離乳直後のラットにおける脂肪, ミネラルの吸収性 におよぼす投与脂肪組成の影響

八 尋 政 利*, 深 沢 仁*, 近 藤 敏**

* 雪印乳業(株)技術研究所

** 同医薬品企画室

Effect of Fat Composition in Diet on Fat and Mineral Absorption in Weanling Rat

Masatoshi YAHIRO,* Hitoshi FUKASAWA,* Satoru KONDO**

* Technical Research Institute, Snow Brand Milk Product Co. Ltd.,
Kawagoe, 350

** Medical Function, Snow Brank Milk Product Co. Ltd.,
Shinjuku-ku, Tokyo, 160

Nippon Eiyō Shokuryō Gakkaishi (*J. Jpn. Soc. Nutr. Food Sci.*) **36**, 247~253 (1983) Fat and mineral absorption and the relationship between these were studied in weanling rats, fed with two formula (A, B) differing in fatty acids composition. The fat of formula A was composed of natural lard which contained high palmitic acid in the 2-position of triglyceride molecule. The fat of formula B was substituted for lard by coconut and corn oils, so that contents of total stearic and palmitic acids and palmitic acid in the 2-position were lower in formula B than those in formula A. Absorption of main fatty acids (C 12 : 0, C 14 : 0, C 16 : 0, C 18 : 0, C 18 : 1, C 18 : 2) were high (90% $\leq$) in both formulas, but stearic acid in formula B was more absorbed ($p < 0.01$) than in formula A.

Palmitic acid was well absorbed (95% $\leq$) in both formulas. Excreted fatty acid were detected in the forms of neutral fat, free and saponificated fatty acids in feces from all rats. But the content of long chain saturated fatty acids in saponificated form was higher than unsaturated fatty acids in every feces. Especially, content of saponificated stearic acid was higher ($p < 0.01$) in feces in formula A than formula B. Palmitic acid did not show the difference in excreted amount between both formulas. Both formulas showed high mineral absorption (90-97%, Na, K, Ca, Mg, P, Cl), though Ca and Mg were better absorbed ($p < 0.05$) in formula B than A. The correlation between mineral (Ca+Mg) and saponificated fatty acid contents (C 16 : 0+C 18 : 0) in feces was high ($r = 0.83$) in formula A but was low in formula B.

It was suggested that mineral absorption was affected by fatty acids absorption, because long chain saturated fatty acids such as palmitic and stearic acids were formed insoluble soap with Ca and Mg during excreting.

(Received October 30, 1982)

現在の育児用粉乳は牛乳成分を基礎としているが、その脂肪はリノール酸強化、消化吸収性あるいは脂肪酸組成の母乳への近似などの目的から牛乳脂肪以外の動植物脂肪が置換脂肪として使用されている。置換脂肪としては、精製ヤシ油、精製ラード、コーン油、パーム油、大豆油などが用いられ、その組合せはさまざまである。一般に長鎖飽和脂肪酸は乳児にとって消化吸収性の劣るものである^{1)~3)}。しかしその一種であるパルミチン酸は、

トリグリセリドの2位に結合したものはよい吸収性を示すことが知られており⁴⁾⁵⁾、母乳中にもその形態のものが多い^{6)~8)}。ラードは含まれるパルミチン酸のトリグリセリドの2位結合比率が高く⁴⁾⁸⁾、優れた消化吸収性を示す脂肪であり、育児用粉乳への配合はそれを利用したものである。しかしラードはパルミチン酸に対するステアリン酸の割合が母乳と比較して高いことから⁹⁾¹⁰⁾、ラード配合割合の増加に伴い、ステアリン酸含量が高くなることは避けられない。ステアリン酸は最も吸収性の劣る長鎖飽和脂肪酸であり、その存在量の増大はミネラル

* 〒350 川越市南台 1-1-2

** 〒160 東京都新宿区本塩町 13

の吸収にも大きな影響をおよぼすといわれている¹¹⁾¹²⁾。またラードは風味安定性の面で植物脂肪などより劣ることから、その配合は風味劣化など品質上の問題も考えられる。

