トウモロコシ外皮より調製した水溶性食物繊維の ラット脂質代謝に及ぼす影響

古市幸生*, 谷口愛*, 堀部敦子*
梅川逸人*, 高橋孝雄*, 勝呂公明**
今井照夫**

* 三重大学生物資源学部栄養化学研究室

** サンエイ糖化株式会社研究開発部

Effects of Water-soluble Dietary Fiber Prepared from Corn Hull on Lipid Metabolism in Rats

Yukio FURUICHI,* Ai TANIGUCHI,* Atsuko HORIBE,*
Hayato UMEKAWA,* Takao TAKAHASHI,* Masaaki KATSURO**
and Teruo IMAI**

* Laboratory of Nutritional Chemistry, Faculty of Bioresources,
Mie University, Tsu 514

** Research & Development Department, San-ei Sucrochemical Co., Ltd., Chita 478

Nippon Eiyō Shokuryō Gakkaishi (*J. Jpn. Soc. Nutr. Food Sci.*) 47, 29~34 (1994)

Water-soluble dietary fiber was prepared by alkali extraction from corn hull, a by-product of corn starch manufacturing. The fiber was shown to be composed mainly of arabinose and xylose. Four-week-old male Wistar rats were fed experimental diets containing 5% cellulose or soluble dietary fiber. A fiber-free diet was used as a control diet. There were no differences in food intake or body weight gain among the three dietary groups. The soluble-fiber diet lowered the serum cholesterol concentration compared with both the fiber-free and cellulose diets in both groups fed cholesterol-free and cholesterol-containing diets. Hepatic total lipid and cholesterol contents were lowered only in the group fed the atherogenic diet. These results show that water-soluble fiber from corn hull has excellent characteristics as a dietary fiber.

Key Words water-soluble dietary fiber, corn dietary fiber, serum lipids, rat hepatic lipids, rat serum cholesterol.

(Received July 23, 1993)

血中コレステロール濃度が高い場合に、アテローム性動脈硬化症や虚血性心疾患を発症しやすいことが、多くの疫学的研究や動物実験の結果から明らかにされている¹⁾²⁾。一方、食物繊維 (dietary fiber) の有する脂質代謝における栄養学的有効性が実験的研究ならびに疫学的研究によって証明されてくるにつれて、種々の食物繊維素材が開発されるようになった。またすでに、商品として市場に出回っているものも多くみられる。

ところで、食物繊維はその溶解性に基づいて不溶性のものと水溶性のものに分けられ、後者のほうが血清コレ

ステロール濃度上昇抑制効果が優れているとされている³⁾⁴⁾。また、水溶性繊維にはイオンに解離するものとしていないものが存在し、これらの分子量についても広範囲にわたっている。さらに、水に加えた場合、グアガムのようにゲル状に固まるものと、今回調製したトウモロコシ外皮水溶性繊維のように高い粘度を有する水溶液となるものが存在する。これらの物理的・化学的性質の差は、栄養素の消化・吸収ならびに脂質代謝をはじめとする栄養素の代謝に影響するものと考えられている。これまでに、不溶性食物繊維に関する研究は比較的多く行われていて、豊富な知見が得られている。一方、水溶性食物繊維の脂質代謝改善作用の機作については、消化管からの

