総 説

水産食品中の生体調節成分に関する研究

—特に、n-3 高度不飽和脂肪酸及びビタミン D₃について—

鈴木 平 光*

Studies on the Functional Components in Seafoods

—Especially, n-3 Highly Unsaturated Fatty Acids and Vitamin D₃—

Hiramitsu SUZUKI*

* National Food Research Institute, The Ministry of Agriculture, Forestry
and Fisheries, 2-1-2 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305

1. はじめに

かつて水産食品は、日本人のタンパク源として重要な位置を占め、その栄養価についての研究が多くなされてきた。しかし、最近ではタンパク質そのものの摂取不足による発育不全や健康障害といった問題はほとんどなくなり、タンパク質そのものの研究は少なくなってきた。また、水産食品中の脂質成分についても、単に、エネルギー源という見方から、含有される生体調節成分についての研究が脚光を浴び、その有用性が来たるべき高齢化社会において期待されている。

ここでは、水産食品中に含まれる多くの生体調節成分のうち、特に、n-3 系列の高度不飽和脂肪酸及びビタミン D₃ に注目して、主に、その加工処理による変化と生体調節能について述べる。

2. n-3 高度不飽和脂肪酸の加工処理による変化及び安定性

水産食品の脂質、特に魚油には n-3 高度不飽和脂肪酸であるエイコサペンタエン酸 (EPA, 20:5) やドコサヘキサエン酸 (DHA, 22:6) が豊富に含まれている¹⁾。しかし、これらの脂肪酸は不飽和度が高く、酸化しやすく、不安定であると考えられている。ところが、缶詰、干物、焼く、煮る、蒸すという調理加工をしても、その脂質中

の EPA は変化しない²⁾。また、DHA についても同様であることが明らかにされている³⁾。さらに、丸干し、開き干し、味噌干しにしても脂質中の n-3 高度不飽和脂肪酸の割合には変化がない⁴⁾。したがって、通常の調理加工の範囲においては、n-3 高度不飽和脂肪酸はほとんど変化がないと考えられる。

近年では、ブナザケ筋肉の高付加価値化の一つとして、エクストルージョン・クッキング（膨化）による加工処理が注目されている。そこで、筆者らは、この処理におけるブナザケ筋肉中の n-3 高度不飽和脂肪酸の変動を検討した⁵⁾。まず初めに、脂質含量の少ないブナザケとアリューシャン列島南西部で漁獲されたシロサケの可食部の脂肪酸組成を比べたところ、ブナザケの方が DHA の絶対量は少ないが、その割合は高かった。さらに、骨に近い部分と皮に近い部分に分けてみたところ、骨に近い部分では DHA の割合は変わらなかったが、皮に近い部分で、ブナザケの方が DHA の割合が高い。したがって、このことが、ブナザケの脂質で DHA の割合が高い原因となっていると考えられる。

このブナザケ筋肉を煮熟し、スクリュースプレスを圧搾すると、水分が 79% から 59% に減少するが、このとき脂質の損失がほとんどないため結果的に脂質含量は増加した。この後、圧搾した筋肉を 160℃ でエクストルージョン・クッキングを行ったところ、その押出し物の脂

* 農林水産省食品総合研究所 (〒305 茨城県つくば市観音台 2-1-2)

脂肪酸組成には大きな変化が認められなかった。したがって、この加工処理では、ブナザケの n-3 高度不飽和脂肪酸には変化がなく、水分量が減少するため、湿重量当りの脂質含量は原料の約 2 倍に増加し、EPA 及び DHA も約 2 倍に増加した (表 1)。このことは、ブナザケ押出し物をブナザケ筋肉と同量摂取した場合には、ブナザケ筋肉そのものより強い生体調節能を発現することを示唆している。

一方、n-3 高度不飽和脂肪酸を豊富に含む食品を長期間保存する場合には、酸化による減少をいかに防止するかが重要である。筆者らは、n-3 高度不飽和脂肪酸の生体調節能についての研究で、長期間の動物実験を行うとき、酸化安定性の悪い魚油をどのようにして保存したら良いのかを検討した⁶⁾。魚油を 10% 含む粉末飼料を作製し、小分けにし、脱酸素剤とともに気密性のフィルムで密封すると、その中の酸素は 0.1% 以下となり、22°C、2°C、-30°C でも 6 ヶ月間 EPA 及び DHA の変化が認められなかった。その結果から、作製した動物実験用飼料を脱酸素剤を用い -30°C で保存することにより、一定量の EPA 及び DHA を長期間、動物に摂取させることが可能となった。また、この結果は、実験用飼料の保存のみならず、水産加工食品の長期保存にも応用可能である。

