

難消化性の生アミロメイズ澱粉がラットの血清コレステロール値に およぼす二面的効果について

太田富貴雄・平山(片山)けい子・横井正・渡辺幸雄*・綾野雄幸
(食品及び栄養化学研究室)

Contradictory Effect of Dietary Raw Amylomaize Starch on Serum Cholesterol Level in Rats Fed a Diet with or without Supplementation of Cholesterol

Fukio OHTA, Keiko HIRAYAMA (KATAYAMA), Tadashi YOKOI,
Yukio WATANABE and Yûko AYANO
(Laboratory of Food and Nutritional Chemistry)

ABSTRACT

The influence of dietary raw amylomaize starch was investigated on growth, alimentary tract and lipid metabolism in weaning and adult male rats fed ad libitum a diet with or without added cholesterol and bile salts. Starches were included as a carbohydrate source at 78% level in a cholesterol free diet and at 28% level in a hypercholesterolemic diet, respectively.

Raw amylomaize starch was digested by about 70% and caused remarkable growth retardation of weaning rats probably through depressing feed intake and deleterious effect on protein digestion. The poorly digestible starch also brought about significant enlargement of small intestine as well as cecum in both weaning and adult rats. In addition, that starch did exert an apparent contradictory action on serum cholesterol level. When supplied in a cholesterol free diet, the starch decreased remarkably the fasting serum cholesterol of weaning and adult rats compared to normal corn starch. On the other hand, in a hypercholesterolemic diet it increased significantly the fasting and postprandial serum cholesterol in weaning rats compared to normal corn starch and sucrose. However, these discrepant effects of raw amylomaize starch disappeared partially or completely after pregelatinization by roasting or boiling.

So, it is supposed that large amount of intact starch granules staying at small intestine and cecum were responsible for alterations in size of alimentary tract and serum cholesterol level.

アミロ種のトウモロコシ種実から採取されるアミロメイズ澱粉はアミロースが全粒の 50% 以上を占め、普通トウモロコシ澱粉や他の穀類澱粉に比べて糊化温度が極めて高く (SENTI et al. 1967), 生の状態では馬鈴薯澱粉と同様に α -アミラーゼや動物試験による消化率が著しく低い (BORCHERS, 1962; GALLANT et al. 1972) などの特徴をもっている。

アミロメイズ澱粉は従来可食性フィルムや食品物性改良剤などその用途が限られていたが、田中ら (1978) は低エネルギー食品の素材として利用する方策を考え、主原料の小麦粉の 50% までを当該澱粉で置換したパンの製造が可能であることを示している。綾野ら (1978) は、アミロ

メイズ澱粉添加パンの栄養評価を試み、*in vitro* の測定ではエネルギー低減率 24% の値をえ、また成熟ラットに投与すると全小麦粉パンに比べてエネルギー源物質の消化率を有意に低下させることを認めている。

一般に食品中の難消化性物質はペクチン (LIN et al. 1957), グアーガム (ERSHOFF et al. 1962), コンニャクマンナン (辻ら, 1980), ヘミセルロース (綾野ら, 1982) などに血清コレステロール上昇抑制効果がみられるとおり、消化器管腔内における作用を介して生体機能に様々な影響をおよぼすことが知られている。

難消化性のアミロメイズ澱粉は、生の状態でラットに給与すると小腸上部にとどまらず、消化管下部でも多量

* 現在・植物栄養学研究室

に未消化澱粉粒が検出される(綾野ら, 1979)ので, 消化管組織の構造や機能, 並びに食餌成分の消化吸収に何らかの影響を与えると考えられる。しかし, アミロメイズ澱粉の生理作用については SACQUET et al. (1983)が無菌ラットを用いてコレステロール代謝に対する効果を検討した以外, 報告例は少ないようである。

著者らは, 生または糊化アミロメイズ澱粉を糖質源とするコレステロール添加ないし無添加食をラットに給与して脂質代謝におよぼす作用を追究したところ, 生澱粉が血清コレステロール値に対してコレステロール無添加食時には低下作用を, コレステロール添加食時には反対に上昇作用を発現するとの興味深い知見がえられたので, 以下に報告する。

実験方法

試料澱粉 アミロメイズ澱粉(アミロース含量 49.3%), 糊化アミロメイズ澱粉(糊化度 33.0%)および普通トウモロコシ澱粉は豊年製油株式会社から提供を受けた。焙焼澱粉は水分含量 32%にした生澱粉を 175°C のオーブン中に薄く広げ, 攪拌しながら 20 分間加熱することにより調製した。

実験動物, 実験食組成および飼育条件 実験 2 以外は, 日本ラット(株)から購入した 4 週齢の Wistar 系雄ラットを標準食で 1 週間予備飼育したのち, 実験食の給与を開始した。群分けに際しては各群ラットの平均体重が等しくなるように配慮した。ラットは個別ケージに入れて室温 23±1°C の恒温温室で飼育し, 実験食および水は全期間を通じて自由に摂取させた。実験終了後ラットは断頭により屠殺・採血し, 肝臓, 消化器官などを速やかに摘出して重量の測定を行った。血液は血清を分離採取し, 肝臓はそのまま脂質の定量時まで凍結保存した。

