

令和 2 年 6 月 29 日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00811

研究課題名(和文) 高圧処理を用いた高  $\beta$ -グルカン大麦粉の品質制御技術の開発とその調理加工特性の解明

研究課題名(英文) Effects of high hydrostatic pressure on physical and cooking properties of barley flour

研究代表者

上野 茂昭 (Ueno, Shigeaki)

埼玉大学・教育学部・准教授

研究者番号：80410223

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究で大麦粉試料に高圧処理を施すことで、大麦粉試料の各粘度パラメータである最高粘度、最低粘度、最終粘度、ブレイクダウン値、セットバック値が低下し、粘度上昇抑制効果があることが確認できた。また、高圧処理を施し、大麦粉試料のデンプン粒の結晶構造を変化させることで、デンプン損傷率の上昇や、膨潤力の低下を引き起こすことが確認できた。結晶構造解析においてV型と弱いB型を示したことで20°のピークが出現したことから、アミロースと脂質複合体の形成が示唆された。これらアミロースと脂質複合体によって吸水抑制やアミロースの溶出の抑制が考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高圧処理によって機能性成分の  $\beta$ -グルカン含量を低下させることなく、液状食品に適していなかった大麦粉に起因する粘度上昇を抑制することが可能となった。このことから、調理時の粘度上昇による作業効率の低下抑制、摂食時の温度低下による粘度上昇がもたらす食味の低下抑制効果が期待されるとともに、従来までは粘度上昇が原因で低含有でしか食品に配合できなかった大麦粉を高含有で配合できることにより健康増進効果も期待される。そのため、今後の大麦粉の機能性食品への利用拡大の可能性が示された。

研究成果の概要(英文)：The effects of high hydrostatic pressure (HHP) on the physicochemical properties of high- $\beta$ -glucan barley flour were investigated in the present study. Dough samples were made from two types of barley flour with low and high  $\beta$ -glucan content, respectively, and treated with HHP (200-600 MPa) for 10min. Although the elevation of pasting properties for the samples treated at 600 MPa was reduced to the same extent as that in wheat flour at normal atmospheric pressure,  $\beta$ -glucan content was maintained regardless of the pressure applied. The significant increase in starch damage of the dough samples at 550 and 600 MPa was confirmed by the results of microscopic observation, which revealed that elliptical starch granules were cracked and damaged in samples with low  $\beta$ -glucan at 600 MPa, and in samples with high  $\beta$ -glucan content at 400 MPa or more. X-ray diffraction patterns of the samples treated at 600 MPa indicated the formation of amylose-lipid complexes.

研究分野：食品工学

キーワード：大麦粉 高圧処理 粘度  $\beta$ -グルカン 機能性食品

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

食品への 100 ~ 600 MPa の静水圧による高圧処理は、従来食品の殺菌について多く研究がなされてきた。最近では食品の品質を制御可能な非加熱食品加工技術として、欧米中を中心に食品業界で利用され始めている。とりわけ食品への高圧処理の適用は、細胞をはじめとした内部構造に変化を及ぼすとともに、食品を構成するタンパク質の変性、糖質の糊化など物理化学的变化を引き起こす。我々は高圧食品加工技術を種々の農産物に適用してきた。例えば予備浸漬した玄米や大豆に 200 MPa の高圧処理を施し保存することにより、 $\gamma$  アミノ酪酸 (GABA) が高蓄積すること、また食品素材の機能性富化メカニズムを報告してきた<sup>1,2)</sup>。

世界で収量第 4 位の商品穀物である大麦は、高い粘度を有することから食品加工への利用は限定的であり、生産量の 75% は飼料用、20% は飲料用、数% が喫食消費されている。近年、大麦の高い食物繊維含量が目目され始め、2006 年に米国 FDA が大麦由来成分の心疾患リスク低減効果を承認するなど、とりわけ大麦由来の  $\beta$  グルカンに関して、生活習慣病予防のための新たな健康機能性を有する食素材として期待されている。

