

# 사료 지질원으로 우지, 대두유 및 오징어 간유 첨가에 따른 조피볼락 *Sebastes schlegeli*의 성장 및 체성분 변화와 절식시 체내 대사

이 상 민

국립수산진흥원 어류양식과

## 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

Sang-Min LEE

Fish Culture Division, National Fisheries Research and Development Agency,  
Kijang-up, Yangsan-gun, Kyongsangnam-do, 626-900, Korea

### ABSTRACT

The effects of different dietary lipids on growth, body chemical composition, and nutrient partition of the Korean rockfish (43 g of initial mean weight) were studied. Fish were fed three experimental diets containing 1) 4.5% squid liver oil, 2) 1% squid liver oil and 3.5% beef tallow, and 3) 1% squid liver oil and 3.5% soybean oil.

Growth and feed efficiency were determined during a 19-week feeding period at water temperature of 15.5°C, and at the end of which body chemical compositions were analyzed. Remained fish were fasted for 45 days, and four fish were taken at 6, 12 and 24 hours, and 3, 15 and 45 days after the fasting to determine tissue compositions and hematological changes.

Growth, feed efficiency, protein and lipid retention efficiency, hepatosomatic index(HSI), viscerosomatic index (VSI), and chemical composition of whole body and dorsal muscle were not affected by the different dietary lipids. Liver moisture content of fish fed squid liver oil diet was higher than that of fish fed beef tallow or soybean oil diet. Liver lipid content of fish fed beef tallow diet was higher than that of fish fed the other diets.

Fatty acid composition of dorsal muscle and liver were affected by the different dietary lipids; high levels of 20 : 5n-3 and 22 : 6n-3 from fish fed the diet containing squid liver oil, 18 : 1 from fish fed the diet containing beef tallow, and high 18 : 2n-6 and 18 : 3n-3 from fish fed the diet containing soybean oil were observed. Both HSI and VSI of fish fed three diets decreased with time after the beginning of starvation. Liver glycogen did not change during the first 15 days of starvation and decreased thereafter, and that was not affected by the different dietary lipids. Lipid and protein contents in the dorsal muscle of fish decreased up to 15 days of starvation and remained unchanged thereafter, these were not different from each other. Glucose, free fatty acid, triglyceride and phospholipid

concentrations in Fish serum were varied for the first 15 days of starvation, after that the concentrations of fish serum remained relatively stable in all the treatment groups with prolonged starvation. The results indicate that Korean rockfish can utilize fish oil, animal fat or vegetable oil equally as energy source when n-3HUFA is adequate.

## 서 론

성장이 활발히 진행되는 비교적 어린 시기에 정상 성장을 위해서는 그 어종이 요구하는 지방산의 종류와 양이 사료에 첨가되어야 한다(Castell et al. 1972a,b ; Watanabe et al. 1974a,b ; Takeuchi and Watanabe 1977a,b ; Takeuchi et al. 1980 ; Kanazawa et al. 1982 ; Takeuchi et al. 1983a,b ; Yone and Fujii 1975a,b ; Fujii and Yone 1976 ; Fujii et al. 1976). 다른 해산 어류인 참돔(Yone and Fujii 1975a, b ; Fujii and Yone 1976 ; Fujii et al. 1976)과 방어(Deshimaru et al. 1982a,b)에서와 마찬가지로 조피볼락의 필수 지방산이 n-3계 고도불포화지방산(n-3 highly unsaturated fatty acids, n-3HUFA)이며, 그 요구량이 0.9%임이 *李 등(1933a,b,c)*에 의해 구명되었다. 이 요구량 이하의 사료를 먹은 조피볼락은 성장 저하와 더불어 간에 지질이 축적되는 등 생리적 장애가 초래되는 것으로 나타났다. 이러한 일련의 실험들은 필수지방산 요구량 및 체내의 생화학적 변화를 보다 구체적으로 검토하기 위해 완전히 탈지한 어분을 단백질원으로 한 실험 사료를 제조하여 수행되었다. *李 등(1993a,b,c)*에 의해 연구된 실험 결과들은 생화학적인 기초 지식과 배합 사료 개발에 매우 중요한 정보가 되지만, 실험 사료에 첨가된 지질의 효과를 조사하기 위해서 어분을 탈지하여 사용하였기 때문에 어분 지질의 영향이 고려되지 않았다. 따라서 이러한 실험 결과들을 토대로 하여 실용 사료 제조시에 고려되어야 할 어분 중의 지질에 대한 평가가 추가되어야 할 것으로 생각된다. 이와 더불어 n-3HUFA가 다량 함유된 어유나 간유는 저장 중이나 사료 제조 후 산화되기 쉬우므로 어류의 건강에 나쁜 영향을 줄 수도 있다. 또한, 어유나 간유는 다른 동물성이나 식물성 기름보다 가격이 비싸므로 어분 중에 함유된 지질을 고려하여 조피볼락이 요구하는 n-3HUFA를 사료에 충족시켜 준다면 에너지원으로 어유나 간유 대신 대두유나 우지, 돈지 등의 값싼 지질원을 이용하여 사료 단가를 절감시킬 수 있을 것이다.

그래서 본 실험에서는 *李 등(1993a,b,c)*의 연구에 이어서 어분 지질과 사료에 첨가되는 지질원의 이용성을 검토하기 위해 사료의 n-3HUFA 함량이 조피볼락이 요구하는 수준 이상 함유되도록 값싼 지질원인 우지와 대두유를 다르게 첨가한 사료를 제조하여, 이에 따른 조피볼락의 성장, 영양소 이용 효율 및 체성분의 변화를 조사하였다. 동시에 이러한 지질원이 조피볼락의 체내에 어떠한 영향을 미치는지를 알아보기 위해 실험 사료로 사육한 어체를 절식시켜 사료 지질에 따른 체내 에너지 흐름을 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 실험 사료

*李 등(1993d,e)*에 의해 연구된 결과를 토대로 하여 영양 성분이 조피볼락의 요구에 맞도록 실험 사료(Table 1)를 설계하여 제조하였다. 북양 어분(한성기업 '92년산, 간접식, 조단백질 : 72.8%, 조지방 : 8.0%)를 주 단백질원으로 하였고, 지질원으로서 n-3HUFA가 다량 함유된 오징어 간유, 16 : 0 과 18 : 1이 주 지방산으로 구성된 우지와 18 : 2가 다량 함유된 대두유를 사용하였다. 각 사료 중의 오징어 간유를 우지와 대두유로 각각 3.5%씩 대체하여 사료의 n-3HUFA가 1.6% 이상 되도록 조절한

