

令和 2 年 6 月 19 日現在

機関番号：53101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K12916

研究課題名（和文）米に対する湿熱処理の多角的効果を取り入れた米加工食品の開発

研究課題名（英文）Development of processed rice foods incorporating various effects of heat-moisture treatment on rice

研究代表者

奥村 寿子 (Okumura, Hisako)

長岡工業高等専門学校・物質工学科・准教授

研究者番号：20600018

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、水蒸気を使用した安全な食品加工法である「湿熱処理」を複数品種の玄米に適用し、その影響を生理的機能性と物理化学的特性の面から検討した。湿熱処理によって、もともと高アミロース品種の米は難消化性デンプン量が増加し、それにともなう食後血糖値の急激な上昇抑制など、重要な生理機能性の向上が確認されていたが、それ以外にも、中アミロース品種の玄米においても脂質代謝への影響や、吸水性向上、炊飯時の特異臭の低減などのさまざまな効果が確認された。それらの効果は、湿熱処理の圧力条件が強い方が効果的であったが、機能性成分の保持や糊化の抑制などの観点からは、弱い湿熱処理条件の必要性も明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、これまでに得られている湿熱処理を用いた“食後の血糖値上昇を緩やかに抑制できる米加工食品”の手法を他の米品種にも応用し、国民の健康維持にも有益な新たな米加工食品の開発につなげることを目的とした。水蒸気を用いた安全な湿熱処理の最大のメリットは、難消化性デンプン量の増加に伴う生理機能の向上効果であるが、本研究の成果により、玄米浸漬時の吸水性の向上、炊飯時特異臭の抑制、生理機能性など、別の新たな効果も判明した。これらの科学エビデンスは、湿熱処理の米への利用範囲を拡張させることにつながり、近年の米消費量の減少問題や、玄米食の食味改善に貢献できると期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, "heat-moisture treatment", which is a safe food processing method using only steam, was applied to multiple varieties of brown rice, and its effects were examined in terms of physiological function and physicochemical properties. Originally, high-amylose varieties of rice was increased the amount of resistant starch by heat-moisture treatment, and it has confirmed that rapid increase in postprandial blood glucose level were suppressed. In this study, it was also confirmed that brown rice, a medium-amylose cultivar, has various effects such as influence on lipid metabolism, improvement of water absorption and reduction of peculiar odor during rice cooking. These effects were more effective when the pressure condition of the treatment was stronger, but from the viewpoints of retaining functional components and suppressing gelatinization, the need for a weaker treatment condition was also clarified.

研究分野：食品科学

キーワード：玄米 湿熱処理 米加工食品

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、日本国内の米消費量の減少が深刻な問題として取り上げられることが多くなった。米は、古くから日本人の主食として我々の食生活を支えてきたが、国内の米消費量は一人あたり 60 kg/年を下回り、ピーク時の昭和 37 年と比較して、約半世紀の間に半分以下にまで減少している。米消費量の減少は、国の食料自給率の低下問題にも直結するため、現在の米消費量の減少傾向に歯止めをかける方策として、生産調整、新たな付加価値を有する米品種の開発、米の食品用途の拡大、米の加工技術の開発など、多くの対策が講じられている。

これまで我々は、「湿熱処理」技術と「高アミロース米」を用いた、食後血糖値の急激な上昇を抑制できる米利用食品の研究を行ってきた。湿熱処理とは、デンプンを糊化するには不十分な低水分条件下で水蒸気加熱する処理であり、それによってデンプンの結晶構造を改変し、生理機能成分として難消化性のデンプン量が増大すると考えられている。さらに湿熱処理は、水蒸気のみを使用するため、食品の加工法として安全性が高く、処理後も短時間の乾燥によって、水分を処理前の生米と同等の状態に戻すことも容易である。そのため、処理後の粉砕加工までに手間がかからず、小麦粉の代替食材として米粉利用していく上でも便利である。

また、摂取カロリーの高い食文化の浸透により、肥満、高血圧、糖尿病などの生活習慣病の増加についても危惧されている昨今、健康志向の増大にともなって玄米を食する機会も増えている。したがって、米の加工技術における科学的エビデンスを集積し、その利用度を拡張していくことは必須であるが、国民の健康を維持する上でも、特に玄米の生理的機能性や加工特性について調べることによって、玄米の成分をより有効に活用した、健康食品を実用化するための知見を得ることができると考えた。

