人乳成分の化学—牛乳成分とどう違うか

II. 脂質, 糖質, 無機質およびビタミン†

山 内 邦 男

(東京大学農学部農芸化学科)

1. 人乳の脂質

人乳の脂質は乳児のカロリー源として必要であるばかりでなく、脂溶性ビタミン、必須脂肪酸等重要な成分を含む。牛乳の脂質についてはすでに著しい知識の集積があるが⁽¹⁾、人乳脂質についてはまだ研究すべき分野が多く残されている⁽²⁾。人乳中の脂質含量は平均3.3~3.5%であるが、種々の要因により変動する。とくにその含量は哺乳中に大きく変化するといわれている⁽³⁾。

(i) 人乳の脂質構成および脂肪酸組成

人乳脂質のおよそ98%はトリグリセリドで残りはリン脂質(約1%)、ステロール(約0.3%)、遊離脂肪酸、モノおよびジグリセリド、その他(脂溶性ビタミン、スクワレン等)である。これらの含量割合は牛乳と大差ないが、質的にはそれぞれ異なっている。人乳の脂質は牛乳の場合と同様、大部分脂肪球の内部に存在し、その他は脂肪球皮膜に若干、脱脂乳部(乳漿)にも少量存在する。脂肪球の膜は脂質-蛋白質の複合体からなる。人乳の脂肪球内部と脂肪球皮膜の脂質組成を比較すると、表1⁽²⁾のとおりで、膜にはリン脂質が多く含まれている。

人乳と牛乳の全脂質の脂肪酸組成を比較すると表2^(4,5)のとおりである。牛乳脂質はC_{4~10}の低級脂肪酸を多く含む。これはウシのような反芻動物では反芻胃でセルロースやデンプンが細菌によって分解されて揮発性脂肪酸が生産され、これが乳脂肪の合成に利用されるためといわれる。ウシはアルファルファのような高度不飽和脂肪酸の多い牧草を摂取するにもかかわらず、牛乳中にこれが少ないのは、ウシの反芻胃中で微生物によって高度

不飽和脂肪酸の水素添加がおこるためである。これに反し人乳脂質の高度不飽和脂肪酸含量は比較的高い。

普通の飼料を与えていれば牛乳脂肪の脂肪酸組成はそれほど変動しないが⁽⁴⁾、人乳脂肪の脂肪酸組成は摂取カロリーが十分である時は食餌によりかなり変化するものである。これについて初めて詳しい検討を加えたのはInsullら⁽⁶⁾である。彼らが同一母親に種々の食餌を与えた場合の乳の脂肪の脂肪酸組成を比較したのが表3である。とくに著しい影響が認められたのは18:2+18:3

表 1 人乳の脂肪球と脂肪球皮膜の構成脂質の比較⁽²⁾

脂 質 (%)	脂 肪 球	脂肪球皮膜
炭 化 水 素	trace	trace
ス テ ロ ー ル	trace	trace
トリグリセリド	98.1	58.2
ジグリセリド	0.7	8.1
モノグリセリド	trace	0.6
遊 離 脂 肪 酸	0.4	7.3
ス テ ロ ー ル	0.25	0.65
リ ン 脂 質	0.26	23.4

表 2 人乳および牛乳脂質の主要脂肪酸組成

脂 肪 酸 (重量%)	斉藤ら ⁽⁴⁾		Glassら ⁽⁵⁾	
	人乳	牛乳	人乳	牛乳
4:0	0.1	2.9		3.3
6:0	0.1	1.2	trace	1.6
8:0	0.2	1.2	trace	1.3
10:0	2.3	2.4	1.3	3.0
12:0	9.5	3.4	3.1	3.1
14:0	10.4	9.9	5.1	14.2
15:0	—	—	trace~0.4	1.3
16:0	22.2	25.3	20.2	42.9
16:1	4.5	2.4	5.7	3.7
18:0	5.5	10.5	trace~5.9	5.7
18:1	27.9	30.7	46.4	16.7
18:2	13.0	4.7	13.0	1.6
18:3	2.5	0~1.2	1.4	1.8
炭素数20以上	1.7	0~1.1	—	—

† Chemistry of Human Milk Components—How They Differ from Cow's Milk Components. II. Lipids, Glucides, Minerals and Vitamins. Kunio YAMAUCHI (Department of Agricultural Chemistry, The University of Tokyo, Tokyo 113)

表 3 食餌の変化による人乳の脂肪酸組成の変化⁽⁶⁾

	1	2	3	4	5	6
全カロリー (cal)	2750	3750	1838	3750	2938	2938
全カロリー中の摂取脂肪 カロリーの割合 (%)	40	～	～	70	70	40
摂取脂肪量 (g/1 日)	123	3.0	1.4	292	228	131
摂取脂肪のタイプ	ラード	牛乳	牛乳	コーンオイル	コーンオイル	コーンオイル
脂肪酸組成 (%)						
12:0	4.6	15.0	7.9	3.0	3.0	4.9
14:0	9.3	22.0	9.0	2.3	2.0	4.3
16:0	23.8	25.0	23.5	13.1	14.0	12.7
16:1	3.1	5.0	6.8	1.4	1.0	1.5
18:0	7.8	3.0	3.2	3.0	3.0	2.9
18:1	42.6	24.0	36.9	31.4	31.0	28.7
18:2+3	10.3	1.0	7.3	43.0	45.0	42.0

酸で、カロリー源として脂肪を与えなかった期間の乳の 18:2+18:3 はわずか 1～7% であるが、コーンオイルを全カロリーの 70% または 40% になるように与えると、18:2+18:3 は 40% 以上に増加している。また炭水化物含量の高い食餌では 12:0 と 14:0 が増加することが認められている。Read ら⁽⁷⁾は同様にカロリーの大部分が炭水化物による場合は飽和脂肪酸が増加し、18:2 酸が減少することを認めている。また泌乳期の影響をしらべ⁽⁸⁾、泌乳期が進むと 12:0 と 14:0 が増加することを認めている。

人乳中の 18:2 酸は大きく変動するが、その平均含量は 8～10% である。人乳中のリノール酸含量は乳幼児におけるその必要量を推定する指標になるとも考えられるが、その値は各国でまちまちであり (1～17%)⁽⁹⁾、前述したように同一個人においても食餌によって影響される。しかもこうした変動の多い母乳によってそれぞれ健康な乳児が一応育つようであるので、その含量から乳児の必要量をひきだすことは困難であるという意見もある。人乳の必須脂肪酸含量は乳児の必要量という合目的性よりも母親の食餌や体脂肪に基づくものであるという考えも成り立つことを Cuthbertson⁽⁹⁾は述べている。しかし一方、明確な証明がないとしても、母親の栄養状態が母乳の脂肪酸パターンを変えることが乳児の栄養にとって重要であるという意見もあり⁽¹⁰⁾、この方が妥当な考えではないかと思われる。

Crawford ら⁽¹¹⁾は多数の人乳を分析し、リノール酸 (18:2 ω 6) の他、微量ではあるが、20:2, 20:3, 20:4, 22:3, 22:4 ω 6 および 18:3, 20:5, 22:5, 22:6 ω 3 の存在をすべての試料に見出している。これらの

