

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：53101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350174

研究課題名(和文) 高アミロース玄米の湿熱処理による食後血糖値上昇の穏やかな米と災害用非常食の開発

研究課題名(英文) Development of heat-moisture treated brown rice of high amylose rice that is a moderate increase in postprandial blood glucose, and that of disaster emergency foods.

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) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：中アミロース米「コシヒカリ」より高アミロース米「越のかおり」のほうが難消化性デンプン含量が高く、さらに湿熱処理(低水分条件下での飽和水蒸気処理)によって増加することがわかった。また、ラットに投与すると、中アミロース米より高アミロース米のほうが空腹時血糖値が低下すること、湿熱処理によりさらに低下することがわかった。血糖値上昇抑制に起因すると考えられる、脂質代謝や糖代謝への影響が確認され、湿熱処理高アミロース米が血糖上昇の穏やかな米であることが確認できた。

研究成果の概要(英文)：Resistant starch content of middle amylose rice (MAR) was lower than that of high amylose rice (HAR), and also increased by heat-moisture treatment (HMT). A rat fasting blood sugar level of HAR group was lower than that level of MAR group, and that levels of heat-moisture treated high amylose rice (HMTHAR) and heat-moisture treated middle amylose rice (HMTMAR) were lower than MAR and HAR. We investigated the influence of amylose content of rice and the HMT to brown rice grain on fat and carbohydrate metabolisms. The HMTHAR was confirmed to have a moderate increase in postprandial blood glucose.

研究分野：食品科学

キーワード：湿熱処理 高アミロース米 玄米 難消化性デンプン 脂質代謝 血糖値上昇

1. 研究開始当初の背景

中越大地震で長岡が体験した、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知り、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康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災害弱者向けの災害食開発の一環として、今回は、血糖値上昇の穏やかなアルファ米の開発を目指した。

2. 研究の目的

米中のデンプンのアミロース含量が高いため、糊化し難く老化し易い高アミロース米は、難消化性デンプン含量が高く、比較的食後血糖値上昇が穏やかなことが知られている。

今回の研究では、この高アミロース米の玄米に湿熱処理（玄米（水分15%）を、飽和蒸気圧0.2~0.4MPa程度の処理で湿熱処理玄米（水分17%）は、糊化せずに性質が変化する）を行い、玄米の保存性を低下させる汚染雑菌の殺菌と糊粉層中に含まれる脂質変敗関連酵素の失活、難消化性成分増加による血糖値上昇抑制とそれに起因した生理的機能向上を目的とした。

3. 研究の方法

(1) 湿熱処理玄米の調製とその評価

好食味米品種として知られているアミロース含量17%の中アミロース米「コシヒカリ」とアミロース含量30%の高アミロース米「越のかおり」の各玄米に飽和水蒸気圧0.2, 0.3, 0.4MPaで2, 5分間湿熱処理を行ったものと未処理の玄米を研究に使用した。これらの玄米は、生菌数を標準寒天培地による培養法により測定、リポキシゲナーゼとリパーゼ活性、難消化性デンプン含量、*in vitro*.における消化速度を測定した。なお、デンプンの消化速度は、デンプン10mgを含む試料を加水・煮沸し、1%ペプシンを加えて37°Cで1時間振盪後、 α -アミラーゼ20Uに相当するパンクレアチンを加え、37°Cで振盪した。0、30、60、90分後の還元糖量をソモギネルソン法で測定し、 α -コーンスターチの還元糖量の増加を100としてデンプン消化速度を算出した。

(2) 動物実験

高アミロース米玄米に湿熱処理を行うと、食後血糖値上昇の抑制、消化管通過時間の短

縮、脂質代謝への影響が観察されたが、湿熱処理が玄米の胚乳部に影響を与えるのか、糊粉層部に影響を与えるのかが明らかではない。そこで、コシヒカリと越のかおりの玄米とその玄米に湿熱処理を行った玄米を精米歩合90%に精米し、湿熱処理の及ぼす胚乳部への影響を検討した。

