

高レベル $n-3$ 系高度不飽和脂肪酸含有鶏卵・鶏肉の生産について

田中 桂一

北海道大学大学院農学研究科, 札幌市 060-8589

The production of avian eggs and meat containing the high level polyunsaturated fatty acids of $n-3$ series

Keiichi TANAKA

Faculty of Agriculture, Hokkaido University, Sapporo 060-8589

キーワード: $n-3$ 系高度不飽和脂肪酸, 鶏卵, 鶏肉, 脂質組成, ヒトの健康Key words: $n-3$ polyunsaturated fatty acids, avian egg, avian meat, lipid composition, human health

食餌中の脂肪はエネルギーと必須脂肪酸を供給する機能だけでなく, 心臓脈管系, 免疫機能と関連する多くの生化学的及び生理的機能に影響を及ぼしている。食餌中の脂肪は小腸から吸収され, 血液中をリポタンパク質の形で運ばれ, 肝臓や各組織に取り込まれる。一方, 脂肪組織や肝臓ではアセチル-CoA を原料として脂肪酸 (主にパルミチン酸) が合成され, さらにその一部は二重結合を一個もつパルミトオレイン酸に変えられる。しかし, 動物の体内では二重結合を二個以上もつ高度 (多価) 不飽和脂肪酸は合成されないために, 食餌として摂取しなければならない。これらの脂肪酸は必須脂肪酸とよばれ, $n-6$ と $n-3$ 系列の不飽和脂肪酸, すなわちリノール酸と α -リノレン酸及びこれらの脂肪酸から生成される高度不飽和脂肪酸である。 $n-3$ 系と $n-6$ 系の不飽和脂肪酸は構造及び代謝が異なり, 生体に対する生理的, 生化学的な機能も異なっている。

多くの国々において, ヒトの高齢化, 経済の発展などで高コレステロール血症や肥満などの成人病が問題となり, 特に, 鶏卵は高コレステロール食品といわれ, 消費が伸び悩んでいる。それで鶏卵, 鶏肉の品質を改善するだけでなく, ヨードやビタミンAなどを鶏卵中に取り込んで付加価値を付けて差別化することが試みられている。

本総説は鶏卵, 鶏肉に色々な生理作用を持っている $n-3$ 系 PUFA を取り込み, 健康食品として鶏卵, 鶏肉に付加価値を付ける試みを述べる。

1. 脂肪酸の分類

脂肪酸は分子内に環状構造を持たないモノカルボン酸の総称であり, 直鎖構造の脂肪酸とアルキル基に側

鎖をもつ分枝脂肪酸がある。一般に動物の体内に存在する主要な脂肪酸は直鎖の脂肪酸であり, 炭素数 14 のミリスチン酸 (14:0) から 22 までのドコサヘキ酸 (22:0) である。反芻動物では第一胃内に棲息している微生物に由来している分枝脂肪酸や奇数の炭素数の脂肪酸など単胃動物には存在しない色々な脂肪酸が組織中に存在している。アルキル基に二重結合をもたない脂肪酸を飽和脂肪酸 (saturated fatty acid), 二重結合を 1 個以上もつ脂肪酸を不飽和脂肪酸 (unsaturated fatty acid) と総称している。さらに, 不飽和脂肪酸のうち, 2 個以上の二重結合をもつ脂肪酸を高度 (または多価) 不飽和脂肪酸 (polyunsaturated fatty acid, 以後 PUFA と略) と称している。

2. 必須脂肪酸

必須脂肪酸とはどのような脂肪酸をさしているのか。一般的にはリノール酸, それから生成される γ -リノレン酸とアラキドン酸を必須脂肪酸と呼んでいる。 α -リノレン酸もヒトや動物の生体内では合成できないが, 最近までその欠乏症がはっきりしなかったために栄養学上注目されなかった。しかし, α -リノレン酸はその代謝経路上にエイコサペンタエン酸 (EPA), ドコサヘキサエン酸 (DHA) があり, それらの生理機能や生体内での役割が明らかにされ, 必須脂肪酸として改めて注目されてきている。

一般に, 不飽和脂肪酸の二重結合の位置はカルボキシル基側の炭素原子から順に番号を振って表す場合と, メチル基側から炭素原子に番号を振って表す場合がある。カルボキシル基側から番号を振る場合は Δ^1 , Δ^2 , Δ^3 , ……のように, メチル基側から番号を振る場合は $n-1$, $n-2$, $n-3$, …… (または $\omega-1$, $\omega-2$, $\omega-3$,

ルレベルを減少させる効果が大きいこと (GARG *et al.*, 1988; LEE *et al.*, 1988), リノール酸からアラキドン酸への代謝を競合阻害すること (ISHINAGA *et al.*, 1983; GARG *et al.*, 1989; CHOI *et al.*, 1993) などが報告されている。そのため、ある一方の脂肪酸の過剰摂取による悪影響を避けるためにも、最適の生理条件を保つためにも、両系の脂肪酸をバランスよく摂取することが重要である。

一般的に使用されている食用油はリノール酸を多く含有しており、ヒトの1日の最低必要量とされる摂取エネルギーの1~2% (2~4g程度) 以上は摂取しており、リノール酸欠乏は少ない。一方、 α -リノレン酸の1日の最低必要量を BJERVE *et al.* (1987) は摂取エネルギーの約0.2~0.3%であると報告しており、さらに、彼らは α -リノレン酸以外の長鎖 n -3 系列 PUFA (主に EPA と DHA) を 0.1~0.2%程度摂取することを推奨している。 α -リノレン酸の必要量は、研究者間で必ずしも一致していないが、最低でも摂取エネルギーの約0.5%であろうとされている (島崎, 1988)。この値は最低必要量であり、 α -リノレン酸の摂取量をもっと増やすことが望ましい。一般に、EPA や DHA は魚油に多く含有されているために、魚の摂取量の少ない欧米人では特に不足しており、EPA や DHA を食品に添加して摂取することが推奨されている。日本をはじめ海産物の摂取量の多い国民は欧米人ほど長鎖 n -3 系列 PUFA の摂取量は少なくないが、まだ充分とはいえない。

そのため、EPA や DHA を比較的安価な鶏卵、鶏肉に取り込んでヒトが摂取することは極めて有効である。現在、魚油を飼料に添加するなどして魚油中の EPA や DHA を鶏卵、鶏肉に移行させる試みがなされている。

4. 卵黄の脂質組成

鶏卵中の脂質はすべて卵黄中に含まれており、そのほとんどがリポタンパク質として含有され、脂質とタンパク質の比は約2:1である。比重の違いから主に二つのリポタンパク質、すなわち低密度 (low density) と高密度 (high density) 画分に分離されている。表1に示すように低密度画分では90%以上が脂質であり、構造は血清中の超低密度リポタンパク質と非常に似ている。低密度画分中のトリグリセリド含量は高密度画分のほぼ2倍であり、リン脂質含量は1/2程度である。総コレステロール含量は両画分とも総脂質の約4%である。また、phosphatidylethanolamine と phosphatidylcholine 含量も両画分ではほぼ等しい。

