

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 21 日現在

機関番号：53101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500995

研究課題名(和文) 湿熱処理高アミロース米を用いた糖尿病患者向けの食後血糖値が上がりにくい災害食の開発

研究課題名(英文) Development of emergency foods which is hard to increase postprandial blood glucose levels for the diabetes persons using the moist-heat-treated high-amylose rice.

研究代表者

菅原 正義 (SUGAWARA, MASAYOSHI)

長岡工業高等専門学校・物質工学科・教授

研究者番号：30259840

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：高アミロース米品種に、澱粉糊化条件より低水分で加熱する湿熱処理を行い、澱粉消化速度を低下させ食後血糖値上昇が穏やかで、難消化性澱粉増加させ便秘改善効果を有する米の開発を目的とした。「越のかおり」「こしのめんじまん」「夢十色」の高アミロース米三品種に湿熱処理をして比較した結果、消化速度低下や難消化性澱粉増加の点から「越のかおり」を使用することにした。湿熱処理によりin vitroでの澱粉分解速度は低下したが、動物実験では消化速度の低下による血糖値上昇の抑制や短期的な脂質代謝の影響は認められなかった。湿熱処理「越のかおり」玄米は、未処理玄米に比べて滞腸時間や糞重量の有意な増加を示した。

研究成果の概要(英文)：In order that a resistant starch was increased and starch digestion rate was decreased, the rice of three high amylose rice cultivars were moist-heat treated. A moist-heat treatment is heat under moisture insufficient for starch gelatinization. We used three rice cultivars, Koshinokaori, Koshi nomenjiman and Yumetoiro. Resistant starch and total dietary fiber contents were increased, and in vitro starch digestion rate using pancreatin was decreased by the moist-heat treatment. The influence of polished white rice on postprandial glucose level and lipid metabolism by the moist-heat treatment were not observed in the rat experiment. Brown rice of cultivar Koshinokaori shortened the gastrointestinal transit time and increased fecal weight, moisture and dietary fiber by the moist-heat treatment.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：生活科学、食生活学

キーワード：湿熱処理 高アミロース米 白米 玄米 難消化性デンプン 消化管通過時間

1. 研究開始当初の背景

平成 17 年中越地震に被災し、地震の被災・復興過程の中で、復興速度と災害被害に及ぼす二次被害の低減の重要性と災害弱者対策の重要性を体験し、現状の対策に不備があることを実感した。災害時、自治体からの災害食や救援食は、健常人を対象としたものであり、食事制限の必要な被災者は、その食事制限の達成が困難となり、症状が悪化してその後の生活復興にも支障をきたした。このような二次被害低減には「食」の役割が大きいことに着目して、平成 17-19 年度(基盤研究 C: 米飯炊飯後の難消化性澱粉生成とその腸内細菌叢に与える影響)、平成 20-22 年度(基盤研究 C: 食事制限者向け災害備蓄用乾燥米の開発とその有効性に関する研究)を実施し、その成果は JST シーズ発掘研究の採択につながり、実際に腎臓病患者向け備蓄アルファ米「はんぶん米」を地元農業生産者団体と開発、東京都など日本各地の自治体に採用されている。

この研究の中で、農水省がスーパーライス計画の中で作出した新形質米を知り、糖尿病患者向けの食後血糖値の上がりにくい災害食、米粉原料としての高アミロース米に着目した。災害時、糖尿病患者や予備軍の被災者は運動が制限され、食事も健常者と同様の食後血糖値の上昇しやすくエネルギー表示のない弁当などの提供により症状の悪化が認められた。そこで狭い避難所生活では運動は難しいが、食後血糖値の急激な上昇しにくくエネルギー量が表示された低 GI の糖尿病患者向け災害食の提供が重要であると考え、本申請研究を計画した。

2. 研究の目的

米デンプン中のアミロース含量が高い、高アミロース米に対して安全な湿熱処理を行い、食後血糖値の上がりやすさを示すグリセミックインデックス (GI) の低下と米の物性改質を目指す。低 GI 食品は、食後血糖値の上昇が穏やかで、インスリン分泌が節約でき糖尿病やメタボリック症候群の予防効果が期待される。消化吸収されなかったデンプンは大腸に達し、そこに常在する腸内細菌叢に影響を与え、腸内環境改善効果が期待されると共に滞腸時間の短縮による便秘の予防・改善効果が期待される。

今回の研究では、米中のデンプンの消化吸収が遅く低 GI であり、難消化性デンプン含量が高く滞腸時間短縮効果のある高アミロース米の精白米・玄米に各種条件で湿熱処理を行い、GI 値と滞腸時間への影響を検討し、湿熱処理による生理的機能性に加え物性改善により保存性が高くおいしい糖尿病患者向け低 GI ・便秘予防災害食の開発を目的とした。