そこで消化吸収性の向上を目的にステアリン酸とパルミチン酸を低減させた配合脂肪と、トリグリセリドの2位結合パルミチン酸の割合の高いラードを配合した脂肪の消化吸収性を比較し、あわせてミネラル吸収との関連を調べるため、それぞれの配合脂肪を含む食餌の離乳直後のラット（幼若ラット）への投与実験を行なった。

実験方法

1. 飼料の調製および組成

実験に用いた脂肪配合は脂肪中コーンサラダ油 15%、精製ラード 55%、精製ヤシ油 10%、牛乳脂肪 20%（脂肪A）およびコーンサラダ油 30%、精製ヤシ油 40%、パーム油 10%、牛乳脂肪 20%（脂肪B）である。これらの配合脂肪の脂肪酸組成およびおもな脂肪酸のトリグリセリド2位結合割合¹³⁾を表1に示す。脂肪Bは脂肪Aに比較して、ステアリン酸、パルミチン酸を減量し、その代替としてラウリン酸を中心とした中鎖脂肪酸を増量したことが特徴であり、また脂肪Bはラードを使用していないためにパルミチン酸のトリグリセリド2位結合割合が低値となっている。ラットへの給餌飼料はタンパク質 20%、糖質 50%、脂肪 20%、灰分 2%、繊維分 2% および水分 5% を目標として、タンパク質は酸カゼイン、糖質はアルファ化デンプンと粉末水飴、脂肪は脂肪Aまたは脂肪Bを用いた。以後配合脂肪AまたはBを添加した飼料を飼料Aまたは飼料Bとよぶ。ミネラル組成は両飼料とも市販調製粉乳をモデルに同一組成とした。なおこのレベルはラットに対する諸家の添加レベルと大差ないものと判断された¹⁴⁾。ビタミン混合物は Harper の組成¹⁵⁾を参考にして1% 配合した。無脂肪食はリノール酸のみ補給する目的でコーンサラダ油を約 1% 添加し、他の脂肪はすべて糖質に置き換えた。なおこれらの飼料は混合して粉状飼料として調製した。各飼料の一般組成、主要ミネラル組成の実測値を表2に示す。

2. ラットの飼育と糞便試料の採集

Sprague-Dawley 系幼若雄ラット（3週齢、平均体重 45 g）20 匹をそれぞれ一匹ずつ飼育ケージに入れて3日間市販固型食（日本ワイス社製 CE-2）を投与後、無脂肪食を3日間投与して外因性の脂肪を排泄させた。その後10匹ずつ飼料A群およびB群に分け、各試験食を投与し、毎日、体重、餌摂取量、糞便排泄量を記録した。

また試験食投与3日後より10日間の糞便を採取し、脂肪、ミネラルの分析試料として、分析に供するまで冷凍保存した。なお飼育中、水はイオン交換水を *ad libitum*

表 1. 投与飼料中の脂肪酸組成と主要脂肪酸のトリグリセリド2位結合割合

	配合脂肪A		配合脂肪B	
	脂肪中 (wt %)	2位結合 (%**)	脂肪中 (wt %)	2位結合 (%)
C8-0	0.2		1.2	
C10-0	0.7		2.4	
C12-0	4.7	55.6	21.2	58.3
C14-0	4.3	50.0	9.0	45.3
C16-0	21.3	55.8	16.1	20.5
C16-1	2.3		0.7	
C18-0	9.9	9.8	4.5	9.6
C18-1	37.0	20.5	22.1	28.4
C18-2	15.7	28.6	19.3	31.4
C18-3	0.3		0.3	
C20-1	1.6		0.8	

