

最近の日本人乳組成に関する全国調査 (第九報)

——人乳脂質のトリグリセリド構造について——

雪印乳業株式会社栄養科学研究所

中 埜 拓・村上 雄二・井戸田 正

Key Words: トリグリセリド, トリグリセリド構造, 人乳, 母乳, 脂肪

要 旨

日本人の人乳中トリグリセリド (TG) の脂肪酸について, その組成, 結合位置および分子量分布を調べた。TG の脂肪酸組成では, オレイン酸 (C18: 1n-9), パルミチン酸 (C16: 0) およびリノール酸 (C18: 2n-6) が主要な脂肪酸であり, TG 全体の約65%を占めた。TG 中の脂肪酸の結合位置は, 泌乳期による違いがほとんど認められなかった。飽和脂肪酸では, ラウリン酸 (C12: 0), ミリスチン酸 (C14: 0) と徐々に2位への結合割合が増加し, パルミチン酸において, 2位への結合割合が, 75~80%と全脂肪酸中で最大の値を示した。しかしながら, ステアリン酸 (C18: 0) は, 逆に2位への結合割合が特異的に低くなった。また, 炭素数20 (C20) 以上の脂肪酸では, 再び2位への結合割合が高くなった。不飽和脂肪酸では, オレイン酸やリノール酸などのC18の脂肪酸は, 1, 3位に特異的に高く結合していた。アラキドン酸 (C20: 4n-6) を除いたC20の脂肪酸は, 1, 3位に特異的に高く結合している傾向にあった。ドコサヘキサエン酸 (C22: 6n-3) をはじめとするC22の脂肪酸では, 比較的2位への結合割合が高かった。TGの分子量分布は, C52を中心にC46~C54に分布し, 全体の80%以上を占めた。また, 初乳は成熟乳に比べ, C48以下のTGがやや低値を示した。これらの結果から, 人乳のTGに含まれる脂肪酸の合計炭素数は52で, 2位にパルミチン酸 (C16) が結合し, 1, 3位にオレイン酸 (C18) ならびにリノール酸 (C18) が結合したものが最も主要な形態であると推察された。

緒 言

人乳の成分を明らかにすることは, 乳児栄養の立場だけではなく, 乳児用調製粉乳の開発の基準としても重要である。人乳中の脂質は, 特に乳児のエネルギー供給源として重要であり, 摂取するエネルギーの約50%を脂質に依存している¹⁾。さ

らに脂質は, 必須脂肪酸の供給源, エイコサノイドの前駆体および脂溶性ビタミンの媒介物として, 乳児の発育に必要な様々な作用を有している²⁾。

人乳中には, 多種類の脂質が存在しているが, その中でもトリグリセリド (以下 TG) は, 総脂質中の約98%を占めている³⁾。この人乳中のTGの消化吸収性については, 乳児にとって牛乳のTGよりも優れているといわれている。その理由として, 脂肪酸組成や融点の違いのほか, TG中の脂肪酸の結合位置やTGの分子量などのTG

別刷請求先: 〒350-11 川越市南台1-1-2

雪印乳業株式会社

栄養科学研究所

中 埜 拓

構造の違いが影響していると考えられている⁴⁾⁵⁾。

人乳中の TG 構造に関する報告は数多く成されているが^{4)6)~19)}、日本人の人乳に関する報告は限られている⁴⁾⁹⁾¹⁰⁾¹³⁾。また、泌乳期による TG 構造の変化を調べた報告は全くみられない。そこで、われわれは、全国規模での日本人の人乳に関して、TG 中の脂肪酸の結合位置および分子量分布を調べ、泌乳期による影響についても検討を加えた。

方 法

1. 人乳試料の採取

全国各地に在住する年齢17歳から41歳までの授乳婦2,434名から、2,727検体の人乳を採取した。このうち、母子の健康状態、乳児の体重、搾乳時刻、搾乳方法などの点で、あらかじめ設定した基準¹⁾に合致した2,279検体を分析の対象とした。1989年1~3月に集めた乳を冬季乳、同年8~9月に集めた乳を夏季乳とし、次に示すような泌乳期に分けた。すなわち、分娩後日数を3~5日、6~10日、11~15日、16~30日、31~60日、61~120日、121~240日、および240~482日の8期間に分け、それぞれの期間にあてはまる試料を等量ずつ混合して、各泌乳期ごとの混合乳を調製した。

2. 結合位置別の脂肪酸組成の測定

1) TG 分画物の調製

人乳試料30mlに10倍量のクロロホルム：メタノールを2：1の割合で混合した溶媒を加え、総脂質画分を抽出した²⁰⁾。総脂質画分100mgを薄層クロマトグラフ用プレート Silica Gel 60F₂₅₄ (Merck) 上にスポットし、石油エーテル：エーテル：酢酸を80：30：1の割合で混合した溶媒中で展開した。紫外線照射下、TG 画分を蛍光検出し、その画分をかきとり、クロロホルム30mlにてTG画分を再抽出した。700×gで10分間遠心分離して上清を100ml容ナス型フラスコに回収した後、残った沈澱にクロロホルム30mlを加えて、さらに再抽出し、同様に上清を回収した。上清は濃縮乾固し、n-ヘキサン3mlに再溶解し、10ml容スピッツ管に回収した。そして、窒素ガス気流下にて再度濃縮乾固し、TG分画物を得た。

2) 2位結合型モノグリセリドの調製

TG はグリセリンに3つの脂肪酸が結合した形態をとるが、そのうち2位に結合した脂肪酸の測定方法として、腓臓リパーゼ処理による方法が知られている²¹⁾。これは、腓臓リパーゼが特異的にTGの1、3位を加水分解する性質を応用して、2位結合型モノグリセリドを調製し、その脂肪酸のみを測定する方法であり、われわれも本法に従った。

