硬化魚油に関する栄養学的研究 (第 3 報)

硬化魚油へのリノール酸添加がラットの脂質組成に
及ぼす影響と油脂の物性との関連

岡本隆久*・知見憲次*・丸山武紀*・兼松 弘*・新谷 勲*
志村光雄**・亀井正治***・藤田忠雄***・神戸 保***
佐々木清司***・菅野道廣****

* 財団法人 日本食品油脂検査協会 (〒103 東京都中央区日本橋浜町 3-27-8)

** 日本マーガリン工業会 (〒103 東京都中央区日本橋浜町 3-27-8)

*** 大阪市立環境科学研究所 (〒543 大阪市天王寺区東上町 8-34)

**** 九州大学農学部 (〒812 福岡市東区箱崎 6-10-1)

Nutritional Studies on Hardened Fish Oil. III.

Effects of Linoleic Acid Supplementation to Hardened Fish Oil on Lipid
Compositions of Rat and Physical Properties of the Oil

Takahisa OKAMOTO*, Kenji CHIMI*, Takenori MARUYAMA*, Hiromu KANEMATSU*,
Isao NIIYA*, Mitsuo SHIMURA**, Masaharu KAMEI***, Tadao FUJITA***,
Tamotsu KAMBE***, Kiyoshi SASAKI*** and Michihiro SUGANO****
* Japan Institute of Oils & Fats, Other Foods Inspection, Foundation
(3-27-8, Nihonbashi-Hamacho, Chuo-ku, Tokyo 〒103)
** Japan Margarine, Shortening & Lard Industries Ass.
(3-27-8, Nihonbashi-Hamacho, Chuo-ku, Tokyo 〒103)
*** Osaka City Institute of Public Health and Environmental Science
(8-34, Tojocho, Tennoji-ku, Osaka-shi, 〒543)
**** Kyushu University School of Agriculture
(6-10-1, Hakozaki, Higashi-ku, Fukuoka-shi, 〒812)

The effect of supplementing linoleate as safflower oil was investigated in rats to determine the minimal requirements for amelioration of essential fatty acid deficiency caused by feeding hardened fish oil (HFO). Male rats were fed diets containing 20% HFO for 4 weeks. A portion of HFO was replaced stepwise with safflower oil (1, 3, 5 and 10%). The influence of the oil addition on the physical properties of HFO was also studied by measuring the melting point by 4 different methods and solid fat content (SFC) at 5~40°C.

1) The melting points remained unchanged by the addition of safflower oil to HFO at 10% or less, and the SFC at 5~40 °C did not change essentially addition of the vegetable oil at 3% or less.

2) The reduction of body weight gain in the HFO group may primarily have resulted from reduction of food intake since no significant change in food efficiency (weight gain/food intake) occurred even when safflower oil was supplemented.

* 前報: 油化学, 37, 255 (1988)

3) A temporary increase in relative liver weight due to feeding HFO, as observed previously [Yukagaku, 37, 177 (1988)], improved somewhat by the addition of safflower oil at 3% or more. By the same addition level, the ratio of 20 : 3 *n*-9 to 20 : 4 *n*-6 in the liver lipids became less than 0.2, indicating amelioration of essential fatty acid deficiency.

4) Analysis of fatty acid compositions of liver and fecal lipids confirmed the preferential fecal dischargement of *trans*-fatty acids, especially long chain *trans*-fatty acids, and resumption of the tissue level of linoleic acid occurred easily.

5) These results show that the nutritional defect of HFO can be improved by the addition of small amounts of linoleate as safflower oil without altering its physical properties.

1 緒 言

硬化油に存在するトランス不飽和脂肪酸（以下トランス酸）は天然油脂にはほとんど存在せず、またその生物学的性質は相当するシス酸とは異なり、むしろ飽和酸に類似する^{1)・2)}。トランス酸の栄養、生理機能に関する

研究は数多く報告されているが^{2)~12)}、それらのほとんどはトランス酸として炭素数 18 の脂肪酸にはば限定される植物硬化油に関するものであり、炭素数 16, 20 及び 22 のトランス酸も含む硬化魚油にこれらの成果が直接適用できるかどうかは明らかではない¹³⁾。そこで、さきにラットの成長及び組織脂質組成に及ぼす硬化魚油

Table-1 Fatty acid composition of dietary fats. (%)

Fatty acid	HFO	1% S/F	3% S/F	5% S/F	10% S/F
14 : 0	9.0	8.5	8.4	8.6	8.0
15 : 0	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
16 : 0	22.1	21.8	22.0	21.7	21.6
17 : 0	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6
18 : 0	4.7	4.8	4.9	4.8	4.7
20 : 0	1.5	1.5	1.6	1.5	1.5
22 : 0	0.9	0.9	0.9	1.0	0.9
Total	40.5	39.8	40.0	39.8	38.9
<i>c</i> -16 : 1	4.9	4.6	4.5	4.7	3.9
18 : 1	9.4	9.3	9.4	9.6	9.8
20 : 1	4.9	4.6	4.7	4.7	4.1
22 : 1	3.1	2.8	2.8	2.8	2.5
Total	22.3	21.3	21.4	21.8	20.3
<i>t</i> -16 : 1	4.3	3.8	3.7	3.7	3.7
18 : 1	8.4	8.4	8.2	8.0	7.6
20 : 1	5.1	5.0	4.7	4.8	4.7
22 : 1	3.6	3.3	3.3	2.9	3.2
Total	21.4	20.5	19.9	19.4	19.2
<i>c</i> , <i>c</i> -18 : 2 <i>n</i> -6	nd	0.8	2.7	4.4	8.8
<i>c</i> , <i>c</i> , <i>c</i> -18 : 3 <i>n</i> -3	nd	nd	nd	nd	nd
Total	0	0.8	2.7	4.4	8.8
<i>c</i> , <i>t</i> + <i>t</i> , <i>t</i> -18 : 2	nd	nd	nd	nd	nd
Others	16.8	17.6	16.0	14.6	13.8

HFO : Hardened fish oil.

