

물벼룩(*Moina macrocopa*) 급여가 조피볼락(*Sebastes schlegeli*) 자어의 성장에 미치는 영향

정우철 · Feng Jin · 최종국 · 이정태¹ · 최병대 · 강석중

경상대학교 해양식품생명과학과, ¹경상남도 수산자원연구소

Growth of Larval Rockfish *Sebastes schlegeli* Fed *Moina macrocopa*

U-Cheol Jeong, Feng Jin, Jong- Kuk Choi, Jeong-Tae Lee, Byeong-Dae Choi and Seok-Joong Kang

Department of Seafood and Aquaculture Science, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Korea
Fisheries Resources Resarch Institute, Gyeongnam, Tongyeong 50411, Korea

Several our studies have focused recently on the mass production of the freshwater Cladoceran *Moina macrocopa* which can substitute *Artemia nauplii* for the culture of larval marin fish. A 6 weeks experiment was conducted to investigate the effects of enrichment on the fatty acid composition of *Moina macrocopa* through feeding *Schizochytrium* sp. containing highly unsaturated fatty acids and to study the impacts of n-3-HUFA enriched *Moina* on improving survival rate and fatty acid composition of larval rockfish *Sebastes schlegeli*. After feeding for 6 weeks, the *Moina*-fed fry resulted in a higher survival rate of 99.2% compared to the *Artemia*-fed fry 12.8%. In addition, the *Moina*-fed fry had the fast growth rate 45.6mm compare to the *Artemia*-fed fry 25.7 mm at the end of the experiment. The *Moina*-fed fry showed significantly higher level of 16.47% DHA than their *Artemia*-fed fry counterparts of the level of 3.97% with respect to DHA. PL, the cell membrane components in living food organisms, constituted 63.8% of the *Moina*, which was significantly higher than in the 40.1% of the *Artemia*. The present study indicate that *Moina macrocopa* can be used as *Artemia* substitute and improving the survival rate rockfish larvae through enrichment *Schizochytrium* sp.

Key words: *Sebastes schlegeli*, *Moina macrocopa*, *Artemia*, Rockfish, n-3 HUFA

서 론

조피볼락(*Sebastes schlegeli*)은 동북아 연안, 일본 홋카이도 이남 및 중국 연안에 분포하며, 수심 100 m 내외의 천해 암초나 인공어초 등에 서식하기 때문에 자원증강이나 레저용으로 중요한 위치를 차지하고 있어 경제적으로나 사회적으로 가치가 큰 어종이다(Boehlert et al., 1986). 조피볼락은 알을 산란하는 일 반어류와는 달리 체내에서 수정하여 새끼를 산출하는 태생어 류이다(Corey et al., 1983). 태생어류인 볼락류에서 산출된 자 어들은 인공사료에 길들이기가 어려운 특징을 갖고 있어 인공 종묘생산에 있어서 장시간에 걸쳐서 살아있는 먹이생물을 공급해야 한다는 문제점을 가지고 있다(Lee et al., 1993a; Lee et al., 1993b). 현재 인공종묘생산을 위하여 성립되어 있는 먹이생

물의 공급체계는 해수클로렐라-로티퍼(Rotifer)-알테미아(*Artemia*)-인공배합사료로의 공급체계가 구축되어 있다(Fujita, 1973; Kitajima, 1983; Hirayama, 1985; Yamasaki et al., 1987; Yoshimura et al., 1996). 현재, 산업적인 측면에서 볼락류의 인 공종묘생산에 있어서 가장 큰 문제점은 불확실성이 너무 높다는 것이다. 이러한 이유는 여러 가지 가설이 있지만, 가장 유력 시 되고 있는 가설은 반세기 걸쳐서 그대로 유지해온 외출타기 식의 먹이생물 공급체계에 두고 있다(Lee et al., 1993c; Lee et al., 2004). 현재 구축된 먹이생물 중에서 클로렐라와 로티퍼를 배양하여 먹이로 활용하는 데는 문제가 없으나, *Artemia*는 염 호라는 극한 상황의 환경에서 자란 갑각류의 난을 채집하여 건조 통조림화한 것으로서 전량 수입해서 사용하고 있다(Kim et al., 1999). 또한 *Artemia*의 지질영양학적인 문제점에 대해서는

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2016.0154>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Korean J Fish Aquat Sci 49(2) 154-160, April 2016

