

氏 名 (本籍地)	不破 眞佐子 (東京都)		
学 位 の 種 類	博 士 (学術)		
学 位 記 番 号	甲第 74 号		
学位授与年月日	平成 28 年 3 月 16 日		
学位授与の要件	昭和女子大学学位規則第 5 条第 1 項該当		
論 文 題 目	食物繊維共存下での米飯摂取後の血糖応答に関する研究		
論文審査委員	(主査)	昭和女子大学教授	森高 初恵
	(副査)	昭和女子大学教授	高尾 哲也
		昭和女子大学教授	松本 孝
		日本女子大学教授	大越 ひろ

論 文 要 旨

米飯は古くから日本人の主食として利用され、日本の食生活では欠かせないものであるが、主成分がでん粉であるために食後の血糖値を上昇させる食品の一つとされている。種々の食品の血糖応答に及ぼす食物繊維の影響についてはこれまでに検討されてきたが、研究条件が異なることにより統一した見解には至っていない。ゲルを形成する寒天、ゾル化あるいはアルカリ処理後の加熱でゲル化するグルコマンナン、単独でもカチオン存在下でもゲル化する κ -カラギーナン、ゾルを形成するキサンタンガムおよびグアーガムなどの食物繊維を同一条件において、米飯摂取後の血糖値への影響とその要因を検討した報告は皆無である。本論文では、食物繊維を精白米と共に炊飯する方法（食物繊維添加炊飯米飯）と米飯にゲルまたはゾル状態の食物繊維を混合する方法（食物繊維ゲルまたはゾル混合米飯）について、*in vivo*における血糖応答曲線とグリセミックインデックス (GI) 値および *in vitro* におけるグルコース放出 (GR) 量を測定し、さらに食物繊維の血糖応答に及ぼす影響の要因を明らかにするために、力学特性値および熱特性値等を測定して、5 種類の食物繊維が米飯摂取後の血糖値に及ぼす影響とその要因を究明し、さらに実用面における有用性について検討した。

本論文は 7 章から構成され、序論では先行研究に対する本研究の位置付けを行い、本論文の目的と意義を述べた。

第 1 章では、寒天について検討した。寒天添加炊飯米飯の血糖値の上昇は、米飯単独（基準米飯）と比較して緩慢となり、最大血糖値は低下し、GI は 1.7% 以上で低下した。降温 DSC 曲線における熱特性および米飯粒の力学特性から米の糊化抑制が示唆された。

第 2 章では、ゾルおよびゲルを形成するグルコマンナン (GM) を取りあげた。GM 添加炊飯米飯において、2.0% 以上の GM 添加で摂食後 30 分の血糖値が基準米飯よりも低下し、GI 値は 1.0% 以上の添加で低下し、GR 量は全濃度で低下した。米飯粒の組織観察、

力学特性および熱特性から、GM による米の糊化抑制が示唆された。GM から製造されるしらたきを混合した米飯では、2.0%混合のみで摂食後 30 分の血糖値と GI 値が基準米飯よりも低下し、血糖値への影響の程度は弱かった。

第 3 章では、ゲルを形成する κ -カラギーナン (κ -CG) について検討した。 κ -CG 添加炊飯米飯摂食後の血糖応答曲線および GI 値は、1.0%以上の添加で基準米飯よりも低下し、GR 量は全添加濃度で低下した。米飯粒の組織観察および力学特性より、米の糊化抑制が示唆された。 κ -CG 単独ゲル混合米飯摂食後の GI 値は、基準米飯と比較して 1.0%以上で低下し、GR 量は 1.6%の混合で低下した。 CaCl_2 添加 κ -CG ゲル混合米飯の GI 値および GR 量については、基準米飯との間に差は認められなかった。これらの相違は、昇温 DSC 曲線から κ -CG 単独ゲルの分子間結合が、体温で融解する弱い結合であったためと推察された。