TG分画物50mgおよびポリビニルアルコール3.5mlを20ml容バイアルにとり、高速回転ホモジナイザーにて乳化した。さらに、0.1Mリン酸緩衝液(pH8.0)2ml、8%パンクレアチン(和光純薬工業)溶液5mlを添加し、37°C、2時間、振とうさせながら加水分解した。そして、アセトン：エタノールを1：1の割合で混合した溶媒2.5mlを加えた後、3N塩酸にてpH2に調整し、等量のジエチルエーテルを加えた。次に、400×gで5分間遠心分離して、上清(エーテル層)を回収した。上清は濃縮乾固し、クロロホルム：メタノールを1：2の割合で混合した溶媒(C/M(1/2))を加え3mlに再溶解し、10ml容スピッツ管に回収した。そして、窒素ガス気流下にて再度濃縮乾固し、TG分解物を得た。

次に、TG分解物を薄層クロマトグラフ用プレート Silica Gel 60F₂₅₄ (Merck) 上にスポットし、石油エーテル：エーテル：ギ酸を70：30：1の割合で混合した溶媒中で展開した。紫外線照射下、モノグリセリド(MG)画分を蛍光検出し、その画分をかきとり、C/M(1/2)5mlを加え、700×gで10分間遠心分離してMG画分を再抽出した。抽出液(上清)は25ml容ナス型フラスコに回収した後、残った沈澱にC/M(1/2)5ml加えてさらに再抽出し、同様に上清を回収した。上清は濃縮乾固し、C/M(1/2)1mlに再溶解し、10ml容スピッツ管に回収した。そして、窒素ガス気流下にて再度濃縮乾固し、MG分画物を得た。

3) 脂肪酸組成の測定

上述の方法で得られたTGおよびMG分画物の脂肪酸組成を、キャピラリーガスクロマトグラフ(FGC)にて測定した。

表1 人乳トリグリセリドおよびその結合位置別の脂肪酸組成 (%)

脂肪酸名	3-5日		6-10日		11-15日		16-30日	
	総TG	2位	総TG	2位	総TG	2位	総TG	2位
C8:0	0.06	0.00	0.13	0.03	0.14	0.03	0.12	0.00
C10:0	0.72	0.15	1.29	0.39	1.74	0.57	1.52	0.45
C12:0	4.35	3.24	6.13	4.91	7.32	6.18	6.17	5.73
C14:0	7.27	10.26	7.68	11.31	8.57	11.28	6.63	10.47
C16:0	24.27	53.40	22.77	51.09	21.36	49.32	21.22	50.64
C16:1n-7	2.46	2.46	2.62	2.76	2.44	2.85	2.65	3.00
C18:0	5.59	1.41	7.68	5.52	1.41	7.58	6.03	1.62
C18:1n-9	28.53	10.38	37.61	28.34	9.66	37.68	29.89	10.47
C18:2n-6	11.63	6.93	13.98	12.08	7.17	14.54	13.23	16.05
C18:3n-6	0.05	0.03	0.06	0.06	0.06	0.06	0.10	0.06
C18:3n-3	1.08	0.60	1.32	1.17	0.69	1.41	1.37	0.90
C20:0	0.21	0.45	0.09	0.19	0.36	0.11	0.20	0.39
C20:2n-6	0.73	0.36	0.92	0.52	0.27	0.65	0.36	0.18
C20:3n-6	0.51	0.30	0.62	0.42	0.24	0.51	0.33	0.15
C20:4n-6	0.52	0.78	0.39	0.51	0.72	0.41	0.47	0.69
C20:4n-3	0.17	0.03	0.24	0.16	0.03	0.23	0.14	0.03
C20:5n-3	0.18	0.12	0.21	0.22	0.12	0.27	0.26	0.21
C22:0	0.08	0.18	0.03	0.06	0.12	0.03	0.06	0.12
C22:1n-9	0.23	0.21	0.24	0.17	0.18	0.17	0.15	0.18
C22:4n-6	0.26	0.51	0.14	0.16	0.33	0.08	0.10	0.21
C22:5n-3	0.48	0.81	0.32	0.38	0.69	0.23	0.31	0.57
C22:6n-3	1.26	1.80	0.99	1.21	1.74	0.95	1.05	1.38
C24:0	0.11	0.30	0.02	0.08	0.00	0.12	0.04	0.00
Others	9.25	5.29	8.13	5.50	7.42	5.59	7.88	5.35

脂肪酸名	31-60日		61-120日		121-240日		241-482日		総平均値	
	総TG	2位	総TG	2位	総TG	2位	総TG	2位	総TG	2位
C8:0	0.13	0.00	0.10	0.00	0.12	0.00	0.08	0.00	0.11	0.01
C10:0	1.48	0.45	2.00	0.42	1.37	0.45	1.13	0.39	1.31	0.41
C12:0	5.56	4.98	5.85	5.44	5.28	5.52	6.13	5.88	5.94	5.26
C14:0	5.95	9.51	4.17	6.15	10.20	4.13	7.03	11.55	7.12	10.91
C16:0	20.45	49.80	5.78	20.45	49.80	5.78	20.11	49.08	20.84	49.71
C16:1n-7	2.61	3.18	2.33	2.40	2.94	2.13	2.36	2.91	2.09	2.52
C18:0	6.01	1.68	8.18	6.46	1.77	8.81	6.22	1.62	6.38	1.62
C18:1n-9	30.86	11.46	40.56	30.67	11.16	40.43	30.31	10.59	28.85	10.02
C18:2n-6	14.10	8.55	16.88	14.43	8.70	17.30	14.41	8.64	14.01	8.43
C18:3n-6	0.11	0.09	0.12	0.11	0.09	0.12	0.10	0.06	0.08	0.06
C18:3n-3	1.53	1.11	1.74	1.47	1.05	1.68	1.46	1.02	1.40	0.99
C20:0	0.20	0.39	0.11	0.21	0.45	0.09	0.20	0.42	0.21	0.42
C20:2n-6	0.33	0.18	0.41	0.30	0.12	0.39	0.27	0.12	0.35	0.27
C20:3n-6	0.31	0.15	0.39	0.27	0.12	0.35	0.24	0.06	0.33	0.20
C20:4n-6	0.38	0.45	0.35	0.37	0.39	0.36	0.36	0.33	0.34	0.36
C20:4n-3	0.14	0.03	0.20	0.12	0.03	0.17	0.10	0.03	0.09	0.03
C20:5n-3	0.25	0.15	0.30	0.24	0.12	0.30	0.23	0.12	0.29	0.12
C22:0	0.06	0.12	0.03	0.06	0.12	0.03	0.06	0.12	0.12	0.03
C22:1n-9	0.14	0.15	0.14	0.14	0.12	0.15	0.12	0.12	0.14	0.12
C22:4n-6	0.07	0.15	0.03	0.07	0.15	0.03	0.06	0.12	0.06	0.12
C22:5n-3	0.29	0.54	0.17	0.30	0.48	0.21	0.27	0.45	0.18	0.28
C22:6n-3	0.95	1.38	0.74	0.96	1.26	0.81	0.91	1.17	0.78	1.26
C24:0	0.04	0.00	0.06	0.04	0.00	0.06	0.03	0.00	0.03	0.00
Others	8.05	5.50	7.95	5.23	7.53	5.14	7.62	4.72	7.98	5.29

