変敗油の毒性 (第 14 報)

熱酸化重合油の投与とラット組織のリン脂質に 対するトコフェロール補充の影響

吉田 弘美・梶本 五郎

神戸学院大学栄養学部 (神戸市垂水区伊川谷町有瀬)

Toxic Character of Rancid Oil. XIV.

Effect of Tocopherol on Phospholipids of Rat Tissues Fed Thermally Oxidized Oil

Hiromi YOSHIDA and Gorō KAJIMOTO

Faculty of Nutrition, Kobe Gakuin University (Arise, Ikawadani, Tarumi-ku, Kobe)

When fresh soybean oil (FO) is heated in the presence of air, tocopherol (Toc) in the oil is decreasing. In the previous papers, the authors reported that the effect of Toc on the prevention of toxicity induced by thermally oxidized oil (TO). The present paper deals the effect of Toc on phospholipids and stability of erythrocytes of rats fed with TO.

The results indicated that phosphatidyl choline (PC) in liver, kidney and testicle of rats fed with TO decreased and phosphatidyl ethanolamine (PE) and phosphatidyl serine (PS) increased slightly. The amounts of polyunsaturated fatty acids in phospholipids or each phospholipid such as PE, PC, PS and PI* in rat tissues fed with TO decreased less than those fed with FO or TO and Toc.

Percentage of erythrocyte hemolysis of rats fed with TO was higher than those of FO or TO with Toc. From these data, it was clearly found that component or fatty acid composition of phospholipids and stability of erythrocytes in rats fed with TO were characteristically improved by the addition of Toc.

* Phosphatidyl inositol

1 緒 言

食用油は加熱することにより、次第に熱酸化重合し、同時に油脂中のトコフェロール (Toc) も減少する^{1), 2)}。先に熱酸化重合油 (TO) に減少した量の Toc を補充すれば、ラットの生長阻害作用はかなり防止され、また生体内の脂肪酸代謝の面でも正常な代謝に近づくことを認めた³⁾。このことから Toc は biological antioxidant と生理作用の両作用が考えられる。

ところで、新鮮油については Toc と高度不飽和脂肪酸、ことにリノール酸の比率と生育割合についてはかなり研究されており^{4)~6)}、また、Toc と生体膜の構造や機能との関係についても不明な点も多いが、最近次第に究明されつつある⁷⁾。しかし、TO 投与と Toc の補充の面から検討されてるものはほとんどない。そこで、TO に対する Toc の補充効果について調べるため、生体膜の構成と関係を有するリン脂質の組成的变化と主要リン脂質の構成脂肪酸組成などについて調べたので、それらの結果を報告する。

2 実 験

2.1 試料およびその調製

新鮮大豆油 (FO) 2 l を 180°C で 50 hr 加熱し、TO および Toc を補充した TO (Toc・O) を調製した。それぞれの性状と Toc 含量は Table-1 に示した。なお、50 hr 加熱したのは、既報の結果から最も Toc の補充効果が認められたからである。

2.2 飼料配合と飼育法

既報³⁾ により、基本飼料としてグラニュー糖 61%, カゼイン 20% (市販の乳カゼインをエチルエーテルで脱脂処理したもの) 2.1 の試料油を 15%, マッカラム塩 4%, ビタミンとしてポボン液 (塩野義製薬, 0.05 ml/体重 100 g) を与えた。

FO, TO および Toc・O について、およそ同一体重のウイスター系ラット雄 (飼育開始時 50±2 g 体重/匹) 15 匹を 1 群とし、7 日間は各群とも FO で飼育し、8 日目からそれぞれの飼料で飼育した。ラットの生存率と

Table-1 Analytical data of thermally oxidized oil used.