Received 29 January 2016; Revised 18 March 2016; Accepted 11 April 2016

*Corresponding author: Tel: +82. 55. 772. 9154 Fax: +82. 55. 648. 3089

E-mail address: sjkang@gnu.ac.kr

이미 많은 지적을 하고 있으며(Choi et al., 1999), *Artemia*는 어류의 필수지방산으로 알려져 있는 EPA, DHA 등의 오메가-3 고도불화지방산의 함량이 부족하기 때문에 이들 성분을 많이 함유한 지질물질을 보충하는 양양강화방법을 사용하고 있지만, 이를 완전히 해결하지 못하고 있는 실정이다. 또한 *Artemia*의 양적 수급문제, 가격폭등에 대하여 수십 년에 걸쳐서 많은 논란이 있음에도 불구하고 대체하지 못하는 이유는 이를 대신할 만한 먹이생물을 아직 찾아내지 못했기 때문이다(Choi et al., 1999). *Artemia* 대체먹이생물로서 물벼룩에 대한 연구가 이루어지고 있으며(Kitajima, 1973; Ventura and Enderez, 1980; Segawa and Yang, 1990; Balasubramanian and Bai, 1994). 물벼룩(*Moina macrocopa*)은 대량배양의 가능성이 높은 종 중의 하나로 고밀도 사육이 가능한 종으로 알려져 있다(Jung et al., 2001; Shon, 2002; Kang et al., 2006). 그리고 어류종묘생산의 초기 먹이생물로서 사용이 시도된 바가 있어(Kitajima, 1973), 산업화가 가능한 먹이생물로 기대되고 있다. 따라서 본 연구는 어류종묘생산 단계에서 *Artemia* 급여에 따른 문제점을 해결하기 위해서 *Artemia* 대체먹이생물로서 물벼룩을 선정하여 조피볼락 자어에게 급여하였을 때 성장과 생존율에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

재료 및 방법

실험 물벼룩

실험에 사용한 물벼룩은 국립경상대학교 어류양식 및 사료연구실에서 보관중인 *Moina macrocopa*종을 사용하였다. 물벼룩 배양은 30 L 투명 원형아크릴수조를 사용하여 Seed culture를 하였고, 직경 1.6 m, 높이 1 m의 수량 1 ton FRP 원형탱크를 사용하여 대량배양 하였다. 배양에 사용된 먹이는 DHA를 다량 함유하는 해양미세조류 *Schizochytrium sp.*를 사용하였다. 이 때 배양수온은 28.0°C 그리고 pH 7.5로 유지하였다.

실험어 및 사육관리

실험은 경남 고성군 삼산면 소재의 종묘배양장에서 사육중인 단 조피볼락 자어를 현장에서 실시하였다. 사육에 사용된 실험어는 종묘배양장에서 부화시켜 클로렐라로 배양한 로티퍼를 2 주 동안 공급한 조피볼락 자어를 사용하였다. 이 때 사용된 조피볼락 자어의 크기는 평균체장 11.2 ± 0.36 mm였다. 대조구는 알테미아 급여구와 실험구 물벼룩 급여구로 하고, 각 구당 3반 복구로 1,000마리씩 수용하고 6주간 사육하였다. 2주마다 성장(Body length, mm)과 생존율(Survival rate, %)을 측정하였다. 취급으로 인한 조피볼락 치어의 폐사를 방지하기 위하여 10마리씩 무작위 추출하여 바다에 모눈종이를 붙인 전용 측정용기에 넣고 사진을 촬영하는 사진법으로 전장만을 측정하는 방법을 택하였다. 실험 종료 후에는 전 어체를 사용하여 Lipid class와 Fatty acid를 분석하였다.

사육장치

실험에 사용한 사육 장치는 유수식 사육 장치로서 유입수의 첨가에 의해서 배설물이 즉시 사육수조 밖으로 배출될 수 있도록 하였으며, 사육수조의 크기는 지름 80 cm × 높이 90 cm (유수수심 60 cm)의 원형아크릴 수조로 수량은 300 L, 주수량의 보충에 의한 순환률은 5-6 회전/일 하였다. 사육수조에는 에어스톤을 설치하여 용존산소량은 7 mL/L를 유지하였으며, 사육기간 중 수온은 20.3 ± 0.8 °C였으며, 염분농도는 32 ± 0.5 psu를 유지하였다.

