

기수산 물벼룩의 배양을 위한 대체 먹이원 내 EPA 영향

박진철 · 권오남 · 박흥기[†]

(강릉원주대학교)

Effect of the Dietary EPA in Replacement Diets for the Culture of Brackish Flea, *Diaphanosoma celebensis*

Jin-Chul PARK · O-Nam KWON · Heum-Gi PARK[†]

(Kangnung-Wonju National University)

Abstract

We investigated the effect on dietary EPA (eicosapentaenoic acid) source (EP) into formulated diets for growth of brackish flea, *Diaphanosoma celebensis*. The highest density and specific growth rate (SGR) of brackish fleas were observed on *Tetraselmis suecica* (TE) trial, but these of trial were not significantly differed with that of *Chlorella* (CH) + *Cryptocodinium* sp. (CR) + EP trial, contained EPA oil ($P>0.05$). Contrastively, CH trial showed the lowest SGR. And in the RNA/DNA ratio, 0.08 of TE trial was the highest ratio out of whole trials, but the trial not significantly differed with that of CH + CR + EP trial ($P>0.05$). But, the ratio of CH trial was the lowest ratio at 0.05 out of whole trials ($P<0.05$). Through out results, the EPA source for flea culture was showed a positive effect through their growth and SGR. Therefore, we suggested that a usage of the source with CH could replace *T. suecica* as good diet for culture of the brackish flea.

Key words : EPA source, *Chlorella*, *Tetraselmis suecica*, Brackish flea, *Diaphanosoma celebensis*

I. 서론

최근 *Artemia*의 대체 먹이생물로 주목을 받고 있는 기수산 물벼룩, *Diaphanosoma celebensis*는 무성생식을 하며, 성장률이 높고, 또한 유생단계부터 성체까지의 크기가 다양하여 자어의 크기에 따라 공급할 수 있는 장점을 가지고 있다(Chen et al., 1977). 하지만 이러한 장점을 지닌 기수산 물벼룩을 현장규모로 대량생산하기 위해서는 이들에게 공급되는 먹이의 질적 문제를 반드시 해

결해야만 한다. 일반적으로 지각류의 경우, 공급되는 먹이의 질적인 차이에 의해 성장과 생식에 영향을 받기(Ferrão-Filho et al., 2003; Acharya et al., 2005) 때문에 수산양식생물의 초기 먹이생물로 적극 활용하기 위해서는 이들이 요구하는 양질의 먹이공급이 필수적이다. 특히, 이들은 먹이 내에 존재하는 고도불포화지방산인 DHA와 EPA의 영향을 많이 받으며(Müller-Navarra, 1995; DeMott and Müller-Navarra, 1997; Joseph et al., 2003), 그 중에서도 EPA는 DHA 보다 물벼룩의

[†] Corresponding author : 033-640-2345, hgpark@gwnu.ac.kr

* 이 논문은 2010학년도 강릉원주대학교 장기해외파견 연구지원에 의하여 수행되었음.