脂肪酸は脳の発育に関連をもっているかもしれない⁽¹²⁾ので将来検討されるべき問題である。

筆者の研究室では上記 Crawford らの研究と別個に人乳の高度不飽和脂肪酸の化学的同定と定量を行ってきた^(13,14)。Crawford らの報告は学会誌に報告されていないのでその化学的同定についての記載がない。筆者らの研究室では機器分析により人乳脂質中に 18:2 ω 6, 18:3 ω 3, 20:4 ω 6 以外に 18:4, 20:1 ω 9, 20:2 ω 6, 20:3, 20:4 ω 3, 20:5, 22:1, 22:2, 22:3, 22:4, 22:5 ω 3, 22:5 ω 6, 22:6 ω 3, 24:4, 24:5 および 24:6 の 16 種の脂肪酸が同定された。22:6 ω 3 の総脂質中の含量は初乳で約 2%, 成乳で約 1% であり、牛乳中にはほとんど検出されない。またこれら高度不飽和脂肪酸のトリグリセリドにおける結合についても検討を加えている⁽¹⁵⁾。Crawford ら⁽¹⁰⁾は最近 ω 6 酸とともに ω 3 酸の小児栄養における重要性を示唆している。一方、必須脂肪酸は多いほどよいというものではなく、多すぎると酸化脂質の毒性が問題になるし、これを防ぐためビタミン E を多くとらねばならないということもあり、注意する必要がある。

人乳脂質には上記の脂肪酸の他に種々のマイナーな脂肪酸が見出されている。すなわち表 2 に示した以外の飽和脂肪酸として 20:0, 24:0 および奇数の脂肪酸や 50 種以上の枝分かれ脂肪酸が存在する⁽²⁾。枝分かれ脂肪酸はおそらく主に腸内微生物に由来するものであろう。不飽和脂肪酸においては位置の異性体や幾何異性体が存在する。18:2 酸においてもトランス酸が混在するので牛乳脂質のリノール酸 (*cis, cis*) は全 18:2 酸の 65～75% であろうといわれている。人乳脂肪のトランス脂肪

図 1 人乳および牛乳トリグリセリドの分子量分布⁽²³⁾

酸含量は Kaufmann ら⁽¹⁶⁾によると 0~4%, Beare-Rodgers ら⁽¹⁷⁾によると 6~18% であり、日本では 6~15% という値⁽¹⁸⁾が得られている。Aitchison ら⁽¹⁹⁾によると食餌脂質中のトランス脂肪酸と人乳のそれとの間には相関があるが、他の要因も関与しているらしい。トランス脂肪酸は必須脂肪酸としての活性がなく、しかもリノール酸から炭素数のより高い多価不飽和酸への変換を阻害することが動物実験により、ある条件下で認められているので^(20~22)、食餌中のトランス脂肪酸があまり増加することは栄養学的に問題があるかもしれない。

(ii) トリグリセリド

人乳脂質を構成する脂肪酸の種類はきわめて多数であるので、これらの組み合わせにより生ずるトリグリセリドは無数となる。現在これらを個々に分離することは不可能であるが、炭素数(分子量)により分離定量することができる。日本人の人乳トリグリセリドの分子量分布を牛乳のそれと比較した結果を図 1⁽²³⁾に示す。人乳では1つのピークを有するが、牛乳では2つのピークが認められる。トリグリセリド中の二重結合の数により人乳トリグリセリドをタイプ分けすると表 4⁽²⁴⁾のとおりである。分布はランダムではない。人乳脂肪酸のトリグリセリドへの結合の特異性(脂肪酸配位)を牛乳トリグリセリドのそれと比較した結果は表 5⁽²⁾のとおりである。

横山ら⁽²⁵⁾は日本人の人乳について同様の検討を加え、傾向としてはほぼ同じであるが、C₁₈の不飽和酸は1位より3位に多いこと、およびパルミトオレイン酸が2位に多いなど、外国の文献との違いを見出している。

乳児は脂肪の消化機能が劣るが、人乳脂肪は牛乳脂肪よりも乳児によってよりよく消化吸収されるといわれる。これは人乳脂肪では2位のパルミチン酸が牛乳よりも多く、このため人乳脂肪が腸内で分解されると多くの

表 4 人乳脂肪のトリグリセリドのタイプ (mole %)⁽²⁴⁾

タイプ	試料 1		試料 2	
	実験値	ランダム	実験値	ランダム
Saturates	5.7	9.0	7.8	8.8
Monoene (M)	26.7	25.5	24.9	21.2
Dienes (D)				
S, M, M	28.1	24.0	16.8	17.0
S, S, D	4.8	6.4	7.1	10.6
Triens (TR)				
M, M, M	5.0	7.5	4.0	4.6
S, M, D	16.3	12.1	17.7	16.9
S, S, TR	ND	0.6	ND	0.7
Tetraenes	7.1	8.4	21.7	20.9
Polyenes	6.3	6.5		

例えば S, M, M は saturate, monoene, monoene を含むトリグリセリドの意。ランダムはランダム説による計算値。

表 5 人乳および牛乳のトリグリセリドにおける脂肪酸の位置の分布⁽²⁾

脂肪酸 (mole %)	人 乳			牛 乳		
	1	2	3	1	2	3
4:0				5.0	2.9	43.3
6:0				3.0	4.8	10.8
8:0				0.9	2.3	2.2
10:0	2.0	0.2	1.8	2.5	6.1	3.6
12:0	1.3	2.1	6.1	3.1	6.0	3.5
14:0	3.2	7.3	7.1	10.5	20.4	7.1
16:0	16.1	58.2	6.2	35.9	32.8	10.1
16:1	3.6	4.7	7.3	2.9	2.1	0.9
18:0	15.0	3.3	2.0	14.7	6.4	4.0
18:1	46.1	12.7	49.7	20.6	13.7	14.9
18:2	11.0	7.3	2.0	1.2	2.5	—0.5
18:3	0.4	0.6	1.6			
20:1	1.5	0.7	0.5			
20:4	trace	0.9	0.3			

1, 2, 3 はトリグリセリドにおける位置を示す。

2-モノパルミチンが形成され、これがミセル形成を助け、脂肪酸の消化吸収を促進するためといわれている。一方、牛乳脂肪では遊離のパルミチン酸が多く生成してカルシウムと不溶性石けんを生じる結果、牛乳脂肪は消化性が劣ると考えられている⁽²⁶⁾。

山本ら⁽²³⁾は離乳期のラットを用い人乳脂肪と牛乳脂肪の消化吸収性を比較し重要な知見を得た。すなわち人乳は牛乳より Ca 含量が著しく低いことから、Ca レベルを同一にして人乳と牛乳の脂肪を比較すると、両者の消化吸収性に有意な差はなく、脂肪そのものの消化性は

表6 人乳および牛乳のリン脂質組成⁽²⁾

リン脂質 (mole %)	牛乳	人乳	
		人	乳
Phosphatidyl choline	34.5	27.9	29.7
Phosphatidyl ethanolamine	31.8	25.9	36.6
Phosphatidyl serine	3.1	5.8	1.0
Phosphatidyl inositol	4.7	4.2	4.6
Sphingomyelin	25.2	31.3	26.2
Lysophosphatidyl choline	trace	1.4	1.9
Lysophosphatidyl ethanolamine	trace	3.7	
Total choline phospholipids	59.7		
Plasmalogens	3.0		
Diphosphatidyl glycerol	trace		
Ceramides	trace	trace	
Cerebrosides	trace		
Gangliosides	trace		