0.4MPa、10分間の湿熱処理した玄米と、未処理玄米をそれぞれ精米し、炊飯後に60°Cで乾燥して粉碎したものを飼料米粉として用いた。これらの試料米粉は、AIN-76飼料組成にラードを10%添加した高脂肪飼料に添加し、表1に示す①コシヒカリ(KK)群、②越のかおり(KK)群、③湿熱処理コシヒカリ(HMTKH)群、④湿熱処理越のかおり(HMTKK)群の4実験群とした。

表1 飼料組成 (g/100g)

	KH	KK	HMTKH	HMTKK
カゼイン	25.7	24.8	25.6	24.8
DL-メチオニン	0.3	0.3	0.3	0.3
コーンスターチ	2.5	3.4	2.6	3.4
飼料米粉	48.5	48.5	48.5	48.5
コーンオイル	5.8	5.8	5.8	5.8
ラード	10	10	10	10
セルロース粉末	2.5	2.5	2.5	2.5
ミネラル混合	3.5	3.5	3.5	3.5
ビタミン混合	1.0	1.0	1.0	1.0
重酒石酸コリン	0.2	0.2	0.2	0.2

4週齢Wistar系雄ラット24匹を用い飼料と水道水を自由摂取により5週間飼育した。動物実験の概略を図1に示す。

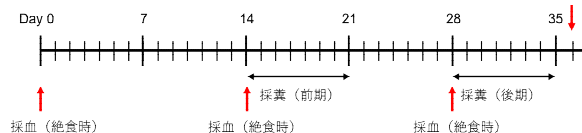


図1 動物実験の日程

前夜から絶食させて14、28日の2回尾静脈より採血し空腹時血糖値を測定、14~21日目（前期採糞）、28~35日目（後期採糞）を行い、36日目に3種混合麻酔剤の腹腔内注射により麻酔後、開腹し心臓採血によって屠殺した。

血液は、血清総コレステロール、トリグリセリドを測定、採糞した糞は乾重量と水分を測定した。

-80°Cで凍結保存してあった肝臓は、マイクロチューブ中でディスポホモジナイザーペッスルを用いてホモジナイズした。

ラット肝臓中のエネルギー代謝関連酵素活性、グルコキナーゼ (GK)、ピルビン酸キナーゼ (PK)、グルコース 6 リン酸デヒドロゲナーゼ (G6PD)、クエン酸シンターゼ (CS)、イソクエン酸デヒドロゲナーゼ (IDH)、アセチル CoA カルボキシラーゼ (ACC)、脂肪酸シンターゼ (FAS)、カルニチンアシルトランスフェラーゼ 2 (CPT2) の 8 種類測定した。この測定は、今回の研究向けに開発した多項目血液生化学自動分析装置 (BiOLiS 24i Premium、東京貿易機械(株)) を応用し初速度測定法で測定した。BCA 法で肝臓ホモジネートに含まれるタンパク質含量を測定し、各酵素活性は、タンパク質 1mg 当たりと肝臓 1g 当たりで示した。なお、今回測定した酵素活性の代謝上の位置付けを図 2 に示す。

