KOREAN J. FOOD & NUTR.
Vol. 10, No. 2, 213~218(1997)

복어의 비가식부의 이용과 지질 조성에 관한 연구

이 민 경
동아대학교 식품영양학과

Studies on Utilization and Lipid Composition of Nonedible-Tissues from *Fugu xanthopterus*

Min-Kyung Lee
Department of Food and Nutrition, Dong-A University, Pusan 604-714, Korea

Abstract

Total lipid were extracted from the eggs, livers, intestines, muscles, and testis of *Fugu xanthopterus*. The fatty acid composition of total lipid was analyzed by gas liquid chromatography. Proximate percentage of total lipid from the samples was shown to be ; 81.72% in the livers, 14.53% in the intestines, 12.63% in the eggs, 0.85% in the muscles, and 1.74% in the testis. Toxins(tetrodotoxins) were completely removed from the liver of *Fugu xanthopterus* with 1% acetic acid /methanol solution before total lipid was extracted with $CHCl_3$:methanol solution(2:1, v/v). The toxicity left in the total lipid was checked using mice. The content of DHA in each tissues of *Fugu xanthopterus* was the most abundant in muscle(32.4%), followed by liver(23.0%), intestine(26.7%) and testis(15.4%). The level of total polyenoic acids comprising DHA was more abundant in muscle(57.4%) than in the liver(50.9%).

Key words : *Fugu xanthopterus*, tetrodotoxin, DHA

서 론

DHA(docosahexaenoic acid, $C_{22:6(n-3)}$)는 망막[1], 뇌[2], 신경[3] 등의 인지질에 존재하여 두뇌 발달은 물론 중추 신경계에 중요한 역할을 하며 학습능력 향상 및 시력보호에도 효과가 있다고 보고된 바가 있으며[4] 역학적으로나 임상적으로 증명됨에 따라 DHA는 EPA(eicosapentaenoic acid, $C_{20:5(n-3)}$)와 더불어 기능성 식품으로 인정되어 어유에서 정제되거나[5] 또는 미생물 배양법에[6,7] 의하여 생산되어 시판되고 있다.

이런 DHA는 어유에 풍부하게 존재한다는 사실이 이미 널리 알려져 있고 특히 등푸른 생선에 많다고 한다[8]. 우리 나라에서는 주로 담수어를 대상으로 지질성분에 관한 연구가 진행되어 왔으며[9] 해산어류에 관한 연구 보고로는 한국 주요 어종의 지방산 조성 및 n-3 고도 불포화 지방산의 함량과 정어리와 고등어의 지질함량 및 지방산 조성의 계절적 변화 등이 보고되어 왔다[10].

Corresponding author : Min-Kyung Lee

본 연구에서는 DHA 함량이 높은 유지원을 발굴하기 위하여 수산 폐기물의 지방산 조성을 조사하던 중 종류가 수백가지에 이르고 우리 나라 전 해안에 걸쳐 연간 5,700 MT(1992년도, 수산통계연감)가 생산되는 복어 간유에 다량의 DHA, DPA(docosapentaenoic acid, $C_{22:5(n-3)}$)가 함유되어 있음을 알고 시료로 채택하였다.

복어는 그 담백한 맛 때문에 우리 나라를 비롯하여 극동지역에 널리 애용되고 있으나 그 맹독성인 tetrodotoxin 때문에 식중독 사고가 빈번하게 발생하여 조리시 세심한 주의가 요구되는 어류다. 이 tetrodotoxin은 어종에 따라서 약간 상이하나 대체로 근육과 지느러미를 제외한 전 조직에 분포해 있고 특히 간과 난소에 그 함량이 높다[11~13]. 복어는 특히 폐기율이 높기 때문에 비가식부는 땅속에 묻거나 태워 폐기하고 있으나 이 폐기물은 복어 판매상들에게는 큰 골치거리다.

