

## 배합사료에 오징어간유와 대두유 첨가비가 성장기 조피볼락의 성장과 체성분에 미치는 효과

이상민 · 이종윤\* · 전임기\*

강릉대학교 해양생명공학부, \*국립수산진흥원

### Dietary Squid Liver Oil and Soybean Oil Ratio on Growth and Body Composition of Korean Rockfish *Sebastes schlegeli*

Sang-Min Lee, Jong-Yun Lee\* and Im-Gi Jeon\*

Faculty of Marine Bioscience & Technology, Kangnung National University, Kangnung 210-702, Korea

\*National Fisheries Research & Development Institute, Pusan 619-900, Korea

Five diets, containing different levels (0.3-1.5 %) of n-3 highly unsaturated fatty acids (n-3HUFA) adjusted by adding different ratio of squid liver oil and soybean oil to 8% lipid, were fed to the rockfish (130 g) for 8 weeks. Mean weight gain and feed efficiency were lowest in the fish fed the diet containing 0.3% n-3HUFA. These values improved with increasing squid liver oil, and showed linear relation up to 0.6% n-3HUFA. Using the broken line model, the dietary n-3HUFA requirement was estimated as about 0.9 % for optimal weight gain of the fish. Crude lipid levels of the liver in 0.3-0.6% n-3HUFA diets were significantly higher than in the 1.5% n-3HUFA diet ( $P < 0.05$ ). Fatty acid composition of polar lipid in the liver were directly affected by dietary lipid sources. The level of n-3HUFA of polar lipid in the liver increased with dietary n-3HUFA levels, although 18:2n-6 content decreased. Hence the n-3HUFA requirement of a growing rockfish is 0.6-0.9% of diet.

Key words : Rockfish, *Sebastes schlegeli*, Essential fatty acid, Squid liver oil, Soybean oil

### 서 론

지질은 에너지 value가 높아 값비싼 사료 단백질을 절약할 수 있을 뿐 아니라, 필수지방산 공급원으로서 동물의 성장과 대사에 필수적인 역할을 하는 중요한 영양소이다. 어류의 필수지방산 종류와 양은 수온이나 염분 등의 서식 환경에 영향을 받으며, 어종에 따라 요구되는 지방산이 달라서 육상동물과는 많은 차이가 있다 (Castell, 1979; Cowey and Sargent, 1979). 일반적으로 해산어는 담수어와 달리 EPA (eicosapentaenoic acid) 및 DHA (docosahexaenoic acid)와 같은 n-3HUFA (highly unsaturated fatty acids)를 요구한다고 보고되어 있다 (NRC, 1993).

양식 생산량이 급격히 증가되고 있는 조피볼락에 대해서도 필수지방산 영양에 관한 일련의 연구가 수행되었는

데 (Lee et al., 1993a,b; 1994; Lee, 1997), 조피볼락의 필수 지방산이 다른 해산어류처럼 n-3HUFA이고, 그 요구량이 1% 전후임이 구명되었다. 또한, 이러한 필수지방산이 사료에 부족하면, 조피볼락의 성장저하를 비롯하여 체내에서 세포막의 효소활성 및 혈액성상에 이상이 초래된다고 보고되었다 (Lee et al., 1993c). 이러한 일련의 실험들은 실험 시작시 평균체중 2-7 g의 조피볼락 치어를 대상으로 수행되었기 때문에 어체크기에 대한 고려는 없었다. 대부분의 동물은 성장 속도에 따라 그들이 필요로 하는 영양소의 요구량이 달라질 가능성이 높기 때문에 본 연구는 이미 수행된 연구에 이어서 성장기에 있는 130 g 전후의 조피볼락을 대상으로 사료 내 오징어 간유와 대두유의 첨가비를 조정하여 정상적인 성장에 필요한 n-3HUFA 요구량을 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 실험사료

기본사료는 앞 연구 (Lee et al., 1993d,e)의 결과를 토대로 단백질 및 지질 함량이 조피볼락의 요구량에 맞도록 설계하였다. 탈지 북양어분을 주단백질원으로 하여 지질원으로 대두유와 오징어 간유를 8% 범위내에서 그 첨가비를 조절하여 사료중 n-3HUFA 함량이 0.3-1.5%가 되도록 모두 5종류의 실험사료를 설계하였다 (Table 1). 북양어분 중에 함유된 지방산의 영향을 없애기 위하여 어분의 지질을 제거하였는데, Folch et al. (1957)의 방법에 따라서 chloroform : methanol (2 : 1 v/v) 혼합용액을 어분에 3배 가량 첨가하여 3회 이상에 걸쳐 어분에 포함된 지질을 완전히 제거한 후, 건조시켜 0.5 mm의 screen이 부착된 분쇄기로 분쇄하여 실험사료 원료로 사용하였다. 사료의 n-3HUFA 함량을 조절하기 위해 대두유와 오징어 간유를 다