성장과 생식에 더 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Müller-Navarra, 1995; Brett and Müller-Navarra, 1997). 이러한 이유로 인해 현재까지 본 연구종인 *D. celebensis*의 최적 먹이생물은 EPA가 높은 *Tetraselmis suecica*로 조사되어 있다(Segawa and Yang, 1988; Park and Park, 2010). 일반적으로 가장 널리 이용되고 있는 초기 동물성 먹이생물인 rotifer, *Brachionus* sp.의 경우는 타가영양번식에 의해 대량생산이 가능한 담수산 농축 *Chlorella*를 주요 먹이원으로 이용하고 있는데, 이는 생산성이 매우 높으면서 가격이 저렴하고 구입이 용이하기 때문이다(Hagiwa et al., 2001). 그러나 rotifer처럼 어류 자·치어의 초기 먹이생물로서 기수산 물벼룩인 *D. celebensis*를 대량생산할 경우, 자가영양번식의 형태로 광합성을 통해서만 배양이 가능한 *T. suecica*만으로는 먹이의 양적 확보에 있어 문제가 발생하게 된다. 그렇기 때문에 Park et al. (2012)은 본 연구종에게 있어 경제적인 먹이원에 EPA를 첨가하여 *T. suecica*를 대체할 수 있는 새로운 먹이원을 제조하였다. 하지만 제조된 대체 먹이원에 존재하는 EPA가 과연 기수산 물벼룩의 성장에 영향을 미치는지에 대한 연구는 아직 수행되어 있지 않고 있다. 따라서 본 연구는 기수산 물벼룩의 배양을 위해 제조된 경제적인 대체 먹이원 내 EPA 첨가 혹은 함유에 따른 성장을 비교해 보고, 체내 단백질 합성량을 간접적으로 알아볼 수 있는 지표인 RNA/DNA ratio 분석을 통해 EPA의 역할을 규명하여 새로운 대체 먹이원으로써의 가능성을 제시해 보고자 한다.

II. 연구 방법

1. 실험재료 및 방법

가. 실험 중

본 연구에 사용된 기수산 물벼룩, *D. celebensis*는 2007년 5월에 일본 나가사키 대학의 양식생물

학 실험실에서 종을 분양 받아 지속적으로 계대 배양된 것을 이용하였다.

나. 실험구

먹이원 내 EPA 첨가 혹은 함유에 따른 물벼룩의 성장 비교 실험을 위해 담수산 농축 *Chlorella* (Aquanet Inc., Korea, 이하 CH), *Cryptocodinium* sp. (Aquanet Inc., Korea, 이하 CR) 및 EPA oil (Chemport Inc., Korea, 이하 EP)와 같은 먹이원을 선정하였다. 이러한 먹이원의 건조중량을 각각 구하여 이를 기준으로 아래와 같은 비율로 제조하였다. ① 담수산 농축 *Chlorella* + EPA oil [CH (70%) + EP (30%)], ② 담수산 농축 *Chlorella* + *Cryptocodinium* sp. + EPA oil [CH (70%) + CR (20%) + EP (10%)]의 혼합 공급 실험구와 ③ *Tetraselmis suecica* (TE, 100%), ④ 담수산 농축 *Chlorella* (CH, 100%)의 단독 공급 대조구를 두어 실험을 행하였다. 모든 실험구는 3반복으로 행해졌다.

다. 실험 조건

실험을 위한 배양조건으로 1 L 유리 용기(배양수 600 mL)에 물벼룩의 초기 접종밀도를 5개체/mL로 하여 10‰, 29±1°C에서 배양하였으며, 먹이공급량은 물벼룩 1,000 개체 당 건조중량 2 mg으로 공급하였다. 매일 해부현미경(SZ40, Olympus, Japan) 하에서 계수하여 개체밀도, 개체성장률(Specific growth rate, SGR) 및 포란율을 계산하여 15일간 실험을 행하였다.

라. 분석 방법

실험 결과 중에서 개체성장률은 Rico-Martinez and Dodson (1992)의 방법에 따라 구하였으며, 물벼룩에게 먹이로 공급되기 전 각각의 실험구와 혼합 실험구의 원료인 CR 및 EP의 지방산을 Morrison and Smith (1964)와 Parrish (1987)의 방법에 따라 분석하였다. 또한 실험 종료일에는 각 실험구별로 물벼룩을 샘플링하여 Fukuda et al. (1986) 및 Peragóna et al. (2001)의 방법에 따라 RNA/DNA ratio를 계산하였다.

2. 통계처리

모든 실험결과는 one-way ANOVA-test를 실시 후 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)를 실시하여 처리 평균 간의 유의성($P<0.05$)을 SPSS program (Ver. 14.0)으로 검정하였다.