1 (or 3, 5, 10) % S/F : Hardened fish oil, added safflower oil of 1 (or 3, 5, 10) %.

nd : not detected.

の影響を大豆油及びその硬化油と比較し¹⁴⁾、ついでリノール酸源としてサフラワー油を混合した場合の影響¹⁵⁾について検討した。その結果、硬化魚油摂取により総括的には不利な影響が見当たらないが、体重増加の遅れ及び組織脂質中のアラキドン酸(20:4 n-6)の低下がみられたこと、並びにこれらが1/5量のサフラワー油の添加で回復することを報告した。

一方、硬化魚油は種々のトランス酸を含有するので、トランス酸組成の比較的単純な植物硬化油よりむしろ優れた物理的特性を持っている。しかしその特性は液状のサフラワー油添加で変化する可能性が高い。

以上の観点から、本報では前報¹⁵⁾より低水準のリノール酸補給によって、硬化魚油摂取に伴う必須脂肪酸欠乏を解消するとともに、硬化魚油の物性には影響しないサフラワー油の最低必要量について検討したので報告する。

2 実 験

2.1 実験動物及び飼育方法

実験動物、試験飼料の基本組成、飼育方法及び動物の処理方法は基本的に前報^{14)、15)}と同じである。ただし、ビタミン混合及び塩混合は米国栄養研究所(AIN)基準のもの¹⁶⁾を用いた。すなわち、飼料組成は重量比で牛乳カゼイン 20、油脂 20、とうもろこしデンプン 33、シ

糖 20.4、粉末セルロース 2、ビタミン混合 1、塩混合 3.5 及び塩化コリン 0.1%とした。なお、油脂には融点 34℃の硬化魚油(HFO)を用い、さらにその1, 3, 5及び10%をリノール酸源として精製サフラワー油で置き換えたHFO(1~10% S/F)の計5種を使用した。これらの脂肪酸組成はTable-1のとおりである。各飼料を3週齢から4週間自由摂取させたラットから肝臓及び脂肪組織を摘出した。ふんは各2d分を試験飼育開始後2週間及び4週間に採取した。

2.2 分析方法

ラットの体重、肝臓重量並びに脂肪組織、肝臓及びふんの総脂質の脂肪酸組成は、いずれも前報^{14)、15)}と同じ方法で測定した。また、供与飼料は原則として2dごとに取り替え、摂取量を測定した。

肝臓の脂質成分は、肝臓からクロロホルム・メタノール混液(容量比2:1)で抽出した脂質について、トリグリセリド及びリン脂質含量は前報¹⁴⁾の血清脂質の場合と同じ方法で、また総コレステロール含量はSperry及びWebbの方法¹⁷⁾で測定した。

飼料油脂の物理的性質として、自動融点測定装置による融点及び5~40℃における固体脂含量(SFC)を測定した。融点は、エレックス科学(株)製装置による上昇融点(EMP)¹⁸⁾及び軟化点(ESP)¹⁹⁾、並びにMettler Instrument社製装置による滴点(MDP)²⁰⁾及び軟化点(MSP)²¹⁾、そして基準油脂分析試験法²²⁾による

SFCである。

2.3 統計処理法

結果は一元配置分散分析を行ったのち、t検定により有意差検定を行った。

3 結果及び考察

3.1 飼料油脂の物理的性質

飼料油脂の各融点の測定結果及び5~40℃におけるSFCをTable-2に示す。EMP, ESP, MDP及びMSPは、いずれも各飼料油脂間にはほとんど差がみられなかった。固形脂の融点は10%未満の液体油の混合にはほとんど影響されないことはすでに報告^{23)、24)}したとおりである。一方、SFCは一

Table-2 Changes in melting point and solid fat content of hardened fish oil by the addition of safflower oil at low levels.

	HFO	1% S/F	3% S/F	5% S/F	10% S/F
Melting point (°C)					
EMP	33.9	33.9	34.2	34.0	33.5
ESP	31.4	31.5	31.8	31.5	30.9
MDP	35.2	35.4	35.4	35.1	34.8
MSP	34.6	34.5	34.7	34.3	34.0
SFC (%)					
5°C	49.5	47.9	47.3	45.9	41.9
10	44.3	44.2	43.7	41.3	38.4
15	41.5	41.1	40.9	39.2	34.8
20	34.8	34.3	34.2	31.5	29.1
25	23.3	22.8	22.8	21.9	18.5
30	8.8	8.8	8.7	8.6	6.1
35	2.2	2.2	2.2	2.1	0.8
40	0	0	0	0	0

EMP : Open-tubed melting point by the Elex apparatus.

ESP : Softening point by the Elex apparatus.

MDP : Dropping point by the Mettler apparatus.