Characteristics	Fed oil	FO*	TO**	Toc·O***
Peroxide value (meq/kg)		2.1	5.3	5.3
Acid value		0.1	0.5	0.5
Carbonyl value (meq/kg)		8.3	185.6	185.6
Iodine value		132.7	99.8	99.8
Tocopherol contents (mg%)		87.6	15.8	15.8
Added tocopherol (mg%)		0.0	0.0	71.8
Total tocopherol contents (mg%)		87.6	15.8	87.6

* Fresh oil. ** Thermally oxidized oil.

*** Thermally oxidized oil with added tocopherol.

体重増加割合は既報の結果とほぼ同傾向で、TO に比べて Toc·O で飼育した群の生存率は高くなり、体重増加割合もかなり良くなった。すなわち、60 日飼育の生存率は FO 飼育群で 100%，TO および Toc·O 飼育群で 40% および 80% であった。また、一匹平均体重はそれぞれ 198 ± 8 g, 96 ± 10 g および 172 ± 8 g であった。

2.3 赤血球と血ショウ脂質の調製

飼育開始後、40 および 60 日目にそれぞれの飼育群のラット 5 匹ずつについて、血液は腸骨大動脈より採血し、その一部について Horwitt ら⁸⁾の方法にしたがって処理した。5% 赤血球懸濁液(0.9% NaCl 中)とし、以下の溶血試験に供した。

各飼育群とも 5 匹分の血液を合わせて遠沈し、血ショウを分離した。得られた血ショウにクロロホルム-メタノール(C:M, 1:1)を4倍量加え、40°C で30 min. 加温振とう抽出して同操作を3回繰り返して、それぞれの下層部を合わせて無水硫酸ナトリウムで脱水後、溶剤を減圧飛散させて血ショウ総脂質を得た。

2.4 肝臓、ジン臓、コウ丸の大きさと総脂質の抽出

採血直後のラットから直ちに肝臓、ジン臓、コウ丸を摘出し、その重量を求めた。それぞれの組織をホモジナイザーで摩砕したものを約4倍量のC:M(2:1)混合液で40°C で振とう抽出を行い、同操作を3回繰り返して、その各回の抽出液を合わせ以下 Folch 法⁹⁾に準じて処理し、総脂質を得た。

なお、ジン臓、コウ丸についても検討したのは FO 飼育実験で Toc の欠乏に際して、これらの組織においてもリン脂質の変化がおきるという文献¹⁰⁾もみられ肝臓と同様に膜のぜい弱性が予想されるためである。

2.5 溶血試験

溶血試薬は二酸化セレンを 0.05 M-リン酸緩衝液(pH 7.4)に溶解して使用した。小試験管に 2.3 で調製したラットの 5% 赤血球懸濁液 0.25 ml に溶血試薬を 0.05 ml (二酸化セレン 1 mg を含む)添加し、リン酸緩衝液 0.2 ml を加えて全体を 0.5 ml にする。37°C の恒温そうに入れてときどき振とうさせながら 2 hr 放置し

た¹¹⁾。リン酸緩衝液と 0.9% NaCl の混液(1:1)を 4 ml 加えて混和後、遠沈(3,000 rpm, 5 min)して上澄み液について 540 m μ の吸光度を測定し、溶血率を求め一匹平均で表した。

2.6 リン脂質の分離定量

2.3 と 2.4 で得た総脂質について薄層クロマトグラフィー(TLC)を行った¹²⁾。すなわち、2 mM の炭酸ナトリウムを含浸させたシリカゲル H のプレートに総脂質をスポットし、クロロホルム-メタノール-水(70:22:3)の混合溶媒で展開した。分離スポットの同定はリン脂質に特異な試薬、すなわち、ニンヒドリン、ドラーゲンドルフ、デイトマーの各試薬による発色や標準品のリン脂質の R_f 値との比較および文献^{13),14)}によった。その一例は Fig.-1 に示した。