実験食はコレステロール無添加食と高コレステロール食に大別してその組成を Table 1 に表示した。すなわち, コレステロール無添加食は被験澱粉 78%, カゼイン 15%, 大豆油 2% を主体にし, 高コレステロール食は被験澱粉を 28% に下げ一方, ラード 8%, コレステロール 1%, 胆汁酸塩 0.25% を新たに加えた配合にした。高コレステロール食にラードと胆汁酸塩を添加したのは, 食餌コレステロールの吸収を高めて被験澱粉の作用を強めるためであり, また澱粉の量を減らしたのは予備実験でアミロメイズ澱粉 28% 群と 78% 群のラット間で血清コレステロール値に大差がみられなかったことによる。

実験 1 は, コレステロール無添加食の生および焙焼アミロメイズ澱粉が成長, 食餌効率, コレステロール代謝などにおよぼす作用を易消化性の普通トウモロコシ澱粉

と比較するために実施した。体重約 100 g のラットを 8 匹ずつ 4 群に分け, 生および焙焼したアミロメイズ澱粉ないし普通トウモロコシ澱粉をそれぞれ 78% 含む実験食の一つを与えて 28 日間飼育した。その間, 澱粉とたん白質の消化率を測定するため, 最初の 8 日間ラットごとに採糞を行った。最後に一夜絶食させたラットを断頭して採血し, 肝臓と消化管各部の重量を測定した。

実験 2 は, 消化器官が構造的にも機能的にも完成し抵抗力も高まった成熟ラットにおいても, 幼若ラットの場合と同様なアミロメイズ澱粉の効果が発現するか否かを確かめる目的で行った。すなわち体重 500 g 前後の 4 月齢ラットを 6 匹ずつ 2 群に割り当て, おおのくに生アミロメイズ澱粉または普通トウモロコシ澱粉を糖質源とするコレステロール無添加食を給与して 14 日ないし 28 日間飼育し, 実験終了後のラットは実験 1 の場合と同様に処置した。

実験 3 は, 高コレステロール食中のアミロメイズ澱粉が主として血清コレステロール値にどのような影響をおよぼすかを明らかにするために計画した。体重約 85 g のラットを 8 匹ずつ 5 群に分割し, 各群ラットに糖質源として蔗糖のみ, または生および糊化ないし焙焼したアミロメイズ澱粉, ならびに生の普通トウモロコシ澱粉のいずれかを 28% 添加した 5 種類の高コレステロール食の一つを与えて, 19 日間飼育した。その間の途中 5 日間, コレステロール出納を測定するために個別に採糞した。解剖はラットを絶食させることなく行い, 血清や肝臓を採取して脂質の定量に供した。なお, この実験で飼育期間を 19 日にしたのは, 予備実験で高コレステロール食給与ラットの血清コレステロール値が 2~3 週後に最高になり, 以後漸減することを確かめたためである。

実験 4 は, 実験 3 で得られたアミロメイズ澱粉の作用がラットを解剖前に絶食させた場合にも出現するか否かを確認する目的で実施した。体重約 145 g のラットを 8 匹ずつ 4 群に分け, 糖質源として蔗糖のみ, および生または糊化アミロメイズ澱粉ないしは生普通トウモロコシ澱粉を 28% 補足した高コレステロール食で 10 日間飼育したのち, 一夜絶食させたラットを断頭して採血し, 脂質成分の分析用に血清および肝臓を保存した。この実験では期間中に排泄された糞をラットごとに回収し, コレステロール出納の算出に用いた。

分析方法 血清コレステロールの定量は, 血清試料からアセトン・エタノール混液(1:1)で抽出した滲液を乾固させて氷酢酸に溶解し, 塩化鉄 II を含む濃硫酸を加えて発色させる ZAK et al. (1954)の方法によった。肝臓および糞中の β -ヒドロキシステロールは, 試料から得たアセトン・エタノール抽出液の一部を鹼化後ジキトニン

を加え、生じたステロール・ジキトニド沈澱を回収し、氷酢酸に溶解して塩化鉄II・濃硫酸で発色させ定量した。血清および肝臓のトリグリセリド(中性脂肪)は、リン脂質等をシリカゲル吸着により除去したアセトン・エタノール抽出液を鹼化し、生じたグリセロールを酸化・発色させる VAN HANDEL et al. (1957)の方法に準じて測定した。肝臓総脂質の定量は FOLCH et al. (1957)の方法に従い、希塩類溶液で洗浄して非脂質物質を除去したクロロホルム・メタノール(2:1)抽出液を乾固させ、残渣の恒量を求める重量法によった。糞中窒素はミクロケルダール法(HILLER, et al. 1948)によって定量した。糞中澱粉量は、精秤した試料を1N水酸化ナトリウム溶液に浸漬して存在する澱粉を完全糊化させたのち加水分解を行い、生じた還元力を SOMOGYI 法(1952)で測定後グルコースとして算出し、換算係数0.9を乗じて求めた。

統計処理 実験群の測定値は平均値±標準偏差で示した。実験群間の平均値の差は Student の t テスト (FISHER, 1970) による検定を行い、有意性の有無は危険率5%で判明した。

