

機関番号： 53101
 研究種目： 基盤研究（C）
 研究期間： 2008～2010
 課題番号： 20500737
 研究課題名（和文） 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
 研究課題名（英文） Development of the dry rice for the prepare against disaster for dietary restriction persons
 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

研究成果の概要（和文）：未処理、糊化老化処理、湿熱処理米試料を調製し、ラットに投与した。両処理により、食物繊維と難消化性澱粉含量が増加し消化速度が低下した。両処理は、脂質代謝には顕著な変化を与えなかったが、糞重量の増加、糞水分の増加、盲腸内容物重量の増加、盲腸内容中酪酸の増加、糞中デンプン排泄が増加した。両処理によって消化速度が遅くなり、盲腸内発酵代謝産物である短鎖脂肪酸として吸収されること、さらにその一部は消化発酵されずに糞中に排泄されることがわかった。

研究成果の概要（英文）： Raw, gelatinization-aging treated, and heat-moisture treated high-amylose rice were prepared and given the rats. By both treatment, dietary fiber and resistant starch contents increased, and *in vitro*. starch digestion rates decelerated. Although not both processing gave a remarkable change to the lipid metabolism, the increases in fecal weight, fecal moisture, cecal content weight, butyric acid in the cecal contents and the starch excretion in feces by both processing. By both processing, it proved that the starch digestive rate decelerated, and absorbed as short chain fatty acid which is a fermentation product in the cecum, and a part of rice starch was excreted in the feces without digestion and fermentation.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2009 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010 年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

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： 特殊栄養食品、食事制限者向け災害食

1. 研究開始当初の背景

申請者の勤務する長岡工業高等専門学校は、2004年10月23日17時56分の新潟県中越地震で被災して校舎や研究教育設備など

に甚大な損害を被り、多くの教職員が避難生活を強いられた。さらに2007年7月16日10時13分の新潟県中越沖地震に被災した。これらの地震の被災・復興過程の中で、復興速

度と被害低減に対する2次被害低減の重要性と災害弱者対策の重要性を実感し、まだまだ現状の対策に不備があることを実感した。

中越地震後、おにぎりや弁当など米を中心とした救援食のデンプン老化による食欲不振や胃腸障害の対策として、2005～2007年度科学研究費補預金によって老化、難消化性デンプン生成、米飯物性の変化とその食品成分による制御に関する研究を行ってきた。しかし、初期老化は速やかに進行し、その結果米飯物性が変化して食味が悪化すること、これを防止することが困難であることが明らかになった。また、実際の被災現場では温かな米飯と温かな具の多い汁を切望する体験から、被災地で容易に調理可能で美味しい長期保存可能な乾燥米飯開発に着目し、その開発研究を行っている。これまでのアルファ米は、加熱なしで水だけで摂食可能にするため米粒を壊し、米飯周囲の「お粘」を除いているため食味が優れない。しかし、現代の被災地には化学発熱剤、カセットコンロ、固形燃料など簡便な加熱手段が利用可能で、保存中の米の劣化に関与するリポキシゲナーゼやカタラーゼの酵素失活を指標とした低水分蒸煮・乾燥することにより、短時間の加熱調理は必要であるが保存性と食味の優れた乾燥米を目指している。

今回は、特に重篤な2次被害を受けやすく、災害弱者である食事制限者向けの長期保存可能で美味しい備蓄用乾燥米の開発とその効果の科学検証に着目した。自治体などの備蓄災害食や救援食は健常人向けのものであり、制限栄養素の含有量的問題や成分表示の不備など食事制限の達成が困難であり、多くの患者が症状悪化という2次被害を受け、その生活復興に支障をきたして社会問題となっている。基本的には自動的な防災向け自己備蓄が一番重要であるが、これら食事制限者は通信販売の冷凍食品や宅配食材業者への依存度が高く、保存性の点で対応しにくく、また備蓄保存に適する食事制限用食品は少ない。また、公助による備蓄食品は健常者向けが多く、長期保存可能な制限者向け備蓄用食品は少ない。新形質米である高アミロース米の特性を生かした、慢性腎炎や高血糖者を対象とした備蓄用乾燥米の開発を行い、また、これらの新形質米が利用されていない原因となっているタンパク質の生体利用性と血糖値への影響を検討する。