지방산 분석

총 지질 추출은 Bligh and Dyer방법(1959)에 준하였다. 비커에 균체 5 g을 취하여 세포분쇄기(homogenizer AM-12, Nihonseiki Kaisha Co. Ltd., Tokyo, Japan)에서 15,000 rpm로 5분간 분쇄한 후, Chloroform과 Methanol을 2:1로 혼합한 추출용매를 시료의 2 배량 넣어 하루 동안 방치한 다음 chloroform 층만을 분리하기 위하여 동근 플라스크 위에 깔때기를 놓고, 그 위에 Na₂SO₄를 넣어 서서히 chloroform층만 흘러내리게 하였다. 분리된 chloroform 층은 진공회전농축기(Rotavapor R-114, BUCHI)를 사용하여 40°C이하에서 용매를 완전히 증발시킨 후, 추출된 총 지질의 무게를 측정하였다. 모든 작업은 질소 기류 하에서 행하였다. 지방산 methyl ester 유도체는 시료 일정량과 내부표준물질(C_{23:0} methyl ester) 1 mL (1 mg)를 cap tube에 취하고, 0.5 N NaOH-methanol 용액 1.5 mL를 가하여 질소를 충전한 다음, 100°C에서 8분간 가열하여 검화하였다. 방냉 후 12% BF₃-methanol 2 mL를 가한 후 tube의 뚜껑을 닫고, 100°C에서 11분간 가열하여 methyl화 하였다. 약 30°C로 냉각한 후 Iso-octane 1 mL를 첨가하고 30초간 vortex mixer로 혼합하였다. 즉시 3 mL의 포화식염수를 가한 다음 흔들어 방치하여 iso-octane층이 분리되도록 하였다. iso-octane층을 시료 병(4 mL)에 옮긴 후, 다시 iso-octane 1 mL를 첨가한 다음 흔들어 재추출하여 시료 병에 모으고 이를 지방산 methyl ester 시료로 하였다. 지방산 분석에 사용하는 GLC는 Omegawax™-320 fused-silica capillary column (30 m × 0.32 mm × 0.25 μm, i.d., Supelco Co., Bellefonte, PA, USA)를 장착한 Clarus 600 (Perkin Elmer Co. Ltd., USA)를 이용하였다. 분석조건으로 Column은 185°C에서 8분간 유지하고 3°C/min씩 230°C까지 상승시킨 후, 10분간 유지하였다. 이 때 주입기는 250°C, 검출기는 270°C 그리고 carrier gas는 He (1.0 kg/cm²)를 사용하였다. 지방산의 분석은 동일조건에서 분석한 표준품의 ECL과 비교하여 동정하였고, 지방산 표준품은 14:0, 16:0, 18:1, 18:2, 18:3, 20:0, 22:1, 24:0 (Sigma Chemical Co., St. Louis, MO, USA)과 GC-MS로 동정된 menhaden oil을 사용하였다.

Lipid class

Lipid classes 는 TLC/FID와 Iatrorecorder TC-21 intergrator

가 장착된 Iatrosan New MK-5 (Iatron Laboratory Inc., Tokyo, Japan)를 이용하여 분석하였다. 분석조건에서 공기의 유속은 2 L/min이며 detector 수소량은 160 mL/min으로, scanning speed는 0.30 cm/s로 하였다. 분석 과정은 먼저 Rod S-III (0.9×150 mm, 석영봉 규산 코팅)를 5분간 수세한 후, 다시 증류수 10 mL로 행군 다음 수분을 증발시키기 위하여 아세톤 10 mL로 씻고 50℃로 조정된 Rod-Dryer (TK-5 Iatron Lab. Inc., Tokyo, Japan)에서 5분간 건조시킨 후 Iatrosan내에서 수소염 이온화불꽃상에서 3회 이상 반복하여 유기물을 완전히 제거하였다. Rod에 시료 1 µL를 Microdispenser (Drummond Scientific Co., Bromall, PA, USA)로써 점적하여 전개조(NaCl로 포화시킴)에서 10분간 포화시켰다. 전개용매는 n-hexane : diethyl ether : acetic acid = 97:3:1 (v/v)를 이용하여 약 10 cm까지 전개시킨 후, Rod를 전개조에서 꺼내고 Rod-Dryer에서 5분간 건조시켜서 Iatrosan으로 분석하여 지질획분의 조성비를 구하고 그 함량을 산출하였다. 동정은 표준품인 Cholesterol ester, Free fatty acid, Triglyceride, Cholesterol 및 Phospholipid에 의하여 동정하였다.

통계처리

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.

결과 및 고찰

성장과 생존율

M. macrocopa 와 *Artemia*를 조피볼락 자어에게 6주간 급여한 성장 결과는 Table 1에 나타낸 바와 같다. 실험초기 조피볼락 크기는 11.2 mm에서 *M. macrocopa*와 *Artemia*를 2주간 급여한 후, 각각 18.2 mm과 15.0 mm로 성장 차이가 나타나기 시작하였다($P<0.05$). *M. macrocopa*와 *Artemia*를 4주간 급여한 후에는 각각 32.0 mm과 21.1 mm였으며, 6주 후에는 각각 45.6