2. 研究の目的

本研究では、これまでに本校で得られた“高アミロース米”と“湿熱処理”を用いた“食後の血糖値上昇を緩やかに抑制できる米加工食品”の開発技術を他の米品種にも応用し、国民の健康維持にも有益な新たな米加工食品の開発につなげることを目的とする。水蒸気を用いた安全な「湿熱処理」加工の最大のメリットは、難消化性デンプン量の増加にともなう生理機能の向上効果であるが、以前に実施した研究結果より、デンプン消化速度の低下、滞腸時間の短縮、便通改善作用の増大、精米時に廃棄されてしまう有用成分が胚乳部へ移行するなど、別の新たな効果も判明した。そこで、湿熱処理の利用範囲を拡張させるため、湿熱処理が各品種玄米に与える効果について、科学的エビデンスを集積してその適用性を把握するとともに、保存や加工、調理も含めた最適な加工条件を明らかにすることを目指した。

3. 研究の方法

本研究は、次のような構成で計画した。まず初期段階において、米のアミロース含量と湿熱処理による難消化性デンプンの増加、それにとともなう生理機能向上の関係を高アミロースおよび中アミロース品種米ごとに調べ、動物実験の結果も併せて考察した。次に、湿熱処理による玄米の糠層・胚芽中の機能性成分への影響について調べるため、機能性成分を水溶性と脂溶性に分け、*in vitro*での測定を実施した。実験においては、研究に必要な量を確保できるものとして、越のかおり(高アミロース品種)、対照としてのコシヒカリ、こしいぶき(中アミロース品種)、ミルキーQueen(低アミロース品種)、こがねもちとヒメノモチの混合(もち品種)の玄米について検討した。また、個々の機能性成分については、高速液体クロマトグラフィー(HPLC)を用いた定量を行い、湿熱処理による増減を詳しく調べた。湿熱処理米の米粉への粉砕処理、加工、調理への適用性を検討するため、デンプン損傷度、粒度分布、糊化度、吸水率を調べ、最後に、玄米特有の炊飯時の匂いへの影響を成分定量により調べた。

4. 研究成果

(1)米のアミロース含量と湿熱処理の生理的機能性への効果について

アミロース含量の異なる中アミロース、高アミロース品種の米を用意し、それぞれを各条件(圧力・時間)で湿熱処理し、成分分析および動物試験を実施した。湿熱処理の条件は処理蒸気圧力(容器内ゲージ圧 0.1 MPa、0.2 MPa、0.3 MPa)、処理時間(10分間)とした。

まず、アミロース含量の異なる玄米について、成分分析を行い比較した結果、水分、灰分、タンパク質、脂肪に関しては、品種間での大きな相違は認められなかった。水分は玄米でおおよそ 14~15%、灰分は 1~2%、タンパク質は 7%程度、脂質 3%程度であった。それに対して、MEGAZYME 測定キットを用いて測定した難消化性デンプン量は、中アミロース米で約 2%、高アミロース品種の越のかおりで約 3%となり、湿熱処理をすることによって、それぞれの値は 3%と 5%程度にまで上昇した。総食物繊維量も難消化性デンプン量と同様に、高アミロース米の方が高い値を示し、湿熱処理によってさらに増大する結果となった。デンプン消化速度は、両品種ともに湿熱処理によって 1 割程度遅くなった。したがって、食後血糖値の急激な上昇を抑制する効果は湿熱処理によって増強され、特に高アミロース品種の玄米でその効果が大きかったが、中アミロース品種の玄米においても効果が表れることが明らかとなった。

次に、湿熱処理玄米による生理機能性を評価するため、こしいぶきの未処理白米と玄米、湿熱処理玄米(0.1MPa、10分間)および越のかおりの未処理玄米、湿熱処理玄米(0.3MPa、10分間)の計 5 種をそれぞれ炊飯・乾燥・粉砕した米粉飼料を調製し、ラットの成長や脂質代謝への影響