3종류의 실험 사료를 제조하였다. 사료 중의 n-3HUFA 함량은 사료 제조시 어분 및 지질원의 지방산을 분석하여 평균값으로 표시하였다. 어분 지질의 n-3HUFA량은 26.7% (20:4n-3:0.1%, 20:5n-3:9.1%, 22:6n-3:17.5%)였고, 오징어 간유 중의 n-3HUFA량은 33.2% (20:3n-3:1.6%, 20:4n-3:1.3%, 20:5n-3:14.3%, 22:5n-3:0.3%, 22:6n-3:15.7%)였으며, 우지나 대두유에는 n-3HUFA가 조성되어 있지 않았다. 실험 사료 제조는 4~5주분씩 moist pellet 형태로 제조하여 냉동보관(-30°C)하면서 먹이로 공급하였다. 그 외 사료 제조 방법은 *Lee 등(1993a)*이 사용했던 방법과 동일하게 하였다.

Table 1. Composition of the experimental diets (g/100 g diet)

Ingredient	SLO	SLO+BT	SLO+SO
White fish meal <sup>1</sup>	58.0	58.0	58.0
Wheat flour	20.0	20.0	20.0
Squid liver oil	4.5	1.0	1.0
Beef tallow	—	3.5	—
Soybean oil	—	—	3.5
Vitamin mixture <sup>2</sup>	3.0	3.0	3.0
Mineral mixture <sup>3</sup>	4.0	4.0	4.0
Sodium alginate	3.0	3.0	3.0
α-cellulose	4.0	4.0	4.0
Kaolin	3.5	3.5	3.5
.....			
Nutrient contents in dry matter (%)			
Protein	45.0		
Lipid	9.9	↙	↘
Fibre	4.2		
Ash	16.0		
.....			
n-3HUFA <sup>4</sup>	2.7	1.6	1.6

<sup>1</sup> Contained 0.015% ethoxyquin.

<sup>2</sup> Halver (1957).

<sup>3</sup> H-440 premix NO.5 (mineral) (NAS, 1973).

<sup>4</sup> n-3 highly unsaturated fatty acids.

#### 실험어 및 사육 관리

실험어는 유전적 개체 차이의 오차를 줄이기 위해 한 친어에서 동시에 산출된 것을 사용하였다. 실험 개시 6주전부터 150 l FRP 원형 수조에 2반복으로 예비 실험어를 임의 배치하여 실험 사료와 수조에 순응시킨 후, 이 중에서 건강하고 크기가 중간인 조피볼락(평균체중 43 g 전후)을 15마리씩 선별하여 19주간 사육 실험하였다.

먹이는 하루 2회 급여(체중의 1.0~2.0%, 건물 기준)하였으며, 실험 기간 중의 수온은 15.5±0.5°C가 되도록 조절하였다. 유수량은 분당 2 l로 여과된 해수를 주입하였으며, 어체 측정은 3~5주 간

격으로 측정 전일 절식 시킨 후 MS222 100 ppm으로 순간 마취시켜 각 수조의 실험어 전체 무게를 측정하였다. 분석용으로 실험 개시시 10마리, 실험 종료시 각 수조에서 무작위로 3마리씩 추출하여 분석때까지 냉동 보관(-30°C)하였다.

사육 실험 종료시 무게 측정 후 남은 실험어는 절식 실험을 위해 실험 수조에 동일 조건으로 다시 수용하여 4일간 절식시킨 후 만복 급여하였다. 이 후 45일간 절식시켜 절식 기간 중 체내 변화를 조사하였다. 절식 6시간, 12시간, 24시간, 3일, 15일 그리고 45일 후에 각 실험구에서 4마리씩 무작위로 표본을 추출하여 채혈한 후 혈액 성상을 조사하였다. 채혈한 어체를 즉시 냉동 보관(-30°C)하였다가 어체 부위별로 절개하여 일반 성분을 절식 개시시, 절식 15일 후 및 절식 45일 후 각각 분석하였다.

### 성분 분석

사료 및 어체의 수분은 상압가열건조법, 조단백질은 Kjeldahl 질소정량법 ( $N \times 6.25$ ), 조지방은 Soxhlet 추출법(ether 추출법), 조회분은 직접회화법으로 조섬유는 FIBERTEC SYSTEM (Tecator, Sweden)으로 각각 분석하였다(AOAC 1984). 간의 glycogen 함량은 amyloglucosidase (Fluka 제품)를 사용하여 Murat and Serfaty (1974)의 방법으로 정량하였다. Folch et al. (1957)의 방법에 따라 총지질을 추출하여, Lee 등(1993a)이 사용한 방법과 동일하게 지방산 분석을 실시하였다.

절식시 혈액성분 변화를 조사하기 위해서, 미부동맥에서 일회용 주사기로 채혈한 혈액을 실온에 30분간 방치한 후 3,000 rpm에서 10분간 원심 분리하여 상층액(혈청)을 -30°C에 동결 보존하면서 1주 이내에 분석하였다. 혈청 성분 분석은 임상용 kit(아산제약 제품)을 사용하여 protein, glucose, free fatty acid, phospholipid와 triglyceride를 분석하였다.

### 통계 처리

실험 결과 중 성장 효과, 영양소 축적 효율 및 전 어체의 일반 성분은 ANOVA-test를 실시하여 Duncan's multiple range test (Duncan 1955)로 평균간의 유의성을 검정하였고, 체 부위별 일반 성분 및 혈액 성상은 반복구의 시료를 혼합한 후 분석하여 평균값으로 표시하였다.

## 결 과

### 성장, 사료 효율 및 영양소 (단백질 및 지질) 축적 효율

19주간 사육한 결과(Table 2), 전 실험 기간 동안 평균 체중, 사료 효율 및 증중율은 실험 구간에 유의차를 보이지 않았다( $P \geq 0.05$ ). 단백질 축적 효율 및 지질 축적 효율도 각 실험 구간에서 차이가 없었다( $P \geq 0.05$ ).