MSP : Softening point by the Mettler apparatus.

SFC : Solid fat content.

For the other abbreviations, see Table-1.

般にサフラワー油添加量が増すほど減少する傾向がみられた。しかし、3% S/F の SFC は全温度領域において HFO の値との差は非常に少ない。固形脂は液体油添加で SFC が低下するのは当然であるが、HFO に 3% 以下のサフラワー油を加えても実質的にその物理的性質にはほとんど影響しないと推察される。

3・2 ラットの成長

油脂 20% を含む飼料で飼育したラットの飼育期間 (4 週間) を通しての体重増加量及び飼料摂取量を Table-3 に示す。体重増加量には各群間でいくらか違いはあるが、いずれも有意差はなかった。一方、飼料摂取量は 3% S/F 群で少なく、5% S/F 群で多い傾向にあり、これは体重増加量と対応した。しかし摂取量にも有意差はなかった。これらの結果はラットの体重増加が主として飼料摂取量に依存することを示している。一方、飼料効率 (体重増加量 / 飼料摂取量) は、HFO へのサフラワー油添加量が 3% 以下では各群間にほとんど差はないが、5% 以上ではやや高くなる傾向がみられたが、各群間に有意差はみられなかった。

3・3 肝臓重量及び脂質成分

4 週間飼育ラットの肝臓重量を Table-4 に示す。肝臓の重量及び相対重量はともに各群間に有意差が認められなかった。しかし、相対肝臓重量は HFO 群と 1% S/F 群間にほとんど差はないが、3% 以上のサフラワー油添加群でやや低くなる傾向を示した。この結果は、さきに見いだした¹⁴⁾ HFO 摂取による一時的な肝臓肥大が 8 週間摂取で回復することと考えあわせると、4 週間摂取ではまだ充分回復しないものの 3% 以上のサフラワー油添加で改善されることを示唆している。一方、肝臓に含まれるトリグリセリド、リン脂質及びコレステロールについては、Table-5 に示すようにトリグリセリド濃度のみ HFO へのサフラワー油添加量が増すほど高くなる

Table-3 Effect of low levels of linoleate supplementation as safflower oil to hardened fish oil on body weight gain and food intake of rats.

Group	Body weight gain* (g/4 weeks)	Food intake* (g/4 weeks)	Food efficiency ^a *
HFO	165±17	381±14	0.43±0.03
1% S/F	166±19	387±25	0.43±0.03
3% S/F	153±13	354±21	0.43±0.02
5% S/F	186±21	398±24	0.47±0.03
10% S/F	179±20	374±20	0.48±0.03

a : Body weight gain (g)/food intake (g)

* : Indicated as mean±SD of 5 rats per group.

For abbreviations, see Table-1.

Table-4 Effect of low levels of linoleate supplementation as safflower oil to hardened fish oil on liver weight of rats.

Group	Body weight* (g)	Liver	
		Weight* (g)	Relative weight* (g/100 g body weight)
HFO	237±15	16.0±1.6	6.71±0.50
1% S/F	239±20	16.1±2.2	6.72±0.35
3% S/F	228±18	14.5±1.4	6.36±0.25
5% S/F	257±20	16.3±1.8	6.34±0.35
10% S/F	248±20	15.8±1.7	6.36±0.57

* : Indicated as mean±SD of 5 rats per group.

For abbreviations, see Table-1.

傾向がみられた。この傾向は、前報^{14)・15)}において肝臓中の総脂質含量が飼料油脂のリノール酸量の増加とともに増すこととよく対応した。しかし、リン脂質及びコレステロールの場合は各群間にあまり大きな差がなく、1~10% のサフラワー油添加には影響されないことを示した。

3・4 組織脂質の脂肪酸組成

脂肪組織の脂肪酸組成を Table-6 に示す。モノ不飽和酸主体のトランス酸の割合は HFO 群でもっとも高く、サフラワー油添加量が増すほど低下したが、n-6 系多価不飽和酸の場合は高くなる傾向を示した。このように脂肪組織の脂肪酸組成が飼料油脂のそれを強く反映することは前報^{14)・15)}と同様であるが、低水準のサフラワー油添加にもかかわらずトランスモノ不飽和酸の場合にも HFO 群と 5 及び 10% S/F 群間に有意差が認め

Table-5 Effect of low levels of linoleate supplementation as safflower oil to hardened fish oil on liver lipids of rats.

Group	Triglyceride* (mg/g)	Phospholipid* (mg/g)	Cholesterol* (mg/g)
HFO	5.84±2.62 ^A	25.1±7.3	2.57±0.45
1% S/F	5.25±0.75 ^{A,B}	25.4±3.4	2.49±0.64
3% S/F	7.63±4.52 ^{A,B}	26.6±2.8	2.41±0.65
5% S/F	9.11±4.29 ^{A,B}	25.9±3.7	2.52±0.61
10% S/F	10.8±3.9 ^B	23.3±3.1	2.53±0.75

* : Indicated as mean±SD of 5 rats per group.

A,B : Values in the same column not bearing same superscript letter are significantly different ($p<0.05$).

For abbreviations, see Table-1.

