日本人の人乳に関する研究(第2報)

Studies on Human Milk (Part 2)

札幌で採取した混合乳の脂肪酸組成について

Fatty Acid Composition of Composite Milk from Mothers in SAPPORO

(昭和37年3月31日受理)

古 市 栄 一 土 肥 達 今 村 正 男
(Eiichi Furuichi) (Tohru Doi) (Masao Imamura)

The chemical composition, several characteristics of fat, and fatty acid composition of composite summer and winter milks of various lactation period from mothers in Sapporo were investigated.

A little difference in the main components was seen between winter and summer milks, but the average values fell within the range in the foregoing literatures.

Iodine value of fat was considerably higher than that of foreign woman milk.

Saturated capric, lauric and myristic acid contents were higher, and stearic acid was less, unsaturated linoleic and linolenic acids were more but oleic acid was less compared with those in the milk from foreign women.

Although there were certain differences in several characteristics of fat and fatty acid composition between winter and summer milks, they were less remarkable than those seen in the foreign literatures.

緒 言

著者らは前報¹⁾において札幌で採取した混合乳の化学組成について予備的な調査を行なった結果、外国人乳にくらべ著しい特徴のひとつに脂肪の沃素価が高く、リノール酸とリノレン酸などの高度不飽和酸の含量が多いことを報告した。

人乳の成分は各種の因子によって変動することが知られているが、脂肪酸組成についても Insull²⁾らが報告しているように母親の食生活とくに摂取脂肪の種類と量とによって大きな変化をうけることは当然であるが、このほかにも季節、泌乳段階などによる変化も予想される。

著者らは日本各地より季節別に採取した人乳について化学組成と泌乳段階、年令、出産回数、食餌などとの関係を調べているが、今回は札幌で冬季と夏季に採取した人乳を泌乳段階によって分類した混合乳についてガスクロマトグラフィーによる脂肪酸組成を調べた結果を報告する。

実験方法

1. 試 料

昭和35年12月(冬季)と昭和36年8月(夏季)の2回にわたり札幌市中央、東、西、および北保健所において母乳栄養または育児用粉乳との混合栄養で乳児を哺育している婦人より主に午前中に採取した。冬季162試料、夏季115試料を分娩後の経過日数によって、それぞれ前期、中期、後期の3群に分け、各試料を同量ずつ混合して混合乳を作った。試料の区分を第1表に示す。採取方法は婦人自身の手搾り、または搾乳器を用い、試料は直ちに氷冷して凍結保存した。

2. 一般成分組成の測定法

全蛋白質、脂質、乳糖、灰分、全固形分は前報と同じ方法で測定した。

3. 脂肪特数および脂肪酸組成の測定法

(1) 脂肪の分離法および脂肪特数

脂肪の分離法およびけん化価、沃素価(ウイス法)、ライヘルトマイスル価、ポレンスケ価、融点(上昇法)などの脂肪特数の測定法は前報と同様である。

(2) 脂肪酸メチルエステルのガスクロマトグラフィー

混合脂肪酸のメチルエステルは前報と同様にして調整した。前報ではポリエステル系のPolyethylene glycol adipate (PGA) を固定液相に用いたが、今回はこのほかに分離特性の異なるパラフィン系の Apiezon M

第1表 試 料 の 区 分

季 節	泌乳期	母親の数	年 令			分娩後の経過日数			出 産 回 数			泌 乳 量 cc		
			最低	最高	平均	最低	最高	平均	最低	最高	平均	最低	最高	平均
冬 季	前 期	55	21	32	26	33	79	58	1	2	1.2	10	210	61
	中 期	42	21	36	25	80	130	105	1	3	1.3	10	250	88
	後 期	65	20	30	24	130	339	181	1	3	1.3	10	200	67
夏 季	前 期	30	20	41	26	35	75	60	1	8	1.7	20	160	82
	中 期	32	21	34	27	77	117	99	1	3	1.5	20	170	82
	後 期	53	20	36	26	124	353	183	1	3	1.2	10	390	76

Grease (AMG) (James G. Biddle Co.) を担体の Celite 545 (80~100メッシュ, Johns Manville Co.) に重量比1:3で混合した充填剤も使用した。PGA カラムの操作条件は前報と同様であるがAMGカラムは 4 m m×2 m, 温度220°Cで行なった。