実験結果

コレステロール無添加食時のアミロメイズ澱粉の作用

難消化性の生アミロメイズ澱粉を幼若ラットに28日間給与した実験1の結果は Table 2, 3, 4 にまとめている。Table 2 に被験澱粉が成長、摂食量およびたん白質の消化率におよぼす影響を易消化性の普通トウモロコシ澱粉値と比較して示した。生アミロメイズ澱粉は普通トウモロコシ澱粉に比べてラットの摂食量を有意に減少させ、体重増加量の大巾な低下をひき起こしている。生アミロメイズ澱粉による成長阻害はその摂食抑制作用に

加えて、消化率が71%と普通トウモロコシ澱粉に比べて著しく低だけでなく、たん白質の消化率を易消化性澱粉の94%に対し84%と著明に低減させており、成長期に需要の高まるエネルギーとたん白質の供給不足を一層助長したことにも一因があると思われる。粒構造を破壊し澱粉の糊化を促がす焙焼処理によって、アミロメイズ澱粉は消化率が85%にまで高まり、それに伴ってラットの成長を有意に増加させたが普通トウモロコシ澱粉の水準にはおよばなかった。これは今回の焙焼条件ではアミロメイズ澱粉の糊化が不完全(糊化率12.2%)で、澱粉粒

Table 1 Composition of experimental diets

Ingredients	Cholesterol free diet (%)	Hypercholesterolemia diet (%)
Carbohydrate sources	78	68.75
Starch	(78)	(28)
Sucrose	—	(40.75)
Casein	15	15
Lard	—	8
Soybean oil ¹⁾	2	2
Mineral mixtures ²⁾	4	4
Vitamin mixtures ²⁾	0.85	0.85
Choline chloride	0.15	0.15
Cholesterol	—	1
Bile salts (Bactooxygal)	—	0.25

- 1) Enriched with 1500 IU of retinyl acetate, 37.5 µg of cholecalciferol and 0.5 g of α-dl tocopherol acetate per 100 g oil
- 2) Commercial preparations on the A.E. HARPER' prescription (J. Nutrition 68, 465, 1959)

Table 2 Effects of dietary amylo maize starches on growth, feed intake and protein digestibility in young rats fed a cholesterol free diet for 28 days (Exp. 1)

Groups ¹⁾	Initial weight (g)	Body weight gain (g)	Feed intake (g)	Feed conversion ³⁾	Protein digestibility ⁴⁾ (%)	Starch digestibility ⁴⁾ (%)
Ordinary corn starch						
Raw	100±8 ²⁾	168±10 ^{a,b)}	545±43 ^{a,b)}	3.25±0.09 ^{a,b,c)}	93.8±0.6 ^{a,b)}	99.8±1.7 ^{a,b)}
Roasted	100±6	177±14 ^{c,d)}	545±35 ^{c,d)}	3.09±0.09 ^{a,d,e)}	93.6±0.4 ^{c,d)}	99.7±0.1 ^{c,d)}
Amylo maize starch						
Raw	100±7	95±22 ^{a,c,e)}	440±43 ^{a,c)}	4.62±0.49 ^{b,d,f)}	84.0±2.3 ^{a,c)}	71.2±4.4 ^{a,c,e)}
Roasted	100±6	122±25 ^{b,d,e)}	498±36 ^{b,d)}	4.12±0.44 ^{c,e,f)}	82.8±1.1 ^{b,d)}	84.7±3.6 ^{b,d,e)}

- 1) Each experimental group consisted of eight rats
- 2) The figures represents mean ± standard deviation, and of the same column two values sharing the identical alphabetical letter are significantly different at P<0.05
- 3) Feed intake / body weight gain
- 4) Apparent digestibility, Feces were collected from each rat for the initial 8 days of the regimen

の多くが未破壊のまま残されていたためであろう。いずれにしても部分的に糊化させただけで生アミロメイズ澱粉による成長阻害やたん白質消化率の低下が大巾に緩和されたことは、これらの現象がラットの消化器腔内に大量に残留した未消化の澱粉粒により引き起されたことを意味するといえよう。比較に用いた普通トウモロコシ澱粉は生の状態でも消化率が100%に近く、焙焼処理によっても向上はみられなかった。Table 3にアミロメイズ澱粉投与ラットの消化管各部の内臓摘出屠体に対する重量比、すなわち相対重量比を示した。生アミロメイズ澱粉群ラットは胃、小腸、盲腸、大腸が普通トウモロコシ澱粉群ラットに比べて有意に拡大しており、消化管腔内に多量に存在する堅固な澱粉粒が消化管に構造的ないし機能的変化を与えるとの予想を裏付けた。なかでも盲腸部は腹部一円に広がるほどの肥大がみられ、内部に多量の澱粉が残存して有機酸系の発酵臭がただよっており、腸

内容物の移動の停滞あるいは発酵産物の吸収増加を介して体内代謝にも影響している可能性を示唆した。Table 4に幼若ラットの脂質代謝におよぼすアミロメイズ澱粉の効果を一括して掲げた。生アミロメイズ澱粉は普通トウモロコシ澱粉に比較して血清コレステロール値を有意に低下させ(82 mg vs. 96 mg/100 ml), この傾向は焙焼処理により強められた。血清トリグリセリド値も生アミロメイズ澱粉の投与により低下する傾向はみられたが、有意差には到らなかった。肝臓脂質量に対する生アミロメイズ澱粉の効果は、普通トウモロコシ澱粉に比べて総量を有意に減少させたが、コレステロールやトリグリセリド値については有意差がなく、低下傾向を示すにとどまった。