른 비율로 미리 배합하여 지용성 비타민 (vitamin A, D, E, K)을 첨가한 후, 질소 gas로 충전시켜 냉동보관 (-30℃)하면서 사료제조시마다 사용하였다. 실험사료는 사료원료를 잘 혼합한 후, 원료 100 g 당 물 40 g을 첨가하여 모이스트 펠렛 제조기로 성형하였으며, -30℃에 보관하였다.

### 실험어 및 사육관리

실험어는 유전적인 개체 차이에서 오는 오차를 줄이기 위해 동일 친어에서 산출된 새끼들을 예비 사육하다가 사용하였는데, 실험시작 20일전부터 실험수조에 수용하여 실험사료 (0.6% n-3HUFA)로 예비사육한 후, 중간 크기 (평균체중 130 g 전후)의 어체를 선별하여 8주간 사육실험을 실시하였다. 사료는 Lee et al. (2000)의 결과를 토대로 1일 1회 손으로 반복에 가깝도록 공급하였다.

실험수조로 300 l 들이 FRP 원형수조 (수용적 250 l)를 사용하였으며, 한 수조당 실험어 15마리씩을 수용하여 2

Table 1. Ingredient and proximate composition of the diets

Ingredient (%)	n-3HUFA level (%)				
	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5
White fish meal <sup>1</sup>	54	54	54	54	54
Dextrin	20	20	20	20	20
Squid liver oil <sup>2</sup>	1.4	2.8	4.2	5.7	7.1
Soybean oil	6.6	5.2	3.8	2.3	0.9
Carboxymethyl cellulose	3	3	3	3	3
Vitamin premix <sup>3</sup>	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
Mineral premix <sup>4</sup>	4	4	4	4	4
Choline chloride <sup>5</sup>	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Kaolin	4	4	4	4	4
Alpha cellulose <sup>5</sup>	4	4	4	4	4
<i>Proximate analysis (% , dry basis)</i>					
Crude protein	45.1				
Crude lipid	8.9				
Crude ash	16.7				
Crude fiber	5.2				
Gross energy (kcal/ 100 g diet)	444				

<sup>1</sup>Produced by steam dry method, defatted with chloroform-methanol mixture (2:1, v/v) and contained 0.015% ethoxyquin

<sup>2</sup>Provided by E-wha Oil & Fat Ind. Co., Pusan, Korea.

<sup>3</sup>Vitamin premix contains the following amount which were diluted in cellulose (g/kg mix): L-ascorbic acid, 121.2; DL- $\alpha$ -tocopheryl acetate, 18.8; thiamin hydrochloride, 2.7; riboflavin, 9.1; pyridoxine hydrochloride, 1.8; niacin, 36.4; Ca-D-pantothenate, 12.7; myo-inositol, 181.8; D-biotin, 0.27; folic acid (98%), 0.68; p-aminobenzoic acid, 18.2; menadione, 1.8; retinyl acetate, 0.73; cholecalciferol, 0.003; cyanocobalamin, 0.003.

<sup>4</sup>Mineral premix contains the following ingredients (g/kg mix): MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, 80.0; NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O, 370.0; KCl, 130.0; Ferric citrate, 40.0; ZnSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, 20.0; Ca-lactate, 356.5; CuCl, 0.2; AlCl<sub>3</sub> · 6H<sub>2</sub>O, 0.15; KI, 0.15; Na<sub>2</sub>Se<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0.01; MnSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O, 2.0; CoCl<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O, 1.0.

<sup>5</sup>Sigma Chemical, St. Louis, MO, USA.

반복이 되도록 완전임의배치하였다. 주수량은 여과해수를 분당 3 l로 조절하였고, 각 수조마다 약하게 포기시켜 산소를 공급하였다. 실험기간 중의 수온은  $21.1 \pm 0.05^\circ\text{C}$  (평균 $\pm$ 표준오차)로 유지하였고, 비중은  $1.024 \pm 0.0013$ , 용존산소는  $5.9 \pm 0.19$  ppm, pH는  $8.12 \pm 0.012$ 였다. 사육 수조가 있는 곳은 외부로부터 오는 stress를 최소화하기 위하여 사방으로 차단막을 설치하여 먹이공급 및 청소를 위한 출입 외에는 출입을 통제하였다.