III. 결 과

각각의 실험구와 혼합원료인 CR 및 EP의 지방산 조성을 <Table 1>에 나타내었다. 우선, C20:5n3 (eicosapentaenoic acid, EPA) 함량은 CH와 CR를 제외한 모든 실험구간에서 검출되었

으며, 원료원인 EP의 높은 값에 기인하여 CH+EP 혼합 실험구에서 29.8%로 높은 값을 보였다 ($P<0.05$). C22:6n3 (docosahexaenoic acid, DHA)는 원료원인 CR에서의 높은 값에 기인하여 CH+CR+EP 혼합구에서 9.4%의 높은 값이 나타난 반면 대조구인 TE, CH에서는 검출되지 않았다 ($P<0.05$). 그 외 고도불포화지방산(Highly unsaturated fatty acid, HUFA) 및 n-3 HUFA 함량은 혼합 실험구(CH+EP 및 CH+CR+EP)가 대조구(TE 및 CH)에 비해 유의적으로 높은 경향을 보였다 ($P<0.05$).

<Table 1> Fatty acids composition (% of total fatty acids) of experimental diets for *D. celebensis* culture*

	CR ¹	EP ²	CH ³	TE ⁴	CH+EP ⁵	CH+CR+EP ⁶
Fatty acids						
ΣSFA ⁷	32.2 ± 0.03 ^f	0.1 ± 0.01 ^a	28.7 ± 0.68 ^e	19.0 ± 0.88 ^c	14.7 ± 0.34 ^b	21.1 ± 0.42 ^d
ΣMUFA ⁸	19.9 ± 0.22 ^b	0.3 ± 0.04 ^a	22.8 ± 0.67 ^d	36.8 ± 1.24 ^f	20.8 ± 0.36 ^c	24.7 ± 0.25 ^e
C18:2n6	1.0 ± 0.10 ^b	0.1 ± 0.03 ^a	39.7 ± 0.82 ^e	22.8 ± 0.53 ^c	32.0 ± 0.19 ^d	32.1 ± 0.30 ^d
C18:3n3	0.1 ± 0.07 ^a	0.1 ± 0.03 ^a	3.6 ± 0.12 ^c	14.3 ± 0.46 ^d	2.3 ± 0.13 ^b	2.3 ± 0.28 ^b
C20:4n6 (ARA)	0.0 ± 0.00 ^a	0.0 ± 0.00 ^a	0.0 ± 0.00 ^a	0.5 ± 0.06 ^b	0.0 ± 0.00 ^a	0.0 ± 0.00 ^a
C20:5n3 (EPA)	0.0 ± 0.00 ^a	99.2 ± 0.25 ^e	0.0 ± 0.00 ^a	4.0 ± 0.22 ^b	29.8 ± 0.64 ^d	9.9 ± 0.42 ^c
C22:6n3 (DHA)	46.8 ± 0.50 ^c	0.0 ± 0.00 ^a	0.0 ± 0.00 ^a	0.0 ± 0.00 ^a	0.0 ± 0.00 ^a	9.4 ± 0.31 ^b
ΣHUFA ⁹	47.9 ± 0.09 ^b	99.6 ± 0.07 ^e	48.4 ± 0.96 ^b	44.0 ± 0.85 ^a	64.5 ± 0.34 ^d	54.2 ± 0.44 ^c
n-3 HUFA	46.9 ± 0.10 ^e	99.3 ± 0.15 ^f	4.1 ± 0.26 ^a	18.4 ± 0.65 ^b	32.1 ± 0.30 ^d	21.6 ± 0.24 ^c
n-6 HUFA	1.0 ± 0.10 ^b	0.2 ± 0.03 ^a	41.7 ± 0.82 ^e	23.3 ± 0.48 ^c	32.0 ± 0.32 ^d	32.1 ± 0.25 ^d
DHA/EPA	0.0 ± 0.00 ^a	0.0 ± 0.00 ^a	0.0 ± 0.00 ^a	0.0 ± 0.00 ^a	0.0 ± 0.00 ^a	0.9 ± 0.12 ^b
EPA/ARA	0.0 ± 0.00 ^a	0.0 ± 0.00 ^a	0.3 ± 0.02 ^b	8.1 ± 0.98 ^c	0.0 ± 0.00 ^a	0.0 ± 0.00 ^a

*Values (mean±S.E. of three replications) in the same row not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$).