人乳の方がよいとはいえないことを見出した。しかし個々の脂肪酸、例えばパルミチン酸では、人乳脂肪の方がやや高い消化吸収率を示すことが知られた。

(iii) リン脂質, その他

人乳脂質と牛乳脂質のリン脂質組成を比較すると表6⁽²⁾のとおりである。日本でも同様の比較が行われた^(27,28)。リン脂質の脂肪酸組成についての日本での分析例⁽²⁹⁾を表7に示す。Crawfordら⁽³⁰⁾は泌乳期が進むにつれてホスファチジルエタノールアミンの20:4酸含量が減少し同時にスフィンゴミエリンの24:1酸が増加することを認めている。人乳の糖脂質について日本にお

いてその含量および薄層クロマトグラフィーと珪酸カラムクロマトグラフィーによる各成分の分別定量等が行われ、セラミドモノおよびジヘキソシドの存在が推定されたが未同定の成分も含まれている⁽³¹⁾。牛乳糖脂質に比較して、人乳糖脂質には糖含量の高い成分が含まれているようである。

人乳のステロールは牛乳の場合と同様に主としてコレステロールである。しかし Mellies ら⁽³²⁾によるとコレステロールが低くフィトステロールを多く含む食餌を与えるとかなり乳にフィトステロールが分泌されるという。コレステロールの一部はエステル型として存在すると考えられるが、その脂肪酸組成等は十分研究されていない。他の不けん化物としてコレステロール以外、7-デヒドロコレステロール、スクワレン、カロチノイドが存在すること⁽³³⁾、その他、飽和および不飽和炭化水素やテルペノールが検出されること⁽³⁴⁾が報告されているが、十分同定されていない。

人乳中には少量のジグリセリド、モノグリセリドおよび遊離脂肪酸が存在する。これらは一部は脂肪の生合成における残余物であり、一部はおそらくリパーゼ作用により二次的に生成したものであろう。人乳のリパーゼ活性は高いので脂質分析に当たっては注意を要する。人乳脂質にはグリセリルエーテルも微量存在する^(35,36)。

表7 人乳および牛乳リン脂質の脂肪酸組成の比較⁽²⁹⁾

脂肪酸 (%)	全リン脂質		ケファリン		レシチン		スフィンゴミエリン	
	人乳	牛乳	人乳	牛乳	人乳	牛乳	人乳	牛乳
8:0	—	0.3	—	0.8	—	—	—	—
10:0	0.7	0.5	0.5	0.2	0.5	0.5	—	—
12:0	0.8	1.2	0.9	0.5	0.8	0.7	1.0	0.5
14:0	2.6	3.0	1.2	1.0	1.7	3.7	2.7	1.4
14:1	0.6	0.8	—	0.4	0.3	1.0	—	0.3
16:0	14.1	15.7	8.5	12.3	13.7	30.1	7.8	20.7
16:1	1.9	1.1	0.9	4.0	0.9	2.6	—	1.1
18:0	21.8	14.7	30.9	13.4	25.4	8.6	9.3	2.3
18:1	11.2	35.7	17.5	53.5	13.0	40.5	1.6	0.8
18:2	9.5	2.8	14.3	5.0	20.8	9.0	—	0.5
18:3	2.8	2.8	4.8	2.6	3.6	0.9	—	—
20:0	8.7	3.8	6.3	4.0	5.3	1.0	12.9	2.4
22:0	5.7	6.0	4.4	2.2	3.7	1.5	21.8	13.1
23:0	4.4	7.0	2.4	—	3.8	—	5.5	25.2
24	7.7	4.6	4.6	—	6.6	—	14.7	19.8
24:1	7.6	—	2.9	—	—	—	22.8	12.0

2. 人乳の糖質

人乳中の主要糖質は乳糖であるが(全糖質の 90~95% を占める), その他に各種糖質が微量含まれている。

(i) 乳 糖

人成乳の乳糖含量は 6.5~7.5% で牛乳のそれ(約 4.5%) よりかなり高い。初乳ではやや低く泌乳期が進むと少しずつ増加する。乳は本来血液と等浸透圧であり、塩類の少ない乳は乳糖含量が高い傾向がある。人乳の乳糖含量が高いことは乳児栄養にとって重要であるかもしれない。すなわち乳糖はカロリー源となるばかりでなく、未分解のものは腸管の細菌フローラによって利用され酸を生成し、これが腐敗菌の増殖を抑えることが考えられる。またその機構はよくわかっていないが、乳糖は腸管におけるカルシウムの吸収を促進するといわれる。腸の蠕動をよくする意義もあるであろう。人乳に乳糖が多く、さらに蛋白質およびリン酸塩が低いことが、緩衝能を下げ、乳児の便を酸性にし大腸の菌叢を好ましくするのに寄与しているといわれるが⁽³⁷⁾、この要因と機構についてはなお検討する必要があるという⁽³⁸⁾。

Heine ら⁽³⁹⁾ は母乳と、これと乳糖含量を同じくした調製乳とにおける乳糖の吸収性を上行結腸に人工肛門をつけた乳児でしらべ、乳糖含量が同じであるにもかかわらず、母乳の場合、小腸で乳糖が消化吸収されにくいことを認めた。逆に、蛋白質はほぼ同じ含量であったにもかかわらず、母乳では調製乳の場合と異なりほとんど完全に吸収されていた。Heine らは牛乳またはこれをもとにした調製乳の乳糖が人乳の乳糖よりも吸収されやすいのは、乳の他の成分(例えばリン酸イオン)含量の違いが乳糖の変旋光に影響を及ぼすためであるという仮説を出している。しかしこのような成分の違いが $\alpha:\beta$ 乳糖比と乳糖の消化性に有意な影響を及ぼすかどうかは疑問がある。乳糖の異性体と消化性の関係はすでに 20 年前佐々木ら⁽⁴⁰⁾ によりとりあげられ、 β -D-ガラクトシダーゼにより α -乳糖の方が β -乳糖より分解しやすいことが見出されているが、なお検討すべき問題が残されている。

(ii) その他の糖質

牛乳および人乳中には乳糖以外に少量ずつではあるが種々の糖質が単糖類として、またオリゴ糖やアミノ糖として、遊離の状態、あるいは蛋白質その他と結合した状態で存在する。人乳と牛乳中のこれらの糖質をそれぞ

表 8 人乳に見出された乳糖以外の糖質の種類⁽⁴¹⁾

Myoinositol (Jenness <i>et al.</i> , 1972)
2'-Fucosyl lactose (Kuhn <i>et al.</i> , 1956)
3-Fucosyl lactose (Montreuil <i>et al.</i> , 1956)
N, O-Diacetylneuraminyllactose (Kuhn <i>et al.</i> , 1959)
Lactodifucotetraose (Kuhn <i>et al.</i> , 1958)
6'-N-Acetylneuraminyllactose, 3'-N-Acetylneuraminyllactose (Kuhn <i>et al.</i> , 1959)
Lacto-N-tetraose (Kuhn <i>et al.</i> , 1956)
NANA-tetraose a, b, c (Kuhn <i>et al.</i> , 1961~62)
Lacto-N-fucopentaose I, II (Kuhn <i>et al.</i> , 1956, 1958)
Lacto-N-difucohexaose I, II (Kuhn <i>et al.</i> , 1958, 1960)
Lacto-N-hexaose, Lacto-N-neohexaose (Kobata <i>et al.</i> , 1972)
Galactosyl lactose (Yamashita <i>et al.</i> , 1974)
Lacto-N-fucopentaose III (Grollman <i>et al.</i> , 1967)
Lacto-N-fucopentaose V (Ginsburg <i>et al.</i> , 1976)
Disialylfucosylhexaoses (Yamashita <i>et al.</i> , 1976)
Fucosyllacto-N-hexaose I, Difucosyllacto-N-hexaose II, Sialylfucosyllacto-N-hexaose I (Yamashita <i>et al.</i> , 1977)
Fucosyllacto-N-octaose, Fucosyllacto-N-neooctaose (Yamashita <i>et al.</i> , 1976)
<i>para</i> -Lacto-N-hexaose, <i>para</i> -Lacto-N-neohexaose (Yamashita <i>et al.</i> , 1977)