関連する代謝経路と今回活性測定を行った酵素

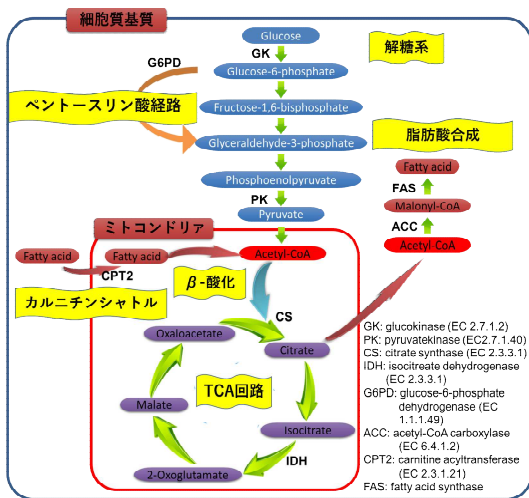


図 2 エネルギー代謝における測定酵素の位置付け

4. 研究成果

(1) 湿熱処理玄米の調製とその評価

越のかおりの玄米に 0.1, 0.2, 0.3MPa で 2, 5 分間湿熱処理した玄米の菌数を図 3 に示す。

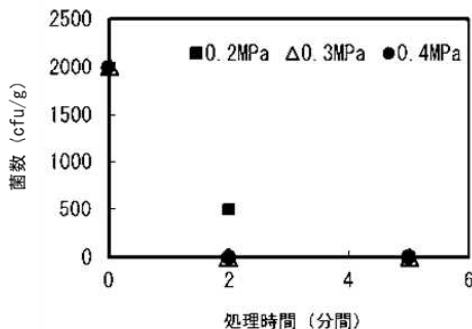


図 3 玄米生菌数に及ぼす湿熱処理の蒸気圧と時間の影響

各処理蒸気圧共に、5 分間処理によって検出限界以下にまで菌数が減少することがわかった。

図 4 に、糊粉層中に豊富に含まれる多価不飽和脂肪酸を多く含んだ脂肪の酸化を促進

するリパーゼ、リポキシゲナーゼ活性を示す。処理圧力と時間に依存して両酵素の活性の低下が認められた。リパーゼは、時間の延長により直線的に活性が低下したが、リポキシゲナーゼは、2 分後に急に活性が低下し、その後変化しなかった。

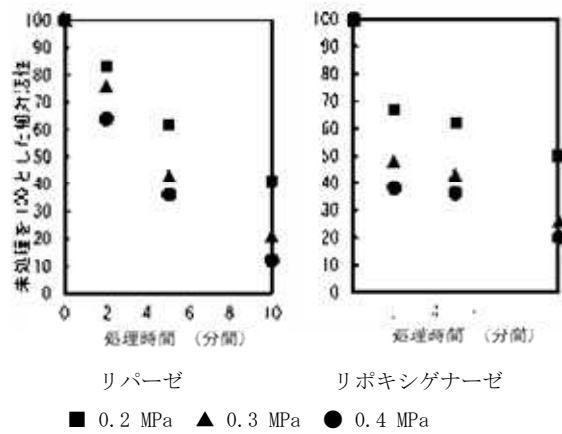


図 4 酵素活性に及ぼす湿熱処理条件の影響

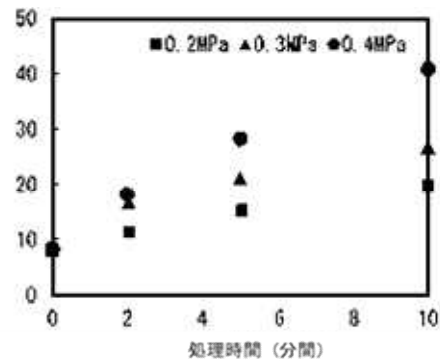
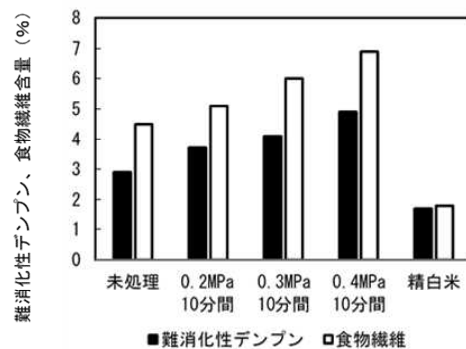


図 5 糊化度に及ぼす湿熱処理条件の影響

図 5 に、糊化度 (デンプンの糊化度と熱損傷度の指標) の変化を示す。処理圧力と時間に依存して、糊化度が上昇することがわかった。

図 6 難消化性デンプン、食物繊維含量分



に及ぼす湿熱処理条件の影響

図 6 に精白米と湿熱処理玄米の難消化性デンプン含量と食物繊維含量を示す。精白米に比べ未処理玄米は難消化性デンプン、食物繊維含量共に高値を示したが、特に食物繊維が顕著であった。また、湿熱処理によって処理圧力に依存して、食物繊維と難消化性デンプ