実験結果および考察

1. 一般成分組成

一般成分組成を第2表に示す。前報の結果と比較する
第2表 一般成分組成 (%)

	冬 季			夏 季		
	前期	中期	後期	前期	中期	後期
全蛋白質	1.16	1.04	1.03	1.20	1.07	1.05
脂 質	2.88	2.64	2.85	3.37	3.35	3.03
乳 糖	6.70	7.30	7.07	6.73	6.85	6.77
灰 分	0.22	0.21	0.20	0.21	0.19	0.19
全固形分	11.57	11.38	11.64	12.00	12.14	11.65

と脂質含量がいずれも少ないが全蛋白質、乳糖、灰分含量は多いものと少ないものがあって特に傾向はない。冬季乳と夏季乳を比較すると全般的に冬季乳は脂質が少なく乳糖が多い傾向が認められるが全蛋白質と灰分には大きな違いはない。冬季乳36例、夏季乳45例の個乳について測定した結果でも最も個人的変動が大きいのは脂質で冬季0.92~4.36%, 夏季0.90~5.52%の範囲を示し、泌乳段階による特定の傾向は認められなかった。全蛋白質と灰分は冬季、夏季とも泌乳段階の初期に多くその後徐々に減少する傾向があり、これは個乳分析においても認められた。著者らが3回にわたって測定した混合乳7試料の全平均値を日本食品標準成分表³⁾、National Research Council (NRC)⁴⁾ および最近の日本人乳についての中山ら⁵⁾の平均値と比較すると(第3表)乳糖と灰分にはほとんど差がないが、全蛋白質は日本食品

第3表 一般成分組成の比較 (%)

	全平均値	日本食品成分表	NRC	中山ら
全蛋白質	1.12	1.4	1.2	1.13
脂 質	3.23	3.1	3.8	3.01
乳 糖	6.98	7.1	7.0	7.08
灰 分	0.20	0.2	0.2	0.21
全固形分	11.89	11.4	12.4	11.98

成分表の値のみが高く、脂質は日本人乳は外国人人乳よりも少ない傾向があり、したがって全固形分も低い値を示している。

2. 脂肪特数と脂肪酸組成

脂肪特数を第4表に示す。冬季乳と夏季乳を比較すると全般的に冬季はIVが高くSVが低くなっているがその差は小さい。冬季、夏季を通じて共通の傾向はSVの高いものほどIVとMPが低いことで、これはC₁₈以上の不飽和脂肪酸含量の変化によるものと考えられる。また

第4表 脂 肪 特 数

		冬 季			夏 季		
		前期	中期	後期	前期	中期	後期
けん化価	SV	204.7	201.9	206.7	207.2	204.4	207.4
沃素価	IV	72.4	78.0	69.1	70.9	74.5	66.3
ライヘルト							
マイスル価	RMV	1.00	1.00	1.00	0.94	0.68	1.43
ボレンスケ価	PV	2.60	2.30	2.50	1.93	1.67	2.10
融点(°C)	MP	26.1	25.9	27.7	28.3	26.3	28.8

IVの高い順序は泌乳段階別に中期→初期→後期となっているが、これが生理的に意味があるかどうかについては不明である。前報の結果も含め著者らが冬季および夏季の混合乳7試料について測定した脂肪特数の平均値はSV 205.8, IV71.6, RMV1.06, PV2.26, MP27.1°Cであって、これを外国人人乳について Bosworth⁶⁾のSV

205.2, IV56.2, RMV2.5, PV0.1; NRCのSV205~206, IV45~62, RMV1.5~2.6, MP26~36°C, さらにHil-ditch, Meara⁷⁾ の泌乳段階別のIV, 初乳 56.0と52.1, 成乳54.7, 後乳48.2と比較するとIVがこれらの文献値よりも高いことが特徴でNRCの最高値62よりもかなり高い値を示している。

ガスクロマトグラフィー(GC)による脂肪酸分析においては脂肪酸の同定はピークが現われるまでの時間(保持時間)で, 組成比率はピーク面積比で求めることができる。著者らが10種の標準脂肪酸メチルエステルを用いて一定条件における各脂肪酸の保持時間を求め, また既知混合物について混合比とピーク面積比との関連性を検討した結果を第5表に示す。使用した2種のカラムは分