リンの定量は TLC 後、溶媒を風乾させてからヨウ素蒸気で検出してスポットをかきとり、展開溶媒で2回、メタノールとメタノール-酢酸-水(94:1:5)の混合液で1回ずつ抽出し、抽出液を合わせてリン量を測定した¹⁵⁾。また主要なリン脂質であるホスファチジルエタノールアミン(PE)、ホスファチジルコリン(PC)およびホスファチジルセリン(PS)とホスファチジイノシット(PI)は TLC でそれぞれ約 20 mg 調製し、ガスクロマトグラフィー(GLC)の試料とした。

● Strong ○ Medium ○ Weak

1 Standard (neutral lipids)

2 Standard (phospholipids)

3 Liver lipids

Detected with I₂ vapor

Solvent: (a) petroleum ether-ether-acetic acid (80:20:1)

(b) chloroform-methanol-water (70:22:3)

sodium carbonate impregnated plate

Fig.-1 TLC of total lipids in liver of rat fed fresh oil.

なお、リン脂質の分離定量は従来から二次元 TLC によって行われているが^{(6), (17)}、今回使用した 2 mM の炭酸ナトリウムによる TLC とほとんど差異が認められなかったこと、および主要リン脂質の調製が容易であることなどから分離が不十分なとき以外はすべて 2 mM の炭酸ナトリウムによる TLC によった。

2.7 総脂質からトリグリセリドとリン脂質の分離

2.4 で得た総脂質について TLC を行った。すなわち、シリカゲル G を使用して石油エーテル-エチルエーテル-酢酸 (80:20:1) の混合溶媒で展開し、トリグリセリド (TG) とリン脂質 (PL) を分取調製した。常法によりケン化、メチルエステル化して GLC により脂肪酸組成を求めた。GLC の条件は既報によった。

3 結 果

3.1 組織重量と溶血試験

FO 飼育群に比べ、TO 飼育群では肝臓、ジン臓はやや肥大し、コウ丸はわずかに萎縮し、既報の結果と同じ傾向を示した。

各飼育群の赤血球の溶血試験の結果を Table-2 に示した。

FO 飼育群に比べて TO 飼育群は溶血率が著しく高く 80~85% であるのに対し、Toc を補充すればかなり防止され、25~45% に低下した。

Table-3 Phospholipid class percentages of tissues of male rats fed thermally oxidized oil (Feeding period 60 days).

Tissue		Liver			Kidney			Testicle		
Class	Fed oil	FO*	TO*	Toc·O*	FO	TO	Toc·O	FO	TO	Toc·O
Diphosphatidyl glycerol		3.8±1.0**	5.6±2.3	3.8±0.8	8.7±1.6	8.7±2.3	6.6±1.9	3.1±1.2	3.6±2.0	3.7±1.9
Phosphatidyl ethanolamine		32.1±2.0	35.1±3.2	29.2±2.3	32.0±4.2	30.0±4.1	33.3±3.9	31.7±3.2	28.2±4.6	29.2±3.8
Phosphatidyl choline		50.5±2.1	39.2±4.5	49.9±2.0	38.4±3.2	34.8±4.2	36.8±4.7	46.8±6.8	37.3±5.2	45.6±4.8
Phosphatidyl serine		7.9±1.4	12.2±2.6	10.5±2.1	7.8±1.6	10.3±1.9	9.7±2.3	9.2±1.8	12.8±2.1	8.6±2.5
Phosphatidyl inositol		3.2±0.7	3.0±1.2	4.0±0.9	4.8±1.2	6.6±1.5	4.5±2.0	5.5±2.1	6.3±2.7	2.7±1.8
Sphingomyelin		2.5±0.3	2.6±0.7	2.6±0.5	4.8±1.6	5.9±1.4	5.0±2.1	5.8±0.6	7.6±2.0	4.0±1.1
Unknown		Tr.	2.3±0.3	Tr.	2.1±0.1	4.8±2.0	2.7±0.8	1.0±0.2	4.2±1.3	1.2±0.2

* Shown in Table-1, ** Standard error of mean for 5 rats,
Tr.: trace.

Table-4 Phospholipid class percentages of blood of male rats fed thermally oxidized oil (Feeding period 60 days).