卵黄中の各脂質画分含量は表2に示すように、トリグリセリドは約63%、リン脂質は30%を占めている。総コレステロール含量は約5%である。また、主要なリン脂質は phosphatidylcholine と phosphatidyleth-

表1 卵黄中リポタンパク質の主要な脂質画分組成

	Low density fraction	High density fraction
Percentage of total lipid	93	7
Triacylglycerol ^a	69	35
Total phospholipids ^a	27	61
Phosphatidylethanolamine ^b	19	18
Phosphatidylcholine ^b	72	75
Total cholesterol ^a	4	4

^a % of total lipid in yolk:

^b % of total phospholipid. (NOBLE, 1987より)

表2 卵黄中の主要な脂質画分組成

Total lipid	Phospholipid	
	%	%
Cholesterol esters	1.3	Phosphatidylethanolamine 23.9
Triacylglycerols	63.1	Phosphatidylserine 2.7
Free fatty acids	0.9	Phosphatidylcholine 69.1
Free cholesterol	4.9	Sphingomyelin 1.0
Phospholipids	29.7	Others 3.2

(NOBLE, 1987より)

表3 卵黄中トリグリセリド及びリン脂質画分の脂肪酸組成

Fatty acid	Triacylglycerol	Phospholipid
	%	
16:0	24.5	28.4
16:1 n -7	6.6	1.9
18:0	6.4	14.9
18:1 n -9	46.2	29.5
18:2 n -6	14.7	13.8
18:3 n -3	1.1	0.3
20:4 n -6	0.3	6.2
22:6 n -3	<0.2	4.1

(NOBLE, 1987より)

anolamine である。

表3に卵黄中のトリグリセリドとリン脂質画分の脂肪酸組成を示した。両画分ともオレイン酸 (18:1) が多く、次いでパルミチン酸 (16:0)、ステアリン酸 (18:0) が多い。リノール酸 (18:2) も相当量含まれている。アラキドン酸 (20:4) と DHA (22:3) はリン脂質画分に4~6%分布している。表4に卵黄中の主要なリン脂質画分の脂肪酸組成を示した。いずれの画分においてもパルミチン酸とステアリン酸とで全脂肪酸の50%以上を占めている。リノール酸は phosphatidylcholine 画分で最も高いレベルで、また、アラキドン酸と DHA レベルは phosphatidylethanolamine 画分に高いレベルで分布している。

卵黄成分は飼料中の炭水化物やタンパク質の種類や

表4 卵黄中の主要リン脂質画分の脂肪酸組成

Fatty acid	Phosphatidylcholine	Phosphatidylethanolamine	Phosphatidylserine
		%	
16:0	33.7	21.7	33.6
16:1 <i>n</i> -7	1.0	1.1	5.4
18:0	15.8	30.1	27.3
18:1 <i>n</i> -9	22.7	15.3	15.9
18:2 <i>n</i> -6	14.1	9.2	7.3
18:3 <i>n</i> -3	<0.5	<0.5	<0.5
20:4 <i>n</i> -6	4.4	13.2	8.5
22:6 <i>n</i> -3	1.8	8.4	1.2

(NOBLE, 1987 より)

量によってはほとんど変化しない。脂肪の摂取量も卵黄中脂質含量には影響しない。しかし、卵黄中脂質の脂肪酸組成は飼料の脂肪酸組成によって大きく変化するため、二重結合1個の不飽和脂肪酸や高度不飽和脂肪酸を多く含有している油脂を飼料に添加して給与すると、卵黄中のこれらの脂肪酸レベルが増加する。

5. 卵黄への *n*-3 系 PUFA の取り込み

すでに述べたように *n*-3 系 PUFA をヒトが摂取することで健康や病気に有効であることが認められており、魚油などの長鎖 *n*-3 系 PUFA を多く含んでいる油脂を飼料に添加し、生産物のこれらの脂肪酸レベルを高めることに関心が持たれ、特に、鶏卵では卵黄中の *n*-3 系 PUFA レベルの増加が試みられている。表5に長鎖 *n*-3 系 PUFA を含有している色々な魚油や魚粉とそれらの量を産卵鶏に給与した研究報告をまとめた。卵黄中の長鎖 PUFA レベルは飼料中のそれらの量（産卵鶏の摂取量）の影響を受ける。しかし、魚油などには DHA より EPA のほうが高いレベルで含有

されているが、卵黄では DHA のほうが EPA より高レベルである (OH *et al.*, 1994; MARSHALL *et al.*, 1994)。飼料中の脂肪酸が卵黄内に取り込まれたさい、脂肪酸の種類によって卵黄中の各脂質画分への分布が異なっている。産卵鶏に亜麻種子を給与したさい、卵黄中に移行した α -リノレン酸は主にトリグリセリド画分に取り込まれ、リン脂質画分への分布は僅かであったが、EPA と DHA はリン脂質、特に、phosphatidylethanolamine 画分に多く移行する (CHERIAN and SIM, 1992)。通常の鶏卵では DHA を 30~40 mg/1 個程度しか含有してないが、表5に示した多くの実験では、鶏卵1個当たりの長鎖 PUFA 総量はイギリスの機関 (Department of Health, 1994) によって推奨されている1日、200 mg 以上、あるいはほぼそれに匹敵する値である。魚臭などの問題を避けるために、魚油の代わりに植物性の *n*-3 系 PUFA (α -リノレン酸、主に亜麻仁油や菜種油に多く含有) を給与して、鶏卵中の EPA や DHA などの長鎖 *n*-3 系 PUFA の増加が試みられている。 α -リノレン酸は必須脂肪酸であ

表5 色々な魚油を給与した産卵鶏の卵黄中の長鎖 *n*-3 系 PUFA レベルへの影響に関する最近の研究報告

<i>n</i> -3 fatty acid diet	Long chain <i>n</i> -3PUFA	DHA	Effects on		Reference
			Egg production	Fishy taints	
	(mg/egg)	(mg/egg)			
0.5% Hi-DHA	212	180	No effect	No effect	NOBLE (1995)
5% MaxEPA	462	414	No effect	Slight taint	OH <i>et al.</i> (1994)
10% MaxEPA	547	485	Reduced	Taint	
3% Menhaden oil	263	220	No effect	No effect	MAURICE (1994)
Flax seed	95	83	No effect	No effect	
1.5% Menhaden oil	122	109	Reduced yolk weight	No effect	MARSHALL <i>et al.</i> (1994)
3% Menhaden oil	206	178	No effect	Slight taint	VANELSWYK <i>et al.</i> (1992)
3% Menhaden oil	185	160	No effect	—	HARGIS <i>et al.</i> (1991)
10% MaxEPA	780	660	—	—	OH <i>et al.</i> (1991)
12% Herring meal	—	100	No effect	—	NASH <i>et al.</i> (1995)

り、不飽和化、鎖長の延長によって EPA や DHA に変えられるが、表 5 に示すように、 α -リノレン酸を給与しても魚油ほど鶏卵中の DHA レベルを増加させることはできない (HARGIS and VAN ELSWYK, 1993). 同様の結果を CASTON and LEESON (1990) 及び CHERIAN and SIM (1991) も報告している. 飼料中に高レベルで α -リノレン酸を添加することによって鶏卵中の EPA や DHA を多少増加させることができるが、 α -リノレン酸が増加するほどには EPA や DHA レベルは増加せず、 α -リノレン酸からの EPA や DHA 合成は僅かである.