れ表 8 および表 9 に示した⁽⁴¹⁾。これらの糖質は次の 2 つの点より興味がある。

第一は人乳により多く含まれる窒素含有オリゴ糖(ラクト-N-テトラオース他)は母乳栄養児に多いといわれてきたビフィズス菌の発育促進因子となることが György と Kuhn らの研究⁽⁴²⁾ により明らかにされた点である。Malpress ら⁽⁴³⁾ によると、人乳中のオリゴ糖は 100 ml 中 0.6 g 含まれ、牛乳よりはるかに含量が高い。人乳のビフィズス因子の活性はそれを構成する N-アセチルグルコサミンがビフィズス菌の細胞壁の素材となるためであることが明らかになり、また人乳以外にもいろいろな起源からビフィズス因子が分離され人乳のみに特異的なものでないことが示されるにつれて、人乳のビフィズス因子についての栄養学的関心はうすれていった。さらに最近では母乳栄養児の腸内菌叢は必ずしもビフィズス菌優勢というわけではなく、大腸菌や腸球菌などの好気性菌やバクテロイデスなどの嫌気性菌が少ない点にあることが定説となってきた⁽⁴⁴⁾。

人乳の糖質について特記すべき第二の点は、1960 年代

に入ってから人乳から多数のオリゴ糖が分離同定され、これらが強い血液型ハプテン活性を示すことが証明され

表 9 牛乳に見出された乳糖以外の糖質の種類⁽⁴¹⁾

遊離糖

- Glucose (13.5 mg %, Koga *et al.*, 1960)
Galactose (11.7 mg %, Reineccius *et al.*, 1970)
2-Deoxyl-ribose (2.6~4.5 mg %, Sullivan *et al.*, 1970)
N-Acetylglucosamine (11.2 mg %, Hoff *et al.*, 1963)
Myoinositol (Jenness *et al.*, 1972)
 α -NANA-2,3-Lactose (Kuhn *et al.*, 1966)
NANA (2-3) Gal, NANA (2-8) NANA (2-3) Gal (1-4) Glu, NANA (2-6) Gal (1-4) Glu NA, N-Glycolyl NA (2-3) Gal (1-4) Glu (Kuhn *et al.*, 1965)

結合糖

- 1) Glucuronic acid (Brewington *et al.*, 1973, 1974)
- 2) Phosphate ester
Gal-1-P (4.5 mg %, Hoff *et al.*, 1963)
Glu-1-P (0.1 mg %, McGeown *et al.*, 1952)
Glu-6-P (1.2 mg %, Hoff *et al.*, 1963)
Fru-6-P (0.4 mg %, Hoff *et al.*, 1963)
Lact-1-P (0.01 mg %, McGeown *et al.*, 1952)
N-Acetylglucosamine-1-P (1.6 mg %, Hoff *et al.*, 1963)
- 3) Nucleotide
UDP-Glu, UDP-Gal, UDP-Glucosamine, UDP-Galactosamine (Johke *et al.*, 1963)
- 4) ホスホグリセリド
Galactophosphatidylserine, Galactophosphatidylethanolamine, Galactophosphatidylcholine, Lactophosphatidylcholine, Phosphatidylinositol (Galanos *et al.*, 1961)
Glucosylceramide, Lactocyl-ceramide (Fujino *et al.*, 1970)
- 5) 糖蛋白質 (次の蛋白質の糖が同定されている。糖組成および報告者は略)
 κ -Casein
 β -Lactoglobulin (Droughtmaster 型)
Proteose-peptone component 3, 5, 8f, 8s
 α -Lactalbumin
Immunoglobulin (IgG)
Lactoferrin, Galactosyltransferase
Fat globule membrane proteins

たことである。ヒトの血液型にはおよそ 20 の系が知られており、その血液型抗原の数は 100 以上に及ぶ。このうち ABO(H) 型および Lewis 型のハプテン活性を有するオリゴ糖が人乳中に存在し、いずれも還元末端にラクトースの構造を有している。これは乳腺に存在する糖蛋白質の糖鎖の生合成にあずかる一連の糖転移酵素群が、乳中に多量に存在する乳糖を誤って基質とするためと推論されている。これらの詳細については木幡らの総説^(45,46)を参照されたい。

人乳中の全シアル酸含量は長沢ら⁽⁴⁷⁾によると 100 ml 当たり初乳で平均約 160 mg, 成乳で約 50 mg であり、牛乳 (初乳約 37 mg, 常乳約 30 mg) の数倍高いという。古谷ら⁽⁴⁸⁾も人乳についてはほぼ同様の値を報告している。シアル酸の乳児栄養における意義は今後検討されるべき問題であろう。

3. 人乳の無機質

三訂補日本食品標準成分表⁽⁴⁹⁾における人乳、牛乳の主要無機質含量を比較すると表 10 のとおりである。人乳の主要無機質含量が低いことは乳児 (特に新生児) の腎負担を軽くするという生理的意義がある。このため最近の調製粉乳では無機質の低減化が行われている。

(i) カルシウムおよびリン

三訂補日本食品標準成分表の人乳のカルシウム含量が三訂表 (1968 年) の値 (乳 100g 中 35 mg) や米国の食品標準成分表⁽⁵⁰⁾の値 (32 mg) より低く決定されたことが一部の新聞等で話題になったが、この原因を日本人の母親のカルシウム摂取量が低下したためというように短絡することはできないであろう。おそらく分析に供した母集団のちがいによるもので、三訂補値はより多くの試料の平均値である。カルシウムに対してリン含量が多すぎることは好ましくない。人乳中の Ca/P 比は約 2 でこの比率は栄養学的に大切である。

カルシウムの吸収性は他の乳成分によって影響をうける。乳糖はおそらくカルシウムの吸収性を促進しているであろう。また最近、内藤ら⁽⁵¹⁾により乳特有の蛋白質で

表 10 人乳および牛乳の主要無機質とビタミンの標準組成 (100g 中)⁽⁴⁹⁾

	灰分 (g)	カルシウム (mg)	リン (mg)	鉄 (mg)	ナトリウム (mg)	ビタミン A (レチノール) (μ g)	カロチン (μ g)	A 効力 (IU)	ビタミン B ₁ (mg)	ビタミン B ₂ (mg)	ナイアシン (mg)	ビタミン C (mg)
人乳	0.2	25	14	0.2	15	45	12	170	0.01	0.03	0.2	5
牛乳	0.7	100	90	0.1	50	30	12	120	0.04	0.15	0.1	2