3. 研究の方法

(1) 湿熱処理高アミロース白米の消化性と

脂質代謝への影響

高アミロース米はコシヒカリなどの飯米用品種よりアミロース含量の高い品種で、新潟県で栽培されている 3 品種について成分などの点から検討し、本研究には「越のかおり」を使用して湿熱処理を行ない、ラットを用いた動物実験により脂質代謝への影響を検討した。

① 湿熱処理高アミロース米の調製

高アミロース米として「越のかおり」:「キヌヒカリ」とインディカ種「サージャンキ」の交配品種(以後、「かおり」)を使用し、湿熱処理条件の検討を、500mL 容ガラス製オートクレーブを用いて行った。蒸気圧を 0.1、0.2、0.3MPa、処理時間を変えて処理を行った結果、糊化度上昇と着色の観点から 0.2MPa で 5 分間処理が適当であることがわかり、動物実験にはこの条件を採用した。

動物実験には、各試料米を炊飯後 55°C 通風乾燥機で乾燥・粉碎した米粉試料を用いた。各米粉試料の一般成分、総食物繊維含量 (TDF)、難消化性デンプン含量 (RS) を測定した。また、*in vitro* における α -アミラーゼデンプン消化速度を測定した。

我々は、小腸でのデンプン消化過程における律速段階が膵 α -アミラーゼであると考え、ペプシンとパンクレアチンを用いた *in vitro* 消化速度測定法が、食後血糖値上昇の指標であるグリセミックインデックスと相関があることを確認し報告した。本法は、試料中のデンプン 10mg になるように秤取し、水分 65% に加水し、40 分間煮沸し、37°C に冷却して 1% ペプシン処理した後、Caraway 法で測定した α -アミラーゼ活性 20U に相当するパンクレアチンを加え、37°C で 0、30、60、90 分間に生じた還元糖量を測定し、対照の α -コーンスターチの還元糖増加量を 100 として、各試料の消化速度を算出した。

② 未処理・湿熱処理越のかおり投与による動物実験

実験に用いた飼料は AIN-76 飼料組成を一部改変し、ショ糖を各炊飯米試料粉末で置換した。実験群は、未処理「ヒカリ」で置換した「ヒカリ」群、未処理「かおり」で置換した「かおり」群、湿熱処理「かおり」で置換した「湿熱かおり」群の 3 群を用いた。5 週齢の Wistar 系雄ラット 18 匹を用いた。各試験群は、各飼料を自由摂取により飼育し、毎日体重と飼料摂取量を測定、試験飼育 6 日目から解剖日まで採糞し、ラット毎にまとめて凍結保存した。飼育 21 日目にペントバルビタール腹腔内注射によって麻酔後、開腹して心臓採血により屠殺、速やかに肝臓と盲腸を摘出し、盲腸内容物を水に懸濁し pH を測定した。

血清総コレステロール・トリグリセリド、肝臓コレステロール・トリグリセリド、糞中中性ステロール、胆汁酸、胆汁酸組成、デンプン含量を測定した。また、肝臓でのコレステロールから胆汁酸を生合成する経路の律

速酵素である、肝臓ミクロソームコレステロール 7 α -ヒドロキシラーゼ (CYP39A1) 活性を測定した。

(2) 湿熱処理高アミロース玄米の滞腸時間への影響

便秘の予防・改善効果が大きな高アミロース玄米に湿熱処理を行い、通常ラットと止瀉剤であるロペラミド投与により誘導した便秘モデルラットに投与し、その影響を検討した。

「かおり」玄米、無加水の「かおり」玄米を 0.1MPa で 10 分間加熱した湿熱処理「かおり」玄米を調製した。玄米の水分は、湿熱処理により処理前：16.3%から処理後：19.9%に増加した。各米試料は、炊飯器を用いて炊飯後、60℃で乾燥、粉碎して動物実験に用いた。各米粉末は前章と同様に分析を行った。