アミロメイズ澱粉の焙焼処理は血清トリグリセリド値と肝臓脂質量および腹腔内貯蔵脂肪の増加をもたらし、給与ラットのエネルギー収支の改善に働いたと思われる

Table 3 Effects of dietary amylo maize starch on organ size of alimentary tract in young rats fed a cholesterol free diet for 28 days (Exp.1)

Groups ¹⁾	Stomach ³⁾	Small intestine	Cecum		Large intestine
			with content	tissue	
Ordinary corn starch					
Raw	0.45±0.06 ^{a,b) 2)}	1.52±0.15 ^{a,b)}	1.05±0.34 ^{a,b)}	0.22±0.09 ^{a,b)}	0.28±0.12 ^{a,b)}
Roasted	0.49±0.09	1.45±0.16 ^{c,d)}	1.45±0.16 ^{c,d)}	0.24±0.07 ^{c,d)}	0.32±0.06 ^{c,d)}
Amylo maize starch					
Raw	0.52±0.06 ^{a)}	3.02±0.60 ^{a,c)}	15.00±4.69 ^{a,c)}	1.92±0.55 ^{a,c)}	0.45±0.16 ^{a,c)}
Roasted	0.52±0.06 ^{b)}	3.68±1.10 ^{b,d)}	12.71±3.67 ^{b,d)}	2.09±0.79 ^{b,d)}	0.52±0.14 ^{b,d)}

1) See the footnote 1) of Table 2.

2) See the footnote 2) of Table 2.

3) Organ sizes are expressed as relative weight to eviscerated carcass

Table 4 Effects of dietary amylo maize starches on the lipid content of serum and liver in young rats fed a cholesterol free diet for 28 days (Exp.1)

Groups ¹⁾	Serum		Liver			Epididymal fat pads ³⁾
	Cholesterol (mg/100ml)	Triglyceride (mg/100ml)	Total lipids (mg/g tissue)	Cholesterol (mg/g tissue)	Triglyceride (mg/g tissue)	
Ordinary corn starch						
Raw	96±9 ^{a,b) 2)}	85±26	85±9	2.2±0.5	18.8±6.5	1.40±0.26
Roasted	86±10	78±15	85±1	2.7±0.5	20.9±2.6	1.70±0.08
Amylo maize starch						
Raw	82±10 ^{a)}	43±21	70±6	1.9±0.2	16.9±6.0	0.78±0.21
Roasted	76±11 ^{b)}	58±10	81±1	2.4±0.1	10.1±13.4	0.94±0.24

1) See the footnote 1) of Table 2.

2) See the footnote 2) of Table 2.

3) See the footnote 3) of Table 3.

が血清コレステロール値はむしろ低下しており、アミロメイズ澱粉の血清コレステロール減少作用が単にエネルギー供給の相対的不足にもとづくものではないことを伺わせた。

生アミロメイズ澱粉を4月齢の成熟ラットに14日ないし28日間給与した実験2の結果はTable 5, 6に一括して示してある。Table 5に期間中の摂食量、体重変化および解剖時に計測した消化管各部の相対重量比をまとめた。アミロメイズ澱粉は成熟ラットに対しても摂食量を減少させる効果を示し、普通トウモロコシ澱粉に比べると大巾な体重低下をひき起した。またアミロメイズ澱粉は、幼若ラットと異なり、構造的にも機能的にも安定な成熟ラットの消化管にも影響を与え、14日目には盲腸の著明な拡張、28日目には新たに小腸の肥大が観察された。しかし、消化管上部の胃および最下部の大腸への影響は殆んど認められなかった。Table 6に成熟ラットの脂質含量におよぼすアミロメイズ澱粉の効果を給与期間別に掲示した。アミロメイズ澱粉の血清コレステロー

ル低下作用は成熟ラットにおいても給与開始14日目にすでに現われ、28日後までこの傾向が持続した。血清トリグリセリド値に対してもアミロメイズ澱粉は血清コレステロールの場合と同様な経過で減少をひき起した。血清に比べて肝臓脂質の変化は遅く、28日後にアミロメイズ澱粉投与ラットのトリグリセリド値の低下が観察されたにとどまり、コレステロールへの影響は認められなかった。

高コレステロール食時のアミロメイズ澱粉の作用

糖質源として生または糊化アミロメイズ澱粉を28%添加したコレステロールと胆汁酸含有実験食を、幼若ラットに19日間投与した実験3の結果をTable 7, 8, 9にまとめた。本動物実験でも結果の比較は、コレステロール無添加食の場合と同じく主として普通トウモロコシ澱粉28%添加食給与群と行ったが、高コレステロール食を用いて食品成分の血清コレステロール上昇抑制効果を調べるときの判定基準にされる蔗糖食給与群を参考のために設けた。Table 7に各群ラットの飼育期間中の体重

Table 5 Effects of dietary amylo maize starch on weight gain and size of alimentary tract in adult rats fed a cholesterol free diet for 14 or 28 days (Exp. 2)