2. 研究の目的

災害弱者である食事制限者向けの長期保存可能で美味しい備蓄用乾燥米と調理法を開発し、食事制限効果の科学的検証を行う。新形質米の性質を利用して米デンプンのアミロースが多いため消化速度が遅く、血糖値上昇が穏やかな高血糖者向け低グリセミッ

クインデックス (GI) 乾燥米の開発を行い、タンパク質の利用性と血糖値に及ぼす影響を調べることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 供試米

新潟県内で栽培可能な高アミロース米3品種(夢十色、新潟79号、北陸207号)を実験に用いた。夢十色と北陸207号(以後、北陸)は、(独)農研機構中央農業総合研究センター北陸研究センターから分与され、新潟79号(以後、新潟)は、新潟県農業総合研究所作物研究センターから分与された。各玄米は、縦型試験用精米器を用いて搗精度90%に精米した。各精白米の粒径、千粒重を測定、定法により一般成分を測定した。

(2) 加工処理条件の検討

① 糊化老化処理

糊化老化処理条件を検討するため、吸水温度と時間、蒸煮時間、蒸煮回数、老化時間を変化させて処理を行った結果、20℃で30分間吸水、30分間蒸煮、5℃で一晩老化を2回行うのが最適であると確認され、大量処理条件とした。また、各分析値と栽培特性を総合的に判断し、大量処理には北陸を使用した。

動物試験に用いるため、北陸を水切りネットに入れ20℃で30分間浸漬し、ザル上で水を切ってからアルミ製蒸し器を用いて30分間蒸煮した。蒸煮後5℃で一晩冷却し、再度30分間蒸煮して5℃で一晩冷却した。冷却後55℃で一晩送風乾燥して、北陸糊化老化試料とした。

② 湿熱処理

湿熱処理条件の検討するため、500mL容ガラス製オートクレーブを用いて処理した。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り、大量処理条件とした。また、各分析値と栽培特性を総合的に判断して、大量処理には、北陸を使用した。

動物試験に用いるため、20L容耐圧ステンレス製湿熱処理容器を作成し、北陸をステンレス製網かごに入れ20L湿熱処理容器内に入れた。アスピレータを用いて容器内を-0.04MPaに減圧し、貫流蒸気ボイラーから蒸気を導入し、0.2MPaで5分間加熱し直ちに減圧して、北陸湿熱処理試料とした。

③ 炊飯と粉碎

処理米と処理米は、動物実験飼料に添加するため、家庭用IH炊飯器を用いて炊飯し、55℃通風乾燥機で乾燥後、粉碎した。各米粉の一般成分は定法によって測定、難消化成分は、Proskyの酵素重量法によって総食物繊維含量(TDF)、Englystの方法によって難消化性デンプン含量(RS)を測定した。また、独

自で開発した方法で *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、デンプン消化過程における律速段階が膵 α -アミラーゼによる end-型の加水分解であると考え、ペプシンとパンクレアチンを用いた *in vitro*の消化速度測定法を開発し、食後血糖値上昇の指標である GI 値と相関があることを報告してきた。試料中のデンプン含量が 10mg になるように秤取した試料を水分が 65%になるように加水し、40 分間煮沸によりデンプンの糊化とタンパク質の不活化を行った。37°C に冷却して 1%ペプシン処理した後、Caraway 法による α -アミラーゼ活性 20U に相当するパンクレアチンを加え、振盪しながら 37°C で加温した。0、30、60、90 分後に生じた還元糖量を Somogyi-Nelson 法で測定し、対照として測定した 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。