어체측정은 측정전일 절식시킨 상태로 MS222 100 ppm의 농도에 마취시켜 각 수조의 실험어 전체 무게를 측정하였다. 어체분석용으로 실험시작시 20마리, 실험종료시 각 수조에서 10마리씩 추출하여 냉동보관 ( $-30^\circ\text{C}$ )하였다.

### 성분분석

사료 및 어체의 수분은 상압가열건조법, 조단백질은 Kjeldahl 질소정량법( $N \times 6.25$ ), 조지방은 Soxhlet 추출법 (ether 추출법), 조회분은 직접회화법으로 각각 분석하였다 (AOAC, 1990). 총에너지는 adiabatic bomb calorimeter (Parr, USA)로 측정하였다. 지방산 분석을 위해 Folch et al. (1957)의 방법으로 총지질을 추출하였고, Juaneda and Rocquelin (1985)의 방법에 따라 SEP-PAK silica cartridge (Waters Associates, Milford, MA)를 사용하여, 총지질을 chloroform과 methanol로 비극성지질과 극성지질로 분리하였다. 이렇게 분리된 극성지질을 14%  $\text{BF}_3$ -methanol로 methylation시킨 후, capillary column (HP-INNOWax,  $30 \text{ m} \times 0.32 \text{ mm} \times 0.5 \mu\text{m}$ , USA)이 장착된 gas chromatography (HP-5890 II, USA)로 지방산을 분석하였다. 표준지방산으로 12:0, 13:0, 14:0, 14:1, 16:0, 16:1, 17:0, 17:1, 18:0, 18:1, 18:2n-6, 18:3n-6, 18:3n-3,

18:4n-3, 18:4n-6, 20:0, 20:1, 20:2n-6, 20:3n-6, 20:4n-3, 20:5n-3, 22:0, 22:1, 22:4n-3, 22:5n-3, 22:6n-3 및 24:1 (Sigma, USA)을 사용하였다. Carrier gas는 helium (30 ml/min)을 사용하였으며, oven 온도는  $170^\circ\text{C}$ 에서  $225^\circ\text{C}$ 까지  $1^\circ\text{C}/\text{min}$  증가시켰고, injector의 온도는  $250^\circ\text{C}$ , detector (FID) 온도는  $270^\circ\text{C}$ 로 설정하였다.

### 통계처리

실험결과와 통계처리는 ANOVA-test를 실시하여 유의수준 5%에서 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균간의 유의성을 SPSS program (SPSS Inc., 1997)을 사용하여 검정하였고, 결과 값은 반복의 평균으로 표시하였다. 또한, broken line model (Robbins et al., 1979)로 SAS program (SAS, 1988)에서 nonlinear regression models procedure를 이용하여 n-3HUFA 요구량을 추정하였다.

### 결과 및 고찰

성장효과는 Table 2에 표시하였다. 사료의 오징어 간유 함량이 높을수록 평균증체량은 증가하다가 n-3HUFA 0.6% 이상에서는 유의적인 차이가 인정되지 않았다 ( $P > 0.05$ ). 사료효율도 이와 유사한 경향으로, n-3HUFA 0.6% 까지 증가하였으나, n-3HUFA 0.6-1.5% 사이에서는 차이가 없었다 ( $P > 0.05$ ). Broken line model을 이용하여 증체량을 지표로 n-3HUFA 요구량을 추정한 결과 (Fig. 1), 0.94%로 나타났다.

위와 같이 사료의 오징어 간유 함량에 따른 성장 차이는 오징어 간유 내 n-3HUFA의 영향이며, 조피볼락 치어

Table 2. Performance of the rockfish *Sebastes schlegeli* fed diets containing different n-3HUFA levels for 8 weeks<sup>1</sup>

	Dietary n-3HUFA level (%)					SEM <sup>4</sup>
	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	
Initial mean body weight (g/fish)	129.9 <sup>ns</sup>	129.6	129.7	129.6	130.8	2.09
Mean weight gain (g/fish)	48.9 <sup>a</sup>	55.2 <sup>ab</sup>	61.7 <sup>b</sup>	63.5 <sup>b</sup>	61.9 <sup>b</sup>	2.95
Feed efficiency (%) <sup>2</sup>	59.1 <sup>a</sup>	65.4 <sup>ab</sup>	69.7 <sup>b</sup>	75.3 <sup>b</sup>	77.2 <sup>b</sup>	2.38
Daily feed intake (%) <sup>3</sup>	1.07 <sup>ns</sup>	1.08	1.10	1.05	1.06	0.026

<sup>1</sup>Values (mean of replications) in the same row not sharing a common superscript are significantly different ( $P < 0.05$ ).