動物実験は、5 週齢 Wistar 系雄ラット 24 匹を用いて、AIN-76 飼料中のデンプンをヒカリ白米で置換した「ヒカリ白米」群 6 匹、かおり玄米で置換した「かおり玄米」群 6 匹、「湿熱かおり玄米」で置換した「湿熱かおり玄米」群 6 匹の 4 試験群に群分けした。消化管通過時間測定に際して、給餌後ラットが速やかに全飼料を摂取できるように、1 日分の飼料を暗期初期 8:00~10:00 にのみ制限給餌し、それ以外の時間は飼料を投与せず、飲水は 24 時間自由摂取で飼育した。飼育 11~14 日目にラット毎に採糞を行い、糞便の個数と重量を測定した。また、飼育 14 日目の 8:00 に 0.5%カルミンで着色した飼料 5g を投与、全着色試料量摂取後に無着色飼料を投与して、着色飼料投与から経時的に採糞を行い、カルミンによる着色糞が出始めた時間を消化管通過時間とした。通常飼料の通過時間測定後、便秘誘発のためロペラミド塩酸塩 (6mg/体重 kg/日) を各飼料に添加して 15~20 日目まで飼育、15~19 日目にラット毎に採糞を行い、飼育 19 日目に通常ラットと同様の方法により消化管通過時間を測定した。

4. 研究成果

(1) 湿熱処理高アミロース白米の消化性と脂質代謝への影響

表 1 に「ヒカリ」、「かおり」、「湿熱かおり」の TDF 含量、RS 含量、デンプン消化速度を示す。TDF 含量は、「ヒカリ」と「かおり」間に差がなかったが、湿熱処理によって 2.5 倍に増加した。「かおり」の RS 含量は、「ヒカリ」の約 2 倍であり、湿熱処理では変化しなかった。デンプン消化速度は、「ヒカリ」に比べて「かおり」は、約 80%の消化速度を示した。高アミロース米である「かおり」は、アミロース含量が高く、老化しやすいため低いデンプン消化速度を示し、さらに湿熱処理により消化速度は低下した。デンプン消化速度の遅延は、急激な血糖値上昇を抑制し、糖尿病の予防・改善に有効であると期待され、また、高インスリンで誘導されるメタボリック症

候群の予防に有効であると期待される。

表 1 食物繊維、難消化性デンプン、消化速度

	ヒカリ	かおり	湿熱かおり
総食物繊維	0.6	0.6	1.5
難消化性デンプン	0.2	0.4	0.5
デンプン消化速度 ¹	93	74	64

¹ α -コーンスターチの消化速度を 100 とした各試料中のデンプンの分解速度、他項目：無水物%

表 2 に成長結果、糞重量・水分、糞中デンプン含量を示す。各群の成長に差はなく、糞水分は、「ヒカリ」に比べて処理・未処理の「かおり」が高い傾向があった。湿糞重量は、「ヒカリ」に比べて「かおり」「湿熱かおり」共に増加を示し、「湿熱かおり」は「ヒカリ」に比べ有意な差があった。糞中デンプン排泄量は、「ヒカリ」と「かおり」間に差はなかったが、「湿熱かおり」は、両群間に比べ有意な増加を示した。これらの結果から、高アミロース米である「かおり」は湿熱処理の有無にかかわらず糞水分を増加させ、それに伴って湿糞重量も増加することがわかった。また、小腸での消化吸収と盲腸で腸内細菌に発酵されずに糞中に排泄されたデンプンは、「かおり」の湿熱処理により増加した。「かおり」の湿熱処理によって増加したのは、TDF でありこの消化・発酵抵抗性の増大に関与すると考えられる。

表 2 成長結果、糞重量・水分の変化

	ヒカリ	かおり	湿熱かおり
初体重	144 \pm 2	144 \pm 2	144 \pm 2
終体重	301 \pm 6	307 \pm 9	319 \pm 6
増体重	157 \pm 6	163 \pm 7	175 \pm 8
飼料摂取量	19.0 \pm 0.4	18.3 \pm 0.7	18.3 \pm 0.7
湿糞重量	1.0 \pm 0.1 ^a	1.2 \pm 0.1 ^{ab}	1.3 \pm 0.0 ^b
乾糞重量	825 \pm 68	888 \pm 69	949 \pm 47
糞水分	21.2 \pm 2.0	28.9 \pm 2.6	26.0 \pm 3.3
糞中澱粉量	3.7 \pm 0.6 ^a	3.5 \pm 0.7 ^a	5.7 \pm 0.9 ^b

平均値 \pm 標準偏差 異種符号間に有意差あり ($p < 0.05$)

表 3 に血清コレステロール (Chol, mg/dL)・トリグリセリド (TG, mg/dL)、肝臓コレステロール (μ g/g 組織)・トリグリセリド (mg/g 組織)、肝臓コレステロール 7 α -ヒドロキシラーゼ (CYP39A1) 活性を示す。「ヒカリ」と「かおり」間、未処理「かおり」と湿熱「かおり」間に特に顕著な変化は認められず、脂質代謝には影響を与えないことがわかった。肝臓でコレステロールから胆汁酸へ生合成する代謝経路の律速酵素である、肝臓コレス