(3) 動物実験

① 飼育条件

実験に用いた飼料は、AIN-76 飼料組成を一部改変し、予備飼育はショ糖を α -コーンスターチで置換、試験飼料はショ糖を各炊飯米試料粉末で置換した。試験飼料は、対照飼料（炊飯未処理コシヒカリ）、未処理飼料（炊飯未処理北陸）、糊化老化飼料（炊飯糊化老化処理北陸）、湿熱飼料（炊飯湿熱処理北陸）を調製した。

Wister 系雄ラット 24 匹を用いた。ラットは、4 週齢で導入し、個別にステンレス製金網底ゲージに入れ、室温 24°C、湿度 45%、8:00~20:00 を暗期、20:00~8:00 を明期とした制御環境下で予備飼育飼を投与して、7 日間馴化飼育を行った。その後、平均体重が各群共に等しくなるように 1 群 6 匹、4 試験群に群分けを行った。各試験群は予備飼育と同様の条件下で、各試験飼料を用いて飼育し、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。実験飼育 21 日目にネンブ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た。盲腸内容物は速やかに水に懸濁し、ガラス電極を用いて 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、盲腸内有機酸組成を測定した。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 7α -ヒドロキシラーゼ活性を測定した。

② 血中・肝臓コレステロールの測定

心臓から採血した血液は、凝血後遠心分離によって血清を分離し、酵素法により血清総

コレステロール、血清トリグリセリドを測定した。また、肝臓は酵素法により肝臓コレステロールと肝臓トリグリセリドを測定した。

③ 糞中成分の測定

糞中成分は、凍結保存してあった糞を 55°C で 24 時間通風乾燥し粉碎した糞粉末を用いて、デンプン、中性ステロール、胆汁酸を測定した。

デンプン含量は、糞粉末からジメチルスルホキシドを用いてデンプンを抽出し、 α -アミラーゼとアミログルコシダーゼによりグルコースに分解、生成したグルコースを測定し、デンプン含量とした。

コレステロールとコレステロールが大腸で腸内細菌によって変換されたコプロスタノールからなる中性ステロール含量は、糞粉末に内標として 5α -コレスタンを含む 1M 水酸化カリウム-エタノール溶液を加え、100°C で 60 分間加温抽出した。抽出後、水と石油エーテルを加え、石油エーテル層を分離して乾固し、*n*-ヘキサンに溶解しガスクロイマトグラフィ (GC) を用いて測定した。検出されたコレステロールとコプロスタノールのピークは、内標ピークとの面積比から含量を算出した。

コレステロールから肝臓で生合成され胆汁中に分泌される胆汁酸は、糞粉末にエタノールを加え 90°C で 120 分間抽出、乾固してから 1%炭酸水素ナトリウムで溶解した。これを遠心分離した上清を 3α -ヒドロキシステロールデヒドロゲナーゼ (HSD) による酵素法キットを用いて測定した。胆汁酸組成は、糞粉末の熱エタノール抽出液を 3α -HSD 固定化カラムを用いたポストラベル液体クロマトグラフィ (HPLC) 法で測定した。4 種類の胆汁酸：コール酸 (CA)、ケノデオキシコール酸 (CDCA)、デオキシコール酸 (DCA)、リトコール酸 (LCA) を各遊離型、タウリン抱合型、グリシン抱合型に分け、計 12 種類の測定を行った。

④ 盲腸中の短鎖脂肪酸 (SCFA) の測定

小腸で消化吸収されなかったデンプンは、盲腸・大腸で腸内細菌によって分解され、代謝産物として SCFA が生成する。盲腸内容物を HPLC の移動層に懸濁、遠心上清をポストカラム pH 緩衝化 HPLC によって測定した。