### 지방산 조성

실험 종료시 간과 등근육의 총지질 중의 지방산은 사료 지질원에 따라 그 조성비가 다르게 나타났다(Table 3). 18:0와 18:1은 우지 첨가구에서 n-6계 지방산(18:2n-6, 22:4n-6)들은 대두유 첨가구에서, n-3계 지방산(20:5n-3, 22:6n-3)들은 오징어 간유 단독 첨가구에서 타 실험구들에 비해 상대적으로 높은 비율로 조성된 경향을 보였다.

Table 2. Performance of the Korean rockfish fed diets containing different lipids for 19 weeks<sup>1</sup>

Diets :	SLO	SLO+BT	SLO+SO	SEM <sup>7</sup>
Initial mean weight (g)	42.0 <sup>a</sup>	42.4 <sup>a</sup>	45.7 <sup>a</sup>	0.87
Final mean weight (g)	134.7 <sup>a</sup>	134.6 <sup>a</sup>	138.9 <sup>a</sup>	2.03
Weight gain (%) <sup>2</sup>	221.1 <sup>a</sup>	217.2 <sup>a</sup>	204.3 <sup>a</sup>	7.32
Feed efficiency (%) <sup>3</sup>	84.9 <sup>a</sup>	84.6 <sup>a</sup>	83.1 <sup>a</sup>	3.54
Daily growth rate (%) <sup>4</sup>	1.12 <sup>a</sup>	1.11 <sup>a</sup>	1.08 <sup>a</sup>	0.02
Daily feed intake (%) <sup>5</sup>	1.32 <sup>a</sup>	1.31 <sup>a</sup>	1.30 <sup>a</sup>	0.04
Protein retention efficiency (%) <sup>6</sup>	30.9 <sup>a</sup>	31.1 <sup>a</sup>	30.8 <sup>a</sup>	0.70
Lipid retention efficiency (%) <sup>6</sup>	83.5 <sup>a</sup>	84.2 <sup>a</sup>	84.4 <sup>a</sup>	3.67

<sup>1</sup> Values in same row having the different superscripts are significantly different (P<0.05).

<sup>2</sup> (Fish weight gain×100)/Initial fish weight.

<sup>3</sup> (Fish weight gain×100)/Feed intake.

<sup>4</sup> (Fish weight gain×100)/[(Initial fish weight+final fish weight)/2]×days fed.

<sup>5</sup> (Feed intake×100)/[(Initial fish weight+final fish weight)/2]×days fed.

<sup>6</sup> [Protein (or lipid) gain×100]/Protein (or lipid) intake.

<sup>7</sup> Standard error of the mean, n=2.

Table 3. Fatty acid composition (% area) in total lipids from dorsal muscle and liver of the Korean rockfish fed diets containing different lipids for 19 weeks

Diets :	Dorsal muscle			Liver		
	SLO	SLO+BT	SLO+SO	SLO	SLO+BT	SLO+SO
14 : 0	3.96	3.34	3.06	3.95	3.43	3.91
16 : 0	21.49	19.94	19.93	19.83	15.69	21.17
16 : 1n-7	11.81	9.78	8.65	21.88	19.14	18.59
18 : 0	3.24	9.21	3.00	2.41	2.49	2.71
18 : 1n-(7+9)	32.73	44.46	27.12	42.69	47.64	41.74
18 : 2n-6	2.64	2.09	16.02	0.65	0.73	6.30
18 : 3n-3	0.55	0.26	1.39	0.19	0.07	0.50
20 : 2n-6	0.92	0.48	0.51	0.32	0.32	0.06
20 : 5n-3	4.26	2.52	2.27	2.34	1.52	1.55
22 : 1n-9	tr	tr	tr	tr	3.53	tr
22 : 4n-6	0.35	tr	8.35	tr	tr	tr
22 : 5n-6	0.83	0.40	0.47	0.16	tr	tr
22 : 6n-3	9.38	5.87	5.29	2.36	1.39	1.11
24 : 0	0.43	tr	tr	0.20	tr	tr
Total (n-3)	14.19	8.64	8.95	4.89	2.99	3.16
Total (n-6)	4.75	2.97	25.35	1.12	1.05	6.36
n-3HUFA (C≥20)	13.64	8.38	7.56	4.70	2.91	2.66

## 체성분 변화

전어체 및 등근육의 일반 성분은 세 실험구 모두 차이를 보이지 않았다(Table 4). 간의 수분 함량은 44.8~51.1% 범위로 오징어 간유 첨가구가 가장 높았으며, 지질 함량은 27.0~35.7%의 범위에서 우지 첨가구가 가장 높았고, glycogen 함량은 우지 첨가구가 다소 낮은 값을 보였다. 내장(간제외)의 수분 및 단백질 함량은 오징어 간유 첨가구가 타 실험구에 비해 다소 높은 값을 보였다. 내장 지질 함량은 우지 첨가구가 가장 낮은 값을 보였으나 42.1~47.4% 범위로 큰 차이는 없었다. 간중량비 및 내장중량비는 세 실험구 모두 비슷한 수준을 유지하여 차이가 없었다(Table 5).

Table 4. Chemical compositions (%) of the whole body of Korean rockfish fed diet containing different lipids for 19 weeks<sup>1</sup>

Diets :	SLO	SLO+BT	SLO+SO	SEM <sup>2</sup>
Moisture	68.5 <sup>a</sup>	68.5 <sup>a</sup>	68.6 <sup>a</sup>	0.27
Protein	16.9 <sup>a</sup>	17.0 <sup>a</sup>	17.1 <sup>a</sup>	0.20
Lipid	10.0 <sup>a</sup>	10.5 <sup>a</sup>	9.9 <sup>a</sup>	0.28
Ash	4.2 <sup>a</sup>	4.3 <sup>a</sup>	4.5 <sup>a</sup>	0.19

<sup>1</sup> Values in same row having the different superscripts are significantly different (P<0.05).