Table-6 Effect of low levels of linoleate supplementation as safflower oil to hardened fish oil on fatty acid compositions of adipose tissue of rats. (%)

Fatty acid	HFO	1% S/F	3% S/F	5% S/F	10% S/F
14 : 0	5.8±0.7 ^A	7.2±0.9 ^B	7.2±0.8 ^B	7.2±0.7 ^B	7.2±0.8 ^B
15 : 0	0.4±0.2	0.5±0.1	0.5±0.1	0.5±0.1	0.5±0.1
16 : 0	31.0±1.9	29.8±1.5	28.3±1.4	29.6±2.1	28.4±1.7
17 : 0	0.9±0.2	1.0±0.2	0.9±0.1	0.7±0.1	0.7±0.1
18 : 0	2.2±0.4	2.3±0.4	2.5±0.2	2.3±0.2	2.3±0.2
20 : 0	0.4±0	0.5±0.3	0.6±0.1	0.5±0.1	0.6±0.1
22 : 0	0.1±0	0.1±0.1	0.1±0	0.1±0	0.1±0
<i>c</i> -16 : 1	1.1±1.2 ^A	10.2±0.8 ^{A, B}	10.2±1.2 ^{A, B}	10.2±0.9 ^{A, B}	9.1±0.7 ^B
17 : 1	0.2±0	0.1±0.1	0.3±0.2	0.2±0	0.1±0.1
18 : 1	21.1±1.5	21.1±1.7	20.5±1.7	20.8±1.5	19.3±1.7
20 : 1	2.8±0.5	3.0±0.1	3.0±0.4	2.8±0.4	2.7±0.3
22 : 1	0.6±0.1	0.2±0.2	0.6±0.1	0.5±0.1	0.5±0.2
<i>t</i> -16 : 1	3.9±0.5	3.8±0.5	3.7±0.6	3.3±0.4	3.1±0.5
17 : 1	0.2±0	0.5±0.1	0.3±0.1	0.2±0.1	0.3±0.1
18 : 1	8.2±0.9	6.1±0.8	5.7±0.5	5.0±0.9	4.7±1.1
20 : 1	1.2±0.5	1.5±0.4	1.6±0.2	1.8±0.5	1.7±0.2
22 : 1	nd	0.4±0.2	0.3±0.2	0.3±0.1	0.3±0.1
<i>c, c</i> -18 : 2 <i>n</i> -6	3.5±0.7	4.1±0.4	5.7±0.5	7.2±0.8	10.7±1.0
<i>c, c, c</i> -18 : 3 <i>n</i> -6	nd	nd	nd	nd	nd
<i>n</i> -3	0 ±0.1	nd	0.1±0	0.1±0	0 ±0.1
(<i>c, t+t, t</i>)18 : 2	1.2±0.5	1.8±0.2	1.6±0.2	1.7±0.2	1.9±0.4
18 : 4 <i>n</i> -3	nd	nd	nd	nd	nd
20 : 2*	2.6±0.3	2.9±0.1	2.5±0.4	2.9±0.3	3.3±0.3
20 : 3 <i>n</i> -9**	nd	nd	nd	nd	0 ±0
20 : 4 <i>n</i> -6	nd	nd	0.1±0	0.1±0	nd
22 : 4 <i>n</i> -6**	nd	nd	nd	nd	nd
22 : 5 <i>n</i> -3	nd	nd	nd	nd	nd
22 : 6 <i>n</i> -3	nd	nd	nd	nd	nd
Others	2.6±0.7	3.0±0.5	2.5±0.5	2.2±0.1	2.3±1.1
SFA	40.7±1.0	41.4±0.5	40.2±0.6	40.9±1.3	39.8±0.9
<i>c</i> -MUFA	35.8±0.4	34.5±1.3	34.6±1.9	34.5±1.7	31.8±1.8
<i>t</i> -MUFA	13.5±0.7 ^A	12.3±1.2 ^{A, B}	12.7±1.8 ^{A, B}	10.5±1.7 ^{B, C}	10.1±1.2 ^C
Total <i>trans</i> isomers	14.7±0.9 ^A	14.0±1.3 ^{A, B}	14.3±1.9 ^{A, B}	12.2±1.7 ^B	12.0±1.4 ^B
PUFA <i>n</i> -6	3.5±0.7 ^A	4.1±0.4 ^A	5.8±0.5 ^B	7.2±0.8 ^C	10.7±1.0 ^D
PUFA <i>n</i> -3	0 ±0	0 ±0	0.1±0	0 ±0	0 ±0

Indicated as mean±SD of 5 rats per group.

A~D : Values in the same line not bearing same superscript letter are significantly different ($p < 0.05$).

SFA : Saturated fatty acids.

MUFA : Monounsaturated fatty acids.

PUFA : Polyunsaturated fatty acids.

* : Mixture of various positional isomers.

** : Contained the other positional isomers.

For other abbreviations, see Table-1.