* 〒514 津市上浜町 1515

** 〒478 知多市北浜町 24-5

脂質の吸収の阻害⁵⁾、胆汁酸合成の促進⁵⁾、胆汁酸の糞中への排泄促進⁵⁾、大腸で水溶性繊維の発酵の結果生じる短鎖脂肪酸、とくにプロピオン酸が肝臓でのコレステロールの合成を抑えること⁶⁾などがあげられているが、十分解明されているわけではない。Topping は総説⁷⁾の中で、大腸微生物発酵により水溶性食物繊維から生じる低級揮発性脂肪酸の一つであるプロピオン酸が肝臓でのコレステロール合成を抑えるという解釈⁶⁾⁸⁾に対して、そのような効果を発揮するにはかなり大量のプロピオン酸が腸管内で発生することが必要であり、腸管内発酵産物としての低級脂肪酸の関与を否定する見解を述べている。また、Beaulieu と McBurney⁹⁾もプロピオン酸が水溶性食物繊維の血清コレステロール濃度上昇抑制作用に役目を果たしていないと結論づけている。本研究では、トウモロコシ外皮よりアルカリ抽出によって得られた水溶性食物繊維（コーンダイエタリーファイバー）のラット脂質代謝に及ぼす影響について、コレステロール添加および無添加の飼料を用いて検討した。「結果・考察」の項でも述べるように、この水溶性繊維は、コーンスターチ製造工程で得られる比較的利用度の低い副産物を原料としており、収量もかなり多いものである。なお、トウモロコシ外皮に含まれる水溶性食物繊維の脂質代謝に及ぼす効果については綾野¹⁰⁾ならびに竹内¹¹⁾の報告がみられるのみであり、彼らは本研究とは異なる製造方法で調製した繊維標品ならびに異なる実験飼料組成で脂質代謝改善効果を認めている。

実験材料および方法

1. 実験材料と水溶性食物繊維の調製法

トウモロコシ外皮水溶性食物繊維は、図1に示すような工程で調製した。その概略は以下のとおりである。すなわち、イエローデントコーン（Yellow dent corn）を原料としたコーンスターチ製造において、亜硫酸浸漬処理後の wet milling 工程で生じるコーン破砕物から液体サイクロンで胚芽部を除いたものにつき、スクリーンによる篩別によりできるだけデンプンとタンパク質を除いた皮部を主体とする画分すなわちコーンファイバーを得た。次に、コーンファイバーに残っている少量のデンプンを耐熱性 α -アミラーゼで処理することにより除き、0.6% NaOH (80°C, 2時間) によりアルカリ処理した後、HCl で中和した溶液につき、ペクチナーゼ処理（酵素濃度 0.05~0.1%, 50°C, 20時間）、脱色樹脂処理、カチオンおよびアニオン交換樹脂による脱塩、単一効用缶による濃縮、凍結乾燥によりコーンダイエタリーファイバー標品を得た。

2. 成分分析法

水溶性食物繊維標品の一般成分分析は常法により行っ

図 1. トウモロコシ外皮水溶性食物繊維の調製法

た。すなわち、水分については 105°C での加熱乾燥減量を求めることにより、灰分は 600°C で灼熱した場合の残渣量を求めることにより、タンパク質についてはゲルダール法によって求めた窒素量に窒素-タンパク質換算係数 6.25 を乗じることによって、それぞれ定量した。また、食物繊維は Proskey 法¹²⁾ により定量した。なお、粘度および分子量はそれぞれ回転粘度計（東京計器製、E 型回転粘度計 VISCONIC ED 型）と高速液体クロマトグラフ（島津製作所製 HPLC、カラム Asahipac GS-510、検出器 RI、展開液 水、室温）による分子篩クロマトグラフィーで測定した。構成糖については、硫酸で加水分解後 NaOH で中和し、HPLC により単糖の分析を行った。なお、繊維標品中の遊離単糖の分析も HPLC により併せて行った。

3. 実験動物および飼育管理方法

実験動物としては、3 週齢のウィスター系雄性ラット（日本エスエルシー(株)）を購入し、市販粉末飼料（MF, オリエンタル酵母工業(株)）で 1 週間予備飼育した後、試験飼料を 20 日間自由摂取で与えた。なお、水は自由に飲ませた。動物は、室温 20±2°C の部屋で、12 時間のライトサ

イクル(午前8時より午後8時まで明期)で飼育した。また、隔日ごとに飼料摂取量と体重を測定した。

4. 試験飼料

実験飼料は、コレステロール添加飼料および無添加飼料とし、それぞれについて、無繊維飼料、セルロース飼料、水溶性繊維飼料の3種類を調製した。それらの組成は次のとおりである。カゼイン(ビタミンフリーカゼイン, オリエンタル酵母工業㈱)20%, 大豆油5%, ビタミン混合物(ハーバー配合, オリエンタル酵母工業㈱)1%, 塩化コリン0.15%, ミネラル混合物(ハーバー配合, オリエンタル酵母工業㈱)4%, ショ糖20%を基本配合とした。セルロース飼料, 水溶性繊維飼料では, それぞれ粉末セルロース(E型, 東洋濾紙㈱)あるいは水溶性繊維を5%配合した。なお, コレステロール添加飼料ではコレステロール1%とコール酸ナトリウム0.25%を添加した。また, すべての飼料はコーンスターチで100%に調製した。