이에 저자는 어류의 비가식부 이용계획의 일환으로 간, 내장, 근육, 정소 등에 DHA와 DPA, EPA의 함량이 높음을 알리고 거기에 들어있는 독성을 제거하고 공

업적으로나 식용 또는 의학적으로 활용할 수 있는 방안을 모색코자 하였으며 나아가서는 이런 폐기물을 줄임으로서 우리가 살고 있는 환경을 깨끗하게 함과 동시에 산업, 사회 발전에 조금이라도 이바지할 수 있었으면 한다.

재료 및 방법

1. 재 료

본 실험에 사용한 까치복(*Fugu xanthopterus*)은 부산 자갈치 시장에서 구입하여 냉동실에서 보관하였다가 실험에 사용하였고 mouse는 서울대학교 의과대학에서 무균 상태로 사육된 것을 구입하였다.

2. 총지질 추출

냉동된 시료를 해동하여 간, 알, 내장, 근육, 정소로 분리하여 Bligh와 Dyer 법[14]에 따라 추출하였다.

3. 독성추출과 mouse test

1) 독성추출

독성추출은 식품위생 검사지침 중의 복어독 검사법[15]을 변화시켜 2가지 방법에 의해 추출하였다. 먼저 Fig. 1과 같이 시료 까치복 간(10g)을 마쇄하여 1% acetic acid/methanol 50ml를 가하여 환류 냉각기를 붙여 70~75℃에서 10분간 가온하고 여기서 얻어진 추출액과 잔류물은 여과하였다. Methanol이 포함된 수용층에서는 rotary vacuum evaporator에서 감압농축하여 methanol을 제거하고 mouse test하였고 한편 지질층을 얻기 위해 잔류물에는 다시 $CHCl_3$:methanol(2:1, v/v)을 첨가하여 분액깔대기에서 $CHCl_3$층을 수집하여 용매를 제거하고, 얻어진 총지질을 mouse test하였다.

한편 다른 방법으로는 시료에 $CHCl_3$:methanol (0.1% acetic acid)(2:1)용액 50ml를 넣어 분액깔대기에서 수용층과 $CHCl_3$층을 분리하여 각각 rotary vacuum evaporator에서 용매를 제거하고 감압농축하여 mouse test하였다.

2) Oil test

까치복 간의 oil층은 oil 10mg을 10ml mass flask에 넣고 $CHCl_3$로 채운 다음 이것을 0.5ml 취하여 N_2기류하에서 용매를 제거하고 1% Tween 80을 1ml 넣어 mouse test하였다.

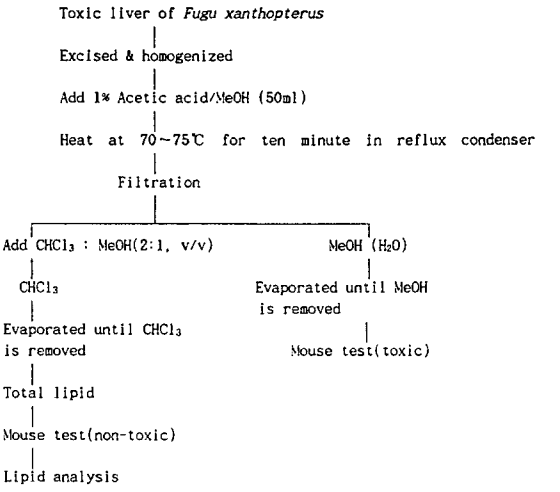

Fig. 1. Removal of tetrodotoxin from the liver lipid of *Fugu xanthopterus*.

3) Mouse test

실험에 사용된 mouse는 생후 4주된 ICR(Institute of Cancer Research)계이고 무게는 16~20g 정도인 수컷을 20±2℃에서 12시간 간격으로 밤낮을 조절하고 일반 고형사료(삼양사)와 물을 자유량으로 하여 2주일간의 적응 기간을 거친 후 test하였다. Mouse에 투여된 시료는 1ml이며 mouse의 오른쪽 아랫 부분인 복강에 1회용 주사기를 사용하여 투여하였다.