しかし、このような魚油や魚粉を飼料へ高レベルで添加することによって飼料生産費の増加及び卵から魚臭の発生の恐れがあり、あまり多い添加は推奨できない (VENDELL and PUTNAM, 1945; STANSBY, 1962). 魚臭の発生については、ニシン油を 3% 添加した飼料を給与した鶏の卵をパネリストによってテストした結果、スクランブルエッグ (いり卵) にしたときには魚臭が認められたが、ゆで卵では対照区と差が認められなかった. また、魚油 1.5% 添加では魚臭が認められなかったなどが報告されており (VAN ELSWYK *et al.*, 1992), 魚油の種類、産卵鶏の品種、魚油の精製程度、卵の調理方法などが悪臭の発生に影響を与えるようである. 魚臭などの悪影響をなくし、効率よく長鎖 n -3 系 PUFA を卵黄中に取り込むために色々な試みがなされている. DHA を 85% 含有している Hi-DHA 油 (トリグリセリドの ns -2 の位置に DHA が結合) は鶏による吸収が良く、卵黄中に効率的に蓄積するといわれ、このように特別に処理された油を 0.5% 飼料に添加すると、魚油を 3% 添加したときと同程度の DHA を含有している鶏卵を得ることができた (VAN ELSWYK *et al.*, 1992; MAURICE, 1994). また、安 (1995) は α -リノレン酸から長鎖 n -3 系 PUFA への移行を期待して、魚油の飼料への添加量を低くして、 α -リノレン酸を多く含有している植物油 (亜麻仁油、 α -リノ

レン酸を約 55~60% 含有) と一緒に飼料に添加して産卵鶏に給与し、卵黄中への長鎖 n -3 系 PUFA の蓄積量を観察した. 実験飼料として、サフラワー油 (リノール酸を約 80% 以上含有) 6%, 亜麻仁油 6% 及び亜麻仁油 3% + タラ油 3% をそれぞれ飼料に添加して 3 週間産卵中鶏に給与した. 表 6 に実験によって得られた卵黄中の脂肪酸組成を示した. サフラワー油添加飼料では飽和脂肪酸やオレイン酸は低い値を示し、リノール酸及びそれから変換されるアラキドン酸 (20:4, n -3) は高いレベルだった. 亜麻仁油添加飼料では α -リノレン酸と長鎖 n -3 系 PUFA レベルが増加し、 α -リノレン酸から EPA や DHA への生成が推察された. 亜麻仁油の半分をタラ油で置き換えた飼料では EPA や DHA レベルがさらに増加し、また卵から魚臭は認められなかった. 安及び多くの研究報告から卵から魚臭が認められず、さらに卵黄中への長鎖 n -3 系 PUFA の期待できる魚油の添加レベルは 3~3.5% であろう. さらに植物油あるいは種子を魚油と一緒に添加してやることは卵黄中の総 n -3 系 PUFA と長鎖 n -3 系 PUFA レベルを増加させる望ましい方法であろう.

魚油給与によるその他の卵への影響として、MARSHALL *et al.* (1994) は脂質の過酸化程度の指標であるチオバルビツール酸レベルが高くなったが、鶏卵に問題となるような悪影響は観察されなかったと報告している. プタに魚油を給与した実験でも同様の結果を得ている (LESKANICH *et al.*, 1996). 鶏卵に高レベルで含有している n -3 系 PUFA はゆで卵やスクランブルエッグのような調理によって酸化されにくいことが観察されている (VAN ELSWYK *et al.*, 1992). このことは卵黄中の長鎖 n -3 系 PUFA は高温や空気 (酸素) に長時間さらされても簡単に破壊されにくいことを示している. また、VAN ELSWYK *et al.* (1992) は高レベル長鎖 n -3 系 PUFA 含有卵の乳化性や泡立ち、この鶏卵で調理したスポンジケーキの硬さや弾力性にも

表 6 色々な油脂給与 3 週間後の卵黄中総脂質の脂肪酸組成

Fatty acid	Experimental diets			
	Pre-exp.	Safflower oil	Linseed oil	Linseed + fish oils
	%			
16:0	23.44	20.55	18.09	19.83
16:1	2.95	1.46	2.03	3.35
18:0	9.28	8.61	7.74	7.50
18:1	43.82	30.98	37.63	36.48
18:2 n -6	12.43	28.39	14.27	13.04
18:3 n -3	0.24	0.28	10.06	7.47
20:4 n -6	1.75	2.13	0.80	0.57
20:5 n -3 (EPA)	0.02	0.01	0.41	1.13
22:6 n -3 (DHA)	0.18	0.02	2.13	3.36

Values are means of five eggs.

(安, 1995 より)

問題がないことを観察している。

家畜をできるだけ快適に飼育しよう、いわゆる animal welfare ということで鶏を放し飼い (free range hens) にし、生産した卵を“free range 卵”として販売している。この free range 卵は一般市販の鶏卵より栄養的に優れているといわれている。そのひとつは free range 卵には $n-3$ 系 PUFA が高いレベルで含有しているためかもしれない(表7)。鶏を放し飼いにすることによってスベリヒユ (α -リノレン酸を高レベルで含有) や草、イチジク、穀物、昆虫などの自然の動植物を摂取しているためであろう。表7に色々な家禽類の free range 卵とアメリカのスーパーマーケットで一般に売られている卵の脂肪酸組成を示した。一般市販の鶏卵は free range 卵に比べて全 $n-6$ 系 PUFA 含量が高く、一方、free range 卵では $n-3$ 系 PUFA 含量が著しく高く、 $n-6/n-3$ 比は一般市販の鶏卵では 8.3 だったが、free range 卵では 0.77 だった。いずれの家禽においても、一般市販の卵の方がオレイン酸とリノール酸含量が高く、 α -リノレン酸含量は free range 卵の方が高い。特に、キジとダチョウの卵には α -リノレン酸が非常に高いレベルで含まれている。しかし、DHA 含量は鶏とダチョウの卵の方が高かった。

