

食物繊維の食事性高血糖に及ぼす影響

赤木 玲子・石原 規代・江草 邦枝
大原 千香・平野 敬子

要 約

各種食物繊維 (DF) を、ブドウ糖溶液と混合し、経口投与後の血糖値上昇抑制力の有無、あるいは、その程度について、DF の種類の違い、量の違い、DF の状態の違い、異種の DF 混合による違いの観点から検討し、以下の所見を得た。

1) DF の種類の違いによる血糖値上昇抑制効果について検討したところ、水溶液状態で粘性の最も高いグァーガムに最も強い抑制効果がみられた。また、セルロース、アガー (ゾル)、ペクチンについても有意な抑制効果がみられた。

2) DF の量の違いによる血糖値上昇抑制効果について検討したところ、DF 量の増加に応じた抑制効果の増大がみられた。ただしアガー (ゾル) については、増量しても抑制効果に有意差はみられなかった。

3) 水溶性 DF、アガーについては、ゾル状態とは異なり、ゲル状態においては、DF 量を増加することにより、血糖値上昇抑制効果の増加がみられた。

4) 水溶性 DF グァーガムと不水溶性 DF セルロースを 1 : 1 の割合で混合した場合の血糖値上昇抑制への影響について検討したところ、各々の DF を同量、単独で試験した場合よりも、抑制効果が有意に増大した。

5) ラット空腸反転膜標本を用いて、ブドウ糖の腸管輸送能に各種 DF が、いかなる影響を与えるかについて検討したところ、いずれの DF ともに抑制効果がみられた。特に、水溶液状態で粘性の高いグァーガムについては、抑制効果が大きく、DF による粘性の増大と、ブドウ糖の腸管粘膜による輸送抑制効果との間には、ある程度相関関係がみられた。また、この結果は、*in vitro* において得られた結果に一致した。

1. 諸 言

近年、新しいタイプの栄養素としての食物繊維 (Dietary fiber, DF) について関心が高まり、DF の種々

な疾患の予防や治療に対する効果が期待されつつある。疫学的な調査から、DF の豊富な食生活が成人病の予防、あるいは進展の阻止に有効であるとの報告¹⁾は、このような期待の主たる裏づけとなっている。これらの効果が DF の種類によって異なることも報告されており、主として、DF の物理化学的性質の違いによって生じるものと考えられている。^{2) 3)}

これらの DF の効果を実験的に検討した報告には、次のようなものがある。DF は、消化管腔内を通過する時、胆汁酸を吸着してコレステロールを初めとする各種脂質の吸収を阻害し、その結果、血中総コレステロール値の下降作用を示す。^{4) 5) 6) 7) 8)} また、DF は、糖質の胃排泄を遅延させ、小腸における吸収を緩和することが報告されている。^{9) 10) 11)}

そこで、私達は糖尿病の食事療法としては、従来考えられている摂取エネルギー量の適正化と、その範囲内で栄養素をバランスよく摂取することに加えて、ブドウ糖の吸収を阻害する効果を考慮して DF を効果的に応用することが、可能ではないかと考え、各種 DF の血糖値に及ぼす影響を調べ、そのメカニズムについて検討することにした。更に実際の食事内容により近い状態における DF の効果を調べることを目的として、物理化学的性質の異なる DF、すなわち、水溶性 DF と不水溶性 DF を混合した場合の血糖値上昇の抑制効果も検討した。

2. 実験方法

(1) ブドウ糖負荷試験による検討

健康な成人女子 (19 ~ 20 歳) 4 名と被験者にして、ブドウ糖溶液及びブドウ糖、DF 混液を経口投与後、末梢血液を経時的に採取し、簡易血糖値測定機グルテスト II (京都第一科学 (株)) を使用して血糖値を測定した。なお発色には、血糖値測定用試験片ダイアロール (京都第一科学 (株)) を用いた。

空腹時の血糖値を測定し、経口糖忍容力試験用糖質

* 岡山県立短期大学食物科昭和 63 年度卒業生

液トレーランG（清水製薬（株））（ブドウ糖 50 g に相当するデンプン部分加水分解物を含有する 150 ml の溶液）を摂取して、20分おきに2時間、血糖値を測定した。DFの影響を検討するために、トレーランGに、セルロース、アガー、ペクチン、グァーガムといった各種DFを単独もしくは混合して、各々3 g または6 g を混合したものを摂取し、同様に血糖値を経時的に測定した。