4. GC에 의한 지방산 분석[16,17]

각 시료의 총 지질과 분획별 FAME는 GC로 분석하였다(Table 1).

Table 1. GC condition for analysis of fatty acid methyl ester

Instrument	: Hewlett Packard 5890 Capillary Gas Chromatography
Column	: A fused silica column(25m×0.20 mm, 0.5μm) coated with Carbowax 20M(Hewlett Packard, Avondale, PA, USA)
Column temp	: Held at 175℃ for 3min., then temperature programmed at 4℃/min to 205℃, and held at this point for further 30min
Carrier gas	: H_2(25mL/min, split ratio 1:100)
Detector	: FID
Integrator	: Young-In D5208 Computing Integrator (Young-In Scientific Co., LTD, Seoul, Korea)

결과 및 고찰

1. 각 조직의 총지질 함량

Table 2는 각 조직의 총 지질 함량을 나타낸 것이다. 간의 지질 함량은 다른 조직에 비하여 월등히 높아 81.72%였으며 내장과 알에는 14.53, 12.63%로서 비슷하였고 근육과 정소에는 각각 0.85와 1.74%로서 매우 낮은 지질 수준을 보였다. 趙[18]는 오징어의 경우 *Ommastrephes bartrami*는 간에 40%, 내장에 1.5%, *Onychoteuthis boreali japonica*는 간과 내장에 각각 56, 1.8%, *Todarodes pacificus*는 23.6, 1% 들어있다고 보고하였다.

일반적으로 흰살 생선은 내장에 지질을 저장하고 붉은살 생선은 근육에 저장하는데 복어의 경우에도 내장인 간에 많은 양의 지질이 저장되어 있음을 알 수 있었다.

2. 간 지질의 독성제거 확인

Table 3과 4는 까치복 간의 지질로부터 독성제거 확인을 하기 위하여 mouse test한 것을 나타내었다. Table 3에는 1% acetic acid/methanol용액 50ml를 가하여 독성을 제거한 것이고, Table 4는 $CHCl_3$:methanol(0.1% acetic acid 함유)(2:1, v/v) 50ml 용액을 가하여 독성을 제거한 것인데, 추출한 독성물질과 독성을 제거한 oil로 나누어서 각 5마리씩 mouse를 test하였고 독성은 치사시간과 mouse체중을 측정하여 g당 MU(mouse unit)단위로 환산하여 표시하였다. 1 MU는[19] 체중 20g의 mouse를 30분 이내 치사시킨 독의 양으로 정의되었으며 tetrodotoxin 0.22㎍에 해당한다.

Table 2. Total lipid content of the samples

Species	Lipid content (weight %, on wet base)
Fugu xanthopterus liver	81.72
Fugu xanthopterus intestine	14.53
Fugu xanthopterus egg	12.63
Fugu xanthopterus muscle	0.85
Fugu xanthopterus testis	1.74

Table 3. Mouse test of tetrodotoxin from liver of *Fugu xanthopterus* in 1% acetic acid/methanol

Sample (1ml/injec.)	Mouse wt (g)	Death time (min)	Toxicity (MU/g)**
Stock solution	17.22±1.21*	2.25±0.12	12.78±3.25
Oil	18.71±2.62	non-toxic	non-toxic

* Values are means±S.D. of 5 mice.
** One M.U. was defined here as amount of toxin which kills a mouse 20g at 30 min, as usual.

Table 4. Mouse test of tetrodotoxin from liver of *Fugu xanthopterus* in $CHCl_3$: methanol(0.1% acetic acid)(2:1)

Sample (1ml/injec.)	Mouse wt (g)	Death time (min)	Toxicity (MU/g)**
Stock solution	19.92±2.05*	12.01±1.44	4.75±1.73
Oil	18.89±2.34	non-toxic	non-toxic

* Values are means±S.D. of 5 mice.
** One M.U. was defined here as amount of toxin which kills a mouse 20g at 30 min, as usual.