¹CR; *Cryptocodinium* sp. (100%), ²EP; EPA oil (100%), ³CH; condensed freshwater *Chlorella* (100%),

⁴TE; *T. suecica* (100%), ⁵CH+EP; condensed freshwater *Chlorella* (70%) + EPA oil (30%), ⁶CH+CR+EP; condensed freshwater *Chlorella* (70%) + *Cryptocodinium* sp. (20%) + EPA oil (10%),

⁷Saturated fatty acid; 6:0, 8:0, 10:0, 11:0, 12:0, 13:0, 14:0, 15:0, 16:0, 17:0, 18:0, 20:0, 21:0,

⁸Mono unsaturated fatty acid; 15:1, 16:1, 17:1, 18:1n9, 20:1, 22:1n-9, 24:1,

⁹Highly unsaturated fatty acid; 18:2n-6, 18:3n-3, 20:2, 18:3n-6, 20:3n-6, 20:4n-6, 20:5n-3, 22:2, 22:6n-6.

각기 다른 먹이원에 따른 물벼룩의 최고밀도, 최고밀도까지의 평균 포란율 및 개체성장률을 <Table 2>와 [Fig. 1]에 나타내었다. 최고밀도는 대조구인 TE에서 배양 12일째 36.5개체/mL로 유

의적으로 가장 높게 나타났다($P<0.05$). 그러나 34.0개체/mL를 보인 CH+CR+EP 혼합구와의 유의적인 차이는 나타나지 않았다($P>0.05$). 반면 EP가 들어가지 않은 CH의 단독구는 유의적으로 가

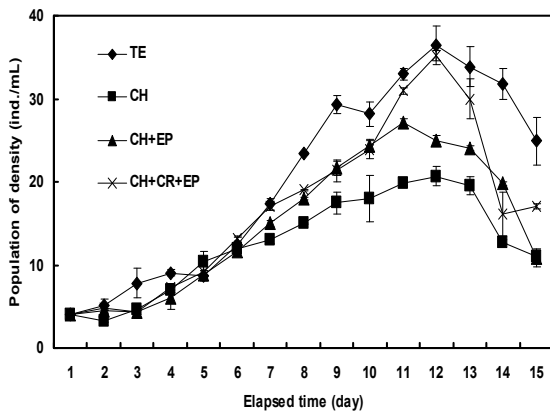
장 낮은 밀도를 보였다($P < 0.05$). 최고밀도까지의 평균 포란율은 모든 실험구간에서 유의적인 차이가 없는 것으로 나타났으며($P > 0.05$), 개체성장률인 SGR은 CH 실험구를 제외한 모든 실험구간에서 유의적인 차이 없이 높게 나타났다($P > 0.05$).

<Table 2> Maximum density, fecundity and specific growth rate (SGR) of *D. celebensis* cultured at the different experiment diets*

Diets ¹	Maximum density (ind./mL)	Fecundity (%)	SGR
TE	36.5±2.32 ^c	13.6±2.33 ^a	0.28±0.008 ^b
CH	20.7±1.15 ^a	13.0±1.77 ^a	0.25±0.202 ^a
CH+EP	27.2±0.73 ^b	14.9±1.95 ^a	0.28±0.003 ^b
CH+CR+EP	34.0±0.52 ^c	13.0±1.44 ^a	0.29±0.001 ^b

*Values (Mean±S.E. of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different ($P < 0.05$).