6. 高レベル $n-3$ 系 PUFA 含有卵のヒトへの効用

高レベルで長鎖 $n-3$ 系 PUFA を含有している鶏卵を摂取することによって、ヒトの健康にどのような効用があるのかに関する研究がなされており、OH *et al.* (1991) の研究では 10% ニシン油を添加した飼料を給与した鶏の卵と、対照として市販の鶏卵を健康なヒトに毎日 4 個、4 週間食べてもらった。その結果、市販の鶏卵を食べたヒトは血漿中コレステロール及びトリグリセリド濃度が増加した。一方、ニシン油を給与した鶏の卵を食べたヒトは血漿中コレステロール濃度は

変化なく、トリグリセリド濃度は低下し、さらに、最小、最大血圧が低下した。同様の結果を JIANG and SIM (1993) も報告している。また、血中の $n-3$ 系 PUFA レベルの著しい増加も観察している。その他、このような鶏卵を乳児用人工乳や離乳食への DHA 添加の給源としての利用 (SIMOPOULOS and SALEM, 1992)、また、老人は α -リノレン酸の脱水素及び鎖長能力が低下し、 α -リノレン酸から EPA や DHA への変換が減少しているために、長鎖 $n-3$ 系 PUFA を高レベルで含有しているこのような鶏卵を摂取することは効果的であろう (de GOMEZ DUMM and BRENNER, 1975)。

7. ブロイラー肉の脂質組成

表8にブロイラーの胸肉、腿肉及び皮膚の総脂質含量と各脂質画分組成を示した。胸肉の総脂質含量は腿肉の 1/2 程度であり、皮膚の脂質含量は著しく高い。そのため皮付きの筋肉中の脂質含量は皮なしのそれより約 10 倍 (11.1 g/100 g 筋肉) 高い (DECKER and CANTOR, 1992)。胸肉のトリグリセリド比率は腿肉の 1/2 程度であり、リン脂質とコレステロールは腿肉より胸肉の方が高い。皮膚の脂質のほとんどがトリグリセリドである。

表9に市販飼料で飼育したブロイラーの胸肉、腿肉及び皮膚から抽出した総脂質の脂肪酸組成を示した。いずれの組織も同様の組成であり、最も高いのはオレイン酸、次いでパルミチン酸とリノール酸である。胸肉と腿肉では飽和脂肪酸、一価不飽和脂肪酸及び高度不飽和脂肪酸のそれぞれの比率は約 33% である。筋肉では全 PUFA 中でアラキドン酸が最も高いレベルであり、皮膚ではパルミトオレイン酸とオレイン酸レベルが筋肉より高かった。

表7 放し飼い (free range) と一般市販の家禽類の卵黄中脂肪酸組成

	16:0	18:0	18:1 $n-9$	18:2 $n-6$	18:3 $n-3$	20:4 $n-6$	22:6 $n-3$	Reference
	%							
Chicken								
Commercial	24.5	9.88	47.5	11.3	0.22	2.16	0.47	SIMOPOULOS and
Free range	27.3	7.49	42.4	5.63	2.43	1.90	2.32	SALEM (1992)
Duck								
Commercial	36.4	10.0	30.0	8.2	0.2	10.1	1.4	SPEAKE <i>et al.</i>
Free range	34.5	9.1	27.9	6.6	0.2	12.1	4.0	(1996)
Pheasant								
Commercial	24.6	5.5	42.9	16.7	1.58	0.12	0.33	SPEAKE <i>et al.</i>
Free range	24.2	7.14	25.3	8.72	27.9	0.12	0.13	(1996)
Ostrich								
Commercial	28.6	2.62	44.7	8.98	2.73	0.33	0.04	NOBLE <i>et al.</i>
Free range	23.7	3.98	32.7	9.7	21.8	0.65	0.10	(1996)

表 8 市販飼料で飼育したブロイラーの胸肉、腿肉及び皮の総脂肪含量と脂質画分組成

	Total lipid (% wt fresh tissue)	Lipid fraction (% wt total lipid)				
		FFA	TG	CH	DG	PL
White meat (breast)	0.9	tr.	43	2	tr.	55
Dark meat (thigh)	2.2	tr.	83	1	tr.	16
Skin	30.3	tr.	100	—	tr.	tr.

(RATNAYAKE *et al.*, 1989 より)

表 9 ブロイラーの胸肉、腿肉及び皮の総脂質中の脂肪酸組成

	White (breast)	Dark (thigh)	Skin
	%		
16:0	23.8	22.6	24.0
18:0	7.5	7.6	5.1
Total SAT	33.5	32.2	30.7
16:1	4.5	6.3	7.8
18:1	29.1	32.0	39.4
20:1	0.5	0.5	0.6
22:1	0.4	0.6	0.4
Total MUFA	34.5	39.4	47.8
18:2 $n-6$	17.8	18.3	18.2
18:3 $n-3$	0.5	0.7	1.0
20:4 $n-6$	5.0	3.7	0.6
20:5 $n-3$	0.7	0.6	0.4
22:5 $n-3$	0.9	0.5	0.1
22:6 $n-3$	1.8	1.0	0.1
Total PUFA	32.0	28.5	21.4
Total $n-6$ PUFA	27.4	25.1	19.7
Total $n-3$ PUFA	4.5	3.4	1.8

(RATNAYATE *et al.*, 1989 より)

8. ブロイラー肉への $n-3$ 系 PUFA の取り込み

卵黄と同様、ブロイラーの筋肉や脂肪組織中の脂肪酸組成は飼料中の脂肪酸組成によってある程度変化させることができる。たとえば、ヤシ油給与によって飽和脂肪酸を (YAU *et al.*, 1991), オリーブ油給与によってオレイン酸を (YAU *et al.*, 1991), トウモロコシ油 (MARION and WOODROOF, 1963), サフラワー油 (MILLER and ROBISCH, 1969) あるいは大豆油給与によってリノール酸を (SCAIFE *et al.*, 1990) 脂肪組織や筋肉中に増加させることができる。油脂給与によって脂肪組織や筋肉中の脂肪酸組成は大きく変化するが、総脂質含量や各脂質画分の比率は影響を受けない (HULAN *et al.*, 1988; PHETTEPLACE and WATKINS, 1990; YAU *et al.*, 1991)。このとき胸肉のタンパク質含量にも変化がない (YAU *et al.*, 1991)。