3. n-3 高度不飽和脂肪酸と心血管系疾患

n-3 脂肪酸が注目されたのは、n-3 脂肪酸が豊富なアザラシや魚を常食としているグリーンランドのイヌイットでは、畜肉を常食としているデンマーク人に比べ、血栓が生じにくく、心血管系疾患が少ないことが疫学的研究で明らかにされたことによる⁷⁾。イヌイットでは血液中の EPA や DHA が多く、デンマーク人では n-6 系列の脂肪酸であるアラキドン酸 (AA, 20:4) が多い。日本でも、漁村と農村で、食生活と血液中の成分についての疫学的研究が行われた結果、漁村の人の方が血液中の

表 1 ブナザケ筋肉中の n-3 高度不飽和脂肪酸含量に及ぼすエクストルージョン・クッキング及びその前処理の影響

ブナザケ筋肉	n-3 高度不飽和脂肪酸含量 (g/100 g 湿重量)	
	20:5	22:6
生の筋肉	0.18	0.46
スクリュースプレス後の筋肉	0.40	0.90
エクストルージョン後の筋肉	0.36	0.82

EPA 及び DHA が多く、心血管系疾患の発生率が低いことが報告されている⁸⁾⁹⁾。

多くの心血管系疾患の原因となる血栓症は、血管壁や血液成分の状態が変わることにより、血小板が血管壁に過剰に粘着・凝集するために生ずると考えられている¹⁰⁾。EPA 及び DHA を摂取すると、血小板が凝集しにくくなり、心血管系疾患になりにくくなると言われている¹¹⁾。最近では、魚油の摂取は、致死性不整脈 (心室細動) を予防し、致死性冠動脈疾患を生じにくくすることが報告されている¹²⁾。また、7 年間にわたる研究によると、治療を要するという程度に高い血中コレステロール値の人では、比較的多量の魚油を摂取すると、1~2 ヶ月のうちに低下するが、正常人では変化がないことが明らかにされている¹³⁾。

このような血中脂質の低下に魚油の何かが関与しているのかといった問題やそのメカニズムについては動物による研究が行われている。筆者らは、約 90% に精製した EPA または DHA を 5% 含む飼料をマウスに 6 日間摂取させ、血液中の脂質成分を測定した。その結果、血液中のコレステロールを低下させる効果は、EPA、DHA ともにあるが、DHA の方が強いことを明らかにしている¹⁴⁾。また、このとき、DHA 摂取マウスでは、肝細胞内に脂肪滴が少く、ライソソーム様の顆粒が多くなることが認められている¹⁵⁾。さらに、肝臓での脂質合成酵素活性の低下も報告されている¹⁶⁾。したがって、魚油による血液中的脂質成分の低下効果は、特に n-3 脂肪酸がその合成系を抑制し、代謝系を促進するなど、総合的に作用した結果であると考えられる。

4. 高齢動物における n-3 高度不飽和脂肪酸の生体調節能

(1) 加齢による生体機能の変化

加齢に伴って、心血管系疾患のリスクは増大し、血中の総コレステロールや胆汁酸は増える傾向にある¹⁷⁾。しかし、これらの成分は、高齢動物の胆汁中では少なく¹⁸⁾、腸管での脂肪の消化吸収能、コレステロールの肝臓への取り込みに関与する網内系機能、肝臓でのコレステロール合成能は加齢に伴い低下すると言われている¹⁸⁾¹⁹⁾。これらのことから、加齢に伴う血中コレステロールや胆汁酸の増加は、これらの成分の肝臓への取り込みと胆汁中への排泄が低下した結果であると考えられる。さらに、高齢動物の血中では、AA と遊離脂肪酸が増加する傾向にある。しかし、トリグリセリド、リン脂質、血小板脂質の脂肪酸組成及び動脈壁からのプロスタグランディン