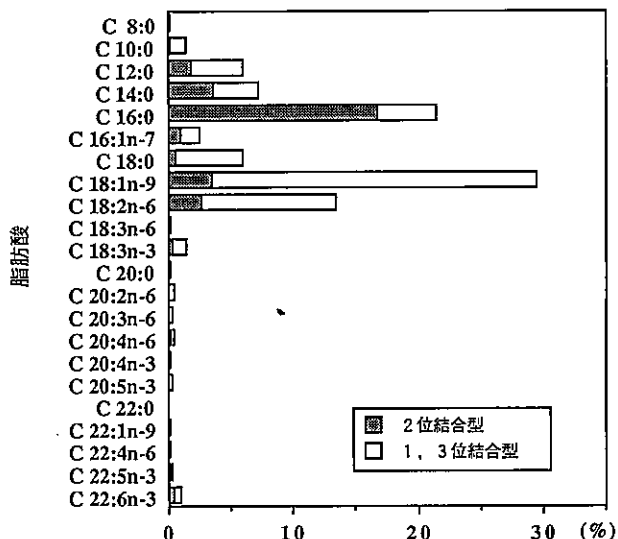


図1 人乳トリグリセリドの結合位置別の脂肪酸組成

TG 分画物100mgをn-ヘキサン1mlに溶解し、さらに2N水酸化カリウム・メタノール200 μ lを添加し混合した。混合液を400 \times gで5分間遠心分離して上層液を回収し、3倍量のn-ヘキサンで希釈した後、キャピラリーGCに注入した。

また、MG分画物15mgをC/M(1/2)1mlに溶解し、さらに2N水酸化カリウム・メタノール180 μ lを添加し混合した。次にn-ヘキサン600 μ lを加え、400 \times gで5分間遠心分離して上層液を回収し、キャピラリーGCに注入した。

GCの測定条件は、以下のとおりとした。装置：HP5890型(Hewlett Packard)、カラム：Fused Silica DB-WAX, 0.25mm \times 30m(Hewlett Packard)、検出器：FID、キャリアーガス流量：ヘリウム1ml/min、カラム温度：140~230 $^{\circ}$ C、昇温速度：2 $^{\circ}$ C/min、検出器温度：370 $^{\circ}$ C。

3. 分子量分布の測定

上述の方法で得たTG分画物の分子量分布を調べるため、GCを用いてTG分子の炭素数の分布を測定した。TG分画物はクロロホルムにて20倍に希釈し、1.4 μ lをGCに注入した。

なお、GCの測定条件は、以下のとおりとした。装置：GC-7A型(島津製作所)、カラム：ガラス製、3mm \times 30cm、固定相：DEXSIL300GC(3%)、担体：Chromosorb W(AW)DMCS60/80mesh、

検出器：FID、キャリアーガス流量：窒素33ml/min、カラム温度：240~360 $^{\circ}$ C、昇温速度：4 $^{\circ}$ C/min、検出器温度：370 $^{\circ}$ C。

結果

1. 結合位置別の脂肪酸組成

人乳中総TGの泌乳期別の脂肪酸組成について、夏季乳および冬季乳から平均値を求め、表1に示した。人乳総TGの脂肪酸組成の特徴は、オレイン酸(C18:1n-9)が約30%で最も多く、次いでパルミチン酸(C16:0)が約20%、リノール酸(C18:2n-6)が約15%で、これら3つの脂肪酸で全体の65%を占めた。

人乳中TGの結合位置別の脂肪酸組成について、泌乳期別に夏季乳および冬季乳から平均値を求め、表1に示した。脂肪酸組成は、総TGと同様に2位および1,3位結合型ごとに示した。なお、2位結合型の脂肪酸組成はMG分画物の脂肪酸組成から求め、1,3位結合型の脂肪酸組成は{(TG分画物の脂肪酸組成 \times 3)-MG分画物の脂肪酸組成}/2として求めた。また、全泌乳期の平均値を図1に示した。