ブロイラーの筋肉 (胸と腿) 中に長鎖 $n-3$ 系 PUFA

を附加させるためにサケ魚粉 (red fish meal) を 4, 8 及び 12% 添加した飼料を給与した実験報告 (RATNAYAKE *et al.*, 1989) を表 10 に示した。魚粉の添加量の増加に伴って $n-3$ 系 PUFA, 特に EPA, DPA 及び DHA の蓄積が増加し, 同時に $n-6$ 系 PUFA レベルは低下した。また, 長鎖 $n-3$ 系 PUFA の蓄積は腿肉より胸肉の方が高く, また, 両筋肉とも DHA の方が EPA と DPA より蓄積が大きい。表 10 には示していないが, 皮膚中の EPA と DHA レベルはそれぞれ 0.6% と 0.5% であり, 筋肉中より低い。EPA や DHA を腿肉より胸肉の方が高いレベルで含有することは MILLER *et al.* (1969), HULAN *et al.* (1988, 1989), HUANG *et al.*, (1990) も報告している。長鎖の PUFA レベルは主に筋肉中のリン脂質で増加する (HULAN *et al.*, 1988)。HEUDOERFFER and LEA (1967) は七面鳥にカタクチイワシ油を 2.5 あるいは 5% 添加した飼料を給与して次のような結果を得ている。EPA と DHA は phosphatidylethanolamine 画分に最も高い

表 10 色々なレベルで魚粉 (サケ) を給与したブロイラーの胸肉 (white) と腿肉 (dark) の総脂質中の脂肪酸組成

	4% RFM		8% RFM		12% RFM	
	White	Dark	White	Dark	White	Dark
	%					
16:0	24.5	23.8	25.8	24.9	25.2	25.3
18:0	7.9	7.9	7.7	7.5	8.0	8.1
Total SAT	34.5	33.7	35.9	34.4	35.6	35.6
16:1	4.5	6.7	4.9	7.3	4.9	7.6
18:1	29.4	33.3	31.4	35.4	30.2	34.0
20:1	0.7	0.8	0.9	1.1	1.0	1.3
22:1	0.6	0.6	0.4	0.4	1.0	0.5
Total MUFA	35.2	41.3	37.6	44.2	37.0	43.3
18:2 <i>n</i> -6	15.9	16.1	14.2	13.8	12.0	12.6
18:3 <i>n</i> -3	0.4	0.6	0.5	0.7	0.3	0.6
20:4 <i>n</i> -6	3.3	2.6	2.3	1.7	2.2	1.7
20:5 <i>n</i> -3	1.4	0.7	1.6	0.9	2.3	1.2
22:5 <i>n</i> -3	1.3	0.7	1.0	0.8	2.3	1.1
22:6 <i>n</i> -3	4.0	1.9	4.6	1.9	6.0	2.5
Total PUFA	30.3	25.0	26.5	21.3	27.5	21.0
Total <i>n</i> -6 PUFA	22.7	20.8	18.4	16.8	16.3	15.4
Total <i>n</i> -3 PUFA	7.5	4.2	8.1	4.5	11.2	5.6

(RATNAYAKE *et al.*, 1989 より)

レベルで分布し、DHA は全脂肪酸の約 25% を占めていた。それに伴いアラキドン酸は低下した。また、*n*-3 系 PUFA は phosphatidylcholin と phosphatidylserine 画分にも比較的高いレベルで含まれ、アラキドン酸は phosphatidylinositol 画分に最も高いレベル (約 20%) で分布していた。

安と田中 (1997) も EPA や DHA を鶏卵だけでなく、鶏肉にも附加することを試みた。ブロイラー雌ヒナに 3 週齢まで市販の前期飼料を、4~5 週齢まで市販の後期飼料を給与した。6 週齢から 3 週間実験飼料を給与した。実験飼料にはパーム油 6%、サフラワー油 6%、亜麻仁油 6%、亜麻仁油 3%+タラ油 3% を添加した。亜麻仁油と亜麻仁油+タラ油添加区では腹腔内脂肪重量が低下した以外、増体量、飼料摂取量、飼料要求率は処理間で差は観察されなかった。腿肉、胸肉及び腹腔内脂肪の脂肪酸組成を表 11 に示した。他の報告と同様、長鎖 PUFA の比率は胸肉の方が腿肉より高く、腹腔内脂肪は最も低かった。腿肉と胸肉では EPA より DHA の方が高い比率で分布しており、2 倍以上であった。いずれの部位においても亜麻仁油の添加量が多くなるとリノール酸とアラキドン酸の比率が減少し、 α -リノレン酸と EPA が増加したが、DHA の増加は僅かだった。また、亜麻仁油+タラ油添加区では腿肉と胸肉の EPA と DHA 含量が著しく増加した。亜麻仁油+タラ油給与によって飼育されたブロイ

ラーでは、腿肉 (総脂質 4%) 100 g 中には長鎖 *n*-3 系 PUFA を約 208 mg (EPA 72 mg+DHA 136 mg)、胸肉 (総脂質 1%) 100 g 中には約 78 mg (EPA 22 mg+DHA 56 mg) 含有している。タラ 100 g に含まれている量が約 138 mg であり、腿肉 100 g の値はタラよりはるかに多い。この実験では魚臭は観察されなかった。

9. 魚臭とその減少方法

魚油や魚粉を飼料に添加することによって鶏肉中の長鎖 *n*-3 系 PUFA レベルを増加させることは可能であるが、しばしば魚臭の問題が起きる。魚粉を 14% 飼料に添加するとブロイラー肉に魚臭があったが (DEAN *et al.*, 1971; HULAN *et al.*, 1989; RATNAYAKE *et al.*, 1989)、12% ではバネリストにとって認められなかったとの報告もある (RATNAYAKE *et al.*, 1989)。魚油の添加に関しても、卵黄への影響と同様、色々な報告がある。ブロイラーでは、胸肉や腿肉より皮の方が (DEAN *et al.*, 1969)、また胸肉より腿肉の方が魚臭の影響を強くうける (CRUIKSHANK, 1939)。皮が最も魚臭が強いのは脂肪含量が高いことと、調理中に肉より皮の方が熱と酸素に曝されるためであろう。2% タラ肝油を添加した飼料で飼育されたブロイラー肉を唐揚げにすると、温かいうちは臭いを感じないが、冷たくなると臭いがしたり、シチュウーやオーブンで焼いたりすると臭いがしたなどの報告もある