I₂ (PGI₂) の放出能は変化しないことが報告されている²⁰⁾。また、血中のプロスタグランディンにも年齢による差はないが、高齢動物の血管平滑筋細胞の PGI₂ 産生能は低い²¹⁾。このような加齢による生理機能の低下が、高齢者で心血管系疾患を生じやすくしているものと思われる。

n-3 脂肪酸の中でも、特に、DHA は脳や網膜のリン脂質に豊富に含まれていることが知られている^{22/23)}。また、DHA は、脳細胞内では情報の伝達と関係があるシナプスに多い²³⁾。さらに、全脳脂質中の DHA の割合は成長に伴い増加することが報告されている^{23/24)}。これらの知見は、子供の脳の発達にとって DHA は必要であることを示している。しかし、高齢動物における脳脂質及び酵素活性などの変化は良くわかっていない。そこで、筆者らは、3ヶ月齢のラットと19ヶ月齢のラットを比較し、高齢なものでは脳脂質中の AA 及び DHA の割合が少くなり、リン脂質の紫外部吸収も低下する傾向にあることを明らかにした。また、高齢動物では、酸性ホスファターゼ及びモノアミンオキシダーゼ活性は高くなる傾向にあった²⁵⁾。

(2) n-3 高度不飽和脂肪酸摂取による生体機能の変化
イワシ油を10%含む飼料を摂取した高齢ラットでは、

血中コレステロールの低下効果や EPA の増加の程度は、若齢ラットより大であった (表2)²⁶⁾。このことは、高齢動物では EPA の代謝が遅れ、EPA が血中に長く残存するためその効果が大きく現れることを示しているものと思われる。次に、このときの脳における変化を検討してみた²⁵⁾。イワシ油を摂取したラットの脳では AA やドコサペンタエン酸 (22:5) が減少し、DHA の増加が認められる (表3)。特に、高齢ラットでは、DHA の割合及びリン脂質の紫外部吸収は若齢ラットのレベルまで上昇する。また、脳内の乳酸脱水素酵素活性は、イワシ油食の高齢ラットで上昇する傾向にある。この酵素活性は記憶や学習と関係がある脳の海馬領域で高いという報告があり興味深い²⁷⁾。以上のことから、高齢動物では n-3 高度不飽和脂肪酸の生体調節能が、若齢動物に比べて強く出る傾向にあると考えられる。

5. DHA と記憶学習能

(1) DHA の代謝

必須脂肪酸である α -リノレン酸 (18:3) を摂取すると、その一部は EPA 及び DHA に変換される²⁸⁾。また、n-3 高度不飽和脂肪酸の一部は β -酸化を受けることも知られている²⁹⁾。そこで、筆者らは、各種食用油脂及び

表 2 実験食及び基本食を食べた若齢及び高齢ラットの血漿総脂質中の高度不飽和脂肪酸組成

食餌群	若 齢				高 齢			
	18:2	20:4	20:5	22:6	18:2	20:4	20:5	22:6
イワシ油食	11.7±3.0	10.3±0.9*	6.4±1.3**	7.3±0.5**	12.7±1.1	11.6±2.1**	10.6±1.2** ^b	6.9±1.4**
大豆油食	18.4±0.5	28.2±1.3**	—	2.2±0.1**	23.8±2.0** ^b	26.3±2.7	—	1.8±0.3**
ラード食	10.2±0.8*	25.5±2.3**	—	2.1±0.3**	13.7±2.2 ^a	28.9±4.8	—	1.9±0.3**
基本食	15.9±4.0	14.9±2.9	1.0±0.3	4.0±0.9	13.9±1.4	25.6±2.3 ^b	1.0±0.4	3.6±0.4

± 標準偏差 (n=6)

* P<0.05, ** P<0.01: 基本食群との比較

^a P<0.05, ^b P<0.01: 若齢群との比較

表 3 実験食及び基本食を食べた若齢及び高齢ラットの脳脂質中の高度不飽和脂肪酸組成

食餌群	若 齢				高 齢			
	18:2	20:4	22:5	22:6	18:2	20:4	22:5	22:6
イワシ油食	0.7±0.2**	8.2±0.2** ^a	1.9±0.1** ^a	11.0±0.3** ^a	1.4±0.2 ^c	7.6±0.3** ^{a,c}	1.9±0.2**	10.6±0.6** ^a
ラード食	0.8±0.2*	9.4±0.2	2.4±0.2	9.9±0.3**	1.7±0.2** ^c	8.4±0.3 ^c	2.2±0.2	8.9±0.1* ^c
基本食	1.1±0.2	9.1±0.2	2.3±0.1	10.0±0.5	1.2±0.2	8.7±0.2 ^b	2.3±0.1	9.3±0.2 ^b