<sup>2</sup>(Fish weight gain  $\times$  100)/feed intake (dry matter).

<sup>3</sup>(Feed intake  $\times$  100)/[(initial fish weight + final fish weight)  $\times$  day fed/2]

<sup>4</sup>Standard error of the mean, n = 2.

<sup>ns</sup>Not significant ( $P > 0.05$ ).

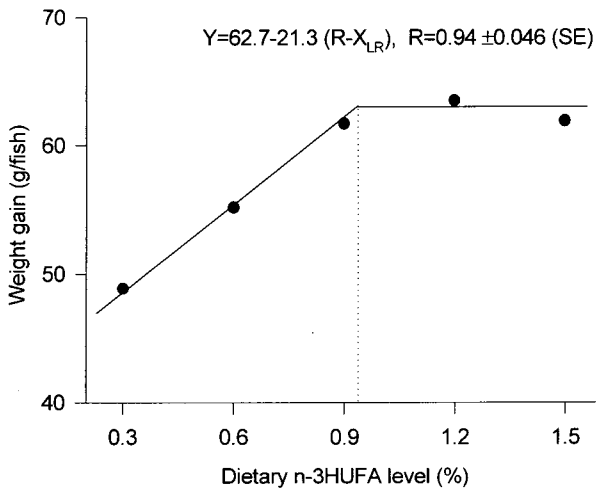


Fig. 1. Broken line model of weight gain of the rock fish as a function of dietary n-3HUFA levels.

뿐만 아니라 (Lee et al., 1994), 평균체중 100 g 이상의 성장기 조피볼락에도 적정량의 n-3HUFA가 사료에 첨가되어야 하는 것으로 나타났다. 당년생 조피볼락 치어의 경우, 정제된 ester 형태의 지방산을 사료에 첨가한 연구에서 EPA와 DHA와 같은 n-3HUFA 요구량이 0.9-1%로 보고되어 있고 (Lee et al., 1993b, 1994), 오징어 간유로 사료의 n-3HUFA 함량을 조절한 연구에서는 n-3HUFA 요구량이 1.2%로 보고되어 있다 (Lee et al., 1993a). 본 실험에서처럼 오징어 간유로 사료의 n-3HUFA 함량을 조절하여 조피볼락을 사육한 경우, 사료의 n-3HUFA 함량이 0.6% 이상에서는 성장 및 사료효율이 통계적으로 더 이상 개선되지 않았고, 증체량을 지표로 broken line model로 n-3HUFA 요구량을 추정해 본 결과는 0.9%로 나타났다. 이러한 성장 결과로부터 평균체중 130 g 이상의 조피볼락의 n-3HUFA 요구량은 0.6-0.9% 정도로 추정되며, 조피볼락 치어보다는 그 요구량이 낮아지는 경향을 보였다.

이러한 차이는 어체가 커짐에 따라 n-3HUFA 요구량이 감소하였기 때문으로 판단된다. Lee et al. (1993f)은 평균체중 95 g의 조피볼락을 20℃의 수온에서 사육했을 경우, 사료의 n-3HUFA 0.6-1.5% 사이에서는 성장 및 사료효율이 차이가 없었고, 수온 12℃에서는 사료의 n-3HUFA 함량을 0.9%까지 증가시켜 주는 것이 양호하다고 보고하여 수온에 따라 차이를 보였다. 또한, 조피볼락 성어 (평균체중 0.5-1 kg)용으로 사료에 대두유만을 첨가하여도 n-3HUFA가 어분 지질에 함유되어 있어, 이때 사료의 n-3HUFA 함량은 0.7%였으며, 어분 지질의 n-3HUFA만으

로도 조피볼락의 요구량을 만족시키는 것으로 보고되어 있다 (Lee et al., 1995). 본 실험과 앞 연구들의 결과들을 종합하여 보면, 조피볼락은 어체가 성장함에 따라 n-3HUFA 요구량이 어느 정도 감소됨을 알 수 있다.

다른 해산어의 n-3HUFA 요구량을 살펴보면 참돔은 0.5% (Fujii et al., 1976; Izquierdo et al., 1989), turbot은 0.6% (Gatesoupe et al., 1977; Leger et al., 1979), striped jack은 1.8% (Watanabe et al., 1989) 그리고 gilthead bream (Kalogeropoulos et al., 1992)은 0.9%로 보고되어 있다. 본 실험에서 나타난 조피볼락의 적정성장애 필요한 사료의 n-3HUFA 함량은 striped jack보다는 낮았으며 turbot이나 gilthead bream과 비슷하였다. 이처럼 필수지방산의 요구량은 어종, 사육환경 등에 따라 달라지므로 배합사료 제조시 이를 고려하는 것이 경제적인 사료 설계에 도움이 될 것이다.