あるカゼインの小腸内分解によって生成するリンペプチドがカルシウムの吸収を促進することがラットを用い実験的に示されたことも特記すべきである。脂肪の消化性もカルシウム吸収性に影響する。このことは特に新生児において重要である。最近の調製粉乳における脂肪の構造の改変はおそらく乳児におけるカルシウムの吸収性の向上に寄与しているものと思われる。

(ii) 鉄

三訂補日本食品標準成分表の人乳の鉄含量は100ml当たり0.2mgであり、米国の食品標準成分表⁽⁵⁰⁾の値(0.03mg)や米国の多数の分析例(平均約0.021mg)⁽⁵²⁾より著しく高い。九鬼⁽⁵³⁾は初乳0.46~0.22mg, 成乳0.1mg, 藤林⁽⁵⁴⁾は平均約0.2mgの値を報告しており、祐川ら⁽⁵⁵⁾は北海道の人乳で平均0.12mg, 今村ら⁽⁵⁶⁾は中国地方の調査でやや低い値(平均0.076mg)を報告している。日本と米国の値の相違は人種差によるか、食餌の差によるか、分析上の問題に基づくか、また国内での相違が何に起因するか今後検討されるべき課題である。乳児において人乳の鉄が牛乳の鉄より利用性が高いといわれ、この違いには人乳の他の成分が関与していることが示唆されている⁽⁵⁷⁾。この詳細な機構についても研究さ

れるべきであろう。前号の総説で述べたラクトフェリンが、鉄吸収に対してどのような影響を及ぼしているかということも興味ある問題である。

(iii) 亜鉛

人乳の亜鉛含量として100ml中、平均160 μ g(米国)⁽⁵²⁾および200 μ g(日本)⁽⁵⁶⁾の報告値がある。亜鉛欠乏の疾患に腸性肢端皮膚炎(acrodermatitis enteropathica)がある。これは離乳期に発生しやすい。人乳の亜鉛含量は低いにもかかわらず、母乳を飲んでる間にこの疾患がみられないのは不思議なことであった。これに関し人乳と牛乳の亜鉛の結合形態が比較された。牛乳の亜鉛は高分子量画分(蛋白質)に結合しているが、人乳の亜鉛は低分子量画分に結合していることが知られた⁽⁵⁸⁾。最近 Evans ら⁽⁵⁹⁾により人乳のプロストグランジン E₂ が、亜鉛のリガンドの一つであることが報告されたのは注目に値する。

(iv) その他の無機質

人乳のナトリウム含量は100ml当たり約15mg⁽⁴⁹⁾、カリウムは40mg⁽⁴⁾~50mg⁽⁵⁰⁾である。両者のバランスは栄養学的に重要である。牛乳はカリウム、ナトリウムともに人乳のおよそ3倍量を含む。マグネシウム含量

表 11 人乳と牛乳のビタミン含量の比較 (乳 100ml 中)⁽⁶⁰⁾

		NRC ^a				Beckmann ^b より引用 人乳	人乳中のビタミン含量に 関するその他の文献値の 範囲。(初)は初乳を示す。
		人乳 初乳 1~5日	移行乳 6~10日	成乳 30日以上	牛乳成乳		
ビタミンA	(I. U.)	298	293	177	116	200	220~287(初), 70~220
カロチノイド	(μ g)	112	38	27	38	117(初), 13.9~39.9	
ビタミンD	(I. U.)			0.42	2.36	6	96.6(初)
ビタミンE	(mg)	1.28	1.32	0.56	0.06	1.26(183)	0.69(初), 0.55~0.94
ビタミンK	(D. G. I. U.)			26	100	<5	2
ビタミンB ₁	(μ g)	15	6	16	42	5~25	2.6~32
ビタミンB ₂	(μ g)	29.6	33.2	42.6	157	15~50	28.4(初), 17.2~36
ビタミンB ₆	(μ g)			11	48		0.8~4.7(初), 10.5
ナイアシン	(μ g)	75	175	172	85	130	160
パントテン酸	(μ g)	183	288	196	350	250	120~140(初), 254
ビオチン	(μ g)	0.1	0.4	0.4	3.5	0.1~0.3	0.57
葉酸	(μ g)	0.05	0.02	0.18	0.23	34	0.65(初), 0.32
ビタミンB ₁₂	(μ g)	0.045	0.036	こん跡	0.56		0.3(初), 0.03~0.24
イノシトール	(mg)			39	13	33	
ビタミンC	(mg)	4.4	5.4	4.3	1.6	4.5	3.9(初), 2.6~6.6

^a National Academy of Science-National Research Council. Publication, No. 254, "The Composition of Milks" (1953).

^b R. Beckmann: *Milchwissenschaft*, 11, 365 (1954)

は 100 ml 当たり人乳約 4 mg, 牛乳約 12 mg である。

Fe, Zn 以外の微量無機質として栄養的に必須とされているものは Cu, Mn, Co, Mo, Co, Sn, I, Se である。人乳中にも牛乳中にもこれらは存在するが、その定量値は変動が大きく標準値は明確でない。Ni, Va, Cd, Ba, Sr, F, As もおそらく必須と推察される。米国の人乳の Cu 含量は 100 ml 中 9~63 μg (平均 24 μg)⁽⁵⁰⁾, 日本では平均 27 μg ⁽⁵⁶⁾ と報告されている。日本における Mo の分析値は 100 ml 中平均 0.2 μg であった⁽⁵⁸⁾。

4. 人乳のビタミン

人乳および牛乳のビタミン A, B₁, B₂, ナイアシン, ビタミン C の標準値は表 10 に併せ示した。また斎藤ら⁽⁶⁰⁾によってまとめられた値を表 11 に示した。牛乳より人乳の方が平均含量の高いビタミンはナイアシン, ビタミン C, E で, 少ないのはビタミン B₁, B₂, B₆, ビオチンである。ビタミン A 含量は両者で大差ない。

(i) 脂溶性ビタミン

人乳のビタミン A 含量は母親の食餌により影響されやすい。日本の都市部においては 100 ml 当たり 150~170 IU⁽⁶¹⁾, 農林部で平均 105 IU という値が報告されている⁽⁶²⁾。初乳では成乳の 2~3 倍含まれる。人乳のビタミン A (レチノール) の大部分はエステル型で, この点牛乳も大体同様である。最近スウェーデン人とエチオピアの低所得層の人々の母乳について比較した結果によると⁽⁶³⁾, 前者でビタミン A 含量が有意に高くまたエステル型の割合が多かったという。一方 β -カロチンの含量は後者の方が高かった。

牛乳のカロチノイドは大部分カロチンでこのうちとくに β -カロチンの比率が高い。人乳ではカロチノイド中カロチンは 10~20% で, リコピンあるいはルテインが 40~50% を占めているという⁽⁶⁰⁾。

人乳および牛乳のビタミン D 含量は一般に低いといわれてきた。それ故乳児にはビタミン D が補給されるべきであるという意見もあり論争されてきた⁽⁶⁴⁾。佐橋ら⁽⁶⁵⁾はビタミン D の代謝における一連の研究において, 牛乳および人乳のビタミン D は大部分が水溶性の D 硫酸エステルであると報告した。報告されたその含量は牛乳で 100 ml 当たり 20.4 IU, 人乳で 95 IU にも達する。この値は従来脂溶性として報告されてきたビタミン D 含量 (人乳で 100 ml 当たり約 2 IU) よりもはるかに高い。この佐橋らの報告した水溶性ビタミン D がビタミン D 活