⑤ 肝臓 7α -ヒドロキシラーゼ活性の測定

Ogishim らの HPLC 法を用いて測定した。摘出した肝臓から常法により肝臓ミクロソーム画分を分離、NADPH を添加して 20 分間にミクロソーム画分中のコレステロールから 7α -ヒドロキシコレステロールを生成させた。これにコレステロールオキシダーゼを添加して 10 分間反応し、生成した 7α -ヒドロキシ-4-コレステレン-3-オンを HPLC で測定した。BCA 法でミクロソーム画分中のタンパ

ク質含量を測定し、活性はタンパク質 1mg、1 分間当たりの 7 α -ヒドロキシコレステロール生成量で示した (nmol/min/mg protein)。

⑥ 統計解析

動物実験の各測定値は平均値 \pm 標準誤差で示し、一元配置分散分析の後、Holm 法による検定で $p < 0.05$ をもって統計的有意差とした。

4. 研究成果

(1) 供試米

コシヒカリに比べて高アミロース米 3 品種のうち北陸は、ほぼ近似した形態であったが、他の 2 品種は粒形が細長い。各米試料ともに、ジャポニカ種用の試験用縦型精米器では米粒が折れる碎米の発生もなく、精米することが可能であった。表 1 に各試料米の分析値を示す。

表 1 供試米の分析値

	コシカ	北陸	新潟	夢十色
千粒重 ¹	22.2	22.4	18.3	17.0
玄米水分	14.4	13.2	12.8	13.9
長短比 ²	1.7	1.7	2.0	2.1
水分	22.2	12.6	14.2	12.9
灰分	0.4	0.6	0.5	0.5
タンパク質	4.2	3.0	3.0	3.7
アミロース	17	33	27	31

¹ 米 1,000 粒の重量、² 米粒の長径と短径の比、他は%

千粒重は、コシヒカリと北陸は差がなかったが、新潟と夢十色はそれより少なかった。長短比は長径と短径の比であり、コシヒカリと北陸は共に 1.7 であったが、新潟と夢十色は各々 2.0、2.1 であり、長粒で細長く 1 粒あたりの重量が少ないことがわかった。千粒重が小さい小粒な米は、精米時における割れの発生による収量減少や品質低下をおこしやすい。特に、新潟と夢十色は、細長く軽いため精米時に折れやすく、現行の単粒種向けの精米設備を使用するには困難がある。

アミロース含量は、北陸が 33% と高値であり、コシヒカリの約 2 倍であった。このほか栽培中の稲の生育状況、病害虫、精米特性、アミロース含量、パンと菓子を試作した食味の点から北陸が最適であると判断し、動物実験と各食品の利用試験には北陸を使用した。

(2) 各処理米の分析値

表 2 に未処理コシヒカリと北陸、糊化老化処理と湿熱処理した北陸の TDF 含量、RS 含量、デンプン消化速度を示す。

表 2 供試米の分析値

	未処理コシヒカリ	未処理北陸	糊化老化北陸	湿熱北陸
総食物繊維	0.6	0.6	3.3	1.5
難消化性デンプン	0.2	0.4	1.4	0.5
デンプン消化速度 ¹	93	74	44	64

¹ α 化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

TDF 含量は、未処理コシヒカリと未処理北陸間に差がなかったが、糊化老化処理によって北陸は 5 倍以上に増加、湿熱処理によって 2.5 倍に増加した。未処理北陸の RS 含量は、未処理のコシヒカリの約 2 倍であり、糊化老化処理によって 3.5 倍に増加したが湿熱処理では変化しなかった。デンプン消化速度は、未処理コシヒカリに比べて未処理北陸は、約 80% の消化速度を示した。高アミロース米は、デンプン中のアミロース含量が高いため、老化しやすく低いデンプン消化速度を示したと考えられる。糊化老化処理によって北陸の消化速度は著しく低下し、湿熱処理ではやや低下した。これらの結果から、糊化老化処理は TDF、RS 共に増加するが、湿熱処理では TDF のみが増加することがわかった。これは高温処理時にデンプンの周囲の水分量の違いに起因すると考えられる

