

原 著

デンプンの消化性に与えるグアーガムの影響

長野隆男*¹ 樋渡友美*² 河原和枝*¹

要 約

糊化後のデンプン粒の構造とデンプンの消化性の関係について研究した。まず、デンプンのみで、加熱温度がデンプンの消化性に与える影響を検討した。その結果、デンプンの消化率は、50℃から60℃の加熱処理で大きな上昇が観察され、80℃加熱処理まで高くなった。次に、グアーガムが糊化後のデンプン粒の構造に与える影響について、共焦点レーザー走査顕微鏡を用いて検討した。その結果、グアーガムを添加した場合、デンプン粒からデンプン構成成分は溶出せずにとどまっている状態が観察された。さらに、グアーガム加熱前添加と加熱後添加の条件で、グアーガム濃度とデンプンの消化性との関係を検討した。その結果、グアーガム濃度が高くなるとslowly digestible starch (SDS) の割合は増加し、グアーガムの添加方法の違いでSDSの割合に違いはみられなかった。以上のことから、グアーガムの濃度を高くするとデンプンの消化性はより抑制されるが、糊化後のデンプン粒の構造はデンプンの消化性にほとんど影響を与えないと考えられた。

1. 緒言

我が国でも、他の先進国と同様にメタボリックシンドロームが社会問題となっている。メタボリックシンドロームは内臓脂肪型肥満に、糖代謝異常、脂質代謝異常、高血圧などの症状が加わることで動脈硬化性疾患の発症リスクが高まる状態とされる¹⁾。わが国でも2008年4月から特定健康診査、特定保健指導制度が始まり、その予防と改善に向けて様々な試みがおこなわれている²⁾。このように肥満は、日本人の大きな健康問題の1つである。

肥満を予防する方法のひとつとして、非澱粉系多糖類の利用は食事の面から有効と考えられる³⁾。多糖類には、澱粉系と非澱粉系があり、ヒトの消化酵素で分解されない食品成分を食物繊維と総称する。食物繊維には、水溶性と不溶性がある⁴⁾。セルロース、ヘミセルロース、リグニンなどは不溶性食物繊維であり、腸の蠕動運動の促進、便容量の増加、食物の腸管通過時間の短縮や食物成分の吸着・吸収抑制などの効果がヒトで示されている。水溶性食物繊維には、グアーガム、ペクチン、グルコマンナンなどがあり、糖や脂肪の消化吸収を遅らせ、血中グルコース、インスリン、中性脂肪の上昇を抑制する働

きが知られている^{5,6)}。また、水溶性多糖類は、保水性、粘性、ゲル形成性などの機能を有するため、増粘剤やゲル化剤など食品の粘弾性を調節するテクスチャーモディファイヤーとして広く利用されている⁷⁾。

食品の構造は食品成分の消化吸収に深く関わっていると考えられる⁸⁾。グアーガムは、植物性中性多糖類であり、増粘剤として食品加工で広く利用されている。また、デンプンの老化を抑制する効果も報告されている⁹⁾。我々は、グアーガムがデンプンの物性と構造に与える影響を調べ、デンプンの老化抑制機構を研究した¹⁰⁾。この研究から、グアーガムは、加熱によるデンプンの糊化において澱粉粒の構造破壊を抑制し、澱粉粒からアミロースなどのデンプン構成成分の連続層への溶出を抑制することを明らかにした。この理由から、デンプンの老化は抑制されると考えられる。一方、グアーガムが急激な血糖値の上昇を抑制する効果は、腸管においてデンプンの消化が抑制され、グルコースの吸収が緩やかとなることによる。一般に、グアーガムがデンプンの消化を抑制する働きは、粘度上昇と構造的に消化酵素のデンプン分子に対する作用を抑制するため、と

