

조피볼락 *Sebastes schlegeli*의 n-3系 高度不飽和脂肪酸 要求量

李尙旻 · 李鍾允 · 姜龍珍 · 尹好東 · 許聖範*
國立水產振興院 · *釜山水產大學校 養殖學科

n-3 Highly Unsaturated Fatty Acid Requirement of the Korean Rockfish *Sebastes schlegeli*

Sang-Min LEE · Jong Yun LEE · Yong Jin KANG · Ho-Dong YOON
and Sung Bum HUR*

National Fisheries Research and Development Agency, Yangsan-gun,
Kyongsangnam-do 626-900, Korea

*Department of Aquaculture, National Fisheries University of Pusan, Nam-gu,
Pusan 608-737, Korea

In order to investigate the n-3 highly unsaturated fatty acids (n-3HUFA) requirement of the Korean rockfish *Sebastes schlegeli*, two experiments were conducted in the flush-out aquarium system.

1. Effects of different dietary fatty acids on growth and feed efficiency

Efficacy of different fatty acids on the Korean rockfish was investigated by feeding diets containing each of the different fatty acids, 12:0, 18:1n-9, 18:2n-6, 18:3n-3, and n-3HUFA for 9 weeks. The best growth and feed efficiency were obtained from the fish fed diet containing n-3HUFA ($P < 0.05$).

2. n-3HUFA requirement

Requirement of dietary n-3HUFA for the Korean rockfish (5.9 g in mean body weight) was investigated with the test diets containing different levels of n-3HUFA ranging from 0% to 4.0% at 8% dietary lipid level. After 6 weeks of feeding experiment, fish performance and fatty acid composition of liver were studied. Growth was significantly improved with increasing dietary n-3HUFA level up to the 0.9% in the diet ($P < 0.05$). Higher values of lipid content, 18:1/n-3HUFA ratio of polar lipid of liver and hepatosomatic index were observed in the fish fed n-3HUFA deficient diets. The groups of fish fed lower levels of dietary n-3HUFA showed higher 18:1 and lower n-3HUFA (EPA+DHA) levels in polar lipid of the liver. The data obtained in these experiments indicated that dietary n-3HUFA was essential for the Korean rockfish, and required level of n-3HUFA was around 0.9% in diet.

緒 論

대부분의 지방산 (飽和脂肪酸과 monoene酸)은 acetate로부터 體內에서 合成되지만, 합성되지 않는 必須脂肪酸은 외부로부터 공급되어야 한다. 육상

동물의 경우는 linoleic acid (18:2n-6)와 arachidonic acid (20:4n-6)를 要求하지만 (Burr and Burr, 1929, 1930; Aaes-Jorgensen, 1961; Alfin-Slater and Aftergood, 1968; Holman, 1968), 어류는 魚種과 棲息環境에 따라 必須脂肪酸으로 작용하는 脂肪酸의 種

類와 그 要求量이 다르다고 보고되어 있다 (Covey and Sargent, 1979; Castell, 1979; Stickney and Hardy, 1989). 담수어인 무지개송어 (Castell *et al.*, 1972a, b; Watanabe *et al.*, 1974a, b; Takeuchi and Watanabe, 1977a)는 linolenic acid (18:3n-3)를, 잉어 (Takeuchi and Watanabe, 1977b; Watanabe *et al.*, 1975)와 뱀장어 (Takeuchi *et al.*, 1980)는 linolenic acid와 linoleic acid 모두를, Tilapia (Kanazawa *et al.*, 1980; Takeuchi *et al.*, 1983a, b)는 linolenic acid보다 linoleic acid를 必須脂肪酸으로 요구하지만, 해산어인 참돔 (Yone and Fujii, 1975a, b; Fujii and Yone, 1976; Fujii *et al.*, 1976)과 방어 (Deshimaru *et al.*, 1982a, b)에는 EPA (eicosapentaenoic acid)와 DHA (docosahexaenoic acid)같은 n-3系 高度不飽和脂肪酸 (n-3 highly unsaturated fatty acids, n-3HUFA)이 必須脂肪酸으로 작용한다고 보고되어 있다. 또한, 우리 나라의 중요 海産 養殖魚種인 조피볼락의 必須脂肪酸에 관한 研究로는 李等 (1993 a, b)에 의해 사료의 n-3HUFA 함량에 따른 成長 및 生化學的 變化를 조사하여 n-3HUFA의 중요성을 입증해 놓은 실정이다.

細胞膜을 구성하는 극성지질 중 脂肪酸의 不飽和度는 세포의 代謝機能과 관련되어 있는데, 특히 n-3HUFA는 生體膜의 流動性 및 酵素活性 (Stubbs and Smith, 1984; Thomson *et al.*, 1986; Swanson *et al.*, 1989; Baud *et al.*, 1989; Marousse *et al.*, 1985)을 변화시키고, prostaglandin의 전구물질 (Kaley *et al.*, 1985; Lokesh *et al.*, 1988; Lokesh *et al.*, 1989; German *et al.*, 1987; Broughton *et al.*, 1991) 등 그 역할이 매우 중요하다고 보고되어 있다. 陸上動物의 경우, Herold and Kinsella (1986)와 Kinsella (1987)는 n-3HUFA가 부족하면 여러가지 질병이 유발될 수 있는 가능성을 제시한 바 있고, 인류의 健康食品으로 n-3HUFA가 다량 함유된 魚油의 유용성에 관한 검토가 현재 매우 활발히 진행되고 있다 (Herold and Kinsella, 1986; Swanson *et al.*, 1987; Hwang *et al.*, 1988; Herman *et al.*, 1991; Choi and Byun, 1989). 최근에 와서는 魚油에 많이 함유되어 있는 EPA나 DHA를 추출하여 일부 健康食品으로 상품화되어 있기도 하고, 乳兒用 粉乳에 첨가되고 있다.

어류의 경우도 膜 透過성에 관련된 細菌浸透 가능성 (Castell *et al.*, 1972b)과 면역학적인 측면 (Erdal *et al.*, 1991)에서 연구된 바 있다. 또한, 그 魚種이 필요로 하는 必須脂肪酸이 사료에 결핍되면, 成長低下와 같은 缺乏症狀과 더불어 체내에 생

理的인 障礙가 초래되어 페사율의 증가 등 여러가지 惡影響이 나타난다 (Higashi *et al.*, 1966; Pacha, 1968; Castell *et al.*, 1972a, b; Watanabe *et al.*, 1974a; Watanabe and Takeuchi, 1976; Takeuchi *et al.*, 1979a; Kanazawa *et al.*, 1982; Bell *et al.*, 1985; Watanabe *et al.*, 1989a, b; Takeuchi *et al.*, 1990; Bell *et al.*, 1991; Lemaire *et al.*, 1991; Kalogeropoulos *et al.*, 1992).

李等 (1993a)은 이미 飼料脂質源으로 오징어 肝油와 大豆油를 사용하여 오징어 肝油 중의 n-3 HUFA가 조피볼락의 成長에 필수적이고, 適正成長을 위해서는 사료에 1.2% 정도가 함유되어야 함을 밝혔다. 더불어 조피볼락用 配合飼料 開發에 필요한 첨가 지질원의 기초적인 자료를 제공하기 위해서는 成長과 體內代謝에 필수적으로 작용하는 脂肪酸의 種類와 그 要求量を 보다 정확히 구명할 필요가 있다고 판단된다. 그래서 本 研究에서는 조피볼락의 필수지방산 영양에 관한 연구의 일환으로, 먼저 실험 1에서는 여러 종류의 지방산들 중 어떤 종류가 조피볼락의 成長에 가장 중요하게 작용하는지를 조사하고, 이어서 실험 2에서는 실험 1에서 확인된 脂肪酸의 要求量を 成長과 體成分의 변화를 통해 究明하였다.