Table-7 Effect of low levels of linoleate supplementation as safflower oil to hardened fish oil on fatty acid compositions of liver lipids of rats. (%)

Fatty acid	HFO	1% S/F	3% S/F	5% S/F	10% S/F
14 : 0	1.3±0.3	1.3±0.2	1.2±0.2	1.1±0.1	1.2±0.2
15 : 0	0.2±0	0.2±0	0.2±0	0.2±0	0.3±0
16 : 0	24.9±1.5 ^A	23.1±1.4 ^{A, B}	21.9±1.6 ^B	21.1±1.6 ^B	21.2±1.7 ^B
17 : 0	0.7±0.1	0.8±0.1	0.8±0.2	0.7±0.2	0.8±0.2
18 : 0	11.6±1.4	11.7±0.8	10.3±1.5	11.0±0.8	10.2±1.2
20 : 0	0.1±0	nd	0.7±0.3	0 ±0	nd
22 : 0	0.1±0	0.3±0.2	0.4±0.1	0.4±0.1	0.2±0.2
<i>c</i> -16 : 1	5.8±0.7 ^A	5.4±0.8 ^A	4.7±0.7 ^{A, C}	3.8±0.4 ^B	4.3±0.5 ^{B, C}
17 : 1	0.3±0.1	0.2±0	0.4±0.2	0.3±0	0.2±0.2
18 : 1	22.8±2.0 ^A	20.1±1.5 ^B	18.0±1.9 ^{B, C}	15.5±1.6 ^C	19.1±0.8 ^B
20 : 1	0.6±0.1	0.5±0.2	1.0±0.3	0.6±0.2	0.7±0.1
22 : 1	0.2±0.2	0.4±0	0.2±0.2	nd	0.1±0.1
<i>t</i> -16 : 1	3.1±0.3	3.1±0.4	2.4±0.2	2.2±0.3	1.9±0.5
17 : 1	0.2±0	0.2±0.1	0.3±0.1	0.2±0.1	0.2±0.1
18 : 1	5.6±0.4 ^A	5.2±1.4 ^{A, B}	5.1±0.7 ^A	4.2±0.5 ^B	3.9±0.9 ^B
20 : 1	0.1±0	0.1±0	0 ±0	0 ±0.1	nd
22 : 1	nd	nd	nd	nd	nd
<i>c, c</i> -18 : 2 <i>n</i> -6	6.8±0.7 ^A	9.5±0.8 ^B	13.2±1.5 ^C	14.1±1.1 ^C	15.2±1.5 ^C
<i>c, c, c</i> -18 : 3 <i>n</i> -6	0.1±0.1	0.2±0.1	0.4±0.1	0.2±0	0.3±0.1
<i>n</i> -3	nd	nd	nd	nd	nd
(<i>c, t+t, t</i>)18 : 2	2.4±0.2	2.3±0.5	1.3±0.4	1.3±0.4	1.7±0.3
18 : 4 <i>n</i> -3	0.5±0.1	0.6±0.2	0.6±0.1	0.6±0.1	0.8±0.2
20 : 2 [*]	4.0±0.2	3.3±0.3	2.9±0.5	3.0±0.1	1.5±0.3
20 : 3 <i>n</i> -9 ^{**}	1.1±0.1	1.6±0.1	1.6±0.2	1.6±0.2	1.6±0.4
20 : 4 <i>n</i> -6	3.6±0.4 ^A	5.2±0.5 ^B	8.3±1.0 ^C	9.1±0.5 ^{C, D}	10.4±1.7 ^D
22 : 4 <i>n</i> -6 ^{**}	nd	nd	nd	nd	nd
22 : 5 <i>n</i> -3	0.1±0	0 ±0.1	0.1±0.1	0.1±0.1	0.3±0.1
22 : 6 <i>n</i> -3	2.1±0.3	2.4±0.3	2.4±0.4	1.4±0.3	1.4±0.3
Others	1.8±0.4	2.2±0.9	1.4±0.7	7.2±0.9	2.5±0.7
SFA	38.9±0.9 ^A	37.4±1.1 ^A	35.5±0.8 ^B	34.5±1.2 ^{B, C}	33.9±0.8 ^C
<i>c</i> -MUFA	29.7±1.7 ^A	26.6±1.3 ^B	24.4±1.4 ^C	20.2±1.4 ^D	24.4±2.5 ^{B, C}
<i>t</i> -MUFA	9.0±0.7 ^A	8.7±1.2 ^A	7.8±0.9 ^A	6.6±0.7 ^B	6.0±0.8 ^B
Total <i>trans</i> isomers	11.4±0.5 ^A	10.9±1.4 ^A	9.2±1.3 ^B	7.9±0.7 ^B	7.7±0.9 ^B
PUFA <i>n</i> -6	10.5±1.1 ^A	14.9±0.9 ^B	21.9±2.5 ^C	23.4±1.4 ^{C, D}	25.9±2.4 ^D
PUFA <i>n</i> -3	2.2±0.3	2.5±0.3	2.5±0.5	1.5±0.4	1.7±0.3
20 : 4/18 : 2	0.53	0.55	0.59	0.65	0.68
20 : 3/20 : 4	0.31	0.31	0.19	0.18	0.15

Indicated as mean±SD of 5 rats per group.

A~D : Values in the same line not bearing same superscript letter are significantly different ($p < 0.05$).

*, ** : For marks, see Table-6.

For abbreviations, see Table-1 and Table-6.