各脂肪酸のTG結合位置の泌乳期変化を図2-1および2に示した。1,3位および2位への結合割合は、各脂肪酸が1,2,3位に均等な割

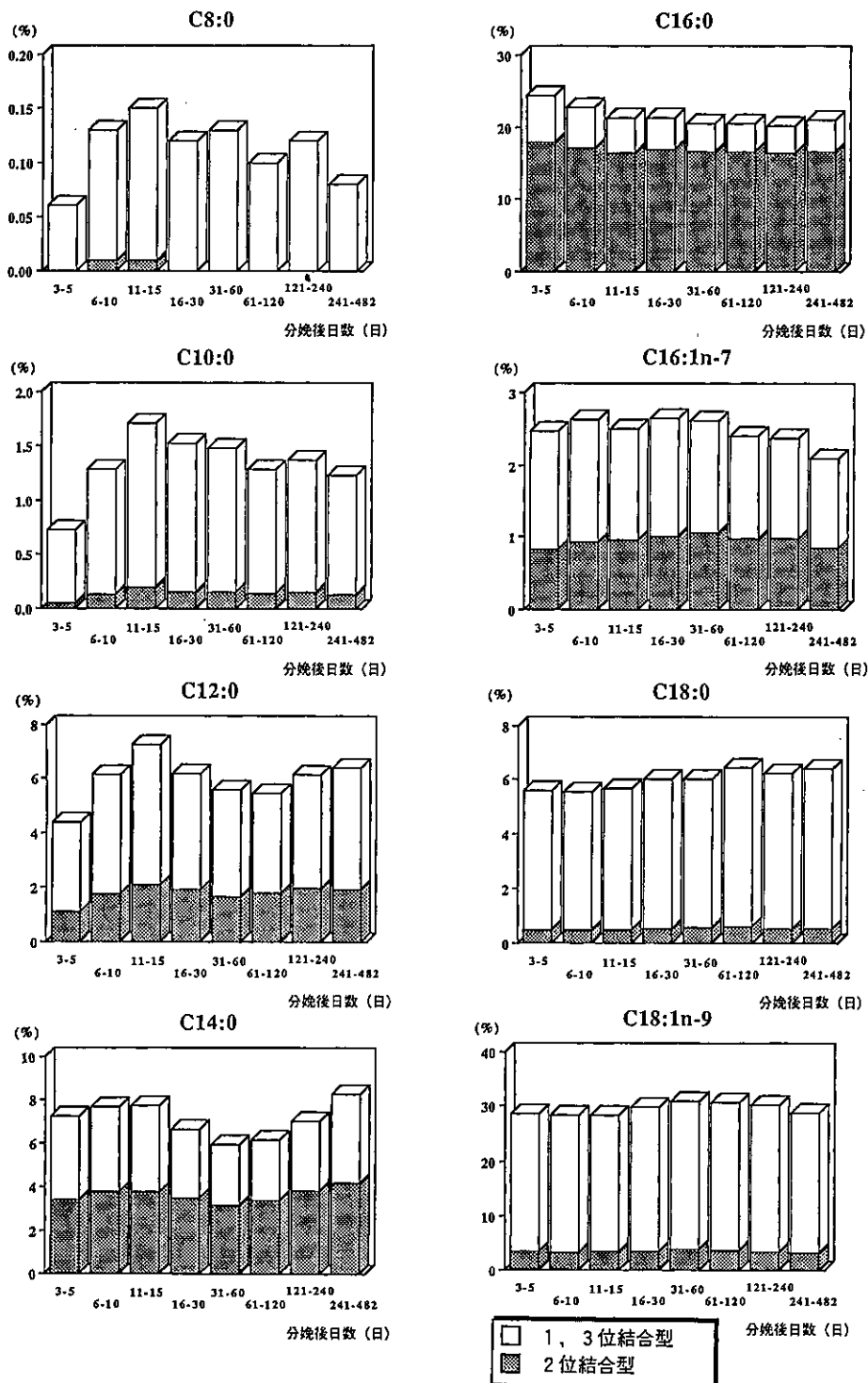


図2-1 各脂肪酸のトリグリセリド結合位置の泌乳期変化

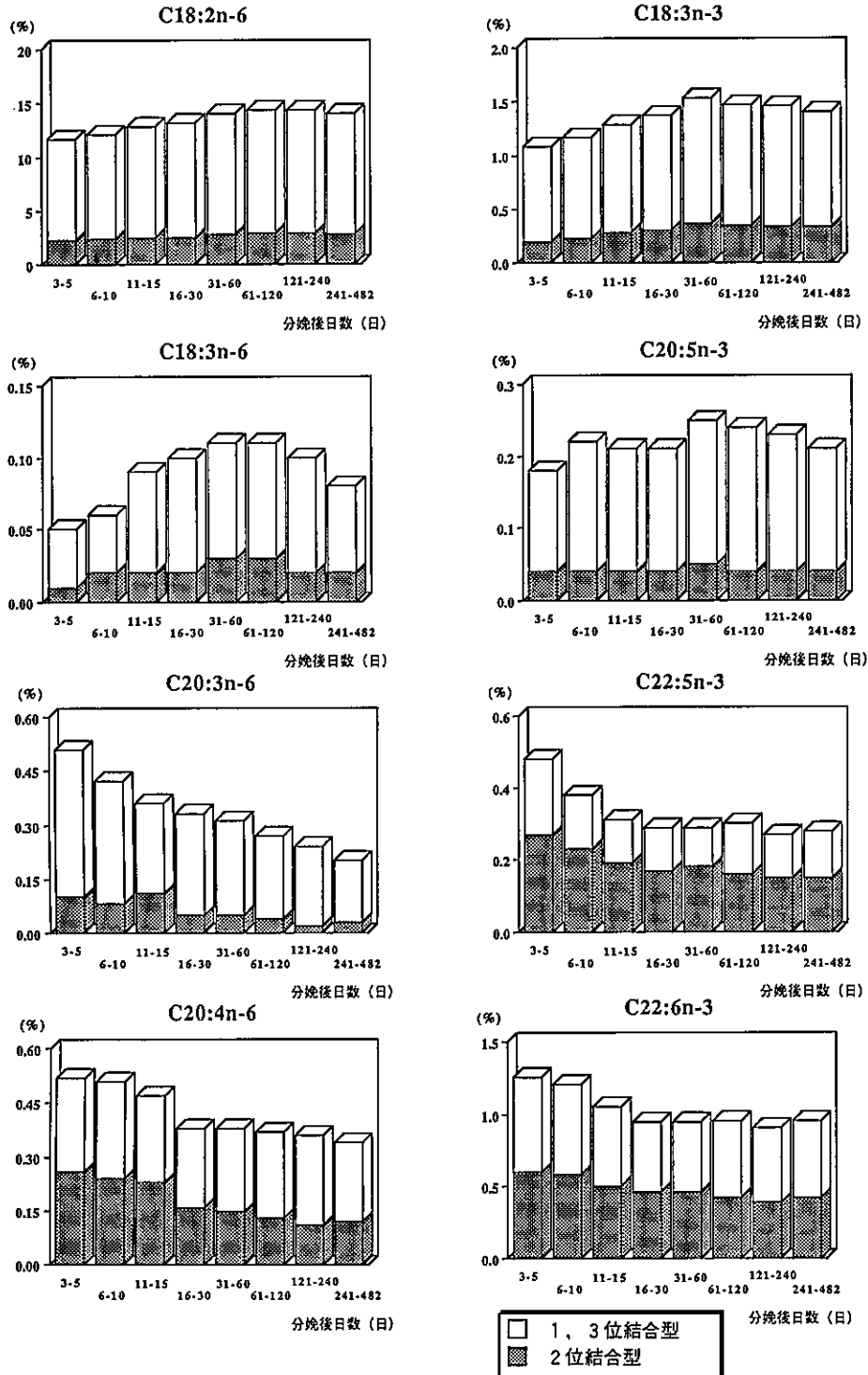


図 2-2 各脂肪酸のトリグリセリド結合位置の泌乳期変化

表2 人乳トリグリセリドの分子量分布 (%)

炭素数	3-5日	6-10日	11-15日	16-30日	31-60日	61-120日	121-240日	241-482日	総平均値 ± 標準偏差
C34	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1 ± 0.0
C36	0.1	0.4	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3 ± 0.1
C38	0.4	0.9	1.2	0.9	0.8	0.8	0.9	0.8	0.8 ± 0.2
C40	1.0	1.9	2.4	1.9	1.7	1.6	1.8	1.7	1.7 ± 0.4
C42	2.3	3.6	4.3	3.6	3.2	3.1	3.5	3.5	3.4 ± 0.6
C44	4.9	6.3	7.3	6.4	5.8	5.7	6.2	6.5	6.1 ± 0.7
C46	8.7	9.9	10.7	9.7	9.0	9.0	9.7	10.3	9.6 ± 0.7
C48	12.5	12.5	12.6	12.1	11.5	11.7	12.3	13.1	12.3 ± 0.5
C50	19.4	17.7	16.7	16.8	16.4	16.4	16.4	17.0	17.1 ± 1.0
C52	31.0	29.0	28.1	30.7	32.1	31.9	30.7	29.6	30.4 ± 1.4
C54	13.2	12.6	12.0	13.2	14.7	15.1	14.3	13.3	13.6 ± 1.1
C56	4.2	3.4	2.8	2.9	3.0	2.9	2.5	2.6	3.0 ± 0.5
C58 以上	2.3	1.8	1.4	1.4	1.5	1.4	1.2	1.3	1.5 ± 0.4