第 4 章では、第 3 章の結果を受けて、ゾルを形成するキサンタンガム (XG) について検討した。XG 添加炊飯米飯摂食後 15~45 分の血糖応答曲線は 1.0%以上の添加で基準米飯よりも低下し、GI 値および GR 量は全濃度で低下した。米飯粒の周囲には膜状あるいは糸状の XG が観察された。XG ゾル混合米飯摂食後 15~60 分の血糖応答曲線、GI 値および GR 量は全濃度で基準米飯よりも低下した。XG ゾルの摂食時期を基準米飯摂食 10 分前と 10 分後とした場合については、基準米飯の GI 値との間に差は認められなかった。

第 5 章では、ゾル化するグアーガム (GG) について検討した。GG 添加炊飯米飯摂食後 15~45 分の血糖値と GI 値は 1.0%以上の添加で基準米飯よりも低下し、GR 量は全濃度で低下した。米飯粒の組織観察、炊飯後の米飯重量と力学特性から、GG 添加による米粒への水の浸入阻害と米でん粉の糊化抑制が示唆された。GG ゾル混合米飯摂食後 15~45 分の血糖応答曲線は全濃度で基準米飯よりも低下し、GR 量は全濃度ゾルで低下した。GI 値については 0.5%と 1.0%ゾル混合で低下したが、2.5%混合では低下は認められなかった。

第 6 章では、本研究で用いた全ての食物繊維の米飯摂食後の血糖応答について、横断的に基準米飯と比較して検討した。米飯摂食後の血糖値には、他の食物繊維添加炊飯米飯と比較して XG 添加炊飯米飯において低濃度で抑制効果が認められた。ゾル状あるいはゲル状食物繊維混合米飯においては、低濃度では XG ゾル混合米飯と GG ゾル混合米飯で血糖応答に抑制効果が認められ、高濃度においては XG ゾル混合米飯のみで効果があった。以上の結果から、総合的には XG が最も実用性が高い結果が得られた。

第 7 章では、各章を総括し結論とした。

以上の結果から、食物繊維は低濃度で血糖応答を抑制し、実用面でも有用であることが判明した。さらに、食物繊維による米飯摂食後の血糖値の抑制効果が高いのは、摂食前に米飯をゾル状態で覆うことであり、その効果の程度はゾル構造の強靱さと深く関係し、食物繊維の構造と物理的性質によるものであることが判明した。

論文審査結果の要旨

日本人の主食である米飯は主成分がでん粉であるために、食後の血糖値を上昇させる食品の一つとして挙げられる。これまでに種々の食品の血糖応答に及ぼす食物繊維の影響を検討した報告はあるが、研究条件が異なるため統一した見解には至っていない。寒天、グルコマンナン (GM)、 κ -カラギーナン (κ -CG)、キサンタンガム (XG) とグアーガム (GG) の 5 種類の食物繊維を同一条件において、米飯摂食後の血糖応答への影響およびその要因を検討した報告は皆無である。本申請論文では、5 種類の食物繊維が米飯摂食後の血糖値に及ぼす影響とその要因について検討し、さらに実用面での有用性について探索した。

米飯摂食後の血糖応答に及ぼす炊飯時共存食物繊維の影響について、基準米飯と比較して摂食後 30 分の血糖値は κ -CG と XG では 1.0% 以上の添加で低下し、他の食物繊維ではさらに高濃度の添加で低下した。GI 値は XG では 0.5% 以上の添加で低下したが、他の食物繊維ではさらに高濃度の添加で低下した。全ての食物繊維添加炊飯米飯の GR 量は、0.5% 以上の食物繊維の添加で基準米飯よりも有意に低下し、米飯摂食後の血糖応答は全種類の食物繊維で抑制された。

客観測定における硬さは、基準米飯と比較して κ -CG、GG および GM 添加炊飯米飯では増加し、XG 添加炊飯米飯では増加後低下した。主観評価の硬さは、寒天、 κ -CG および GM では添加により高くなり、XG では基準米飯との間に差は認められなかった。GG での主観による硬さは添加により増加後低下し、差が認められなくなった。電子顕微鏡の観察において、基準米飯粒では中心部に向かった多くの空洞が認められたが、食物繊維の添加によって空洞は少なくなり、さらに濃度が高くなると構造は緻密となった。米飯粒の長軸方向の長さは食物繊維の添加により減少し、米粒への水の浸入の障害が示唆された。また、食物繊維の添加で米飯粒の透明度は低下し、断面においては生米に存在するでん粉粒と基準米飯での立体網目構造が共に観察された。精白米の昇温 DSC 曲線における高温側の吸熱ピークと降温 DSC 曲線における発熱ピークのエンタルピーは、食物繊維の添加により減少した。さらに、GM や XG 添加炊飯による米飯粒の表面には食物繊維とみられる付着物が多く観察され、米飯粒の短軸方向の長さは増加した。以上の結果から、炊飯時に食物繊維を添加した場合の血糖応答抑制の主な原因は、米粒への吸水の障害、でん粉の水和膨潤の抑制および米飯粒表面への食物繊維ゾルの付着によるものと推察された。