セルロースはフナコシ薬品（株）より、アガー（寒天末）及びペクチン（レモン製）は和光純業工業（株）より購入したものをを用いた。グァーガムは、雪印食品（株）の西本氏の厚意により提供されたものをを用いた。

（2）ラットの空腸反転膜標本による検討

体重 450 ～ 470 g のウィスター系雄ラットを出血致死させた後開腹し、空腸を約20cm切り取り、内容物を氷冷した 0.1 M リン酸ナトリウム緩衝液（pH 6.5）で洗い流した。切り取った空腸は、ガラス棒を用いて反転し、37℃に保温した前述の緩衝液を 0.5 ml 注入して絹糸で両端を縛り、長さ約 5 cm の空腸反転膜標本を作製した。

空腸反転膜標本を、あらかじめ37℃に保温しておいた緩衝液（外液）に入れることにより、吸収を観察した。外液には、同じ緩衝液にブドウ糖 0.5 g/dl、各種食物繊維を 2.5 g/dl になるように溶解もしくは混合したものをを用いた。浸析後、5分及び10分後の空腸反転膜標本内液中及び外液中のブドウ糖濃度を、グルコースオキシダーゼ法（グルコースC-テストワコー（和光純業工業（株））を使用）により測定した。

3. 実験結果

（1）ブドウ糖負荷試験による検討

a. 水溶性DFと不水溶性DFが血糖値の上昇に及ぼす影響

ブドウ糖負荷試験の形で、トレーランGに各種DF（セルロース、グァーガム、アガー、ペクチン）3 g を混合した場合の血糖値の経時変化を図1に示した。対照としてトレーランGのみを経口投与した結果を、fiber-free として表わした。血糖の測定値は、4名の被験者について複数回実験を行って得られた結果を平均した値である。血糖上昇のパターンをみると、トレーランGにDFを混合した場合、いずれの種類のDFにおいても、トレーランGのみの場合と比較して、血糖値の上昇が有意に抑制された。

図1では、各々のDFの場合について、血糖値が最高値を示す時間は必ずしも同一でなく、その結果血糖

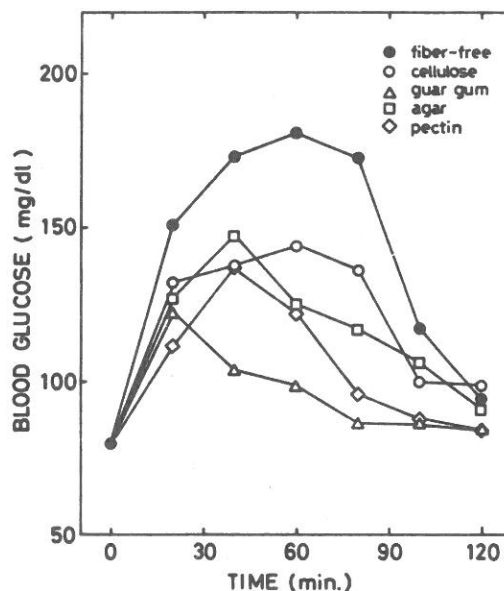


図1 各種DFが、ブドウ糖経口投与後の血糖値上昇に及ぼす影響

ブドウ糖負荷試験により、トレーランG単独摂取後と、トレーランGと各種DF（3 g）混合液摂取後の血糖値を経時的に示した。各々の値は、4～8例の平均値で示したものである。

値の変化のパターンがそれぞれ異なっているため、抑制効果を客観的に判断するのが困難である。そこで、それぞれの結果から血糖の最高値をとり、空腹時血糖値を差し引いた値を血糖値上昇量とし、トレーランGのみを経口投与した際の血糖値上昇量に対する血糖値上昇抑制率を、各々のDFの場合について百分率で求め、図2に示した。トレーランGにグァーガムを混合した場合に血糖値上昇抑制率が最も大きく、総じて図