性を有するとすれば, 母乳栄養でくる病が起こらないという事実をよく説明することができる。しかし佐橋らの分離したビタミン D 硫酸エステルの同定は十分と思われず, また水溶性であるとすれば脱脂乳に存在するはずであり, このことも証明されていない。

佐橋らの研究は最近フランスと英国で追試検討された。すなわち Boulch ら⁽⁶⁶⁾はコレカルシフェロールの大部分が硫酸と結合して人乳中に存在することを佐橋らの方法に準じて確認したと述べている (しかし同定は完全とは思われない)。その含量は人乳 100 ml 当たり 1 μg , 牛乳 0.44 μg で, これがコレカルシフェロールと同等の活性があるものと仮定して換算すれば佐橋らの報告値の約半分の含量になる。Lakdawala ら⁽⁶⁷⁾も人乳のビタミン D 硫酸エステルを定量し初乳で平均約 1.8 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$, 成乳で約 1 μg と報告した。牛乳では 0.15 μg であったという。これらの値は佐橋らの報告値に近い。

乳のビタミン D に関する佐橋らの発想はきわめてオリジナリティーの高いものであったが, 日本の栄養学者やビタミン学者によってあまり注目されなかったのは遺憾である。この硫酸エステルの完全同定やその生物活性が検討されるべきであろう。佐橋らもラットを用い人乳より分離したビタミン D 硫酸エステルおよび合成品について抗くる病効果を検討しているが⁽⁶⁸⁾, 人間の乳児にとって脂溶性ビタミン D と同じような生物活性を有するかどうか今後解明されねばならない問題であろう。また乳のビタミン D 硫酸エステルがどのような代謝過程をへて乳に分泌されるかも興味ある問題である。

人乳のビタミン E (トコフェロール) 含量については従来より調べられていたが, α -トコフェロール以外のトコフェロールが存在するかどうか不明で, したがって各トコフェロールの分別定量も行われていなかった。筆者の研究室でこの点について検討を加え, 人乳中に α -トコフェロール以外に, β -, γ - および δ -トコフェロール並びに γ -トコトリエノールが存在することを確認し, これらを分離定量した⁽⁶⁹⁾。人乳中のトコフェロールは牛乳中と同じように主として α -トコフェロールであるが, そのおよそ 10 分の 1 は γ -トコフェロールで, その他も微量存在する。また初乳中には α -トコフェロールが成乳の数倍量存在することを認め, ビタミン E 給源としての初乳の重要性を指摘した。なお人乳脂質中のビタミン E と高度不飽和脂肪酸含量の比 ($\mu\text{g}/\text{mg}$) は初乳で約 1.6, 移行乳で 0.7, 成乳で 0.3 であった⁽⁷⁰⁾。初乳でこ

の比率が高いのは興味ある事実である。

牛乳、人乳ともにビタミンK含量は低い。ビタミンKは腸管内の細菌により生産されるので普通欠乏症は起こらないといわれているが、その生産機能に障害が起こってKが欠乏すると、例えば乳児の頭蓋内出血をおこす可能性があり注意すべきビタミンである。

(ii) 水溶性ビタミン

人乳のビタミン B₁ 含量は各種要因によって影響を受けるようでその変動が大きい。B₁ の形態については初乳では主としてエステル型であるが成乳ではエステル型が 50~75% になるという⁽⁶⁰⁾。世界でも乳児の脚気が多発する地方では乳中の B₁ 含量も低いといわれる。

人乳のビタミン B₂ 含量は一般に高いが、食餌によって影響を受けるようで、斎藤ら^(61,62)は都市部では 100 ml 当たり 36 μ g、農村部では 26 μ g という値を報告し、この差は食餌の影響によると推定している。牛乳は人乳の数倍量含む。牛乳の B₂ はエステル型よりも遊離型が多い。人乳では日本人の場合エステル型が多く米国人で遊離型が多いといわれる。これも食餌の違い、とくにアメリカ人の B₂ の主な給源が遊離型 B₂ の多い牛乳であるためと考察されている⁽⁶⁰⁾。

ナイアシンの含量は人乳では牛乳の約 2 倍である。乳のナイアシン含量は低いが、トリプトファン含量が高いのでこれにより補填されると考えられる。ビタミン B₆ は人乳よりも牛乳の方が多い。牛乳ではピリドキサルが主で残りはピリドキサミンであるが⁽⁷¹⁾、人乳中の形態は明らかではない。West ら⁽⁷²⁾によると 1 日 2.5~5.0 mg の B₆ を摂取した母親の乳は 2.5 mg 以下を摂取した母親の乳より高い含量を示すが、これ以上摂取量をふやしても乳の B₆ 含量は有意な増加を示さないという。パントテン酸は人乳より牛乳の方がやや含量が高い。ビオチンは牛乳の方がかなり含量が高く、これはウシにおいて腸内細菌によるビオチン生産が高いためと考えられている。ビタミン B₁₂ 含量は分析者により変動が大きい。

イノシトールは人乳の方がやや高い。小笠ら⁽⁷³⁾は人乳のイノシトールは初乳の方が移行乳、成乳よりも高く、この傾向は牛乳でも同様であることを認めた。また人乳のミオイノシトールの 1.0% が脂質結合型で、この割合は牛乳では 6.3% であると報告している。さらに人乳中に微量のシロイノシトール (scylloinositol) を検出している。

人乳のビタミン C 含量は平均約 5 mg/100 ml で、牛乳

よりも多い。斎藤ら^(61,62)は札幌市および北海道の農村地域の方が東京や大阪に比して含量がやや低いことを認めている。これはおそらく摂取量の差によるものであろう。人乳のビタミン C 含量の季節的变化に関しては外国で 2~4 月に低く、8~10 月に高いという報告があるが、これは食餌の季節的な変化によるものであろう⁽⁶⁰⁾。しかしながらビタミン C を大量投与しても乳のビタミン C はそれほど増加するものではない。分泌直後の人乳のビタミン C は還元型のみを含むものと考えられる⁽⁶¹⁾。

5. その他の成分

牛乳中には約 0.18% のクエン酸が存在するが、人乳中にも 0.02~0.08% 存在する⁽⁷⁴⁾。祐川ら⁽⁷⁵⁾は人乳と牛乳の硝酸態窒素量を測定し、人乳で 1~5 ppm で牛乳中の含量の 10~20 倍であると報告している。亜硝酸はほとんど検出されない。

人乳は牛乳に比べて全窒素中に占める非蛋白態窒素化合物の割合はるかに高いことは前号の総説で述べた。すなわち人乳中の全窒素の 25~30% (牛乳では約 5%) が非蛋白態窒素で、これは尿素、ペプチド、遊離アミノ酸、その他 (タウリン、グルコサミン、クレアチニン、クレアチン等) より構成される⁽⁷⁶⁾。人乳の尿素含量は約 23 mg% で、血漿尿素量とはほぼ等しい⁽⁷⁶⁾。牛乳の尿素含量も平均約 20 mg% で⁽⁷⁷⁾、人乳中の含量とはほぼ同じである。人乳中の遊離アミノ酸含量は牛乳より高い^(78,79)。このうちグルタミン酸、グルタミン、アラニン、セリン、スレオニン等が多い。人乳の遊離アミノ酸は金属イオンのトランスポートに寄与するかもしれないと考えられている⁽⁷⁶⁾。