第5表 標準脂肪酸メチルエステルの保持時間
および混合比とピーク面積比

標準脂肪酸 メチル エステル	相対保持時間 ($C_{16}=1.00$)		混合比 (重量%)	ピーク面積比(%)	
	PGA カラム	AMG カラム		PGA カラム	AMG カラム
C_6	0.053	0.031	0.84	0.90	0.92
C_8	0.099	0.064	1.33	1.39	1.40
C_{10}	0.177	0.126	1.94	2.30	2.13
C_{12}	0.318	0.256	3.37	3.48	3.44
C_{14}	0.554	0.502	4.48	5.00	4.85
C_{16}	1.000	1.000	8.05	8.26	8.32
$C_{18}^{1=}$	1.765	1.970	12.59	12.97	13.26
$C_{18}^{1=}$	1.904	1.803	20.97	20.72	65.68
$C_{18}^{2=}$	2.169		23.86	23.20	
$C_{18}^{3=}$	2.551		22.26	21.54	

離特性が異なり, PGAカラムはAMGカラムより低級脂肪酸の保持時間は大きいが高級脂肪酸は小さくなっている。またPGAカラムでは炭素数が同一の場合には飽和酸が最初に流出し, 不飽和度が高くなるほど保持時間が大になっているのに対しAMGカラムではこの順序は全く反対になっている。分離能についてはPGAカラムでは C_{18} 不飽和酸相互の分離はよいが C_{18} と $C_{18}^{1=}$ の分離がやや不十分であるのに対し, AMGカラムでは C_{18} と $C_{18}^{1=}$ の分離はよいが不飽和酸の相互分離は不十分であった。この2種のカラムの使用によりそれぞれの欠点を補ってより正確な結果を得ることができる。混合比とピーク面積比との関係では飽和酸がやや多く, 不飽和酸がやや少なく現われているがモル比よりもほぼ重量比に近い値を示している。市販の標準品は純品ではなく, それぞれ単独にGCにかけた結果では純度80~98%程度と推定され, 第5表の混合比はこの純度で補正した値を示し

た。

PGAカラムとAMGカラムで求めた結果をまとめた脂肪酸組成を第6表に示す。標準脂肪酸の保持時間から同定することはできなかったが脂肪酸の炭素数と保持時間との間には直線関係が成立する(第1図)ことから, James^{8) 9)}をはじめ Ahrens¹⁰⁾ が適用している方法にしたがって, 奇数脂肪酸または分枝脂肪酸と推定されるピークが数多く認められた。 $>C_{20}$ の脂肪酸については前報と同様に脂肪特徴のSVとIVの測定値と組成比率から計算した中和価とIVとの関係から推定した。冬季乳は夏季乳にくらべ全般的に飽和酸では C_{16} がやや

第6表 脂 肪 酸 組 成

	冬 季			夏 季		
	前期	中期	後期	前期	中期	後期
C_4	微量	微量	微量	微量	微量	微量
C_6	微量	微量	微量	0.1	0.1	0.1
C_8	0.1	0.1	0.1	0.4	0.3	0.5
C_{10}	2.1	2.1	2.4	2.3	2.3	2.4
C_{12}	10.2	9.4	10.5	11.3	10.5	11.5
C_{14}	13.7	10.7	11.7	13.2	11.8	13.6
$C_{14}^{1=}$	微量	微量	微量	微量	微量	微量
C_{16}	微量	微量	0.3	微量	0.2	0.2
$C_{16}^{1=}$	22.9	22.3	23.5	21.4	20.7	21.7
$C_{16}^{1=}$	4.4	4.4	4.5	5.0	5.0	6.2
C_{17}	微量	微量	0.7	微量	微量	微量
C_{17}^{br}	微量	微量	微量	微量	微量	微量
C_{18}	5.3	5.5	5.7	5.4	5.5	7.8
$C_{18}^{1=}$	24.9	25.4	23.5	25.0	24.7	26.3
$C_{18}^{2=}$	12.2	14.4	12.5	10.7	12.3	8.2
$C_{18}^{3=}$	2.6	3.4	3.0	3.0	3.3	微量
$>C_{20}$	1.5	2.4	1.2	2.2	4.0	1.2