Groups ¹⁾	Initial weight (g)	Weight gain (g)	Feed intake (g)	Stomach ²⁾	Small intestine	Cecum		Large intestine
						with content	tissue	
Feeding period of 14 days								
Normal corn starch	505	−14	285	1.24	2.21	2.32	0.44	0.82
Amylomaize starch	516	−45	167	1.45	2.56	8.89	1.49	1.00
Feeding period of 28 days								
Normal corn starch	478	19	609	1.29	1.94	2.11	0.56	0.69
Amylomaize starch	485	−52	454	1.34	2.99	12.55	2.40	0.89

1) Each experimental group consisted of three rats, aged about 4 months

2) See the footnote 3) of Table 3

Table 6 Effects of dietary amylo maize starch on cholesterol and triglyceride levels of serum and liver in adult rats fed a cholesterol free diet for 14 or 28 days (Exp. 2)

Groups ¹⁾	Serum		Liver	
	Cholesterol (mg/100ml)	Triglyceride (mg/100ml)	Cholesterol (mg/g tissue)	Triglyceride (mg/g tissue)
Feeding period of 14 days				
Normal corn starch	93	75	3.1	29.9
Amylo maize starch	77	61	3.4	32.3
Feeding period of 28 days				
Normal corn starch	86	67	3.5	31.3
Amylo maize starch	66	49	3.1	19.1

1) See the footnote 1) of Table 5

増加量, 摂食量および食餌効率(摂食量/体重増加量)を示した。被験澱粉の食餌添加量を 28% とコレステロール無添加食に比べて大巾に減らしたため, 生アミロメイズ澱粉給与ラットの摂食量, 体重増加量および食餌効率は, 蔗糖や普通トウモロコシ澱粉群ラットに比較して僅かな低下にとどまり, 有意差は認められなかった。一方, 澱粉粒がほぼ完全に破壊されている糊化アミロメイズ澱粉は, 普通トウモロコシ澱粉に比べても給与ラットの摂食量と体重増加量を高める傾向がみられ, 生アミロメイズ澱粉による摂食抑制等の効果は澱粉粒の存在が原因であり, 多量に含まれるアミロース分子そのものによるのではないことが確認された。Table 8 に消化管各部の屠体重に対する重量比を掲示した。実験食中の添加量を下げたため生アミロメイズ澱粉による消化管の肥大化は盲腸に明白に認められただけであり, 胃と大腸部にはまったく影響をおよぼさなかった。アミロメイズ澱粉は糊化すると盲腸の拡大も殆んどひき起さず, 分子レベルの消化性は良好なことを裏付けた。Table 9 に各実験群の血清と

肝臓中のコレステロールおよびトリグリセリド量を掲げた。この実験ではラットを絶食させることなく採血したので, 表示した値は食後値に相当する。生アミロメイズ澱粉は, 普通トウモロコシ澱粉と蔗糖に比較して血清コレステロール値を有意に上昇させ(432 mg vs. 268 mg/100 ml), 高コレステロール食とコレステロール無添加食ではコレステロール代謝に対して正反対の影響をおよぼすことが示された。一方, 糊化アミロメイズ澱粉給与ラットの血清コレステロール値は普通トウモロコシ澱粉給与ラットと同水準に低下しており, 生アミロメイズ澱粉の血清コレステロール上昇は消化管内に存在する澱粉粒によると推定された。ちなみに本実験においても生アミロメイズ澱粉を除くといずれの澱粉も蔗糖に比べ有意な血清コレステロール上昇抑制作用が認められており, 多くの報告例たとえば PORTMAN et al. (1956) の成績と一致している。血清トリグリセリド値は生アミロメイズ澱粉と普通トウモロコシ澱粉の間に差はみられず, 蔗糖および糊化アミロメイズ澱粉は増加させる傾向が認められ

Table 7 Effects of dietary amylo maize starches on growth and feed efficiency in young rats fed a hypercholesterolemic diet for 19 days (Exp. 3)

Groups ¹⁾	Initial weight (g)	Body weight gain (g)	Feed intake (g)	Feed conversion ³⁾
Sucrose	86 ± 8 ²⁾	85 ± 18	237 ± 54	2.84 ± 0.24
Normal corn starch	86 ± 6	87 ± 25	237 ± 44	2.94 ± 0.61
Amylo maize starch				
Raw	86 ± 8	73 ± 16	224 ± 36 ^{a)}	3.09 ± 0.31
Roasted	86 ± 7	73 ± 30	219 ± 46 ^{b)}	3.27 ± 0.93
Pregelatinized	87 ± 3	102 ± 8	270 ± 12 ^{a, b)}	2.67 ± 0.16

1) Each experimental group consisted of eight weaning rats

2) See the footnote 2) of Table 2

3) See the footnote 3) of Table 2

Table 8 Effects of dietary amylo maize starches on organ size of alimentary tract in young rats fed a hypercholesterolemic diet for 19 days (Exp. 3)