결과는 Table 3의 방법이 Table 4의 방법보다 훨씬 독성이 강하여 약 3배 정도 높은 것으로 나타났고 치사시간도 훨씬 짧았다. 복어의 독인 tetrodotoxin은 신경독이라고 알려져 있는데[19] 실험된 mouse의 경우 눈이 검정으로 변하고 뒷다리가 힘이 없고 뻣뻣해지며 혼수상태 등의 증상을 보이며 치사하였다. 또한 본 실험의 경우 알 수 있었던 것은 mouse의 체중이 가벼운 것이 무거운 것보다 더 빠른 치사시간을 나타내었고, 독성물질에 대한 저항이 약한 것으로 나타났다. 복어의 독성은 종류, 개체, 지역, 계절에 따라 다르기 때문에[20] 이 부분에서는 많은 연구가 이루어져야 할 것이다.

한편 oil층에는 아무런 변화가 나타나지 않아 독성이 완전히 제거되었거나, 만약 독성이 남아 있다 하더라도 mouse의 생존에는 아무런 지장이 없는 것으로 추측할 수 있었다. 즉 복어의 비가식부인 간에서 독성을 제거하고 oil층만 수집하여 다음의 지방산 조성을 조사하였다.

3. 총지질의 부위별 지방산 조성

까치복의 알, 간, 내장, 근육, 정소 부분의 지방산 조성을 Table 5에 나타내었다. DHA ($C_{22:6(n-3)}$)의 함량이 근육 부분에서 32.4%로 가장 높았고 간, 내장, 알, 정소 순으로 각각 23.0, 17.7, 15.7, 15.4%였다. DPA ($C_{22:5(n-3)}$)와 EPA($C_{20:5(n-3)}$)의 경우에는 간에 9.4, 5.2%로 다른 부위보다 가장 많이 함유되어 있었다. 특히 근육과 간에는 고도 불포화 지방산이 57.4, 50.9%로 절반 이상의 높은 비율을 차지했으며 포화 지방산의 경우에는 $C_{16:0}$가 각 부위마다 높은 함량을 나타냈고 모노 불포화 지방산의 경우는 $C_{18:1(n-9)}$의 함량이 가장 높게 나타났음을 알 수 있었다.

한편 오징어 간유[18]에서는 DHA가 15.7%, DPA가 2.3%, EPA가 5.9%로 보고된 바 있고 대구 간유[21]에서도 DHA, DPA, EPA가 비슷한 수준으로 나타나 있

Table 5. The fatty acid composition of lipids from each tissues of *Fugu xanthopterus*