오징어 간유나 대구 간유와 같은 어유에는 해산 어류가 요구하는 EPA와 DHA가 다량 함유되어 있을 뿐 아니라 EPA/DHA 비가 적절히 배합되어 있으므로 (Lee et al., 1994; Kalogeropoulos et al., 1992), 해산 어류의 n-3HUFA 요구를 충족시켜 주기 위해 본 연구에서처럼 어유를 사료 지질원으로 많이 사용하고 있다. 하지만 어유 중의 n-3HUFA는 산화되기 쉽고, 비타민 E 요구량 등과 관련되어 있기 때문에 고려해야할 점이 잠재되어 있다 (Watanabe et al., 1981). 무지개송어 (Takeuchi and Watanabe, 1979)와 hybrid striped bass (Nematipour and Gatlin III, 1993)의 경우, 필수지방산의 과다 첨가는 성장 및 사료효율을 저하시킨다고 보고된 바 있다. 또한, 어유나 간유는 다른 동물성이나 식물성 기름보다 가격이 비싸므로, Lee (1994)는 조피볼락 당년어 사료에 지질원으로 우지, 대두유 및 오징어 간유 이용성을 검토하기 위해 성장 및 체내 에너지 대사를 조사한 결과, 사료의 n-3HUFA 함량이 일정 수준 이상 함유되면 지질 종류에 영향을 받지 않음을 밝혀 사료 원가를 절감시킬 수 있을 것으로 결론지었다. 따라서 조피볼락이 성장함에 따라 그들의 n-3HUFA 요구량을 고려하여 사료에 첨가되는 어분 지질의 함량과 지방산을 분석한 후, 사료 지질원으로 오징어 간유 대신 대두유나 우지, 돈지 등과 같은 다른 값싼 지질을 적절히 대체하여도 좋을 것으로 전망된다.

본 실험의 조피볼락에 있어서는 성장 및 사료효율의 감소 외에 폐사나 외적인 결핍증상은 관찰되지 않았지만, 필수지방산이 부족한 사료를 먹은 송어 (Castell et al., 1972a,b;

Higashi et al., 1966)의 경우 성장 및 사료효율의 저하와 더불어 피부의 탈색이나 지느러미 부식과 같은 결핍증상이 나타났고, n-3HUFA가 부족한 turbot (Bell et al. 1985)과 은어 (Kanazawa et al., 1982)에서도 폐사율이 높았다는 보고가 있다.

등근육 및 간의 일반성분의 분석결과 (Table 3)를 살펴 보면, 간의 지질함량 외에는 각각의 성분이 사료의 n-3HUFA에 영향을 받지 않았다. 간의 지질함량은 n-3HUFA 함량이 낮은 0.3-0.6% 실험구가 37.0-37.1%로서 n-3HUFA 함량 1.5% 실험구의 34.6%보다 높은 값을 보였다 ( $P < 0.05$ ). 이처럼 간의 지질 함량은 사료의 n-3HUFA 함량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였는데, 무지개송어 (Watanabe et al., 1974), 참돔 (Fujii et al., 1976) 및 gilthead bream (Kalogeropoulos et al., 1992)에서도 유사한 경향이였다. 이 같은 현상은 n-3HUFA 부족으로 인해 간세포의 지질 대사에 장애가 초래된 것으로 보인다. 간에 축적된 지질이나 장에서 흡수된 지질은 lipoprotein에 의해 운반된 후 저장조직에 축적되거나 에너지원으로 이용되는 것으로 알려져 있다. Fukuzawa et al. (1970,1971)은 육상동물의 간에 지질이 비정상적으로 높게 축적된 것을 lipoprotein의 합성이 저해된 것에 원인을 두고 있으며, Rogie and Skinner (1985)는 무지개송어의 lipoprotein 합성이 간에서 이루어진다고 보고한 것으로부터 판단하여 보면, 간세포의 대사장애로 lipoprotein의 합성이 저해될 경우에는 간의 지질이 이용되지 못한 채 축적되는 것으로 판단된다. 실험 개시시 및 종료시 간의 지방산조성 변화를 Table

4에 표시하였다. 사료의 오징어 간유 비율이 증가할수록 간 극성지질의 n-3HUFA 함량은 증가하는 경향을 보였고, 대두유의 비율이 증가할수록 18:2n-6 함량이 증가하였는데, 이는 사료의 지방산에 직접적인 영향을 받았기 때문이며, 이러한 경향은 타 어종에서도 공통된 경향이다 (NRC, 1993). 일반적으로 필수지방산 결핍구의 어류 간 극성지질의 18:1 함량은 증가하는 것으로 알려져 있으나, 본 실험에서는 이러한 경향과 일치하지 않았다. 이러한 차이는 어종이나 사용한 지질원의 차이 때문으로 생각된다.