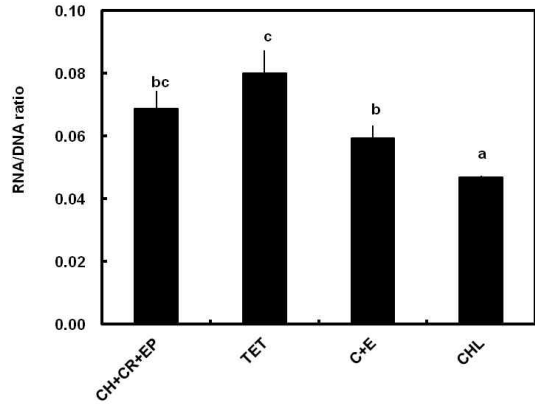
¹was same with that of Table 1.



[Fig. 1] Population growth of *D. celebensis* cultured at the different experiment diets. Refer to <Table 1>

또한 각각의 실험구에 따른 RNA/DNA ratio를 [Fig. 2]에 나타내었다. 그 값은 TE 단독구에서 0.08로 가장 높게 나타났으나($P < 0.05$), CH+CR+EP 혼합 실험구와 유의적인 차이는 보이지

않았다($P > 0.05$). 그 뒤로 CH+EP 실험구가 높게 나타났으나, EPA가 들어가지 않은 단순 CH는 0.05로 가장 낮은 값을 보였다($P < 0.05$).



[Fig. 2] RNA/DNA ratio of *D. celebensis* fed the experimental diets

IV. 고찰

본 실험에서 최고밀도는 대조구인 *Tetraselmis suecica* (TE) 단독 공급구에서 가장 높게 나타났으나, 담수산 농축 *Chlorella*에 혼합물질을 넣을 경우(CH+CR+EP)에는 TE를 대체 가능한 것으로 나타났다. 다만, 본 실험에서 확인하고자 했던 것은 먹이제조 실험구 내 EPA의 존재에 따른 영향으로 과연 EPA가 기수산 물벼룩, *D. celebensis*의 성장과 생식에 영향을 미치는지에 대한 것이었다. 본 실험 결과에서 분명 먹이 내 EPA의 존재는 기수산 물벼룩, *D. celebensis*의 성장과 생식에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 물론 혼합물질의 종류와 비율의 차이로 인해 실험구간(CH+EP 및 CH+CR+EP)에 개체밀도는 다소 차이를 보였지만, 분명한 것은 대조구였던 CH 단독구를 제외한 모든 실험구에 EPA를 첨가해 주었을 경우, 개체밀도와 더불어 개체성장률(SGR)의 증가로 이어졌다는 것이다. 일반적으로 지각류에 있어서 먹이생물인 식물성 먹이생물의 부족한 영양은 성장률과 생식률을 감소시키는 원인이 되며(Ferrão-

Filho et al., 2003; Acharya et al., 2005), 그 중에서도 고도불포화지방산(특히, EPA 및 DHA)의 함량이 부족하면 성장이 낮아진다는 보고들이 있다(Müller-Navarra, 1995; DeMott and Müller-Navarra, 1997; Joseph et al., 2003). Ahlgren et al. (1990)와 DeMott (1998)에 의하면, 식물성 먹이생물인 *Scenedesmus vetulus*를 단독 공급했을 때 물벼룩의 성장은 낮았으나 EPA와 DHA가 높은 *Cryptomonas* sp.을 먹이로 첨가해 주면 성장이 높아진다고 보고하였다. 그러나 기존의 많은 연구자들은 이러한 고도불포화지방산 중에서도 특히 EPA의 중요성을 강조하고 있다(Müller-Navarra, 1995; Brett and Müller-Navarra, 1997). EPA는 eicosanoids의 전구체로 지각류를 포함한 무척추동물의 생리학적으로 중요한 역할을 수행하게 되는데, 그 중에서도 특히 난 (egg) 생산, 산란 및 부화에 관여하며 그 양을 조절한다고 알려져 있다(Stanley-Samuelson, 1994). 또한 Bransden et al. (2005)도 요각류의 성 성숙과 생식 단계에서 eicosanoids의 역할과 그에 따른 EPA의 중요성을 강조하였다. 이처럼 먹이원 내 존재하는 EPA는 지각류와 요각류의 난 생산과 산란에 큰 영향을 미치며, 그로 인해 결국 생식력을 향상시키는 효과를 기대할 수 있는 것이다. 이러한 맥락으로 Park and Park (2010)은 본 연구중인 기수산 물벼룩, *D. celebensis*에게 식물성 먹이생물의 종류별 실험을 행한 결과, 최고밀도와 암컷 당 산란수는 EPA가 높은 *T. suecica*에서 높게 나타난다고 하였으며, DHA가 높은 *Isochrysis galbana*는 보조 먹이로 이용이 가능하다고 보고하였다. 또한 Müller-Navarra (1995)의 보고에 의하면, 지각류인 *Daphnia galeata*에서 먹이 내 EPA의 함량은 성장률과 매우 밀접한 관계이기 때문에 EPA 함량이 적은 *Scenedesmus obliquus*를 먹이로 공급했을 때 성장률은 낮게 나타난다고 하였으며, Lampert (1981)도 *Daphnia pulex*에게 남조류를 단독으로 공급했을 때 보다 EPA가 함유되어 있는 녹조류를 혼합하여 공급하였을 때 물벼룩의 성장은