Table-8 Effect of low levels of linoleate supplementation as safflower oil to hardened fish oil on fatty acid compositions of fecal lipids from rats fed for two weeks. (%)

Fatty acid	HFO	1% S/F	3% S/F	5% S/F	10% S/F
14:0	5.0±0.7 ^A	7.8±0.2 ^B	7.4±0.5 ^{B, D}	5.9±0.6 ^{A, C}	6.5±0.7 ^{C, D}
15:0	1.1±0.2	0.9±0.3	0.5±0.1	0.6±0.1	0.6±0.1
16:0	19.6±1.8	19.6±2.0	20.9±1.6	21.1±1.8	21.1±1.6
17:0	0.9±0.3	1.3±0.3	1.4±0.3	1.3±0.2	1.0±0.2
18:0	8.3±0.8	7.5±1.2	8.2±0.8	8.6±0.9	7.7±0.7
20:0	2.5±0.5	2.2±0.6	2.0±0.2	2.1±0.2	1.6±0.4
22:0	2.1±0.4	2.1±0.4	1.7±0.2	1.9±0.4	1.4±0.2
c-14:1	nd	0.1±0	0.1±0.1	0.1±0	0 ±0
16:1	2.5±0.4	4.0±0.7	2.7±0.5	2.7±0.5	2.6±0.5
17:1	0.4±0.1	0.2±0.1	0.7±0.5	0.4±0.2	0 ±0
18:1	5.4±1.1	5.8±0.8	6.0±0.8	6.1±0.8	6.5±0.7
20:1	4.7±0.8	5.3±0.7	5.9±0.8	5.5±0.4	5.0±0.7
22:1	2.6±0.6	1.1±0.3	2.0±0.9	2.1±0.7	2.0±0.7
t-16:1	2.2±0.7	2.8±0.4	2.0±0.5	2.1±0.4	2.1±0.4
17:1	0.4±0.1	0.6±0.2	0.4±0.3	0.4±0.2	0.5±0.3
18:1	7.2±1.1	7.9±0.8	6.8±0.7	6.7±0.9	7.1±1.0
20:1	7.5±1.1	6.2±1.4	6.5±0.7	6.2±0.8	6.3±1.4
22:1	7.1±1.1	6.3±0.9	6.4±1.0	6.2±0.7	6.1±1.2
c, c-18:2 n-6	0.8±0.2	1.5±0.7	2.2±0.4	1.7±0.3	2.9±0.5
c, c, c-18:3 n-6	nd	nd	nd	nd	nd
n-3	nd	nd	nd	nd	nd
(c, t+t, t)18:2	1.2±0.6	0.7±0.2	0.8±0.2	0.7±0.2	0.6±0.3
18:4 n-3	nd	nd	nd	nd	nd
20:2*	5.1±1.3	6.9±1.4	6.3±0.3	6.0±0.4	6.4±0.4
20:3 n-9**	0.3±0.1	0.5±0.2	0.6±0.2	0.4±0.2	0.2±0.1
20:4 n-6	0.2±0	0.2±0.1	0.5±0.1	0.4±0.2	0.3±0.1
22:2*	5.2±0.6 ^A	3.9±1.3 ^{A, B}	3.2±0.4 ^B	3.0±0.4 ^B	2.8±0.4 ^B
22:5 n-3	nd	nd	nd	nd	nd
22:6 n-3	0.4±0.2	0.2±0.1	0.1±0.1	0.2±0	0.1±0.1
Others	7.5±2.3	4.2±1.2	4.7±0.8	7.5±1.4	8.8±1.2
SFA	39.1±1.6 ^A	41.7±0.4 ^B	42.1±1.4 ^B	41.5±1.8 ^{A, B}	39.9±1.5 ^{A, B}
c-MUFA	15.9±2.0	16.4±1.7	17.3±0.8	16.9±1.4	16.1±1.9
t-MUFA	24.4±3.1	23.8±2.1	22.1±1.6	21.7±1.5	22.2±3.0
Total trans isomers	25.5±3.5	24.5±2.1	22.9±1.3	22.4±1.5	22.7±3.2
PUFA n-6	1.0±0.2	1.7±0.8	2.7±0.5	2.1±0.5	3.2±0.5
PUFA n-3	0.4±0.2	0.2±0.1	0.1±0.1	0.2±0.4	0.1±0.1

Indicated as mean±SD of 5 rats per group.

A~D: Values in the same line not bearing same superscript letter are significantly different ($p < 0.05$).

*, ** : For marks, see Table-6.

For abbreviations, see Table-1 and Table-6.

Table-9 Effect of low levels of linoleate supplementation as safflower oil to hardened fish oil on fatty acid compositions of fecal lipids from rats fed for four weeks. (%)