表 11 色々な油脂給与したブロイラーの胸肉、腿肉及び腹腔内脂肪の総脂質中の脂肪酸組成

Fatty acids	Experimental diets			
	Palm oil	Safflower oil	Linseed oil	Linseed and fish oils
	%			
Thigh muscle				
16:0	28.61	23.09	20.26	19.32
16:1	4.50	3.04	3.61	3.56
18:0	7.32	7.06	6.92	7.66
18:1	40.80	21.54	32.76	32.03
18:2n-6	14.73	40.31	8.09	11.27
18:3n-3	0.56	0.73	24.03	19.19
20:4n-6	1.63	2.51	0.33	0.88
20:5n-3(EPA)	0.18	0.21	1.16	1.80
22:6n-3(DHA)	0.75	0.70	1.76	3.46
Breast muscle				
16:0	26.99	22.13	20.71	21.11
16:1	4.56	3.34	3.83	3.44
18:0	7.79	6.84	7.32	7.53
18:1	41.31	22.15	29.33	31.81
18:2n-6	13.41	37.26	11.26	10.74
18:3n-3	0.64	0.78	20.79	15.63
20:4n-6	1.76	2.86	1.08	1.11
20:5n-3(EPA)	0.89	1.28	1.81	2.21
22:6n-3(DHA)	1.73	2.58	3.03	5.63
Abdominal fat				
16:0	28.23	16.96	16.49	19.25
16:1	6.26	2.97	3.78	5.64
18:0	5.73	6.69	6.11	6.81
18:1	41.41	23.24	31.16	32.09
18:2n-6	8.22	48.12	13.00	9.06
18:3n-3	0.21	0.17	27.86	16.26
20:4n-6	0.07	0.18	0.04	0.04
20:5n-3(EPA)	0.01	0.01	0.03	1.11
22:6n-3(DHA)	Tr.	Tr.	0.02	1.22

Values are means of five birds.

(安と田中, 1997 より)

(CARRICK and HAUGE, 1926). 魚油の飼料への添加では、魚油の種類、鶏肉の部位、調理方法などによって魚臭の程度は異なるが、ブロイラーの場合、2%から3%の添加が限度であろう。

飼料への魚粉、魚油添加による生産物への臭いの影響をできるだけ省くための研究もなされている。たとえば、STANSBY (1990) は魚を高温に曝すことによって揮発性化合物が生成され、この物質が油脂に入ることが魚臭の原因であるとし、魚から油脂を抽出する前、抽出中及び抽出後の扱い方に充分注意を払うことを勧めている。一方、最近、魚油の精製を改善させるだけでなく、特別な化学的方法によって *n*-3 系 PUFA レベルを高めることがなされている。魚油中の DHA レベルは高いもので 11% 程度であるが、全脂肪酸の 28% 以上 DHA を含んでいる魚油も作られており、このような油脂であれば飼料中に 1% 程の添加で効果の

あることが認められている (SARGENT and HENDERSON, 1995)。また、飼育技術として、ブロイラーを屠殺前 72 時間絶食させると魚臭が認められなかったが、24 時間の絶食では認められた (DEAN *et al.*, 1971)。屠殺前 4 週間魚油を添加しない飼料を給与すると、8 週間給与したブロイラー肉に比べて魚臭は減少したが、いずれの実験においても、同時に *n*-3 系 PUFA レベルも低下している (MILLER *et al.*, 1969; ATKINSON *et al.*, 1972)。DEAN *et al.* (1971) はブロイラー飼料中に活性炭を 0.5% 添加した効果が認められなかったとしている。また、WESSELS *et al.* (1973) は魚粉 (カタクチイワシ) をブロイラーに給与する前に、水、酸あるいはアルコールで処理した結果、水あるいは酸ではブロイラー肉の魚臭は改善され、これはアミン化合物が除去されたためであろうとしている。アルコール処理が最も魚臭が消え、同時に長鎖 *n*-3 系 PUFA

の85%が消失していた。SALMON *et al.* (1984) はニン油と一緒にメチオンとコリンを飼料に添加した結果、腿肉では魚臭が改善されたが、胸肉では効果がなかったとしている。このように色々な試みがなされているが魚臭の問題は解決していない。そのため1) できるだけ品質の良い、DHA レベルの高い魚油や魚粉を使用する、2) 魚油の添加量を制限し、 α -リノレン酸を含有している植物油と一緒に利用する、3) 抗酸化剤と一緒に添加する、以外に長鎖 *n*-3 系 PUFA を多く含有し、魚臭のない鶏肉を生産する簡単な方法はみあたらない。

10. 要 約

畜産物をヒトの健康に今まで以上に効果のある食品にするために付加価値を付けることが試みられている。その一つが最近話題になっている高度不飽和脂肪酸、いわゆる *n*-6 系及び *n*-3 系の不飽和脂肪酸をより多く取り込んだ畜産物の生産である。*n*-6 系 PUFA は比較的多くの植物油に含まれておりヒトの摂取量も多いが、*n*-3 系 PUFA の摂取量は必ずしも多くなく、*n*-6 系と *n*-3 系の脂肪酸の摂取バランスが不適切になりやすい。そのために *n*-3 系 PUFA、特に、EPA と DHA の摂取量を多くする必要がある。これらの脂肪酸は冠状性心臓病など、色々な病気の予防だけでなく、新生児の成長や脳の発達にも重要な物質である。

魚やその生産物以外の食品から EPA や DHA を摂取することができることはヒトにとって有益なことであり、比較的安価に入手できる鶏卵、鶏肉にこれらの脂肪酸を高いレベルで含有させることは意義のあることである。しかし、魚粉や魚油を飼料に添加することによって魚臭と脂肪の酸化変性の問題が起きる。EPA や DHA が高レベルで含まれている鶏卵、鶏肉を食べることによる健康への利点を考えると、魚油の添加量を制限して植物由来の α -リノレン酸との併用、魚油を高度に精製して DHA レベルを高くするなどして魚臭の問題を解決し、同時に鶏卵、鶏肉中により高いレベルで EPA や DHA を含有させるような技術の確立が必要であろう。

文 献

ATKINSON, A., L. G. SWART, R. P. VAN DER MERVE and J. P. H. WESSELS (1972) Flavor studies with different levels and times of fish meal feeding and some flavor-imparting additives in broiler diets. *Agroanimalia*, **4**: 53-62.

安秉基 (1995) *n*-3 あるいは *n*-6 系不飽和脂肪酸を含有する油脂投与が家禽の脂質代謝に及ぼす影響に関する研究. 87-118. 岐阜大学大学院連合農学研究所博士論文.

安秉基, 田中桂一 (1997) 未発表.

BJERVE, K. S., O. BREKKE, K. S. FOUIGNER and K. MIDTHJELL (1989) Omega-3 and omega-6 fatty acids in serum lipids and their relationship to human disease. in *Dietary ω 3 and ω 6 fatty acids: Biological effects and nutritional essentiality.* (GALLI, C. and A. P. SIMOPOULOS, eds) 241-251. Plenum Press. New York and London.

BIVINS, B. A., R. M. BELL, R. P. RAPP and W. O. GRIFFEN, JR (1983) Linoleic acid versus linolenic acid: What is essential? *J. Parent. Ent. Nutr.*, **7**: 473-478.

CARRICK, C. W. and S. M. HAUGE (1926) The effect of cod liver oil upon flavor in poultry meat. *Poult. Sci.*, **5**: 213-215.

CATON, L. and S. LEESON (1990) Research note: dietary flax and egg composition. *Poult. Sci.*, **69**: 1617-1620.