* 脂肪酸の炭素数と2重結合の数を示す。

** 2位結合% = (2位のモノグリセリドの脂肪酸量 / トリグリセリドの脂肪酸量 × 3) × 100

表 2. 投与飼料の一般組成（100 g 当たり）

	無脂肪食	飼料 A	飼料 B
タンパク質	20.7(g)	20.8(g)	20.9(g)
脂 肪	0.9	19.7	19.8
炭 水 化 物	68.0	50.2	49.7
灰 分	2.4	2.3	2.4
粗 繊 維	2.0	2.0	2.0
ビタミン混合	1.0	1.0	1.0
水 分	5.0	4.0	4.2
Na	150(mg)	175(mg)	138(mg)
K	488	438	463
Mg	30	30	36
Ca	375	379	382
P	306	295	291
Cl	234	229	267
Fe	6	6	6

に与えた。

3. 糞便試料の分析

試験食投与 10 日間中に採集した糞便を個体別に合わせたのち凍結乾燥し乳鉢で十分混合したものを分析試料とした。

1) 脂肪分析 総脂肪はレーゼゴットリーブ法¹⁶⁾によって定量し、さらに中性脂肪、遊離脂肪酸、ケン化脂肪酸に分画定量した。脂肪分析手順のフローシートを図1

図 1. ラット糞便中の脂肪形態の分析フローシート

に示す。各画分の構成脂肪酸はメチルエステル化後、トリデカン酸を内部標準としてガスクロマトグラフィによって測定した。

2) ミネラル分析 糞便の一定量を磁製ルツボに採取し、550°C で乾式灰化後、塩酸で溶解し一定量としたものを Na, K, Ca, Mg は原子吸光法, P は Fiske-Subbarow 法¹⁷⁾, Cl は Volhard 法¹⁸⁾ によって定量した。

4. 見掛けの吸収率の算出

糞便中に排泄される脂肪はそのすべてが食事由来ではなく、胆汁、腸管内に分泌された脂肪などいわゆる内因性の脂肪なども含まれる。またミネラルの代謝はその種類によって代謝経路は異なり、排泄も尿中あるいは糞便中、汗中など相違するものである。したがって、各成分の厳密な吸収率の算出は困難である。本実験では第1次的吸収という観点から〔(摂取量－糞中排泄量)/摂取量〕×100 の計算式を用いて脂肪またはミネラルの見掛け上の吸収率を算出した。

実験結果および考察

1. 脂肪の出納

試験食投与 10 日間の各ラットの 1 日当たりの平均脂肪摂取量は飼料 A, B 群とも約 2.3 g で、排泄脂肪量は 60～50 mg と非常に少量であった。この結果、見掛けの吸収率は 97% 以上と良好な値となり、山本ら¹⁹⁾のラットを用いた食用油脂の吸収率の結果とほぼ一致した。表 3 に両群の投与 10 日間の脂肪出納結果を示す。なお図 2 に示すように両群とも飼育期間中の体重増加は順調で

表 3. 10 日間における摂取脂肪量, 排泄脂肪量および見掛けの脂肪吸収率

	摂取脂肪量 (g)	糞便中の脂肪 量 (g)	見掛けの脂肪 吸収率 (%)
飼料 A	23.4±1.5	0.6±0.1	97.4±0.5
飼料 B	23.4±1.9	0.5±0.1	97.8±0.2

95% 信頼区間

有意な差を認めなかった。

2. 各脂肪酸の出納と脂肪酸の糞便中の排泄形態

摂取飼料中および排泄糞便中の脂肪酸組成から求めた各脂肪酸の出納を表 4 に示す。両群ともに摂取量の多い脂肪酸ほど吸収量が多く、また脂肪出納の結果から明らかかなように各脂肪酸はいずれも 90% 以上の吸収率を示した。