Fatty acid	HFO	1% S/F	3% S/F	5% S/F	10% S/F
14 : 0	5.1±0.4	5.2±0.5	5.0±0.4	5.0±0.5	4.9±0.3
15 : 0	0.5±0.2	0.6±0.2	0.5±0.1	0.5±0.1	0.5±0.2
16 : 0	15.9±0.8	17.8±1.7	16.4±1.5	17.7±2.3	16.5±1.7
17 : 0	1.0±0.2	1.2±0.3	1.6±0.2	1.3±0.3	1.3±0.3
18 : 0	5.4±0.5	6.2±0.9	5.4±0.7	5.8±1.1	5.3±0.5
20 : 0	1.7±0.3	2.0±0.4	1.7±0.3	1.9±0.4	1.6±0.3
22 : 0	1.3±0.4	1.8±0.4	1.7±0.4	1.2±0.3	1.2±0.2
<i>c</i> -14 : 1	0.2±0.1	nd	nd	nd	0.2±0
16 : 1	2.2±0.3	3.1±0.3	3.4±0.4	2.5±0.7	3.3±0.5
17 : 1	0.4±0.2	0.5±0.2	0.4±0.2	0.2±0.1	0.2±0.1
18 : 1	7.0±0.9	6.9±0.9	6.9±0.7	7.0±1.3	7.9±0.9
20 : 1	5.0±0.4 ^A	5.2±1.0 ^{A, C}	6.5±0.6 ^B	5.2±1.3	6.0±0.8 ^{B, C}
22 : 1	5.3±1.3 ^{A, C}	3.3±0.8 ^B	3.8±0.9 ^{B, C}	5.5±0.6 ^A	5.2±1.4 ^{A, C}
<i>t</i> -16 : 1	2.9±0.3	2.8±0.3	2.6±0.5	2.9±0.6	2.7±0.3
17 : 1	0.4±0.1	0.5±0.1	0.6±0.2	0.5±0.2	0.4±0.2
18 : 1	8.4±1.1	8.1±0.9	7.6±0.8	7.1±1.0	7.6±0.8
20 : 1	8.8±0.8 ^A	8.2±0.9 ^{A, C}	7.0±0.7 ^B	7.9±1.2 ^{A,B,C}	7.4±0.8 ^{B, C}
22 : 1	7.5±1.3 ^A	7.7±1.2 ^A	7.4±1.2 ^A	5.5±0.9 ^B	5.6±0.8 ^B
<i>c, c</i> -18 : 2 <i>n</i> -6	1.4±0.3	1.1±0.2	2.0±0.8	2.7±0.4	2.9±0.4
<i>c, c, c</i> -18 : 3 <i>n</i> -6	nd	nd	nd	nd	nd
<i>n</i> -3	nd	nd	nd	nd	nd
(<i>c, t+t, t</i>)18 : 2	0.7±0.2	1.1±0.2	1.0±0.3	0.6±0.2	0.6±0.1
18 : 4 <i>n</i> -3	nd	nd	nd	nd	nd
20 : 2*	6.7±0.6	6.8±0.7	6.4±0.3	6.0±1.2	6.6±0.9
20 : 3 <i>n</i> -9**	0.7±0.7	0.2±0.2	0.4±0.2	0.6±0.2	0.5±0.1
20 : 4 <i>n</i> -6	0.4±0.1	0.3±0.1	0.6±0.2	0.3±0.1	0.5±0.2
22 : 2*	4.3±0.8 ^A	3.1±0.8 ^B	4.7±0.9 ^{A, C}	5.4±0.5 ^C	5.9±0.8 ^C
22 : 5 <i>n</i> -3	nd	nd	nd	nd	nd
22 : 6 <i>n</i> -3	0.6±0.4	nd	0.2±0.1	0.1±0.1	0.2±0.1
Others	6.2±1.0	6.3±1.5	6.3±0.7	6.6±1.4	5.0±1.7
SFA	30.9±0.8 ^A	34.8±2.1 ^B	32.3±1.1 ^C	33.4±3.6 ^{A,B,C}	31.3±1.7 ^{A, C}
<i>c</i> -MUFA	20.1±1.8 ^A	19.0±2.4 ^A	21.0±0.8 ^A	20.4±2.9	22.8±1.1 ^B
<i>t</i> -MUFA	28.0±1.2 ^A	27.4±2.0 ^A	25.1±1.2 ^B	23.9±1.8 ^B	23.8±1.4 ^B
Total <i>trans</i> isomers	28.7±1.1 ^A	28.4±2.1 ^A	26.1±1.5 ^{A, B}	24.5±1.8 ^B	24.3±1.3 ^B
PUFA <i>n</i> -6	1.8±0.4	1.4±0.3	2.6±1.0	3.0±0.5	3.4±0.6
PUFA <i>n</i> -3	0.6±0.4	0 ± 0	0.2±0.1	0.1±0.1	0.2±0.1

Indicated as mean±SD of 5 rats per group.

A~D : Values in the same line not bearing same superscript letter are significantly different ($p < 0.05$).

*, ** : For marks, see Table-6.

For abbreviations, see Table-1 and Table-6.

られた。しかし、飼料油脂に含まれる炭素数 20 及び 22 のトランスモノエン酸はほとんど検出されず、炭素数 16 及び 18 のトランス酸の割合も飼料油脂におけるよりもかなり低かった。

肝臓総脂質の脂肪酸組成を Table-7 に示す。肝臓脂質の脂肪酸組成も、HFO へのサフラワー油添加量が増すほど総トランス酸の割合が低下するのに対し、 $n-6$ 系多価不飽和酸の場合は逆に高くなり、脂肪組織ほどではないが飼料油脂のそれを反映することを示した。また、トランス酸の割合はいずれも飼料油脂より明らかに低く、とくに硬化魚油の特徴である 20:1 及び 22:1 はほとんど検出されなかった。これらの結果は前報^{14), 15)}と一致した。

前報¹⁴⁾と同様に必須脂肪酸欠乏の指標として Table-7 に付記した 20:3/20:4 で比較すると、HFO へのサフラワー油添加量が増すほどこの比は低下する傾向が見られ、3% 以上の添加では必須脂肪酸欠乏の基準となる 0.2 を下回ることを示した。なお本報の分析では、20:2 の分離しえたが 20:3 の測定値には $n-9$ 以外の異性体も含まれるので、実際の 20:3 $n-9$ /20:4 $n-6$ は上述より小さいであろう。いずれにしても、上述の結果から 3% のサフラワー油を添加すれば HFO 摂取による必須脂肪酸欠乏は解消すると考えられる。なお、この添加量によるリノール酸の添加水準は Table-1 から総脂肪酸の 2.7% となり、飼料総エネルギーの 1% 強に相当する。これはリノール酸の最低必要量（エネルギー比 1%）にはほぼ一致することから、HFO によりリノール酸所要量が高くなることはないと推察される。