合で結合している場合、その結合割合は各33%になる。すなわち、2位への結合割合が33%以上の場合は、特異的に2位に結合していると考えられる。例えば、3～5日目のパルミチン酸の場合、総TGが24.27%、2位結合型が53.40%であるが、2位への結合割合を算出すると $53.40 / (24.27 \times 3) \times 100 = 73.34\%$ となる。この場合は、2位への結合割合が33%以上であるため、特異的に2位に結合していることになる。

飽和脂肪酸については、カプリル酸(C8:0)のほとんどが1,3位に結合しているのに対して、カプリン酸(C10:0)、ラウリン酸(C12:0)、ミリスチン酸(C14:0)は、炭素数が増すとともに、2位への結合割合が高くなった。そして、パルミチン酸においては、2位への結合割合が、75～80%と全脂肪酸中で最大の値を示した。しかしながら、ステアリン酸(C18:0)は、逆に2位の結合割合が特異的に低くなった。また、アラキニン酸(C20:0)やベヘン酸(C22:0)では、再び2位への結合割合が高くなった。

不飽和脂肪酸のうち、オレイン酸やリノール酸などの炭素数18(C18)の不飽和脂肪酸は、1,3位に特異的に結合していた。C20の不飽和脂肪酸も、アラキドン酸(C20:4n-6)を除き、1,3位に特異的に高く結合している傾向にあった。C22の不飽和脂肪酸では、比較的2位への結合割合が高く、ドコサヘキサエン酸(C22:6n-3)では2位の結合割合は50%以上を示した。

泌乳期変化については、TG全体では一部の脂肪酸に変化が認められたが、2位の結合割合には、特に大きな変動が認められなかった。

2. TGの分子量分布

人乳TGの泌乳期別の分子量分布について、夏季乳および冬季乳から平均値を求め、表2に示した。また、全泌乳期の平均値を図3に、比較として牛乳中TGの分子量分布を図4に示した²²⁾。

人乳TGの分子量分布は、C52をピークとして、C46からC54までに分布し、全体の80%以上を占めていた。C52は全体の約30%、次いでC50が約17%、そしてC48とC54が11～15%であった。泌乳期変化については、3～5日目の初乳でそれ以降の乳よりも、C48以下のTGがやや低値を示した以外、大きな差は認められなかった。

一方、牛乳TGの分子量分布は、人乳に比べ低分子画分が多く、人乳の分子量分布とは大きく異なっていた。

考 察

総TGの脂肪酸組成は、オレイン酸、パルミチン酸、リノール酸の順に多く、これら3つの脂肪酸で全体の65%を占め、すでに報告している総脂質の脂肪酸組成²³⁾とほぼ一致したことから、TGは総脂質の主体であると考えられた。

