

## 粉末寒天摂取による血糖上昇抑制および高脂血症予防効果

Blood sugar rise restraint of a powder agar intake  
and hyperlipemia protective efficacy

山内有信 <sup>1)</sup> Arinobu YAMAUCHI	伊丹純子 <sup>2)</sup> Junko ITAMI	政田圭子 <sup>3)</sup> Keiko MASADA
廣本美智子 <sup>1)</sup> Michiko HIROMOTO	佐野祥平 <sup>1)</sup> Shohei SANO	稲井玲子 <sup>4)</sup> Reiko INAI

**要 旨：**食物繊維の働きの中でも、血糖値の急激な上昇抑制効果について、健康な女子大学生を被験者として、砂糖のみ、砂糖と寒天、砂糖とセルロースの3種類の経口糖負荷試験を実施して比較した。また、高脂血症予防効果についても調べるために、無繊維高脂肪食、寒天添加高脂肪食、セルロース添加高脂肪食で飼育したラットにおける血液性化学検査結果を比較した。

血糖値上昇についての実験では、粉末寒天を砂糖 25 g と同時に摂取したときの血糖値の変化は、対象の砂糖 25 g のみの摂取に比べて、糖負荷後 30 分後の血糖上昇が有意な低値を示し、不溶性食物繊維であるセルロースを同時摂取したときの血糖値の変化は、対照の砂糖 25 g のみの摂取と比較して、糖負荷後 30 分の血糖値が若干低い傾向にあったが、統計学的に有意な差は認められなかった。次に、高脂血症予防に対する効果では、無繊維食群に比べて粉末寒天食群の総コレステロール濃度と中性脂肪濃度は有意な低値を、HDL-コレステロール濃度は有意な高値を示した。また、セルロース群においても、寒天群ほどの効果は得られなかったが、無繊維食群に比べて、総コレステロール濃度は低値を示す傾向、中性脂肪濃度は有意な低値、HDL-コレステロール濃度は有意な高値を示した。

以上の結果から、寒天は主に水溶性食物繊維の効果によって、血糖値の急激な上昇抑制（糖尿病予防）と高脂血症予防に効果があり、セルロースは不溶性であるためその効果は低いものの、高脂血症予防に対して食物繊維を摂取しないよりは効果が期待できた。いずれにしても、水溶性食物繊維と不溶性食物繊維における性質は異なるが、健康の維持・増進の観点からは非常に有効な成分であることが確認できた。

Key words : 食物繊維, 血糖上昇抑制, 血中脂質代謝改善

### 序 論

日本人の食事内容の形態は、伝統的な低脂肪・高繊維食から欧米の高脂肪・低繊維食へと変化してきた。実際、国民栄養調査の結果、エネルギー摂取量には大きな変化がないものの、脂肪の摂取エネルギー比は昭和 30 年頃では 10% 未満であったが、その後急激に増加し、平成 3 年頃には 25% 以上となり<sup>1)</sup>、平成 14 年の国民栄養調査

の結果では、25.4% と報告されている<sup>2)</sup>。また、食物繊維の摂取量については、国民栄養調査の結果<sup>3)</sup> や池上の報告<sup>4)</sup> によると、1950 年頃には 1 日約 20 g の食物繊維摂取であったが、その後減少し、2002 年には 14.2 g 未満となっている。また、疾病構造についても欧米型に移行し、悪性新生物、心疾患、糖尿病などの生活習慣病が増加している<sup>4)</sup>。このような疾病構造の変化は、食生活