5. 血清および肝臓脂質の分析法

実験期間終了日の夕刻6時より一夜絶食させた後, エーテル麻酔下で開腹し, 腹部大動脈より採血した。この血液を室温で約2時間放置した後, 2,000 rpmで遠心分離して血清を得た。血清脂質については, 市販測定キットにより, 総コレステロール(コレステロールC IIテストワコー, 和光純薬㈱), HDL-コレステロール(HDL-C2 DAI-ICHI, 第一製薬㈱), リン脂質(リン脂質Bテストワコー, 和光純薬㈱) トリアシルグリセロール(トリグリセライドテストワコー, 和光純薬㈱)を定量した。

屠殺時に肝臓を摘出し, 秤量した後, 速やかに -20°C で保存した。肝臓脂質の分析に関しては, Folchらの方法¹³⁾により全脂質を抽出し, 重量を求めた後, 血清と同様に市販測定キットによりコレステロール, トリアシルグリセロール, リン脂質含量を求めた。

6. 統計処理法

実験成績は平均値±標準誤差で表し, 飼料群間の有意差検定はStudent's *t*-testにより行い¹⁴⁾, 5%以下の危険率で有意差の有無を判定した。

実験結果および考察

1. 供試水溶性食物繊維の成分組成と物性

コーンファイバーは原料トウモロコシ粒から5~10%の収率で得られた。さらに, このコーンファイバーの20~30%がコーンダイエタリーファイバーとして回収されたので, 本水溶性食物繊維は原料トウモロコシからは2~3%の収率で得られたことになる。なお, 調製過程において, ペクチナーゼ処理をしたのは, 同処理をしない場合には, 溶液の粘度が高く粘稠となって遠心分離が困難であったことによるものである。したがって, 本研究ではペクチンの定量を行っていないが, ペクチナーゼを用いない処理法で調製すれば, ペクチンが分解されず残るため, さらに総水溶性繊維としての回収率は高まるものと考えられる。

表1に示すように, 本水溶性繊維のProsky法で求めた食物繊維含量は80.8%であり, 十分高いものであった。一方, 灰分含量はかなり低かった。これはアルカリ処理やイオン交換樹脂処理により除かれたものと考えられる。また, タンパク質含量も非常に低く(0.38%), wet millingの工程で得られた破砕物に含まれていたタンパク質の大部分はコーンファイバー製造工程で除かれていることが示された。

分子量については, gel-permeation chromatography (GPC-HPLC)で求めた値が $3.0\sim 3.5\times 10^4$ であり, これはヘミセルロースについていわれている値¹⁵⁾, すなわち分子量約 3.5×10^4 , 重合度200~500にほぼ等しいものであった。

また, 水溶性食物繊維であるグアガムと比較すると, 粘度はかなり低いものであった。すなわち, グアガムが1%水溶性でもり様の粘稠なゲル状を示すのに対して, 本水溶性繊維は5%水溶液でも, 粘度は17.3 cpで溶液は比較的さらさらしていた。これは, 分子量と鎖状構造の違いに起因するものであると考えられる。なお, 本水溶性繊維標品は吸湿性が非常に高いものである。

構成糖としては, 本水溶性食物繊維には, 表2に示すよ

表 1. トウモロコシ外皮水溶性食物繊維の成分(%)と性質

水分	3.84
灰分	1.57
総窒素(N)	0.061
タンパク質(N $\times 6.25$)	0.38
食物繊維(Prosky法)	80.8
粘度(5%水溶液)	17.3 cp
分子量(GPC-HPLC*)	$3.0\sim 3.5\times 10^4$

* 分子篩高速液体クロマトグラフィー。

表 2. トウモロコシ外皮水溶性食物繊維の糖組成(乾物中%)

