기인할 수 있다 (Olsen, 1997). 또한 Watanabe (1993)는 해산어류 자어는 어종에 따라서 DHA의 함량에 차이가 있으며 특히 냉수성 어류가 온수성 어류보다 자어 자체 내의 DHA가 높다고 보고하였다. 그러나 DHA의 함량은 자어가 부화후 사육일수가 지날수록 자어 내의 DHA는 급격히 감소한다 (Watanabe, 1993). 따라서 냉수성 어종의 DHA 비율이 높게 나타나기 때문에 이들의 DHA 요구량도 높게 나타날 것으로 판단된다.

따라서 본 연구의 실험대상인 찰가자미 자어는 냉수성 어류로써 DHA 비율이 높은 ESP-SR와 Super Selco로 배양한 rotifer를 섭취한 자어가 DHA 비율이 낮은 해수산 *Chlorella*로 배양한 rotifer를 섭취한 자어보다 자어 체내의 DHA의 비율이 높게 나타났기 때문에 성장이 높게 나타난 것으로 판단된다.

Watanabe et al. (1983)의 경우, 해수산 *Chlorella*로 배양한 rotifer는 n-3 HUFA의 비율을 증가시킬 수 있는 좋은 먹이이지만 본 실험의 냉수성 어종인 찰가지미 자어를 대상으로 한 결과 rotifer나 *Artemia*의 DHA가 낮기 때문에 부적절하다고 판단된다. 또한 Fernandez-Reiriz (1993)은 Super Selco가 rotifer의 EPA와 DHA의 비율을 높이는 좋은 영양강화제라고 보고하였는데 본 연구결과 rotifer는 높게 나타났만 *Artemia*는 rotifer만큼 EPA와 DHA의 비율은 증가되지 않았다. 그리고 ESP-A를 공급한 *Artemia*의 경우 EPA와 DHA는 높게 나타났는데 ESP-SR을 공급한 rotifer는 *Artemia*만큼 높지 않았다. 이와같은 결과는 먹이의 형태와 이것을 섭취하는 생물에 따라서 n-3 HUFA를 합성하는 차이인 것으로 생각되며 앞으로 이에 대한 구체적인 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다 (Dhert et al., 1993).

Nichols et al. (1996)과 Watanabe et al. (1992)은 rotifer의 영양강화를 위해서 세균을 이용하였는데, 이들 종은 EPA는 많이 생산되지만 DHA는 매우 낮게 나타났다고 보고 하였다. 그러나 본 실험에서 광합성 세균인 *Erythrobacter* sp. Sπ-1가 첨가된 ESP-SR의 경우 Lee et al. (1997)의 연구처럼 rotifer의 DHA 비율이 해수산 *Chlorella*보다 비교적 높게 나타났다. 특히 광합성 세균인 *Erythrobacter* sp. Sπ-1가 첨가된 ESP-A의 경우 *Artemia*에서는 다른 먹이보다 EPA와 DHA의 비율이 매우 높게 나타났다. 따라서 광합성 세균인 *Erythrobacter* sp. Sπ-1를 첨가한 ESP-SR, ESP-A를 이용한 rotifer와 *Artemia*의 영양개선 효과는 다른 종류의 영양강화제보다 더 효과적인 것으로 판단된다.

한편, ESP-SR를 공급한 rotifer의 DHA 비율이 3.07%였으나 Super Selco를 공급한 rotifer의 DHA는 9.86%로서 거의 3배나 높은 DHA의 조성을 가졌는데도 불구하고 (Table 1), 이들을 섭취한 찰가자미 자어에서는 양쪽 모두 DHA의 비율이 5.7%로 동일하게 나타났다 (Table 3). 이것은 지금까지 먹이생물의 영양가 평가를 위하여 단순한 분석결과에 의한 먹이생물 중의 DHA 값이 먹이생물의 영양가를 그대로 반영하는 것이 아니라 먹이생물에 존재하는 지질의 형태에 따라서 달라질 수 있음을 나타낸다. 즉, 먹이생물 조직에 존재하는 트리글세라이드 형태의 축적지질이냐, 외부에 단순히 부착된 것이냐, 또한 영양강화시에 사용된 지질이 트리글리세라이드, 디글리세라이드, 모노글리세라이드, 유리지방산의 에스테르 형태 등의 지질의 형태에 따라서 먹이생물의 체내에 축적되는 DHA의 함량에 영향을 미칠수 있는 결과를 나타내었기에 앞으로 먹이생물의 영양강화시에 공급되는 지질의 형태에 따른 연구가 선행되어야 하며, 이러한 결과에 따라 영양강화 방식 및 재료의 개선이 필요할 것으로 판단된다.

Rotifer를 ESP-SR로 배양하면서 어류 자어에 공급한 결과, 2차 영양강화를 하는 Super Selco와 비교할 때 영양강화를 하지 않고 바로 먹이로 공급하여도 큰 영향은 없을 것으로 판단되어 먹이생물 공급관리 측면에서 매우 편리할 것으로 생각된다. 이러한 먹이생물 공급관리 측면에서 유지효모도 가능하지만, 유지효모로 rotifer를 배양하면 해수산 *Chlorella*보다 배양수의 수질저하를 초래하여 rotifer의 생산을 불안정하게 하는 원인이 될 수 있다 (Watanabe et al., 1979, Lim and Hur, 1994).