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

Table 5. The changes of chemical composition (%), hepatosomatic index (HSI) and viscerosomatic index (VSI) of the Korean rockfish during 45 days starvation after fed diets containing different lipids for 19 weeks<sup>1</sup>

Days starved	Diets	Liver				Viscera			Dorsal muscle			HSI	VSI
		Moist.	Pro.	Lip.	Gly.	Moist.	Pro.	Lip.	Moist.	Pro.	Lip.		
0	SLO	51.1	9.9	27.0	11.2	45.0	10.2	45.4	74.9	20.2	3.3	2.9±0.20	10.2±0.42
	SLO+BT	44.8	8.9	35.7	9.8	44.2	9.2	42.1	74.6	21.0	3.4	2.9±0.28	10.2±0.65
	SLO+SO	45.4	9.4	31.8	12.0	42.1	8.4	47.4	75.7	20.4	3.2	2.9±0.30	10.6±0.30
	Mean	47.1 <sup>a</sup>	9.4 <sup>a</sup>	31.5 <sup>a</sup>	11.0 <sup>b</sup>	43.8 <sup>a</sup>	9.3 <sup>a</sup>	45.0 <sup>c</sup>	75.1 <sup>a</sup>	20.5 <sup>b</sup>	3.3 <sup>b</sup>	2.9 <sup>c</sup>	10.3 <sup>b</sup>
15	SLO	48.3	9.3	30.4	11.2	47.6	11.4	39.3	76.9	19.4	2.3	2.4±0.33	8.8±0.36
	SLO+BT	46.0	8.4	34.6	10.4	47.5	10.5	39.1	77.3	19.5	2.0	2.5±0.20	9.0±1.26
	SLO+SO	47.5	8.9	34.8	10.0	48.2	10.1	38.3	76.8	19.8	2.1	2.2±0.39	9.2±0.37
	Mean	47.3 <sup>a</sup>	8.9 <sup>a</sup>	33.3 <sup>a</sup>	10.5 <sup>b</sup>	47.8 <sup>ab</sup>	10.7 <sup>a</sup>	38.9 <sup>b</sup>	77.0 <sup>b</sup>	19.6 <sup>a</sup>	2.1 <sup>a</sup>	2.4 <sup>b</sup>	9.0 <sup>a</sup>
45	SLO	45.3	12.6	38.5	2.6	54.6	11.1	30.8	76.8	19.4	2.5	1.0±0.06	7.0±0.74
	SLO+BT	50.4	11.2	33.4	4.1	48.8	9.8	34.7	76.4	20.0	1.8	1.6±0.24	8.3±0.56
	SLO+SO	43.0	10.7	42.6	3.0	47.2	9.6	35.1	76.5	20.0	2.2	1.6±0.22	8.7±1.07
	Mean	46.2 <sup>a</sup>	11.5 <sup>b</sup>	38.2 <sup>a</sup>	3.2 <sup>a</sup>	50.2 <sup>b</sup>	10.2 <sup>a</sup>	33.5 <sup>a</sup>	76.6 <sup>b</sup>	19.8 <sup>a</sup>	2.2 <sup>a</sup>	1.4 <sup>a</sup>	8.0 <sup>a</sup>
SEM <sup>2</sup>		1.76	0.40	2.27	0.50	1.40	0.46	1.21	0.22	0.19	0.13	0.13	0.31

<sup>1</sup> Values in same columns having the different superscripts are significantly different (P<0.05)

<sup>2</sup> Standard error of the mean, n=3.

<sup>3</sup> Standard deviation (n=4).

### 절식 효과

Table 5에서와 같이 간 중량비 및 내장(간 포함) 중량비는 세 실험구 모두 절식 45일까지 계속 감소하였고, 절식 45일 후에는 오징어 간유 첨가구가 우지나 대두유 첨가구보다 감소폭이 컸다. 간의 수분 함량은 우지 첨가구가 절식 45일 후에 50.4%로 대두유 첨가구의 43.0%와 오징어 간유 첨가구의 45.3%보다 높은 값을 나타내었다. 단백질 함량은 절식 15일까지는 실험 구간에 변화가 없다가 그 후 절식 45일까지는 세 실험구 모두 증가하였다. 지질 함량의 변화 경향에서 우지 첨가구는 절식 기간이 길어짐에 따라 35.7~33.4% 범위에서 약간 감소하는 경향을 보인 반면, 대두유나 오징어 간유 첨가구는 각각 31.8~42.6% 및 27.0~38.5%의 범위에서 증가하였다. 또한 glycogen 함량은 세 실험구 모두 절식 15일 후부터 감소하였다. 내장(간 제외)의 수분 함량은 절식 15일까지는 전체적으로 증가하다가 그 후 우지와 대두유 첨가구는 더 이상 증가하지 않았지만, 오징어 간유 첨가구는 계속 증가하였다. 지질 함량은 세 실험구 모두에서 절식 기간 중 계속 감소한 경향을 보였다. 등근육의 수분 함량은 절식 15일까지 약간 증가하다가 절식 45일까지 일정한 값을 유지하였다. 단백질 및 지질 함량은 세 실험구 모두 절식 15일째까지는 감소하였으나, 절식 15일에서 45일 사이에는 변화가 없었다.

Table 6에서와 같이 혈청 단백질 농도는 사료 지질원의 종류에 따라 절식 전후 특별한 변화 경향이 없었다. 혈당량은 세 실험구 모두 절식 3일까지는 계속 증가하여, 절식 3일째 오징어 간유 첨가구(128 mg/100 ml)가 우지(174 mg/100 ml)나 대두유(196 mg/100 ml) 첨가구보다 그 증가폭이 낮았으며, 절식 15일 때에는 모든 실험구에서 급격히 감소하여 일정한 농도를 유지하였다. 절식 기간 중 유리 지방산 농도 변화에서 오징어 간유와 대두유 첨가구는 절식 24시간까지 계속 증가하다가 그 후 감소하였으며, 24시간째 오징어 간유 첨가구(2561  $\mu\text{Eq}/\ell$ )가 우지 첨가구(840  $\mu\text{Eq}/\ell$ )나 대두유 첨가구(1530  $\mu\text{Eq}/\ell$ )보다 증가폭이 더 컸다. 반면에 우지 첨가구는 359~1128  $\mu\text{Eq}/\ell$  범위에서 절식 3일까지 서서히 증가하다가 감소하였다. Triglyceride 농도는 유리 지방산 농도 변화와 유사한 경향을 나타내어 절식 24시간까지 대두유와 오징어 간유 첨가구는 증가하다가 감소하였으며, 대두유 첨가구의 변화폭이 오징어 간유 첨가구의 변화폭보다 더 높게 나타났다. 우지 첨가구의 triglyceride 농도는 절식 3일까지 서서히 증가하다가 감소하였다. 인지질의 경우, 오징어 간유 첨가구가 절식 24시간에 현저히 증가하다가 그 후 감소하였고, 우지와 대두유는 절식 3일까지 서서히 증가하였다.