材料 및 方法

實驗飼料

基本飼料는 李等 (1993c, d)의 研究結果를 토대로 蛋白質, 脂質 및 可消化 탄수화물 함량이 조피볼락의 要求量에 충족되도록 설계하여 제조하였다. 脫脂 北洋魚粉을 主蛋白質源으로 한 脂質 無添加區와 지질 함량 8% 範圍內에서 각각의 脂肪酸 種類와 量을 조절하였다. 먼저 실험 1에서는 基本脂質을 飽和脂肪酸인 lauric acid (12:0, Sigma, 순도 99% 이상)로 하여 이 지방산에 n-9系 不飽和脂肪酸으로 oleic acid (18:1n-9, Sigma, 순도 99% 이상), n-6系 不飽和脂肪酸으로 linoleic acid (18:2n-6, Sigma, 순도 99% 이상), n-3系 不飽和脂肪酸으로 linolenic acid (18:3n-3, Sigma, 순도 99% 이상) 및 n-3HUFA (EPA+DHA: 85%, Japan)를 각각 1.2% 씩 代替한 6種의 實驗飼料를 제조하였다 (Table 1). n-3HUFA 要求量を 究明하기 위한 실험 2의 基本飼料 組成은 Table 2에 표시하였고, 脂質源의 배합은 Table 3과 같다. 즉, Table 4에 표시한 바와 같이 palmitic acid (16:0), stearic acid (18:0)와

Table 1. Compositions (%) of experimental diet used to determine effects of different fatty acids on growth and feed efficiency of the Korean rockfish

Ingredient	Diet No.					
	1	2	3	4	5	6
	Fat-free	12:0	18:1	18:2	18:3	n-3HUFA
White fish meal ¹	67.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
Dextrin	22.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
Lauric acid	-	8.0	6.8	6.8	6.8	6.8
Oleic acid	-	-	1.2	-	-	-
Linoleic acid	-	-	-	1.2	-	-
α -linolenic acid	-	-	-	-	1.2	-
n-3HUFA ²	-	-	-	-	-	1.2
Vitamin mixture ³	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Mineral mixture ⁴	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Sodium alginate	3.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
α -cellulose	-	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Nutrient content in dry matter (%)						
Protein	48.7	44.0	〃	〃	〃	〃
Lipid	0.0	8.6				
Digestible carbohydrate	15.8	14.2				
Ash	21.7	20.6				

¹ Defatted with chloroform-methanol mixture (2:1, v/v) and contained 0.015% ethoxyquin.

² Highly unsaturated fatty acids, purity of EPA and DHA were 33% and 52% respectively.

³ Halver (1957).

⁴ H-440 premix No. 5 (mineral) (NAS, 1973).

Table 2. Compositions (%) of basal and fat-free diet used to determine n-3HUFA requirement of the Korean rockfish

Ingredient	Basal diet	Fat-free diet
White fish meal ¹	51.0	59.0
Dextrin	23.0	31.0
Dietary lipid ²	8.0	-
Vitamin mixture ³	3.0	3.0
Mineral mixture ⁴	6.0	5.0
Sodium alginate	3.0	2.0
Alpha cellulose	3.0	-
Kaolin	3.0	-
Nutrient content in dry matter (%)		
Protein	44.0	50.2
Lipid	8.6	0.0
Digestible carbohydrate	16.2	21.9
Ash	14.9	12.4

¹ Defatted with chloroform-methanol mixture (2:1, v/v) and contained 0.015% ethoxyquin.

² See Table 3 and 4.

³ Halver (1957).

⁴ H-440 premix No. 5 (mineral) (NAS, 1973).

Table 3. Compositions (% in diet) of dietary lipids used to determine n-3HUFA requirement of the Korean rockfish

Diet No.	Beef tallow	ME85 ¹	(n-3HUFA)
1	-	-	
2	8.00	-	
3	7.65	0.35	(0.30)
4	7.29	0.71	(0.60)
5	6.94	1.06	(0.90)
6	6.59	1.41	(1.20)
7	6.24	1.76	(1.50)
8	5.88	2.12	(1.80)
9	5.53	2.47	(2.10)
10	3.29	4.71	(4.00)

¹ Methyl ester 85.

Table 4. Fatty acid compositions (area %) of dietary lipids used to determine n-3HUFA requirement of the Korean rockfish

	Beef tallow	ME 85
Fatty acids		
14:0	4.0	0.1
16:0	29.9	0.1
16:1n-7	2.4	0.1
18:0	17.0	-
18:1n-9	43.3	0.2
18:2n-6	2.7	0.3
18:3n-3	-	0.3
18:4n-3	-	3.4
20:4n-6	-	2.1
20:4n-3	-	1.7
20:5n-3	-	32.8
22:1n-9	-	0.2
22:4n-6	-	0.8
22:5n-6	-	0.6
22:5n-3	-	0.8
22:6n-3	-	52.3
24:0	-	3.5
24:1n-9	-	0.5

oleic acid (18:1n-9)가 다량 함유된 牛脂를 基本脂質로 하여 EPA와 DHA가 85% 함유된 제품 (ME 85: methyl ester 85, Japan, DHA/EPA 比: 1.6)을 첨가하여 n-3HUFA 濃度を 조절하였다.

脂質 無添加 實驗區와 이러한 脂質源들을 사용하여 n-3HUFA가 0.0~4.0%가 되도록 한 10개의

實驗飼料를 제조하였다.

그의 飼料原料 處理 및 飼料製造는 李 等 (1993 a)이 사용한 방법과 동일하게 하였다.

實驗魚 및 飼育管理

실험어는 유전적 개체 차이에서 오는 實驗誤差를 피하기 위해 같은 친어에서 동시에 산출된 개체를 사용하였다. 실험 1은 실험 開始前 6週間 實驗水槽 (150 l FRP 圓型水槽)에 2반복으로 完全任意配置하여 牛脂 8% 添加된 脫脂魚粉飼料 (실험 2의 사료 2)로 순치시킨 후, 중간 크기 (평균 체중 44 g) 15마리씩 선별한 것을 實驗魚로 사용하였다. 실험 2의 실험어는 實驗開始前 (Initial I) 3週間 80마리씩 各 實驗水槽에 수용하여 實驗飼料 2 (牛脂 8% 添加區)로 적응시킨 후 중간 크기 (Initial II, 平均體重 5.9 g)를 30마리씩 선별하여 各 實驗水槽에 2반복으로 수용하여 사육하였다.

먹이는 하루 2회 給與 (실험 1: 체중의 1.5~2.5%, 실험 2: 체중의 3~5%, 乾物基準)하였으며, 實驗期間 중의 수온은 環境調節裝置 (Koito, Japan)로 조절하여 실험 1은 15.5 ± 0.5℃로, 실험 2는 21.3 ± 0.7℃로 유지하였다. 두 실험 모두 유수량은 분당 2 l로 여과된 해수를 주입하여 실험 1은 9週間, 실험 2는 6週間 飼育實驗하였으며, 魚體測定은 3週 간격으로 測定前日 絶食시킨 후 MS222로 마취시켜 각 수조의 실험어 전체 무게를 측정하였다.

魚體分析용으로 實驗開始時 (실험 1: 10마리, 실험 2: Initial I 과 II 각각 50마리씩)와 實驗終了時 (실험 1: 10마리, 실험 2: 30마리) 각 수조에서 무작위로 魚體를 추출하여 분석때까지 冷凍保管 (-30℃)하였다.

成分分析

사료 및 어체의 水分은 常壓加熱乾燥法, 粗蛋白質은 Kjeldahl 窒素定量法 (N×6.25), 粗脂肪은 Soxhlet 抽出法 (ether 추출법), 粗灰分은 直接灰化法으로 각각 분석하였으며 (AOAC, 1984), 사료의 可消化 炭水化合物은 李 等 (1993d)의 결과에 따라 dextrin의 消化率을 70%하여 계산하였다. 肝 glyco-gen 함량은 Murat and Serfaty (1974)의 방법으로 분석하였는데, 간의 glycogen을 amyloglucosidase (Fluka)로 반응시킨 후, 분해된 glucose와 분해되기 전의 glucose를 酵素法 (Alexander *et al.*, 1985)으로 정량하여 glycogen 量을 계산하였다.

脂質 및 脂肪酸 分析을 위한 總脂質의 추출은 Folch *et al.* (1957)의 방법에 따랐고, Juaneda and

Rocquelin (1985)의 방법에 따라 SEP-PAK silica cartridge (Waters Associates, Milford, MA)를 사용하여, 극성 및 비극성지질로 분리하였다. 분리한 극성 및 비극성지질의 지방산 분석은 李 等 (1993 a)이 사용한 방법과 동일하게 하였다.

統計處理

實驗結果는 ANOVA-test를 실시하여 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 平均間의 有意性을 檢定하였고, broken line model (Robbins *et al.*, 1979)을 이용하여 n-3HUFA 要求量을 推定하였다.

1. 飼料의 脂肪酸種類에 따른 成長效果

成長 및 飼料效率은 Table 5 및 Fig. 1과 같고 飼育期間 중 餵사 개체는 없었다. 平均 體重은 實驗開始時 44 g이었던 것이 實驗終了時 63.1~78.8 g으로 各 實驗區間에서 有意차를 나타내었는데, 12:0 8% 添加區가 가장 낮았고, n-3HUFA 添加區가 가장 높은 값을 나타내었다. 日間增重率도 12:0 8% 添加區가 0.83%로 가장 낮았고, n-3HUFA 添加區가 1.26%로 가장 높은 값을 나타내었다. 飼料效率도 成長과 같은 경향으로, 53.5~76.6%의 범위에서 n-3HUFA 添加區가 有意하게 가장 좋은 결과를 보였다.

