京都府立大学学術報告（理学・生活科学）第47・48合併号　B系列 p.19～24（1996年12月）

塩酸吸着コーンスターチの湿熱処理により調製した難消化性デキストリンのラットコレステロール代謝に及ぼす影響

加藤みずほ・萩原滋子・田代　操

Effect of Indigestible Dextrin Prepared by Heat-Moisture Treatment of HCl-adsorbed Corn Starch on Cholesterol Metabolism in Rats

MIZUHO KATO, SHIGEKO HAGIWARA, and MISAO TASHIRO

Abstract : The effects of indigestible dextrin obtained by heat-moisture treatment of HCl-adsorbed corn starch on cholesterol metabolism were investigated. Four-week-old male Wistar rats were fed diets containing indigestible dextrin of a 5 % level with or without cholesterol for 21 days. A fiber-free diet was used as a control. Serum total cholesterol level was significantly decreased in the rats fed the indigestible dextrin diet without cholesterol compared to the rats fed a fiber-free diet, but there was no difference in fecal excretion of bile acids between the dietary groups. Ingestion of indigestible dextrin significantly increased cecal weight and lowered pH of cecal contents. These results suggest that the hypocholesterolemic effect of indigestible dextrin is not explained by the increase of fecal excretion of bile acids. (Received September 13, 1996)

緒　言

食物繊維の有する主な生理効果としては，血清コレステロール濃度の低下[1]，食後血糖値の上昇抑制[2]，整腸作用[3]などがあげられ，様々な繊維源でこれらの生理的機能性や作用機序に関する研究が行われている。なかでも脂質代謝改善効果は水溶性繊維で効果が大きいと言われ[4]，食物繊維の脂質ミセル化の阻害とそれに伴う消化吸収の抑制[5]，胆汁酸吸着による糞中への胆汁酸排泄の増加[5]，大腸での発酵産物による肝臓コレステロール合成の低下[6]などの因子が関与すると考えられている。しかしながら，こうした作用は食物繊維の起源や物理化学的性質によるところが大きく，いまだに明確な見解が得られていない[7][8]。

ところで，萩原らの研究によると塩酸を吸着させたデンプンに湿熱処理をほどこすことにより，比較的効率よく難消化性デキストリンの生成することが見いだされており，本物質の本体は水溶性で平均分子量が2000，10個程度のグルコース鎖を主体とする，グルコース重合度3から30のオリゴ糖およびデキストリンの混合物であると報告されている[9]。このようにデンプンを原料に生成される難消化性物質は，消化性が低い点から，食物繊維と同様の作用があるものとして期待され，食品への利用も可能であると思われる。

そこで本研究では，萩原らの方法によって調製した難消化性デキストリン（Indigestible dextrin）がどのような生理作用をもつのか，脂質代謝の面から追求することを目的として，コレステロールを添加した飼料および無添加の飼料の両実験系で検討した。また，消化性の低いデンプンとしてよく知られているハイアミロースコーンスターチについても若干の検討を加えた。

京都府立大学生活科学部食物学科栄養学講座
Laboratory of Nutritional Physiology and Biochemistry, Department of Food Science and Nutrition, Kyoto Prefectural University

材料および方法

1．実験材料

難消化性デキストリン調製品はコーンスターチを用いて，荻原らの方法[9]に従い作成した。その概略は次の通りである。デンプンに2倍量の500ppm 塩酸水溶液を加え平衡吸着させた後，含水率が約5％になるまで乾燥し，これに135℃，30分の密閉系熱処理（湿熱処理）を行った。この処理澱粉を3倍量の微温湯に分散し，1 N の Na_2CO_3 で pH6.7に調製後，まずパンクレアチンの添加により残留する未分解澱粉および消化性デキストリンの加水分解を行い，さらにパン酵母を添加してアルコール発酵によりできるだけ共存するグルコースを除去した。その後，この処理液をイオン交換樹脂により脱塩し，エバポレーターによる濃縮後，アルコール脱水により調製品の粉末回収を行った。