mm과 25.7 mm *M. macrocopa*를 급여하였을 때 *Artemia*급여한 실험구에서 보다 성장이 우수한 것으로 나타났다($P<0.05$). *M. macrocopa*와 *Artemia*급여에 따른 생존율은 Table 1에 나타낸 바와 같이 *Artemia*를 급여한 실험구의 경우는 실험 시작 후 2주까지는 생존율 100%였으나, 2주가 지난 후부터는 *Artemia*를 급여한 실험구의 폐사개체가 나타나기 시작하여 4주째 생존율은 74.6%로 낮아졌으며($P<0.05$), 6주 후에는 생존율이 12.8%로 급격히 낮아지는 것으로 나타났다($P<0.05$). *Artemia*를 단독으로 급여하였을 때 실험 시작 후 2주 이후부터 폐사개체가 나타나기 시작했으며, 4주째에는 생존율이 74.6%로 나타났다. 이는 부화 후 30-45일 사이로 이 시기에 나타나는 증상으로는 폐사까지는 아니더라도 생존하고 있는 개체들 가운데서 일부는 이 시기 이후부터 바닥층으로 들어 눕기 시작하였다가 사료 급여 시에는 수면으로 부상하는 상태를 나타내었다. 일반적으로 종묘생산 현장에서는 이 문제를 해결하기 위하여 배합사료의 전환을 시도하는데 이 때부터는 개체간의 성장 차이와 공식현상이 나타나 많은 감모를 일으키는 시기이지만, 본 실험에서는 먹이를 충분히 공급하였기 때문에 공식현상은 거의 일어나지 않은 것으로 사료된다. *Artemia*를 급여한 구에서는 생존율이 12.8%로 나타난 반면에 *M. macrocopa*를 급여한 구의 경우는 실험 시작 후에 4주까지 모두 생존하였으며, 6주째 99.2%의 높은 생존율을 나타냈으며 0.8%의 폐사 개체는 죽은 개체를 발견할 수가 없었기 때문에 영양상의 결핍보다는 공식에 의한 현상이라고 사료된다. 공급한 *M. macrocopa*는 담수물벼룩으로 해수어류의 종묘생산에 적합함에 있어서 해수에서의 생존기간이 8분을 초과하지 못하여 섭이 후 남은 물벼룩의 사체가 수질오염의 우려 등이 제기되고 있다. 그러나 본 실험에 사용한 유영어류인 조피볼락을 대상으로 실험하는 동안에 물벼룩 급여와 동시에 2분 이내에 물벼룩을 전량 섭이하였다. *M. macrocopa*를 급여하는 즉시 유속에 따라서 흐르는 물벼룩을 섭이하기 위해서 조피볼락의 군집이 이동하면서 *M. macrocopa*이 바닥에 도달하기 전에 전량 섭이하는 독특한 기호성을 나타내었다. 이러한 조피볼락의 물벼룩에 대한 특이한 기호성으로 보아 활물벼룩이 아닌 냉동물벼룩의 사용도 충분할 것으로 사료된다.

지질영양가

실험에서 사용한 *M. macrocopa*와 영양강화한 *Artemia*의 지방산 조성은 Table 2에 나타낸 바와 같다. *M. macrocopa*의 경우는 18:1n-9, 16:0, 22:6n-3, 18:1n-7 그리고 16:1n-7 순으로 높게 나타났으며, 이때 함량은 각각 20.12%, 19.18%, 16.47%, 9.53% 그리고 8.47%로 나타났다. 영양강화 *Artemia*의 경우는 18:1n-9, 18:3n-3, 16:0, 18:1n-7, 그리고 16:1n-7순으로 높게 나타났으며, 이때 함량은 각각 19.84%, 18.33%, 17.86%, 9.19% 그리고 6.60%로 나타났다. 포화지방산의 경우는 *M. macrocopa*와 *Artemia*에서 각각 27.06%와 26.16%로 차이

Table 1. Growth and Survival rate of rockfish *Sebastes schlegeli* fed on experimental diets for 6 week

week	<i>M. macrocopa</i>		<i>Artemia</i>	
	Body Length (mm)	Survival rate (%)	Body Length (mm)	Survival rate (%)
0	11.2±0.36	100	11.2±0.36	100
2	18.2±1.22	100	15.0±0.82	100
4	32.0±1.08	100	21.1±1.28	74.6
6	45.6±1.46	99.2	25.7±1.08	12.8

Values in the same row with same superscript are not significantly different ($P<0.05$).

가 없는 것으로 나타났다($P<0.05$). $\Sigma n-3$ HUFA의 경우 *M. macrocopa* 와 *Artemia*에서 각각 22.71%와 7.62%로서 *M. macrocopa*가 높게 나타났다($P<0.05$). 두 먹이생물간의 차이는 18:1 지방산 계열과 16:0 지방산이 높아서 먹이생물의 일반적인 경향을 나타냈으나, *M. macrocopa* 은 DHA함량이 16.47%로 높는데 비해서 *Artemia* 실험구는 3.97%로 낮게 나타났으며($P<0.05$), 영양강화를 했음에도 불구하고 DHA가 낮게 나타난 것은 *Artemia* 자체의 생리적 현상인 지방산 역전환 작용에 의하여 DHA가 EPA로 역전환 되었을 가능성이 있다(Barclay and Zeller, 1996). 또한 *Artemia* 구에서 18:1n-9과 18:3n-3이 양대 지방산을 이루고 18:3n-3의 지방산이 특이적으로 높은 점은 *Artemia* 의 특징을 잘 나타내고 있다. 그러나 먹이생물의 지질영양가 척도 면에서 18:3n-3의 지방산의 함량이 높은 것은 담수어류에게는 중요한 성분이지만, 참돔과 같은 해수어류에