1) 鈴峯女子短期大学食物栄養学科 2) 籠ヶ崎病院 3) 広島日本赤十字病院  
4) 名古屋経済大学人間生活科学部管理栄養学科

の変化と密接に関連しており、食品の価値は、栄養価のみならず疾病予防の面からも検討されなければならない。

食物繊維の化学的性状は多種多様であるが、水溶性食物繊維と不溶性食物繊維に大別されており、その生理的効果は、これら食物繊維が持つ物理化学的特性と密接に関連していることがいわれている<sup>1-6)</sup>。一般に水溶性食物繊維は、ゲル形成能および吸着能を有し、栄養素ならびに消化酵素を吸着して栄養素の消化・吸収を遅延させたり、消化吸収率そのものを低下させる。この作用によって、コレステロールや胆汁酸の排泄も促進させ、高コレステロール血症予防・改善に期待されている。また、糖を吸着することによって吸収を遅らせて急激な血糖上昇を抑制することは、糖尿病や低血糖症に対して好ましい影響をおよぼすことが知られている。一方、不溶性食物繊維は、整腸作用として知られているように、糞便を軟らかくし、重量も増加させて腸の蠕動運動を活発にすることで、便秘解消・予防のみならず、腸管を清浄にし、大腸がんを防止する効果も期待されている。これらの生理的効果に加えて、消化管機能におよぼす食物繊維の働きとして、大腸における腸内細菌の発酵によって、大腸上皮細胞の重要なエネルギー源である短鎖脂肪酸（酢酸、プロピオン酸、酪酸）<sup>10)</sup>を生成することも報告されている<sup>11)</sup>。いずれにしても、食物繊維は消化も吸収もされない成分であることから、その摂取による働きのほとんどは消化管の中で発現し、その物性によって消化管内容物の性質を変えることで効果を発揮する。そこで、これら食物繊維の働きの中でも、血糖値の急激な上昇抑制効果について、健康な女子大学生を被験者として、砂糖のみ、砂糖と粉末寒天、砂糖と粉末セルロースの3種類の経口糖負荷試験を実施して比較した。また、高脂血症予防効果についても調べるため、無繊維高脂肪食、粉末寒天添加高脂肪食、粉末セルロース添加高脂肪食で飼育したラットにおける血液生化学検査結果を比較した。

## 方 法

実験1：血糖値変化におよぼす食物繊維摂取の働き

血糖変化におよぼす食物繊維摂取の効果を調べるために、実験の趣旨を説明して同意を得た健康な女子大学生15名を被験者として、経口糖負荷試験を行なった。経口糖負荷試験は、1週間に1回のペースで、砂糖25gの摂取（以後“対照”と記す）、砂糖25gと4gの市販粉末寒天の同時摂取（以後“寒天”と記す）、および砂糖25gと4gのセルロースパウダーの同時摂取（以後“セルロース”と記す）について実施した。血糖値の測定は、経口糖負荷試験開始前、摂取30分後、摂取60分後、摂取90分後に、それぞれ簡易自己血糖測定システム（デキスターZ：バイエルメディカル株式会社）を用いて実施した。なお、授業の関係により、実験の実施時刻が午後1時であったことから、被験者は昼食の絶食とした。

データは、糖負荷試験開始前の血糖値を100とし、その値に対する割合（%）で解析した。また、母平均の有意差の検定は、対照に対して対応のあるt検定を用いて解析し、有意水準 $p < 0.05$ で有意を“\*”で表記した。

実験2：ラットにおける高脂血症予防に対する食物繊維摂取の働き

### 1. 実験動物の飼育と群分類

8週齢Wistar系雄性ラット（日本チャールズリバー）を12時間明暗サイクル（8:00点灯、20:00消灯）の実験動物飼育施設内に設置した動物飼育用アイソレーター（温度調節アイソレーターF-228特型：岡崎産業、埼玉）の庫内温度を23°Cに設定し、個別ケージで飼育した。

食物繊維による高脂血症予防効果を調べるために、ラットを無繊維群、寒天群、セルロース群の3群に1群4匹ずつに分類し、表1に示す実験食を2週間摂取させた。

### 2. 採血および血液分析

ラットは、2週間の実験食摂取後に1夜絶食させ、過剰のエーテル麻酔下で腹部切開し、下大静脈から採血後に頸椎脱臼により屠殺した。

血液分析は、市販の血液性化学検査用キットを用いて、血清総コレステロール濃度（コレステロールE-テストワコー：和光純薬）、血清中性脂肪

濃度（トリグリセリドE-テストワコー：和光純薬）、血清HDL-コレステロール（HDLコレステロールEテストワコー：和光純薬）について実施した。

### 3. 有意差の検定

3群間における母平均の有意差の検定は、Excelアドインソフト（Excel統計：働社会情報サービス SRI、東京）による一元配置分散分析および最小有意差法を用いて行なった。