(3) 動物実験

① 成長、糞重量・水分の変化

試験飼育期間中、各試験群のラットは、すべて恒常な成長を示し、特に異常は認められなかった。コシヒカリに比べ、処理・未処理の北陸が増体重と内臓摘出層重が多い傾向と 1 日当たりの飼料摂取量が少ない傾向があった。糞中水分は、コシヒカリに比べて処理・未処理の北陸が高い傾向があった。1 日当たりの糞重量は、コシヒカリに比べて処理・未処理の北陸が高い。1 日当たりの糞中デンプン排泄量は、未処理のコシヒカリと北陸間に差がなかったが、糊化老化処理と湿熱処理の北陸は、未処理北陸に比べ高かった。これらの結果から、コシヒカリに比べ北陸の糞水分と糞重量が増加したのは、北陸のデンプンの一部が消化吸収されずに盲腸に達し、盲腸内細菌により資化されたことが考えられる。盲腸内発酵の結果、SCFA が生成し大腸からの水分吸収に影響を与え、増殖した菌体により糞重量が増加することが知られている。また、未処理北陸に比べ、両処理北陸の糞中デンプン含量が増化したのは、これら両処理北陸の一部が盲腸発酵されずに糞中に排泄されたことが考えられる。TDF は両処理により増加し、RS は糊化老化処理のみ増加したが、糞中デンプンは両処理ともに増加した。糞中デンプンへの影響は TDF に関係があることがわかった。

② 血中・肝臓コレステロールとトリグリセリドの変化

各脂質には、特に顕著な変化は認められず、脂質代謝には大きな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。しかし、今回の飼育期間は短期間であったため脂質代謝への影響は出にくいことが考えられる。

③ 糞中中性ステロール、胆汁酸排泄量の変化

糞中コレステロールは、コシヒカリに比べ処理・未処理の北陸が高かった。しかし、コレステロールから変換されるコプロスタノールには差がなく、総量としては差がなかった。胆汁酸排泄量も差が認められなかった。

④ 盲腸内容物重量、pH、SCFA 濃度の変化

盲腸内容物はコシヒカリに比べ、処理・未処理の北陸が大きい。pH と SCFA 量は、特に顕著な差は認められなかった。また、SCFA 組成は、酪酸がコシヒカリに比べ、処理・未処理の北陸が高かった。これらの結果から、内容物量が増加し酪酸が増加するのは、デンプンが盲腸内細菌によって発酵される時の特徴である。しかし、pH と SCFA 濃度に変化していないことから、発酵速度が比較的遅く生成した SCFA が盲腸壁から吸収されたことが考えられる。穏やかな発酵は、SCFA 濃度上昇による下痢の原因とならず、長時間にわたり少量ずつの SCFA を供給できる。これらの SCFA は、盲腸壁から吸収され、血糖値低下時に肝臓における糖新生の基質として利用される。

(4) まとめ

高アミロース米3品種を栽培し、糊化老化処理と湿熱処理の条件の検討を行った。その結果、3品種の中から、栽培特性や成分分析値から北陸を選択した。未処理、糊化老化処理、湿熱処理試料を調製し、未処理コシヒカリを対照としてラットに投与して脂質代謝を中心に検討した。

北陸は、粒形や千粒重がコシヒカリと差がなく、アミロース含量が多く、TDF は差がないが RS が高く、アミラーゼ消化速度が遅かった。また、北陸に糊化老化処理を行うと、TDF と RS 含量が増加し消化速度が低下したが、湿熱処理では TDF のみが増加し、消化速度は低下した。

動物投与試験では、脂質代謝には顕著な変化がなかった。コシヒカリに比べ北陸では、飼料摂取量減少、体重の増加、糞重量の増加、糞水分の増加、盲腸内容物重量の増加、盲腸酪酸 mol 比増加が認められた。これらの結果は、北陸がコシヒカリに比べ多くのデンプン