*1 川崎医療福祉大学 医療技術学部 臨床栄養学科

*2 川崎医療福祉大学大学院 医療技術学研究所 臨床栄養学専攻

(連絡先) 長野隆男 〒701-0193 倉敷市松島288 川崎医療福祉大学
E-Mail: naganot@mw.kawasaki-m.ac.jp

考えられている。しかしながら、グアーガムがデンプンの構造に与える影響を研究した結果から、澱粉粒の構造がデンプンの消化性の抑制と関係している可能性も考えられる。

Englystら¹¹⁾は、栄養学的な観点から、デンプンを rapidly digestible starch (RDS), slowly digestible starch (SDS), resistant starch (RS) の3種類に分類している。RDSは、デンプン加水分解酵素の作用により20分間で急速に消化されるデンプン、SDSは20分から120分までに緩やかに加水分解されるデンプン、RSは120分間では加水分解されないデンプンと定義される。RDSはヒトにおけるグリセミック・インデックス (GI) 値とよく相関し、血糖値を急激に上昇させる指標として、SDSはゆっくりと分解され血糖値を緩やかに上昇させる指標として、デンプン食品の研究で広く利用されている^{12,14)}。

本研究では、糊化後のデンプン粒の構造がデンプンの消化性に影響を与える可能性について検討した。実験は、グアーガムをデンプンの加熱による糊化前と糊化後に添加して異なるデンプン粒の状態を作製し、デンプンの消化性を調べた。デンプンの消化性は、Englystらの方法¹¹⁾を用いて評価した。

2. 実験材料及び方法

2.1 実験材料

デンプンは、ノーマルコーンスターチ（コーンスターチY, 三和澱粉工業）を使用した。グアーガムは和光純薬工業、fluorescein isothiocyanate (FITC) とブタ脛 α -アミラーゼ (26 units/g) はシグマ・アルドリッチジャパン、アミログルコシダーゼ溶液 (32 units) とD-Glucose測定キットはMegazymeから購入した。他の試薬は、試薬グレードを使用した。

2.2 試料の作製方法

グアーガムはホモジナイザー (T10, IKA) を用いて蒸留水に溶解させた。作製したグアーガム溶液の濃度は1% (w/w), 加熱処理前と加熱処理後にグアーガムを添加する際に使用した。加熱処理前添加ではデンプン分散液調製の際に添加し、加熱処理後添加ではデンプンの消化性評価の実験で酵素液を加える際に添加した。試料の作製は、デンプン濃度を5% (w/w) とし、コーンスターチ、蒸留水、グアーガム溶液（加熱処理前添加の場合）をスクリーキャップ付試験管 ($\phi 16 \times 25$ mm) にそれぞれ適量を量り入れた。加熱は、オイルバスを用いて一定温度で30分間おこない、すぐに流水で20分間冷却した。

2.3 共焦点レーザー走査顕微鏡 (CLSM) による観察方法

上記の方法で作製した試料液にFITCを0.002%となるように加えた。一穴 ($\phi 10$) ホールスライドの穴を下面からふさぐようにカバーガラスをかけ、マニキュアで固定した。次に、固定したカバーガラスの上面に観察試料を少量垂らし、スライドの穴を上面からふさぐようにカバーガラスをかけてマニキュアで封入した。デンプン試料の観察は、Lica TCS MP2 共焦点レーザー走査顕微鏡装置 (ライカマイクロシステム) を使用した。