しかし、その中で各脂肪酸の排泄量は必ずしも摂取量と比例せず、見掛けの吸収率は長鎖飽和脂肪酸で炭素数が長くなるにつれて低下傾向が見られた。両群を比較するとステアリン酸は有意に飼料 B 群のほうがよい吸収率を示した。またパルミチン酸の吸収率は飼料 B 群のほうがやや低値を示すものの両群に有意な差を認めなかった。ステアリン酸は最も吸収の悪い長鎖飽和脂肪酸であることが知られているが、飼料 B 群はその含量が飼料 A 群の約 1/2 量である。このことは食餌中の脂肪酸の相互関係も関連すると考えられるが²⁰⁾、少なくとも飼料 B 群は脂肪の消化吸収時におけるステアリン酸の負荷が少なく、この結果吸収率が高くなったものと思われる。同様に飼料 B 群のパルミチン酸の吸収率はトリグリセリドの 2 位結合割合の低い脂肪を摂取したにもかかわらず、その含有量を低くしたために飼料 A 群と差がなかったものと推察される。一方両群の摂取量に差があるラウリン酸、オレイン酸、リノール酸などについては良好な吸収率であり、有意な差を認めなかった。これらの脂肪酸は吸収されやすい脂肪酸といわれており、消化吸収がその負荷量によって影響されないことを示している。

また主要脂肪酸の糞便中の排泄形態を図 3 に示すが、比較的吸収率の劣るステアリン酸とパルミチン酸は排泄脂肪酸中に占める割合は高く、両酸を合わせると飼料 A 群で 77%, 飼料 B 群では 59% と過半数を示した。さらに図 4 に示すように、総ケン化脂肪酸中に占める両酸の割合は飼料 A 群で 82.5%, B 群で 70.2% となりケン化脂肪酸の大部分を占めるものであった。これらのことから両脂肪酸がミネラル吸収過程に何らかの影響をおよぼすことが示唆される。A, B 食群を比較すると、排泄総ケン化脂肪酸のうち、ステアリン酸はそれぞれ 53.8%, 27.2% を占め、かつ図 3 に示すように、その排泄量は B 食群のほうが有意に低値であった。パルミチン酸は総ケ

図 2. ラット飼育期間中の体重曲線 (95% 信頼区間)
● 飼料A群, ○ 飼料B群

表 4. 10日間における脂肪酸の摂取量, 吸収量, 排泄量および見掛けの吸収率

		摂取量 (g)	吸収量 (g)	排泄量 (mg)	見掛けの吸収率 (%)
C 12-0	飼料A	1.10±0.08	1.10±0.07	4.6±1.2	99.6±0.1
	飼料B	5.01±0.44	4.98±0.44	26.4±7.1	99.5±0.1
C 14-0	飼料A	1.01±0.07	1.00±0.07	12.5±2.9	98.7±0.8
	飼料B	2.11±0.17	2.07±0.17	37.1±5.6	98.2±0.6
C 16-0	飼料A	4.99±0.32	4.84±0.32	152.4±22.1	96.9±1.8
	飼料B	3.77±0.31	3.63±0.30	137.8±22.4	96.4±1.7
C 18-0	飼料A	2.32±0.15	2.10±0.15	220.3±50.0	90.6±2.2
	飼料B	1.05±0.08	0.98±0.08	72.0±11.6	93.2±1.2**
C 18-1	飼料A	8.67±0.55	8.62±0.55	51.1±11.0	99.4±0.1
	飼料B	5.17±0.41	5.13±0.42	45.9±9.8	99.1±0.1
C 18-2	飼料A	3.68±0.24	3.67±0.23	7.7±2.0	99.8±0.1
	飼料B	4.52±0.37	4.51±0.37	10.1±5.4	99.8±0.1
Total	飼料A	21.78±1.4	21.33±1.41	479.7±86.1	97.9±0.8
	飼料B	21.63±1.78	21.30±1.80	367.0±41.0	98.3±0.1

95% 信頼区間
** は飼料間に 1% の危険率で有意差があることを示す。

ン化脂肪酸に占める割合ではB食群のほうが高かったが排泄量では両群間に有意な差を認めなかった。ミリスチン酸とラウリン酸はその含量の高い飼料B食群のほうが高い排泄量を示し、そのケン化脂肪酸量も高いが、量はステアリン酸、パルミチン酸よりはるかに低値であっ