結 果

2. n-3HUFA 要求量

Table 6에 나타낸 바와 같이 實驗 開始時 平均

Table 5. Performance of the Korean rockfish fed diets containing different fatty acids for 9 weeks¹

Diets:	Fat-free	12:0	18:1	18:2	18:3	n-3HUFA	SEM ⁴
Initial mean weight (g)	44.4 ^a	43.7 ^a	43.8 ^a	43.9 ^a	43.9 ^a	44.0 ^a	0.50
Final mean weight (g)	70.5 ^c	63.1 ^a	66.9 ^b	69.1 ^{bc}	68.6 ^{bc}	77.8 ^d	0.83
Weight gain (%)	58.7 ^b	44.6 ^a	52.8 ^{ab}	57.3 ^b	56.1 ^b	76.7 ^c	2.58
Daily growth rate (%) ²	1.032 ^b	0.829 ^a	0.949 ^b	1.013 ^b	0.996 ^b	1.260 ^c	0.034
Feed efficiency (%) ³	64.0 ^{ab}	53.5 ^a	59.0 ^{ab}	57.6 ^{ab}	66.2 ^b	76.6 ^c	1.94

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

² (Fish weight gain × 100) / [(Initial fish weight + Final fish weight) × day fed / 2].

³ (Fish weight gain × 100) / [Feed intake (dry weight)].

⁴ Standard error of the mean, n=2.

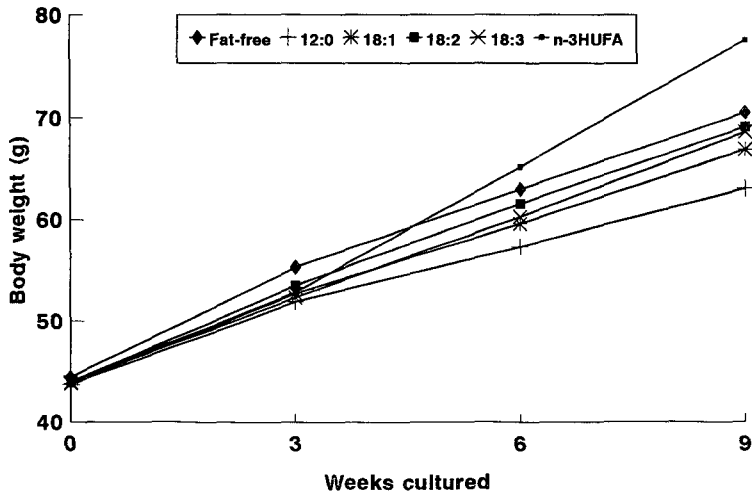


Fig. 1. Changes of mean body weight of the Korean rockfish fed diet containing different fatty acids during 9 weeks.

體重 5.9 g이었던 것이 實驗終了時 12.8~23.2 g으로 各 實驗區別로 有意한 차이를 나타내었는데, 사료의 n-3HUFA 함량이 증가함에 따라 體重도 증가하는 경향을 보였고 n-3HUFA 0.9% 이상의 實驗區에서는 21.6~23.2 g 범위로 더 이상 증가하지 않았다. 增重率 (117.4~296.7%) 및 日間增重率 (1.87~3.14%)도 같은 경향을 보여, n-3HUFA 0.9% 이상에서는 더 이상 증가하지 않았다. 飼料效率 (67.3~96.3%)은 n-3HUFA 0.6%까지 증가하다가 그 후 89.8~96.3% 범위로 일정한 값을 유지하였다. 增重率을 지표로 broken line model을 이용하여 n-3HUFA 要求量을 추정하여 본 결과, 0.92%로 나타났다 (Fig. 2).

肝의 脂質含量 (20.6~34.2%)은 飼料의 n-3

HUFA가 증가함에 따라 有意하게 감소하는 경향을 보여 n-3HUFA 1.5% 實驗區에서 최소값을 보인 반면, 글리코젠 함량 (5.1~6.8%)은 飼料의 n-3HUFA가 증가함에 따라 증가한 경향을 보였다. 또한 肝重量比 (HSI)는 2.5~4.1의 범위에서 n-3HUFA 함량이 높을수록 낮은 값을 보였으며, n-3HUFA 0.9~4.0% 實驗區 사이에서는 有意差를 보이지 않았다 (Fig. 3).

實驗 開始時와 終了時 肝 극성지질 및 비극성지질 중의 脂肪酸組成을 Table 7과 8에 나타내었다. 극성지질 중 脂肪酸組成은 사료의 脂肪酸組成에 영향을 받아 주요 지방산들 (16:0, 16:1, 18:0, 18:1, 20:1, 20:4, 20:5와 20:6)이 有意差를 보이면서 변화되었다. 사료의 n-3HUFA가 증가함에 따라 飽和脂

Table 6. Performance of the Korean rockfish fed diet containing various levels of n-3HUFA¹

	n-3HUFA levels (%) in diet										SEM ⁴
	Fat-free	0.0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	4.0	
Initial mean weight (g)	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	
Final mean weight (g)	12.8 ^a	13.8 ^a	17.8 ^b	20.2 ^c	21.6 ^{cde}	21.4 ^{cd}	21.8 ^{cde}	22.0 ^{de}	21.7 ^{cde}	23.2 ^e	0.50
Weight gain (%)	117.4 ^a	134.61 ^a	200.7 ^b	245.2 ^c	269.1 ^{cde}	260.3 ^{cd}	269.6 ^{cde}	276.4 ^{de}	270.6 ^{cde}	296.7 ^e	8.71
Daily growth rate (%) ²	1.870 ^a	2.081 ^b	2.602 ^c	2.899 ^d	3.091 ^{de}	2.976 ^{de}	2.992 ^{de}	3.053 ^{de}	2.969 ^{de}	3.135 ^e	0.052
Feed efficiency (%) ³	68.9 ^a	67.3 ^a	82.4 ^b	90.2 ^c	92.0 ^c	89.8 ^c	91.0 ^c	92.9 ^c	89.0 ^c	96.3 ^c	2.01

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

² (Fish weight gain×100)/[(Initial fish weight+Final fish weight)×day fed/2].

³ (Fish weight gain×100)/[Feed intake (dry weight)].

⁴ Standard error of the mean n=2.

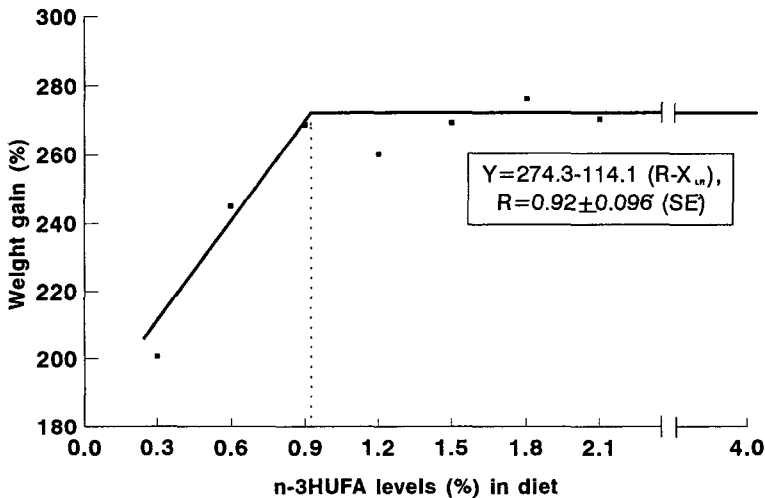


Fig. 2. Broken line model of percent weight gain to dietary n-3HUFA levels.