2.4 デンプンの消化性評価方法

デンプンの消化性測定は、Englystらの方法¹¹⁾に基づいておこなった。 α -アミラーゼ溶液は、ブタ脛 α -アミラーゼ0.2gに20mlの0.1Mマレイン酸バッファー、pH6.0を加えてマグネットスターラーで5分間攪拌溶解後、1500gで10分間遠心分離をおこない、その上清を用いた。アミログルコシダーゼ溶液は0.1Mマレイン酸バッファー、pH6.0で2倍希釈したものをを用いた。上記の試料の作製方法で作製した試料2 gに、4 mlの酵素溶液 (0.5 ml α -アミラーゼ溶液, 0.1mlアミログルコシダーゼ溶液, グアーガム溶液 (加熱処理後添加の場合), 0.1 Mマレイン酸バッファー, pH 6.0を適量混合) を加えた。Vortex mixerでよく混和した後、37°Cの高温そうで200回/分で振とうしながら消化をおこなった。20分、50分、80分、120分後に試験管から反応液を0.2 mlずつ取り出し、0.4 mlの80%エタノール溶液を加えて酵素反応を停止させた。蒸留水4 mlを加え1500gで10分間遠心をおこない、その上清を0.1 ml取り出し、D-Glucose測定キットを用いてデンプンが消化されて生成したグルコース量を定量した。消化されたデンプン量は、実験から得られたグルコース量に換算係数 (0.9) を乗じて算出した。SDSは、20分から120分の消化時間で消化されたデンプンの消化率から求めた。デンプンの消化性測定は、少なくとも3回以上おこなった。

2.5 統計処理

測定値は平均値 \pm SEで示し、統計ソフトはPASW Statistics 18を使用した。独立した2群の差の検定にはMann-Whitney検定を用いた。

3. 結果

3.1 デンプンの消化性に与える加熱処理温度の影響

デンプンのみの分散液に対して、温度を変えて一定温度で30分間加熱した後、デンプンの消化率を経

時的に測定した(図1)。デンプンの消化性は、50℃から70℃加熱で大きく変化し、80℃の加熱まで上昇する結果であった。80℃以上の加熱ではデンプンの消化性に違いは観察されなくなった。これらの結果から、以下の実験での加熱処理条件は80℃、30分間とした。

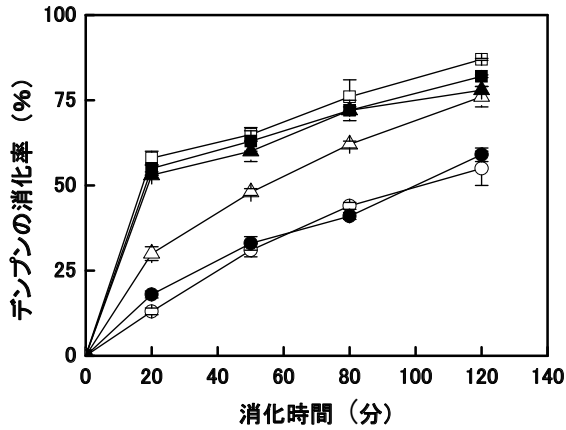


図1 加熱処理温度とデンプンの消化性との関係。
○：未加熱，●：50℃，△：60℃，▲：70℃，□：80℃，■：90℃。デンプン濃度は5% (w/w)，加熱は一定温度で30分間おこない，デンプンの消化性はEnglystら¹¹⁾の方法で測定した。測定は3回以上おこない，測定値は平均値±SEで示した。

3.2 CLSM観察

5%グアーガム添加と無添加の条件で，加熱処理後のデンプン粒の観察をおこなった(図2)。今までの研究からFITCはデンプン粒を染めることが知られており，CLSM画像で白色部分がFITCで染まっている部分である。5%グアーガム添加の場合では，デンプン粒が白く染まった様子が観察された。一方，グアーガム無添加の場合では，デンプン粒は抜け殻のような様子が観察された。

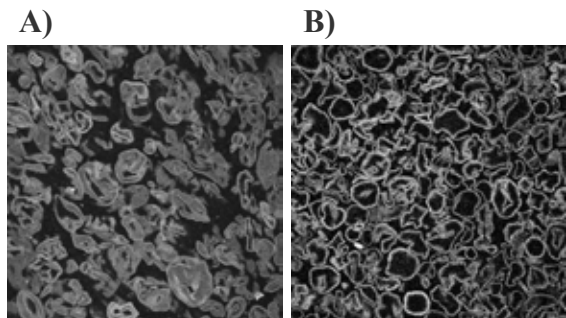


図2 CLSM画像。

A) グアーガム5%添加，B) グアーガム無添加。デンプン濃度は5% (w/w)，加熱は80℃，30分間おこない，観察はFITCで染色しておこなった。画像の一辺は405 μm。