3.5 ふん脂質の脂肪酸組成

2 週間及び 4 週間飼育時におけるふんの脂質の脂肪酸組成をそれぞれ Table-8 及び 9 に示す。2 週間飼育では総トランス酸の割合が 22.5~25.6%, そのうち 20:1 及び 22:1 がそれぞれ 6.2~7.5% 及び 5.9~7.5% といずれも肝臓脂質はもちろん飼料油脂の値よりも明らかに高かった。一方、16:1 型トランス酸の割合はふん中で飼料中よりむしろ低かったが、18:1 ではあまり大きな差がなかった。これに対し $n-6$ 系多価不飽和酸の場合は 1.0~3.2% と肝臓脂質での 10.5~25.8% より著しく低く、5 及び 10% S/F 群ではさらに飼料油脂の 4.4, 8.8% よりも明らかに低かった。この結果から、トランス酸とくに炭素数 20 以上のものは吸収の程度が低く、より多くふんに排せつされるのに対し、リノール酸は比較的容易に吸収され、組織に保持されたとした前報¹⁵⁾の推論が本報でも確認された。また 4 週間飼育では、トランスモノ不飽和酸は 2 週間の場合の 21.7~24.4% から 23.8~28.0%, シスモノ不飽和酸は 15.9~17.4% から 19.0~22.8% と飼育期間延長に伴う増加傾向がみられ、この結果も前報¹⁵⁾と一致した。

以上の結果から、HFO 摂取による必須脂肪酸欠乏は 3% のサフラワー油（リノール酸補給量として総脂肪酸の 2.7% に相当）添加で解消され、しかもその添加水準では物理的性質にはほとんど影響しないと判断された。

(昭和 63 年 4 月 26 日受理)

文 献

- 1) L. Boothby, *Confect. Prod.*, 1983 Aug., 411 (1983)
- 2) M.T. Juillet, *Fette, Seifen Anstrichm.*, 80, 445 (1978)
- 3) Y.J. Cho, T. Ide, M. Sugano, *J. Nutr. Sci. Vitaminol*, 32, 497 (1986)
- 4) T. Ide, M. Sugano, *J. Biochem.*, 100, 156 (1986)
- 5) M. Watanabe, M. Sugano, H. Murakami, H. Omura, *J. Clin. Biochem. Nutr.*, 2, 41 (1987)
- 6) P.-O. Astrog, J. Chevalier, *Lipids*, 22, 1025 (1987)
- 7) Y. Masuzawa, M.R. Prasad, W.E.M. Lands, *Biochim. Biophys. Acta*, 919, 297 (1987)
- 8) R. Rønnenberg, G. Høllman, G. Lambertsen, *Ann. Nutr. Metab.*, 31, 160 (1987)
- 9) R.K. Berge, T. Flatmark, E.N. Christiansen, *Arch. Biochem. Biophys.*, 252, 269 (1977)
- 10) A.M. Rogel, B.A. Wadkins, *Lipids*, 22, 637 (1987)
- 11) M. N. Wickwire, M. C. Craig-Schmidt, J. D. Weete, S.A. Faircloth, *J. Nutr.*, 177, 232 (1987)
- 12) L.D. Lawson, E.G. Hill, R.T. Holman, *Lipids*, 20, 262 (1985)
- 13) S.M. Barlow, M.E. Stansby (eds), "Nutritional Evaluation of Long-Chain Fatty Acids in Fish Oil", Academic Press, London (1982)
- 14) 岡本隆久, 知見憲次, 丸山武紀, 兼松 弘, 新谷 助, 志村光雄, 亀井正治, 藤田忠雄, 神戸 保, 佐々木清司, 菅野道廣, 油化学, 37, 177 (1988)
- 15) 岡本隆久, 知見憲次, 丸山武紀, 兼松 弘, 新谷 助, 志村光雄, 亀井正治, 藤田忠雄, 神戸 保, 佐々木清司, 菅野道廣, 油化学, 37, 255 (1988)
- 16) American Institute of Nutrition, Report of the AIN Ad Hoc Committee on standards for nutritional studies, *J. Nutr.*, 107, 1340 (1977)
- 17) W.M. Sperry, M. Webb, *J. Biol. Chem.*, 187, 97 (1950)
- 18) 兼松 弘, 木下葉子, 新谷 助, 松本太郎, 油化学, 30, 881 (1981)
- 19) 兼松 弘, 木下葉子, 新谷 助, 松本太郎, 油化学, 31, 175 (1982)
- 20) 兼松 弘, 木下葉子, 新谷 助, 松本太郎, 油化学, 27, 454 (1978)
- 21) 兼松 弘, 木下葉子, 新谷 助, 松本太郎, 油化学, 28, 180 (1979)
- 22) 日本油化学協会編, "基準油脂分析試験法", 暫 3-1983
- 23) 新谷 助, 木下葉子, 今村正男, 岡田正和, 松本太郎, 油化学, 19, 397 (1970)
- 24) 兼松 弘, 木下葉子, 新谷 助, 松本太郎, 油化学, 28, 344 (1979)