± 標準偏差 (n=6)

* P<0.05, ** P<0.01: 基本食群との比較

^a P<0.01: ラード食群との比較

^b P<0.05, ^c P<0.01: 若齢群との比較

90%に精製したn-3高度不飽和脂肪酸を摂取したときの血液及び脳の脂肪酸組成の変化を検討した³⁰⁾。その結果、食用油脂食を30日間与えた場合には、血液中のDHAはサケ油及びイワシ油食群>エゴマ油食群>ラード食群>パーム油食群の順であった。また、精製したn-3脂肪酸を6日間与えた場合には、血液中のDHAは、DHA食群>EPA食群> α -リノレン酸食群>パーム油食群の順であった。

このときの脳脂質の脂肪酸組成を見てみると、血液ほど極端な差は認められないが、高度不飽和脂肪酸に有意な差が認められる。食用油脂を摂取した場合には、脳脂質中のDHAはサケ油食群>イワシ油食群>エゴマ油食群>パーム油食及びラード食群の順であった。また、精製n-3脂肪酸を摂取した場合にはDHA食群>EPA及び α -リノレン酸食群>パーム油食群の順であった。これらの結果は、DHAを多く含む食品を摂取すれば、非常に効率的にかつ迅速に脳内のDHAを増やすことが可能であることを示している。

そこで、次に、脳に取り込まれたDHAの細胞内分布を調べてみた³¹⁾。イワシ油食を12週間与えたマウスの脳では、パーム油食を与えたものに比べ、シナプトソーム、ミトコンドリア、マイクロソーム画分でDHAの割合が増加した。精製DHA食を6日間与えた場合も、イワシ油食の場合と同様であった。このことから、脳に取り込まれたDHAは、迅速にシナプス、ミトコンドリア、小胞体に分布すると考えられる。

(2) DHAの記憶学習能の維持向上効果

n-3高度不飽和脂肪酸欠乏食を摂取すると、記憶学習能が低下することが明らかにされている。Y迷路型学習実験装置を用いた実験³²⁾、水迷路を用いた学習実験³³⁾³⁴⁾、さらに、明度識別型学習実験装置を用いた実験³⁵⁾³⁶⁾が報告されている。最近では、電気ショックによる条件回避学習能を見た実験³⁷⁾や八方向放射状迷路を用いた実験³⁸⁾が行われており、DHA欠乏食では学習能が低いという結果が得られている。

筆者らも、マウスの迷路内での行動をモニターする記憶学習能解析装置を用いて、イワシ油食及びパーム油食を1年間摂取させた後、記憶学習能の相違を検討している³⁹⁾。マウスは、本実験を行う前に、一日水が与えられず、簡単な迷路に入れられ、その出口にある水を捜すという条件付けをした後、本実験では袋小路が3つある迷路を用いて出口(水がある)を捜させた。1回目の試行では、イワシ油食群のマウスの方がパーム油食群のマウスよりも早く出口に到着した。また、4日後に行われた2

回目の試行でも、イワシ油食群のマウスの方が早く出口に到着した(図1)。このことは、イワシ油食群のマウスの方がパーム油食群のマウスに比べ、判断力や記憶学習能が高いことを示していると思われる。

このような差が生ずるメカニズムを知るために、筆者らは、上記のマウスのシナプス膜の流動性について検討した⁴⁰⁾。その結果、イワシ油食群ではパーム油食群に比べ、その流動性は高く、幼若マウスと同様の数値を示した。また、最近では、エゴマ油食のラットはサフラワー油食のものに比べ、シナプス小胞が増加しているという報告⁴¹⁾もあり、種々の原因により記憶学習能の維持向上効果を発現するものと考えられる。

(3) 人の脳神経系とDHA

妊婦がDHAを摂取すると、DHAは胎盤を通して胎児の脳に取り込まれ、生体膜の構成成分として利用される²⁸⁾。また、授乳婦では、母乳中にDHAが含まれ、これが乳児の脳や視覚の発達に役立つことが解明されつつある⁴²⁾。未熟児300名について、母乳で育てられた者とミルクで育てられた者の8年後の知能指数(IQ)を比較したところ、母乳で育てられた方がミルクのものより統計的に有意に高いことが報告されている⁴³⁾。これには、母乳中に含まれ、ミルクにはほとんど含まれていない成分