人乳中のTG構造に関しては、これまでも数多くの報告が成されている。TGの2位と1,3位の脂肪酸組成を調べた報告^{4)6)~11)}では、主に炭

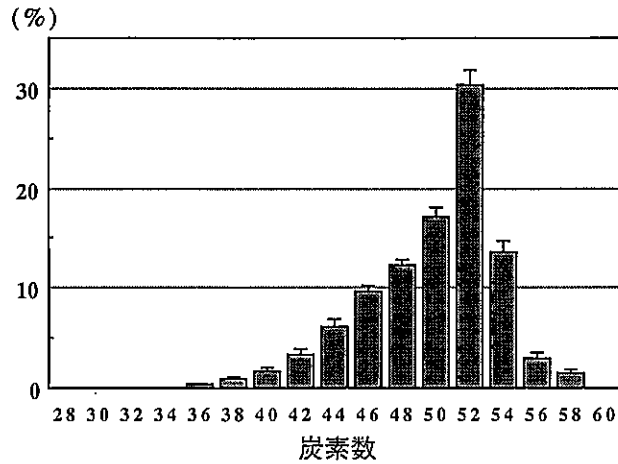
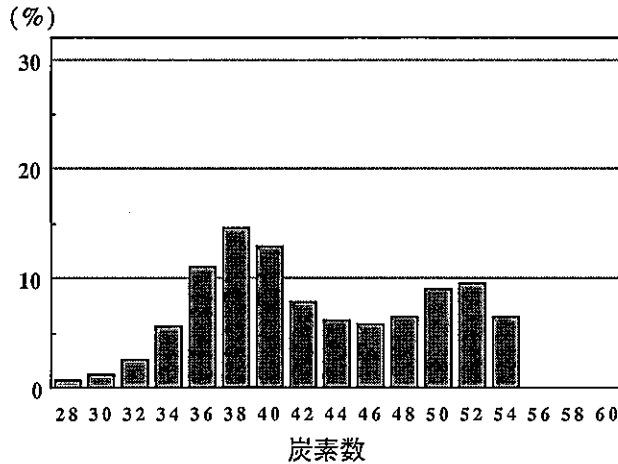


図3 人乳トリグリセリドの分子量分布

図4 牛乳トリグリセリドの分子量分布²²⁾

素数が18までの脂肪酸を調べており、結合割合の分析値に若干の差異はあるものの、その結合割合はパルミチン酸が2位で高く、ステアリン酸、オレイン酸およびノール酸が1, 3位で高いという傾向を示しており、われわれの結果と一致した。

さらに、1, 2, 3位を分別して測定した報告^{12)~16)}では、ステアリン酸の結合割合は1位、オレイン酸およびノール酸の結合位置は3位で高いとしている。これらの各位置を測定した結果を、2位および1, 3位に分けて比較した場合も、その結合割合はパルミチン酸では2位で高く、C18が1, 3位に高いという傾向を示し、われわれの結果と同様であった。C20以上の脂肪酸は、報告

例が少ないが、その中で Martin らは初乳と成熟乳について詳細に調べている¹⁶⁾。それによると、脂肪酸の結合割合の傾向は、われわれの結果とほぼ一致し、アラキドン酸やドコサヘキサエン酸では、2位と3位に高いことが認められている。

このように、われわれの結果の傾向は、従来の報告とほぼ一致したが、測定値自体については差がある例も認められた。これは、日本人と欧米人では、特にC20以上の脂肪酸は日本人に多いことが認められていること²³⁾²⁴⁾など、両者間の人乳の脂肪酸組成の違いが原因と考えられた。また、これまでの報告は、初乳と成熟乳を比較したものが多く、われわれのように詳細に泌乳期変化を比較

した例はみられなかった。

TGの分子量分布に関する報告は、TG構造に比べて報告例⁴⁾⁷⁾¹⁷⁾¹⁸⁾が少ないが、Wattsらは泌乳期変化について調べている¹⁹⁾。それによると、われわれの結果と同様に、初乳から泌乳8日目までにC48以下の割合が、徐々に増加する傾向がみられたとしている。

このようなTG構造および分子量分布の結果から、人乳のTGは2位にC16の脂肪酸であるパルミチン酸が結合し、1, 3位にC18の脂肪酸であるオレイン酸ならびにリノール酸が結合した、脂肪酸の合計炭素数が52であるものが最も主要な形態と推察された。この点については、これまでに人乳のTG分子種について調べた報告でも、C18-C16-C18のTG分子種が、人乳TGの主要成分であることが示唆されている¹²⁾¹⁵⁾¹⁹⁾。

人乳のTG構造の中で、最も特徴的である飽和脂肪酸の大部分を占めるパルミチン酸が2位に特異的に高い割合で結合している点は、乳児にとってTGの利用性を高める作用があると考えられている。摂取されたTGは膵臓リパーゼによって、TGの1および3位に結合した脂肪酸が切られ、遊離脂肪酸と2位結合型MGに分解され、腸管から吸収される。この時、遊離脂肪酸が長鎖の飽和脂肪酸であるパルミチン酸やステアリン酸の場合、腸管内のカルシウムやマグネシウムイオンと結合し不溶性の石ケンを形成し、脂肪酸の吸収を阻害するといわれている²⁵⁾。また、2位結合型のパルミチン酸は、遊離型のパルミチン酸よりも吸収性に優れ、糞便中への排泄量も少ないことが、2位結合型のパルミチン酸を多く含むラードを用いた実験において、ラット²⁶⁾やヒト乳児⁵⁾²⁷⁾で認められている。また、最近では植物油脂を酵素的にエステル交換し、2位結合のパルミチン酸を特異的に高くした油脂を用いた実験においても、2位結合型のパルミチン酸の優れた吸収性が報告されている^{28)~30)}。さらに、2位結合型のパルミチン酸は、広範囲にミセル形成を促進し、遊離型のステアリン酸の吸収を促進することも報告されている⁵⁾。