Class	Fed oil	FO*	TO*	Toc·O*
Diphosphatidyl glycerol		1.7±0.3**	1.4±0.2	2.2±1.0
Phosphatidyl ethanolamine		5.0±1.2	3.6±1.5	4.1±1.7
Phosphatidyl choline		55.7±3.2	46.5±4.6	50.0±4.2
Phosphatidyl serine		7.5±2.1	6.8±2.5	7.6±1.8
Phosphatidyl inositol		3.6±1.8	2.2±0.8	3.0±1.6
Sphingomyelin		24.5±3.8	29.3±4.5	26.5±4.3
Unknown		2.0±0.5	10.2±2.7	6.4±2.3

* Shown in Table-1

** Standard error of mean for 5 rats.

Table-2 Effect of tocopherol on erythrocyte hemolysis in male rats fed thermally oxidized oil.

Feeding period (day)	Fed oil	Hemolysis (%)
40	FO*	1.8±0.3**
	TO*	86.2±5.6
	Toc·O*	49.3±2.8
60	FO	2.1±0.2
	TO	79.1±5.2
	Toc·O	21.5±2.0

* Shown in Table-1.

** Standard error of mean for 5 rats.

TO を投与した群は、単なる Toc 欠乏とともに TO 中の有毒物による阻害作用の影響も無視できないものと考えられ、したがって FO 飼育群に比べ Toc を補充したものであっても幾分高くなったものと思われる。

3.2 組織中のリン脂質組成

FO, TO, Toc·O で飼育したラット各組織のリン脂質の組成的な相異は Table-3~4 に示した。

TO 飼育群は FO 飼育群に比べて飼育日数 40 日目から肝臓、ジン臓の PC が減少し、PE や PS が増加した。コウ丸でも少しおくれ 60 日目に同傾向が認められた。一方、血液のリン脂質の特徴は他の組織に比べてスフィンゴミエリン (SP) が著しく多いことであっ

た。そして TO 飼育群は FO および Toc·O 飼育群に比べ、PC の減少は認められるが PE, PS よりも SP が増加し、他の組織とは異なった。

これら各組織のリン脂質組成は Toc の補充によって幾分変化し、FO 飼育群のラットの組成割合に近似した。このことは各組織の機能にも影響を与えていると考えられ、さらに詳細な検討が必要である。

3.3 トリグリセリドとリン脂質の脂肪酸組成

TLC で調製した各飼育群ラットのトリグリセリドとリン脂質の主要な脂肪酸組成は Table-5 に示した。

トリグリセリドの脂肪酸組成は各組織とも従来の肝臓の結果とよく類似し、TO 飼育群は C_{18:2} の減少が多

く、Toc・O 飼育群は幾分防止され、FO 飼育群に近づくことが認められた。肝臓、コウ丸の主要な脂肪酸に比べてジン臓の $C_{20:4}$ 、 $C_{22:6}$ は微量しか検出されなかった。

一方、リン脂質の主要な脂肪酸はトリグリセリドに比べて各組織とも $C_{18:0}$ 、 $C_{20:4}$ が著しく多く、肝臓、コウ丸の $C_{22:5}$ 、 $C_{22:6}$ などの高度不飽和脂肪酸の割合もかなり多く、Catala¹⁸⁾ や Carpenter¹⁹⁾ らの結果と同傾向を示した。また、ジン臓のトリグリセリドには微量しか検出されなかった $C_{20:4}$ が各飼育群の組織に多量検出された。各組織とも TO 飼育群は $C_{18:2}$ の減少が認められること、 $C_{20:4}$ 、 $C_{22:5}$ 、 $C_{22:6}$ などの高度不飽和脂肪酸の割合が FO および Toc・O 飼育群に比べて幾分少ない。ことに肝臓における $C_{22:6}$ の割合は他の飼育群のものに比べて著しく少ないことが認められた。