개선된다고 언급하였다. 이처럼 먹이 내 EPA 함량은 지각류인 물벼룩에게 있어 매우 중요한 영양소 중에 하나라 할 수 있으며, 본 실험에서도 이러한 작용으로 EPA 첨가 혹은 함유에 따라 물벼룩의 성장에 긍정적인 영향을 미친 것으로 판단된다. 그러나 CH+EP 실험구는 먹이 내 29.8%의 높은 EPA 함량이 관찰되었음에도 불구하고 성장이 다소 낮았던 것은 과도한 EPA oil 첨가에 따른 수질문제 때문이라 판단된다. 유화제를 이용하여 oil을 유화시켰지만 EPA oil의 첨가가 가장 높은 실험구였고, 배양하는 과정에서 배양수 내 유막층이 많이 생성되는 것을 관찰할 수 있었는데, 이러한 유막층 형성에 의한 수질문제 때문에 개체밀도의 저해 현상이 나타난 것으로 판단되어진다(Park et al., 1999).

아울러, Goulden and Henry (1981)는 지질 함량이 높은 어미 *Bosmina* sp.에 의해 부화되는 어린 유생은 높은 지질함량을 보인다고 하였다. 따라서, 적절한 먹이섭취를 행한 어미로부터 태어나는 유생은 지질 영양소의 부족함이 없기 때문에 성장이 원활하게 이루어진다고 하였으며, 어미로부터 물려받은 영양소가 부족하거나 소진된 상태로 부화되었다면 추후 포란율과 성장에 부정적인 영향을 미친다고 하였다. 본 실험에서도 EPA가 첨가 혹은 함유된 먹이를 섭취한 물벼룩은 CH를 단독으로 섭취한 물벼룩에 비해 EPA가 원활히 유생에게 전달되었으며, 이러한 유생은 EPA를 그들의 성장에 긍정적으로 이용했기 때문에 차이를 보인 것이라 판단된다. 하지만 먹이 내 지각류의 EPA에 대한 요구량과 관련된 문헌은 현재까지 전무한 실정으로 본 실험에서도 EPA에 대한 영향력은 관찰할 수 있었지만 정확한 요구량은 확인할 수 없었다. 다만, 본 실험에서 최고 밀도를 보인 TE에서 EPA의 함량은 4.0%였으며, 개체밀도의 차이가 없었던 CH+CR+EP 혼합 실험구에서의 함량은 6.3%였던 점을 미루어 볼 때 먹이 내 EPA의 함량은 4~6% 수준이라 판단되어지며, 추후 실험을 통해 보다 구체적인 함량을

조사하여 경제적인 먹이를 제조해야 할 것으로 판단된다.

