

**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：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26750061

研究課題名(和文) 湿熱処理による高アミロース玄米の機能性成分の変動と「体によい」米食品の開発

研究課題名(英文) Effects of heat-moisture-treatment on content of functional ingredients included in high-amylose brown 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) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：玄米に対する湿熱処理(デンプンが糊化しない程度の低水分条件下で米を水蒸気加熱する処理)を水蒸気圧0.1～0.3 MPaの条件で5～30分間行った。そして、糠層や胚芽部分に含まれている機能性成分のうち、フェノール性化合物および脂溶性ビタミンに着目し、精米後に残存する成分量と抗酸化能について、湿熱処理条件との関連性を検討した。その結果、湿熱処理後に精米した白米は、未処理の白米と比較して総ポリフェノール量、脂溶性ビタミンが多く、抗酸化能についても高い値を示した。したがって、湿熱処理によって機能性成分が胚乳へ移行することが示唆され、湿熱処理条件のうち、水蒸気の圧力が影響を与えることが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：Heat-moisture treatment (HMT) is a method of treating starch with steam at low moisture without gelatinization. In this study, we applied HMT for brown rice to investigate the effects of the HMT condition (pressure/time) on the content of phenolic compounds, vitamins and antioxidative activities derived from rice bran layer. The HMT condition was set at 0.10-0.30 MPa of steam pressure for 5-30 minutes, and after the treatment, brown rice was milled. Total phenolic compounds, vitamins and antioxidative activities of the polished rice without HMT were reduced compared with the original brown rice, because functional ingredients present in rice bran were removed by milling. On the other hand, we found increase on those values for polished rice with HMT compared with untreated rice. Moreover, components were increased along with the HMT pressure, it may be assumed the transition of components from rice bran layer to endosperm during the HMT.

研究分野：有機分析，食品科学

キーワード：玄米 高アミロース米 湿熱処理 抗酸化成分

## 1. 研究開始当初の背景

近年、日本の食料自給率の低さとともに、米の消費量が減少傾向にあることが問題となり、米の新たな需要開拓が求められている。その一方で、玄米など「体によい」イメージのある商品には消費者から高い関心が寄せられ、新たな米需要、消費の拡大につながることが期待されている。また、近年の災害対策への関心の高まりから、備蓄災害食の開発も盛んに行われている。我々の研究機関で以前に取り組んだ糖尿病患者向け乾燥備蓄米の開発では、普通品種と比較してアミロース含量の高い「高アミロース米」に湿熱処理加工（デンプンが糊化しない程度の低水分条件下で米を水蒸気加熱する処理）を施すことで、難消化性デンプン量を効果的に増強でき、デンプンの消化速度を遅延できる等の有効な生理的機能が明らかとなった。食後の血糖値上昇の抑制は、糖尿病患者にとって重要であり、健常人にとっても、メタボリックシンドロームや生活習慣病の予防になる。さらに玄米を用いた場合には、上記の効果に加えて、湿熱処理によって消化管通過時間が短縮されることが明らかとなったが、糠層や胚芽に含まれている機能性成分やその作用に対してどの程度影響を与えるのかというデータはまだなく、成分量や実際の効能との相関も明らかになってはいない。

## 2. 研究の目的

本研究では、高アミロース玄米を用いた「食後の血糖値上昇を緩やかに抑制できる」低グリセミックインデックスの米加工食品の開発にあたり、水蒸気を利用した「湿熱処理」加工が、玄米の糠層および胚芽に含まれている機能性成分の量、分布、生理的機能性に与える影響を明らかにする。湿熱処理は、米の胚乳部分のデンプンを難消化性に改質し、消化・吸収速度を遅延させるための安全な加工法であるが、玄米の有する機能性成分

をより有効に活用した、国民の健康維持、米消費量の増加にも有望な玄米加工食品を実用化するために、湿熱処理による各成分の変動を把握し、最適な処理条件を確立する。

## 3. 研究の方法

計画の初期段階においては、使用する高アミロース玄米の品種を湿熱処理後の難消化性デンプン増加による生理的機能性向上の観点から選定した。新潟県で作付けされ、研究に必要な量を確保できるものとして、夢十色、越のめんじまん、越のかおりの高アミロース米3品種および対照として一般品種のコシヒカリ、こしいぶきの玄米について検討した。また、生理的機能性の指標として、各種 *in vitro* 試験および *in vivo* 試験を行い、効果の高い品種を選定した。