Fatty acid	Egg Total FA	Liver Total FA	Intestine Total FA	Muscle Total FA	Testis Total FA
14:0	3.2	2.2	2.4	2.0	1.0
14:1		0.2	0.2		0.2
14:1(n-5)	1.2	0.4	0.5		
15:0	0.1			0.8	0.6
16:0	21.0	12.0	16.5	16.7	21.0
16:1(n-7)	7.6	7.3	7.4	3.7	4.3
16:1(n-5)	1.6	0.2	0.3	0.1	0.4
16:2(n-4)	1.0	0.9	1.0	1.2	1.3
16:3(n-3)	0.1	0.7	0.9	0.6	0.8
16:4(n-3)	0.3	0.3	0.4		0.6
15 Me 16:0	0.1	0.2	0.5	0.3	0.3
14 Me 16:0	0.2			0.1	
17:0	1.0	0.7	0.8	1.0	0.7
17:1(n-8)					
18:0	8.9	0.1	6.0	4.5	12.3
18:1(n-9)	11.3	22.3	20.4	9.2	17.7
18:1(n-7)	3.5			2.0	
18:1(n-5)	0.2			0.1	
18:2(n-6)	1.1	1.6	1.9	0.8	1.8
18:2(n-4)	0.3	0.4	0.6	0.1	0.3
18:3(n-6)	0.1			0.1	
18:3(n-3)	0.7	1.7	1.3	0.5	0.4
18:4(n-3)	0.4	1.5	0.9	0.3	0.1
19:0	0.4			0.4	
20:0	0.3	0.3	0.5	0.3	0.2
20:1(n-9)	1.1	2.3	2.7	0.7	1.7
20:1(n-7)	0.5	0.4	0.6	0.3	0.8
20:2(n-9)					
20:2(n-6)	0.2	0.2	0.4	0.3	0.4
20:3(n-9)	0.1				
20:3(n-6)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
20:3(n-3)	0.2	0.4	0.3	0.2	0.2
20:4(n-6)	3.7	1.8	2.4	3.9	4.8
20:4(n-3)	0.5	1.0	0.6	0.4	0.2
20:5(n-3)	2.8	5.2	4.0	2.6	4.3
21:5(n-3)	0.3	0.1	0.4	0.2	0.2
22:0	0.1			0.1	
22:1(n-11)	0.2	0.8	1.2	0.1	0.3
22:1(n-9)			0.2	0.2	0.2
22:4(n-6)	1.2	1.3	0.6	1.6	1.4
22:4(n-3)	0.5	0.3		0.4	0.2
22:5(n-6)	1.9	0.9	0.9	3.9	1.8
22:5(n-3)	6.0	9.4	5.6	7.7	3.9
22:6(n-3)	15.7	23.0	17.7	32.4	15.4
24:1(n-9)	0.2			0.1	0.4
ΣSaturated	35.3	15.5	26.7	26.2	36.1
ΣMonoenes	27.4	33.9	33.5	16.5	26.0
ΣPolyenes	37.3	50.9	40.1	57.4	38.3

어 다른 어종에 비해 까치복 간의 DHA 함량이 높은 것을 알 수 있었다. 또한 고래유[22]에는 고도 불포화 지방산이 거의 들어 있지 않으며 menhaden유[22]에는 EPA가 DHA보다 2배 이상 많으며 청어유[22]에는 EPA와 DHA가 비슷한 함량을 보이고 있다.

본 실험의 까치복어의 경우에는 근육의 DHA가 EPA보다 15배 가량의 높은 함량을 나타내며 그 외의 다른 부위에서도 훨씬 많은 양의 DHA가 존재함을 알 수 있었다. Fig. 2와 3에는 부위별 GLC chromatogram을 나타내었다.

어유에 많은 양으로 존재하는 DHA는 어유 TG 분자의 2-위치에 존재하고[23] 있고 EPA는 2,3-위치에 주로 결합되어 있으며 또 고등동물의 췌장 lipase는 2-위치 acyl기를 가수분해하지 못하므로 천연상태로 얻은 어유를 섭취했을 때 EPA나 DHA가 효율적으로 흡수되기 어렵다[24]. Lawson과 Hughes는[25] EPA와 DHA가 현재 시판되고 있는 ethyl ester 형태보다 TG형태로 섭취했을 때가 인체 흡수율이 3~4배 높다고 하였는데 ester반응을[26~28] 이용하여 어유의 1-3위치에 EPA나 DHA가 도입된 TG의 조제가 가능하다면 이는 고 부가가치의 designer food가 되리라 생각된다.

이와 같이 생리적 효능을 갖는 DHA는 본 시료의 각 부위마다 다량 함유되어 있고 특히 간 지질에 상당량 함유되어 있어, 고농축 DHA-TG를 생산하는데 있어서