### 고 찰

전 사육 기간 동안 지질원에 따라 성장 차이가 없는 것은 조피볼락의 n-3HUFA 요구량인 0.9% (李 등 1993c)보다 더 높은 1.6% 이상이 본 실험 사료에 함유되어 있어, 사료의 지방산 조성 차이가 조피볼락의 성장에 나쁜 영향을 미치지 못하는 것으로 판단된다. 李 등(1993c)의 실험 결과에서도 조피볼락의 n-3HUFA 요구량 이상 n-3HUFA가 함유된 사료에서 더이상 성장 개선 효과가 없음을 확인하여 본 실험 결과를 뒷받침하고 있다. 이와 같이 조피볼락에 필요한 n-3HUFA량이 사료에 충족되면 사료 지질원을 다른 값싼 지질, 즉 우지, 돈지, 대두유 등과 같은 것으로 대체할 수 있을 것으로 생각된다. 앞 실험(李 등 1993c)에서도 언급한 바 있듯이 요구량 이상의 n-3HUFA는 성장 개선에 더 이상의 효과가 없는 것은 n-3HUFA 이외의 지방산들은 체 구성 지질로서보다는 에너지원으로 이용되기 때문으로 보인다. 또한, 어분 중의 지질은 생산지나 생산 시기, 저장 기간 등에 따라서 그 함량이나 질적인 변화가 초래될 수 있기 때문에 지질을 사료에 첨가할 때에는 이러한 변화 요인을

Table 6. Hematological changes of the Korean rockfish during 45 days starvation after fed diets containing different lipids for 19 weeks<sup>1</sup>

Times starved	Diets	Total protein (g/100ml)	Glucose (mg/100ml)	Free fatty acid (uEq/l)	Triglyceride (mg/100ml)	Phospholipid (mg/100ml)
(Mean± s.d <sup>3</sup> )						
0	SLO	3.5± 0.36	55.9± 2.33	250	84.6	1398
	SLO+BT	3.8± 0.10	49.3± 6.75	359	55.9	1629
	SLO+SO	4.1± 0.21	42.1± 1.28	145	88.9	1769
	Mean	3.8 <sup>a</sup>	49.1 <sup>ab</sup>	251 <sup>a</sup>	76.5 <sup>ab</sup>	1599 <sup>b</sup>
6hr	SLO	4.1± 0.44	65.3± 2.90	869	201.3	1050
	SLO+BT	3.8± 0.64	85.9± 12.40	659	303.9	1300
	SLO+SO	3.6± 0.42	62.0± 5.33	484	185.7	846
	Mean	3.8 <sup>a</sup>	71.1 <sup>ab</sup>	671 <sup>ab</sup>	230.3 <sup>ab</sup>	1065 <sup>a</sup>
12hr	SLO	3.5± 0.04	74.7± 4.90	—	75.5	1021
	SLO+BT	3.5± 0.34	84.7± 1.69	—	390.0	1115
	SLO+SO	3.5± 0.27	89.5± 15.15	—	204.7	998
	Mean	3.5 <sup>a</sup>	83.0 <sup>b</sup>	—	223.4 <sup>ab</sup>	1045 <sup>a</sup>
24hr	SLO	3.9± 0.77	93.0± 14.85	2561	917.5	1978
	SLO+BT	3.9± 0.37	166.2± 15.93	840	523.2	1037
	SLO+SO	3.4± 0.35	119.2± 12.22	1530	1896.7	981
	Mean	3.7 <sup>a</sup>	126.1 <sup>c</sup>	1644 <sup>c</sup>	1112.5 <sup>c</sup>	1332 <sup>ab</sup>
3-day	SLO	4.4± 0.35	128.1± 16.00	1365	401.6	1538
	SLO+BT	4.0± 0.30	173.8± 37.90	1128	876.2	1771
	SLO+SO	3.6± 0.18	195.5± 8.56	822	615.6	1481
	Mean	4.0 <sup>a</sup>	165.8 <sup>d</sup>	1105 <sup>bc</sup>	631.1 <sup>bc</sup>	1597 <sup>b</sup>
15-day	SLO	4.0± 0.29	46.4± 2.92	909	44.3	1050
	SLO+BT	3.8± 0.62	54.3± 18.40	802	127.4	1300
	SLO+SO	3.1± 0.15	40.2± 1.32	979	106.5	846
	Mean	3.6 <sup>a</sup>	47.0 <sup>ab</sup>	897 <sup>ab</sup>	92.7 <sup>ab</sup>	1065 <sup>a</sup>
45-day	SLO	3.5± 0.19	34.2± 1.32	466	33.6	775
	SLO+BT	3.9± 0.27	35.5± 1.60	594	67.1	1065
	SLO+SO	3.6± 0.16	41.7± 11.38	679	47.7	972
	Mean	3.7 <sup>a</sup>	37.1 <sup>a</sup>	580 <sup>ab</sup>	49.5 <sup>a</sup>	937 <sup>a</sup>
SEM <sup>2</sup>		0.18	11.75	222.7	167.36	154.6

<sup>1</sup> Values in same columns having the different superscripts are significantly different (P<0.05).

<sup>2</sup> Standard error of the mean, n=3.

<sup>3</sup> Standard deviation (n=4).

고려하여 지질원의 종류와 첨가량을 결정해야 할 것이다.

지질원의 종류에 따라 구성된 지방산 종류와 조성이 다르며, 이에 따라 그 지질의 용점이 각각 다르고, 이 차이는 어류의 소화율에 영향을 미치는 요인으로 간주되고 있다. 무지개송어(Austrereng et al. 1980 ; Takeuchi et al. 1978 1979)와 대구(Lie et al. 1986)의 경우 용점이 높은 지질일수록



소화율이 낮다고 보고되어 있다. 반면에 소화율의 차이에 따라 영향을 받을 수 있는 단백질 및 지질 축적 효율이 본 실험에서는 성장이나 사료 효율과 같이 지질원에 따른 특별한 차이가 없었다. 또한, 수온(12~20°C, 이 등 1993)에 따라서도 성장 및 사료 효율에 차이가 없는 것으로 본 종을 대상으로 보고된 바 있어, 사료에 n-3HUFA가 필요량만큼 충족되면, 사료 지질원이나 일정 범위의 수온내에서는 지질의 용점에 관계없이 사료 지방산 조성은 영양소 이용에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 생각된다.