3.3 グアーガムが糊化デンプンの消化性に与える影響

グアーガム加熱前添加と加熱後添加の条件で，グアーガムの添加濃度とデンプンの消化性の関係を検討した。実験は，グアーガム加熱前添加と加熱後添加の場合で，グアーガムの添加濃度を変えてデンプンの消化率を経時的に測定した(図3)。グアーガム加熱前添加と加熱後添加のどちらの場合においても，グアーガムを添加することでデンプンの消化率の上昇は抑制された。さらに，消化時間20分と120分におけるデンプンの消化率から，SDSの割合を求めた(図4)。SDSの割合を求めた結果，グアーガム加熱前添加した場合，加熱後添加した場合のどちらの場合においてもグアーガムの添加濃度が高くなるに従いSDSの割合は増加した。しかし，グアーガムを加熱前添加した場合と加熱後添加した場合で，SDSの割合に違いはみられなかった。

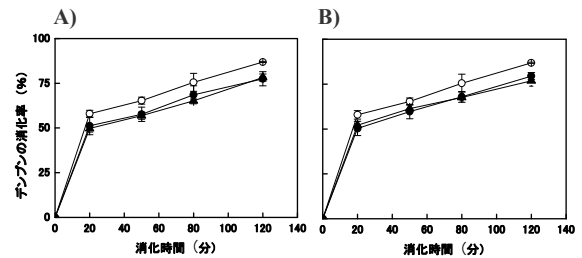


図3 グアーガムの添加時期と量がデンプンの消化性に与える影響。

A) グアーガム加熱前添加；B) グアーガム加熱後添加。
○：グアーガム無添加，●：0.5%グアーガム添加，▲：0.9%グアーガム添加。デンプン濃度は5% (w/w)，グアーガムは添加量を変えて加熱前と加熱後に加え。加熱は，80℃，30分間おこない，デンプンの消化性はEnglystらの方法¹¹⁾で測定した。測定は3回以上おこない，測定値は平均値±SEで示した。

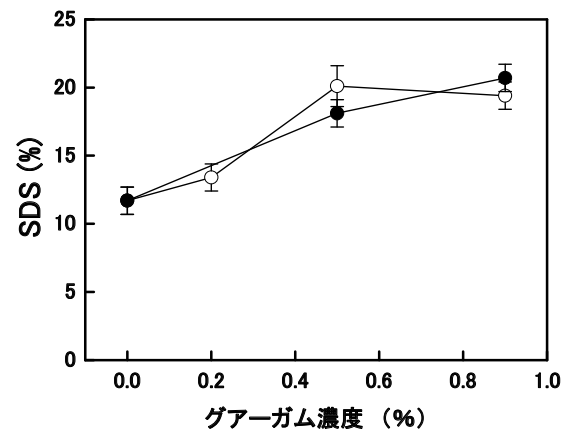


図4 グアーガムの添加時期と量がSDSに与える影響。
○：グアーガム加熱前添加，●：グアーガム加熱後添加。SDSは，Englystらの方法¹¹⁾で20分から120分の間に消化されたデンプンを示す。測定値は平均値±SEで示した。

4. 考察

グアーガムは、デンプンの糊化・老化特性を変化させることが報告されており、糊化後のデンプン粒の構造にも影響を与える¹⁰⁾。本研究では、グアーガムが糊化後のデンプン粒の構造に与える影響が、デンプンの消化性にも影響を与える可能性について検討した。

最初に、デンプンのみの条件で、加熱処理温度がデンプンの消化性に与える影響を調べた。その結果、デンプンの消化率は、50℃から70℃の加熱処理で大きく変化し、80℃の加熱処理まで上昇が観察された。一般に、デンプンが糊化すると、デンプンの消化性は高まること、ノーマルコーンスターチの糊化温度は60℃から70℃付近であることが知られている¹⁵⁾。そのため、60℃以上の加熱でデンプンの糊化がおり、デンプンの消化性は大きく上昇したと考えられる。