ゲル状あるいはゾル状の食物繊維と米飯を混合した場合、血糖値および GI 値は、基準米飯と比較して GM を原料とするしらたき混合米飯では 2% の混合で低下した。 κ -CG 単独ゲルと CaCl_2 添加 κ -CG ゲルでは共に、血糖応答の抑制は認められなかったが、GI 値は κ -CG 単独ゲルでは混合により低下し、 CaCl_2 添加 κ -CG ゲルでは低下しなかった。 κ -CG 単独ゲルでは昇温 DSC 曲線の吸熱ピークが口腔内温度付近で観察されたが、 CaCl_2 添加 κ -CG ゲルでは観察されなかったことから、両 κ -CG ゲルの血糖応答の相違は口腔内でのゲル融解の違いにあると推察された。XG ゾルおよび GG ゾル混合米飯では、ゾルの混合に

より血糖値および GI 値は低下したが、GG ゾル混合の GI 値は高濃度のゾルで上昇した。GR 量は XG ゾルおよび GG ゾル混合米飯では低濃度のゾル混合で低下し、 κ -CG ゼルでは高濃度のゾル混合で低下した。一方、しらたきと CaCl_2 添加 κ -CG ゼル混合の GR 量は低下しなかった。さらに、GG ゾルおよび XG ゾルの摂食時期を基準米飯よりも 10 分前と 10 分後と変化した場合の血糖応答では、基準米飯単独との間に差は認められなかった。以上の結果、血糖応答の抑制は、ゲル状食物繊維では高濃度で効果があり、ゾル状食物繊維では低濃度で効果があったことから、米飯摂食後の血糖応答抑制のためには、食物繊維が米飯粒を包み込むことが重要であることが判明した。

炊飯時に食物繊維を添加した場合の GI 比については、XG が最も低濃度で基準米飯との間に差を示し、総合評価でも他の食物繊維と比較して遜色がなかったことから、XG が最も実用性が高いと判断された。ゲル状またゾル状食物繊維を米飯に混合した場合、最も低濃度で GI 値比に基準米飯と比較して差が認められたのは GG ゾルと XG ゾルであったが、GG ゾルでは高濃度では差が認められなかった。主観による総合評価は、食物繊維添加炊飯米飯と同様の結果であった。これらのことから、ゲル状またゾル状食物繊維混合米飯の実用性は、低濃度では XG ゾルと GG ゾルであり、高濃度では XG ゾルのみで有用であった。以上の結果から、炊飯時添加とゲル・ゾル混合両方法共に XG が最も実用性が高いとの結論に達した。

本申請論文は、低濃度の食物繊維で米飯摂食後の血糖応答に抑制効果があることを明らかにした。さらに、食物繊維による米飯摂食後の血糖応答抑制効果が高いのは、摂食前に米飯をゾルで覆うことであり、その効果の程度はゾル構造の強靱さと深く関係し、食物繊維の構造と物理的性質によるものであることを究明し、食物繊維が米飯を主食とする食生活において有用であることを示唆した。ただし、本研究には限界があり、食物繊維によるグルコース吸収抑制のメカニズムの解明までには至っておらず、この点を今後の課題としている。

しかし、審査員一同は本申請論文に対し詳細な検討を加えて慎重に審議した結果、研究目的達成のための手法が独創的で総合的であること、多くの研究結果から有用で意義ある結果を得ていることから、審査委員会は全員一致で申請者を本論文による博士（学術）の学位授与に値すると判断した。