多いが C_8 , C_{12} , C_{14} がやや少なく不飽和酸では $C_{18}^{1=}$ がやや多くなっているがその差は小さい。冬季乳, 夏季乳とも中期混合乳が $C_{18}^{2=}$ と $C_{18}^{3=}$ が多く C_{12} と C_{14} が少ないために脂肪特徴でIVが高くSVが低い値を示している。著者らが冬季および夏季の混合乳7試料について測定した主要脂肪酸の平均組成をNRCおよび Insull, Ahrens¹¹⁾ が同じくGCで求めた11名の婦人の平均値, さらに著者らが牛乳脂肪について測定した結果と比較して第7表に示す。著者らの結果は外国人人乳にくらべ飽和酸では C_{10} , C_{12} , C_{14} の中鎖脂肪酸が多いが C_4 , C_{16} は少な

第1図 相対保持時間と炭素数との関係

第7表 主要脂肪酸組成の比較

	人		乳		牛 乳
	著者ら	NRC	Insullら	著者ら	
C ₄	微量	0.4	0.26		3.2
C ₆	0.05	0.1			1.0
C ₈	0.25	0.3			0.8
C ₁₀	2.27	1.7	1.63		2.6
C ₁₂	10.57	5.8	6.84		2.9
C ₁₄	12.38	8.6	8.52		11.2
C ₁₆	21.92	22.6	20.88		32.0
C ₁₆ ¹⁼	4.92	2.9	2.43		2.9
C ₁₈	5.87	7.7	7.34		8.5
C ₁₈ ¹⁼	24.93	33.4	36.84		17.3
C ₁₈ ²⁼	11.72	8.3	7.09		2.7
C ₁₈ ³⁼	2.55	0.4	0.85		微量

く、不飽和酸ではC₁₈¹⁼はかなり少ないがC₁₈²⁼とC₁₈³⁼が多くなっている。Insullら²⁾は人乳の脂肪酸組成に与える食餌の影響について研究し、全摂取カロリー、食餌中の脂肪のカロリーおよび脂肪の種類を変えて実験した結果、結論として(1)高カロリー、無脂肪食では主要不飽和酸が著しく減少するがC₁₂、C₁₄の飽和酸は増加し、(2)コーン油を全カロリーの40%与えた場合にはコーン油の脂肪酸組成に近くなってC₁₈²⁼が非常に増加するがこの場合にもコーン油には含まれていないC₁₂とC₁₄が相当量存在する。(3)豚脂を全カロリーの40%与えた場合には低カロリー無脂肪食の場合に似て人間の体脂肪の組

成近くなるがこの場合にもC₁₂とC₁₄は豚脂中に含まれているよりも多いと報告している。著者らの結果と外国人人乳との差を食餌の点のみから考えると日本人の摂取脂肪は植物油、魚油などの高度不飽和油脂が多いことが予想されるがさらに詳しく日本人乳脂肪の特性を調べるためには広範囲にわたり特に食生活との関係を明らかにしなければならない。一方、牛乳は人乳にくらべ飽和酸では揮発性のC₄のほかC₁₆が著しく多くC₁₂は少なく、不飽和酸はいずれも少ないが特にC₁₈²⁼以下の高度不飽和酸が非常に少ない。この結果が脂肪特数ではRMVとSVが高くIVが低い値を示している。Lough, Gar-ton¹²⁾は反芻動物に脂肪の大半が高度不飽和酸であるクロバー食を与えた場合、その第1胃の内容物には不飽和酸が少なく飽和酸が非常に多くなっていることから微生物による水素添加が起っていることを認めている。したがって人乳と牛乳の脂肪酸組成はその成因にも大きなちがいのことが予想される。

要 約

札幌で冬季と夏季に採取した泌乳段階別の混合乳について一般成分組成、脂肪特数および脂肪酸組成を調べた。

1. 一般成分組成では冬季乳は夏季乳にくらべ脂質が少なく乳糖が多い傾向が認められ、また全蛋白質と灰分は泌乳初期が最高で以後徐々に減少する傾向が認められたが、これらの全平均値はこれまでの文献値の範囲内にあった。

2. 脂肪特数では沃素価が外国人人乳にくらべかなり高い値を示していた。

3. 脂肪酸組成では外国人人乳にくらべ飽和酸ではカプリン酸、ラウリン酸、ミリスチン酸が多いがステアリン酸は少なく、不飽和酸ではオレイン酸は少ないがリノール酸とリノレン酸が多かった。