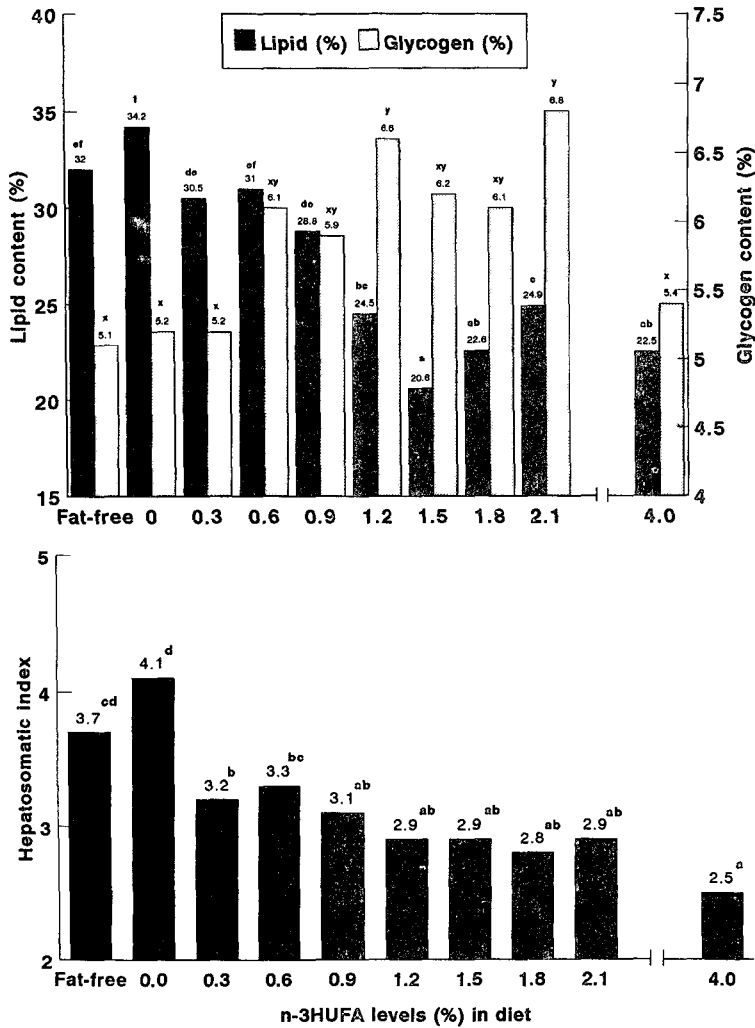


Fig. 3. Changes of lipid and glycogen contents of liver and hepatosomatic index of the Korean rockfish fed different levels of dietary n-3HUFA.

지방산인 16:0과 18:0은 증가한 반면, monoene酸인 18:1과 20:1은 감소하였고, 20:4n-6, 20:5n-3 (EPA)와 22:6n-3 (DHA)는 증가하였다. 특히 EPA (1.3~6.7%)와 DHA (3.5~22.7%) 같은 n-3HUFA (4.8~29.5%)는 飼料의 n-3HUFA에 따라 매우 큰 폭으로 변화하였으며, 18:1/n-3HUFA 比는 사료의 n-3HUFA 함량이 높을수록 감소하였다.

비극성지질의 경우 사료의 n-3HUFA가 증가할수록 16:0과 16:1은 有意하게 증가한 반면, 18:1과 20:1은 감소하였다. 또한 EPA (0.1~2.0%)와 DHA (0~2.5%)같은 n-3HUFA는 극성지질에 비해 매우 적은 폭으로 변화되었는데, 사료의 n-3HUFA가 2.1

%까지 증가할수록 아주 적은 폭 (0.1~1.1%)으로 증가하다가 사료의 n-3HUFA 4.0% 實驗區에서는 4.7%로 급격히 증가하였다. 肝重量比 (HSI)의 값도 肝 극성지질 중의 18:1/n-3HUFA 比가 증가할수록 증가하는 경향을 보였다 (Fig. 4).

考 察

1. 飼料의 脂肪酸 種類에 따른 成長效果

사육 3주까지는 成長差異가 없다가 飼育期間이 더 경과함에 따라 점차 현저한 차이를 보여, 實驗

Table 7. Fatty acid compositions (area %) of polar lipid fractions from liver of the Korean rockfish fed diet containing various levels of n-3HUFA¹

	Initial		n-3HUFA levels (%) in diet										SEM ²
	I	II	Fat-free	0.0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	4.0	
Fatty acids													
14:0	1.7	4.9	3.4	2.5	3.0	3.8	3.0	3.1	3.0	3.1	2.5	3.6	
16:0*	17.7	13.2	15.6 ^{ab}	13.6 ^a	16.8 ^{bc}	17.6 ^{bc}	17.7 ^{bc}	17.3 ^{bc}	17.2 ^{bc}	18.5 ^c	16.6 ^{bc}	17.7 ^{bc}	0.69
16:1n-7*	8.3	9.5	14.9 ^c	11.9 ^{abc}	12.0 ^{abc}	13.0 ^{bc}	12.8 ^{bc}	11.9 ^{abc}	12.7 ^{bc}	11.2 ^{ab}	10.9 ^{ab}	9.5 ^{ab}	0.92
18:0*	6.2	4.9	4.4 ^a	4.2 ^a	5.2 ^{abc}	4.9 ^{ab}	5.4 ^{abc}	5.8 ^{bcd}	5.4 ^{abc}	6.7 ^d	6.3 ^{cd}	6.6 ^d	0.37
18:1n-(7+9)*	40.0	43.0	50.9 ^{cd}	54.5 ^d	46.3 ^c	47.9 ^c	40.6 ^b	37.3 ^b	38.3 ^b	30.7 ^a	30.3 ^a	27.6 ^a	1.61
18:2n-6*	5.3	8.0	1.2 ^a	4.3 ^b	2.6 ^a	1.6 ^a	1.8 ^a	1.4 ^a	1.6 ^a	1.8 ^a	2.2 ^a	0.8 ^a	0.45
18:3n-3	-	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
18:4n-6	-	-	0.1	0.2	-	-	-	0.1	-	-	-	-	
18:4n-3	-	-	-	-	-	-	0.3	0.1	0.2	-	0.2	-	
20:1n-9*	2.0	1.4	0.9 ^c	0.9 ^c	0.8 ^c	0.7 ^{bc}	0.5 ^{abc}	0.5 ^{abc}	0.3 ^{ab}	0.2 ^a	0.5 ^{abc}	0.1 ^a	0.12
20:2n-6	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	0.6	-	-	
20:4n-6*	1.0	0.6	0.5 ^{ab}	0.3 ^a	0.6 ^{abc}	0.5 ^{ab}	0.6 ^{abc}	0.9 ^{bc}	0.7 ^{abc}	0.9 ^{bc}	1.0 ^{cd}	1.4 ^d	0.13
20:4n-3	-	-	-	-	-	-	0.3	0.2	-	-	0.2	0.1	
20:5n-3*	4.2	2.0	1.8 ^a	1.3 ^a	2.5 ^a	2.3 ^a	3.8 ^b	4.3 ^{bc}	4.0 ^{bc}	5.1 ^{cd}	5.8 ^{cd}	6.7 ^d	0.38
22:6n-3*	13.6	5.4	4.5 ^a	3.5 ^a	6.4 ^{abc}	6.0 ^{ab}	11.2 ^{bcd}	13.1 ^{de}	12.3 ^{cde}	16.6 ^{de}	17.7 ^{ef}	22.7 ^f	1.84
24:0	-	0.4	0.1	-	-	-	-	0.3	0.5	-	0.6	0.2	
Monoenes*													
n-6 series*	50.3	53.9	66.7 ^e	67.3 ^e	59.0 ^{cd}	61.6 ^{de}	53.9 ^{bc}	49.8 ^b	51.3 ^b	42.1 ^a	41.7 ^a	37.2 ^a	2.02
n-3 series	6.4	8.6	1.7 ^a	4.8 ^b	3.2 ^a	1.6 ^a	2.4 ^a	2.4 ^a	2.2 ^a	2.5 ^a	3.2 ^a	2.3 ^a	0.48
DHA/EPA ratio	17.8	7.6	6.4	4.8	8.9	8.2	15.6	17.7	16.5	21.6	23.9	29.5	
n-3HUFA*	3.2	2.7	2.5	2.7	2.6	2.6	3.0	3.1	3.1	3.3	3.1	3.4	
18:1/n-3HUFA	17.8	7.4	6.4 ^a	4.8 ^a	8.9 ^{ab}	8.2 ^a	15.3 ^{bc}	17.6 ^{cd}	16.3 ^c	21.6 ^{cd}	23.7 ^{de}	29.5 ^e	2.13

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

² Standard error of the mean, n=2.

* Asterisk represent those of significance ANOVA-tested.

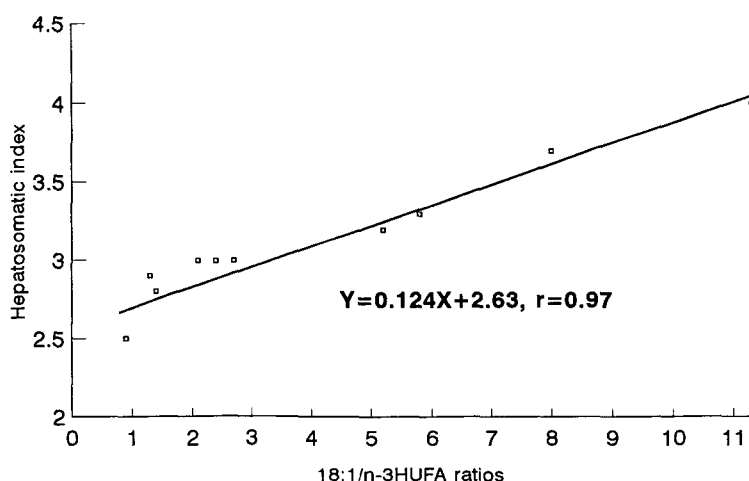


Fig. 4. Relationship between hepatosomatic index and 18:1/n-3HUFA ratio of polar lipid in the liver of the Korean rockfish fed diet with different levels of n-3HUFA.