図1 記憶学習能解析装置の概略図及びマウスが出口に到着するまでに要した時間の変化

* $P < 0.05$: パーム油食群との比較

が関与していると思われるが、その中でも脳の機能と関係がある DHA は重要な役割を演じているものと考えられる。

また、魚介類の摂取頻度とアルツハイマー型痴呆症との関係を疫学的に研究した結果では、魚介類を毎日食べている人の方が、ほとんど食べない人よりも、アルツハイマー型痴呆症になりにくいことが明らかにされている⁴⁴⁾。筆者らが最近行った DHA 含有栄養補助食品の使用経験についての調査でも、“体調が良くなった”または“少し良くなった”と答えた者のうち、約 36% が脳神経系に関した変化を感じていることが明らかになっている⁴⁵⁾。

以上の研究成果から、ヒトにおいても、脳神経系の機能を維持増進するためには、十分な量の n-3 高度不飽和脂肪酸、特に DHA を摂取することが望ましいと思われる。

6. 高齢者に多い骨疾患とビタミン D₃

我国では、人口の高齢化に伴って、骨密度が低下し、骨が脆くなる骨粗鬆症が増加する傾向にある。その原因としては、カルシウムの摂取不足、加齢によるホルモンバランスの変化、ビタミン D の不足などが考えられている⁴⁶⁾。そこで日常摂取している食品中のビタミン D やその関連物質を定量し、高齢者の適正な摂取量を示す必要が生じてきている。

栄養的に十分な量のビタミン D を含む食品としては、ビタミン D₃ が豊富な魚介類とビタミン D₂ が多いキノコ類がある⁴⁷⁾。魚の肝臓には数万国際単位という量のビタミン D₃ を含むものもあるが、常食される筋肉部分のビタミン D₃ は微量であるため、その定量は難しい。そこで、正確な定量を行うために二段階の HPLC 法が開発されているが、この方法ではビタミン D 及びその関連物質を同時に分析することは難しく、また、操作が煩雑である⁴⁸⁾。

筆者らは、魚肉中の総脂質をクロロホルム-メタノールで抽出し、24 時間室温でケン化した後、不ケン化画分をヘキサンで抽出し、少量のメタノールに転溶して、直接 HPLC に注入する簡易法を開発した⁴⁹⁾。本法では、40 分以内にビタミン D_{2,3} 及びプロビタミン D_{2,3} が同時に定量可能である。しかし、UV 検出法を採用しているため、より分離能の高いカラムを使用する必要がある。なお、今後、ビタミン D 関連化合物と特異的に結合する蛍光物質が開発されれば、本法は容易に蛍光検出法に切り換えることが可能で、蛍光法になれば、特異性と感度の

向上が期待できる。

本法を用いて、天日で乾燥した干物のビタミン D を生のものと比較したところ、プロビタミン D₃ には大きな変化は見られなかったが、干物にするとビタミン D₃ の消失が認められた(表 4)。この原因として、過酸化物質、細菌、酵素は関係なかったため、プロビタミン D₃ からビタミン D₃ を生成するのに必要な 300 nm 付近の紫外線

表 4 サバ及びサンマ筋肉中のビタミン D₃ 及びプロビタミン D₃ 含量 (μg/100 g) に及ぼす天日乾燥の影響

魚 肉	ビタミン D ₃	プロビタミン D ₃
生のサバ	7.4±4.5	78.1±10.9
天日乾燥したサバ	—	56.3±29.4
生のサンマ	5.1±3.3	18.1± 5.1
天日乾燥したサンマ	—	15.7± 6.7

± 標準偏差 (n=3)

図 2 カツオ血合肉中のビタミン D₃ 及びプロビタミン D₃ 含量に及ぼす紫外線照射 (20 ワットランプ, 50 cm の距離) の影響

* P<0.1, ** P<0.05: スタート時との比較

† P<0.1: 15 時間目との比較

以外の光線が干物のビタミン D₃ を分解している可能性が考えられた⁵⁰⁾。そこで、305 nm 付近にだけ吸収を持つ紫外線を 50 cm の距離から魚肉に照射したところ、15 時間後には、プロビタミン D₃ の約 20% がビタミン D₃ に変換し、ビタミン D₃ の増加が認められた (図 2)⁵¹⁾。この技術を発展させると天然のビタミン D₃ を強化した魚肉加工食品の製造が可能となり、高齢者の骨疾患の予防に適した食品が誕生することになるであろう。