2．成分分析

難消化性デキストリン調製品およびハイアミロースコーンスターチに含まれる食物繊維量は，Prosky らの酵素重量法[10]に従って分析した。両物質の非消化性糖質含量は先の Prosky らの方法に基づいて酵素処理した処理液のグルコース量（グルコースオキシダーゼ法）と全糖量（フェノール硫酸法）を測定し，全糖量からグルコース量を引いたものを全糖量で割った値の百分率として表し，この値を難消化性デキストリン含量と見なした。

3．動物実験

1） 実験飼料　実験飼料の組成を Table 1 に示した。なお，カゼイン，ミネラル混合物（オリエンタル配合），ビタミン混合物（オリエンタル配合），セルロースはオリエンタル酵母工業（株）より，コーンスターチは日澱化学（株）より，コレステロールは和光純薬工業（株）より，コール酸ナトリウムはナカライテスク（株）より購入した。また，ハイアミロースコーンスターチ（75％アミロース）は三和澱粉工業（株）より供与されたものを用いた。

実験1では，カゼイン20％にコレステロール0.5％を含むコレステロール添加飼料をコントロール（Fiber-free）とし，これにセルロース5％を添加したもの，難消化性デキストリン調製品6.08％を添加したもの（非消化性糖質含量として5％）の3つを実験飼料とした。

実験2では，カゼイン20％のコレステロール無添加飼料をコントロール（Fiber-free）とし，これにセルロース5％を添加したもの，難消化性デキストリン調製品7.12％を添加したもの（実験1で使用したものと異なるロットで非消化性糖質含量として5％），ハイアミロースコーンスターチ10.3％を添加したもの（非消化性糖質含量として5％）の4つを実験飼料とした。

2） 実験動物および飼育方法　実験1，2とも，実験動物としては4週齢の Wistar 系雄ラットを1群あたり6匹ずつ用い，市販粉末飼料（MF 実験動物用固型飼料，オリエンタル酵母工業（株））で4日間予備飼育した後，実験飼料を21日間，1日17時間（17：00-翌日10：00）の摂取で与えた。なお，水は自由に飲ませた。動物は室温23±2℃，湿度60±10％，12時間（明期8：00-20：00）の明暗サイクルの環境下で，ステンレスケージにて個別飼育とした。また，隔日ご

Table 1. Composition of the experimental diets.

	Experiment 1			Experiment 2			
	Fiber-free	Cellulose	Indigestible dextrin	Fiber-free	Cellulose	Indigestible dextrin	High amylose starch
Protein (Casein)	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
Corn Starch	33.375	28.375	27.295	39.0	34.0	31.88	28.7
Sucrose	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
Cholesterol	0.5	0.5	0.5	—	—	—	—
Na-Cholate	0.125	0.125	0.125	—	—	—	—
Lard	8.0	8.0	8.0	—	—	—	—
Corn Oil	2.0	2.0	2.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Vitamin Mixture	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Mineral Mixture	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Cellulose	—	5.0	—	—	5.0	—	—
Indigestible Dextrin Preparation	—	—	6.08	—	—	7.12	—
High Amylose Starch	—	—	—	—	—	—	10.3

(%)

とに飼料摂取量と体重を測定した。さらに、実験1では1，10，21日目に，実験2では2，13，21日目に尾静脈より採血し，糞の採取は両実験とも3，4日目と19，20日目のそれぞれ2日間について行った。

飼育最終日，13：00よりラットをエーテル麻酔下で開腹して腹部大動脈より採血した後，肝臓ならびに盲腸を摘出した。

4．検査項目および方法

1）血清および肝臓脂質濃度の測定　採取した血液は室温で約2時間放置した後，3000rpm で遠心分離して血清を得た。血清脂質については和光純薬工業（株）の測定キットにより総コレステロール（コレステロールC II テストワコー），HDL-コレステロール（HDL-コレステロールEテストワコー），トリグリセライド（トリグリセライドGテストワコー）を定量した。

肝臓脂質の分析については，Folch らの方法[11]により脂質を抽出して総脂質量を測定後，コレステロール，トリグリセライドを血清と同様の方法で定量した。

2）盲腸重量および内容物の pH 測定　摘出した盲腸は，内容物込みの重量を測定後，内容物1 g に蒸留水2 ml を加えてよく混ぜ，pH メーター（（株）堀場製作所製）を用いて内容物の pH を測定した。