3・4 主要リン脂質の脂肪酸組成

各組織の主要なリン脂質の脂肪酸組成は Table-6 に示した。

FO および Toc・O 飼育群に比べて TO 飼育群はいずれの組織においても、これらの主要リン脂質の脂肪酸組成で高度不飽和脂肪酸の割合が減少し、この傾向は肝臓、ジン臓で顕著であり、コウ丸ではわずかであった。

主要リン脂質の脂肪酸組成は各飼育群および各組織でかなり異なった。FO および Toc・O 飼育群の PE, PS と PI の脂肪酸組成は比較的良好に類似したが、TO 飼育群の肝臓の PE, PS と PI の脂肪酸組成で $C_{18:2}$ 、 $C_{20:4}$ 、 $C_{22:5}$ 、 $C_{22:6}$ の割合が減少し、PC のそれらは PE, PS と PI とは異なり $C_{18:2}$ が増加した。

ジン臓は肝臓とは異なり、TO 飼育群の PC の脂肪酸は FO および Toc・O 飼育群の脂肪酸に比べ、 $C_{18:1}$ 、 $C_{18:2}$ 、 $C_{20:4}$ の減少割合が多く、PE, PS と PI のこれら

の脂肪酸の減少はわずかであった。コウ丸の主要リン脂質で、TO 飼育群の PE, PC, PS と PI の $C_{18:2}$ 、 $C_{20:4}$ 、 $C_{22:6}$ の脂肪酸は FO および Toc・O 飼育群に比べて減少し、ことに $C_{20:4}$ 、 $C_{22:6}$ の割合が少ないことであった。

4 考 察

熱酸化重合油に対する Toc 補充の影響を、今回は膜抵抗の面から検討するため、赤血球の溶血試験および組織中のリン脂質とこれらの構成脂肪酸組成などについて調べた。

赤血球の溶血試験は、TO 飼育群は FO 飼育群に比べて著しく高く、Toc の補充によってかなり防止されたが、FO 飼育群まで低下しなかった。Afin-Slater⁶⁾ がリノール酸を用いて Toc による溶血性を調べているが、Toc が 0.002% 以上ならいずれも、溶血率が 5.5% 以下で良好であると報告している。本実験に使用した TO 中の Toc 量は比率に換算すると 0.016% であるのに溶血試験の値が高いのは、おそらく TO 中の有毒物による影響と思われる。そのため TO 投与の場合には FO と同程度の Toc の補充量では不充分といえる。

各組織中のリン脂質組成で肝臓、ジン臓およびコウ丸の PC が減少し、PE や PS などのアミノ基をもったリン脂質が増加することは TO 中の有毒物や Toc の減少により阻害作用が生じ、タンパク質代謝にも影響していることがうかがわれる²⁰⁾。

また、血しょうリン脂質では PC の減少、SP の増加などが認められた²¹⁾。主要リン脂質の構成脂肪酸で $C_{18:2}$ 、 $C_{20:4}$ などの高度不飽和脂肪酸の減少は Toc の補充によって幾分改善され、FO 飼育群に近似した。しかるに、 $C_{18:2}$ 、 $C_{20:4}$ は生体膜リン脂質の主要不飽和脂肪

Table-5 Major fatty acid composition of triglycerides and phospholipids in tissues of male rats fed thermally oxidized oil (Feeding period 60 days).