ン含量が増加することがわかった。

以上の結果から、高アミロース米玄米に湿熱処理を行うと、保存性に関与する菌数・酵素活性が低下、難消化性成分が増加し生理的機能性向上が期待されるが、デンプンの熱損傷が進むことが確認された。

(2) 動物実験

こしのかおり (KK)、コシヒカリ (KH) 玄米に湿熱処理 (0.4 MPa、10 分間) を行った後、精米した白米の分析値を表 2 に示す。

表 2 各米試料の成分分析値 (%)

	KH	HMTKH	KK	HMTKK
水分	8.2	7.5	8.6	7.7
灰分	0.4 (0.5)	0.4 (0.5)	0.5 (0.5)	0.5 (0.6)
タンパク質	4.8 (5.3)	4.9 (5.3)	6.6 (7.1)	6.6 (7.1)
脂質	0.4 (0.4)	0.4 (0.4)	0.4 (0.4)	0.4 (0.4)
難消化性デンプン	0.9 (0.9)	1.2 (1.3)	2.2 (2.4)	2.6 (2.9)

水分、灰分、脂質は、各米試料間に差がなかったが、タンパク質含量は、越のかおりの方がコシヒカリより高かった。また、アミロース含量の高い越のかおりは、コシヒカリより難消化性デンプン含量が高く、湿熱処理によって増加した。

表 3 に飼育期間中の成長結果を示す。初体重、終体重、飼料摂取量、飼料効率、内臓摘出屠体重に顕著な差は認められなかった。

表 3 成長結果

	KH	KK	HMTKH	HMTKK
初体重 (g)	97 ± 3	97 ± 2	97 ± 2	97 ± 2
終体重 (g)	267 ± 6	260 ± 6	264 ± 7	272 ± 5
増体重 (g)	171 ± 4	163 ± 6	167 ± 6	175 ± 4
飼料摂取量 (g/day)	12.5 ± 0.5	11.9 ± 0.4	12.1 ± 0.5	12.7 ± 0.4
飼料効率 (mg/g)	390 ± 4.6	390 ± 5.5	396 ± 5.2	395 ± 2.9
内臓摘出屠体重 (g)	204 ± 4	196 ± 5	202 ± 4	203 ± 4

数値は、平均値 ± 標準誤差

表 4 に飼育終了後の各臓器重量と前半と後半の糞重量を示す。肝臓重量は各群間に差がなかったが、盲腸内容物重量はコシヒカリに比べ越のかおりが多く、湿熱処理の影響は認められなかった。盲腸内容物 pH は、湿熱処理越のかおりが低値を示した。糞重量は前期、後期共にコシヒカリに比べ越のかおりが多く、湿熱処理の影響は認められなかった。

表 4 臓器重量と糞重量

		KH	KK	HMTKH	HMTKK
肝臓	重量 (g)	8.3 ± 0.2	8.0 ± 0.3	8.2 ± 0.5	8.0 ± 0.2
	脂質 (mg/g)	27 ± 2	26 ± 2	25 ± 2	27 ± 2
盲腸	重量 (g)	2.0 ± 0.1	2.4 ± 0.3	2.1 ± 0.1	2.5 ± 0.2
	pH	7.7 ± 0.1	7.6 ± 0.1	7.7 ± 0.1	7.4 ± 0.1
前期糞	湿重量 (g/d)	0.77 ± 0.0	0.84 ± 0.0	0.73 ± 0.0	0.85 ± 0.0
	水分 (%)	17.9 ± 0.6	17.9 ± 0.7	16.6 ± 0.3	16.8 ± 0.4
後期糞	湿重量 (g/d)	0.75 ± 0.03	0.83 ± 0.05	0.73 ± 0.0	0.85 ± 0.0
	水分 (%)	16.5 ± 0.5	16.6 ± 0.5	16.6 ± 0.9	16.5 ± 0.8

