

물벼룩 *Moina macrocopa* 급이가 은어 *Plecoglossus altivelis* 자어의 성장에 미치는 영향

최병대 · 최영준 · 손의정¹ · 박경대² · 강석중*
 경상대학교 해양생명과학부/해양산업연구소, ¹남해군청, ²경상남도 수산자원연구소

Growth of Larval Sweetfish *Plecoglossus altivelis* Fed *Moina macrocopa*

Byeong-Dae CHOI, Young-Jun CHOI, Eui-Jeong SHON¹, Kyung-Dae PARK² and Seok-Joong KANG*

Division of Marine Life Science/Institute of Marine Industry, Gyeongsang National University, Tongyeong 650-160, Korea

¹Fisheries Production Division, Namhae County Office, Namhae-Gun 668-801, Korea

²Fisheries Resources Research Institute, Gyeongnam Provincial Government, Tongyeong 650-940, Korea

The effect of live food and commercial diet on sweetfish *Plecoglossus altivelis* culture was assessed by determining the daily growth rate and feed conversion ratio. After feeding for 8 weeks, the *Moina macrocopa* diet resulted in a higher growth rate of 5.101 compared to commercial (3.441) and *Artemia* (2.729) diets. In addition, fish fed the *M. macrocopa* diet had the weight gain, averaging 41.29 g at the end of the experiment. The content of n-3 highly unsaturated fatty acids (HUFA) was highest in the commercial diet, while free fatty acids were not detected in the *M. macrocopa* diet. Triglycerides, the energy source in fishes, constituted 40.0% of the *M. macrocopa* diet, which was significantly higher than in the commercial and *Artemia* diets at 20.0 and 12.0%, respectively. These results indicate that freshwater *M. macrocopa* can be used as feed for sweetfish larvae, even without docosahexaenoic acid (DHA) enrichment from *Artemia*.

Key words: *Plecoglossus altivelis*, *Moina macrocopa*, *Artemia*, Sweetfish larvae, n-3 HUFA, Lipid classes

서 론

오늘날 해산어 양식 산업이 고부가가치 산업으로서 인정을 받게 된 것은 친어확보 및 양성기술, 친어 성숙유도 및 양질의 수정란 대량생산 그리고 종묘생산 등의 기술이 확립되었기 때문이다(Hirayama, 1985; Yamasaki et al., 1987; Kitajima, 1983). 자어의 생존율을 획기적으로 향상시켜 대량의 인공종묘생산을 가능하게 한 기술은 해산어의 부화초기 자어가 먹을 수 있는 먹이생물로서 rotifer가 개발되었기 때문에 가능한 일이었다(Fujita, 1973). 그동안 rotifer에 대한 연구가 체계적으로 이루어져서 20,000개체/mL 이상의 초고밀도 배양이 가능하게 된 것이 오늘날과 같은 양식 산업의 번영을 가져오게 되었다(Yoshimura et al., 1996).

먹이생물 중 *Chlorella*, rotifer, *Artemia*는 필수적인 것이고 이들 중 *Chlorella*, rotifer는 배양하여 먹이로 활용하는 데는 별 문제가 없으나, *Artemia*는 환경에 따라 생산량에 큰 변화를 가져오므로 자국의 종묘생산용을 제외하고는 수출용 *Artemia*는 제한하려는 시도가 있어 대체먹이생물의 개발이 시급한 실정이다(Kim et al., 1999). 현재까지 대상 먹이생물로는

copepoda와 물벼룩에 관하여 관심이 높아지고 있으나(Kitajima, 1973), 배양상의 어려움 때문에 단위생식을 하는 물벼룩 대량배양을 시도하고 있다(Choi et al., 1999).

은어 *Plecoglossus altivelis*는 산란시기에 큰 하천이나 강의 중류까지 거슬러 올라오나, 하천 수질의 오염과 댐의 축조에 의한 하천 차단 등으로 어업 생산량은 감소하고 있는 반면 독특한 향과 맛 때문에 양식생산량은 증가하고 있는 추세이다(Park et al., 1993). 종묘생산 기술이 확립되어 있는 은어는 양식 종으로 가치가 매우 높아 사료영양에 관한 많은 연구가 이루어졌다(Kim and Hur, 1994; Lee and Kim, 1999; Lee et al., 2000). 은어 자어의 초기 먹이생물로 해수산 Rotifer *Brachionus plicatilis*와 *Artemia*가 주로 이용되고 있으나, 배양수의 염분조절을 위한 다량의 해수공급이 요구되기 때문에 내륙지역에서는 많은 불편함과 양식경영의 경비를 높이는 원인이 되기도 한다.