등 근육과 간의 지방산 조성은 사료의 지방산 조성비에 직접 영향을 받아, 18:1은 우지 첨가구에, 18:2n-6은 대두유 첨가구에, 20:5n-3과 22:6n-3은 오징어 간유 단독 첨가구에서 상대적으로 높은 경향을 보였다. 이와 같이 체 지방산이 사료의 지방산 조성에 직접 영향을 받는다는 것은 앞 실험(李 등 1993c)에서도 언급한 바 있다. 본 실험의 등 근육과 간의 지방산 조성비에는 부위별로 다소 차이를 보이고 있는데, 즉, monoene산(16:1, 18:1과 22:1)들은 간에, n-6계나 n-3계는 등 근육에 더 높은 비율로 구성되어 있으며, n-3HUFA의 경우는 등 근육이 간보다 3배 가량 높게 나타났다. 또한, 대두유 첨가구의 22:4n-6은 간에는 거의 없지만 등 근육에는 8.35% 조성되어 있어, 간보다 등 근육의 지방산 조성이 더 직접적으로 사료에 영향을 받는 것으로 추정된다. 대두유 첨가구의 등 근육 지질 중의 22:4n-6은 사료 지질인 대두유의 18:2n-6에서 전환된 것으로 생각되나, 이것이 체부위에 따라 전환 능력이 다르기 때문인지는 보다 더 상세히 연구되어야 할 것이다.

절식 기간 중 간 중량비는 계속 감소하였는데, 무지개송어(Takeuchi and Watanabe 1982), 방어(Sakaguchi 1976), 뱀장어(Inui and Ohshima 1966), 은어(Nakazawa et al. 1984) 및 대구(Kamra 1966)도 본 실험과 같은 경향이였다. 본 실험에서의 간 중량비의 감소는 glycogen이 에너지원으로 사용되었기 때문으로 추측된다. 또한 세 실험구 모두의 glycogen 함량이 절식 15일까지는 거의 변화되지 않다가 그 후 감소한데 비해, 근육의 지질과 단백질 함량에 세 실험구 모두 절식 15일까지 감소하였고, 그 이후부터 일정한 값으로 유지되었다. 이로 보아, 조피볼락은 절식 초기에는 간의 glycogen보다는 근육 지질과 단백질을 먼저 이용한 후 간의 glycogen과 내장 지질을 계속 이용하는 것으로 판단된다. 본 실험의 간 glycogen 함량의 감소 속도는 육상 동물(Freedland 1967)이나 타 어종(Shimma et al. 1976; Sakaguchi 1976; Inui and Ohshima 1966; Kamra 1966)의 감소 경향과 차이를 보이고 있다. 즉, 육상 동물의 경우 절식 1일만에 거의 대부분의 glycogen이 사용되며(Freedland 1967), 방어의 간 glycogen은 절식 2일째 급격히 감소하였다고 보고되어 있다(Sakaguchi 1976). 또한 Cowey and Walton (1989)는 여러 실험 결과로 부터 에너지원으로 glycogen이 지질과 단백질 다음으로 사용된다고 해석하고 있는 반면에, Inui and Ohshima (1966)는 뱀장어의 경우 절식 초기에 탄수화물을 이용한다고 보고하였다. 이러한 실험 결과들의 차이는 어종, 절식 기간, 사육 조건 등, 특히 수온에 따라 차이가 나타날 수 있는 것으로 추측되지만, 이를 뒷받침할 정보가 없는 실정이다.

내장 지질은 절식 기간 중에 에너지원으로 사용되어 절식 초기부터 계속 감소하였고, 이로 인해 내장 중량비가 감소하였으며 실험구별로 내장 지질의 변화 경향과 일치하고 있다. 은어의 절식실험에서도 본 실험과 같은 경향이였지만(Nakazawa et al. 1984), 무지개송어의 내장 지질은 절식에 따라 큰 차이를 보이지 않았다(Shimma et al. 1976).

근육 단백질 함량은 절식 15일째까지 모든 실험구에서 감소하다가 그 후 다소 증가하거나 일정한 값을 유지하였고, 간 glycogen 함량은 절식 15일 후부터 계속 감소하는 것으로 보아 체내에 필요한 당이 먼저 근육 단백질에서 보충되다가 그 후부터 간의 glycogen이 이용된 것으로 보인다. 방어(Sakaguchi 1976)도 절식시 근육 단백질 함량이 감소한 경향이였으며, 은어(Nakazawa et al. 1984)는

증가한다고 보고되어 있다. 근육 지질 함량도 단백질 함량 변화와 같은 경향이었는데, 절식 15일 이후에 더이상 감소하지 않은 것은 조직 구성에 필요한 기본 지질을 유지하면서 에너지원으로 내장 지질과 간의 glycogen을 이용하였기 때문으로 추정된다.

어류의 건강도를 판단하는 수단으로 혈액 성분을 검사한 연구가 수행되어 오고 있으며 (Inui 1969 ; Inui and Yokote 1977 ; Munkittrick and Leatherland 1983 ; Lemaire et al. 1991), 李 등(1993b)에 의해서도 조피볼락의 건강평가를 혈액을 통해 실시한 바 있다. 본 실험에서도 사료 지질원에 따른 어류의 건강도 판정이 필요할 것으로 생각되어 사육 실험 후의 조피볼락을 절식시켜 혈청성분을 조사하여 비교하였다. 혈청 단백질 농도는 절식 기간 중 특별한 변화 경향이 없는 것으로 나타나 혈청 단백질 농도는 사료나 절식에 큰 영향을 받지 않는 것으로 짐작된다. 무지개송어(Shimma et al. 1976)도 본 실험과 같은 경향인 반면, 방어(Sakaguchi 1976), 대구(Kamra 1966) 및 잉어(Shimeno et al. 1990)는 계속 감소하는 현상을 보여 종에 따른 차이를 나타내고 있다. 혈당량은 절식 3일째 최대값을 보인 뒤 그 후 감소하여 15일째부터 일정한 값을 유지하였는데, 방어와 잉어(Shimeno et al. 1977)는 당을 경구 투여한 1~2시간 만에 최대가 되었다가 4~7시간 후에 정상치로 감소한 것에 비해 본 실험에서는 증가하는 기간이 비교적 긴 것은 아마도 사료의 탄수화물원이 소맥분이었고, 사육 수온이 낮아서 소화 흡수되는 속도가 느렸기 때문이 아닌가 생각된다. 또한 조피볼락의 탄수화물 이용성은 타 육식성 어종에 비해 매우 높아 28%(사료 건물 기준)까지도 가능한 것으로 나타나 (미발표) 이에 관련된 연구가 계속 수행되어야 할 것이다.