表1. 飼料の組成

	(g/kg)		
	無繊維群	寒天群	セルロース群
カゼイン	200	200	200
$\alpha$ -コーンスターチ	435	415	415
ジュタロース	220	220	220
ラード	50	50	50
コーン油	50	50	50
ビタミン混合 <sup>注1)</sup>	10	10	10
ミネラル混合 <sup>注2)</sup>	35	35	35
粉末寒天	—	20	—
セルロース	—	—	20

注1) ビタミン混合（オリエンタル酵母、東京）

注2) ミネラル混合（NIS-76（オリエンタル酵母、東京）

## 結 果

実験1：血糖値変化におよぼす食物繊維摂取の働き

砂糖25gを基本とした経口糖負荷試験を実施した結果、図1に示すように水溶性食物繊維が豊富である粉末寒天を砂糖25gと同時に摂取したときの血糖値の変化は、対象の砂糖25gのみの摂取に比べて、糖負荷後30分後の血糖上昇が $p < 0.05$ で有意な低値を示し、摂取後60分後および90分後においても低い傾向にあった。

一方、不溶性食物繊維であるセルロースを同時摂取したときの血糖値の変化は、対照と比較して、糖負荷後30分の血糖値が若干低い傾向にあったが、統計学的に有意な差は認められなかった。

実験2：ラットにおける高脂血症予防に対する食物繊維摂取の働き

### 1. 血清総コレステロール濃度

2週間にわたる実験食摂取後に血清総コレステロール濃度を比較した結果、図2に示すように、寒天群（ $78.43 \pm 3.06$  mg/dL、平均 $\pm$ SEM）、セルロース群（ $82.36 \pm 2.91$  mg/dL）、無繊維群

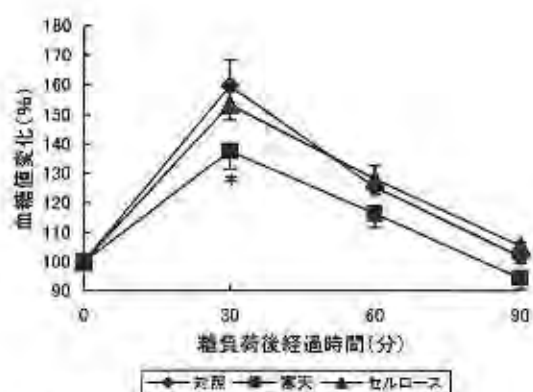


図1. 糖負荷試験(砂糖25g)における血糖値の変化

データは、糖負荷試験前の血糖値を100としたときの変化割合(%)の15名(女子大学生)での平均値。「対照」は砂糖25gのみの摂取、「寒天」は砂糖25gと市販粉末寒天4gの同時摂取、「セルロース」は砂糖25gとセルロース4gの同時摂取である。有意差の検定は、対応のあるt検定で行い、有意水準 $p < 0.05$ で有意を「\*」で表記した。

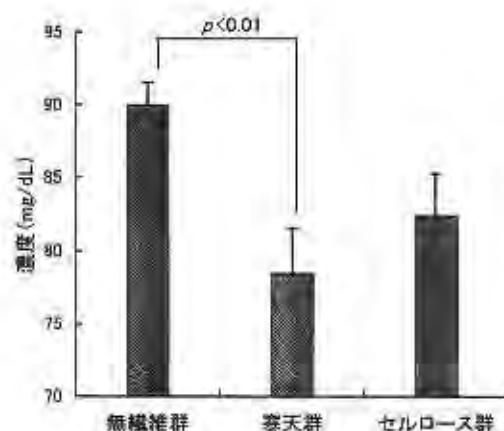


図2. 血清総コレステロール濃度に及ぼす影響

データは、平均 $\pm$ SEM。無繊維群(n=4)は、飼料に食物繊維を添加しなかった群、寒天群(n=4)は、飼料に食物繊維として市販粉末寒天を添加した群、セルロース群(n=4)は、食物繊維としてセルロースを添加した群である。有意差の検定は、一元配置分散分析および最小有意差法による多群間比較で行なった。