종묘 생산되는 어종 중에서 은어는 먹이생물을 장기간 공급받아야 하는 어종으로 알려져 있다. 어류의 식성의 변화는 자치어기의 소화흡수체계에서 성어의 소화흡수체계로 이행하는 시기를 위선의 분화시기를 기준으로 하고 있다. 대부분의 해산어류(넙치, 참돔, 우럭)가 15일 전후인데 반하여 은어

*Corresponding author: sjkang@gnu.ac.kr

의 경우는 70일 정도이다 (Rust, 2002). 그러나 먹이생물로 공급되는 *Artemia*는 고가이고 정상적인 성장과 발달을 위해 필요한 EPA (eicosapentaenoic acid, 20:5n-3)와 DHA (docosahexaenoic acid, 22:6n-3) 같은 필수지방산인 n-3 HUFA (highly unsaturated fatty acid) 함량도 부족하기 때문에 장기간의 공급은 곤란하다. 그래서 양식어기에서는 조기에 인공배합사료로 전환하려고 하나 인공배합사료의 특성상 소화흡수율에 문제가 발생하여 기형의 발생율이 높아지는 어려움을 겪고 있다. 따라서 본 실험에서는 n-3 HUFA 함량이 높은 물벼룩의 대량 공급방법을 확립하고 이를 이용하여 건강한 은어의 종묘생산에 적용하였다.

재료 및 방법

물벼룩 우점종 선정 실험결과에서 생산성이 가장 높은 *Moina macrocopa* 종을 선정하여 대량배양을 실시하였다. 수온은 28.0-30.0°C, pH는 6.5-7.5, 전도도는 1.0 이하로 유지하였다. 이 때 seed culture를 위한 수조는 30 L 투명원형아크릴수조를 사용하였고, 대량배양을 위해서 온도자동조절장치, 먹이자동공급기기, pH 자동조절장치, 전도도자동조절장치, 자동산소공급기가 부착된 직경 1.6 m, 높이 1 m의 수량 1 ton FRP 원형탱크를 사용하였다.

사육실험에 사용된 실험어는 경상남도 수산자원연구소에서 rotifer로서 사육중인 체장 2.4 cm 정도 되는 은어 자어를 실험실로 옮겨 해수상태에서 사육하였다. 실험구는 배합사료, *Moina macrocopa*, *Artemia*로 하고, 각 구당 3 반복구로 하여 100마리씩 수용하고 8주간 사육하였다. 사육장치는 유수식 장치로서 지속적인 여과해수의 첨가에 의하여 배설물이 즉시 사육조 밖으로 유출될 수 있도록 하였으며, 사육수조의 크기는 88 cm×43 cm×44 cm의 사각수조에 수량은 140 L, 주수량은 5 L/min이고, 용존 산소는 7 ppm 전후로 하였다.

실험어의 지질은 Bligh and Dyer (1959) 방법에 의하여 추출하고, 지방산의 조성은 methylester 유도체를 조제하여 Omega-

wax-320 칼럼이 부착된 GC (Shimadzu 14A, Kyoto, Japan)를 이용하였다 (AOCS, 1990). 지질 class는 Iatroscan (TH-10, Iatron Lab. Inc., Tokyo, Japan)을 이용하여 Kang et al. (1996) 방법으로 분석하였다.

모든 자료는 3회 반복 실험하여 mean±SD로 나타내었고, JMP (2002) Statistical Discovery Software™ version 5 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)를 이용하여 Tukey-Kramer HSD test로 통계처리 하였다 (p<0.05).