また、筆者らは、魚肉に比較的多く含まれ、生理活性を持たないプロビタミン D₃ を摂取した場合、これが皮膚に移行し、ビタミン D₃ となりえるのか否かを検討した⁵²⁾。その結果、プロビタミン D₃ を多量に摂取してもプロビタミン D₃ は皮膚や肝臓で増えることはなく、ビタミン D₃ も増える可能性はないと考えられた。したがって、高齢者の骨疾患を予防し、より健康的な生活を営むためには、食品からビタミン D を十分摂取する必要があると思われる。

7. おわりに

n-3 高度不飽和脂肪酸の生体調節能に関する研究は、ここ数年、大へんな勢いで進行しており、新しい知見も多く報告されている。また、最近では、ほぼ 100% の DHA が比較的容易に作れるようになってきたため、今後は、DHA の臨床試験研究が精力的に行われるであろう。ビタミン D についても、骨粗鬆症との関係で、研究の第 2 のピークを迎えており、簡便に、正確に、高感度に定量できる方法の開発から再出発する時期に来ていると思われる。これらの研究がさらに発展し、高齢化社会における適正な食生活の確立に寄与することを願うものである。

文 献

- 1) 科学技術庁資源調査会：日本食品脂溶性成分表，科学技術庁資源調査会報告第 112 号 (1989)。
- 2) 秦 和彦・三ヶ尻昭博・藤田孝夫：調理科学，**16**，155 (1983)。
- 3) 前田有美恵・石川雅章・山本政利・寺田志保子・増井俊夫・渡辺佳一郎：栄養誌，**38**，447 (1985)。
- 4) 岸部公子・白井千織・中澤輝郎：調理科学，**19**，52 (1986)。
- 5) SUZUKI, H., CHUNG, B.S., ISOBE, S., HAYAKAWA, S. and WADA, S.: *J. Food Sci.*, **53**, 1659 (1988)。
- 6) SUZUKI, H., WADA, S., HAYAKAWA, S. and TAMURA, S.: *J. Food Sci.*, **50**, 358 (1985)。
- 7) DYERBERG, J. and BANG, H.O.: *Lancet*, ii, 433 (1979)。
- 8) HIRAI, A., HAMAZAKI, T., TERANO, T., NISHIKAWA, T., TAMURA, Y., KUMAGAI, A. and SAJIKI, J.: *Lancet*, ii, 1132 (1980)。
- 9) KINSELLA, J.E.: *Seafoods and Fish Oils in Human Health and Disease* (Marcel Dekker, New York and Basel), p. 19 (1987)。
- 10) KINSELLA, J.E.: *Seafoods and Fish Oils in Human Health and Disease* (Marcel Dekker, New York and Basel), p. 41 (1987)。
- 11) LEES, R.S. and KAREL, M.: *Omega-3 Fatty Acids in Health and Disease* (Marcel Dekker, New York), p. 57 (1990)。
- 12) 浜崎智仁：脂質栄養学，**2** (1), 25 (1993)。
- 13) SAYNOR, R. and GILLOTT, T.: *Lipids*, **27**, 533 (1992)。
- 14) 鈴木平光・荒井静子・和田 俊：日本食品工業学会第 38 回大会講演要旨集，p. 95，広島 (1991)。
- 15) 田村 基・鈴木平光：日本食品工業学会第 40 回大会講演要旨集，p. 86，神戸 (1993)。
- 16) SURETTE, M.E., WHELAN, J., BROUGHTON, K.S. and KINSELLA, J.E.: *Biochim. Biophys. Acta*, **1126**, 199 (1992)。
- 17) SUZUKI, H., HAYAKAWA, S. and TAJIMA, M.: *Lipids*, **18**, 658 (1983)。
- 18) 内田清久：代謝，**13**, 33 (1976)。
- 19) 渡辺佳俊・福島祥降・勝沼英字：日老医誌，**8**，306 (1971)。
- 20) SUZUKI, H., KOBAYASHI, T., HAYAKAWA, S. and WADA, O.: *Biochim. Biophys. Acta*, **836**, 394 (1985)。
- 21) CHANG, W.C., MUROTA, S., NAKAO, J. and ORIMO, H.: *Biochim. Biophys. Acta*, **620**, 159 (1980)。
- 22) TINOCO, J.: *Prog. Lipid Res.*, **21**, 1 (1982)。
- 23) NEURINGER, M., ANDERSON, G.J. and CONNOR, W. E.: *Ann. Rev. Nutr.*, **8**, 517 (1988)。
- 24) EDDY, D.E. and HARMAN, D.: *J. Am. Geriatrics Soc.*, **25**, 220 (1977)。
- 25) SUZUKI, H., HAYAKAWA, S. and WADA, S.: *Mech. Ageing Dev.*, **50**, 17 (1989)。
- 26) SUZUKI, H., HAYAKAWA, S., TAMURA, S., WADA, S. and WADA, O.: *Biochim. Biophys. Acta*, **836**, 390 (1985)。
- 27) KATO, T. and LOWRY, O.H.: *J. Neurochem.*, **20**, 151 (1971)。
- 28) NETTLETON, J.A.: *J. Am. Diet. Assoc.*, **93**, 58 (1993)。
- 29) LEES, R.S. and KAREL, M.: *Omega-3 Fatty Acids in Health and Disease* (Marcel Dekker, New York), p. 157 (1990)。
- 30) 鈴木平光・荒井静子・生駒吉識・和田 俊：日本栄養・食糧学会第 45 回大会講演要旨集，p. 31，京