Groups ¹⁾	Stomach ³⁾	Small intestine	Cecum		Large intestine
			with content	tissue	
Sucrose	0.72 ± 0.06 ²⁾	2.85 ± 0.63	1.65 ± 0.66 ^{a, b)}	0.35 ± 0.15 ^{a, b)}	0.48 ± 0.11
Normal corn starch	0.58 ± 0.09	2.42 ± 1.42	1.42 ± 0.29 ^{c, d, e)}	0.29 ± 0.10 ^{c, d, e)}	0.40 ± 0.19
Amylo maize starch					
Raw	0.59 ± 0.05	3.56 ± 0.58	9.36 ± 2.32 ^{a, c)}	1.15 ± 0.38 ^{a, c)}	0.51 ± 0.17
Roasted	0.62 ± 0.05	2.87 ± 0.18	4.27 ± 0.85 ^{b, d)}	0.50 ± 0.03 ^{b, d)}	0.62 ± 0.23
Pregelatinized	0.56 ± 0.06	2.62 ± 2.13	2.30 ± 0.46 ^{e)}	0.42 ± 0.06 ^{e)}	0.42 ± 0.07

1) See the footnote 1) of Table 7

2) See the footnote 2) of Table 2

3) See the footnote 3) of Table 3

た。生アミロメイズ澱粉は、普通トウモロコシ澱粉に比較して肝臓トリグリセリド量を有意に減少させる作用を示したが、コレステロール量には影響がみられなかった。摂取量と糞中排泄量の差から求めたコレステロールの吸収量には実験群間に差異は認められなかった。

実験3と同条件で10日間幼若ラットを飼育し、一夜絶食させたのち採血して血清と肝臓脂質量を測定した実験4の結果をTable 10に示した。実験4は実験3で観察された生アミロメイズ澱粉の血清コレステロール上昇作用を確認し、更にこの現象が直前の摂食に伴う一過性なのか、恒常的変化なのかを明らかにする目的で実施した。実験3に比べ血清中の濃度が大幅に低下した今回の実験条件下においても、生アミロメイズ澱粉は普通トウモロコシ澱粉より血清コレステロール値を有意に高め、(209 mg vs. 122 mg/100 ml)、この澱粉の血清コレステロール

上昇作用が再現性のある恒常的なものであることを明確にした。血清トリグリセリド値や肝臓脂質量およびコレステロール吸収量などには食餌糖質源の相違にもとづく差が認められなかった。

考 察

血清コレステロール値の過度な上昇、すなわち高コレステロール血症は動脈硬化性疾患の発症を助長する最大の危険因子と考えられている。そのため広範な種類の栄養素や食品成分の血清コレステロール量におよぼす影響がヒトや実験動物で検討されている。その中で炭水化物については、難消化性のいわゆる食物繊維を取り扱った報告が圧倒的に多いが、エネルギー源性炭水化物である糖質の効果に関しての研究も数多く行われている。そし

Table 9 Effects of dietary amylo maize starches on cholesterol and triglyceride levels in young rats fed a hypercholesterolemic diet for 19 days (Exp. 3)

Groups ¹⁾	Serum ³⁾		Liver		Absorbed cholesterol ⁴⁾ (mg/day)
	Cholesterol (mg/100 ml)	Triglyceride (mg/100 ml)	Cholesterol (mg/g tissue)	Triglyceride (mg/g tissue)	
Sucrose	346±55 ^{a,b,c} 2)	116±39 ^{a,b,c}	52.1± 4.9	33.2±11.6 ^{a)}	77±14
Normal corn starch	268±25 ^{a,d)}	50±25 ^{a)}	50.2±10.3	46.9±10.4 ^{a,b,c)}	67±12
Amylo maize starch					
Raw	432±132 ^{d)}	42±12 ^{b)}	54.1± 6.6	27.9± 6.4 ^{b)}	69±12
Roasted	274±51 ^{b)}	57±19 ^{c)}	46.3± 8.1	43.2±10.5	61±15
Pregelatinized	257±44 ^{c)}	82±28	45.7±12.5	35.0± 5.9 ^{c)}	64±14

1) See the footnote 1) of Table 7

2) See the footnote 2) of Table 2

3) Blood was collected from fed rats

4) Ingested cholesterol-excreted 3 β-OH sterol in feces

Table 10 Effects of dietary amylo maize starches on fasting cholesterol and triglyceride levels of serum and liver in young rats fed a hypercholesterolemic diet for 10 days (Exp. 4)

Groups ¹⁾	Serum ³⁾		Liver		Absorbed cholesterol ⁴⁾ (mg/day)
	Cholesterol (mg/100 ml)	Triglyceride (mg/100 ml)	Cholesterol (mg/g tissue)	Triglyceride (mg/g tissue)	
Sucrose	152±37 ²⁾	120±36 ^{a)}	43.2± 7.9	31.8± 6.2 ^{a)}	100±17
Normal corn starch	122±39 ^{a)}	73±23	50.9±10.7	42.9± 8.5 ^{a)}	93±23
Amylo maize starch					
Raw	209±84 ^{a)}	59±10 ^{a)}	44.2± 7.4	39.8±12.6	80±12
Pregelatinized	141±52	85±38	43.2± 7.3	33.3± 8.1	96±18