결과 및 고찰

은어 자어에 인공배합사료인 상품사료, *Moina*, *Artemia*를 8주간 급여하고 각 실험구별 성장실험 결과를 Table 1 및 Fig. 1에 각각 나타내었다. 전 사육기간을 통하여 상품사료 실험구는 평균체중 40.8 mg이던 것이 8주 후에는 243.0 mg으로 성장하였고, 사료계수는 2.01-2.39 범위였으며, 일일성장율은 3.023-3.441%로 사료 투여기간별 유의한 차이는 없었다 (p<0.05). *Moina* 실험구는 평균체중 40.8 mg이던 것이 8주 후 809.0 mg으로 가장 빠른 성장을 나타내었다. 이때의 사료계수는 10.09-10.26%였으며, 일일성장율은 5.101-5.539%로 최대치를 나타내었다 (p<0.05). *Artemia* 실험구는 8주 후 189.0 mg으로 성장하였고, 사료계수는 20.22-20.80%였고, 일일성장율은 2.695-2.797이었다. *Artemia* 급여구의 사료계수가 높은 것은 해수에 살아있는 시간이 *Moina* 급여구보다 길어 먹이섭취가 쉬웠던 것으로 추정되었다. 3종류의 먹이에 있어서 *Moina* 급여구가 가장 빠른 성장을 나타내어 급여 2주 후에는 일일성장률이 5.539에서 8주 후 5.101이었지만 급격한 체중증가를 보였고 (Fig. 1), 같은 생사료 급여구인 *Artemia*는 2.695로 성장률이 저조하여 기존의 배합사료 급여구의 3.126보다 낮은 성장률을 나타내어 두 실험구 사이에 유의한 차이는 없었다 (p<0.05). *Moina* 실험구에서 소화관이나 체형에서 있어서 기존의 *Artemia* 실험구보다 우수한 성장을 보였으므로 물벼룩을 이용한 은어 자어 종묘생산이 가능한 것으로 나타났다.

Table 1. Growth rate on sweetfish *Plecoglossus altivelis* fed on experimental diets for 8 week

Treatment	Week	Stocking (mg)			Yield (mg)			Gain (mg)	Feed intake (g)	FCR ¹	DGR ² (%)
		Weight	No.	Mean	Weight	No.	Mean				
Commercial diet	2	4,080	100	40.8	6,320	100	63.2	2,240	4.5	2.01	3.126
	4	6,320	100	63.2	9,650	100	96.5	3,330	8.0	2.39	3.023
	6	9,650	100	96.5	15,010	100	150.1	5,360	11.7	2.18	3.155
	8	15,010	100	150.1	24,300	100	243.0	9,290	19.9	2.14	3.441
<i>Moina</i>	2	4,080	100	40.8	8,860	100	88.6	4,780	48.2	10.09	5.539
	4	8,860	100	88.6	18,960	100	189.6	10,100	103.6	10.26	5.434
	6	18,960	100	189.6	39,610	100	396.1	20,650	209.8	10.16	5.263
	8	39,610	100	396.1	80,900	100	809.0	41,290	432.6	10.26	5.101
<i>Artemia</i>	2	4,080	100	40.8	5,950	100	59.5	1,870	37.8	20.22	2.695
	4	5,950	100	59.5	8,720	100	87.2	2,770	56.5	20.38	2.730
	6	8,720	100	87.2	12,900	100	129.0	4,180	86.9	20.80	2.797
	8	12,900	100	129.0	18,900	100	189.0	6,000	122.9	20.49	2.729

¹FCR, feed conversion ratio=feed consumed (g)/weight gain (g).

²DGR, daily growth rate (%/day)=100×[(Final weight/Initial weight)/day].

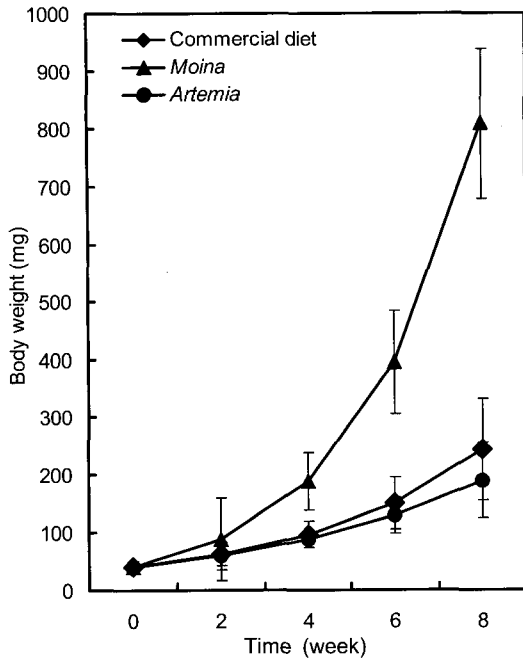


Fig. 1. Growth rate of sweetfish *Plecoglossus altivelis* fed on experimental diets for 8 week. Vertical bars indicate mean±SD.