게는 필수지방산으로의 효과는 매우 낮은 것(Watanabe, 1993)으로 밝혀져 있기 때문에 이 점이 *Artemia* 의 한계점인 것으로 생각한다. 두 먹이생물의 지방산 종류에서 중요한 평가 척도인 $\Sigma n-3$ HUFA에서 특히, DHA함량에서 차이가 발생하는데 이러한 차이점은 두 먹이생물의 영양강화 방법의 차이에서 오는 것으로 사료된다. *M. macrocopa*의 배양방법은 DHA를 다량 함유한 *Schizochytrium*을 지속적으로 급이하면서 배양하여 먹이와 영양강화제 역할을 동시에 수행하는 반면에 *Artemia*는 부화 후 유화오일에 의한 영양강화 방법에서 오는 것으로 사료된다.

*M. macrocopa*와 *Artemia*를 급여한 조피볼락 자어의 체지방의 지방산 조성은 Table 3에 나타낸 바와 같이 *M. macrocopa*를 급여한 경우 16:0, 18:1n-9, 22:6n-3, 16:1n-7 그리고 18:1n-7 순으로 높게 나타났으며, 이때 함량은 각각 19.61%, 19.37%,

Table 2. Fatty acid composition of *Moina macrocopa* and *Artemia nauplii* (% of total fatty acids)

	<i>M. macrocopa</i>	<i>Artemia</i>
14:0	3.41 ± 0.10	1.93 ± 0.01
16:0	19.18 ± 0.80	17.86 ± 0.62
16:1n-7	8.47 ± 1.10	6.60 ± 0.07
18:0	4.47 ± 0.00	6.37 ± 0.02
18:1n-9	20.12 ± 0.89	19.84 ± 0.11
18:1n-7	9.53 ± 0.04	9.19 ± 0.03
18:2n-6	4.94 ± 0.08	4.75 ± 0.01
18:3n-3	1.41 ± 0.02	18.33 ± 0.03
18:4n-3	1.06 ± 0.01	1.59 ± 0.01
20:1n-9	2.00 ± 0.02	1.02 ± 0.02
20:2n-6	0.35 ± 0.01	0.23 ± 0.00
20:3n-6	0.24 ± 0.01	0.34 ± 0.00
20:4n-6	1.65 ± 0.07	3.87 ± 0.02
20:3n-3	0.24 ± 0.02	0.46 ± 0.00
20:4n-3	0.71 ± 0.01	1.02 ± 0.01
20:5n-3(EPA)	5.29 ± 0.08	2.17 ± 0.08
22:4n-6	0.12 ± 0.01	0.23 ± 0.01
22:5n-6	0.35 ± 0.01	0.23 ± 0.00
22:6n-3(DHA)	16.47 ± 1.02	3.97 ± 0.88
Σ SFA	27.06	26.16
Σ Monoenes	40.12	36.65
Σ Polynenes	32.83	37.19
$\Sigma n-3$ HUFA ²	22.71	7.62
$\Sigma n-6$ HUFA	2.71	4.90
n-3/n-6	8.38	1.56

¹HUFA: Highly unsaturated fatty acid (above 20 carbon fatty acid) Values are means of triplicate groups.

Table 3. Fatty acid composition of the rockfish *Sebastes schlegeli* fed different living food organisms (% of total fatty acids)¹

	<i>Sebastes schlegeli</i>	
	<i>M. macrocopa</i>	<i>Artemia</i>
14:0	3.37 ± 0.07	3.09 ± 0.03
16:0	19.61 ± 0.32	18.22 ± 0.22
16:1n-7	9.50 ± 0.03	6.04 ± 0.02
18:0	5.34 ± 0.02	6.57 ± 0.01
18:1n-9	19.37 ± 0.56	20.05 ± 0.36
18:1n-7	8.48 ± 0.08	7.22 ± 0.03
18:2n-6	7.27 ± 0.02	4.31 ± 0.02
18:3n-3	1.50 ± 0.01	19.05 ± 0.08
18:4n-3	1.54 ± 0.01	1.14 ± 0.03
20:1n-9	1.53 ± 0.10	1.10 ± 0.12
20:2n-6	0.22 ± 0.00	0.36 ± 0.01
20:3n-6	0.09 ± 0.00	0.13 ± 0.00
20:4n-6	1.55 ± 0.30	3.34 ± 0.32
20:3n-3	0.22 ± 0.00	0.39 ± 0.01
20:4n-3	0.50 ± 0.06	0.71 ± 0.02
20:5n-3(EPA)	5.71 ± 0.28	3.84 ± 0.14
22:4n-6	0.04 ± 0.00	0.11 ± 0.01
22:5n-6	0.22 ± 0.01	0.28 ± 0.01
22:6n-3(DHA)	13.94 ± 0.68	4.05 ± 0.96
Σ SFA	28.32	27.88
Σ Monoenes	38.88	34.41
Σ Polynenes	32.80	37.71
$\Sigma n-3$ HUFA ²	20.37	8.99
$\Sigma n-6$ HUFA	2.12	4.22
n-3/n-6	9.61	2.13