人乳 100 ml 中には約 67 mM (約 8 mg) のタウリンが含まれ、この含量が血漿中の濃度の数倍であることは特記に値する⁽⁷⁶⁾。Ghadimi ら⁽⁷⁸⁾はヒト成乳 100 ml 中 4~6 mg、牛常乳で約 0.7 mg の値を報告している。タウリンは脳神経系に関与する成分であり、タウロコールの構成成分としても重要である⁽⁸⁰⁾。胎児にはタウリンの生合成に関与する酵素が欠けているという⁽⁸¹⁾。

Sanguansermisri ら⁽⁸²⁾は人乳および牛乳中にプトレシン、カダベリン、スペルミジン、スペルミン等のポリアミンを確認した。ポリアミンはリボゾームや核酸、リン脂質の構造の安定化に寄与している。また蛋白質合成におけるアミノ酸の活性化、翻訳および転写を促進するといわれている。

斎藤ら⁽⁸³⁾は人乳と牛乳の脂肪球皮膜および蛋白質画分に存在する核酸について比較し、人乳の両画分中には牛乳画分中の 3~10 倍の RNA が存在し、一方 DNA は牛乳の画分中に多いことを報告した。あわせて乳脂肪分解が RNA によって促進されることから、乳の RNA は消化管における脂肪の消化性に寄与するという仮説を提出している。Sanguansermsri ら⁽⁸²⁾はヒト成乳中の DNA 含量は牛成乳中のそれと大差ないが、ヒト成乳の RNA 含量は牛成乳よりかなり高いことを見出している。

人乳の核酸関連物質については木幡ら⁽⁸⁴⁾の詳細な研究がある。すなわち牛乳(常乳)の核酸関連物質はオロト酸が主で、この他微量の 3',5'-AMP および CMP 等から構成されるが、人乳では 5'-CMP, 5'-UMP, UD-PH, 5'-AMP 等多数の成分から成る。しかし興味あることにオロト酸は人乳中に痕跡程度しか存在しない。これらの差異が栄養学的にどのような意義があるかどうか明らかにされていない。

6. おわりに

人乳の栄養素についてはその栄養学的な相互作用を研究することが重要である。今後このような研究の発展が期待される。調製粉乳の改良に関しては脱塩処理や分離した成分から再構成する必要性は理解できるが、この際牛乳と人乳に共通の微量栄養素が失われる可能性について十分留意する必要がある。乳は乳児の発育にとって最もバランスのとれた、しかも本質的に生きた分泌物であることを忘れてはならない。しかし化学的研究により調製粉乳をさらに改良する努力は必要であり、Barness⁽⁸⁵⁾も述べているように、低分子成分や脂質等の母乳化は不可能ではない。また将来化学と生物学の進歩により人乳と牛乳の抗菌性および免疫の特性が解明され、その知識が育児用調製乳の改良に寄与するかもしれない。乳児栄養学に関しては、今後人乳の成分研究は乳児の脳神経系の栄養学と関連して重要になるとと思われる。これは実験的検討がきわめて難しいので、おそらく 21 世紀にもちこされる課題であろう。

- (1) S. Patton and R.G. Jensen: "Biochemical Aspects of Lactation," Pergamon Press, Oxford, 1976, p.77.
- (2) R.G. Jensen, M.M. Hagerty and K.E. McMahon: *Am. J. Clin. Nutr.*, **31**, 990(1978).
- (3) S.D. Morrison: "Yield and Composition of

Human Milk," Commonwealth Agricultural Bureaux, Bucks, England, 1952, p.50.

- (4) 斎藤健輔ら: 雪印乳業技術研究所報告, 第 69 号, p. 1 (1965).
- (5) R.L. Glass, H.A. Troolin and R. Jenness: *Comp. Biochem. Physiol.*, **22**, 416 (1967).
- (6) W. Insull, Jr., J. Hirsch, T. James and E. H. Ahrens, Jr.: *J. Clin. Invest.*, **38**, 443 (1959).
- (7) W.W.C. Read, P.G. Lutz and A. Tashjan: *Am. J. Clin. Nutr.*, **17**, 180 (1965).
- (8) W.W.C. Read and A. Sarraf: *Am. J. Clin. Nutr.*, **17**, 177 (1965).
- (9) W.F.J. Cuthbertson: *Am. J. Clin. Nutr.*, **29**, 559 (1976).
- (10) M.A. Crawford, A.G. Hassam and J.P.W. Rivers: *Am. J. Clin. Nutr.*, **31**, 2181(1978).
- (11) M.A. Crawford, A.J. Sinclair, P. Msuya and A. Munhambo: "Dietary Lipids and Postnatal Development," ed. by C. Galli *et al.*, Raven Press, New York, 1973, p.41.
- (12) M.A. Crawford and A.J. Sinclair: "Lipids, Malnutrition and the Developing Brain," ed. by K. Elliot *et al.*, Assoc. Scientific Publisher, London, 1972, p.267.
- (13) 小林弘昌, 菅野長右衛門, 山内邦男: 日本農芸化学会大会講演要旨集, 京都, 1976, p.196.
- (14) 小林弘昌, 菅野長右衛門, 山内邦男, 朴鳳仙: 日本農芸化学会大会講演要旨集, 名古屋, 1978, p.157.
- (15) 小林弘昌, 伊東潤, 山内邦男: 日本農芸化学会大会講演要旨集, 東京, 1979, p.281.
- (16) H.P. Kaufmann, F. Volbert and G. Mankel: *Fette. Seifen. Antrichmittel*, **63**, 261(1961).
- (17) J.L. Beare-Rodgers and E.A. Nera: *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **53**, 467A (1976).
- (18) 山本良郎: 酪農科学・食品の研究, **27**, A 163 (1978).
- (19) J.M. Aitchison, W.L. Dunkley, N.L. Canolty and L.M. Smith: *Am. J. Clin. Nutr.*, **30**, 2006 (1977).
- (20) Z. Selinger and R.T. Holman: *Biochim. Biophys. Acta*, **106**, 56 (1965).
- (21) 土屋文安, 木村泰延: 農化, **41**, 13 (1967).
- (22) O.S. Privett *et al.*: *Am. J. Clin. Nutr.*, **30**, 1009 (1977).
- (23) 山本良郎, 土屋文安: 栄養と食糧, **28**, 441 (1975).
- (24) A. Kuksis and W.C. Breckenridge: "Dairy Lipids and Lipid Metabolism," ed. by M.F. Brink and D. Kritchevsky, Avi. Publ. Co., Westport, 1968, p.28.
- (25) 横山水映, 小形さよ子, 金田尚志: 栄養と食糧, **29**, 335 (1976).