먹이생물의 지질함량은 매우 중요하며 이들을 구성하는 지방산의 종류와 중성 및 인지질 조성도 먹이의 가치를 결정하는 중요한 인자가 된다. 실험에 사용된 상품사료, *Moina*, *Artemia* 급여구의 지방산 조성은 Table 2에 지질의 조성은 Fig. 2에 각각 나타내었다. 실험구의 지방산 조성을 보면 총지방산 중에서 함량이 높은 지방산은 C16:0 및 C18:1n-9로 상품사료, *Moina*, *Artemia*에서 각각 16.4%, 16.3%, 15.7% 및 14.8%, 17.1%, 14.8%로 나타났고, n-6 계열에서는 C18:2n-6 및 C20:4n-6가 각각 2.9%, 4.2%, 3.3% 및 1.8%, 1.4%, 3.4%로 함량이 낮았다. Lee et al. (2004)에 의하면 서로 다른 염분농도에서 영양 강화된 rotifer를 급여한 결과 은어 자어의 성장에 있어 n-3 HUFA를 요구한다고 하였고, Watanabe (1993)도 DHA로 영양 강화된 먹이를 자어에 공급하면 성공적인 변태와 성장을 유지한다고 하였다. 따라서 실험구의 n-3계열에서의 C20:5n-3, C22:6n-3 함량을 살펴보면, 배합사료, *Moina*, *Artemia* 급여구에서 각각 10.4%, 7.9%, 6.3% 및 18.9%, 14.0%, 11.4%였으며, 총 n-3 HUFA 함량은 각각 32.3%, 25.1%, 21.4%로 *Artemia* 보다는 *Moina* 급여구가 높은 값을 보였다. 상품사료구의 경우 n-3 HUFA 함량은 높았지만 성장도로 미루어볼 때 소화율이 낮아 흡수되는 지질의 량도 낮은 것으로 판단된다.

지질의 classes 조성을 보면 PL의 함량은 실험구 모두에서 50% 이상으로 나타났고 ($p < 0.05$), CHOL의 함량도 10% 전후로 낮은 편이었다. 그러나 어류의 에너지원이 되는 TG 함량은 *Moina*가 가장 높아 성장률이 가장 높았던 것과 밀접한 관계가 있음을 보여주고 있다 ($p < 0.05$). 그리고 FFA가 검출되지 않았

Table 2. Fatty acid compositions (area %) of sweetfish *Plecoglossus altivelis* fed on experimental diets¹

Fatty acids	Commercial diet	Moina	Artemia
14:0	2.4±0.1	2.9±0.1	1.7±0.1
16:0	16.4±0.1	16.3±0.8	15.7±0.0
16:1n-7	5.1±0.3	7.2±1.1	5.8±0.1
18:0	4.1±0.5	3.8±0.0	5.6±0.2
18:1n-9	14.8±1.0	17.1±1.2	14.8±1.1
18:1n-7	4.8±0.5	4.7±0.4	7.2±1.1
18:2n-6	2.9±0.1	4.2±0.0	3.3±0.1
18:3n-3	1.2±0.1	1.2±0.0	8.2±0.3
18:4n-3	1.0±0.0	0.9±0.0	1.4±0.2
20:1n-9	1.5±0.1	1.7±0.2	0.9±0.2
20:2n-6	0.2±0.0	0.3±0.0	0.2±0.0
20:3n-6	0.1±0.0	0.2±0.0	0.3±0.1
20:4n-6	1.8±0.3	1.4±0.1	3.4±0.2
20:3n-3	0.2±0.0	0.2±0.0	0.4±0.0
20:4n-3	0.5±0.1	0.6±0.0	0.9±0.1
20:5n-3	10.4±0.8	7.9±1.0	6.3±0.3
22:4n-6	0.2±0.0	0.1±0.0	0.2±0.1
22:5n-6	0.3±0.0	0.3±0.0	0.2±0.0
22:6n-3	18.9±0.9	14.0±1.0	11.4±0.3
Σn-3 HUFA2	32.3	25.1	21.4

¹Results are mean±SD of three replicates.

²Highly unsaturated fatty acid (above 20 carbon fatty acid).