Table 8. Fatty acid compositions (area %) of nonpolar lipid fractions from liver of the Korean rockfish fed diet containing various levels of n-3HUFA¹

	Initial		n-3HUFA levels (%) in diet										SEM ²
	I	II	Fat-free	0.0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	4.0	
Fatty acids													
14:0	2.3	2.6	4.5	3.7	3.6	3.5	4.2	4.9	4.6	4.5	4.4	4.0	
16:0*	16.9	16.0	15.3 ^{ab}	14.0 ^a	14.5 ^a	15.3 ^{ab}	16.9 ^{abc}	18.4 ^c	18.2 ^{bc}	18.7 ^c	19.1 ^c	19.6 ^c	0.88
16:1n-7*	13.2	10.3	15.4 ^{ab}	13.1 ^a	12.9 ^a	15.4 ^{ab}	17.6 ^{bc}	18.1 ^{bc}	16.3 ^{bc}	18.4 ^c	17.1 ^{bc}	16.4 ^{bc}	0.77
18:0*	3.0	3.1	2.7 ^a	2.9 ^a	2.6 ^a	2.3 ^a	2.2 ^a	2.2 ^a	2.5 ^a	2.4 ^a	2.6 ^a	2.9 ^a	0.21
18:1n-(7+9)*	51.2	57.3	56.9 ^{ab}	60.7 ^b	54.8 ^{ab}	53.4 ^{ab}	51.0 ^a	51.6 ^a	49.3 ^a	49.0 ^a	51.7 ^a	49.1 ^a	2.50
18:2n-6*	2.2	3.3	0.9 ^a	2.3 ^a	4.3 ^a	3.3 ^a	1.4 ^a	1.5 ^a	2.9 ^a	1.7 ^a	1.6 ^a	1.4 ^a	1.19
18:3n-3	0.2	-	-	-	0.1	0.2	0.1	0.1	-	-	0.1	-	
18:4n-6*	0.1	0.1	0.1	0.4	0.3	0.4	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	
18:4n-3	0.3	0.2	0.1	-	0.1	-	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	
20:1n-9*	2.8	1.7	0.9 ^{bc}	1.0 ^c	0.7 ^b	0.5 ^a	0.4 ^a	0.5 ^a	0.5 ^a	0.4 ^a	0.5 ^a	0.5 ^a	0.06
20:4n-6	0.3	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	0.2	
20:4n-3	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	0.2	
20:5n-3*	2.0	0.4	0.1 ^a	0.1 ^a	0.1 ^a	0.2 ^b	0.2 ^b	0.4 ^c	0.4 ^c	0.5 ^c	0.7 ^d	2.0 ^e	0.03
22:1n-9	1.2	0.5	0.1	0.1	-	-	-	-	-	-	-	0.1	
22:4n-6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3	
22:6n-3*	2.3	0.2	0.1 ^{ab}	.a	0.2 ^{ab}	0.2 ^{ab}	0.3 ^{ab}	0.5 ^b	0.4 ^{ab}	0.5 ^b	0.4 ^{ab}	2.5 ^c	0.12
24:0	0.3	0.1	-	-	-	-	-	-	0.1	0.1	0.1	0.4	
Monoenes*													
70.0	73.9	76.3 ^c	76.6 ^c	74.2 ^{cde}	74.6 ^{de}	74.2 ^{cde}	71.6 ^{bcd}	70.2 ^b	71.4 ^{bcd}	70.5 ^{bc}	66.2 ^a	1.10	
n-6 series*	2.5	3.4	1.0 ^a	2.7 ^a	4.6 ^a	3.7 ^a	1.7 ^a	1.7 ^a	3.3 ^a	1.8 ^a	1.9 ^a	2.0 ^a	1.23
n-3 series	4.9	0.8	0.2	0.1	0.6	0.6	0.8	1.1	1.2	1.2	1.5	5.0	
n-3HUFA*	4.4	0.7	0.2 ^a	0.1 ^a	0.3 ^a	0.4 ^a	0.5 ^{ab}	0.9 ^{bc}	0.9 ^{bc}	1.0 ^c	1.1 ^c	4.7 ^d	0.14

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

² Standard error of the mean, n=2.

* Asterisk represent those of significance ANOVA-tested.

終了時인 9주 후에는 n-3HUFA 添加飼料가 12:0, 18:1n-9, 18:2n-6과 18:3n-3 添加飼料에 비해 成長 및 飼料效率이 有意하게 높은 값을 보이고 있어, n-3HUFA가 조피볼락의 成長에 매우 중요한 지방산임을 확인하였다. 이 결과는 이미 李等 (1993a)이 飼料脂質源으로 오징어 肝油를 사용하여 오징어 肝油 중의 n-3HUFA가 조피볼락의 成長에 필수적이고, 適正成長을 위해서는 사료에 1.2% 정도가 함유되어야 한다는 결론과 일치하고 있다.

어류는 魚種과 棲息環境에 따라 必須脂肪酸으로 작용하는 脂肪酸의 種類가 다르다고 보고되어 있다 (Cowey and Sargent, 1979; Castell, 1979; Stickney and Hardy, 1989). 이러한 차이는 체내의 脂肪酸 轉換能力이 어종마다 다르기 때문에 간주되며, 어종에 따른 轉換能力을 조사한 결과, 담수어는 18:3n-3을 n-3HUFA로 轉換할 수 있는 능력이 있지만, 해산어는 담수어에 비해 현저히 낮게 나타났다

(Owen *et al.*, 1975; Yamada *et al.*, 1980; Kissil *et al.*, 1987).

本實驗에서 n-3HUFA 添加飼料 외의 脂質 無添加飼料 및 12:0 添加飼料의 成長이 실험 9주까지도 일정 수준을 유지하고 있어 李等 (1993a)의 실험 결과, 즉 n-3HUFA 0%인 사료에서 사육 8주 후 成長이 거의 정지된 것과는 차이를 보이고 있다. 이러한 차이는 실험에 사용된 實驗魚의 크기와 飼育期間의 차이에서 기인된 것으로 생각된다. 本實驗에서 脂質 無添加飼料의 成長 및 飼料效率이 12:0 사료보다 약간 높은 것은 飼料蛋白質 含量이 脂質 無添加飼料가 높기 때문으로 생각되며, 또한 18:1n-9, 18:2n-6과 18:3n-3 添加飼料들의 成長 및 飼料效率이 12:0 添加飼料區보다 약간 좋은 결과를 보인 것으로 보아 12:0과 같은 지방산의 역효과가 없었기 때문으로도 해석된다. Fujii *et al.* (1976)은 참돔에서도 12:0은 오히려 成長을 저해하는 것으로 보

고하였고, 必須脂肪酸 實驗用 基本脂質로서 적합하지 않은 지방산으로 설명하였다.

이상의 결과로 보아, n-3HUFA는 다른 해산어에서와 마찬가지로 조피볼락의 適正成長을 위해서 飼料脂質로부터 공급되어야 하는 脂肪酸으로 나타났다.

2. n-3HUFA 要求量

앞 실험의 결과와 마찬가지로, 本實驗에서도 n-3HUFA가 함유되지 않은 飼料 (fat-free 사료, 0% n-3HUFA 사료)의 成長 및 飼料效率는 有意하게 가장 낮은 결과를 보였으며, 사료의 n-3HUFA가 증가할수록 成長이 계속 높아지는 경향이였다. n-3HUFA 0.9% 이상의 實驗區에서 더 이상의 개선 효과가 없는 것으로 미루어 보아, 조피볼락의 n-3HUFA 要求量은 0.9%인 것으로 생각되며, broken line model로 처리한 통계적인 결과에서도 이 요구량이 0.92%로 추정되었다.