次に、採用した高アミロース玄米における糠層、および胚芽中の機能性成分（フェノール性化合物、ビタミンE、ビタミンB群、 $\gamma$ -オリザノール）について、湿熱処理の有無および湿熱処理条件（温度、水蒸気圧力、水分量、時間、乾燥）による各成分量の増減をHPLC、LC-MS/MSにより解析し、評価した。以上の知見に基づいて、湿熱処理条件の最適化を図った。

## 4. 研究成果

### (1) 難消化性デンプン増加について

中アミロース米、高アミロース米の玄米に処理蒸気圧力（0.1 MPa、0.2 MPa、0.3 MPa）および処理時間（5分、10分、30分間）を変化させて各条件での湿熱処理を行い、試料を作成した。そのうち、越のかおりとこしひかりの未処理玄米と未処理白米（Raw）、0.1 MPa・10分間処理湿熱玄米と湿熱処理白米（HMT）の水分、灰分、タンパク質、脂質について分析した結果を表に示した。灰分、タンパク質、脂質は未処理、湿熱処理ともに白米より玄米に多く含まれ、水分、灰分、脂質

は湿熱処理によって大きく変動しなかった。  
水分、灰分、タンパク質、脂質、総食物繊維量への湿熱処理の影響

		Moisture	Ash	Protein	Fat
こしひかり Brown	Raw	14	1.1 (1.3)	4.7 (5.5)	2.2 (2.5)
	HMT	10	1.2 (1.3)	5.8 (6.7)	2.1 (2.4)
Polish	Raw	10	0.4 (0.5)	4.5 (5.2)	0.6 (0.7)
	HMT	11	0.6 (0.7)	5.7 (5.7)	0.8 (0.9)
越のかおり Brown	Raw	15	1.4 (1.7)	6.0 (7.1)	2.2 (2.6)
	HMT	14	1.1 (1.3)	6.0 (7.0)	2.2 (2.6)
Polish	Raw	15	0.7 (0.8)	5.7 (6.7)	0.8 (0.9)
	HMT	13	0.8 (0.9)	6.0 (7.0)	0.8 (0.9)

\*HMT = 0.1 MPa、10分間湿熱処理米  
値は %、( ) = 無水換算

越のかおり玄米の難消化性デンプン含量、食物繊維含量は、処理蒸気圧力の上昇、処理時間の延長に依存して増加し、0.3 MPa・10分間処理では、難消化性デンプンは、白米の2.9倍、未処理玄米の1.9倍、食物繊維含量は、白米の3.4倍、未処理玄米の1.5倍に増加した(図1)。総デンプン量については、湿熱処理による大きな変化は見られず、デンプン消化速度の低下は13%であった。

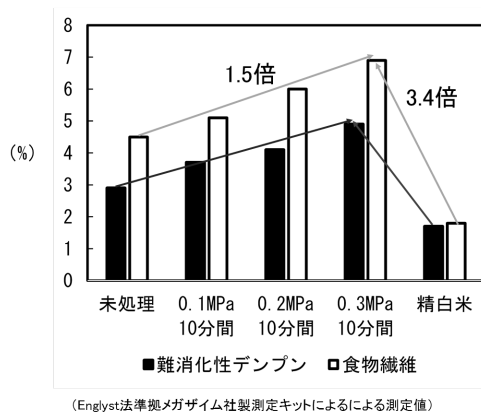


図1 湿熱処理条件による玄米中難消化性デンプン、総食物繊維量の変化

## (2) 機能性成分保持について

玄米に蒸気圧力0.1 MPa、0.2 MPa、0.3 MPaで10分間処理もしくは、0.1 MPa・5分間、0.1 MPa・10分間の湿熱処理をした湿熱玄米と、湿熱玄米を精米した湿熱白米を調製し、各試料についての総ポリフェノール量を没食子酸換算で測定し、図2(左)に示した。

玄米は、湿熱処理によって総ポリフェノール量が一旦減少し、再び増加する傾向を示したが、白米については、総ポリフェノール量は処理圧力の上昇にともなって増加し、水蒸気圧が0.2 MPaのときには未処理の白米と比較して約0.1 mg GAE/g多かった。処理時間を変化させた場合には、玄米、白米ともに大きな変化は見られなかった。白米の総ポリフェノール量は精米歩合に依存して減少し、92%の搗精では1/2程度に減少した。