Tissue	Triglycerides									Phospholipids								
	Liver			Kidney			Testicle			Liver			Kidney			Testicle		
	FO*	TO*	Toc・O*	FO	TO	Toc・O	FO	TO	Toc・O	FO	TO	Toc・O	FO	TO	Toc・O	FO	TO	Toc・O
Fatty acid	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
$C_{16:0}$	21.7	27.2	28.6	22.7	27.1	21.2	18.4	22.7	22.8	15.1	25.5	15.4	17.3	24.4	18.8	38.4	46.9	40.5
$C_{18:0}$	3.0	6.8	6.9	3.4	8.0	5.9	1.1	1.4	2.6	15.9	20.1	16.8	27.4	24.0	24.2	4.9	5.7	5.3
$C_{18:1}$	27.0	36.3	31.2	29.1	35.6	35.4	22.4	17.8	21.5	7.5	12.6	10.5	11.3	11.9	11.3	13.6	15.0	15.5
$C_{18:2}$	30.9	13.9	18.0	35.5	17.9	25.0	28.3	18.1	20.7	16.5	10.2	15.5	19.9	15.1	18.6	6.0	4.3	5.9
$C_{20:4}$	1.5	1.7	1.1	Tr.	Tr.	Tr.	2.1	3.8	5.6	16.5	13.8	16.6	19.7	16.0	20.1	18.9	12.2	13.4
$C_{22:5}$	Tr.	Tr.	Tr.	Tr.	Tr.	Tr.	Tr.	Tr.	Tr.	3.7	3.5	3.5	Tr.	Tr.	Tr.	5.0	2.2	3.4
$C_{22:6}$	6.0	6.2	4.6	Tr.	Tr.	Tr.	10.9	6.2	9.2	21.4	8.4	16.9	Tr.	Tr.	Tr.	7.3	6.7	7.2
S.F.A.**	26.3	35.6	36.7	28.6	38.8	30.9	23.2	30.6	28.7	31.6	46.4	33.1	47.2	52.1	46.1	45.5	55.0	45.8
U.S.F.A***	73.7	64.4	63.3	71.4	61.2	69.1	76.8	69.4	71.3	68.4	53.6	66.9	52.8	47.9	53.9	54.5	45.0	54.2

* Shown in Table-1, Tr. : trace.

** Total saturated fatty acids contained C_{14} and C_{17} .

*** Total unsaturated fatty acids contained $C_{14:1}$, $C_{14:2}$, $C_{16:1}$ and etc.

Table-6 Major fatty acid composition of phospholipids in tissues of male rats fed thermally oxidized oil (Feeding period 60 days).

Tissue	Liver						Kidney						Testicle					
	FO*			Toc-O*			FO			TO			FO			TO		
	PE (%)	PC (%)	PS+PI (%)	PE (%)	PC (%)	PS+PI (%)	PE (%)	PC (%)	PS+PI (%)	PE (%)	PC (%)	PS+PI (%)	PE (%)	PC (%)	PS+PI (%)	PE (%)	PC (%)	PS+PI (%)
Fatty acid																		
C _{16:0}	25.8	24.0	20.9	20.9	45.4	29.9	26.9	26.2	31.0	22.6	18.8	20.3	21.8	23.7	43.4	24.2	20.7	28.7
C _{16:1}	0.5	0.7	2.8	2.4	1.8	4.2	2.4	1.0	2.5	2.6	7.2	2.8	9.4	6.0	6.1	7.8	6.5	7.6
C _{18:0}	28.4	24.4	24.9	20.2	21.2	27.1	32.1	22.5	24.3	16.2	13.8	22.1	33.7	10.6	23.8	25.1	15.6	22.3
C _{18:1}	5.7	10.6	7.1	9.7	11.7	10.3	8.5	13.8	7.4	9.0	17.3	12.2	8.9	8.3	5.0	10.1	18.6	10.2
C _{18:2}	7.6	20.8	12.3	6.9	12.7	9.8	7.9	11.7	12.1	10.5	16.7	6.2	12.4	5.0	18.6	12.1	9.3	15.3
C _{20:4}	16.0	9.2	16.6	6.6	18.8	7.1	13.5	8.9	10.6	16.5	20.3	9.4	5.9	9.1	10.4	13.6	15.8	8.9
C _{22:5}	2.5	1.9	3.1	Tr.	2.3	Tr.	1.8	2.1	1.4	Tr.	Tr.	Tr.	Tr.	Tr.	Tr.	5.6	1.9	2.1
C _{22:6}	10.5	6.8	5.7	Tr.	Tr.	Tr.	2.6	5.6	5.3	Tr.	Tr.	Tr.	Tr.	Tr.	Tr.	8.2	7.5	8.6
S.F.A**	54.2	48.4	45.8	65.6	51.1	54.8	58.3	53.4	46.9	45.0	38.5	53.8	61.8	65.0	53.1	50.8	46.5	56.9
U.S.F.A***	45.8	51.6	54.2	34.4	48.9	45.2	41.7	46.6	53.1	55.0	61.5	46.2	38.2	35.0	46.9	49.2	53.5	43.1