た。オレイン酸、リノール酸もケン化脂肪酸としての排泄は少なく、両群間に有意な差を認めなかった。

3. ミネラルの出納と脂肪吸収の関連性

ミネラルの出納結果を表5に示す。すべてのミネラルについて良好な高い吸収率を示した。これは投与したミ

図 3. ラットの 10 日間における糞便中の脂肪酸の形態別排泄量

* は個々の脂肪酸量を形態別に飼料 A, B 間で比較し, 5% の危険率で有意差があり,
** は 1% 危険率で有意差ありを示す。

■ ケン化脂肪酸, 斜線部: 遊離脂肪酸, □ 中性脂肪

図 4. ケン化脂肪酸中に占める各脂肪酸の分布割合

A: 飼料 A, B: 飼料 B

ネラル組成とくに Ca, Mg が諸家の投与レベル¹⁴⁾と比較して低いほうのレベルであり, ロスの少ない効率的な吸収であったことと, また排泄糞便中のミネラル含量からの出納 (見掛けの吸収率) の結果であったためと思われる。両群を比較すると, とともに 1 価イオンの吸収率は

97% 以上と高く飼料組成の影響はなかった。しかし 2 価イオンの Ca, Mg の吸収率は両群とも良好であったが, とくに飼料 B 群が高い値を示した。Ca, Mg の吸収率はタンパク質, 糖質, 脂肪, その他のミネラルによって影響されるが¹¹⁾, 今回の両群の飼料組成は脂肪配合以外は同一であることから, 脂肪の組成上の差が, Ca, Mg の吸収率に影響したと推察される。これについて脂肪酸の排泄形態の中でケン化脂肪酸量が飼料 A 群のほうで高値であったことから脂肪酸と Ca, Mg の吸収との関連性が考えられた。そこで, Ca と Mg の合計排泄量と高値を示したパルミチン酸とステアリン酸のケン化脂肪酸量の合計量の相関関係についてみると, 図 5 に示すように飼料 A 群で両者間の相関係数は 0.83 と高い値を示した。

表 5. 10 日間における各ミネラルの摂取量, 吸収量, 排泄量および見掛けの吸収率

		摂取量(mg)	吸収量(mg)	排泄量(mg)	見掛けの吸収率
Na	飼料A	197.2±12.7	193.5±13.0	3.7±0.8	98.1±0.4
	飼料B	154.6±12.5	151.0±12.8	3.6±0.9	97.6±0.7
K	飼料A	493.5±31.7	485.2±31.8	8.3±1.1	98.3±0.3
	飼料B	518.6±41.9	510.5±41.6	8.1±1.8	98.4±0.4
Mg	飼料A	32.7±2.1	29.1±2.0	3.6±0.5	89.1±1.5
	飼料B	40.3±3.3	37.0±3.2	3.3±0.4	91.7±1.2**
Ca	飼料A	465.3±29.9	428.8±29.2	36.6±6.6	92.1±1.4
	飼料B	469.3±37.9	441.4±36.9	27.9±4.3	94.0±0.9*
P	飼料A	332.4±21.4	322.3±21.6	10.1±1.0	96.9±0.4
	飼料B	325.9±26.3	295.9±59.9	10.0±1.4	96.9±0.5
Cl	飼料A	258.0±16.6	257.2±16.6	0.9±0.3	99.6±0.1
	飼料B	299.0±24.1	298.1±24.1	1.0±0.5	99.7±0.1

95% 信頼区間

* は飼料間に 5% の危険率で有意差があり, ** は 1% の危険率で有意差があることを示す。

図 5. 各ラットの 10 日間における排泄 (C16-0+C18-0) ケン化脂肪酸量と排泄 (Ca+Mg) 量の関係

● 飼料A : $r=0.83$ ($p<0.01$), ○ 飼料B : $r=0.50$ ($p>0.1$)

すなわち Ca, Mg との排泄の増加はステアリン酸やパルミチン酸と結合した Ca 石鹸, Mg 石鹸の形態でももに排泄されていることを示唆している。一方飼料B群では相関は低く, 両者の関連性は少なかった。本実験におけるかかる Ca, Mg の両群の吸収率の差は, 飼料A群では Ca, Mg が吸収性の悪いステアリン酸, パルミチン酸と吸収時に結合し生成した難吸収性の不溶性の石鹸の影響に基づくものと推定された。P の吸収率は 97% と高い値を示し両群間に差を認めなかった。