数値は、平均値 ± 標準誤差

表 5 に肝臓エネルギー代謝関連酵素活性を示す。肝臓中の酵素活性では、脂肪酸合成に関係する ACC 活性が、コシヒカリと越のかおり間には差がなかったが、湿熱処理によって共に低下し、特に越のかおりでは有意な低下を示した。また、解糖系の PK 活性もコシヒカリと越のかおり間には差がなかったが、湿熱処理によって共に有意な増加を示し、GK 活性も有意ではなかったが、湿熱処理によって活性の増加する傾向があった。

	ACC	CS	FAS	IDH
KH	22.3 ± 8.0 ^{ab}	8.6 ± 0.3	2.4 ± 0.4	130 ± 8
	163 ± 55	56 ± 3	17 ± 2	952 ± 19
KK	23.7 ± 4.6 ^a	7.5 ± 0.6	2.5 ± 0.4	141 ± 11
	172 ± 33	53 ± 4	20 ± 3	1011 ± 60
HMTKH	13.9 ± 2.5 ^{ab}	8.2 ± 1.1	1.8 ± 0.2	137 ± 8
	93 ± 19	58 ± 6	14 ± 2	964 ± 18
HMTKK	6.3 ± 1.0 ^b	9.5 ± 1.3	2.1 ± 0.2	163 ± 8
	41 ± 5	64 ± 9	15 ± 1	1082 ± 43

	PK	G6PD	CPT2	GK
KH	54 ± 15 ^a	91 ± 9	1.4 ± 0.1	0.07 ± 0.02
	400 ± 42	663 ± 31	10 ± 1	0.52 ± 0.14
KK	71 ± 25 ^a	106 ± 8	1.4 ± 0.2	0.10 ± 0.03
	505 ± 67	757 ± 50	10 ± 1	0.73 ± 0.20
HMTKH	137 ± 18 ^b	93 ± 8	1.6 ± 0.1	0.25 ± 0.10
	961 ± 35	647 ± 31	11 ± 1	1.73 ± 0.61
HMTKK	145 ± 26 ^b	116 ± 8	1.8 ± 0.1	0.31 ± 0.08
	997 ± 73	776 ± 66	12 ± 1	2.00 ± 0.51

数値は、平均値 ± 標準誤差。上行はタンパク質 mg 当たりの活性 (mU / mg protein)，下行は肝組織 g 当たりの活性 (mU / g tissue) を示す。右肩字異符号間に有意差あり ($p < 0.05$, Tukey法)。

表 5 肝臓酵素活性

図 7 に尾静脈採血による空腹時血糖値を示す空腹時血糖値は、15 日目には KH より KK が低い傾向を示し、湿熱処理によりさらに低下する傾向を示したが 28 日目では差がなくなった。

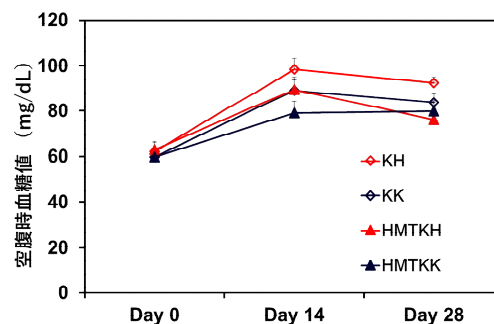


図 7 空腹時血糖値の変化

血中コレステロール値とトリグリセリド値を図 8 に示す。血中総コレステロール値は、コシヒカリと越のかおり間には差がなく湿熱処理でも変化しなかったが、トリグリセリドでは、コシヒカリと越のかおり間に差がなかったが、湿熱処理により両品種とも有意な低下を示した。