糖	遊離糖組成	高分子画分糖組成
果糖	0.13	—*
アラビノース	3.59	26.3
ガラクトース	0.11	5.7
キシロース	1.04	40.0
ブドウ糖	7.90	12.3
計	12.77	84.3

* 検出されず。

表 3. 飼料摂取量, 体重増加量, 肝臓重量

飼 料	飼料摂取量 (g/20 日)		体重増加量 (g/20 日)		肝臓重量 (g/100 g 体重)	
	無添加	添加	無添加	添加	無添加	添加
コレステロール						
無繊維飼料	341±10	331±5	124±4	124±2	3.2±0.0	4.6±0.0*
セルロース飼料	359±7	341±10	129±3	124±1	3.2±0.1	4.7±0.0*
水溶性繊維飼料	323±14	329±6	124±5	126±4	3.2±0.1	4.1±0.0***

各数値は平均値±標準誤差 ($n=5$) で表示。

* コレステロール無添加飼料より有意に高い ($p<0.05$)。

** コレステロール添加飼料の無繊維飼料群およびセルロース飼料群より有意に低い ($p<0.05$)。

図 2. ラット血清脂質濃度

□: 無繊維飼料群, ▨: セルロース飼料群, ■: 水溶性食物繊維飼料群。(A) コレステロール無添加飼料, (B) コレステロール添加飼料。各値は, 平均値±標準誤差 ($n=5$)。* 無繊維飼料群と有意差あり ($p<0.05$)。

図 3. ラット肝臓脂質含量

□: 無繊維飼料群, ▨: セルロース飼料群, ■: 水溶性食物繊維飼料群。(A) コレステロール無添加飼料, (B) コレステロール添加飼料。各値は, 平均値±標準誤差 ($n=5$)。* 無繊維飼料群と有意差あり ($p<0.05$)。

うに, 遊離糖として約 13%, 高分子画分の糖として約 84%が含まれていた。後者はアラビノースとキシロース (それぞれ 26, 40%) を主体としており, 本水溶性繊維はヘミセルロースであることが示された。

2. 飼料摂取量, 体重増加量, 肝臓重量

飼料摂取量, 体重増加量ならびに肝臓重量について表 3 に示した。飼料摂取量, 体重増加量については, 飼料群間で有意な差は認められなかった。しかし, 肝臓重量については, コレステロール添加飼料では無添加飼料よりかなり大きい値であった。さらに, コレステロール添加

飼料において, 水溶性繊維飼料群は無繊維飼料群およびセルロース飼料群より有意に低い値であった。これは, 後に論ずるように (図 3), 水溶性繊維による肝臓脂質含量の低下とも関連するものであろう。なお, 無コレステロール飼料では, 飼料群間で肝臓重量について差は認められなかった。ところで, Vigne ら¹⁶⁾ はセルロース飼料より水溶性繊維であるベクチン飼料でラットの体重増加量が低かったことを報告している。一方, Nishina ら¹⁷⁾ は無繊維飼料での飼料摂取量は繊維添加飼料と差がみられなかったことを報告している。このように, 繊維の含

有の有無ならびにそれらの種類と飼料摂取量の間には一定の関係がみられないようである。

3. 血清脂質濃度および肝臓脂質含量に及ぼす影響

血清脂質濃度および肝臓脂質含量に及ぼす繊維の影響について、それぞれ図2と図3に示した。

図2に示すように、コレステロール添加飼料ならびに無添加飼料の両方において、無繊維飼料群およびセルロース飼料群と比較して水溶性繊維飼料群で血清コレステロール濃度上昇抑制効果が認められた。HDL-コレステロール濃度については、無コレステロール飼料において、無繊維飼料群と比較してセルロース飼料群および水溶性繊維飼料群で有意に低下したが、コレステロール添加飼料では、セルロース飼料群においてのみ低下が観察された。トリアシルグリセロール濃度については、無コレステロール飼料の水溶性繊維飼料群で無繊維飼料群およびセルロース飼料群より有意に低下した。リン脂質濃度については、無コレステロール飼料の水溶性繊維飼料群で低下した。なお、本研究においては、コレステロールの添加の有無にかかわらず、無繊維飼料群と比較してセルロース飼料群での血清コレステロール濃度上昇抑制効果は認められなかった。このことは辻²⁾やStory⁵⁾が論じているように、セルロースには血中コレステロールの改善効果が認められないという従来の報告の結果と一致するものである。この観点からの比較的最近の研究としては、Shinnick ら¹⁸⁾がコレステロール添加飼料を用いたラットによる実験で、無繊維飼料群とセルロース飼料群の間で血清コレステロールおよびトリアシルグリセロール濃度、肝臓コレステロールおよびトリアシルグリセロール含量に差がなかったことを報告している例がある。しかし、セルロースでも20%のように添加量が多くなると、血清コレステロール濃度上昇抑制作用を示すようである¹⁹⁾。