4. 冬季乳は夏季乳にくらべ脂肪特数ではIVが高いがSVは低く、脂肪酸組成ではC₁₈²⁼が多いがC₈、C₁₂、C₁₄が少ないというちがいがあったが外国人人乳にくらべるとその差は小さかった。

この研究にあたり種々御協力いただいた札幌市中央、東、西および北保健所の方々、および雪印乳業株式会社札幌研究室の仁木達室長ほか室員の皆様に深く感謝いたします。

文 献

- 1) 古市, 土肥, 今村: 栄養と食糧, 15, 135(1962)
- 2) Insull, W. et al.: "Essential Fatty Acids", p. 168, Butterworth Scientific Publication, London. (1958)

- 3) 総理府資源調査会:改訂「日本食品標準成分表」, (第1出版) (1954)
- 4) National Academy Science: National Research Council, Publication No. 245. "The Composition of Milks" (1953)
- 5) 中山健太郎他: 小児科診療, 24, 1494(1961)
- 6) Bosworth, A. W.: *J. Biol. Chem.*, 106, 235 (1934)
- 7) Hilditch, T. P., Meara, M. L.: *Biochem. J.*, 38, 29, 437(1944)
- 8) James, A. T., Marin, A. J. P.: *Biochem. J.*, 63, 144(1956)
- 9) James, A. T.: "Methods of Biochemical Analysis". Vol. 8, p. 1 (1960)
- 10) Ahrens, E. H. et al: *Nutrition Reviews*, 17, (8), Part 2(1959)
- 11) Insull, W., Ahrens, E. H.: *Biochem. J.*, 72, 27 (1959)
- 12) Lough, A. K., Garton, G. A.: "Essential Fatty Acids". p. 97, Butterworth Scientific Publication, London. (1958)

(雪印乳業技術研究所)
(経費著者負担)

ビタミンEの欠乏とクレアチン代謝

シロネズミを3群にわけ、対照群ビタミンE欠乏群、E欠乏にEの酢酸エステルを与えた群とし、おのおの腹腔内に、クレアチン-2-C¹⁴を注射した。第1日目は4時間毎に、それ以後は凡そ1週間毎に解剖して(4週目まで)、骨格筋、心、脳、腎、肝、血清、赤血球、腹腔内脂肪、尿、その他の specific activity と測定した。E-欠乏群では、筋クレアチンに対する“遊離”クレアチンのsp. act. の比率の増加が観察された。Eを投与した群では、正常であった。Sp. act. の時間的経過(減少度)からクレアチンの turnover time を計算すると、全身では56日、筋肉は51~53日で、筋肉においても脳に

おいても、E欠乏の影響は認められなかった。遊離クレアチンのプールにおける sp. act. は、E欠乏の場合対照に比べてはじめは高かったが、のち漸減し終りには対照より低くなった。これらのことから、E欠乏によつて、筋肉のクレアチン利用は減少し、遊離クレアチン量が増し、尿中にも、より多く排泄されるものと考えられる。

Creatine Metabolism in Vitamin E Deficiency
in the Rat

by G.B.Gerber et. al.; *Amer. Journ. of Physiol.*, 202, 453 (1962)

(小池)

仔豚のカルシウム必要量

40頭の赤ん坊の豚を用いて、そのカルシウム必要量の決定をこころみた。合成乳飼料によってPのレベルを飼料固形分の0.5%に保ち、CaはCaCO₃ (US薬局方)としてCa 0~1.6%の間を変えて与えた。正常な成育を維持するに足る水準は0.4%と考えられるが、1回の試験では血清カルシウム、リン、アルカリフォスファターゼの正常水準を維持するに0.8%Caを必要とした。血清リンとアルカリフォスファターゼ値は、血清カルシウム値と逆相関を示す。

骨格の最良の発達は、1.0%Ca飼料のグループにみとめられた。このグループがカルシウムの吸収効率も最高を示した。腎、心、肝臓のカルシウム含量はカルシウム摂取量に正比例している。幼豚のカルシウム所要量は、0.8~1.0%の間にあると結論される。

Calcium Requirement of Baby Pigs. by E. R. Miller, D.E.Ullrey, C.L.Zutaut, B. V. Baltzer, D.A. Schmidt, J.A.Hoefer and R.W.Luecke.

J. Nutrition, 77 No.1, 7 (1962) (久保)