グアーガムが加熱処理後のデンプン粒の構造に与える影響を調べることを目的に、グアーガム添加と無添加の条件で、加熱処理後のデンプン粒の観察をCLSMでおこなった。グアーガムを添加した場合、デンプン粒が白く染まった様子が観察されたことから、デンプン粒からアミロースなどのデンプン構成成分は溶出せずにとどまっていると考えられる。一方、グアーガム無添加の場合、デンプン粒は抜け殻のような様子が観察されたことから、デンプン粒からデンプン構成成分が連続層に溶出していると考えられる。このCLSMによる観察結果から、デンプン粒にデンプン構成成分が詰まっている状態において、デンプン加水分解酵素は作用しにくくなり、デンプンの消化性は抑制される可能性があると考えた。

グアーガム加熱前添加と加熱後添加の条件で、グアーガムの添加濃度とデンプンの消化性の関係を検討した。グアーガム加熱前添加と加熱後添加のどちらの場合においても、グアーガムを添加することでデンプンの消化率の上昇は抑制された。SDSはゆっくりと分解されて体内に吸収されるデンプンに対応し、血糖値を緩やかに上昇させる指標とされている¹¹⁻¹⁴⁾。そこで、グアーガム加熱前添加と加熱後添加の場合

でSDSを求めた。その結果、グアーガムを加熱前添加した場合と加熱後添加した場合のどちらの場合においても、グアーガムの添加濃度が高くなるに従いSDSの割合は同様に増加した。しかし、グアーガムを加熱前添加した場合と加熱後添加した場合で、SDSの割合に違いは観察されなかった。従って、グアーガムの添加濃度とともにデンプンの消化性は抑制されるが、糊化後のデンプン粒の構造の違いはデンプンの消化性にほとんど影響を与えないと考えられた。

5. 結論

グアーガムは糊化後のデンプン粒の構造に影響を与えることが報告されていることから、デンプンの消化性にも影響を与える可能性について研究した。グアーガムが糊化後のデンプン粒の構造に与える影響について、CLSMを用いて調べた。CLSM観察の結果、加熱処理前にグアーガムを添加した場合は、デンプン粒からデンプン構成成分は溶出せずにとどまっている様子が、加熱処理前にグアーガムを添加していない場合ではデンプン粒からデンプン構成成分が連続層に溶出している様子が観察された。デンプン粒内にデンプン構成成分がとどまり、詰まっている状態では、デンプン加水分解酵素は作用しにくくなりデンプンの消化性は抑制される可能性を考えた。そこで、グアーガム加熱前添加と加熱後添加の条件で、グアーガムの添加濃度とデンプンの消化性の関係を検討した。その結果、グアーガムの添加濃度を高くするとSDSの割合は増加し、グアーガムを添加する方法の違いでSDSの割合に違いはみられなかった。以上の結果から、グアーガムの添加濃度を高くするとデンプンの消化性はより抑制されるが、糊化後のデンプン粒の構造の違いはデンプンの消化性にほとんど影響を与えないと考えられた。

本研究は、平成19年度医療福祉研究費及び平成21年度科学研究費（基盤研究C）によって実施された。コーンスターチをご提供頂いた三和澱粉工業株式会社に感謝申し上げます。実験の補助をして頂いた臨床栄養学科卒業生の遠藤歩さんと羽原有佳里さんに感謝申し上げます。