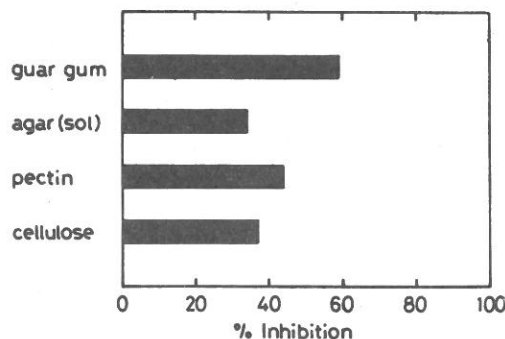


図2 各種DFの血糖値上昇抑制率

図1より、血糖値上昇抑制率を算出した。血糖値上昇抑制率は、本文中実験結果に詳細を記載している。

1で得られた結果をよく反映していると思われる。そこで以下の実験結果は血糖値上昇抑制率を求めて示すことにした。

b. DFの量の血糖値上昇抑制率に対する影響

DFを2倍量(6g)にした場合の血糖値上昇抑制率を前述の抑制率と比較した結果を図3に示した。検討した3種のDFのうちで、アガーを除いてDFの増量による抑制効果の増大傾向が見られ、特にセルロースについては、増量に対して比例的な血糖値上昇抑制率の増大が認められた。アガーは、この場合はトレーランGに単に混合したゾル状態のものを用いたが、量を増加しても抑制率の増加は認められなかった。

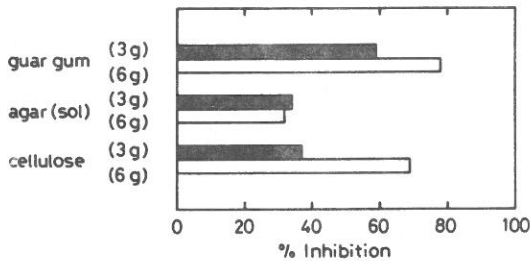


図3 各種DF量の血糖値上昇抑制率への影響

c. 水溶性DFアガーの状態の違いによる血糖値上昇抑制率への影響

アガー3gをトレーランGに混合したゾル状態と混合後加熱溶解し再び冷却したゲル状態における血糖値上昇抑制率を検討した結果を示したものが図4である。アガー3gを用いた場合、ゾル状態とゲル状態の抑制率に有意な差は認められなかったが、アガーを2倍量にして比較検討した場合、ゾル状態で検討した結果と異なり、ゲル状態では他のDFで得られた結果(図3)と同様に量の増加に応じて抑制率の増加が認められた。

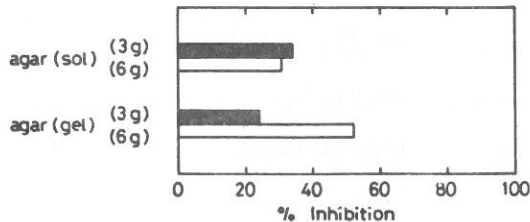


図4 ゾル状態、ゲル状態における血糖値上昇抑制率の比較

d. 性質の異なるDFアガーの状態の違いによる血糖値上昇抑制率への影響

性質の異なる2種類のDFすなわち不水溶性のセルロースと水溶性のグァーガムを1:1に混合し、総量3gをトレーランGに混合した場合における血糖値上昇抑制率を、セルロースとグァーガムそれぞれ単独で3gを同様にして用いた場合の抑制率と比較して図5に示した。セルロースとグァーガムを1:1に混合して経口投与した場合には、それぞれ単独で同量を経口投与した場合よりも血糖値上昇抑制率が増大し、この効果は、本研究で試験したうちで最大であった。

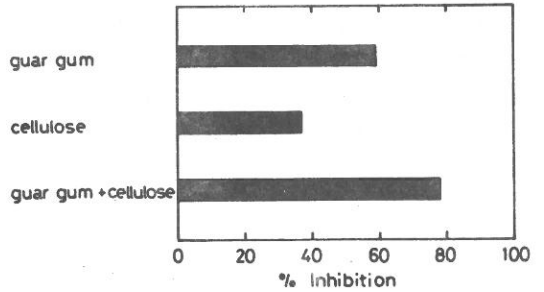


図5 2種類のDFを混合摂取した場合の血糖値上昇抑制率の比較

水溶性DFのグァーガムと不水溶性DFのセルロースとを等量混合した場合の抑制率を、各DFを同量用いた際の結果と比較して示したものである。

(2) ラット空腸反転膜標本におけるブドウ糖輸送量に及ぼすDFの影響

表1に、トレーランGに各種DFを混合した場合のラットの空腸反転膜標本におけるブドウ糖輸送量を示した。対照としてはブドウ糖溶液を用いた。空腸粘膜による能動輸送のみを観察するために比較的短時間での輸送量を測定した。実験は3回行ない、いずれも同様な結果が得られたので、その一例を示した。DFを混合した場合、いずれの種類においても、対照と比較して、ブドウ糖輸送量は有意に減少した。実験開始5分後のブドウ糖輸送量から判断すると、最も強い抑制効果を示したのはグァーガムで、ブドウ糖負荷試験で得られた結果と同様であった。この実験で用いた外液について、内液と同様にブドウ糖濃度を測定したところ、結果は示していないが、内液における増加に見合うだけのブドウ糖濃度の経時的な減少が見られた。