¹Values are means of triplicate groups. ²HUFA: Highly unsaturated fatty acid (above 20 carbon fatty acid)

13.94%, 9.50% 그리고 8.48%였다. 그리고 Artemia를 급여한 경우 18:1n-9, 18:3n-3, 16:0, 18:1n-7, 그리고 18:0 순으로 높게 나타났으며, 이때 함량은 각각 20.05%, 19.05%, 18.22%, 7.22% 그리고 6.57% 였다. 포화지방산의 경우는 *M. macrocopa*와 Artemia에서 각각 28.32%와 27.88%로 차이를 나타내지 않았으며, 20:5n-3(EPA)와 22:6n-3(DHA)는 *M. macrocopa*에서 각각 5.71%와 13.94% 였으며, Artemia는 각각 3.84%와 4.05%였다. 특히 $\sum n-3$ HUFA의 경우 *M. macrocopa*와 Artemia에서 각각 20.37%와 8.99%로서 *M. macrocopa*를 급여한 구에서 2배 이상 높게 나타났다($P < 0.05$). 각각의 먹이생물을 급여한 조피볼락 체지방 조성은 섭이한 먹이생물의 지방산 조성 과 비슷한 경향으로 나타났으며, 이러한 현상은 해수어류의 중요생산의 필수지방산 연구 결과들과 일치하고 있다(Choi et al., 1999; Shon, 2002). 또한 해산어류 자치어의 성공적인 변태와 성장을 하기 위해서는 DHA가 충분하게 공급이 되어야만 한다고 보고되고 있으며(Watanabe, 1993), $\sum n-3$ HUFA는 어류 자치어용 먹이의 필수지방산 공급원으로 반드시 필요한 요소이며, $\sum n-3$ HUFA가 풍부할 때 자치어의 성장이 빠르고 체장 증가의 개선을 가져온다고 보고되고 있다(Koven et al., 1992; Kang et al., 2006). 또한 $\sum n-3$ HUFA는 부레의 정상적인 수행을 하는 것과 관련이 있는 것으로 밝혀졌으며, $\sum n-3$ 지방산이 결핍된 먹이는 어류 치어의 성장을 저해하고 시각 능력을 손상시키며, 신진대사에 부조화를 나타낸다고 하였다(Castell et al., 1994). 최근에는 $\sum n-3$ HUFA의 대표적인 지방산인 EPA와 DHA에서 자치어의 활력은 EPA보다 DHA의 역할이 더욱 큰 것으로 보고되고 있다(Watanabe, 2008). 이러한 점으로 미루어 볼 때 본 실험에서 Artemia구에서의 성장과 생존율이 낮은 점은 DHA함량의 부족이 하나의 요인으로 작용한 것으로 사료된다. 두 먹이생물의 Lipid classes 조성은 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 극성지질인 Phospholipids(PL) 함량과 비극성지질의 함량에서

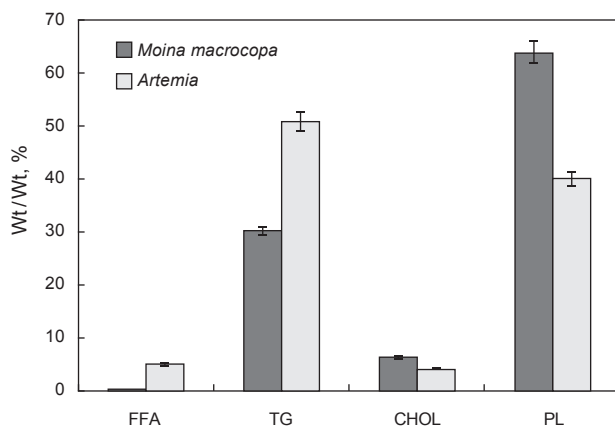


Fig. 1. Lipid class profile of *M. macrocopa* and *Artemia* nauplii. FFA, free fatty acid; TG, triglycerides; CHOL, cholesterols; PL, phospholipids. Vertical bars indicate mean \pm SD.