を検討した。ラード 10%添加の高脂肪改変 AIN-76 混合飼料のコーンスターチを上記の各米粉と置換し、5 週齢 Wistar 系ラットに自由摂食で 50 日間投与した。その結果、飼育期間中の体重増加は各試験群共に恒常的に増加し、終体重にはアミロース含量の違いによる差は認められなかったが、両品種ともに、湿熱処理によって終体重が未処理玄米より少なく、特に越のかおりで顕著であった。また、内臓脂肪である後腹壁脂肪量と、解剖時の血清コレステロールは、湿熱処理によって未処理玄米よりも減少することが両品種ともに確認され、特に越のかおりで顕著であった。しかし、ラットの肝臓に含まれる一次代謝物を測定したところ、特定の成分において、湿熱処理米摂取による特異的な変化が見られたものの、相互の関連性までは分からなかった。以上の結果より、湿熱処理による顕著な差は見られなかったものの、湿熱処理玄米の摂取によって、糖や脂質の代謝に有益な影響があることが示唆された。

(2) 湿熱処理による機能性成分量への影響

湿熱処理の効果がより顕著であった高アミロース米品種の越のかおりと、比較対照として中アミロース品種のコシヒカリおよびこしいぶき、低アミロース品種のミルキークイーン、市販のもち品種米（ヒメノモチ、こがねもち混合）について、湿熱処理による機能性成分量への影響を検討した。玄米の機能成分としては、糠層および胚芽中のポリフェノール類やビタミン類、アミノ酸等が想定されるが、主には熱に弱い成分であると考えられる。それらの全体的な変化を把握するため、まず、総ポリフェノール量と抗酸化能値（DPPH 法）の湿熱処理条件による増減を確認した。その結果、今回実施した湿熱処理条件（0.1 MPa ~ 0.3 MPa、10 分間）の範囲では、各測定値は未処理の玄米と比較してわずかな増減を示したものの、大きな変化は見られなかった。

次に、水溶性成分と脂溶性成分に分けてそれぞれへの影響を検討するため、抗酸化能測定法の ORAC 測定について、H-ORAC（水溶性）と L-ORAC（脂溶性）を別々に測定した。その結果、H-ORAC 値には大きな変化は見られなかったが、L-ORAC 値は湿熱処理時の圧力が高い時ほど減少する傾向が見られた（図 1）。L-ORAC 値で特に変化が大きかったのはアミロース含量が少ないミルキークイーンともち米の混米であった。未処理と 0.1 MPa の時の結果を比較するとミルキークイーンは 20%、もち米の混米は 32%減少していた。このことから L-ORAC 値は湿熱処理により減少し、アミロース含量が少ない品種ほど影響を受けやすいと考えられる。

次に、具体的な脂溶性成分の量に対する湿熱処理の影響を明らかにするため、トコフェロール類および γ -オリザノールについて、各成分量を HPLC により定量した。 γ -オリザノール含有量は、湿熱処理時の圧力が高い時ほど大きく減少する傾向が見られ、減少率が最も大きかったのは越のかおりとこしいぶきの 0.3 MPa 処理米で、未処理と比較すると 12 %減少した。他の品種の 0.3 MPa の時の減少率はコシヒカリ 9.4%、ミルキークイーン 3.3%、もち米の混米 6.3%となり、全ての品種で減少が見られた。