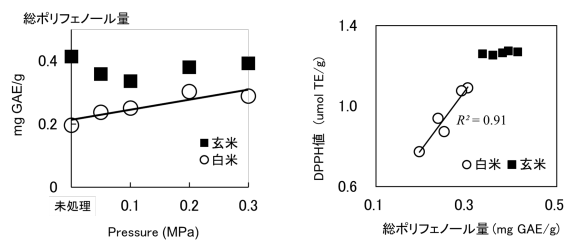


図2 玄米および白米の抗酸化能に対する湿熱処理圧力の影響(処理時間10分間)

湿熱処理による抗酸化能への影響について、DPPH法およびORAC法で測定し、結果を図3に示した。DPPH法による玄米の結果では、測定値はほぼ一定で湿熱処理による大きな変化は見られなかったが、処理後に精米した白米については、未処理の白米よりも抗酸化能が高く、その値は処理圧力とともに上昇し、0.3 MPaでは約1.4倍となった。一方、処理時間には影響を受けず、湿熱処理米の抗酸化能は圧力による影響を受けることが明らかとなった。その点について確認するため、同一試料についてORAC法による抗酸化能を測定し、結果を図3(右)に示した。

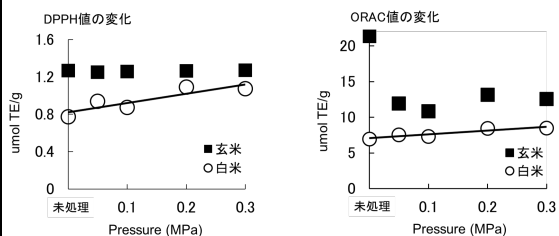


図3 湿熱処理による総ポリフェノール量の変化(左)および総ポリフェノール量と抗酸化能の関係(右)(処理時間10分間)

未処理の玄米では、21  $\mu\text{mol TE/g}$  の抗酸化

能を示したが、処理後には圧力や時間条件に関らず 12  $\mu\text{mol TE/g}$  程度まで大きく低下した。この大幅な減少についての詳細は不明であるが、白米の ORAC 測定値に対する処理圧力の影響は、DPPH 法による結果と同様の傾向を示し、圧力の上昇とともに抗酸化能も高くなり、0.3 MPa で 2 割程度増加した。また、処理時間には依存しなかった。

以上の各抗酸化能測定値と総ポリフェノール量について、それらの相関を図 2 (右) に示した。いずれの測定法においても、玄米では両者の間に相関性が認められなかったのに対し、白米については DPPH 法、ORAC 法ともに  $R^2 = 0.9$  以上の相関が認められた。そこで、湿熱処理による玄米中の個々の抗酸化成分への影響を調べるため、玄米および白米に含まれているフェノール性化合物について HPLC 分析を行ったところ、図 4 に示した 9 成分が検出された。

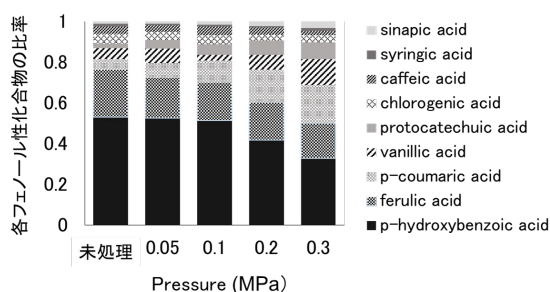


図 4 湿熱処理による玄米中の各フェノール性化合物の組成変化 (処理時間 10 分間)

図 4 には玄米の結果を示したが、各化合物の比率は精米後の白米においても変化しなかった。各化合物の割合は湿熱処理の水蒸気圧力に応じて変動し、9 成分のうち *p*-ヒドロキシ安息香酸、フェルラ酸、クロロゲン酸、カフェ酸の 4 成分については、その割合が処理圧力の上昇とともに減少し、*p*-クマル酸、バニリン酸、プロトカテク酸、シナピン酸の 4 成分は増加傾向を示した。この結果については、抗酸化能や総ポリフェノール量との関連をさらに詳しく調べる必要があるが、今回の結果からは、玄米に対する湿熱処理におい

て、糠層に含まれているフェノール性成分の内部への移行により、精白米の抗酸化能が高くなること、および湿熱処理条件のうち主に影響するのは水蒸気圧力であることが明らかとなった。

玄米および白米について、湿熱処理による各トコフェロールと  $\gamma$ -オリザノール成分量への影響を測定し、越のかおりの結果を図 5 に示した。その結果、湿熱処理後に精米した白米では、未処理の白米と比較して各トコフェロール量がわずかに増加する傾向が見られ、 $\gamma$ -オリザノールについても、0.2 MPa・10 分間の処理では未処理米の約 2 倍量となった。この傾向は、コシヒカリ、こしいぶきの場合にも同様の変化を示した。