1) Each experimental group consisted of eight rats

2) See the footnote 2) of Table 2

3) Blood was collected from rats fasted overnight

4) See the footnote 4) of Table 9

て、多糖類である澱粉は蔗糖、乳糖、果糖など小分子の糖類に比べて高コレステロール食給与動物の血清コレステロール上昇を抑制する (PORTMAN et al. 1956) が、長期間飼育するとその効果は消失する (FILLIOS et al. 1958) とか、コレステロール無添加食時では糖質の種類によるコレステロール代謝への影響に差がみられなくなる (GUGGENHEIM et al. 1960) などの点で大方の一致が得られている。一方、澱粉の血清コレステロール値に対する効果は種類によっても異なることが知られており、VIJAYAGOPALAN et al. (1972) は糊化澱粉を用いた実験で Ragi や Tapioca の澱粉が小麦や米のそれに比較して血清コレステロール値の上昇をより強く抑制することを認めている。

今回、試料として用いた生アミロメイズ澱粉は前述したように粒構造が強固で糊化温度が著しく高く、動物に給与したときの消化率も本実験の 70% に示されたように極めて低い。そのため動物に投与すると小腸から盲腸、大腸に至るまで多量の未消化澱粉が検出され、消化管の拡張やたん白質の消化吸收阻害をひき起す。したがって、生アミロメイズ澱粉は消化管内における挙動から、栄養機能的にはむしろ堅い微粒子構造を有する食物繊維とみなすのが妥当のようである。

生アミロメイズ澱粉をラットに給与した今回の実験で、脂質代謝への影響に関して興味深い結果が観察された。すなわち、コレステロール無添加食の糖質源としての生アミロメイズ澱粉をラットに摂取させると血清コレステロール値は普通トウモロコシ澱粉を与えた場合に比べて有意に低下したが、高コレステロール食の成分としてコレステロールと同時に与えると参考にした蔗糖群よりも血清値は著明に上昇し、難消化性の本澱粉が食餌コレステロールの有無により血清コレステロール値を低めたり高めたりする二面的な作用を発現することが示された。

今回の実験で血清値への影響が現われにくいコレステロール無添加食には被験澱粉を 78% と高濃度に加えたため、給与ラットの摂食量と成長が著減した。それ故、生アミロメイズ澱粉による血清コレステロール低下作用は、エネルギーの供給不足に伴い二次的に生じた見掛けの現象に過ぎないとも考えられる。しかし、一部澱粉粒が破壊されているとはいえ、摂食量が増し成長も向上した焙焼澱粉群で血清コレステロール値が一層低下するなど、エネルギー収支の過不足だけで生アミロメイズ澱粉による血清コレステロールの変動を説明するのは困難であり、消化管内に多量に存在する未消化の澱粉粒がコレステロールや胆汁酸を吸着してその糞中排泄を高めるなどの機序も関与する可能性が大きい。また、消化管下部

に多量の残存する未消化澱粉粒が腸内細菌叢に変化を与え、コレステロール代謝に影響する発酵産物の生成を高めたり、コレステロールと一次胆汁酸から吸収性の低いコプラスタノールや二次胆汁酸への変換量を増加されたりすることによっても血清値は変動すると考えられる。しかし、SAQUET et al. (1983) は、生アミロメイズ澱粉と普通トウモロコシ澱粉の脂質代謝に対する効果を普通ラットと無菌ラットを用いて比較し、前者が両方のラットとともに後者よりも血清コレステロール値を下げることを観察しているので、腸内細菌叢の変化が前記作用の主因とは認め難いようである。

一方、高コレステロール食時の生アミロメイズ澱粉による血清コレステロール上昇作用は、食後に限らず空腹時にも発現するので摂食パターンの変化などによる見掛けの現象ではなく、被験澱粉の本質的效果と考えられる。その機序は消化管の構造と機能に影響して食餌コレステロールの吸収量を高めることによると推定されるが、肝臓コレステロールの蓄積とコレステロール吸収の増加が認められないので別の経路の存在も否定できない。生アミロメイズ澱粉の血清コレステロール上昇作用は糊化すると完全に消失するので、消化管腔内の未消化澱粉粒が作用の主体であることは疑う余地がない。

いずれにしても、同じ物質による血清コレステロール値に対する全く相反する作用を矛盾なく説明できる単一の機構の存在は考えにくく、消化管の吸収能や腸内容物の移動速度への影響、あるいは澱粉粒の吸着作用、更には腸内細菌叢の変化など諸種の要因が重なり、あるいは打ち消し合って効果が出現すると想像されるが、その解明は今後の研究課題として残されている。

摘 要

難消化性の生アミロメイズ澱粉 (アミロース含量 49.3%) を糖質源として 78% 加えたコレステロール無添加食、または 28% 添加した高コレステロール食をラットに 10~28 日間給与し、たん白質の消化率、成長、消化器重および脂質代謝に対する影響を易消化性の普通トウモロコシ澱粉と比較した。

生アミロメイズ澱粉は消化率が約 70% と著しく低だけでなく、たん白質の消化に対しても阻害的に作用した。生アミロメイズ澱粉給与ラットは摂食量が低下して成長が停滞したにもかかわらず、消化器なかでも小腸と盲腸に顕著な肥大が認められ、盲腸内に多量の未消化澱粉が残存した。生アミロメイズ澱粉は脂質代謝に対して普通トウモロコシ澱粉とは著しく異なる影響をおよぼした。すなわち、被験澱粉は血清コレステロール値をコレステロール無添加食時には有意に低下させ、高コレ