3）糞中胆汁酸排泄量の測定　採取した糞は凍結乾燥後重量を測定し，粉砕して分析に用いた。糞中胆汁酸は t-ブタノール：水（＝1：1）で抽出し，和光純薬工業（株）の測定キット（総胆汁酸テストワコー，3 α-ヒドロキシステロイド脱水素酵素法）で定量した。

5．統計処理

データは平均値±標準誤差（mean ± SEM）で表示し，平均値間の有意差は一元配置の分散分析と Duncan の検定法[12]で分析した。なお，危険率5％以下で有意となるものを有意差ありと判定した。

結　果

1．成分分析

実験1と2で用いた難消化性デキストリン調製品，および実験2で用いたハイアミローススターチの食物繊維量は，それぞれ38.8%，27.4%，37.1%であった。一方，非消化性糖質含量はそれぞれ82.2%，70.2%，48.5%であった。難消化性デキストリン調製品において，食物繊維量と非消化性糖質量が著しく異なっているが，これは Prosky らの酵素重量法におけるアルコール沈殿操作の段階で，非消化性のオリゴ糖が沈殿しなかったためと考えられる。このことより，実験飼料中における難消化性デキストリン調製品およびハイアミローススターチの量は，非消化性糖質含量として5％となるようにそれぞれ添加した。

2．体重増加量，飼料摂取量および肝臓重量

実験飼料飼育期間中の体重増加量，飼料摂取量および屠殺時の肝臓重量は Table 2 に示す。実験1，2とも体重増加量，飼料摂取量に差はなく，各群とも順調に成長した。また，肝臓重量も各群に有意差は認められなかった。

3．血清および肝臓脂質濃度

実験飼育期間中の血清コレステロール値の経時的変

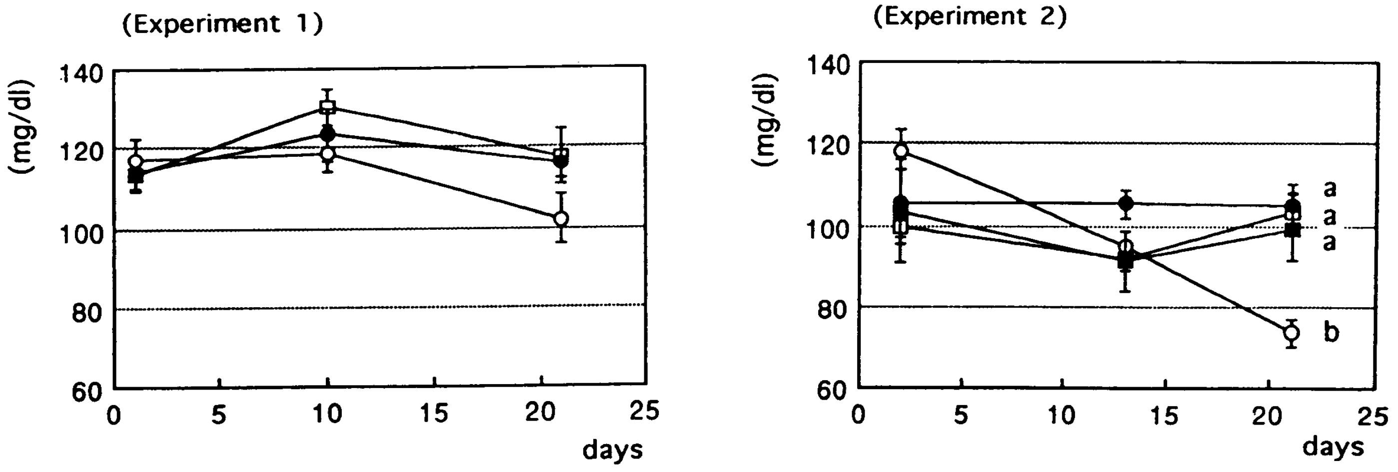

Fig.1. Changes in serum cholesterol level of rats fed the experimental diets.