## 요 약

평균체중 130 g 전후의 성장기에 있는 조피볼락의 n-3HUFA 요구량을 조사하기 위해 n-3HUFA 함량이 0.3-1.5%가 되도록 오징어 간유와 대두유의 첨가비를 조정한 사료를 제조하여 8주간 사육실험하였다. 평균증체량과 사료효율은 사료의 오징어 간유 함량이 높을수록 증가하다가 n-3HUFA 0.6% 이상에서는 유의적인 차이가 인정되지 않았다 ( $P > 0.05$ ). 또한, n-3HUFA 요구량을 broken line model로 추정된 결과는 0.9%로 나타났다. 간의 지질 함량 외의 간과 근육의 일반성분은 사료의 n-3HUFA에 영향을 받지 않았으며, 간의 지질함량은 n-3HUFA 함량 0.3-0.6% 실험구가 n-3HUFA 함량 1.5% 실험구보다 높은 값을 보였다 ( $P < 0.05$ ). 간의 지방산조성은 사료의 지질원에 직접적인 영향을 받았는데, 사료의 오징어 간유 비율이 증가할수록 간 극성지질의 n-3HUFA 함량은 증가하는 경

Table 3. Proximate composition of the rockfish fed diets containing different n-3HUFA levels for 8 weeks<sup>1</sup>

	Initial	Dietary n-3HUFA levels (%)					SEM <sup>2</sup>
		0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	
<i>Dorsal muscle</i>							
Moisture	77.3	76.6 <sup>ns</sup>	76.3	75.9	76.8	76.3	1.15
Crude protein	20.4	20.8 <sup>ns</sup>	21.3	20.8	21.2	21.4	0.24
Crude lipid	1.3	1.3 <sup>ns</sup>	1.4	1.6	1.2	1.3	0.21
Crude ash	1.3	1.3 <sup>ns</sup>	1.3	1.3	1.3	1.3	-
<i>Liver</i>							
Moisture	49.6	45.5 <sup>ns</sup>	44.4	44.9	45.8	46.9	0.56
Crude protein	9.1	7.9 <sup>ns</sup>	8.0	8.0	8.3	8.4	0.17
Crude lipid	30.6	37.0 <sup>b</sup>	37.1 <sup>b</sup>	36.6 <sup>ab</sup>	35.6 <sup>ab</sup>	34.6 <sup>a</sup>	0.65
Crude ash	0.8	0.7 <sup>ns</sup>	0.7	0.7	0.7	0.7	-

<sup>1</sup>Values (mean of replications) in the same row not sharing a common superscript are significantly different ( $P < 0.05$ ).

<sup>2</sup>Standard error of the mean, n = 2.

<sup>ns</sup>Not significant ( $P > 0.05$ ).

Table 4. Fatty acids composition (% of total fatty acids) of polar lipid in the liver of the rockfish fed diets containing different n-3HUFA levels for 8 weeks

Fatty acid	Initial	Dietary n-3HUFA level (%)				
		0.3	0.6	0.9	1.2	1.5
14:0	3.3	3.6	3.4	3.3	3.4	3.3
16:0	14.4	14.1	14.0	14.4	14.8	15.6
16:1n	17.8	12.5	12.8	13.5	12.9	12.1
18:0	3.0	3.0	2.5	3.2	2.9	3.6
18:1n	41.9	39.2	41.1	40.9	42.8	40.1
18:2n-6	2.5	15.6	10.0	8.7	5.0	3.2
18:3n-3	0.6	1.4	2.1	1.8	1.9	2.0
20:1n	1.9	1.1	1.8	1.7	1.8	1.6
20:2n-6	0.3	0.1	0.3	0.1	0.6	0.2
20:4n-6	0.5	0.5	0.2	0.5	0.3	0.3
20:4n-3	0.3	0.1	0.1	0.3	0.3	0.2
20:5n-3	1.9	2.2	2.9	3.4	3.8	3.5
22:1n	0.7	0.7	0.5	0.3	0.5	0.6
22:6n-3	3.8	1.4	1.6	2.8	2.9	3.1
n-3HUFA <sup>1</sup>	6.0	3.7	4.6	6.5	7.0	6.8

<sup>1</sup>Highly unsaturated fatty acids (C<sub>≥</sub>20).