文 献

- 1) メタボリックシンドローム診断基準検討委員会：メタボリックシンドロームの定義と診断基準。日本内科学雑誌, **94**, 794–809, 2005.
- 2) 厚生労働省：標準的な健康保健指導プログラム（確定番）。<http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/seikatsu/pdf/02.pdf>, 2007.
- 3) Warrand J : Healthy polysaccharides. The next chapter in food products. *Food Technology Biotechnology*, **44**(3), 355–370, 2006.
- 4) 加藤保子, 中山勉編：食品学 I, 食品の化学・物性と機能性。南江堂, 東京, 90–93, 2007.
- 5) Brennan CS : Dietary fiber, glycaemic response, and diabetes. *Molecular Nutrition Food Research*, **49**, 560–570, 2005.
- 6) Livesey G, Taylor R, Hulshof T, and Howlett J : Glycemic response and health—a systematic review and meta-analysis : relations between dietary glycemic properties and health outcomes. *American Journal of Clinical Nutrition*, **87**(suppl), 258S–2568S, 2008.
- 7) 西成勝好監修：食品ハイドロコロイドの開発と応用。シーエムシー出版, 東京, 2007.
- 8) Lundin L, Golding M and Wooster TJ : Understanding food structure and function in developing food for appetite control. *Nutrition & Dietetics*, **65**(3), S79–S85, 2008.
- 9) Funami T, Kataoka Y, Omoto T, Goto Y, Asai I, and Nishinari K : Food hydrocolloids control the gelatinization and retrogradation behavior of starch. 2a. Functions of guar gums with different molecular weights on the gelatinization behavior of corn starch. *Food Hydrocolloids*, **19**, 15–24, 2005.
- 10) Nagano T, Tamaki E and Funami T : Influence of guar gum on granule morphologies and rheological properties of maize starch. *Carbohydrate Polymers*, **72**(1), 95–101, 2008.
- 11) Englyst HN, Kingman SM and Cumming JH : Classification and measurement of nutritionally important starch fraction. *European Journal of Clinical Nutrition*, **46**(2), S33–S50, 1992.
- 12) Englyst KN and Englyst HN : Carbohydrate bioavailability. *British Journal of Nutrition*, **94**, 1–11, 2005.
- 13) Severijnen C, Abrahamse E, van der Beek EM, Buco A, van de Heijning BJM, van Laere K and Bouritius H : Sterilization in a liquid of a specific starch makes it slowly digestible in vitro and low glycemic in rats. *The Journal of Nutrition*, **137**, 2202–2207, 2007.
- 14) Zhang G, Sofyan M and Hamaker BR : Slowly digestible state of starch : mechanism of slow digestion property of gelatinized maize starch. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **56**(12), 4695–4702, 2008.
- 15) Kokini JL, Lai LS and Chedid LL : Effect of starch structure on starch rheological properties. *Food Technology*, **6**, 124–139, 1992.

(平成22年11月29日受理)

Effect of Guar Gum on Digestion of Starch

Takao NAGANO, Yumi HIWATASHI and Kazue KAWAHARA

(Accepted Nov. 29, 2010)

Key words : guar gum, starch, digestion, slowly digestible starch

Abstract

The link between the microstructures of starch granules and digestion of starch was investigated. First, the effects of temperature on digestion of starch were studied. Suspensions of normal corn starch were heated at different temperatures for 30 min and the digestibility of each starch was determined. The digestibility increased rapidly for starch pastes heated at 50 to 70°C, and up to that heated at 80°C. The microstructures of starch pastes were observed using confocal scanning microscopy (CLSM). CLSM images of starch pastes revealed that guar gum tended to inhibit starch components from leaching out of starch granules during gelatinization. The effects of guar gum concentration on digestion of starch were studied when guar gum was added before or after heating. The slowly digestible starch (SDS) increased with higher concentrations of guar gum whereas it did not change when guar gum was added before or after heating. These results suggest that digestion of starch is inhibited with increasing of guar gum concentration but not by the differences in microstructures of starch granules.

Correspondence to : Takao NAGANO

Department of Clinical Nutrition
Faculty of Health Science and Technology
Kawasaki University of Medical Welfare
Kurashiki, 701-0193, Japan
E-Mail : naganot@mw.kawasaki-m.ac.jp
(Kawasaki Medical Welfare Journal Vol.20, No.2, 2011 391 – 396)