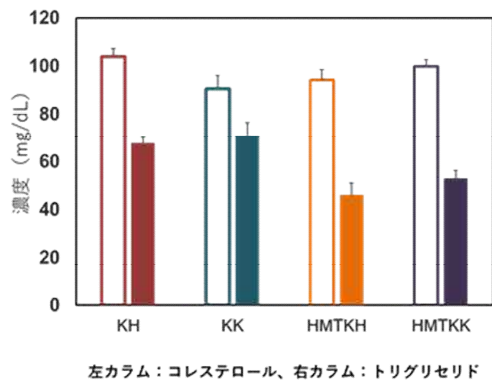


図8 血中脂質の変化

湿熱処理が玄米の胚乳部と糠部にどのような影響を与えるか調べるため、今回は胚乳部への影響について検討した。コシヒカリ (KH) と越のかおり (KK) の未処理玄米と湿熱処理玄米を、精米して得られた白米をラットに投与した。コシヒカリと越のかおりを比較することによりアミロース含量の差による影響、各米品種の未処理と湿熱処理を比較することにより湿熱処理の有無の影響が示される。難消化性デンプン含量はアミロース含量の高いKKがKHより高く、湿熱処理により両品種とも増加した。湿熱処理により難消化性デンプン含量が増加することは、食物繊維的機能性や腸内細菌叢への影響が期待できる。長期飼育では差がなくなったが、14日目の空腹時血糖値がアミロース含量 (KH > KK)、湿熱処理 (KH > HMTKH、KK > HMTKK) の影響を受けた点、解糖系中のGKとPK活性がアミロース含量 (KH < KK)、湿熱処理 (KH < HMTKH、KK < HMTKK) により上昇した点から、アミロース含量と湿熱処理は胚乳部の糖代謝に影響することが考えられる。また、脂肪酸合成のACC活性が、KKとKH間に差がなかったのに、湿熱処理によりKK、KH共に低下した点、血中トリグリセリド値が、KKとKH間に差がなかったのに湿熱処理により低下した点により、湿熱処理が脂質代謝に影響することが考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 2件)

① 菅原 正義、高アミロース米の湿熱処理による機能性向上、月刊フードケミカル、査読無、No. 5、2015、pp. 33-36

② 榎 康明、峰尾 茂、奥村 寿子、菅原 正義、湿熱処理高アミロース米の開発とその生理的機能評価、応用糖質科学、査読有、Vol. 5、2015、pp. 165-167

〔学会発表〕 (計 15件)

① 細川 陽子、春日 景太、榎 康明、齋藤 憲司、城 斗志夫、奥村 寿子、菅原 正義、アミロース含量と湿熱処理が高脂肪飼料摂取ラットの糖質・脂質代謝に及ぼす影響、日本

栄養・食糧学会 71 回大会、2017 年 3 月 18 日、京都女子大学、京都府京都市

② 春日 景太、榎 康明、最上 真鈴、奥村 寿子、菅原 正義、各種玄米に対する湿熱処理条件が及ぼす玄米中成分への影響、日本農芸化学会 2017 年大会、2017 年 3 月 18 日、京都女子大学、京都府京都市

③ 最上 真鈴、広川 卓也、榎 康明、菅原 正義、湿熱処理高アミロース玄米のラット消化管通過時間に及ぼす影響、第 96 回日本栄養・食糧学会関東支部会、2015 年 9 月 5 日、新潟大学、新潟県新潟市

④ 高山 しおり、奥村 寿子、榎 康明、菅原 正義、湿熱処理によるヌカ中抗酸化成分の胚乳への移行、日本食品科学工学会第 62 回大会、2015 年 8 月 28 日、京都大学、京都府京都市

⑤ 榎 康明、広川 卓也、細川 陽子、奥村 寿子、菅原 正義、Heat-moisture-treated high-amylose brown rice improves loperamide-induced constipation in rat.、East Asia conference on standardization of rice function (Kyoto)、2014 年 12 月 11 日、京都市サンプラザ、京都府京都市

〔図書〕 (計 0件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0件)

○取得状況 (計 0件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

菅原 正義 (SUGAWARA, Masayoshi)

独立行政法人国立高等専門学校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

(2) 研究分担者

奥村 寿子 (OKUMURA, Hisako)

独立行政法人国立高等専門学校機構長岡工業高等専門学校・物質工学科・准教授
研究者番号：20600018

(3) 連携研究者

(4) 研究協力者

細川 陽子 (HOSOKAWA, Youko)

独立行政法人国立高等専門学校機構長岡工業高等専門学校・物質工学科・技術専門職員