一方、乳児期のTGの消化には、膵臓リパーゼ

だけでなく、人乳中に含まれる胆汁酸刺激性リパーゼ(BSSL)が大きく寄与していることが知られ³¹⁾、人乳中のTGが消化吸収されやすい理由のひとつになっている。しかしながら、BSSLは膵臓リパーゼとは異なり、TGの脂肪酸結合位置をランダムに切断する³¹⁾。そのため、2位結合型のパルミチン酸は、BSSLによって遊離型のパルミチン酸になる可能性があり、人乳中TGが消化吸収されやすい理由である2位結合型のパルミチン酸の割合が高いことと、BSSLの存在は同時に成り立たなくなる。この点に関して、Innisらは母乳哺育児の血漿TG構造を調べ、2位結合型のパルミチン酸はそのままの構造で吸収されていることを示し、BSSLによる影響が認められなかったとしている³²⁾。そして、その報告の中で、BSSLは主にアラキドン酸やドコサヘキサエン酸の消化吸収への寄与を考察している。

2位結合型のパルミチン酸の乳児期における、消化吸収性以外の生理的意義に関して、血漿コレステロールに影響を与えるという報告^{33)~36)}などもみられるが、その意義は明確ではない。この点を含め、TG構造が乳児の脂質代謝に与える影響については、今後検討されるべき課題と思われる。

結 論

人乳TG中の脂肪酸の結合位置は、泌乳期による違いがほとんど認められなかった。個々の脂肪酸では、パルミチン酸の2位への結合割合が75~80%と全脂肪酸中で最大値を示した。一方、ステアリン酸、オレイン酸およびリノール酸などのC18の脂肪酸は、1, 3位に特異的に高く結合していた。また、C20以上の飽和脂肪酸は、2位への結合割合が高かった。アラキドン酸を除いたC20の不飽和脂肪酸は、1, 3位に特異的に高く結合している傾向にあった。ドコサヘキサエン酸をはじめとするC22の不飽和脂肪酸は、比較的2位への結合割合が高かった。TGの分子量分布は、C52を中心にC46~C54に分布し、全体の80%以上を占めた。また、初乳はそれ以降の成熟乳よりも、C48以下のTGがやや低値を示した。これらの結果から、人乳のTGに含まれる脂肪酸の合計

炭素数は52で、2位にパルミチン酸(C16)が結合し、1, 3位にオレイン酸(C18)ならびにノール酸(C18)が結合したものが最も主要な形態であると推察された。

謝 辞

稿を終えるにあたり、母乳の提供にご協力を賜りました全国各地の病院の医師、看護婦、栄養士の方々、およびお母様方に厚く御礼申し上げます。

なお、本稿の一部は、平成5年10月に開催された第20回日本小児栄養消化器病学会(札幌)にて発表した。

文 献

- 1) 井戸田正, 桜井稔夫, 石山由美子, 村上雄二, 窪田潤一, 伊井直記, 坂本隆男, 土岐良一, 下田幸三, 浅居良輝: 最近の日本人乳組成に関する全国調査(第一報)一般成分およびミネラル成分について. 日本小児栄養消化器病学会雑誌. 1991; 5: 145-158.
- 2) Hernell O, Blackberg L: Molecular aspects of fat digestion in the newborn. *Acta Paediatr Suppl* 1994; 405: 65-69.
- 3) Jensen R G: *The lipids of human milk*. Boca Raton, Florida: CRC Press, 1989: 65-92.
- 4) 八尋政利: 育児用調製粉乳脂肪の改良に関する栄養学的研究. 雷印乳業研究所報告 1990; 90: 137-203.
- 5) Filer L J JR, Mattoson F H, Fomon S J: Triglyceride configuration and fat absorption by the human infant. *J Nutr* 1969; 99: 293-298.
- 6) Freeman C P, Jack E L, Smith L M: Intramolecular fatty acid distribution in the milk fat triglycerides of several species. *J Dairy Sci* 1965; 48: 853-858.
- 7) Smith S, Watts R, Dils R: Quantitative gas-liquid chromatographic analysis rodent milk triglycerides. *J Lipid Res* 1968; 9: 52-57.
- 8) Hundrieser K E, Clark R M, Brown P B: Distribution of trans-octadecenoic acid in the major glycerolipids of human milk. *J Pediatr Gastroenterol Nutr* 1983; 2: 635-639.
- 9) 寺井健二: 母乳の初乳, 移行乳, 成熟乳およびその冷凍貯蔵における脂質の変動について. 日児誌 1979; 83: 738-747.
- 10) 炭原加代, 橋本 皓: 人乳の初乳, 移行乳, 成熟乳の脂肪酸組成とトランス脂肪酸について. 大阪府立看護短大紀要 1985; 7: 65-70.
- 11) Kallio H, Rua P: Distribution of the major fatty acids of human milk between sn-2 and sn-1, 3 positions of triacylglycerols. *JAOCS* 1994; 71: 985-992.
- 12) Breckenridge W C, Marai L, Kuksis A: Triglyceride structure of human milk fat. *Can J Biochem* 1969; 47: 761-769.
- 13) 横山水映, 小形さよ子, 金田尚志: 人乳および調製粉乳トリグリセリドの脂肪酸結合位置. 栄養と食糧 1976; 29: 335-339.
- 14) Christie W W, Clapperton J L: Structures of the triglycerides of cows' milk, fortified milks (including infant formulae), and human milk. *J Soc Dairy Technol* 1982; 35: 22-24.
- 15) Winter C H, Hoving E B, Muskiet F A J: Fatty acid composition of human milk triglyceride species. Possible consequences for optimal structures of infant formula triglycerides. *J Chromatogr* 1993; 616: 9-24.
- 16) Martin J C, Bognoux P, Antoine J M, Lanson M, Couet C: Triacylglycerol structure of human colostrum and mature milk. *Lipids* 1993; 28: 637-643.
- 17) Breckenridge W C, Kuksis A: Molecular weight distribution of milk fat triglycerides from seven species. *J Lipid Res* 1967; 8: 473-478.
- 18) Watts R, Dils R: Human milk: Quantitative gas-liquid chromatographic analysis of triglyceride and cholesterol content during lactation. *Lipids* 1968; 3: 471-476.
- 19) Dotson K D, Jerrell J P, Picciano M F, Perkins E G: High-performance liquid chromatography of human milk triacylglycerols and gas chromatography of component fatty acids. *Lipids* 1992; 27: 933-939.
- 20) 八尋政利, 村上雄二, 皆川憲夫, 阿彦健吉: キャピラリーカラムガスクロマトグラフィーによる母乳中脂肪酸組成. 栄食誌 1988; 41: 263-271.
- 21) 白井 浩, 桑山英夫, 長倉 稔: スイ臓リパーゼによるグリセリドの分析(第1報)加水分解方法およびC₁₀~C₁₈飽和トリグリセリドの加水分解. 油化学 1971; 20: 284-289.
- 22) 日本油化学協会編: 改訂第三版 油脂化学便覧, 東京, 丸善, 1990: 126.
- 23) 井戸田正, 桜井稔夫, 菅原牧裕, 松岡康浩, 石山由美子, 村上雄二, 森口宏康, 竹内政弘, 下田幸三, 浅居良輝: 最近の日本人乳組成に関する全国調査(第二報)脂肪酸組成およびコレステロール, リン脂質について. 日本小児栄養消化器病学会雑誌. 1991; 5: 159-173.
- 24) Koletzko B, Thiel I, Abiodun P O: The fatty acid composition of human milk in Europe and Africa. *J Pediatr* 1992; 120: S62-72.
- 25) Tadayyon B, Lutwak L: Interrelationship of triglycerides with calcium, magnesium and phosphorus in the rat. *J Nutr* 1968; 97: 246-254.
- 26) Tomarelli R M, Meyer B J, Weaver J R, Bernhart F W: Effect of positional distribution on the absorption of the fatty acids of human milk and infant formulas. *J Nutr* 1968; 95: 583-590.
- 27) 片岡直樹: 粉乳中の Triglyceride 構造と乳児の脂肪利用に関する研究(中性脂肪β位パルミチン酸含量の異なる高脂肪組成乳汁で哺育された低出生体重児の脂