향을 보였고, 대두유의 비율이 증가할수록 18:2n-6 함량이 증가하였다. 이러한 결과로부터 평균체중 130 g 이상의 조피볼락 n-3HUFA 요구량은 0.6-0.9% 정도로 추정된다.

### 참 고 문 헌

- AOAC, 1990. Official Methods of Analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia. 1298 pp.
- Bell, M.V., R.J. Henderson, B.J.S. Pirie and J.R. Sargent, 1985. Effects of dietary polyunsaturated fatty acid deficiencies on mortality, growth and gill structure in the turbot, *scophthalmus maximus*. J. Fish Biol., 26:181-191.
- Castell, J.D., R.O. Sinnhuber, J.H. Wales and D.J. Lee, 1972a. Essential fatty acids in the diet of rainbow trout (*Salmo gairdneri*): growth, feed conversion and some gross deficiency symptoms. J. Nutr., 102:77-86.
- Castell, J.D., R.O. Sinnhuber, D.J. Lee and J.H. Wales, 1972b. Essential fatty acids in the diet of rainbow trout (*Salmo gairdneri*): physiological symptoms of EFA deficiency. J. Nutr., 102:87-92.
- Castell, J.D., 1979. Review of lipid requirements of finfish. In: Proc. World Symp. on Finsish Nutrition and Fishfeed Technology, Vol. I. Hamburg 20-23 June, 1978. pp. 59-84.
- Cowey, C.B. and J.R. Sargent, 1979. Nutrition. In: W. S. Hoar, D.J. Randall and J.R. Brett (Eds), Fish Physiology, Vol. VIII. Academic Press, Orlando, FL, pp. 1-69.
- Duncan, D.B., 1955. Multiple-range and multiple F tests. Biometrics, 11:1-42
- Folch, J., M. Lees and G.H.S. Stanley, 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues, J. Biol. Chem., 226:497-509
- Fujii, M., H. Nakayama and Y. Yone, 1976. Effect of ω3 fatty acids on growth, feed efficiency and fatty acid composition of red sea bream (*Chrysophrys major*). Report of Fishery Research Laboratory, Kyushu University, 3:65-86.
- Fukuzawa, T., O.S. Privett and Y. Takahashi, 1970. Effect of essential fatty acid deficiency on release of triglycerides by the perfused rat liver. J. Lipid Res., 11:522-527.
- Fukuzawa, T., O.S. Privett and Y. Takahashi, 1971. Effect of essential fatty acid deficiency on lipid transport from liver. Lipids, 6:388-393.
- Gatesoupe F., C. Leger., R. Metailler and P. Luquet, 1977. Alimentation lipidique du turbot (*Scophthalmus maximus* L.) I. Liffuence de la longueur de chaine des acides gras de la serie ω3. Ann. Hydrobiol., 8:89-97.
- Higashi, H., T. Kaneko, S. Ishii, M. Ushiyama and T. Sugihashi, 1966. Effect of ethyl linoleate, ethyl linolenate and ethyl esters of highly unsaturated fatty acids on essential fatty acid deficiency in