( $89.93 \pm 1.61$  mg/dL)の順に血清総コレステロール濃度は低値を示し、とくに寒天群は無繊維群に対して $p < 0.01$ で有意な低値を示した。

### 2. 血清中性脂肪濃度

血清中性脂肪濃度を測定した結果(図3)、血清総コレステロールと同様に、寒天群（ $137.57 \pm 3.42$  mg/dL、平均 $\pm$ SEM）、セルロース群（ $147.04 \pm 7.99$  mg/dL）、無繊維群（ $219.23 \pm 13.84$  mg/dL）の順に低値を示した。とくに寒天群とセル

ローズ群は、ともに無繊維群に対して  $p < 0.001$  で有意な低値を示した。

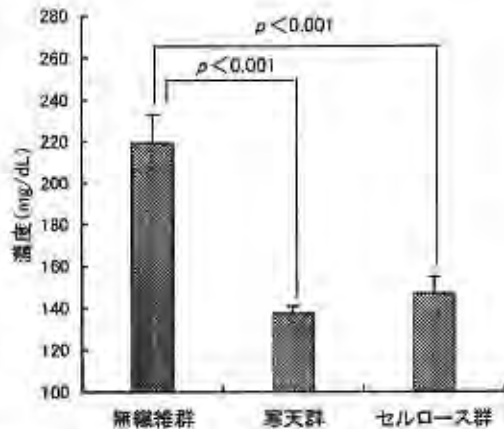


図3. 血清中性脂肪濃度に及ぼす影響

データは、平均±SEM。  
無繊維群 (n=4) は、飼料に食物繊維を添加しなかった群、寒天群 (n=4) は、飼料に食物繊維として市販粉末寒天を添加した群、セルローズ群 (n=4) は、食物繊維としてセルローズを添加した群である。有意差の検定は、一元配置分散分析および最小有意差法による多群間比較で行なった。

### 3. 血清HDL-コレステロール濃度

血清HDL-コレステロール濃度は (図4)、寒天群 (45.93±1.26 mg/dL、平均±SEM)、セルローズ群 (44.81±2.42 mg/dL)、無繊維群 (35.65±1.99 mg/dL) の順に高値を示し、とくに寒天群とセルローズ群は、ともに無繊維群に対して  $p < 0.01$  で有意な高値を示した。

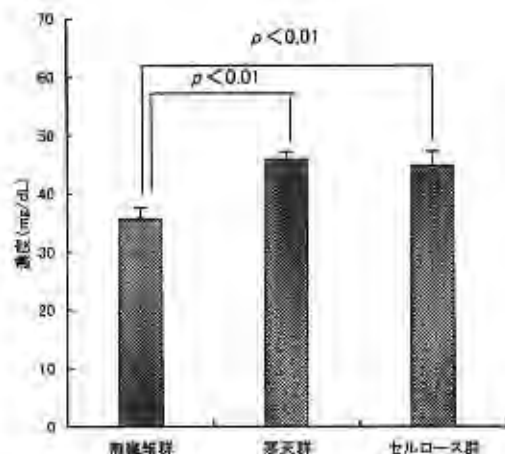


図4. 血清HDL-コレステロール濃度に及ぼす影響

データは、平均±SEM。  
無繊維群 (n=4) は、飼料に食物繊維を添加しなかった群、寒天群 (n=4) は、飼料に食物繊維として市販粉末寒天を添加した群、セルローズ群 (n=4) は、食物繊維としてセルローズを添加した群である。有意差の検定は、一元配置分散分析および最小有意差法による多群間比較で行なった。

## 考 察

かつての日本人の食生活は、低脂肪・高繊維食であった。しかし、高度経済成長後国民の生活水準が高くなったこともあり欧米型の高脂肪・低繊維食になっていた。とくに、図5に示した食物繊維の摂取量の低下については、国民栄養調査を利用して池上らによっても報告されている<sup>3)</sup>。