다른 해산어의 n-3HUFA 要求量を 살펴보면, 참돔은 0.5% (Fujii *et al.*, 1976; Izquierdo *et al.*, 1989), 방어는 2.0% (Deshimaru *et al.*, 1982b), 유럽산 넙치의 일종인 turbot, *Scophthalmus maximus*는 0.6% (Gatesoupe *et al.*, 1977; Leger *et al.*, 1979), 황줄전갱이 *Longirostris delicatissimus*는 1.8% (Watanabe *et al.*, 1989b) 그리고 gilthead bream, *Sparus aurata* (Kalogeropoulos *et al.*, 1992)는 0.9%로 보고되어 어종에 따라서 상당한 차이를 보이는데, 本實驗에서 나타난 조피볼락의 n-3HUFA 要求量은 gilthead bream의 요구량과 매우 비슷하였다.

n-3HUFA 過剩投與區로 생각되는 n-3HUFA 4.0% 添加區의 成長 및 飼料效率는 적정 요구량으로 추정된 n-3HUFA 0.9% 添加區와 비슷한 값으로 유지되어 더 이상의 성장 개선 효과나 逆效果는 없었다. 이와는 달리, 다른 연구 결과에 의하면, 必須脂肪酸 過剩投與는 오히려 副作用을 초래한다고 보고되었는데, Satoh *et al.* (1989)은 必須脂肪酸 과잉 섭취구에서 차넬메기의 成長이 저하되었다고 하였다. Takeuchi and Watanabe (1979)는 무지개송어를 대상으로 必須脂肪酸으로서 n-3HUFA와 18:3n-3을 過剩投與하여 10週間 實驗한 結果, 2% n-3HUFA와 3% n-3HUFA를 攝取한 實驗區는 1% n-3HUFA 섭취 實驗區의 成長에 각각 49%와 23%에 지나지 않았고, 4% 18:3n-3 實驗區는 1% 18:3n-3 實驗區에 비해 成長이 62%였다고 보고하였다. 本實驗에서와 같이 해산어인 조피볼락은 4.0% n-3HUFA 實驗區의 비극성지질에 n-3HUFA가 뚜렷

하게 증가되는 것으로 보아, 섭취된 n-3HUFA가 먼저 극성지질로 전환되고, 과잉의 n-3HUFA는 비극성지질로 축적되는 것으로 생각된다. 이로 보아 過剩으로 섭취된 必須脂肪酸의 생리적 역할은 어종 또는 서식 환경에 따라 다른 것으로 생각되며, 과잉의 必須脂肪酸이 실제 體內에서 生理적으로 어떠한 역할을 하는지는 보다 상세한 연구가 필요하다.

肝脂質 含量은 飼料의 n-3HUFA가 감소할수록 증가하는 경향을 보였으며, n-3HUFA 1.5%에서 가장 낮은 값을 나타내었다. 이러한 결과는 다른 대부분 어종 (Watanabe *et al.*, 1974a; Watanabe and Takeuchi, 1976; Fujii *et al.*, 1976; Takeuchi *et al.*, 1979a, b; Kanazawa *et al.*, 1982; Takeuchi *et al.*, 1990; Kalogeropoulos *et al.*, 1992)의 必須脂肪酸 缺乏飼料에서도 肝脂質 含量이 증가되었다는 보고와 일치하고 있다. 이와 같은 현상은 肝細胞 代謝에 중요한 역할을 담당하는 n-3HUFA의 부족으로 인해 脂質代謝 障礙가 초래된 것에 원인이 있는 것으로 보이며 조피볼락을 대상으로 실시한 다른 실험 (李 等, 1993a)에서도 같은 경향을 보였다.

일반적으로 지질 저장기관이 肝이 아닌 동물의 肝에 지질이 과다하게 축적되는 것은 병적인 요인으로 간주되고 있다. 肝에 脂質蓄積은 여러가지 요인에 의해 유발될 수 있다. 그 요인을 간단히 열거하여 보면, 飼料脂質 含量이 높은 데에서 유래된 것이나 貯藏脂質로부터 유리되어 나온 혈장 free fatty acids (FFA) 농도가 증가되었을 때, 혈장 lipoprotein 생성이 저해되었을 때, 또는 化學物質 등에 의해 간에 비극성지질이 축적된다고 인간을 대상으로 보고되어 있다 (Mayes, 1988). Fukuzawa *et al.* (1970, 1971)은 육상 동물의 肝에 脂質이 비정상적으로 높게 축적되는 것을 lipoprotein 합성 저해에 그 원인을 두고 있으며, Rogie and Skinner (1985)는 무지개송어의 경우 肝에서 lipoprotein 합성이 이루어진다고 하였다. 李 等 (1993a, c, d)의 研究 結果로부터 조피볼락은 여분의 體內脂質을 內臟 脂質貯藏器官에 축적하는 것으로 판단되며, 이같이 肝에 지질이 축적되는 것은 肝機能에 障礙가 있음을 추측할 수 있다. 本實驗에 사용된 實驗魚나 實驗飼料는 全 實驗期間中 동일한 조건하에서 실시되었기 때문에 實驗開始時 魚體脂質이나 飼料脂質 및 사료의 choline 含量 등이 동일한 조건이다. 本實驗의 n-3HUFA 不足飼料의 肝脂質 含量 增加原因을 정확히 비교 검토하기에는 뒷받침할 정보가 부족한 실정이지만 위에 열거한 요인 중에서 그

원인을 판단하여 보면, lipoprotein 합성이 저해된 것에 원인이 있는 것으로 판단된다. 즉, 肝에 축적되었던 脂質이나 血液 中の 脂質이 분해되어 필요한 조직에 운반되어야 하는데, 肝細胞의 代謝障礙로 lipoprotein의 合成이 저해되어 脂質이 貯藏組織에 효과적으로 축적되거나 에너지源으로 이용되지 못한 채 肝組織에 비극성지질 형태로 축적된 것으로 판단된다. 이미 李 等 (1993b)은 사료의 n-3 HUFA가 부족하면 肝細胞에 異常症勢가 초래되고 血中 cholesterol 농도가 증가됨을 발표하여 이에 대한 기초자료를 제공한 바 있다.

n-3HUFA 含量이 높을수록 HSI (2.5~4.1)가 낮아지는 경향을 보였는데, HSI에 영향을 미치는 요인인 肝脂質 含量 (20.6~34.2%)이 큰 폭으로 변화된 것에 비해 글리코겐 함량 (5.1~6.8%)은 그 변화 폭이 작아서, HSI값의 변화는 주로 脂質含量의 변화에 영향을 받은 것으로 생각된다. 이와 같이 사료에 必須脂肪酸이 부족하면 HSI와 肝 脂質含量이 증가하는 경향은 타 어종에서도 이미 보고되어 있다 (Takeuchi and Watanabe, 1977a; Takeuchi *et al.*, 1979a, b; Takeuchi *et al.*, 1990; Kalogeropoulos *et al.*, 1992).

肝 脂肪酸組成은 飼料의 脂肪酸에 영향을 받아 사료의 n-3HUFA 함량이 증가함에 따라 극성지질 중의 monoene (18:1, 20:1)酸은 감소하고 EPA와 DHA는 증가하였으며, 18:1/n-3HUFA 比는 급격히 감소하는 경향을 나타내었다. 必須脂肪酸이 缺乏되었을 때 극성지질 중 18:1/n-3HUFA 比의 증가는 必須脂肪酸 缺乏症狀의 일종으로, 참돔 (Fujii *et al.*, 1976), turbot (Owen *et al.*, 1975)와 gilthead bream (Kalogeropoulos *et al.*, 1992)에서 보고되어 있다. 體內 극성지질 중 n-9系 脂肪酸의 증가는 지방산 전환 능력과 관련하여 必須脂肪酸의 결핍 정도를 추정하는 수단으로 사용되고 있다. 淡水魚의 경우, 飼料에 必須脂肪酸이 부족하면 魚體 극성지질 중의 20:3n-9가 증가하여 20:3n-9/22:6n-3의 比가 높아지지만, 必須脂肪酸이 충족될수록 이 比가 감소되는 것을 고려하여 20:3n-9/22:6n-3 比를 必須脂肪酸 充足度 指標로 사용하고 있다 (Watanabe *et al.*, 1975; Takeuchi and Watanabe, 1977a, b, 1982a; Takeuchi *et al.*, 1979a; Takeuchi *et al.*, 1980; Satoh *et al.*, 1989). 반면, Owen *et al.* (1975)은 turbot에서 18:1이 20:3n-9로 전환되지 않음을 밝혀 20:3n-9/22:6n-3 比가 turbot의 必須脂肪酸 充足度指標로 적합하지 않다고 주장하고, 대신 18:1/n-3HUFA 比를 指標로 사용할 것을 제안하였다. Fujii *et al.* (1976)

도 turbot에서와 같은 이유로 참돔의 必須脂肪酸 充足度指標로서는 18:1n-9/n-3HUFA 比가 적합하다고 주장하였다. 本實驗에서도 n-3HUFA 缺乏區에서 肝 극성지질의 18:1 함량이 높았고, 사료의 n-3 HUFA 증가와 더불어 18:1도 감소하여, 위에서 언급한 研究結果와 일치하고 있으므로 참돔과 turbot의 必須脂肪酸 充足度指標로 사용되고 있는 18:1/n-3HUFA 比를 本實驗에도 같은 의미로 적용시킬 수 있을 것으로 보인다. 그리고 n-3HUFA 缺乏區의 18:1/n-3HUFA 比의 증가와 함께 肝脂質 含量과 HSI도 증가하고 있어 必須脂肪酸 결핍시 나타나는 肝脂質 含量, HSI 및 18:1/n-3HUFA 比 증가의 缺乏症狀이 本實驗에서도 적용되는 것으로 나타났다. 하지만 여기서 함께 검토되어야 할 것은 本實驗의 조피볼락 경우 n-3HUFA가 充足된 實驗區들의 18:1/n-3HUFA 比가 위에서 언급한 다른 어종의 必須脂肪酸 充足時 나타나고 있는 값보다 높은 수치 (2.7~0.9)를 나타내고 있다. 이같은 차이는 그 실험에 사용된 魚種이나 飼料脂質源의 脂肪酸組成比에 따라 달라진 것이 아닌가 판단된다. 실제 이러한 값의 범위로 必須脂肪酸 要求量을 결정할 때에는 魚種이나 脂質源의 脂肪酸組成比 등에 의한 차이를 보다 구체적이고 심도있게 검토하는 것이 선행되어야 할 것이다. 조피볼락을 대상으로 한 다른 실험 (李 等, 1993a)과 참돔 (Yone and Fujii, 1975b)에서는 n-3HUFA 缺乏區의 肝 극성지질 중 18:1 함량과 HSI가 오히려 감소한 경향을 보여 本實驗과 상반된 결과를 보이고 있다.