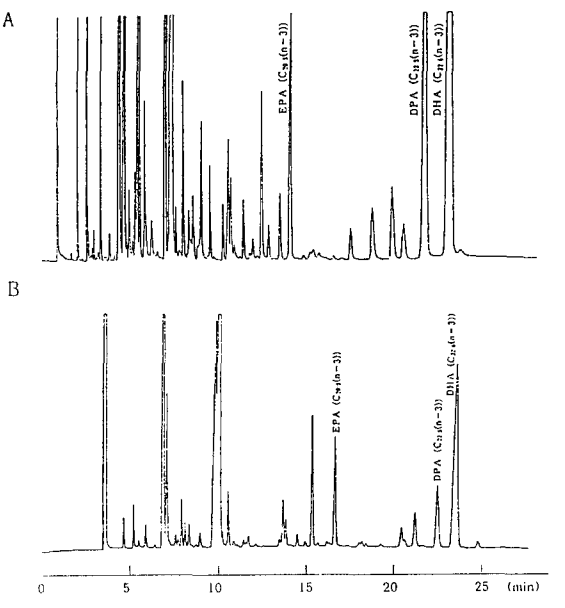

Fig. 2. GLC chromatograms of fatty acid methyl esters of total lipid from each tissues of *Fugu xanthopterus*. A : Muscles B : Testis

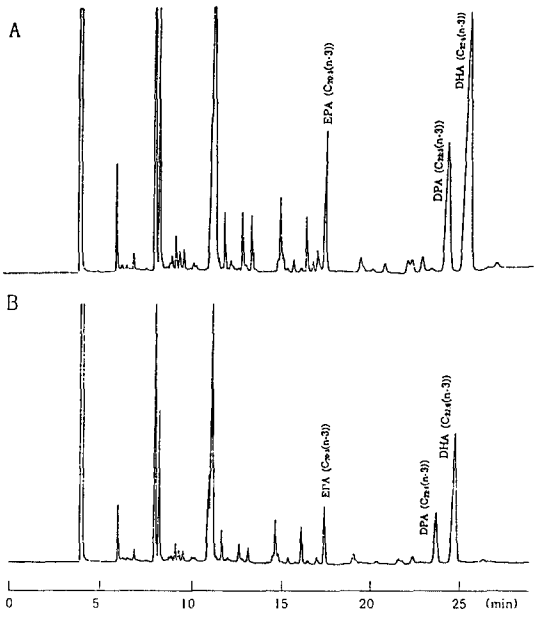

Fig. 3. GLC chromatograms of fatty acid methyl esters of total lipid from each tissues of *Fugu xanthopterus*. A : Livers B : Intestines

DHA의 공급원으로서 복어 간유가 유효하다는 것을 말해 준다고 하겠다.