表 1. ラット空腸反転膜標本における
ブドウ糖輸送量

食物繊維	ブドウ糖輸送量 (mg/dℓ)	
	5 分	10 分
対 照	78	93
セルロース	49	58
グァーガム	24	65
ア ガ ー	67	75

空腸反転膜標本の内液中のブドウ糖濃度を経時的に測定した。

実験方法の詳細は本文中、実験方法の項に記載した。

4. 考 察

ブドウ糖と各種DFを同時に摂取することにより、DFが血糖値上昇に及ぼす効果をもたらすかについて、様々な条件のもとに検討した。DFが、血糖値に及ぼす影響については、特に水溶性DFが、血糖値上昇抑制作用や、血中脂質改善に対して、効果的であることが報告されているが^{2) 3) 4) 5)}作用メカニズムについては、不明な点が多い。

本研究では、水溶性DFと、不水溶性DFの中から4種類のDF（セルロース、グァーガム、アガー、ペクチン）について、それぞれを、単独もしくは混合して同量をブドウ糖溶液に混合して経口投与し、血糖値上昇の抑制効果について検討した。末梢血中ブドウ糖濃度の変化を追跡した *in vitro* の実験では、血糖値上昇抑制効果は、程度に差がありパターンも異っているが、どのDFでも見られた。(図1) また、ラットの空腸反転膜標本を用いた *in vitro* の実験でも、用いたDFすべてについて、腸管内に取り込まれたブドウ糖量は有意に減少した。中でもブドウ糖溶液に溶解した際粘性の高いグァーガムに最も抑制効果が顕著であった。(表1) このことから、粘性と抑制効果とは、相関があると考えられる。Jenkins¹⁶⁾らや、Ebihara¹⁷⁾らは、粘度の高いDFとブドウ糖を同時に投与した時、血糖値上昇がゆるやかになるのは、ブドウ糖の拡散が阻害されるためであると報告しているが、溶解もしくは、混合した場合の粘性が明らかに異なる数種のDFについて検討した本研究の結果は、この仮説を裏づけていると思われる。不水溶性DFであるセルロースについては、水溶性DFとは異なり、*in vitro* の実験系よりもむしろ *in vitro* の実験系においてより強い血糖値上昇抑制効果がみられた。この理由としては、*in vitro* の実験系において、*in vitro* の実験系とは異なり、腸管運動が存在していないことから、物理的な力による

ブドウ糖の拡散が起こらないために、セルロースによる吸着作用がより効果的に観察されるためと考えられる。また、生理的条件下において、セルロースは、便容量の増加、食物の消化管通過時間の短縮、食餌性有害物質の毒性阻止といった効果があるものと考えられている。^{11) 12)}すなわち、*in vitro* の実験結果を解釈するのは、関与している多くの因子が存在しているために複雑であるが、本実験では、*in vitro* で検討した因子、すなわち吸収の阻害が、*in vitro* の結果をもたらす主要な要因であろうと考えられる。

アガー（ゾル）、ペクチンの場合は、水溶性DFで粘性のある液となるが、グァーガムよりは粘性が低いいため、腸管運動により、ある程度の攪拌が期待でき、その結果抑制効果が小さくなると考えられる。

このようなDFのブドウ糖吸収阻害効果が、DF量によって影響されるか否かについて検討したところ、グァーガム、セルロースについては、有意に抑制率が上昇し(図3)、DF量の増加と抑制効果には高い相関があると考えられる。セルロースは、粘性が少ない懸濁液として用いたにもかかわらず、増量により抑制効果の増大が認められた(図3)。これは、セルロースにブドウ糖が非特異的に吸着し、そのことが、ブドウ糖の腸管輸送に阻害的に働くため、セルロースを増量することにより、吸着されるブドウ糖分子も増加し、その結果、血糖値上昇抑制効果も増加するものと考えられる。