□, Fiber-free diet group ; ●, Cellulose diet group ; ○, Indigestible dextrin diet group ; ■, High amylose starch diet group. Each point is the mean ± SEM of 6 rats per group. Values not sharing a common superscript letter are significantly different ($p<0.05$).

Table 2. Body weight gain, food intake and liver weight of rats fed the experimental diets.

	Experiment 1			Experiment 2			
	Fiber-free	Cellulose	Indigestible dextrin	Fiber-free	Cellulose	Indigestible dextrin	High amylose starch
Weight gain (g/21days)	142±11	146±4	139±7	151±10	155±11	144±6	162±11
Food intake (g/21days)	324±14	340±6	321±13	338±14	359±18	337±10	360±12
Liver weight (g)	13.8±0.9	13.6±0.6	13.0±0.9	11.8±0.9	13.0±0.7	11.6±0.7	11.9±1.0
(g/100g body wt.)	5.53±0.13	5.42±0.20	5.24±0.20	4.60±0.20	5.08±0.15	4.65±0.16	4.46±0.26

Values represent mean±SEM of 6 rats per group.

Table 3. Serum and liver lipids concentrations of rats fed the experimental diets.

	Experiment 1			Experiment 2			
	Fiber-free	Cellulose	Indigestible dextrin	Fiber-free	Cellulose	Indigestible dextrin	High amylose starch
Serum lipids (mg/dl)							
Total cholesterol	118±7	116±3	102±6	94.1±5.9 ^{a}	97.6 ±4.5 ^{a}	73.1±5.0 ^{b}	96.4±8.8 ^{a}
HDL-cholesterol	44.8±4.6	47.4±1.9	38.8±1.3	61.1±4.1	59.7±1.2	49.3±2.0	61.7±6.0
Triglyceride	56.0±11.6	59.3±4.5	55.1±8.7	103±9	100±8	87.1±4.0	104±17
Liver lipids (mg/g liver)							
Total lipids	103±9	124±7	117±4	30.4±1.2 ^{a}	25.9±1.0 ^{b}	27.5±0.9 ^{ab}	30.6±0.9 ^{a}
Cholesterol	29.6±3.6	35.6±1.4	32.2±1.3	1.34±0.05	1.35±0.05	1.37±0.04	1.36±0.06
Triglyceride	47.2±3.4	54.0±6.2	42.4±4.3	8.38±0.75	7.68±1.97	6.68±0.58	9.10±1.22

Values represent mean±SEM of 6 rats per group.
Values not sharing a common superscript letter are significantly different ($p<0.05$).

Table 4. Cecal weight, pH of cecal contents, fecal dry weight and fecal excretion of bile acids of rats fed the experimental diets.

	Experiment 1			Experiment 2			
	Fiber-free	Cellulose	Indigestible dextrin	Fiber-free	Cellulose	Indigestible dextrin	High amylose starch
Cecal weight (g)	2.36±0.17^{a}	2.63±0.20^{a}	6.42±0.49^{b}	2.90±0.20^{a}	3.26±0.37^{ab}	4.19±0.29^{b}	4.41±0.47^{b}
(g/100g body wt.)	0.95±0.05^{a}	1.05±0.07^{a}	2.61±0.21^{b}	1.14±0.07^{a}	1.27±0.14^{ab}	1.68±0.09^{b}	1.65±0.17^{b}
pH of cecal contents	6.88±0.06^{a}	6.99±0.06^{a}	5.78±0.02^{b}	7.32±0.06^{a}	7.13±0.13^{a}	6.36±0.17^{b}	6.17±0.27^{b}
Fecal dry weight (g/day)							
3-4 days	0.33±0.04^{a}	1.06±0.06^{b}	0.26±0.06^{a}	0.20±0.03^{a}	1.05±0.05^{b}	0.31±0.02^{ac}	0.43±0.04^{c}
19-20 days	0.49±0.04^{a}	1.36±0.05^{b}	0.44±0.08^{a}	0.44±0.03^{a}	1.57±0.12^{b}	0.50±0.05^{a}	0.62±0.03^{a}
Fecal bile acids (μmol/day)							
3-4 days	26.0±3.4 ^{ab}	34.5±4.0 ^{a}	14.1±3.7 ^{b}	5.28±0.90	6.83±0.81	4.86±0.43	5.01±0.67
19-20 days	61.0±4.2 ^{ab}	64.5±9.2 ^{a}	37.7±6.3 ^{b}	8.06±1.24	7.27±0.89	6.82±1.38	5.47±0.63

Values represent mean±SEM of 6 rats per group.
Values not sharing a common superscript letter are significantly different ($p<0.05$).