차이를 나타내고 있다. PL은 *M. macrocopa*와 Artemia는 각각 63.8%와 40.1%로 *M. macrocopa*구가 높게 나타났다($P < 0.05$). PL은 세포막의 구성성분을 이루고 있는 성분으로서 인지질 가능성이 매우 높다. 이들 인지질은 해수어류 자치어의 중요한 필수지방성분으로 삼투압 조절에 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다(Watanabe, 2008). 또 다른 먹이생물인 Copepoda는 Artemia보다 극성지질의 비율이 더 높으며, 생리적으로 중요한 지방산은 극성지질에 더 많이 존재하기 때문에 우수한 먹이생물로 취급하고 있으며(Shon, 2002), 이러한 지질종류를 많이 함유하고 있는 천연산 Copepoda를 급여했을 때 성장이 양호하게 나타나는 것도 관련이 있는 것으로 추정되고 있다(Kanazawa et al., 1983; MacEvoy, 1998). Triglycerides (TG)함량은 *M. macrocopa*와 Artemia에서 각각 30.2% 그리고 50.9%로 Artemia급여구가 높게 나타났다($P < 0.05$). TG는 에너지원의 성분 이면서 중성지방의 성분인 점으로 미루어보아, 부화한 Artemia 유생의 자체 지질의 성분보다는 영양강화제의 성분이 기여한 것으로 추정되는데 이점에 대해서는 자세한 연구가 요망된다. Cholesterols (CHOL)의 함량의 경우는 *M. macrocopa*와 Artemia에서 각각 5.9% 그리고 4.0%로 *M. macrocopa* 구에서 높게 나타났으며($P < 0.05$). Free fatty acid (FFA)의 경우는 *M. macrocopa*구와 Artemia구에서 각각 0.1% 그리고 5.0%로 Artemia를 급여한 조피볼락에서 50배 높게 나타났다($P < 0.05$). 이러한 차이는 두 먹이생물 자체의 유리지방산으로 보기는 어렵고, 영양강화 과정 중에서 발생한 것으로 생각된다. Artemia 유생의 영양강화는 산소부족에 의한 폐사를 막기 위하여 강한 에어레이션과 함께 고수온에서 이루어지기 때문에 TG의 산화 부산물로 생성된 것으로 추정되며, 또한 유리지방산은 생물에게 독성을 나타내기 때문에 Artemia를 급여한 조피볼락에게 부정적 영향을 미친 것으로 생각된다. 해수어류 중요생산 시에 먹이생물의 지질영양가의 척도는 먹이생물 중에 함유되어 있는 EPA와 DHA의 $\sum n-3$ HUFA함량과 지질class의 극성지질 함량이다(McEvoy et al., 1998; Watanabe, 1993). 이상의 결과를 종합해 볼 때 조피볼락의 중요생산 시에 Artemia를 단독으로 사용했을 때의 대량폐사 원인은 첫째, Artemia 자체의 총 지방산 중에서 필수지방산인 DHA함량이 낮은 점, 둘째, 이를 극복하기 위하여 영양강화를 실시하고 있지만 영양강화의 효율의 한계성, 셋째, 영양강화 과정 중에 생겨나는 FFA 함량의 증가 넷째, Artemia 내의 극성지질(PL)이 부족한 점, 다섯째 Artemia 자체의 생리적 현상인 DHA에서 EPA로의 역전환 현상들이 복합적으로 작용한 결과로 추정한다. 이번 실험을 통해서 Artemia가 가지고 있는 여러 문제점들을 해결 할 수 있는 대체먹이생물로서 유용한 방안의 하나로 물벼룩을 급여하였을 때 높은 성장과 생존율 그리고 우수한 영양학적인 가치를 가지는 것으로 나타났다.