一般に、アガー（寒天）は、食物として摂取する際、ゾル状態ではなく、加熱溶解し、ゲル状態で用いており、これらの状態の違いが、アガーの血糖値上昇抑制効果に及ぼす影響を与えるか検討することにした。その結果ゾル状態ではDF量によってあまり抑制効果に差はみられなかったが、ゲル状態では、DF量の増加に伴い、他のDFと同様に抑制効果の増加がみられた(図4)。これは、ゾル状態では溶液に流動性があり、アガーを混合することにより若干粘性は増すものの、アガーを増量しても粘性の著しい増大はみられず、脂管運動による腸内容物攪拌が比較的容易であるため、DFがブドウ糖の腸内拡散を阻害する効果は比較的弱いと考えられる。一方ゲル状態では、流動性がなく、また、特にDFを増量することにより、DF分子の架橋が密になり、腸管運動による腸内容物攪拌を困難にし、ゾル状態よりもブドウ糖の腸内拡散を阻害するものと考えられる。

私たちは、日常の食生活において種々のDFを、様々な食物から同時に摂取している。そこで、単独のDF

による血糖値上昇抑制効果だけでなく、実際の食事に少しでも近い条件で血糖値上昇抑制効果を検討するために、水溶性DFと不水溶性DFを混合して摂取した場合の抑制効果について検討した。その結果、二種のDFを等量混合したものをを用いた場合は、単独の各々のDFを同量用いた場合よりも、抑制効果は、有意に増大した。(図5) これは、異った性質である粘性と吸着性という、各DFの特徴的性質の相乗作用として効果が表われたものと考えられる。すなわちブドウ糖経口投与による血糖値の上昇はDFを同時に投与することに

より緩和することが可能であり、その効果は異種のDFを混合することにより単位量当りの最大の効果が期待できる。

稿を終えるにあたり、グァーガムを提供下さいました、雪印食品株式会社、海外商品部の西本氏に深謝いたします。

さらに、基礎的研究を長年にわたり続けられました、赤木ゼミ諸先輩方に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 臨床栄養 第73巻第6号 昭和63年11月 P 677
- 2) 臨床栄養 第73巻第6号 昭和63年11月 P 679
- 3) 武田秀敏・桐山修八：食物繊維(印南・桐山編)第一出版 P 57 (1982)
- 4) Waiker, A.R.P. and Arviolson, U.B. : Fat Intake, Serum Cholesterol Concentration and Atherosclerosis in the South African Bantu I Low Fat Intake and the Age Trend of Serum Cholesterol Concentration in the South African Bantu. *J ; Clin Invest*, **33**, 1358 ~ 1365 (1954)
- 5) 辻啓介：コレステロール代謝；食物繊維(印南, 桐山編)第一出版(1982) P 131
- 6) 辻啓介, 大島寿美子, 松崎悦子, 中村敦子, 印南敏, 手塚朋通, 鈴木慎太郎；多糖類とコレステロール代謝；栄養学雑誌 26, (1968) P 131
- 7) 辻啓介, 辻悦子, 鈴木慎次郎；多糖類とコレステロール代謝；栄養学雑誌 32 (1974) P 155
- 8) 辻悦子, 辻啓介, 鈴木慎次郎；多糖類とコレステロール代謝；栄養学雑誌 33 (1975) P 273, 35 (1977) P 227
- 9) Cummings, J.H. : Nutritional Implications of Dietary Fiber, *Am. J. Clin. Nutr.* **31**, S 21 ~ 29 (1978)
- 10) Kelsay, J.L. ; A Review of Research on Effect of Fiber Intake on Man, *Am. J. Clin. Nutr.* **31**, 142 ~ 159 (1978)
- 11) Reiser, S. ; Effect of Dietary Fiber on Parameters of Glucose Tolerance in Humans. *Dietary Fiber Chemistry and Nutrition* P.173 ~ 191, Academic Press, New York (1979).
- 12) 奥恒行, 藤田温彦, 細谷憲政；栄食誌 36, (1983) P 301
- 13) 辻啓介, 辻悦子, 鈴木慎次郎；栄食と食糧 31, (1978) P 485
- 14) 奥恒行, 神田晃, 共雅文, 細谷憲政；日本栄養食糧学会誌 37 (1984)
- 15) 奥恒行, 小西史子, 細谷憲政；栄食と食糧 34 (1981) 437
- 16) Jenkins, D.J.A., Wolever, T.M.S., Leed A.R., Gassull M.A., Haisman F., Dilawari J., Goff D.V., Metz G.L. and Alberti. K.G. ; *Br. Med. J.* **1** (1978) P1392
- 17) Ebihara K., Masuhara R. and Kiriyaama S. ; *Nutr. Rep. Int.*, **23** (1981) P1145

平成元年 3 月 9 日 受付

平成元年 3 月 16 日 受理