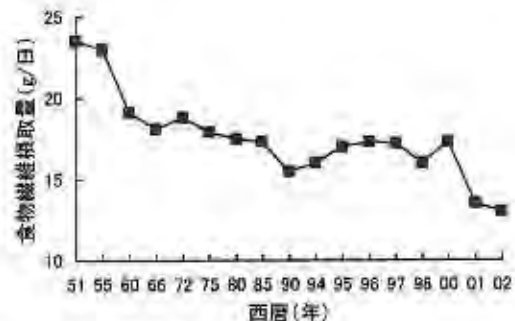


図5. 食物繊維摂取量の年次推移

国民栄養調査結果から池上が計算(2001年、2002年は国民栄養調査より)した報告<sup>3)</sup>を基に作図しなおした。

また、疾病構造についても欧米型に移行し、悪性新生物、心疾患、糖尿病などの生活習慣病が増加している<sup>4)</sup>。とくに糖尿病については、平成9年度に実施された「糖尿病実態調査」において、糖尿病が強く疑われる人は690万人、可能性を否定できない人を含めると1,370万人という推計が報告されている<sup>12)</sup>。また、1970年から1990年の20年間における糖尿病受療率は、入院患者で2倍、外来では2.5倍に増加しており、とくに1987年から1990年のわずか3年間で、外来糖尿病受療患者は30万人も増加していることも報告されている<sup>13)</sup>。この増加と同様に、厚生労働省の患者調査データから中村らによって解析された糖尿病有病率の変化と将来推計によると、全年齢合計の有病率は男女ともに2008年には1993年の2倍になるという報告もある<sup>14)</sup>。このように、急速な糖尿病罹患患者あるいは罹患の疑われる人の増加は、今のわが国における深刻な健康問題の一つである。

序論で記したように、食物繊維の生理的な働きは、食物繊維が持つ物理化学的特性と密接に関連していることがいわれている<sup>5-9)</sup>。すなわち、食物繊維の持つ吸着性、膨潤性、保水性、イオン交換性などの作用が、健康に対して好影響を与えて

いると考えられている。この食物繊維の健康に対する好影響の一つに、耐糖の改善効果が様々な実験から挙げられている<sup>15-18)</sup>。また、食物繊維の長期間摂取と糖尿病発症のリスクに関する疫学的な研究として、インスリン非依存型糖尿病の発症リスクを検討した研究からもインスリン非依存型糖尿病の発症予防に食物繊維が重要である可能性が示されている<sup>19-22)</sup>。今回の実験の結果、25 gの糖負荷と同時に粉末寒天4 gを同時に摂取したときの血糖値の上昇は、砂糖のみの場合に対して有意な上昇抑制効果の働きが認められた。このことから、水溶性食物繊維を多く含む寒天には、血糖の急激な上昇抑制の働きが確認され、インスリンの節約にもつながることが考えられることから、糖尿病の予防にも効果が期待できると考えられた。一方、同じく食物繊維であるが不溶性であるセルロースの同時摂取においては、血糖上昇の抑制効果の働きが認められなかった。このことについて、セルロースは不溶性であり、消化管内での粘性も水溶性食物繊維に比べて低いことが関係していると思われ、この結果は、『グアガムを加水分解して粘性を低下させたことによって血糖の上昇抑制効果が消失したことから血糖上昇のコントロールには高粘性、水溶性の食物繊維の摂取が有効である』という Jenkins らの報告<sup>16)</sup>と一致するものである。

食物繊維の健康に対する好影響には、耐糖能の改善効果のほかに血清コレステロール濃度の低下を代表として高脂血症・動脈硬化・心筋梗塞等の予防効果もよく知られており、この働きは、血糖の上昇抑制効果と同様、水溶性食物繊維においてみられることが報告されている<sup>8-11, 23-25)</sup>。今回のラットにラードを加えた高脂肪食を摂取させた動物実験の結果、セルロースを摂取させた群に対して粉末寒天を摂取させた群の血中総コレステロール濃度、中性脂肪濃度、HDL-コレステロール濃度に統計学的に有意な差は得られなかったが、総コレステロール濃度と中性脂肪濃度で若干の低下傾向がみられた。また、無繊維食群に対しては、総コレステロール濃度と中性脂肪濃度は有意な低値、HDL-コレステロール濃度は有意な高値を示した。なお、セルロー