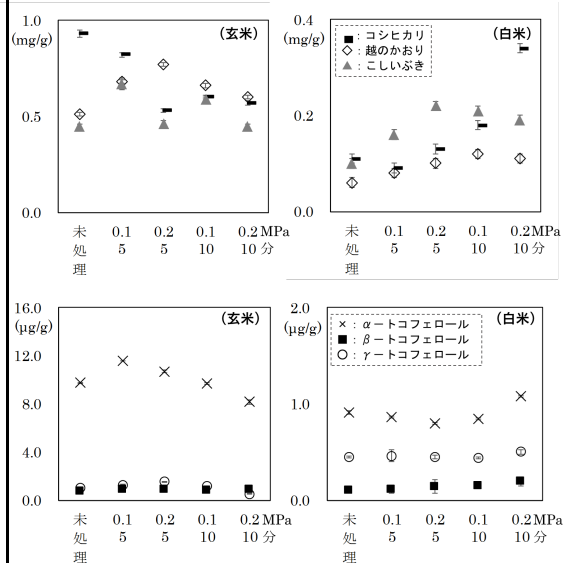


図 5 越のかおり玄米および白米の  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ -トコフェロール量に対する湿熱処理条件の影響 (上段)、湿熱処理による玄米および白米中の  $\gamma$ -オリザノール量の変化 (下段) (米 1 g あたり)

以上のポリフェノールについての結果と脂溶性ビタミンの結果を比較すると、いずれも玄米については一律の傾向が見られないものの、湿熱処理後に精米した白米では処理圧力の強さに依存して成分が増加し、脂溶性成分についても糠層から胚乳への移行が示唆された。水溶性のビタミン類については変化量が小さく、上手く分離、定量することができなかった。

## 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)

[雑誌論文](計 2件)

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機能評価, 応用糖質科学, 5巻, 3号, 2015, 165-167 (査読有)

奥村 寿子, 高アミロース米の湿熱処理によるポリフェノール含量と抗酸化能への影響, 公益財団法人飯島藤十郎記念食品科学振興財団平成26年度年報, Vol. 30, 2014, 90-94 (査読無)

[学会発表](計 13件)

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 年度大会, 2017 年 3 月 17 日 ~ 2017 年 3 月 20 日, 京都女子大学 (京都府・京都市)

Youko Hosokawa, Marin Mogami, Keita Kasuga, Yasuaki Enoki, Hisako Okumura, Toshio Joh, Masayoshi Sugawara, Effect of amylose content and the heat-moisture-treatment of rice on fat and carbohydrate metabolisms of Wistar rat, International Conference on Food for Health in Niigata 2016, 2016 年 11 月 10 日 ~ 2016 年 11 月 11 日, 朱鷺メッセ (新潟県・新潟市)

最上 真鈴, 細川 陽子, 榎 康明, 奥村 寿子, 菅原 正義, 高アミロース米玄米への湿熱処理の及ぼす生菌数 難消化性デンプン, 吸水性への影響, 日本食品科学工学会第 63 回大会, 2016 年 8 月 25 日 ~ 2016 年 8 月 27 日, 名城大学 (愛知県・名古屋市)

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 27 日 ~ 2015 年 8 月 29 日, 京都大学 (京都府・京都市)

Yasuaki Enoki, Takuya Hirokawa, Hiroki Kanayama, Yoko Hosokawa, Hisako Okumura, Sigeru Mineo, Masayoshi Sugawara, Heat-Moisture-Treated High-Amylose Brown Rice Improves Loperamide-Induced Constipation in Rats, East Asia Conference on Standardization of Rice Function, 2014 年 12 月 10 日 ~ 2014 年 12 月 12 日, 京都リサーチパーク (京都府・京都市)

Hisako Okumura, Shiori Takayama, Masayoshi Sugawara, Transport of Rice Bran Antioxidant Constituents to Endosperm by Heat-Moisture Treatment, International Conference on Food for Health in Niigata 2014, 2014 年 10 月 30 日 ~ 2014 年 10 月 31 日, 朱鷺メッセ (新潟県・新潟市)

高山 しおり, 奥村 寿子, 細川 陽子, 菅原 正義, 湿熱処理による高アミロース米糠成分の胚乳への移行, 日本食品科学工学会第 61 回大会, 2014 年 8 月 28 日 ~ 2014 年 8 月 30 日, 中村学園大学 (福岡県・福岡市)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

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

### (2) 研究協力者

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