テロール 7 α -ヒドロキシラーゼ活性も差が認められず、胆汁酸の生合成に影響がないことがわかった。

表3 血清・肝臓脂質、7 α -ヒドロキシラーゼ活性

	ヒカリ	かおり	湿熱かおり
血清 Chol	99 \pm 6	105 \pm 4	105 \pm 5
血清 TG	84 \pm 10	92 \pm 12	92 \pm 15
肝臓 Chol	1.3 \pm 0.2	1.0 \pm 0.1	1.1 \pm 0.0
肝臓 TG	6.5 \pm 0.6	5.2 \pm 0.7	7.2 \pm 1.1
CYP39A1	2.0 \pm 0.1	1.8 \pm 0.2	2.0 \pm 0.1

平均値 \pm 標準偏差 異種符号間に有意差あり ($p < 0.05$)

表4に1日当たりの糞中への中性ステロール ($\mu\text{mol}/\text{日}$) と胆汁酸 ($\mu\text{mol}/\text{日}$) の排泄量を示す。糞中コレステロールは、「ヒカリ」に比べ未処理・湿熱「かおり」が増加したが、コレステロールから腸内細菌により変換されたコプロスタノールには差がなく、中性ステロール量としては差がなかった。胆汁酸排泄量とその組成にも特に顕著な差が認められなかった。

コレステロールは動物にとって重要な成分であるが、過剰コレステロールを分解する代謝経路はない。過剰コレステロールの主要な体外排泄経路としては、糞中への中性ステロール排泄、コレステロールから生合成さ

表4 糞中中性脂質、酸性脂質含量

	ヒカリ	かおり	湿熱かおり
コレステロール	5.2 \pm 0.7 ^a	6.8 \pm 0.5 ^{ab}	8.4 \pm 0.7 ^b
コプロスタノール	32.5 \pm 3.1	31.4 \pm 2.3	32.4 \pm 2.2
総中性ステロール	37.7 \pm 3.7	38.2 \pm 2.5	40.8 \pm 2.8
総胆汁酸	14.1 \pm 1.2	14.2 \pm 0.6	15.7 \pm 1.2
CA (mol %)	90.9 \pm 0.8	91.0 \pm 0.8	90.0 \pm 0.8
CDCA (mol %)	0.6 \pm 0.1	1.1 \pm 0.2	1.0 \pm 0.2
DCA (mol %)	8.4 \pm 0.8	7.9 \pm 0.6	8.9 \pm 0.9
LCA (mol %)	0.1 \pm 0.1	0.0 \pm 0.0	0.1 \pm 0.1
一次胆汁酸比	91.1 \pm 0.8	91.1 \pm 0.7	90.3 \pm 0.8
遊離胆汁酸比	12.3 \pm 0.9	13.7 \pm 0.5	14.4 \pm 1.0

平均値 \pm 標準偏差 異種符号間に有意差あり ($p < 0.05$)、

CA: コール酸、CDCA: ケノデオキシコール酸、DCA: デオキシコール酸、LCA: リトコール酸

れミセル形成により脂質消化を助ける胆汁酸 (酸性ステロール) の腸肝循環遮断による排泄が考えられる。今回、いずれの排泄促進作用も認められなかった。また、これは肝臓コレステロール 7 α -ヒドロキシラーゼ活性が変化しなかった結果とも一致する。腸肝循環の遮断により胆汁酸排泄量が増加すると、

胆汁酸プールの減少により、コレステロール 7 α -ヒドロキシラーゼが誘導され、コレステロールから胆汁酸への変換量が増加する。以上の結果から、「ヒカリ」と「かおり」のアミロース含量の違いによる、顕著な脂質代謝への影響は認められず、また「かおり」の湿熱処理による影響も確認できなかった。

(2) 湿熱処理高アミロース玄米の滞腸時間への影響

表5に各試料米の分析値を示す。「ヒカリ」白米に対して、「かおり」玄米は食物繊維、灰分、難消化性デンプン、タンパク質含量が高かった。この「かおり」玄米は、湿熱処理により食物繊維: 4.5%から5.1%、難消化性デンプン: 2.9%から3.3%に増加し、デンプン消化速度は、36.7から32.0に低下した。