* Shown in Table-1, Tr.: trace, ** and *** shown in Table-5, PE: phosphatidyl ethanolamine, PC: phosphatidyl choline, PS: phosphatidyl serine, PI: phosphatidyl inositol

酸である。TO 飼育群にみられる脂肪酸組成の変化や総不飽和脂肪酸 (U・S・F・A) の減少はこれら組織の膜構造に変化を与え、細胞ないしは細胞カリウ成分の構造と機能に変化をもたらし、その結果、膜のぜい弱性を促し、組織が退行に向かい、さらに酸化的リン酸化および種々の酵素が影響をうけ swelling の割合も増加し、肝臓ミトコンドリアの減少をきたし、一層阻害作用を強めているものと推察される。

したがって、TO に Toc を補充すれば赤血球の溶血作用の亢進が低下し、組織のリン脂質組成や主要リン脂質の高度不飽和脂肪酸が増加し、FO 飼育群に近づく。このことは Toc が biological antioxidant として作用するとともに生体膜の保護作用の一端を示すものと考えられる。

(昭和 49 年 1 月 8 日受理)

文 献

- 梶本, 吉田, 栄養と食糧, **24**, 59 (1971)
- 梶本, 吉田, 三宅, 栄養と食糧, **24**, 101 (1971)
- 梶本, 吉田, 油化学, **21**, 307, 313 (1972)
- P.L. Harris, M.L. Quaife, W.J. Swanson, *J. Nutr.*, **40**, 367 (1950)
- M.K. Horwitt, *J. Clin. Nutr.*, **9**, 451 (1960)
- R.B. Alfin-Slater, Y. Shimma, H. Hansen, P. Wells, L. Aftergood, *J. Amer. Oil Chem. Soc.*, **49**, 395 (1972)
- A.L. Tappel, "Vitamins and Hormones" (R.S. Harris, I.G. Wool), **20**, p.493 (1962), Academic Press, New York and London
- K.K. Horwitt, C.C. Harvery, G.D. Dancan, W.C. Wilson, *Amer. J. Clin. Nutr.*, **4**, 408 (1956)
- J. Folch, A.M. Lees, J.M. Meath, F.N. LeBaron, *J. Biol. Chem.*, **191**, 833 (1951)
- 鈴木, 栄養と食糧, **23**, 130 (1970)
- 辰田, ビタミン, **46**, 111 (1972)
- V. P. Skipski, R.F. Peterson, M. Barclay, *Biochem. J.*, **90**, 374 (1964)
- J.C. Dittmer, R.L. Lester, *J. Lipids Res.*, **5**, 126 (1964)
- H.K. Mangold, *J. Amer. Oil Chem. Soc.*, **38**, 708 (1961)
- 渋谷, 本多, 丸尾, 脂質生化学研究, p. 119 (1866)
- G.S. Getz, S. Jakovcic, J. Heywood, J. Frank, *Biochim. Biophys. Acta.*, **218**, 441 (1970)
- G. Rouser, S. Flescher, A. Yamamoto, *Lipids*, **5**, 494 (1970)
- A. Catala, R.R. Brenner, *Lipids*, **2**, 114 (1967)
- M. Carpenter, *Biochim. Biophys. Acta.*, **231**, 52 (1971)
- T.D. Desai, A.L. Tappel, *J. Lipid Res.*, **4**, 204 (1963)
- J.C. Alexander, *Lipids*, **1**, 254 (1966)