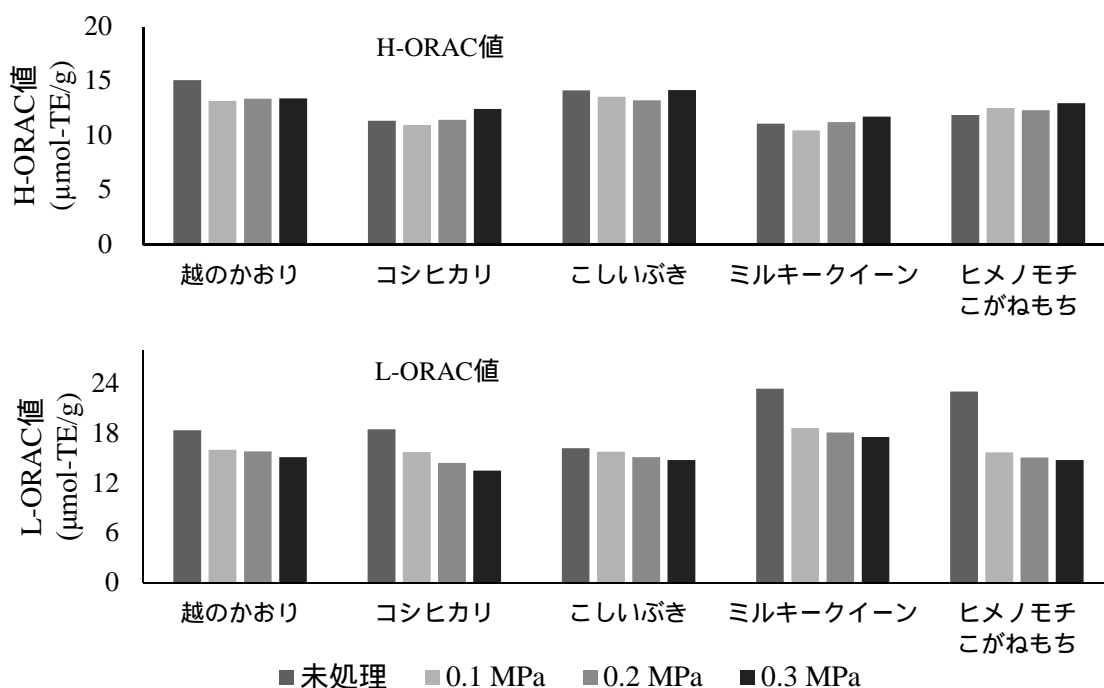


図 1 各玄米の ORAC 値

トコフェロール含有量も γ -オリザノールと同様に湿熱処理により減少したが、特に 0.2 MPa 以上で特に大きく減少する傾向が見られた。 γ -トコフェロールの含有量を未処理と 0.2 MPa の時と比較するとこしいぶきの減少率が最も大きく 85%であった。他の品種では越のかおり 78%、コシヒカリ 84%、ミルキークイーン 49%、もち米の混米 68%となり、全ての品種で大きく減少し

た。、 γ -トコフェロールも同様に 0.2 MPa 以上の圧力で大きく減少する傾向が見られた。

図2に γ -オリザノール含有量とL-ORAC値の関係と相関係数を示す。 γ -オリザノール含有量とL-ORAC値は越のかおり以外で高い相関が見られ、湿熱処理によりL-ORAC値が減少したのは、もともと含有量の多い γ -オリザノールの減少によるものと考えられる。脂溶性ビタミン含有量は、 γ -オリザノール、トコフェロール共に湿熱処理により減少し、圧力が高い時ほど減少量が大きくなるため、湿熱処理による減少を抑えるには、より弱い圧力で処理をする必要があることが分かった。