化をFig.1に示す。また，飼育終了時に腹部大動脈より採血した血清中の脂質濃度，および肝臓脂質濃度をTable 3に示す。

実験1では，1日目の血清コレステロール値は3群ともほぼ同じ値だったが，21日目になると難消化性デキストリン摂取による血清コレステロール値の低下傾向が認められた。また，飼育終了時に腹部大動脈より採血した血清中の総コレステロール値は，難消化性デキストリン摂取群が他群より約10%低い値となった。なお，飼育終了時の血清HDL-コレステロール値も難消化性デキストリン摂取によって同様に低下する傾向が見られた。血清トリグリセリド，肝臓脂質濃度は3群間に有意差は認められなかった。

実験2では，2，13日目の血清コレステロール値は4群間に差は認められなかったが，21日目になると難消化性デキストリン摂取によって有意に血清コレステロール値の低下が認められた。また，飼育終了時の血清HDL-コレステロールおよびトリグリセリド値も難消化性デキストリン摂取によって低下する傾向が見られた。肝臓脂質濃度のうち，セルロース飼料の総脂質濃度がFiber-free飼料やハイアミロースススターチ飼料と比べて有意に低い値を示したが，難消化性デキストリン飼料とは有意な差ではなかった。また，肝臓の総コレステロール，トリグリセリド濃度については4群間に有意差は認められなかった。

4．盲腸重量，内容物のpH，糞乾燥重量および糞中胆汁酸排泄量

盲腸重量（内容物込み）と内容物のpH，および飼育期間中の糞乾燥重量，糞中胆汁酸排泄量をTable 4に示す。

実験1ではセルロースやFiber-free食と比べ，難消化性デキストリン摂取によって著しい盲腸重量の増加が認められ，また内容物のpHも酸性側に傾いていた。糞乾燥重量はセルロース摂取によって有意に増加した。なお，糞中胆汁酸排泄量はセルロース摂取，Fiber-free摂取，難消化性デキストリン摂取の順に多かったが，統計的に有意な差はセルロース摂取と難消化性デキストリン摂取の間に見られたのみだった。

実験2においても，難消化性デキストリン摂取によって盲腸重量の増加と内容物のpH低下が有意に認められ，またハイアミロースススターチ摂取によっても同様の結果が得られた。また，糞乾燥重量はセルロース摂取においてのみ有意に増加した。糞中胆汁酸排泄量は4群間に有意な差はみられなかった。

考　察

本研究はコレステロールを添加した飼料（実験1）および無添加の飼料（実験2）の条件下で，塩酸吸着コーンスターチの湿熱処理によって得られた難消化性デキストリンのコレステロール代謝に及ぼす影響とその作用機序について検討したものである。

実験1では食餌にコレステロールを0.5%添加し，体内のコレステロール合成を抑制すると考えられる条件で飼育を行った。その結果，有意な差ではないが難消化性デキストリン摂取による血清コレステロール値の低下傾向が認められた。一般に，食物繊維による血清コレステロール値低下の作用機序として，糞中への中性および酸性ステロイド排泄の増加が考えられてきた[13)14)]。しかし，難消化性デキストリン摂取による糞中への胆汁酸排泄量の増加は本実験では認められなかった。なお，中性ステロイド排泄量については今回は測定しなかった。また，結果は示していないが小腸粘膜の酵素活性を測定したところ，とくに難消化性デキストリン摂取による影響は認められなかった。したがって，小腸における消化吸収能には変化がなかったものと思われる。一方，コレステロール無添加の食餌条件である実験2では，難消化性デキストリン摂取によって明確に血清コレステロール値の低下が認められた。なおこの場合も，糞中への胆汁酸排泄量の増加は認められなかった。したがって，実験1，2の結果を併せると，難消化性デキストリンは血清コレステロール値を低下させる作用を有するが，これは糞中胆汁酸排泄の増加によるものではない，と結論される。