- rainbow trout. *J. Vitaminol.*, 12 : 74.
- Izquierdo M.S., T. Watanabe, T. Tacheuch, T. Arakawa and C. Kitajima, 1989. Requirement of larval red seabream *Pagrus major* for essential fatty acids. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 55 : 859-867.
- Juaneda, P. and G. Rocquelin, 1985. Rapid and convenient separation of phospholipids and nonphosphorous lipids from rat heart using silica cartridges. *Lipids*, 21 : 40-41.
- Kalogeropoulos N., M.N. Alexis and R.J. Henderson, 1992. Effect of dietary soybean and cod-liver oil levels on growth and body composition of gilthead bream (*Sparus aurata*). *Aquaculture*, 104 : 293-308.
- Kanazawa, A., S.I. Teshima and M. Sakamoto, 1982. Requirements of for essential fatty acids for larval ayu. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 48 : 587-590.
- Lee, S.M., J.Y. Lee, Y.J. Kang and S.B. Hur, 1993a. Effects of n-3 highly unsaturated fatty acids on growth and biochemical changes in the Korean rockfish *Sebastes schlegeli* I. growth and body composition. *J. Aquacult.*, 6 : 89-105.
- Lee, S.M., J.Y. Lee, Y.J. Kang, H.D. Yoon and S.B. Hur, 1993b. n-3 highly unsaturated fatty acid requirement of the Korean rockfish *Sebastes schlegeli*. *J. Korean Fish. Soc.*, 26 : 477-492.
- Lee, S.M., J.Y. Lee, Y.J. Kang and S.B. Hur, 1993c. Effects of n-3 highly unsaturated fatty acids on growth and biochemical changes in the Korean rockfish *Sebastes schlegeli* II. changes of blood chemistry and properties of liver cells. *J. Aquacult.*, 6 : 107-123.
- Lee, J.Y., Y.J. Kang, S.M. Lee and I.B. Kim, 1993d. Protein requirements of the Korean rockfish *Sebastes schlegeli*. *J. Aquacult.*, 6 : 13-27.
- Lee, J.Y., Y.J. Kang, S.M. Lee and I.B. Kim, 1993e. Optimum digestible energy to protein ratio in diets for the Korean rockfish *Sebastes schlegeli*. *J. Aquacult.*, 6 : 29-46.
- Lee, S.M., J.Y. Lee and Y.J. Kang, 1993f. Effects of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids and water temperatures on growth and body composition of the Korean rockfish *Sebastes schlegeli*. *Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev. Agency, Korea*, 48 : 107-124.
- Lee, S.M., 1994. Effects of dietary beef tallow, soybean oil and squid liver oil on growth and body composition of the Korean rockfish *Sebastes schlegeli*, and biochemical changes with starvation. *J. Aquacult.*, 7 : 63-76.
- Lee, S.M., J.Y. Lee and S.B. Hur, 1994. Essentiality of dietary eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid in Korean Rockfish, *Sebastes schlegeli*. *J. Korean Fish. Soc.*, 27 : 721-726.
- Lee, S.M., J.Y. Lee and Y.J. Kang, 1995. Influences of dietary lipids on chemical compositions of adult Korean rockfish, *Sebastes schlegeli*. *Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency*, 49 : 81-89.
- Lee, S.M., 1997. Effects of dietary lipid source and water temperature on nutrient digestibilities in juvenile and adult Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). *Kor. J. Anim. Nutr. Feed.*, 21 : 381-390.
- Lee, S.M., U.G. Hwang and S.H. Cho. 2000. Effects of feeding frequency and dietary moisture content on growth, body composition and gastric evacuation of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). *Aquaculture*, 187 : 399-409.
- Leger, C., F.J. Gatesoupe., R. Metailler., P. Luquet and L. Fremont, 1979. Effect of dietary fatty acids differing by chain lengths and  $\omega$  series on the growth and lipid composition of turbot *scophthalmus maximus* L. *Comp. Biochem. Physiol.*, 64B : 345-350.
- Nematipour, G.R. and D.M. Gatlin III, 1993. Requirement of hybrid striped bass for dietary (n-3) highly unsaturated fatty acids. *J. Nutr.*, 123 : 744-753.
- NRC (National Research Council), 1993. Nutrient Requirements of Fish. National Acad. Press, Washington, D.C. 114pp.
- Robbins, K.R., H.R. Norton and D.H. Baker, 1979. Estimation of nutrient requirements from growth data. *J. Nutr.*, 109 : 1710-1714.
- Rogie, A. and E.R. Skinner, 1985. The roles of the intestine and liver in the biosynthesis of plasma lipoproteins in the rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. *Comp. Biochem. Physiol.*, 81B : 285-289.
- SPSS Inc., 1997. SPSS Base 7.5 for Window, SPSS Inc., 444N. Michigan Avenue, Chicago, IL, 60611.
- Statistical Analysis Systems, 1988. SAS/STAT Users Guide, Release 6.03 Edition, SAS Institute, Inc., Cary, NC.
- Takeuchi, T. and T. Watanabe, 1979. Effect of excess amounts of essential fatty acids on growth of rainbow trout. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 45 : 1517-1519.
- Watanabe, T., F. Takashima and C. Ogino, 1974. Effect of dietary methyl linolenate on growth of rainbow trout. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 40 : 181-188.
- Watanabe, T., T. Takeuchi and M. Wada, 1981. Dietary lipid levels and  $\alpha$ -tocopherol requirement of carp. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 47 : 1585-1590.
- Watanabe, T., T. Takeuchi, T. Arakawa, K. Imaizumi, S. Sekiya and C. Kitajima, 1989. Requirement of juvenile striped jack *Longirostris delicatissimus* for n-3 highly unsaturated fatty acids. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 55 : 1111-1117.