- (26) J. L. Filer, Jr., F. H. Mattson and S. J. Fomon: *J. Nutr.* **99**, 293 (1969).
- (27) 長沢太郎, 両木岱造, 工藤 力: 栄養と食糧, **18**, 387 (1966).
- (28) 土肥 達, 森 茂, 仁木 達, 三野和雄: 日畜会報, **38**, 181 (1967).
- (29) 森 茂, 土肥 達, 三野和雄: 日畜会報, **38**, 277 (1967).
- (30) M. A. Crawford *et al.*: *Cur. Med. Res. Opinion*, **1**, Supple. 1, 33 (1976).
- (31) 森 茂, 土肥 達, 井上芳子, 佐々木敬卓, 鈴木徳信: 日畜会報, **41**, 75; 125 (1970).
- (32) M. J. Mellies *et al.*: *Am. J. Clin. Nutr.*, **31**, 1347 (1978).
- (33) U. Bracco: "Dietary Lipids and Postnatal Development," ed. by C. Galli *et al.*, Raven Press, New York, 1973, p. 23.
- (34) U. Bracco, J. Hidalgo and H. Bohren: *J. Dairy Sci.*, **55**, 165 (1972).
- (35) S. Kuzdzal-Savoie, W. Kuzdal, D. Langlois and J. Trehin: "Dietary Lipids and Postnatal Development," ed. by Galli *et al.*, Raven Press, New York, 1973, p. 23.
- (36) B. Hallgren, A. Niklasson, G. Stallberg and H. Thorin: *Acta Chem. Scand.*, **B 28**, 1029 (1974).
- (37) C. L. Bullen and A. T. Willis: *British Med. J.*, **3**, 338 (1971).
- (38) L. Gothefors and J. Carlsson: "Food and Immunology," ed. by L. Hambræus *et al.*, Almqvist and Wiksell International, Stockholm, 1977, p. 160.
- (39) W. Heine, H.-J. Zunft, W. Müller-Beuthow and F.-K. Grütte: *Acta Padiatr. Scand.*, **66**, 699 (1977).
- (40) 佐々木林治郎, 谷口安吉: 農化, **33**, 111 (1959).
- (41) 足立 達: 牛乳中の糖質の諸問題, 酪農乳業研究セミナー第 15 回, 乳糖不耐症の研究, 総合教育企画, 1978.
- (42) R. Kuhn: *Angew. Chem.*, **69**, 23 (1957).
- (43) F. H. Malpress and F. E. Hytten: *Biochem. J.*, **68**, 708 (1958).
- (44) 光岡知足: 腸内細菌の話, 岩波書店, 東京, 1978, p. 73.
- (45) 木幡 陽: 生化学, **42**, 829 (1970).
- (46) 木幡 陽: 代謝, **13**, 575 (1976).
- (47) 長沢太郎, 両木岱造, 清水 功, 寺本容子: 栄養と食糧, **17**, 217 (1964).
- (48) 古谷 博, 前原大作: 日産婦誌, **16**, 523 (1964).
- (49) 科学技術庁資源調査会: 三訂補日本食品標準成分表, 砂糖及び甘味類・油脂類・豆類・卵類・乳類編 (1978).
- (50) L. P. Posati and M. L. Orr: *Agricultural Handbook*, No. 8-1, U. S. Dept. Agr. (1976).
- (51) 李 連淑, 野口 忠, 内藤 博: 日本農芸化学会大会講演要旨集, 東京, 1979, p. 261; 日本栄養・食糧学会総会講演要旨集, 東京, 1979, p. 41.
- (52) M. F. Picciano and H. A. Guthrie: *Am. J. Clin. Nutr.*, **29**, 242 (1976).
- (53) 九鬼信正: 日小児誌, **62**, 603 (1958).
- (54) 藤林増雄: 日小児誌, **65**, 718 (1961).
- (55) 祐川金次郎, 小沢成子: 栄養と食糧, **19**, 318 (1967).
- (56) 今村経明, 内藤 博, 青木孝良: 栄養と食糧, **22**, 361 (1969).
- (57) J. A. McMillan, S. A. Landaw and F. A. Oski: *Pediatrics*, **58**, 686 (1976).
- (58) C. D. Eckhart *et al.*: *Science*, **195**, 789 (1977).
- (59) C. W. Evans and P. F. Johnson: *Am. J. Clin. Nutr.*, **30**, 611 (1977).
- (60) 斎藤健輔: 乳児栄養学, 高井俊夫編, 朝倉書店, 東京, 1969, p. 58.
- (61) 斎藤健輔ら: 栄養と食糧, **15**, 408 (1963).
- (62) 斎藤健輔, 野口洋介, 野口絢子: 昭 42 年度栄養・食糧学会講演 (1967).
- (63) M. Gebre-Medhin *et al.*: *Am. J. Clin. Nutr.*, **29**, 441 (1976).
- (64) R. B. Alfin-Slater and D. B. Jelliffe: *Ped. Clin. of North America*, **24**, 3 (1977).
- (65) 佐橋佳一, 鈴木隆雄, 檜垣宮都, 浅野 勉: ビタミン, **34**, 467 (1966); *J. Vitaminol.*, **13**, 33 (1967).
- (66) N. Le Boulch, C. Gulat-Marnay and Y. Raoul: *Intern. J. Vit. Nutr. Res.*, **44**, 167 (1974).
- (67) D. R. Lakdawala and E. M. Widdowson: *Lancet*, 167 (1977).
- (68) 佐橋佳一, 鈴木隆雄, 檜垣宮都, 浅野 勉: ビタミン, **36**, 402 (1967); *J. Vitaminol.*, **15**, 78 (1969).
- (69) H. Kobayashi, C. Kanno, K. Yamauchi and T. Tsugo: *Biochim. Biophys. Acta*, **380**, 282 (1975).
- (70) 小林弘昌, 菅野長右衛門, 山内邦男, 津郷友吉: 日本農芸化学会大会講演要旨集, 札幌, 1975, p. 56; および未発表資料.
- (71) J. C. Rabinowitz and E. E. Snell: *J. Biol. Chem.*, **176**, 1157 (1948).
- (72) K. D. West and A. Kirksey: *Am. J. Clin. Nutr.*, **29**, 961 (1976).
- (73) K. Ogasa, M. Kuboyama, I. Kiyosawa, T. Suzuki and M. Itoh: *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **21**, 129 (1975).
- (74) R. Jenness: "Lactation," ed. by B. L. Larson and V. R. Smith, Academic Press, New York, 1974, p. 43.

- (75) 祐川金次郎, 松本多計治: 栄養と食糧, **28**, 389 (1975).
- (76) U. Svanberg, M. Gebre-Medhin, B. Lingqvist and M. Olson: *Am. J. Clin. Nutr.*, **30**, 449 (1977).
- (77) 足立 達: 科学, **24**, 261 (1954).
- (78) H. Ghadimi and P. Pecora: *Am. J. Clin. Nutr.*, **13**, 75 (1963).
- (79) J. P. Farriaux *et al.*: *Rev. Pédiat.*, **7**, 639 (1971).
- (80) J. A. Sturman, D. K. Rassin and G. E. Gaul: *Pediat. Res.*, **11**, 28 (1977).
- (81) J. A. Sturman, D. K. Rassin and G. E. Gaul: *Pediat. Res.*, **10**, 415 (1976).
- (82) J. Sanguansermisri, P. György and F. Ziliken: *Am. J. Clin. Nutr.*, **27**, 859 (1974).
- (83) M. Saito, K. Mizoguchi, J. Ono and T. Nagasawa: *Milchwissenschaft*, **25**, 394 (1970).
- (84) A. Kobata, Z. Suzuki and M. Kida: *J. Biochem.*, **51**, 277 (1962).
- (85) L. A. Barnes: *New England J. of Med.*, Oct. 27, p. 939 (1977).
-