肝臓脂質含量に及ぼす効果については、図3に示すように、コレステロール添加飼料において、無繊維飼料群と比較して水溶性繊維飼料群で総脂質およびコレステロール含量の有意な低下が認められた。また、総脂質含量については、コレステロール添加飼料において、無繊維飼料群と比較してセルロース飼料群での有意な低下が認められた。

ところで、綾野らは、トウモロコシ外皮より調製した水溶性繊維の0.5%添加でもラット血清コレステロール濃度の有意な低下を認めている¹⁰⁾。また、肝臓コレステロール含量については2.0%添加で有意な低下を認めている。なお、竹内らも、トウモロコシ外皮より調製した水溶性繊維について、ラードを用いて調製したコレステロール1%添加の脂肪含量10%の飼料で、かつSD系のラットを用いた短期間の実験で、本実験の成績よりさら

に顕著な血清コレステロール濃度上昇抑制効果を認めているが、HDL-コレステロールおよびトリアシルグリセロール濃度については有意差を認めていない¹¹⁾。しかし、肝臓コレステロール含量についてはその低下を認めている。しかしながら、Arjmandi ら²⁰⁾は、SD系ラットを用いた3週間の実験で、コレステロール無添加飼料においてはセルロースと比較して水溶性繊維のペクチンでも血清コレステロール濃度上昇抑制作用を認めていない。さらに、肝臓の総脂質およびコレステロール含量にも有意差を認めていない。しかし、本研究の結果と同じように、コレステロール添加飼料(0.3%添加)では、セルロースに比べペクチンで血清コレステロールの低下することを認め、さらに肝臓の総脂質およびコレステロール含量の低下を認めている。なお、彼らは、水溶性繊維の血清コレステロール濃度上昇抑制作用は糞中への中性ステロール排泄促進によって発揮されると結論している。

このような水溶性食物繊維の示す血清コレステロール濃度上昇抑制作用の機作の一つとしては、胆汁酸排泄促進が考えられている⁵⁾²⁰⁾²¹⁾。すなわち、胆汁酸としてより多くのコレステロールを排泄することにより、コレステロールの胆汁酸への異化を促進して、その結果として血清および肝臓中のコレステロール濃度を低くするという機構である。しかし、本研究では糞が非常に軟かく収集するのが困難であったため、糞中胆汁酸排泄量を求めることができなかった。この軟便の原因は、飼料中の水溶性繊維含量が高過ぎたことによるものと考えられる。なお、軟便の原因の一つとしての吸収異常が脂質代謝に影響を及ぼしたことも考えられるが、水溶性繊維飼料群と無繊維飼料群およびセルロース飼料群との間にラットの体重増加量に差は認められなかった(表3)ことから、この吸収異常の可能性はないものと考えられる。今後本水溶性繊維の血清コレステロール濃度上昇抑制作用の機構を明らかにするために、飼料への添加濃度ならびに胆汁酸の排泄量について検討する必要があると考えている。

4. そ の 他

解剖時の所見として、水溶性繊維を与えられた実験動物で観察されているように¹⁹⁾、顕著な盲腸の肥大が観察された。

以上のように、本トウモロコシ外皮由来水溶性食物繊維はこれまでの報告でみられるものと同様に脂質代謝改善作用を有することが示された。

要 約

トウモロコシ外皮より調製した水溶性食物繊維のラット脂質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それぞれについて無繊維飼料、精製セルロース飼料、水溶性食物繊維飼料を調製して比