References

Balasubramanian PR and Bai K. 1994. Utilization of anaerobi-

- cally digested cattle dung slurry for the culture of zooplankton, *Daphnia similis* Claus (Crustacea; Cladocera). Asian Fish Sci 7, 67-76.
- Barclay W and Zeller S. 1996. Nutritional Enhancement of n-3 and n-6 Fatty Acids in Rotifers and Artemia Nauplii by Feeding spray-dried *Schizochytrium* sp. J World Aquaculture Soc 27, 314-322. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1749-7345.1996.tb00614>.
- Bligh EG and Dyer WJ. 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. Can J Biochem Physiol 37, 911-917.
- Boehlert GW, Kusakari M, Shimizu M and Yamada J. 1986. Energetics during embryonic development in the kurosoi, *Sebastes schlegeli*. J Exp Mar Biol Ecol 101, 239-256. [http://dx.doi.org/10.1016/0022-0981\(86\)90266-2](http://dx.doi.org/10.1016/0022-0981(86)90266-2).
- Castell JD, Ghioni C and Sargent JR. 1994. Effects of purified diets containing different combinations of arachidonic and docosahexaenoic acid on survival, growth and fatty acid composition of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*). Aquaculture 128, 315-333. [http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)90320-4](http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486(94)90320-4).
- Choi BD, Kang SJ and Kim KY. 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.
- Corey PD, Leith DA and English MJ. 1983. A growth model for coho salmon including effects of varying ration allotments and temperature. Aquaculture 30, 125-143. [http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486\(83\)90157-6](http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486(83)90157-6).
- 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-Japan Oceanogr 8, 41-50.
- Jung MM, Kim HS and Rho S. 2001. Survival and growth response on jumping of the each saline concentration of freshwater cladoceran *Moina macrocopa* and estuarine cladoceran *Diapanosoma celebensis*. Korean Fish Soc 34, 697-704.
- JMP. 2002. Statistics and Graphics Guide. Version 5.0 SAS Institute Cary NC 179-209.
- Kanazawa A, Teshima S, Kobayashi T, Takae M, Iwashita T and Uehara R. 1983. Necessity of dietary phospholipid for growth of the larval. Ayu Mem Fac Fish Kagoshima Univ 32, 115-120.
- Kang CK, Park HY, Kim MC and Lee WJ. 2006. Use of marine yeasts as an available diet for mass cultures of *Moina macrocopa*. Aquacult Res 37, 1227-1237. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2109.2006.01553.x>.
- Kim NY, Choi BD, Kim KY and Kang SJ. 1999. Substitution live foods for Artemia II. *Moina macrocopa* production depend on the water temperature and fatty acid composition. Preccdings of Korean Fisheries Society Autumn 1990, 363-364.
- Kitajima C. 1973. Experimental trials on mass culture of copepods. Bull Plankton Soc Japan 20, 54-60.
- Kitajima C. 1983. Mass culture-actual examples. In: The rotifer *Brachionus plicatilis* biology mass culture. Jap Soc Sci Fish, eds Koseisha Koseikaku, Tokyo, Japan, 102-128.
- Koven WM, Tandler A, Kissil WG and Sklan D. 1992. The importance of n-3 highly unsaturated fatty acids for growth in larval *Sparus aurata* and their effect on survival, lipid composition and size distribution. Aquaculture 104, 91-104. [http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)90424-3](http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486(94)90424-3).
- Lee KW, Park HG, Lee SM, Han HS and Lim YS. 2004. Food value of freshwater rotifer (*Brachionus calyciflorus*) for culture of sweetfish (*Plecoglossus altivelis*) larvae. J Kor Fish Soc 37, 7-12. <http://dx.doi.org/10.5657/kfas.2004.37.1.007>.
- Lee SM, Lee JY, Kang YJ, Yoon HD and Hur SB. 1993a. n-3 highly unsaturated fatty acid requirement of the Korean rockfish *Sebastes schlegeli*. Bull Korean Fish Soc 26, 477-492.
- Lee SM, Lee JY, Kang YJ and Hur SB. 1993b. Effects of n-3 highly unsaturated fatty acid on growth and biochemical changes in the Korean rockfish *Sebastes schlegeli* I. growth and body composition. J Aquaculture 6, 89-105.
- Lee SM, Lee JY, Kang YJ and Hur SB. 1993c. Effects of n-3 highly unsaturated fatty acid on growth and biochemical changes in the Korean rockfish *Sebastes schlegeli* II. change of blood chemistry and properties of liver cells. J Aquaculture 6, 107-123.
- McEvoy LA, Naess T, Bell JG and Lie O. 1998. Lipid and fatty acid composition of mormal and malpigmented Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) fed enriched Artemia: a comparison with fry fed wild copepods. Aquaculture 163, 237-250. [http://dx.doi.org/10.1016/s0044-8486\(98\)00237-3](http://dx.doi.org/10.1016/s0044-8486(98)00237-3).
- Segawa S and Yang WT. 1990. Growth, moult, reproduction and filtering rate of an estuarine cladoceran *Diapanosoma celebensis*, in laboratory culture. Bull Plankton Soc Japan 37, 145-155.
- Shon EJ. 2002. Nutritional lipids enrichment of water flea, *Moina* sp. for seed production in marine fish. Gyeongsang national university, master, Jinju, Korea.
- Ventura RF and Enderez EM. 1980. Preliminary studies on *Moina* sp. production in freshwater tanks. Aquaculture 21, 93-96. [http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486\(80\)90129-5](http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486(80)90129-5).
- Watanabe T. 1993. Importance of docosahexaenoic acid in marine larval fish. J World Aquacult Soc 24, 152-161. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1749-7345.1993.tb00004.x>.
- Watanabe T. 2008. Nutrition and feeding in fish and crustaceans. Kousesha, Tokyo, Japan, 416.
- Yamasaki S, Secor DH and Hirata H. 1987. Population growth of two types of rotifer (L and S) *Brachionus plicatilis* at differ-

ent dissolved oxygen levels. *Nippon Suisan Gakkaishi* 53, 1303-1309.

Yoshimura K, Hagiwara A, Yoshiamtsu T and Kitajima C. 1996. Culture technology of marine rotifers and the implications for intensive culture of marine fish in Japan. *Mar Freshwater Res* 47, 217-222. <http://dx.doi.org/10.1071/mf9960217>.