또한, 肝 극성지질의 DHA/EPA 比는 飼料 n-3 HUFA의 증가에 따라 증가한 경향 (2.5~3.4)을 보이다가 0.9% 이상에서 3.0~3.4의 범위로 일정한 값을 유지하였으며, 實驗開始前 (Initial I)의 3.2와 비슷한 값을 보였다. 이와 같이 適正含量 이상에서 이러한 값이 일정한 수준을 유지하는 것은 잉어 (Csengeri *et al.*, 1979)나 gilthead bream (Kalogeropoulos *et al.*, 1992)와 같은 타 어종의 경우에도 공통된 현상으로서, 정상적인 生體膜 機能에 필요한 脂肪酸이 만족됨으로써 나타나는 현상으로 해석된다. 肝 극성지질 중의 20:4n-6의 組成比도 飼料의 n-3HUFA 함량에 따라 변화되었는데, 사료 n-3HUFA의 증가와 더불어 20:4n-6도 0.3~1.4%의 범위에서 증가하였으며, 이 지방산의 증가는 18:2n-6이나 20:2n-6에서 轉換되어 생긴 현상으로 생각된다. 참돔 (Fujii *et al.*, 1976)과 gilthead bream (Kalogeropoulos *et al.*, 1992)에서도 같은 경향이 나타났다.

하지만 비극성지질 중의 脂肪酸組成은 뚜렷하게 변화되지 않았으며, 단지 사료의 n-3HUFA가 증가함에 따라 n-3HUFA가 0.1~1.1% 범위에서 약간씩 증가하다가 4.0% n-3HUFA 添加區에서는 4.7%로 급격히 증가하였다. 이러한 증가는, 앞에서도 언급하였듯이, 필요한 量만큼 극성지질로 전환되고 남은 것이 비극성지질로 전환된 것으로 생각된다. 또한, 비극성지질의 대부분이 飽和脂肪酸이나 monoene酸 (66.2~76.6%)으로 구성되어 있고 극성지질의 飽和脂肪酸이나 monoene酸 (37.2~67.3%)보다 구성 비율이 높으며, 그 변화 폭이 작은 것으로 나타나, 사료의 脂肪酸組成에 큰 영향을 받지 않는 것으로 판단된다. 이러한 현상은 비극성지질이 에너지源의 體內代謝에 특별히 다른 기능을 담당하지 않음을 추측할 수 있다.

이상의 결과로부터, 飼料 n-3HUFA 함량에 따라 조피볼락의 成長, 飼料效率 및 體成分이 변화되는 것으로 나타났으며, n-3HUFA 要求量은 飼料乾物의 0.9%임을 究明하였다.

要 約

1. 조피볼락의 適正成長에 필요한 지방산을 조사하기 위해 사료의 脂肪酸種類 (fat-free, 12:0, 18:1n-9, 18:2n-6, 18:3n-3 및 n-3HUFA)가 다른 6種의 實驗飼料로 44 g 전후의 조피볼락을 9週間 사육한 結果, fat-free, 12:0, 18:1n-9, 18:2n-6 및 18:3n-3 添加區보다 n-3HUFA 添加區가 成長 및 飼料效率에서 좋은 결과를 보였다.

2. 조피볼락의 n-3HUFA 要求量을 究明하기 위해, 飼料脂質 8% 범위에서 基本脂質을 牛脂로 하여 정제 지방산 (n-3HUFA 85%)을 첨가, n-3HUFA 含量이 0~4.0%가 되도록 조정된 10種의 實驗飼料로 평균 체중 5.9 g의 조피볼락 치어를 6週間 사육한 후, 成長 및 體成分의 변화를 조사하였다.

增重率 (117~297%) 및 飼料效率 (67~96%) 모두 n-3HUFA 無添加 飼料에서 가장 낮은 값을 나타내었으며, 사료 n-3HUFA 함량의 증가와 더불어 그 효과가 현저히 개선되다가 0.9% 이후에는 더이상 改善되지 않았다. 따라서, 조피볼락의 n-3HUFA 要求量은 0.9%로 추정되었다.

飼料의 n-3HUFA 含量이 증가함에 따라 肝脂質 含量과 肝重量 比는 감소하는 경향을 보였으며, 肝 glycogen 含量은 증가하였다.

肝 극성지질의 脂肪酸組成은 飼料의 脂肪酸組成

에 따라 변화하여, 사료의 n-3HUFA가 증가함에 따라 18:1은 감소하고, EPA와 DHA같은 n-3HUFA는 증가하였다. 그리고 肝 극성지질의 18:1/n-3HUFA 比는 사료의 n-3HUFA 증가와 더불어 감소하였다.

參 考 文 獻

- Aaes-Jorgense, E. 1961. Essential fatty acids. *Phys. Rev.*, 41: 1~51.
- Alexander, R. R., J. M. Griffiths and M. L. Wilkinson. 1985. *Basic biochemical methods*, Wiley, New York, 241 pp.
- Alfin-Slater, R. B. and L. Aftergood. 1968. Essential fatty acids reinvestigated. *Phys. Rev.*, 48: 758~784.
- AOAC. 1984. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemicals*, 14th edition. Arlington. AV, 1141 pp.
- Baud, I., J. P. Oudinet, M. Bens, L. Noe, M. N. Peraldi, E. Rondeau, J. Etienne and R. Ardaillou. 1989. Production of tumor necrosis factor by rat mesangial cells in response to bacterial lipopolysaccharide. *Kidney Int.*, 35: 1111~1118.
- 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.
- Bell, J. G., A. H. Mcvicar, M. T. Park and J. R. Sargent. 1991. High dietary linoleic acid affects the fatty acid compositions of individual phospholipids from tissues of Atlantic salmon (*Salmo salar*): association with stress susceptibility and cardiac lesion. *J. Nutr.*, 121: 1163~1172.
- Broughton, K. S., J. Whelan, I. Hardardottir and J. E. Kinsella. 1991. Effect of increasing the dietary (n-3) to (n-6) polyunsaturated fatty acid ratio on murine liver and peritoneal cell fatty acids and eicosanoid formation. *J. Nutr.*, 121: 155~164.
- Burr, G. O., and M. M. Burr. 1929. A new deficiency disease produced by the rigid exclusion of fat from the diet. *J. Biol. Chem.*, 82: 345~367.
- Burr, G. O. and M. M. Burr. 1930. On the nature