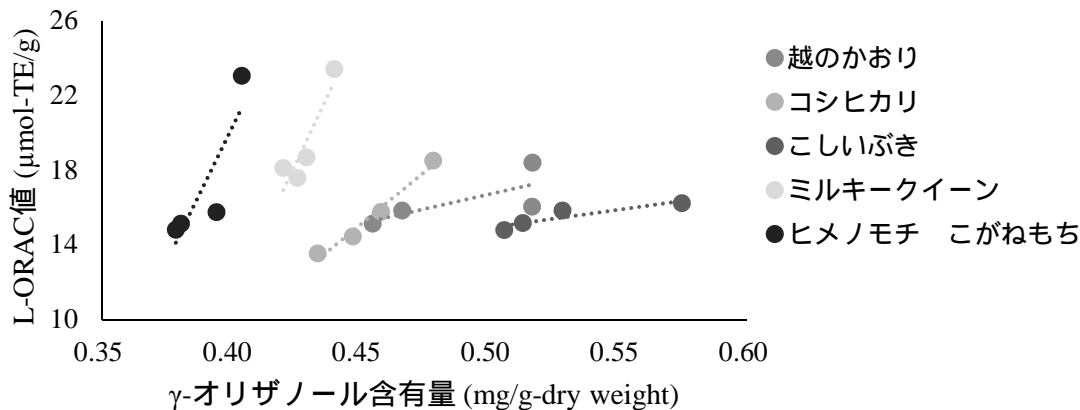


図2 γ -オリザノール含有量とL-ORAC値の関係

(3) 玄米の調理、加工特性に対する湿熱処理の影響について

湿熱処理米の加工、調理への適用性を検討するため、米を粉砕加工した米粉の物理的品質（デンプン損傷度、粒度分布、糊化度）を測定し、併せて玄米の炊飯前の浸漬による吸水性（速度、到達率）も評価した。その結果、デンプン損傷度は、湿熱処理によって損傷度の値が8%程度増加したが、圧力条件の違いによる大きな差は見られなかった。また糊化度については、湿熱処理によって4~28%の増加が見られ、圧力条件が高くなるほど値が増加した。湿熱処理後にサイクロンミルで粉砕した玄米粉の粒度分布については、おおよそ10~100 μm の幅広い粒径にわたって分布していることが分かった。また、湿熱処理米の調理加工特性として吸水率を調べた結果、もっとも高い圧力条件0.3 MPaの湿熱処理玄米は、2時間の浸漬において、未処理玄米と比較して15では1.2倍程度、25では1.4倍程度の吸水率改善が達成されることが分かった。したがって、胚乳デンプンが糊化してしまうデメリットはあるが、粉砕しない場合には、湿熱処理は炊飯調理前の吸水率を改善できるメリットもあることが明らかとなった。

湿熱処理法による玄米の持つ特異臭の低減効果について、化学成分等の分析を行い検討した。本実験では、湿熱処理米を市販のIH炊飯器あるいは土鍋を用いた炊飯時に発生する水蒸気に含まれる化学成分を捕集し、ガスクロマトグラフ-質量分析計により測定した。その結果、揮発性において原因成分としては数種類のアルデヒドおよびアルコール、フラン類が検出されたが、特にn-ヘキサナール、n-オクタナール、n-ノナールのアルデヒドの含有量が多かった。これらの成分は、炊飯時の古米臭の原因となる物質であり、玄米の保存期間に比例して増加したが、0.2 MPaの処理を行った玄米では、未処理のものと比較してn-ヘキサナール以外のアルデヒド類の生成が1~5割程度抑制され、湿熱処理によりリパーゼ等の脂質酸化酵素が失活し、玄米保存中の脂質酸化反応を遅らせると考えられた。

以上の結果より、湿熱処理による玄米の生理機能性の増強効果は高アミロース米で大きく、より強い処理条件ほど効果が大きいことが分かった。また、吸水性の改善や特異臭の低減効果は、品種によらず強い条件で確認された。しかし、脂溶性の機能性成分の保持やデンプン糊化を抑制するには、0.2 MPa以下のより弱い湿熱処理条件が必要であることが分かった。それらのメリットをすべて網羅するような条件設定は難しく、今回は玄米の加工食品試作には至らなかったが、今回得られた個々の知見をもとに、今後、玄米加工の可能性を探っていきたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 細川陽子, 春日景太, 榎康明, 斉藤憲司, 城斗志夫, 奥村寿子, 菅原正義	4. 巻 23
2. 論文標題 米アミロース含量と玄米に対する湿熱処理が高脂肪飼料投与ラットの 糖質・脂質代謝に及ぼす影響	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ルミナコイド研究	6. 最初と最後の頁 47-54
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 細川陽子, 石野美羽, 目崎太一, 奥村寿子, 城斗志夫, 菅原正義
2. 発表標題 アミロース含量の異なる湿熱処理玄米の投与によるラットの成長への影響
3. 学会等名 第72回日本栄養・食糧学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田崎景子, 細川陽子, 菅原雅通, 中村澄子, 奥村寿子, 大坪研一, 菅原正義
2. 発表標題 アミロース含量が異なる品種の玄米への湿熱処理が高脂肪食投与ラットに及ぼす影響
3. 学会等名 第72回日本栄養・食糧学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 細川陽子, 春日景太, 榎康明, 斉藤憲司, 城斗志夫, 奥村寿子, 菅原正義
2. 発表標題 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
3. 学会等名 第71回日本栄養・食糧学会大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 奥村寿子, 細川陽子, 菅原正義
2. 発表標題 湿熱処理技術を用いた保存性と生理的機能性の優れた玄米米粉の開発
3. 学会等名 日本分析化学会関東支部・同新潟地区部会第31回新潟地区部会研究発表会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	菅原 正義 (Sugawara Masayoshi)		