요 약

까치복(*Fugu xanthopterus*)을 간, 알, 내장, 근육, 정소로 나누어서 얻은 총지질 함량은 간에 81.72%로 가장 많은 지질이 들어 있었으며 그 외 내장, 알, 근육, 정소에는 14.53, 12.63, 0.85, 1.74%로서 근육에서 가장 낮은 지질 수준이 나타났다. 한편 까치복의 간으로부터 독성제거 확인을 하기 위해 1% acetic acid/methanol용액 50ml와 $CHCl_3$:methanol(0.1% acetic acid)(2:1, v/v)용액 50ml에서 독성을 추출 하였다. 위 두가지 방법 모두에서 지질층에는 mouse test한 결과 무독한 것으로 나타났고 추출한 독성층에는 mouse 무게가 가벼운 것이 더 높은 독성치를 나타내어 저항에 약함을 알 수 있었다. 또한 까치복의 부위별 지방산 조성을 GC로 분석한 결과 DHA의 함량이 근육에 32.4%로 가장 높았고 간과 내장의 지질에도 23.0, 26.7%로 높은 지질 수준을 보였으며 정소에는 15.4%로 가장 낮았다. 근육에는 고도 불포화 지방산이 57.4%로 전체 지방산 중 절반이 넘는 높은 함량을 나타내었고 간에도 50.9%의 높은 지질 수준을 보였다. 포화 지방산은 $C_{16:0}$가 각 부위마다 높았으며 모노 불포화 지방산은 $C_{18:1\ (n-9)}$가 부위마다 가장 높았음을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Anderson, R. E.: *Exp. Eye Res.*, **10**, 339 (1970).
2. Svennerholm, L. J.: *J. Lipid Res.*, **9**, 570 (1968).
3. Tanaka, Y., Funada, T., Murayama, W. and Kosuge, Y.: *Yukagaku*, **41**, 312 (1992).
4. Sridhar, R. and Lakshminarayana, G.: *JAOCS*, **69** (10), (1992).
5. 鳥村馬次郎 : "*水產油糧學*", 恒星社厚生閣(外山健三外 2人編), 東京, pp. 150-151 (1988).
6. 岩本浩明, 湯原 力 : 日本特許 60-87798 (1985).
7. Seto, A., Kumasaka., K., Hosaka, M., Kojima, E., Kashiwakura, M. and Kato, T.: "Industrial Applications of Single Cell Oil" ed. by Kyle D. J. and Ratledge, C. *JAOCS*, Champaign, Ill., USA, p. 219-234 (1992).
8. Tsuneo Yamane, Tomomasa Suzuki, Youko Sahashi, Line Vikersveen and Tamotsu Hoshino : *JAOCS*, **69**(11), (1992).
9. 노재일, 최진호, 변재형, 최강주 : 담수어의 지질에 관한 연구, *한수지*, 17(6), 477-484 (1984).
10. 이응호, 오광수, 안창범, 정영훈, 김진수, 지승길 : 정어리 지방질 및 지방산 조성의 시기적 변화, *한국식품과학회지*, **18**, 3 (1986).
11. Hwang, Deng-Fwu, Chueh, Chuang-Hsun and Jeng, Sen-Shyong,: *Nippon Suisan Gakkaishi*, **56**(2), 337-343 (1990).
12. Hwang, Deng-Fwu, Tamao Noguchi, Osamu Arakawa, Tokiharu Abe, and Kanehis Hashimoto : *Nippon Suisan Gakkaishi*, **54**(11), 2001-2008 (1988).
13. Yuji Nagashima, Junichi Maruyama, Tamao Noguchi, and Kanehisa Hashimato : *Nippon Suisan Gakkaishi*, **53**(5), 819-823 (1987).
14. Bligh, E. G. and Dyer, W. J.: *Can. J. Biochem. Physiol.*, **37**, 911 (1959).
15. 日本食品衛生協會 : フケ毒, 食品衛生檢査指針, 296-300 (1991).
16. 趙鍊柱, 李玉景, 林永周 : *韓國油化學會誌*, **5**, 13 (1988).
17. Christie, W. W., Brenchany, E. Y. and Stefanov, K. : *Chem. Phys. Lipids.*, **46**, 127 (1988).
18. 趙鍊柱 : 오징어 肝脂質의 脂肪酸 組成 및 acyl ethylates의 存在에 관한 硏究, 東亞大學校 碩士學位 請求論文, p. 11 (1989).
19. 日本水產學會監修 : 水產動物の筋肉脂質, 鹿山 光 編, 恒星社厚生閣刊.
20. 박영호, 장동석, 김선봉 : 수산가공이용학, 형설출판사, 서울 (1994).
21. Svennerholm, L. : *J. Lipid Res.*, **9**, 570 (1968).
22. Daniel Swerm : Bailey's industrial oil and fat products, Vol 1, A Wiley Interscience Publication.
23. 鈴木平光, 和田 俊 : *油化學*, **37**, 781 (1988).
24. 鈴木平光 : ハイオサイエンスとインタストリ, **49**, 486 (1991).

25. Lawson, L. D. and Hughes, B. G. : ***Biochem. Biophys. Res. Commun.***, **152**, 3287 (1988).
26. 松井宣也 : *油化學*, **28**, 680 (1979).
27. Sridar, R. and Lakshminarayana G.: ***J. Am. Oil Chem. Soc.***, **69**, 1041 (1992).
28. Yamane, T., Suhashi T., Vikersveen, L. and Hoshino, T.: ***J. Am. Oil Chem. Soc.***, **69**, 1104 (1992).

(1997년 6월 4일 접수)