- 都 (1991).
- 31) 鈴木平光・小野 哲・真鍋重夫・和田 攻：日衛誌, **46**, 492 (1991).
- 32) LAMPTEY, M.S. and WALKER, B.L. : *J. Nutr.*, **106**, 86 (1976).
- 33) COSCINA, D.V., YEHUDA, S., DIXON, L.M., KISH, S.J. and LEPROHON-GREENWOOD, C.E. : *Life Sci.*, **38**, 1789 (1986).
- 34) YONEKUBO, A., HONDA, S., OKANO, M., TAKAHASHI, K. and YAMAMOTO, Y. : *Biosci. Biotech. Biochem.*, **58**, 799 (1994).
- 35) YAMAMOTO, N., SAITOH, M., MORIUCHI, A., NOMURA, M. and OKUYAMA, H. : *J. Lipid Res.*, **28**, 144 (1987).
- 36) 藤本健四郎：食の科学, No. 161, 41 (1991).
- 37) 横田明重：日産婦誌, **45**, 15 (1993).
- 38) 関久美子・大本美彌子・今井常彦・野村良治：日衛誌, **47**, 341 (1992).
- 39) 鈴木平光・小野 哲・真鍋重夫・和田 攻：日衛誌, **48**, 379 (1993).
- 40) 鈴木平光：食糧, No.31, 65 (1993).
- 41) 吉田 敏・酒井久美子・安田愛子・川里浩明・島田達生・竹下正純・湯浅 周・深水裕二・奥山治美：脂質栄養学, **2** (2), 15 (1993).
- 42) HOFFMAN, D.R., BIRCH, E.E., BIRCH, D.G. and UAUY, R.D. : *Am. J. Clin. Nutr.*, **57** (Suppl), 807S (1993).
- 43) LUCAS, A., MORLEY, R., COLE, T.J., LISTER, G. and LEESON-PAYNE, C. : *Lancet*, **339**, 261 (1992).
- 44) 平山 雄：中外医薬, **45**, 157 (1992).
- 45) 鈴木平光・朴 完圭・田村 基：脂質栄養学, **3** (2), 96 (1994).
- 46) 須田立雄：ビタミン, **57**, 573 (1983).
- 47) 科学技術庁資源調査会：日本食品ビタミンD成分表, 科学技術庁資源調査会報告第117号 (1993).
- 48) TAKEUCHI, A., OKANO, T., TERAOKA, S., MURAKAMI, Y. and KOBAYASHI, T. : *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **30**, 11 (1984).
- 49) 鈴木平光・早川清一・和田 俊・奥積昌世・菊池武昭：日食工誌, **34**, 94 (1987).
- 50) SUZUKI, H., HAYAKAWA, S., WADA, S., OKAZAKI, E. and YAMAZAWA, M. : *J. Agric. Food Chem.*, **36**, 803 (1988).
- 51) HIDAKA, A., SUZUKI, H., HAYAKAWA, S., OKAZAKI, E. and WADA, S. : *J. Food Sci.*, **54**, 1070 (1989).
- 52) 鈴木平光・早川清一・真鍋重夫・和田 攻・小野哲：日衛誌, **44**, 260 (1989).

(平成6年6月27日受理)