スを摂取させた群と無繊維食群との比較においても、総コレステロール濃度には有意な差は得られなかったものの低値を示す傾向、中性脂肪濃度は有意な低値、HDL-コレステロール濃度は有意な高値と、粉末寒天に比べるとその効果は低いものの、粉末寒天を摂取させた群に類似した傾向が認められた。この結果から、水溶性食物繊維には高脂血症などの予防効果が期待できるが、不溶性食物繊維にその効果がないとは言いきれず、少なくとも食物繊維をまったく摂取しないよりは健康のために良い働きがあると考えられる。また、今回の実験で糖負荷試験においてセルロース同時摂取では血糖の急激な上昇抑制効果が認められなかったが、動物実験においてセルロース摂取においてもある程度の高脂血症予防効果が認められたことについて、『不溶性食物繊維であっても *in vitro* の研究では低分子糖を一時的に抱え込む性質がある』という報告<sup>26)</sup>から予想すると、もちろんヒトにおける実験と動物実験の違いや、*in vivo* 実験と *in vitro* 実験での違いはあるが、セルロースは一時的に糖や脂肪を抱え込むが粘性が低いため、腸管内を移動するときに線維の隙間から流出する量が、水溶性であり低分子である砂糖は多く、脂肪は糖に比べて少ないためではないかと思われた。

以上の結果から、水溶性食物繊維には血糖の急激な上昇を抑制することから糖尿病予防の働きがあるとともに、脂肪の吸収抑制によって高脂血症や動脈硬化等の予防の働きも期待できることが確認できた。また、不溶性食物繊維であっても水溶性食物繊維に比べてこれらの効果は低いもののまったく働きが期待できないわけではなく、不溶性食物繊維においてとくにいわれている便通促進や腸内環境を整えるなどの働きもあることから、水溶性食物繊維と同様に健康の維持・増進という観点からは有用な食品であることが確認できた。

そして、寒天は長い間日本人の伝統的食品として利用されてきたものであり、主要な食品の中では最も食物繊維含有量が高い食品の一つであることから、非常に有用な働きのある食品であることが確認できた。