表6に動物実験の結果を示す。通常ラットの湿糞重量、乾燥糞重量、1日あたりの糞便

表5 「かおり玄米」・「湿熱かおり玄米」の分析値

	ヒカリ白米	かおり玄米	湿熱かおり玄米
水分	11.1	8.1	7.9
灰分	0.4	1.4	1.5
タンパク質	4.7	6.2	6.1
粗脂肪	0.3	2.4	2.3
総デンプン	88.5	80.1	80.2
総食物繊維	0.2	4.5	5.1
難消化性デンプン	0.5	2.9	3.3
デンプン消化速度 ¹	85.6	36.7	32.0

¹ α -コーンスターチの消化速度を100とした各試料

中のデンプンの分解速度、他項目: 無水物%

数は、対照群と「ヒカリ白米」群との差は小さかったが、「かおり玄米」群、「湿熱かおり玄米」群は対照群と比較して共に有意な増加を示した。消化管通過時間は、対照群>「ヒカリ白米」群>「かおり玄米」群>「湿熱かおり玄米」群の順に短縮し、対照群と湿熱かおり玄米群間に有意差が認められた。また、「かおり玄米」群に比べ「湿熱かおり玄米」群で短いことから、湿熱処理による消化管通過時間の短縮効果が確認された。

ロペラミド投与便秘モデルラットの湿糞重量、乾燥糞重量、1日糞便個数は、通常ラットと同様の傾向であったが、「かおり玄米」群と「湿熱かおり玄米」群間の差が、通常ラットの差より小さかった。消化管通過時間は、通常ラットと同様に対照群>「ヒカリ白米」群>「かおり玄米」群>「湿熱かおり玄米」群の順に短縮し、対照群と「湿熱かおり玄米」群間に有意差が認められた。また、「かおり玄米」群と「湿熱かおり玄米」群間の差は、通常ラットの差より大きく、湿熱処理により通常ラットより消化管通過時間が顕著に短

縮された。

表6 通常・便秘ラットの消化管通過時間における湿熱処理の影響

	対照ヒカリ	白米かおり	玄米湿熱	かおり玄米
ロペラミド非投与 (通常ラット) : 飼育 11~14 日				
消化管通過時間 (時間)	17.8±3.7 ^a	13.3±2.1 ^{ab}	9.5±1.2 ^{ab}	8.2±0.8 ^b
湿糞重量 (mg/日)	512±25 ^a	593±85 ^a	1008±105 ^b	1073±75 ^b
乾糞重量 (mg/日)	373±29 ^a	427±54 ^{ab}	588±56 ^b	627±29 ^{bc}
糞回数 (個/日)	7.4±0.4 ^a	7.5±1.1 ^{ab}	10.0±0.8 ^b	10.3±0.9 ^b
ロペラミド投与期 (便秘誘発ラット) : 飼育 15~19 日				
消化管通過時間 (時間)	29.0±4.0 ^a	18.5±2.8 ^{ab}	16.7±2.9 ^b	11.7±0.9 ^b
湿糞重量 (mg/日)	257±23 ^a	333±49 ^{ab}	445±54 ^b	460±34 ^b
乾糞重量 (mg/日)	217±21 ^a	248±29 ^{ab}	337±45 ^{ab}	323±20 ^b
糞回数 (個/日)	3.8±0.4 ^a	4.4±0.7 ^{ab}	5.1±0.5 ^{ab}	5.0±0.2 ^b

平均値±標準偏差 異種符号間に有意差あり (p<0.05)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計1件)

- ① 菅原正義、高アミロース米の湿熱処理による改質、食品工業、査読なし、57巻1月30日号、2014、51-56

〔学会発表〕 (計3件)

- ① 近藤位旨、広川卓也、田邊学、榎康明、峰尾茂、奥村寿子、菅原正義、ラットにおける湿熱処理高アミロース米長期投与の影響、日本食品科学工学会第59回大会、2012
- ② 広川卓也、牧野理紗、金山広輝、榎康明、峰尾茂、荻野美由紀、菅原正義、湿熱処理高アミロース玄米の通常・便秘モデルラット投与における消化管通過時間への影響、日本食物繊維学会第18回学術集会、2013
- ③ 広川卓也、榎康明、峰尾茂、荻野美由紀、菅原正義、湿熱処理高アミロース玄米による消化管通過時間への影響、日本化学会関東支部新潟地域研究発表会、2013

〔産業財産権〕

○出願状況 (計1件)

名称：便秘改善作用を有する加工 (玄) 米の製造方法及び、その加工品

発明者：榎康明、峰尾茂、菅原正義

権利者：同上

種類：特許

番号：特許出願 2013-238600

出願年月日：2013年11月19日

国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

菅原 正義 (SUGAWARA, Masayoshi)
国立高専機構長岡工業高等専門学校・物質
工学科・教授
研究者番号：30259840