CHERIAN, G. and J. S. SIM (1991) Effect of feeding full fat flax and canola seeds to laying hens on the fatty acid composition of eggs, embryos and newly hatched chicks. *Poult. Sci.*, **70**: 917-922.

CHERIAN, G. and J. S. SIM (1992) Preferential accumulation of *n*-3 fatty acids in the brain of chicks from eggs enriched with *n*-3 fatty acids. *Poult. Sci.*, **71**: 1658-1668.

CHOI, Y. S., C. AHN, H. I. RHEE, M. CHOE, C. H. KIM, S. Y. LEE and M. SUGANO (1993) Comparative effects of dietary palm oil, perilla oil and soybean oil on lipid profiles in differently aged rats fed on hypercholesterolemic diets. *Biosci. Biotech. Biochem.*, **57**: 65-68.

CRAWFORD, M. A. (1992) The role of dietary fatty acids in biology: Their place in the evolution of the human brain. *Nutr. Rev.*, **50**: 3-11.

CRUIKSHANK, E. M. (1939) The effect of cod liver oil and fish meal on the flavour of poultry products. *Proc. of 7th World's Poult. Cong.*, **7**: 539-542.

DEAN, P., W. F. LAMOREUX, J. R. AITKEN and F. G. PROUDFOOT (1969) Flavor associated with fish meal in diets fed to broiler chickens. *Can. J. Anim. Sci.*, **49**: 11-15.

DEAN, P., F. G. PROUDFOOT, E. LARMOND and J. R. AITKEN (1971) The effect of feeding diets containing white fishmeal on acceptability and flavor intensity of roasted broiler chickens. *Can. J. Anim. Sci.*, **51**: 15-20.

DECKER, E. A. and A. H. CANTOR (1992) Fatty acids in poultry and egg products. in *Fatty acids in foods and their health implications* (CHOW, C. K., ed.) 137-167. Marcel Dekker. New York.

- DE GOMEZ DUMM, I. N. T. and R. R. BRENNER (1975) Oxidative desaturation of alpha-linolenic, linoleic, and stearic acids by human liver microsomes. *Lipids*, **10**: 315-317.
- FARRELL, D. (1992) The increase in *n*-3 fatty acids in plasma of humans consuming enriched eggs. *Proc. Nutr. Soc.*, **54**: 10A.
- CLANDININ (1988) Differential effects of dietary linoleic and α -linolenic acid on lipid metabolism in rat tissues. *Lipids*, **23**: 847-852.
- GARG, M. L., A. A. WIERZBICKI, A. B. R. THOMSON and M. T. CLANDININ (1989) Dietary saturated fat level alters the competition between α -linolenic and linoleic acid. *Lipids*, **24**: 334-339.
- GRUNDY, S. M. and M. A. DENKE (1990) Dietary influences on serum lipids and lipoproteins. *J. Lipid Res.*, **31**: 1149-1172.
- HARGIS, P. S. and M. E. VAN ELSWYK (1993) Manipulating the fatty acid composition of poultry meat and eggs for the health conscious consumer. *World's Poul. Sci. J.*, **49**: 251-264.
- HARGIS, P. S., M. E. VAN ELSWYK and B. M. HARGIS (1991) Dietary modification of yolk lipid with menhaden oil. *Poult. Sci.*, **70**: 874-883.
- HEGSTED, D. M., R. M. MCGRANDY, M. L. MYERS and F. J. STARE (1965) Quantitative effects of dietary fat on serum cholesterol in man. *Am. J. Clin. Nutr.*, **17**: 281-295.
- HUANG, Z.-B., H. LEIBOVITZ, C. M. LEE and R. MILLAR (1990) Effect of dietary fish oil on ω -3 fatty acid levels in chicken eggs and thigh flesh. *J. Agr. Food Chem.*, **38**: 743-747.
- HULAN, H. W., R. G. ACKMAN, W. M. N. RATNAYAKE and F. G. PROUDFOOT (1988) Omega-3 fatty acid levels and performance of broiler chickens fed redfish meal or redfish oil. *Can. J. Anim. Sci.*, **68**: 533-547.
- HULAN, H. W., R. G. ACKMAN, W. M. N. RATNAYAKE and F. G. PROUDFOOT (1989) Omega-3 fatty acid levels and general performance of commercial broilers fed practical levels of redfish meal. *Poult. Sci.*, **68**: 153-162.
- ISHINAGA, M., M. KAKUTA, H. NARITA and M. KITO (1983) Inhibition of platelet aggregation by dietary linseed oil. *Agri. Biol. Chem.*, **47**: 903-906.
- JIANG, Z. and J. S. SIM (1993) Consumption of *n*-3 polyunsaturated fatty acid-enriched eggs and changes in plasma lipids of human subjects. *Nutr.*, **9**: 513-518.
- KEYS, A., J. T. ANDERSON and F. GRANDE (1965) Serum cholesterol response to change in the diet: particular saturated fatty acids in the diet. *Metabol.*, **14**: 776-787.
- KINSELL, L. W., G. D. MICHAELS, J. W. PARTRIDGE, L. A. BOLING, H. E. BALCH and G. C. COCHRANE (1953) Effect upon serum cholesterol and phospholipids of diets containing large amounts of vegetable fat. *J. Clin. Nutr.*, **1**: 231-244.
- LANDS, W. E. M. (1986) Renewed questions about polyunsaturated fatty acids. *Nutr. Rev.*, **44**: 189-195.
- LEE, J. H., M. SUGANO and T. IDE (1988) Effects of various combinations of ω 3 and ω 6 polyunsaturated fats with saturated fat on serum lipid levels and eicosanoid production in rats. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **34**: 117-129.
- LESKANICH, C. O., K. R. MATTHEWS, C. C. WARKUP, R. C. NOBLE and M. HAZZLEDINE (1996) The effect of dietary oil containing (*n*-3) fatty acids on the fatty acid, physicochemical and organoleptic characteristics of pig meat and fat. *J. Anim. Sci.*, **75**: 673-683.
- LI, J., M. G. WETZEL and P. J. O'BRIEN (1992) Transport of *n*-3 fatty acids from the intestine to the retina in rat. *J. Lipid Res.*, **33**: 539-548.
- MARION, J. E. and J. G. WOODROOF (1963) The fatty acid composition of breast, thigh, and skin tissues of chicken broilers as influenced by dietary fats. *Poult. Sci.*, **48**: 1202-1207.
- MARSHALL, A. C., A. R. SAMS and M. E. VAN ELSWYK (1994) Oxidative stability and sensory quality of stored eggs from hens fed 1.5% menhaden oil. *J. Food Sci.*, **59**: 561-563.
- MAURICE, D. V. (1994) Dietary fish oil: Feeding to produce designer eggs. *Feed Management*, **45**: 29-32.
- MILLER, D., K. C. LEONG and P. SMITH (1969) Effect of feeding and withdrawal of menhaden oil on ω 3 and ω 6 fatty acid content of broiler tissue. *J. Food Sci.*, **34**: 136-141.
- MILLER, D. and P. ROBISCH (1969) Comparative effect of herring, menhaden and safflower oils on broiler tissues' fatty acid composition and flavor. *Poult. Sci.*, **48**: 2146-2157.
- NASH, D. M., R. M. G. HAMILTON and H. W. HULAN (1995) The effect of herring meal on the omega-3 fatty acid content of plasma and egg yolk lipids of laying hens. *Can. J. Anim. Sci.*, **75**: 247-253.
- NESTEL, P. I. (1987) Polyunsaturated fatty acids (*n*-3, *n*-6). *Am. J. Clin. Nutr.*, **45**: 1161-1167.