유리 지방산 및 triglyceride는 대두유와 오징어 간유 첨가구에서 절식 24시간까지, 우지 첨가구는 절식 3일까지 그 농도가 계속 증가하였는데, 사료 지질원에 따라 증가되는 속도와 농도가 다르며, 그 후 사료 지질원에 관계없이 일정한 수준으로 감소하였다. 무지개송어(Shimma et al. 1976 ; Bilinski and Gardner 1968)는 절식이 길어짐에 따라 혈중 유리 지방산 농도가 계속 증가한다고 보고되었고, 잉어(Shimeno et al. 1990)의 triglyceride 농도는 절식 7일까지 급격히 감소하는 경향을 보였다. 본 실험에서는 절식 기간이 길어짐에 따라 유리 지방산 및 triglyceride 농도가 절식 1~3일까지 급격히 증가한 후 서서히 감소하는 경향을 보였는데 이것은 체내 저장 지질에서 유래된 것이 아니라 사료 지질에서 흡수된 것으로 보여 그 변화 경향이 타 연구와 다소 차이를 보이고 있다. 인 지질 함량도 오징어 간유 첨가구가 절식 24시간 후에, 우지와 대두유 첨가구는 3일 후에 최대로 증가하였다가 감소하는 경향이어서 지질 종류에 따른 차이를 나타내고 있다. 위와 같이 혈청 지질 성분의 농도 변화가 사료 지질의 종류에 따라 다른 것은 지질 구성 지방산에 효소 활성이 선택적으로 다르게 작용하는 것 때문인지는 아직 정확한 정보가 없는 실정이므로 보다 상세한 연구가 필요할 것이다.

이상으로부터 성장 및 영양소 축적 효율이 사료 지질에 따라 차이가 없고, 절식시 혈청 성분의 변화에서도 이상 증상이 없는 것으로 보아 n-3HUFA가 조피볼락 요구량 이상 사료에 첨가되면, 사료 지질원으로 우지나 대두유 같은 값싼 지질원을 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

## 요 약

사료의 n-3HUFA 함량이 1.6% 이상 함유되도록 조절한 3종의 실험 사료로 43g 전후의 조피볼락을 19주간 사육 실험한 후, 136g 전후의 어체를 45일간 절식시켜 사료 지질원에 따른 조피볼락의 성장 및 체성분의 변화와 절식시 체내 대사를 조사하였다.

증중율, 사료 효율, 단백질 축적 효율 및 지질 축적 효율 모두 사료 지질원에 따른 유의차가

없었다( $P \geq 0.05$ ). 간과 등 근육의 총지질 중의 지방산은 사료 지질원의 조성비에 영향을 받아, monoene 산은 우지 첨가구에, n-6계 지방산 (18:2n-6, 22:4n-6)들은 대두유 첨가구에, n-3계 지방산 (20:5n-3, 22:6n-3)들은 오징어 간유 단독 첨가구에 상대적으로 더 높게 조성되어 있었다. 전 어체 및 등 근육의 일반 성분은 실험구별로 차이가 없었으며, 간 중량비 및 내장 중량비도 차이가 없었다. 간과 내장의 수분 함량은 오징어 간유 구가 타 실험구에 비해 높았으며, 간 지질 함량은 우지 첨가구가 가장 높았다. 간 중량비 및 내장 중량비는 모두 절식 기간 중에 전체적으로 감소하였으며, 오징어 간유 구가 타 실험구에 비해 그 감소폭이 컸다. 절식 15일까지는 근육 단백질과 지질이 감소하였고, 그 후부터는 간의 글리코겐 함량이 감소하였으며, 내장 지질은 절식 기간 중 계속 감소하는 현상을 보여 절식 중에 이용되는 에너지원의 형태와 시기가 다르게 나타났다. 혈청 성분은 지질원에 따라 절식 기간별로 이동되는 형태가 약간 다르게 나타나기는 하였으나, 절식 기간이 길어짐에 따라 점차 그 차이는 없었다.

## 참 고 문 헌

- AOAC. 1984. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemicals, 14th edition. Arlington. AV. 1141 pp.
- Austreng, E., A. Skrede and A. Eldegard. 1980. Digestibility of fat and fatty acids in rainbow trout and mink. *Aquaculture* 19 : 93-95.
- Bilinski, B. E. and L. J. Gardner. 1968. Effect of starvation on free acid level in blood plasma and muscular tissues of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Fish. Res. Bd. Canada* 25 : 1555-1560.
- 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.
- Cowey C. B. and M. J. Walton. 1989. Intermediary metabolism. In : J. E. Halver (ED), *Fish nutrition*, 2nd edition. Academic Press, San Diego, California pp. 256-329.
- Deshimaru, O., K. Kuroki and Y. Yone. 1982a. Nutritive values of various oils for yellowtail. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 48 : 1155-1157.
- Deshimaru, O., K. Kuroki and Y. Yone. 1982b. Suitable levels of lipids and ursodesoxycholic acid in diet for yellowtail. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 48 : 1265-1270.
- Duncam, 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.
- Freedland R. A. 1967. Effect of progressive starvation on rat liver enzyme activity. *J. Nutr.* 91 : 489-495.
- Fujii, M. and Y. Yone. 1976. Studies on nutrition of red sea bream-XIII. Effect of dietary