본 연구의 결과를 종합해 보면, 광합성세균 *Erythrobacter* sp. Sπ-1가 첨가된 ESP-SR과 ESP-A를 먹이생물인 rotifer와 *Artemia*에 공급할 경우 n-3 HUFA를 개선시켜 이들을 섭취한 찰가자미 자어의 성장과 생존률을 높게할 수 있는 좋은 먹이라고 판단된다.

요 약

찰가자미 (*Microstomus achne*) 자어를 대상으로 해양세균 (*Erythrobacter* sp. Sπ-1)을 공급한 rotifer와 *Artemia*의 영양개선효과를 Super Selco, 유지효모, 해수산 *Chlorella*와 비교조사하였다. 해양세균이 포함된 EPS-SR과 Super Selco를 공급한 rotifer에서 지방산중 DHA의 비율이 해수산 *Chlorella*를 공급한 rotifer보다 높았고, 그 결과 이들을 섭취한 자어의 성장이 높게 나타났다. 또한 해양세균이 포함된 EPS-A를 공급한 *Artemia*는 DHA와 n-3 HUFA의 비율이 다른 영양강화제와 영양강화제를 공급하지 않은

*Artemia*보다 높았다. 따라서 ESP-A를 공급한 자어의 성장과 생존률이 다른 영양강화제와 영양강화제를 공급하지않은 자어보다 높게 나타났다. 해양세균 *Erythrobacter* sp. S*π*-1의 먹이효율적인 측면에서 찰가자미 자어를 대상으로 할 때 먹이생물의 영양을 개선시킬 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

Bligh, E.G. and W.J. Dyer. 1955. A rapid method of total lipid extraction and purification. Can. J. Biochem. Physiol., 37, 911~917.

Dhert, P., P. Sorgeloos and B. Devresse. 1993. Contribution towards a specific DHA enrichment in the live food *Brachionus plicatilis* and *Artemia* sp. In *Proceeding from the international conference on fish farming technology*, Reinertsen, H., A. Dahle, L. Jorgensen and K. Tvinnereim eds. Balkema, Rotterdam, pp. 109~115.

Duncan, D.B. 1955. Mutilple-range and multiple F tests. Biometrics, 11, 1~42.

Fernandez-Reiriz, M.J., U. Labarta and M.J. Ferreiro. 1993. Effects of commercial enrichment diets on the nutritional value of the rotifer (*Brachionus plicatilis*). Aquaculture, 112, 195~206.

Lee, W.J., Y.S. Park, Y.T. Park, S.J. Kim and K.Y. Kim. 1997. 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*π*-I. J. Korean Fish. Soc., 30 (3), 319~328.

Lim, Y.S. and S.B. Hur. 1994. Efficiency of enriched rotifer and *Artemia* nauplius for the seedling production of flounder, *Paralichthys olivaceus*. J. Aquaculture, 7 (4), 225~237.

Lubzens E., O. Gibson, O. Zmora and A. Sukenik. 1995. Potential advantages of frozen algae (*Nannochloropsis* sp.) for rotifer (*Barchionus plicatilis*) culture. Aquaculture, 133, 295~309.

Nichols, D.S., P. Hart, P.D. Nichols and T.A. McMeekin. 1996. Enrichment of the rotifer *Brachionus plicatilis* fed and Antarctic bacterium containing polyunsaturated fatty acids. Aquaculture, 147, 115~125.

Olsen, Y. 1997. Larval-rearing technology of marine species in Norway. Hydrobiologia, 358, 27~36.

Park, H.G., S.H. Hur and C.W. Kim. 1998. Culturing method and dietary value of benthic copepod, *Tigriopus japonicus*. J. Aquaculture, 11 (2), 261~269.

Rainuzzo, J.R., K.I. Retain and Y. Olsen. 1997. The significance of lipids at early stages of marine fish: a review. Aquaculture, 155, 103~115.

Rainuzzo, J.R., Y. Olsen and G. Rosenlund. 1989. The effect of enrichment diets on the fatty acid composition of the rotifer *Brachionus plicatilis*. Aquaculture, 79, 157~161.

Reitan, K.I., J.R. Rainuzzo, G. ϕie and Y. Olsen. 1993. Nutritional effects of algal addition in first-feeding of turbot (*Scophthalmus maximus* L.) larvae. Aquaculture, 118, 257~275.

SPSS Inc. 1997. SPSS Base 7.5 for Window, SPSS Inc., 444N. Michigan Avenue, Chicago, IL, 60611.

Watanabe, T. 1993. Importance of docosahexaenoic acid in marine larval fish. J. World Aquacul. Soc., 24 (2), 152~161.

Watanabe, T., C.K. Kitajima and S. Fujita. 1983. Nutritional values of live organisms used in Japan for mass propagation of fish: a review. Aquaculture, 34, 115~143.

Watanabe, T., F. Oowa, C. Kitajima and S. Fujita. 1978. Nutritional quality of brine shrimp, *Artemia salina*, as a living feed from the viewpoint of essentional fatty acids for fish. Nippon Suisan Gakkashi, 44, 1115~1121.

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 ω3 highly unsaturated fatty acids. Nippon Suisan Gakkashi, 45, 883~889.

Watamabe, K., K. Sezaki, K. Yazawa and A. Hino. 1992. Nurtitive fortification of the rotifer *Brachionus plicatilis* with eicosapentaenoic acid-producing bacteria. Nippon Suisan Gakkashi, 58, 271~276.

1999년 8월 21일 접수
1999년 11월 23일 수리