- and role of the fatty acids essential in nutrition. *J. Biol. Chem.*, 86: 587~621.
- Castell, J. D. 1979. Review of lipid requirements of finfish. In: *Proc. World Symp. on Finfish Nutrition and Fishfeed Technology*, Vol. I. Hamburg 20~23 June, 1978. pp. 59~84.
- 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.
- Choi, J. H. and D. S. Byun. 1989. Physiological activity of ω 3 polyunsaturated fatty acids in dark fleshed fishes. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 22: 102~108.
- 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.
- Csengeri, I., F. Majoros, J. Olah and T. Farkas. 1979. Investigations on the essential fatty acid requirements of carp (*Cyprinus carpio* L.). In: J. E. Halver and K. Tiews (Eds), *Finfish Nutrition and Fishfeed Technology*, Vol. I. Heeneman, Berlin, pp. 151~174.
- 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.
- Duncan, D. B. 1955. Multiple-range and multiple F tests. *Biometrics*, 11: 1~42.
- Erdal, J. I., Q. Evensen, O. K. Kaurstad, A. Lillehaug, R. Solbakken and K. Thorud. 1991. Relationship between diet and immune response in atlantic salmon (*Salmo salar* L.) after feeding various levels of ascorbic acid and omega-3 fatty acids. *Aquaculture*, 98: 363~379.
- 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 ω 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.
- Fujii, M. and Y. Yone. 1976. Studies on nutrition of red sea bream-XIII. Effect of dietary linolenic acid and ω 3 polyunsaturated fatty acids on growth and feed efficiency. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 42: 583~588.
- 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. Influence de la longueur de chaine des acides gras de la serie ω 3. *Ann. Hydrobiol.*, 8: 89~97.
- German, J. B., B. Lokesh and J. E. Kinsella. 1987. Modulation of zymosan stimulated leukotriene release by dietary unsaturated fatty acids. *Prostaglandins Leukotrienes Med.*, 30: 69~76.
- Halver, J. E. 1957. Nutrition of salmonid fishes. III. Water-soluble vitamin requirements of chinook salmon. *J. Nutr.*, 62: 225~243.
- Herman, S., A. D. Sediaoetama, D. Karyadi and A. C. Beynen. 1991. Influence of background composition of the diet on the lipemic effect of fish oil vs. corn oil in rats. *J. Nutr.*, 121: 622~630.
- Herold, P. M. and J. E. Kinsella. 1986. Fish oil consumption and decreased risk of cardiovascular disease. *Am. J. Clin. Nutr.*, 43: 566~598.
- 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.
- Holman, R. T. 1968. Essential fatty acid deficiency,

- a long scaly tale. *prog. Chem. Fats Other Lipids*, 9: 279~348.
- Hwang, D. H., M. Boudreau and P. Chanmugam. 1988. Dietary linolenic acid and longer-chain (n-3) fatty acids: comparison on arachidonic acid metabolism in rats. *J. Nutr.*, 118: 427~437.
- 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 non-phosphorous lipids from rat heart using silica cartridges. *Lipids*, 21: 40~41.
- Kaley, G., T. H. Hintze, M. Panzenbeck and E. J. Messina. 1985. Role of prostaglandins in microcirculatory function. In: G. G. N. Serner, J. C. McGiff, R. Paoletti and G. V. R. Born (Eds), *Advances in prostaglandin, thromboxane, and leukotriene research*, Vol. 13. Raven Press, New York, NY., pp. 27~35.
- 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 essential fatty acids for larval ayu. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 48: 587~590.
- Kanazawa, A., S. I. Teshima, M. Sakamoto and M. A. Awal. 1980. Requirements of *Tilapia zillii* for essential fatty acids. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 46: 1353~1356.
- Kinsella, J. E. 1987. Effects of polyunsaturated fatty acids on factors related to cardiovascular disease. *Am. J. Cardiol.*, 60: 23G~32G.
- Kissil, G., A. Uoungson and C. B. Cowey. 1987. Capacity of the European eel (*Anguilla anguilla*) to elongate and desaturate dietary linoleic acid. *J. Nutr.*, 117: 1379~1384.
- Leger, C., F. J. Gatesoupe, R. Metailler, P. Luquet and L. Fremont. 1979. Effect of dietary fatty acids differing by chain lengths and ω series on the growth and lipid composition of turbot *scophthalmus maximus* L. *Comp. Biochem. Physiol.*, 64B: 345~350.
- Lemaire, P., P. Draï, A. Mathier, S. Lemaire, S. Carriere, 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.
- Lokesh, B. R., J. M. Black, J. B. German and J. E. Kinsella. 1988. Docosahexaenoic acid and other dietary polyunsaturated fatty acids suppress leukotriene synthesis by mouse peritoneal macrophages. *Lipids*, 23: 968~972.
- Lokesh, B. R., J. M. Black and J. E. Kinsella. 1989. The suppression of eicosanoid synthesis by peritoneal macrophages is influenced by the ratio of dietary docosahexaenoic acid to linoleic acid. *Lipids*, 24: 389~593.
- Maroussem, D. D., B. Pippy, M. Beraud, P. Derache and J. R. Matieu. 1985. [^{14}C] Arachidonic acid incorporation into glycerolipid and prostaglandin synthesis in peritoneal macrophage: effect of chloramphenicol. *Biochim. Biophys. Acta*, 834: 8~22.
- Mayer, P. A. 1988. Lipid transport and storage. In: R. K. Murray, D. K. Granner, P. A. Mayer and V. W. Rodwell (Eds), *Harper's Biochemistry* (Twenty-first Edition), Appleton & Lange, East Norwalk, pp. 226~240.
- Murat, J. C. and A. Serfaty. 1974. Simple enzymatic determination of polysaccharide (glycogen) content of animal tissues. *Clin. Chem.*, 20: 1576~1577.
- NAS (National Academy of Sciences). 1973. Nutrient requirements of trout, salmon and catfish. NAS, Washington, D. C., 50 pp.
- Owen, J. M., J. W. Adron, C. Middleton and C. B. Cowey. 1975. Elongation and desaturation of dietary fatty acids in turbot, *Scophthalmus maximus* L., and rainbow trout, *Salmo gairdnerii* Rich. *Lipids*, 10: 528~531.
- Pacha, R. E. 1968. Characteristics of *Cytophaga psychrophalia* (Borh) isolated during outbreaks of bacterial cold water disease. *Appl. Microbiol.*

- 16: 97.
- 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.
- Satoh, S., W. E. Poe and R. P. Wilson. 1989. Effect of dietary n-3 fatty acids on weight gain and liver polar lipid fatty acid composition of fingerling channel catfish. *J. Nutr.*, 119: 23~28.
- Stickney, R. R. and R. W. Hardy. 1989. Lipid requirements of some warmwater species. *Aquaculture*, 79: 145~156.
- Stubbs, C. D. and A. D. Smith. 1984. The modification of mammalian membrane polyunsaturated fatty acid composition in relation to membrane fluidity and function. *Biochim. Biophys. Acta*, 779: 89~137.
- Swanson, J. E., J. M. Black and J. E. Kinsella. 1987. Dietary (n-3) polyunsaturated fatty acids: rate and extent of modification of fatty acyl composition of lipid classes of mouse lung and kidney. *J. Nutr.*, 117: 824~832.
- Swanson, J. E., B. R. Lokesh and J. E. Kinsella. 1989. Ca^{2+} - Mg^{2+} ATPase of mouse cardiac sarcoplasmic reticulum is affected by membrane n-6 and n-3 polyunsaturated fatty acid content. *J. Nutr.*, 119: 364~372.
- 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., 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.
- Takeuchi, T., M. Toyota, S. Satoh and T. Watanabe. 1990. Requirement of juvenile red seabream *Pagrus major* for eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 56: 1263~1269.
- 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. 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.
- Takeuchi, T., T. Watanabe and T. Nose. 1979a. Requirement for essential fatty acids of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) in freshwater environment. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 45: 1319~1323.
- Takeuchi, T., T. Watanabe and C. Ogino. 1979b. Digestibility of hydrogenated fish oils in carp and rainbow trout. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 45: 1521~1525.
- Thomson, A. B. R., M. Keelan, M. T. Clandinin and K. Walker. 1986. Dietary fat selectively alters transport properties of rat jejunum. *J. Clin. Invest.*, 77: 279~288.
- Watanabe, T. and T. Takeuchi. 1976. Evaluation of pollock liver oil as a supplement to diets for rainbow trout. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 42: 893~906.
- 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.
- Watanabe, T., T. Tekeuchi and C. Ogino. 1975. Effect of dietary methyl linoleate and linolenate on growth of carp-II. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 41: 263~269.
- Watanabe, T., T. Takeuchi, T. Arakawa, K. Imai-zumi, S. Sekiya and C. Kitajima. 1989a. Requirement of juvenile striped jack *Longirostris delicatissimus* for n-3 highly unsaturated fatty acids. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 55: 1111~

- 1117.
- Watanabe, T., S. Thongrod, T. Takeuchi, S. Satoh, S. S. Kubota, Y. Fujimaki and C. Y. Cho. 1989b. Effect of dietary n-6 and n-3 fatty acids on growth, fatty acid composition and histological changes of white fish *Coregonus lavaretus maraena*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 55: 1977~1982.
- Yamada, K., K. Kobayashi and Y. Yone. 1980. Conversion of linolenic acid to ω 3-highly unsaturated fatty acids in marine fishes and rainbow trout. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 46: 1231~1233.
- Yone, Y. and M. Fujii. 1975a. Studies on nutrition of red sea bream-XI. Effect of ω 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 ω 3 fatty acid supplement in a corn oil diet on fatty acid composition of fish. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 41: 79~86.
- 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 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.
- 李鍾允 · 姜龍珍 · 李尙旻 · 金仁培. 1993c. 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. 1993d. 조피볼락 *Sebastes schlegeli*의 適正 에너지/蛋白質 比. *韓國養殖學會誌*, 6: 29~46.

1993년 8월 3일 접수

1993년 9월 4일 수리