ステロール食時には著るしく高める二面的な作用を示した。生アミロメイズ澱粉の血清コレステロール低下作用は焙焼により一層強められることから、単にエネルギー摂取不足による二次的なものではないと推定された。一方、血清コレステロール上昇作用は摂食時、空腹時とも発現し、摂食パターンの変化等による見掛けの現象ではないと判断された。

以上の生アミロメイズ澱粉の生体におよぼす諸作用は糊化により軽減ないし消失したので、作用の本体は消化管腔に残存する未消化澱粉粒であることが確認された。

本研究を行うにあたり、試料澱粉を提供いただいた豊年製油株式会社に厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 1) 綾野雄幸・太田富貴雄・渡辺幸雄・田中和夫・福野滋樹・田中康夫・高野博幸(1978)：アミロメイズ V デンプンを添加したパンのエネルギー評価、栄養と食糧, **31**, 449-457.
- 2) 綾野雄幸・太田富貴雄・渡辺幸雄・脇田修平(1979)：アミロメイズ澱粉のラット消化管内における消化の様相、澱粉科学, **26**, 165-174.
- 3) 綾野雄幸・太田富貴雄・渡辺幸雄・三田浩三(1980)：白ネズミにおける脱脂米ヌカのいわゆる dietary fiber のコレステロール上昇抑制作用、栄養と食糧, **33**, 283-291.
- 4) BORCHERS, R. (1962) : Digestibility of the starch of high-amylose corn by rats, *Cereal Chem.*, **39**, 145-146.
- 5) ERSHOFF, B. H. and A. F. WELLS (1962) : Effects of gum guar, Locust bean gum and carrageenan on liver cholesterol of cholesterol-fed rats, *Proc. Soc. Exptl. Biol. Med.*, **110**, 580-582.
- 6) FISHER, R. A. (1970) : Statistical methods for research workers, Olyver and Royd Ltd, U. K., 140-142.
- 7) FOLCH, J., M. LEES and G. H. S. STANLEY (1957) : A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues, *J. Biol. Chem.*, **226**, 497-509.
- 8) GALLANT, D., M. CHRISTIANE and A. GUILBOT (1972) : Electron microscopy of starch granules modified by bacterial α -amylase, *Cereal Chem.*, **49**, 354-365.
- 9) GUGGENHEIM, K, J. HAN and E. PERETZ (1960) : Effect of dietary carbohydrates and aureomycin on serum and liver cholesterol in rats, *J. Nutrition*, **72**, 93-98.
- 10) FILLIOS, L. C., C. NAITO, S. B. ANDRUS and O. W. PORTMAN (1958) : Variations in cardiovascular sudanophilia with changes in the dietary levels of protein, *Amer. J. Physiol.*, **194**, 275-279.
- 11) HILLER, A., J. PLAZIN and D. D. VAN SLYKE (1948) : A study of conditions for Kjeldahl determination of nitrogen in proteins, *J. Biol. Chem.*, **176**, 1401-1420.
- 12) LIN, T. M., K. S. KIM, E. KARVINEN and A. C. IVY (1957) : Effect of dietary pectin, protopectin and gum arabic on cholesterol excretion in rats, *Amer. J. Physiol.*, **188**, 66-70.
- 13) PORTMAN, O. W., E. Y. LAWRY and D. BRUNO (1956) : Effect of dietary carbohydrate on experimentally induced hypercholesteremia and hyperbetalipoproteinemia in rats, *Proc. Soc. Exptl. Biol. Med.*, **91**, 321-323.
- 14) SACQUET, E., C. LEPRINCE and M. RIOTTOT (1983) : Effect of amylomaize starch on cholesterol and bile acid metabolisms in germ free (axenic) and conventional (holoxenic) rats, *Reproduction Nutrition Développement*, **23**, 783-792.
- 15) SENT, F. R. (1967) : Starch, chemistry and technology II Industrial aspects, edited by WHINTLER, R. L. and E. F. PASCHALL, Academic Press, U. S. A., 499-522.
- 16) SOMOGYI, M. (1952) : Notes on sugar determination, *J. Biol. Chem.*, **195**, 19-23.
- 17) 田中康夫・高野博幸・綾野雄幸・太田富貴雄・渡辺幸雄・田中和夫・福野滋樹(1978)：アミロメイズ V デンプンの製パン性について、栄養と食糧, **31**, 273-281.
- 18) 辻啓介・大島寿美子・松崎悦子・中村敦子・印南敏・手塚朋通・鈴木慎次郎：多糖類とコレステロール代謝(第1報)、栄養学雑誌, **26**, 113-122.
- 19) VAN HANDEL, E. and D. B. ZILVERSMIT (1954) : Micromethod for the direct determination of serum triglycerides, *J. Lab. Med.*, **50**, 152-157.
- 20) VIJYAGOPALAN, P. and P. A. KURUP (1972) : Effect of dietary starches on the serum, aorta and hepatic lipid levels in high-fat high cholesterol fed rats, part 2 Nature of the starch and hyperlipidemic activity, *Atherosclerosis*, **16**, 247-256.
- 21) ZAK, B. N., A. MOSS, J. BOYLE and A. ZLATKIS (1954) : Reaction of certain unsaturated steroids with acid iron reagent, *Anal. Chem.*, **26**, 776-777.