【参考文献】

1. 田中平三 編：新・健康管理概論：医歯薬出版（東京），（2000）
2. 健康・栄養情報研究会 編：国民栄養の現状 平成 14 年厚生労働省国民栄養調査結果：第一出版（東京），（2004）
3. 池上幸江：日本人の食物繊維摂取量の変遷：日本食物繊維研究会誌，1，pp.3-12（1997）
4. 財団法人厚生統計協会 編：国民衛生の動向 2004 年版：厚生統計協会（東京），（2004）
5. Topping, D.L. : Soluble fiber polysaccharides : effects on plasma cholesterol and colonic fermentation. : Nutr. Rev., 49, pp.195-203 (1991)
6. Sandstead, H.H., Munoz, J.M., Jacob, R.A., Klevay, L.M., Reck, S.J., Logan, G.M. Jr., Dintzis, F.R., Inglett, G.E., and Shuey, W.C. : Influence of dietary fiber on trace element balance. : Am. J. Clin. Nutr., 31 (10 Suppl), pp.S180-S184 (1978)
7. Dintzis, F.R., Legg, L.M., Deatherage, W.L., Baker F.L., Inglett, G.E., Jacob, R.A., Reck, S.J., Munoz, J.M., Klevay, L.M., Standstead, H.H., and Shuey, W.C. : Human Gastrointestinal Action Upon Wheat, Corn, and Soy Hull Bran -- Preliminary Findings. : Cereal Chem., 56, pp.123-124 (1979)
8. Munoz, J.M., Sandstead, H.H., Jacob, R.A., Logan, G.M. Jr., Reck, S.J., Klevay, L.M., Dintzis, F.R., Inglett, G.E., and Shuey, W.C. : Effects of some cereal brans and textured vegetable protein on plasma lipids. : Am. J. Clin. Nutr., 32, pp.580-592 (1979)
9. 永田純一, 屋宏典, 戸田隆義, 知念功, 大関正直：大豆由来高食物繊維素材の物理的特性とラット脂質代謝へ及ぼす影響：日本栄養・食糧学会誌, 48, pp.133-139 (1995)
10. Cummings, J.H. : Short chain fatty acids in the human colon. : Gut., 22, pp.763-779 (1981)
11. Bourquin, L.D., Titgemeyer, E.C., Garleb, K.A., and Fahey, Jr., G.C. : Short-chain fatty acid production and fiber degradation by human colonic bacteria : effects of substrate and cell wall fractionation procedures. : J. Nutr., 122, pp.1508-1520 (1992)
12. 厚生省保健医療局生活習慣病対策室：平成 9 年糖尿病実態調査：厚生省，（1999）
13. 社会保険出版社 編：成人病のしおり：p.38, 社会保険出版社（東京），（1994）
14. 中村好一, 大木いづみ, 谷原真一：糖尿病患者有病率・患者数の将来推計：日本衛生学雑誌, 52, pp.654-660 (1998)
15. Anderson, J.W., and Ward, K. : High-carbohydrate, high-fiber diets for insulin-treated men with diabetes mellitus. : Am. J. Clin. Nutr., 32, pp.2312-2321 (1979)
16. Jenkins, D.J., Wolever, T.M., Leeds, A.R., Gassull, M.A., Haisman, P., Dilawari, J., Goff, D.V., Metz, G.L., and Alberti, K.G. : Dietary fibres, fibre analogues, and glucose tolerance: importance of viscosity. : Br. Med. J., 1, pp.1392-1394 (1978)
17. Jenkins, D.J., Leeds, A.R., Gassull, M.A., Cochet, B., and Alberti, G.M. : Decrease in postprandial insulin and glucose concentrations by guar and pectin. : Ann. Intern. Med., 86, pp.20-23 (1977)
18. Ellis, P.R., Kamalanathan, T., Dawoud, F.M., Strange, R.N., and Coultate, T.P. : Evaluation of guar biscuits for use in the management of diabetes: tests of physiological effects and palatability in non-diabetic volunteers. : Eur. J. Clin. Nutr., 42, pp.425-435 (1988)
19. Salmeron, J., Ascherio, A., Rimm, E.B., Colditz, G.A., Spiegelman, D., Jenkins, D.J., Stampfer, M.J., Wing, A.L., and Willett, W.C. : Dietary fiber, glycemic load, and risk of NIDDM in men. : Diabetes Care., 20, pp.545-50 (1997)
20. Salmeron, J., Manson, J.E., Stampfer, M.J., Colditz, G.A., Wing, A.L., and Willett, W.C. : Dietary fiber, glycemic load, and risk of non-insulin-dependent diabetes mellitus in women. : J. Am. Med. Assoc., 277, pp.472-477 (1997)
21. Hallfrisch, J., Tobin, J.D., Muller, D.C., and Andres, R. : Fiber intake, age, and other coronary risk factors in men of the Baltimore Longitudinal Study (1959-1975) : J. Gerontol., 43, M64-68 (1988)
22. Bhatnagar, D. : Glucose tolerance in north Indians taking a high fibre diet. : Eur. J. Clin. Nutr., 42, pp.1023-1027 (1988)
23. Story, J.A. : Dietary fiber and lipid metabolism. : Proc. Soc. Exp. Biol. Med., 180, pp.447-452 (1985)
24. Koval, G.M. : Dietary oat fiber sources and blood lipids. : J. Am. Med. Assoc., 268, pp.985-986 (1992)
25. Stone, N.J. : Diet, lipids, and coronary heart disease. : Endocrinol. Metab. Clin. North. Am., 19, pp.321-344 (1990)
26. 加藤陽治：不溶性食物繊維のグルコースの in vitro における拡散速度に与える影響：日本栄養・食糧学会誌, 46, pp.351-355 (1993)