- 質代謝). 日児誌 1979 ; 83 : 1130—1145.
- 28) Lien E L : The role of fatty acid composition and positional distribution in fat absorption in infants. *J Pediatr* 1994 ; 125 : S62—68.
- 29) De Fouw N J, Kivits G A A, Quinlan PT, Van Nielen W G L : Absorption of isomeric, palmitic acid-containing triacylglycerols resembling human milk fat in the adult rat. *Lipids* 1994 ; 29 : 765—770.
- 30) Carnielli V P, Luijeindijk I HT, Van Goudoever J B, Sulkers E J, Boerlage A A, Degenhart H J and Sauer P JJ : Feeding premature newborn infants palmitic acid in amounts and stereomeric position similar to that of human milk : effects on fat and mineral balance. *Am J Clin Nutr* 1995 ; 61 : 1037—1042.
- 31) Jensen R G : The lipids of human milk. Boca Raton, Florida : CRC Press, 1989 : 181—201.
- 32) Innis S M, Dyer R, Nelson C M : Evidence that palmitic acid is absorbed as sn-2 monoacylglycerol from human milk by breast-fed infants. *Lipids* 1994 ; 29 : 541—545.
- 33) Yamamoto I, Sugano M, Wada M : Hypocholesterolaemic effect of animal and plant fats in rats. *Atherosclerosis* 1971 ; 13 : 171—184.
- 34) Parks J S, Thuren T Y, Schmitt J D : Inhibition of lecithin : cholesterol acyltransferase activity by synthetic phosphatidylcholine species containing eicosapentaenoic acid or docosahexaenoic acid in the sn-2 position. *J Lipid Res* 1992 ; 33 : 879—887.
- 35) Innis S M, Quinlan P, Diersen-Schede D : Saturated fatty acid chain length and positional distribution in infant formula : effects on growth and plasma lipids and ketones in piglets. *Am J Clin Nutr* 1993 ; 57 : 382—390.
- 36) Innis S M, Dyer R, Quinlan P, Diersen-Schede D : Palmitic acid is absorbed as sn-2 monopalmitin from milk and formula with rearranged triacylglycerols and results in increased plasma triglyceride sn-2 and cholesteryl ester palmitate in piglets. *J Nutr* 1995 ; 125 : 73—81.

The latest survey for the composition of human milk obtained from Japanese mothers.

Part IX. Triglyceride structure of human milk fat

Nutritional Science Laboratory, Snow Brand Milk Products Co., Ltd.

Taku NAKANO, Yuji MURAKAMI, Tadashi IDOTA

The composition, positional and molecular weight distribution of fatty acids were analyzed in triglyceride (TG) of human milk collected from Japanese mothers. Oleic acid (C18 : 1n-9), palmitic acid (C16 : 0) and linoleic acid (C18 : 2n-6) were major fatty acids, accounted for about 60% of total fatty acids. Little changes in the positional distribution of fatty acids in TG were observed. Myristic acid (C14 : 0) and palmitic acid esterified predominantly at sn-2 position of TG. The most predominant fatty acid esterified at sn-2 position to TG was palmitic acid in all fatty acids of TG. On the other hand, stearic acid (C18 : 0) esterified mainly at sn-1, 3 position of TG. The saturated fatty acids of more than carbon number 20 (C20) esterified predominantly at sn-2 position of TG again. C18 fatty acids such as oleic acid and linoleic acid esterified predominantly at sn-1, 3 position of TG. C20 unsaturated fatty acids except arachidonic acid (C20 : 4n-6) esterified at Sn-1, 3 position of TG. However, C22 unsaturated fatty acids such as docosahexaenoic acid (C22 : 6n-3, DHA) esterified mainly at sn-2 position of TG. The most predominant total carbon number of TG was distributed between C46 and C54. Below C48 of TG were less in colostrum than in mature milk. These results suggested that the most major TG structure of human milk fat was C52 as total carbon number of TG, and esterified by palmitic acid as C16 fatty acid at sn-2 position and by oleic acid or linoleic acid as C18 fatty acid at sn-1, 3 position.