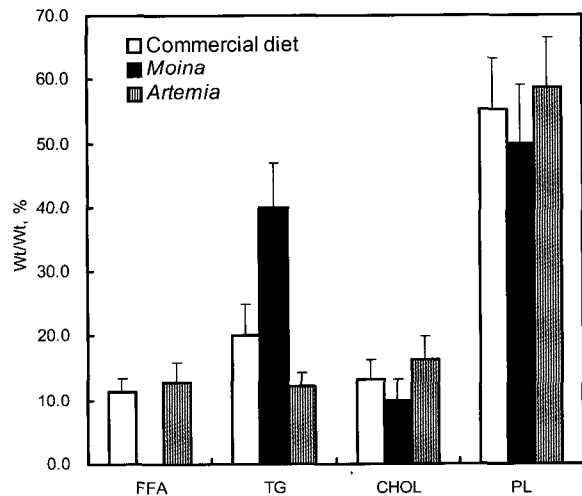


Fig. 2. Lipid classes comparison of sweetfish *Plecoglossus altivelis* fed on experimental diets. FFA, free fatty acids; TG, triglycerides; CHOL, cholesterol; PL; phospholipids. Vertical bars indicate mean±SD.

던 것으로 미루어볼 때 사료의 제조나 영양강화 과정에서 산화생성물이 적게 형성되어 Fig. 1의 결과에 영향을 미친 것으로 생각된다.

사 사

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구비 (과제번호: R01-2000-000-00216-0)의 지원으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- AOCS. 1990. AOCS official method Ce 1b-89. In: Official Methods and Recommended Practice of the AOCS. 4th ed., AOCS, Champaign, IL, USA.
- Bligh, E.G. and W.T. Dyer. 1959. A rapid method of lipid extraction and purification. *Can. J. Biochem. Physiol.*, 37, 991-917.
- Choi, B.D., S.J. Kang and K.Y. Kim. 1999. Mass production and nutritional value of *Moina macrocopa* in a various culture condition for *Artemia* substitution. The Third Asia-Pacific Marine Biotechnology Conference. Philippines, O-2.
- Fujita, S. 1973. Importance of zooplankton mass culture in producing marine fish seed for fish farming. *Bull. Plank. Soc. Jap.*, 20, 49-53.
- Hirayama, K. 1985. Biological aspects of the rotifer *Brachionus plicatilis* as a food organism for mass culture of seeding. *Coll. France-Japon Oceanogr.*, 8, 41-50.
- JMP. 2002. Statistics and Graphics Guide. Version 5.0. SAS Institute, Cary, NC., 179-209.
- Kang, S.J., S.P. Lall and R.G. Ackman. 1996. Digestion of the 1-O-alkyldiacylglycerol ethers of Atlantic dogfish liver by Atlantic salmon *Salmo salar*. *Lipids*, 32, 19-30.
- Kim, N.Y., B.D. Choi, K.Y. Kim and S.J. Kang. 1999. Substitution live foods for *Artemia* II. *Moina macrocopa* production depends on the water temperature and fatty acid composition. *Proceedings of Korean Fisheries Society*, Autumn 1999, 363-364.
- Kitajima, C. 1973. Experimental trials on mass culture of copepods. *Bull. Plank. Soc. Jap.*, 20, 54-60.
- Kitajima, C. 1983. Mass culture-actual examples. In: The Rotifer *Brachionus plicatilis* Biology and Mass Culture. *Jap. Soc. Sci. Fish.*, eds. Koseisha Koseikaku, Tokyo, 102-128.
- Lee, K.W., H.G. Park, S.M. Lee, H.S. Han and Y.S. Lim. 2004. Food value of freshwater rotifer (*Brachionus calyciflorus*) for culture of sweetfish (*Plecoglossus altivelis*) larvae. *J. Kor. Fish. Soc.*, 37, 7-12.
- Park, S.U., S.J. Son and J.P. Hong. 1993. Studies on the technology development for seed production of sweetfish, *Plecoglossus altivelis*. *Bull. Natl. Fish. Res. Dev. Inst. Korea*, 101, 48-53.
- Rust, M.B. 2002. Nutritional physiology. In: Fish Nutrition. Halver, J.E. and R.W. Hardy, eds. Academy Press, New York, 368-446.
- Watanabe, T. 1993. Important of docosahexaenoic acid in marine larval fish. *J. World Aquacult. Soc.*, 24, 152-161.
- Yamasaki, S., D.H. Secor and H. Hirata. 1987. Population growth of two types of rotifer (L and S) *Brachionus plicatilis* at different dissolved oxygen levels. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 53, 1303-1309.
- Yoshimura, K., A. Hagiwara, T. Yoshiamtsu and C. Kitajima. 1996. Culture technology of marine rotifers and the implications for intensive culture of marine fish in Japan. *Mar. Freshwater Res.*, 47, 217-222.

2007년 6월 9일 접수
2007년 8월 16일 수리