- linolenic acid and  $\omega$ 3 polyunsaturated fatty acids on growth and feed efficiency. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 42 : 583-588.
- Fujii, M., H. Nakayama and Y. Yone. 1976. Effect of  $\omega$ 3 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.
- Halver, J. E. 1957. Nutrition of salmonoid fishes III. Water-soluble vitamin requirements of chinook salmon. J. Nutr. 62 : 225-243.
- Inui, Y. and Y. Ohshima. 1966. Effects of Starvation on metabolism and chemical composition of eels. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 32 : 492-501.
- Inui, Y. 1969. Mechanism of the increase of plasma glutamic oxaloacetic transaminase and plasma glutamic pyruvic transaminase activities in acute hepatitis of the eel. Bull. Freshwater. Fish. Res. Lab. 19 : 25-30.
- Inui, Y. and M. Yokote. 1977. Effects of glucagon on amino acid metabolism in japanese eels, *Anguilla japonica*. General and Comparative endocrinology 33 : 167-173.
- 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.
- Kamra, B. S. K. 1966. Effect of starvation and refeeding on some liver and blood constituents of Atlantic cod (*Gadus morhua* L.). J. Fish. Res. Bd. Canada 23 : 975-982.
- Lemaire, P., P. Draï, A. Mathier, S. Lemaire, S. Carrière, J. Giudicelli and M. Lafaurie. 1991. Changes with different diets in plasma enzymes (GOT, GPT, LDH, ALP) and plasma lipids (cholesterol, triglycerides) of sea-bass (*Dicentrarchus labrax*). Aquaculture 93 : 63-75.
- Lie, Ø. E. Lied and G. Lambertsen. 1986. Liver retention of fat and of fatty acids in cod (*Gadus morhua*) fed different oils. Aquaculture 59 : 187-196.
- Munkittrick, K. R. and J. F. Leatherland. 1983. Haematocrit values in feral goldfish, *Carassius auratus* L. as indicators of the health of the population. J. Fish Biol. 23 : 153-161.
- Murat, J. C. and A. Serfaty. 1974. Simple enzymatic determination of polysaccharide (glycogen) content of animal tissues. Clin. Chem. 20 : 1576-1577.
- Nakazawa, H., S. Kasahara, A. Tsujimura and K. Akira. 1984. Changes of body composition during starvation in *Chlorella*-extract fed ayu. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 50 : 665-671.
- NAS (National Academy of Sciences). 1973. Nutrient requirements of trout, salmon and catfish. NAS, Washington, D. C. 50 pp.
- Sakaguchi, H. 1976. Changes of biochemical components in serum, hepatopancreas and muscle of yellowtail starvation. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 42 : 1267-1272.
- Shimeno, S., H. Hosokawa and H. Hirata. 1977. Comparative studies on carbohydrate metabolism of yellowtail and carp. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 43 : 213-217.
- Shimeno, S., D. Khyyyali and M. Takeda. 1990. Metabolic adaptation to prolonged starvation in carp. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 56 : 35-41.

- Shimma, Y., H. Ichimura and N. Shibata. 1976. Effects of starvation on body weight, lipid contents, and plasma constituents of maturing rainbow trout. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 42 : 83-89.
- Takeuchi, T. and T. Watanabe. 1977a. Dietary levels of methyl laurate and essential fatty acid requirement of rainbow trout. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 43 : 893-898.
- Takeuchi, T. and T. Watanabe. 1977b. Requirement of carp for essential fatty acids. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 43 : 541-551.
- Takeuchi T., T. Watanabe and C. Ogino. 1978. Use of hydrogenated fish oil and beef tallow as a dietary energy source for carp and rainbow trout. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 44 : 875-881.
- Takeuchi, T., T. Watanabe and C. Ogino. 1979. Digestibility of hydrogenated fish oils in carp and rainbow trout. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 45 : 1521-1525.
- Takeuchi, T., S. Arai, T. Watanabe and Y. Shimma. 1980. Requirement of eel *Anguilla japonica*, for essential fatty acids. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 46 : 345-353.
- Takeuchi, T. and T. Watanabe. 1982. The effect of starvation and environmental temperature on proximate and fatty acid compositions of carp and rainbow trout. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 48 : 1307-1316.
- Takeuchi, T., S. Satoh and T. Watanabe. 1983a. Requirement of *Tilapia nilotica* for essential fatty acids. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 49 : 1127-1134.
- Takeuchi, T., S. Satoh and T. Watanabe. 1983b. Dietary lipids suitable for the practical feed of *Tilapia nilotica*. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 49 : 1361-1365.
- Watanabe, T., F. Takashima and C. Ogino. 1974a. Effect of dietary methyl linolenate on growth of rainbow trout. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 40 : 181-188.
- Watanabe, T., C. Ogino, Y. Koshishi and T. Matsunaga. 1974b. Requirement of rainbow trout for essential fatty acids. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 40 : 493-499.
- Yone, Y. and M. Fujii. 1975a. Studies on nutrition of red sea bream-XI. Effect of  $\omega$ 3 fatty acid supplement in a corn oil diet on growth rate and feed efficiency. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 41 : 73-77.
- Yone, Y. and M. Fujii. 1975b. Studies on nutrition of red sea bream-XII. Effect of  $\omega$ 3 fatty acid supplement in a corn oil diet on fatty acid composition of fish. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 41 : 79-86.
- 이상민 · 이종윤 · 강용진. 1993. 사료의 n-3계 고도불포화지방산 함량과 사육 수온에 따른 조피볼락 *Sebastes schlegeli*의 성장 및 체성분의 변화. 수진연구보고 48 : 107-124.
- 李尙旻 · 李鍾允 · 姜龍珍 · 許聖範. 1993a. 飼料의 n-3系 高度不飽和脂肪酸 含量에 따른 조피볼락 *Sebastes schlegeli*의 成長 및 生化學的 變化 I. 成長效果 및 體成分의 變化. 韓國養殖學會誌 6 : 89-105.
- 李尙旻 · 李鍾允 · 姜龍珍 · 許聖範. 1993b. 飼料의 n-3系 高度不飽和脂肪酸 含量에 따른 조피볼락 *Sebastes schlegeli*의 成長 및 生化學的 變化 II. 血液成分 變化 및 肝細胞 性狀. 韓國養殖學會誌. 6 : 107-123.

- 李尙旻 · 李鍾允 · 姜龍珍 · 尹好東 · 許聖範. 1993c. 조피볼락 *Sebastes schlegeli*의 n-3系 高度不飽和脂肪酸 要求量. 韓國水產學會誌 26 : 477-492.
- 李鍾允 · 姜龍珍 · 李尙旻 · 金仁培. 1993d. 조피볼락 *Sebastes schlegeli*의 蛋白質 要求量. 韓國養殖學會誌 6 : 13-27.
- 李鍾允 · 姜龍珍 · 李尙旻 · 金仁培. 1993e. 조피볼락 *Sebastes schlegeli* 飼料의 適正에너지/蛋白質 比. 韓國養殖學會誌 6 : 29-46.