한편, 본 실험구 중에 DHA 영양강화원인 광합성세균, *Cryptocodinium* sp. (CR)를 넣어준 이유는 물론 위에서 언급한 것처럼 고도불포화지방산의 하나인 DHA 또한 물벼룩의 성장에 긍정적인 영향이 미치기 때문이기도 하지만, Park et al. (2012)의 자료에 의하면, CH+CR+EP를 섭취한 물벼룩은 *T. suecica* 및 담수산 농축 *Chlorella*의 단독 공급구에서 볼 수 없었던 높은 고도불포화지방산이 물벼룩 체내에 축적된다고 보고하였다. 이는 곧 해산 자·치어가 요구하는 영양소를 충족시켜 주기 위한 별도의 영양강화 작업이 필요가 없다는 의미로 생산비용의 절감효과까지 얻을 수 있기 때문에 혼합 먹이원으로 공급하게 된 것이다.

한편, RNA/DNA ratio은 단위세포 당 단백질 합성량을 간접적으로 알아볼 수 있는 지표로써 현재 그 생물체가 처한 환경을 평가해 볼 수 있는 것으로 알려져 있다(Fukuda et al., 2001). 본 실험에서 RNA/DNA ratio는 개체밀도와 성장률이 가장 높았던 TE 및 CH+CR+EP 실험구에서 유의적으로 가장 높게 나타났으며, 그 뒤로 CH+EP 혼합 실험구가 높게 나타났다. 반면, EPA의 첨가가 없는 대조구인 CH는 유의적으로 가장 낮게 나타났는데, 이는 결국 기수산 물벼룩, *D. celebensis*에게 있어 EPA 첨가 및 함유가 되지 않은 단순 *Chlorella*는 부적합한 먹이라는 것을 확인시켜 준 것이다.

본 실험을 종합해 볼 때, 기수산 물벼룩 *D. celebensis*에게 경제적인 먹이원을 제조하여 공급한 결과, 물벼룩의 성장과 체내 RNA/DNA ratio의 향상을 확인할 수 있었기 때문에 *T. suecica*를 자가배양하여 공급할 필요 없이 EPA의 첨가 혹은 함유된 먹이를 간편하게 제조하여 사용할 수 있을 것으로 판단되어 진다.

참고 문헌

- Acharya, K., Jack, J. D. and Bukaveckas, P. A.(2005). Dietary effects on life history traits of riverine *Bosmina*, *Freshwater Biol.*, 50, 965~975.
- Ahlgren, G., Lundstedt, L., Brette, M. T. and Forsberg, C.(1990). Lipid composition and food quality of some freshwater phytoplankton for cladoceran zooplankters, *J. Plankton Res.*, 12, 809~818.
- Bransden, M. P., Butterfield, G. M., Walden, J., McEvoy, L. A. and Bell, G.(2005). Tank colour and dietary arachidonic acid affects pigmentation, eicosanoid production and tissue fatty acid profile of larval Atlantic cod(*Gadus morhua*), *Aquaculture*, 250, 328~340.
- Brett, M. T. and Müller-Navarra, D. C.(1997). The role of highly unsaturated fatty acids in aquatic food web processes, *Freshwater Biol.*, 38, 483~499.
- Chen, F. Y., Chow, M., Chao, T. M. and Lim, R.(1977). Artificial spawning and larval rearing of the grouper, *Epinephelus tauvina* (Forsk.) in Singapore, *J. Pri. Ind.*, 5, 1~21.
- DeMott, W. R. and Müller-Navarra, D. C.(1997). The importance of highly unsaturated fatty acids in zooplankton nutrition: evidence from experiments with *Daphnia*, a cyanobacterium and lipid emulsions, *Freshwater Biol.*, 38, 649~664.
- DeMott, W. R.(1998). Utilization of a cyanobacterium and a phosphorus deficient green alga as complementary resources by Daphnids, *Ecology*, 79, 2463~2481.
- Duncan, D. B.(1955). Multiple-range and multiple F tests, *Biometrics*, 11, 1~42.
- Ferrão-Filho, A. S., Arcifa, M. S. and Fileto, C.(2003). Resource limitation and food quality for Cladocerans in a tropical Brazilian lake, *Hydrobiologia*, 491, 201~210.
- Fukuda, M., Sako, H., Shigeta, T. and Shibata, R.(2001). Relationship between growth and biochemical indices in laboratory reared juvenile