Chenらは，腸内細菌による食物繊維の主な発酵産物である短鎖脂肪酸が，肝臓のコレステロール合成を抑制することを示唆している[6)]。本研究でも実験1，2の両方で難消化性デキストリン摂取による著しい盲腸重量の増大と内容物のpH低下が認められ，盲腸内で多量の短鎖脂肪酸が生成しているものと考えられた。しかしながら，本研究での血清コレステロール値低下は，Chenらの仮説では説明できないように思われる。なぜなら，実験2においてハイアミロースススターチ摂取群は難消化性デキストリン摂取群と同じように盲腸重量の増大と内容物のpH低下を示していたにもかかわらず，血清コレステロール値に変化は認められなかったためである。もちろんこのことは，両群の盲腸内容物の短鎖脂肪酸組成に違いのあることも考えられ断定はできないが，血清コレステロール値低下の作用機序は短鎖脂肪酸の媒介というよりはむしろ何か未知の発酵産物の媒介を考えた方がよいと思われる。あるいは，また全く別の作用機序による可能性もあり，これについては今後の検討課題と言える。

以上より，難消化性デキストリンは水溶性食物繊維と類似した血清コレステロール値の低下作用を有すること，その作用機序は糞中胆汁酸排泄量の増加によっては説明できないことが認められた。

要　約

塩酸を吸着させたコーンスターチの湿熱処理によって得られた難消化性デキストリンのラットコレステロール代謝に及ぼす影響について，コレステロール添加飼料および無添加飼料の両条件下で検討し，以下の結果を得た。

1）コレステロール添加飼料では，難消化性デキストリンの摂取によって血清総コレステロール値の低下傾向が認められた。さらにコレステロール無添加飼料において，その低下は有意なものとなった。

2）コレステロール添加の有無にかかわらず，難消化性デキストリン摂取による糞中胆汁酸排泄の増加は認められなかった。

3）難消化性デキストリン摂取によって，著しい盲腸重量の増大と内容物の pH 低下が認められた。

以上の結果より，難消化性デキストリンは血清総コレステロール値を低下させる作用を有するが，これは糞中への胆汁酸排泄の増加によっては説明できないことが示された。

本研究を進めるにあたり御協力頂きました和途千恵氏に，深く感謝いたします。

文　献

1）Story, J. A. : *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, **180**, 447 (1985)
2）Anderson, J.W. and Ward, K. : *Am. J. Clin. Nutr.*, **32**, 2312 (1979)
3）Van Soest, PJ. : *Am. J. Clin. Nutr.*, **31**, S 12 (1978)
4）Nishina, P. M. and Freedrand, R. A. : *J. Nutr.*, **120**, 668 (1990)
5）Story, J. A. : *Adv. Lipid Res.*, **18**, 229 (1980)
6）Chen, W. J. L., Anderson, J. W. and Jennings, D. : *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, **175**, 215 (1984)
7）辻　啓介，宮田富弘，海老原清，桐山修八：食物繊維（印南　敏，桐山修八編），132 (1995) 第一出版　東京
8）永田純一，屋　宏典，戸田隆義，知念　功，大関正直：栄食誌，**48**, 133 (1995)
9）荻原滋子，江崎君子，北村進一：日本食品工業学会　第41回大会講演集，113 (1994)
10）Prosky, L., Asp, N.G., Furda, I., Devries, J. W., Schweizer, T. F. and Harland, B.F. : *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, **67**, 1044 (1984)
11）Folch, J., Lees, M. and Sloane-Stanley, G. H. : *J. Biol. Chem.*, **226**, 497 (1957)
12）石居　進：BASIC による統計処理，133 (1983), 培風館（東京）
13）Kay, R. M. and Truswell, A. S. : *Am. J. Clin. Nutr.*, **30**, 171 (1977)
14）Arjmandi, B. M., Ahn, J., Nathani, S. and Reeves, R. D. : *J. Nutr.*, **122**, 246 (1992)