が盲腸に達し、比較的穏やかな盲腸内発酵を受けることを示唆している。また、未処理のコシヒカリと北陸間に差がなかったが、糊化老化処理と湿熱処理北陸は、糞中デンプン排泄が増加した。これは、両処理によって増加した TDF 中のデンプンの一部が盲腸発酵されずに排泄されたことが示唆される。

今回の動物実験では、加工処理をした北陸の消化速度が遅く、その一部はグルコースではなく、盲腸内発酵代謝産物である SCFA として吸収されること、さらにその一部は消化発酵されずに糞中に排泄されることがわかった。穏やかな消化吸収は急激な血糖値上昇がおこりにくく、インスリン分泌量が少なくすむため、糖尿病、肥満、メタボリック症候群予防食品素材として期待できる。今回の脂質代謝ではなく、血糖値や食物繊維としての食品機能性の検討が期待される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計9件)

- ① 菅原雅通、佐藤達也、桑原美咲、田邊学、峰尾茂、菅原正義、ラット脂質代謝への部分糊化・老化処理高アミロース米の影響、日本農芸化学会 2011 年度大会、2011 年 3 月 27 日、京都
- ② 佐藤達也、菅原雅通、桑原美咲、田邊学、峰尾茂、菅原正義、ラット脂質代謝に及ぼす湿熱処理高アミロース米の影響、日本農芸化学会 2011 年度大会、2011 年 3 月 27 日、京都
- ③ 田邊学、金子愛、澤田隆行、佐藤達也、菅原雅通、峰尾茂、中村保典、菅原正義、高アミロース米の製粉特性に及ぼす湿熱処理の影響、日本食品科学工学会第 57 回大会、2010 年 9 月 2 日、東京
- ④ 金子愛、田邊学、武石欽司、澤田隆行、峰尾茂、佐藤真治、中村保典、菅原正義、Japanese Rice Cracker made from Thai Indica Rice Grain for the Prevention of the Metabolic Syndrome、19th International Congress of Nutrition、2009 年 10 月 5~8 日、Bangkok (Thailand)
- ⑤ 田邊学、金子愛、峰尾茂、菅原正義、澤田隆行、中村保典、米の胚乳澱粉構造が α -アミラーゼ消化性と食味に及ぼす影響、第 56 回日本食品科学工学会大会、2009 年 9 月 11 日、名城大学 (名古屋)
- ⑥ 佐藤達也、菅原雅通、田邊学、金子愛、峰尾茂、菅原正義、高アミロース米に対する湿熱処理の影響、第 63 回日本栄養・食糧学会大会、2009 年 5 月 21 日、長崎ブリックホール (長崎)
- ⑦ 菅原雅通、佐藤達也、田邊学、金子愛、

峰尾茂、菅原正義、高アミロース米に対する部分糊化・老化処理の影響、第63回日本栄養・食糧学会大会、2009年5月21日、長崎ブリックホール（長崎）

- ⑧ 金子愛、田邊学、武石欽司、峰尾茂、佐藤眞治、小西達也、菅原正義、中村保典、Relationship between physicochemical properties of Indica rice starch and digestibility of the low GI rice cracker、USDA Agricultural Research Service - USA Rice Federation Rice Utilization Workshop、2009年3月10日、New Orleans
- ⑨ 佐藤達也、金子愛、峰尾茂、小西徹也、菅原正義、高アミロース米菓の血糖値上昇抑制効果とパンクレアチン消化性の関係、第62回日本栄養・食糧学会大会、2008年5月4日、女子栄養大学（坂戸）

〔産業財産権〕

○出願状況（計1件）

名称：米穀粉の加工方法、この方法によって得られた米穀粉、米穀粉の粒径分布の制御方法および米穀粉の粘度制御方法、その加工品

発明者：菅原正義、田邊学、金子愛、峰尾茂

権利者：長岡工業高等専門学校、株式会社ブルボン

種類：特許

番号：特願 2010-189778

出願年月日：平成 22 年 8 月 26 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)

長岡工業高等専門学校・物質工学科・教授

研究者番号： 30259840