- Japanese flounder and its application to wild fish, *J. Mar. Sci.*, 138, 47~55.
- Fukuda, M., Yano, Y., Nakano, H. and Sugiyama, M.(1986). Protein and nucleic acid changes during early development stages of Cresthead flounder, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 52, 951~955.
- Goulden, C. E and Henry, L. L.(1981). Lipid energy reserves and their role in Cladocera, In: Trophic Interactions within Aquatic Ecosystems AAAS Selected Symposium 85 (Eds Meyers DG and Strickler JR), 167~185.
- Hagiwara, A., Gallardo, W. G., Assavaaree, M., Kotani, T. and de Araujo, A. B.(2001). Live food production in Japan: recent progress and future aspects, *Aquaculture*, 200, 111~127.
- Joseph, L. R., Müller-Navarra, D. C. and Brett, M. T.(2003). A test of the role of polyunsaturated fatty acids in phytoplankton food quality for *Daphnia* using liposome supplementation, *Limnol. Oceanogr.*, 48, 1938~1947.
- Lampert, W.(1981). Inhibitory and toxic effects of blue-green algae on *Daphnia*, *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie*, 66, 285~298.
- Morrison, W. R. and Smith, L. M.(1964). Preparation of fatty acid methyl esters and dimethylacetals from lipids with boron fluoride methanol, *J. Lipid Res.*, 5, 600~608.
- Müller-Navarra, D. C.(1995). Evidence that a highly unsaturated fatty acid limits *Daphnia* growth in nature, *Arch. Hydrobiol.*, 132, 297~307.
- Park, H. G., Kim, S. K., Park, K. Y. and Park, Y. J.(1999). High-density cultivation of rotifer, *Brachionus rotundiformis* in different diets, *J. Korean Fish. Soc.*, 32, 280~283.
- Park, J. C. and Park, H. G.(2010). Growth of the brackish water flea, *Diaphanosoma celebensis*, on different foods and food concentrations, *Kor. J. Fish. Aquat. Sci.*, 43, 131~138.
- Park, J. C., Kwon, O. N. and Park, H. G.(2012). Changes on population growth and fatty acid composition of replacement diets for mass production of brackish water flea, *Diaphanosoma celebensis*. unpublished.
- Parrish, C. C.(1987). Separation of aquatic lipid classes by Chromarod thin-layer chromatography with measurement by Iatroskan flame ionization detection, *Can. J. Fish. Aquatic. Sci.*, 44, 722~731.
- Peragóna, J., Barroso, J. B., García-Salguero, L., de la Higuera, M., Lupiáñez, J. A.(2001). Growth, protein-turnover rates and nucleic acid concentrations in the white muscle of rainbow trout during development. *Internation J. Biochem Cell. Biol.*, 22, 1227~1238.
- Rico-Martinez, R. and Dodson, S. I.(1992). Culture of the rotifer, *Brachionus calyciflorus* Pallas, *Aquaculture*, 105, 191~199.
- Stanley-Samuelson, D. W.(1994). The biological significance of prostaglandins and related eicosanoids in invertebrates, *American Zoologist*, 34, 589~598.
- Segawa, S. and Yang, W. T.(1988). Population, growth and density of an estuarine cladoceran *Diaphanosoma aspinosum* in laboratory culture, *Bull. Plankton, Soc. Jap.*, 35, 67~73.

-
- 논문접수일 : 2012년 02월 15일
 - 심사완료일 : 1차 - 2012년 03월 05일
 - 게재확정일 : 2012년 03월 10일