要 約

トリグリセリド 2 位結合パルミチン酸含量の高いラードを主体とした配合脂肪 A とステアリン酸, パルミチン

酸の含量を下げ, ラウリン酸を高くした配合脂肪 B の脂肪の出納比較および脂肪とミネラル出納との関連性について幼若ラットを用いて検討した。

1) 総脂肪の出納結果は両群とも良好で差を認めなかった。

2) 各脂肪酸については脂肪酸の炭素数, 2 重結合の数によって差があり, 炭素数が短いほど, 2 重結合の数が多いほど吸収性はよい傾向が認められた。

3) 吸収性の悪い長鎖飽和脂肪酸のうち, とくにステアリン酸はその量を低減することによって脂肪吸収時の負荷を下げ吸収率を向上しうることが示唆された。

4) 脂肪酸の排泄形態から吸収性の悪い脂肪酸ほどケン化脂肪酸としての排泄が多く, 飼料A群のケン化ステアリン酸は飼料B群よりも有意に多かった。

5) Ca, Mg の吸収は飼料B群のほうがよかった。この吸収性の差は糞便中の Ca, Mg の排泄量とケン化型のパルミチン酸, ステアリン酸の量の間に高い相関が認められたことから Ca, Mg の吸収時に難吸収性の石鹸を形成することに起因すると推定された。

文 献

- 1) 飯田喜彦, 石井 侃, 門田正坦, 蔵内百治: 小児科診療, **29**, 1391 (1966)
- 2) 田中美知子: 日児誌, **77**, 608 (1973)
- 3) Holt, P.R. and Clark, S.B.: *Am. J. Clin. Nutr.*, **22**, 279 (1969)
- 4) Tomarelli, R.M., Meyer, B.J., Weaker, J.R. and Bernhart, F.W.: *J. Nutr.*, **95**, 583 (1968)
- 5) Filer, L.J., Jr., Mattson, F.H. and Fomon, S.J.: *J. Nutr.*, **99**, 293 (1976)
- 6) 横山水映, 小形さよ子, 金田尚志: 栄養と食糧,

- 29, 335 (1976)
- 7) 八尋政利, 丸井公男, 近藤 敏: 雪印乳業技術研究所報告, 74, 107 (1976)
- 8) Breckenridge, W.C., Marai, L. and Kuksis, A.: *Can. J. Biochem.*, 47, 761 (1969)
- 9) Mattson, F.H. and Lutton, F.S.: *J. Biol. Chem.*, 233, 868 (1958)
- 10) 日本油化学協会編: 油脂化学便覧, 25 (1971), 丸善 (東京)
- 11) 五島孜郎: 栄養と食糧, 32, 1 (1979)
- 12) Tadayyon, B. and Lutwak, L.: *J. Nutr.*, 97, 246 (1969)
- 13) Mattson, F.H. and Volpenhein, R.A.: *J. Lipid Res.*, 4, 392 (1963)
- 14) 細谷憲政, 印南 敏, 五島孜郎編: 小動物を用いる栄養実験, 171 (1980), 第一出版 (東京)
- 15) Harper, A.E.: *J. Nutr.*, 68, 405 (1959)
- 16) 乳業技術講座編集委員会編: 乳業技術講座 (5) 牛乳, 乳製品検査, 36 (1964), 朝倉書店 (東京)
- 17) Fiske, C.H. and Subbarow, Y.: *J. Biol. Chem.*, 66, 375 (1925)
- 18) 日本化学会編: 新実験化学講座 (9), 242 (1976), 丸善 (東京)
- 19) 山本良郎, 土屋文安: 栄養と食糧, 28, 431 (1975)
- 20) Young, R.J. and Garrett, R.L.: *J. Nutr.*, 81, 321 (1963)

(昭和 57 年 10 月 30 日受理)