較検討し、以下の結果を得た。

1) 本水溶性食物繊維はヘミセルロースを主体としており、主な構成糖はアラビノースとキシロースであった。

2) コレステロールの添加の有無にかかわらず、飼料群間で飼料摂取量ならびに体重増加量に有意差は認められなかった。しかし、肝臓重量はコレステロール添加飼料で無添加飼料より高く、添加飼料の中では、水溶性食物繊維飼料群で有意に低かった。

3) 血清脂質に関しては、コレステロール無添加および添加飼料の両飼料で、水溶性食物繊維群では無繊維飼料群およびセルロース飼料群と比較して総コレステロール濃度の上昇抑制効果が認められた。また、HDL-コレステロールおよびトリアシルグリセロール濃度の有意な低下がコレステロール無添加飼料の水溶性繊維飼料群で認められた。リン脂質については、無コレステロール飼料で有意な低下が認められた。

4) 肝臓脂質については、コレステロール含量について、コレステロール添加飼料の水溶性繊維飼料群で無繊維飼料群およびセルロース飼料群より有意な低下が認められた。総脂質含量については、コレステロール添加飼料で水溶性繊維により低下することが示された。

文 献

- 1) Anderson, J.W. and Tietzen-Clark, J. : *Am. J. Gastroenterol.*, **81**, 907 (1986)
- 2) 辻 啓介 : 食物繊維 (印南 敏, 桐山修八編), 131 (1982), 第一出版 (東京)
- 3) Nishina, P.M. and Freedland, R.A. : *J. Nutr.*, **120**, 668 (1990)
- 4) Chen, W.L., Anderson, J.W. and Gould, M.R. : *Nutr. Rep. Int.*, **24**, 1093 (1981)
- 5) Story, J.A. : *Adv. Lipid Res.*, **18**, 229 (1980)
- 6) Scott, R.W., Anderson, J.W. and Bridges, S.R. : *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, **195**, 26 (1990)
- 7) Topping, D.L. : *Nutr. Rev.*, **49**, 195 (1991)
- 8) Chen, W.L., Anderson, J.W. and Jennings, D. : *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, **175**, 215 (1984)
- 9) Beaulieu, K.E. and McBurney, M.I. : *J. Nutr.*, **122**, 241 (1992)
- 10) 綾野雄幸, 太田富貴雄, 渡辺幸雄, 中村 強, 滝澤まゆみ : 栄養と食糧, **35**, 431 (1982)
- 11) 竹内政保, 菅原正義, 高庄敏行, 江頭祐嘉合, 真田宏夫, 綾野雄幸 : 日本食品工業学会誌, **38**, 981 (1991)
- 12) Prosky, L., Asp, N., Schweizer, T.F., deVries, J.W. and Furda, I. : *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, **71**, 1017 (1988)
- 13) Folch, J., Lees, M. and Sloane-Stanley, G.H. : *J. Biol. Chem.*, **226**, 497 (1957)
- 14) Snedecor, G.W. and Cochran, W.G. : *Statistical Methods*, 6th ed., 91 (1971), Iowa State University Press (Ames)
- 15) 綾野雄幸 : 食物繊維 (印南 敏, 桐山修八編), 17 (1982), 第一出版 (東京)
- 16) Vigne, J.L., Larison, D., Borel, P., Portugal, H. and Pauli, A. : *Br. J. Nutr.*, **58**, 405 (1987)
- 17) Nishina, P.M., Schneeman, B.O. and Freedland, R.A. : *J. Nutr.*, **121**, 431 (1991)
- 18) Shinnick, F.L., Ink, S.L. and Marlett, J.A. : *J. Nutr.*, **120**, 561 (1990)
- 19) Sundaravalli, O.E., Shurpalekar, K.S. and Narayana Rao, M. : *J. Agric. Food Chem.*, **19**, 116 (1971)
- 20) Arjmandi, B.M., Ahn, J., Nathani, S. and Reeves, R.D. : *J. Nutr.*, **122**, 246 (1992)
- 21) Eastwood, M.A. : *Annu. Rev. Nutr.*, **12**, 19 (1992)

(1993年7月23日受理)