- NEURINGER, M., W. E. CONNOR, D. S. LIN, L. BARSTAD and S. LUCK (1986) Biochemical and functional effects of prenatal and postnatal $\omega 3$ fatty acid deficiency on retina and brain in rhesus monkeys. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **86**: 4024-4025.
- NEUDOERFFER, T. S. and C. H. LEA (1967) Effects of dietary polyunsaturated fatty acids on the composition of the individual lipids of turkey breast and leg muscle. *Br. J. Nutr.*, **21**: 691-714.
- NEURINGER, M., W. E. CONNOR, C. V. PETTEN and L. BARSTAD (1984) Dietary omega-3 fatty acid deficiency and visual loss in infant rhesus monkeys. *J. Clin. Invest.*, **73**: 272-276.
- NOBLE, R. C. (1987) Egg Lipids. in *Egg Quality—Current Problems and Recent Advances* (WELLS, R. G. and C. G. BELYAVIN, eds.) 159-177. Butterworths, London.
- NOBLE, R. C., B. K. SPEAKE, R. MCCARTNEY, C. M. FOGGIN and D. C. DEEMING (1996) Yolk lipids and their fatty acids in the wild and captive ostrich (*Struthio camelus*). *Comp. Biochem. Phys. Series B* **113B**: 753-756.
- OH, S. Y., C.-H. H. LIN, J. RYUE and D. E. BELL (1994) Eggs enriched with omega-3 fatty acids as a wholesome food. *J. Applied Nutr.*, **46**: 15-25.
- OH, S. Y., J. RYU, C.-H. HSIEH and D. E. BELL (1991) Eggs enriched in $\omega-3$ fatty acids and alterations in lipid concentrations in plasma and lipoproteins and in blood pressure. *Am. J. Clin. Nutr.*, **54**: 689-695.
- PHETTEPLACE, H. W. and B. A. WATKINS (1990) Lipid measurements in chickens fed different combinations of chickens fat and menhaden oil. *J. Agr. Food Chem.*, **38**: 1848-1853.
- RATNAYAKE, W. M. N., R. G. ACKMAN and H. W. HULAN (1989) Effect of redfish meal enriched diets on the taste and $n-3$ PUFA of 42-day-old broiler chickens. *J. Sci. Food Agr.*, **49**: 59-74.
- SALMON, R. E., D. FROELICH and G. BUTLER (1984) Effect of canola meal, fish meal and choline plus methionine on the sensory quality of broilers. *Poult. Sci.*, **63**: 1994-1998.
- SARGENT, J. R. and R. J. HENDERSON (1995) Marine ($n-3$) polyunsaturated fatty acids. in *Developments in Oils and Fats* (HAMILTON, R. J. ed) 32-65. Chapman and Hall, London.
- SCAIFE, J. R., J. MOYO, H. GALBRAITH and W. MICHIE (1990) Effect of different dietary supplemental fats and oils on growth performance and fatty acid composition of tissues in female broilers. *Proc. Nutr. Soc.*, **49**: 130A.
- SIMOPOULOS, A. P. (1991) Omega-3 fatty acids in health and disease and in growth and development. *Am. J. Clin. Nutr.*, **54**: 438-463.
- SIMOPOULOS, A. P. and N. SALEM, JR. (1992) Egg yolk as a source of long-chain polyunsaturated fatty acids in infant feeding. *Am. J. Clin. Nutr.*, **55**: 411-414.
- SCOTT, B. L. and N. G. BAZAN (1989) Membrane docosahexaenoate is supplied to the developing brain and retina by the liver. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **86**: 2903-2907.
- 島崎弘幸 (1992) 脂質の栄養と代謝—必須脂肪酸. 季刊 化学総説, **16**: 121-130.
- SPEAKE, B. K., C. CRISTOFORI, R. J. MCCARTNEY and R. C. NOBLE (1996) The relationship between the fatty acid composition of the lipids of the yolk and the brain of the duck embryo. *Biochem. Soc. Trans.*, **24**: 181S.
- STANSBY, M. E. (1962) Speculations on "fishy" odors. *Food Technol.*, **16**: 28-32.
- STANSBY, M. E. (1990) Deterioration. in: *Fish Oil in Nutrition* (STANSBY, M. E., ed) 120-140. Van Nostrand Reinhold, New York.
- TINOCO, J., M. A. WILLIAMS, I. HINCENGERGS and R. L. LYMAN (1971) Evidence for nonessentiality of linolenic acid in the diet of the rat. *J. Nutr.*, **101**: 937-946.
- UTERMOHLEN, V. and M. A. M. TUCKER (1986) Possible effects of dietary $n-6$ infection. *Proc. Nutr. Soc.*, **45**: 327-331.
- VAN ELSWYK, M. E. and A. R. SAMS and P. S. HARGIS (1992) Composition, functionality, and sensory evaluation of eggs from hens fed dietary menhaden oil. *J. Food Sci.*, **57**: 342-344.
- VENDELL, J. H. and J. N. PUTNAM (1945) Fish oil flavor in eggs. *Poult. Sci.*, **24**: 285-286.
- WESSELS, J. P. H., A. ATKINSON, R. P. VAN DER MERVE and J. H. DE JONGH (1973) Flavor studies with fish meals and with fish oil fractions in broiler diets. *J. Sci. Food Agr.*, **24**: 451-461.
- YAMAMOTO, N., M. SAITOH, A. MORIUCHI, M. NOMURA and H. OKUYAMA (1987) Effect of dietary α -linolenate/linoleate balance on brain lipid compositions and learning ability of rats. *J. Lipid Res.*, **28**: 144-151.
- YONEKUBO, A., S. HONDA, M. OKANO, K. TAKAHASHI and Y. YAMAMOTO (1994) Effects of dietary fish oil during the fetal and postnatal periods on

- the learning ability of postnatal rats. *Biosci. Biotech. Biochem.*, **58**: 799-801.
- YAU, J.-C., J. H. DENTON, C. A. BAILEY and A. R. SAMS (1991) Customizing the fatty acid content of broiler tissues. *Poult. Sci.*, **70**: 167-172.