大麦粉の主成分はデンプンであり、加水デンプンはおおよそ 800 MPa 以上の圧力処理により、糊化することが知られている。また大麦粉の食品加工への応用拡張性を考慮すると、常温では粉体を維持し、調理加工における加熱時に粘度が低下することが望ましい。このような背景のもと、100 ~ 600 MPa 程度の圧力領域のなかで、大麦粉の機能性成分である  $\beta$  グルカン含量を低減することなく、低粘度を実現可能な圧力領域を検討することが必要である。

### 2. 研究の目的

大麦は水溶性食物繊維 ( $\beta$  グルカン) を多く含み、高い健康機能性を有する反面、小麦粉の 3 倍近い高粘度を示すことから調理加工性が低く、大麦粉の利用拡大の障壁となっている。

本研究では非加熱処理である超高压処理を大麦粉に適用し、デンプンを主とした大麦粉の構成成分の物理化学変化により、超高压処理を用いた高  $\beta$  グルカン大麦粉の品質制御技術を開発する。また、超高压処理により生じる大麦粉内部の構造変化—物性変化—物理化学的变化を定量的に計測することにより、改質大麦粉の調理加工条件と種々の質的变化における相互関連性を見出す。最終的には、超高压処理により粘度低下を実現した高  $\beta$  グルカン大麦粉の調理加工特性を解明することにより、超高压処理を用いた穀類の品質制御技術の汎用化を目指す。

### 3. 研究の方法

#### 3.1 試料調製および分析の概要

試料は、 $\beta$  グルカン含量の異なる 2 種類の大麦粉 (埼玉県栽培指定品種の高  $\beta$  グルカン品種「もっちりぼし」、飲料用低  $\beta$  グルカン品種) を選択した。本研究では、試料への圧力効果を均質化するために、大麦粉に蒸留水を加え大麦粉生地を調製した。真空密封した大麦粉生地に対し、25 で 100 ~ 600 MPa の静水圧を用いて、10 分間の高圧処理を施した。加圧時の試料室温度の上昇は 5 以内であることを確認しているため、加熱による品質変化は生じない。得られた高圧大麦粉生地进行凍結乾燥後に磨砕することにより、高圧大麦粉試料を調製した。

高圧大麦粉試料の物理特性として、粘度計 (ラピッドビスコアライザー-RVA4, Foss 社) を用いて昇温プログラム下において粘度測定を行った。また示差走査型熱量計 (DSC 50, 島津製作所) を用いて糊化特性 (糊化温度、糊化エンタルピー等) を測定するとともに、デンプンの顕微鏡観察、膨潤力測定を行い食品加工プロセスに応用可能な物理パラメータの測定を行った。他方、高圧処理大麦粉の化学特性について、AOAC 酵素法を用いた  $\beta$  グルカン含量測定、X 線回折・比結晶化度、デンプン損傷率測定などの物理化学特性を評価した。

#### 3.2 物理化学特性の評価法<sup>3,4)</sup>

それぞれの評価法についてより詳しく記す。

- ・ $\beta$ -グルカン含量: 大麦粉試料中の  $\beta$ -グルカンをリケナーゼ、 $\beta$ -グルコシダーゼおよびグルコースオキシダーゼ/ペルオキシダーゼによって D-グルコン酸と  $H_2O_2$  まで分解し、520 nm の吸光度を測定し  $\beta$ -グルカン含量を算出した。
- ・溶解度・膨潤力: 大麦粉試料に水を加えて 90 の水槽中で 30 分間振とうし、遠心分離を行ない、上清を乾燥させて水中に溶解したデンプン量を測定し、溶解度を算出した。また、沈殿部の重量を測定し、膨潤力を算出した。
- ・顕微鏡観察: 大麦粉試料を 2% ヨウ素液で染色し、光学顕微鏡を用いてデンプン粒子の形状を観察した。
- ・デンプン損傷率: 大麦粉試料中の損傷デンプンを  $\alpha$ -アミラーゼ、アミログルコシダーゼおよびグルコースオキシダーゼ/ペルオキシダーゼによって D-グルコン酸と  $H_2O_2$  まで分解し、520 nm の吸光度を測定し、デンプン損傷率を算出した。
- ・X 線回折: X 線回折装置を用いて、高圧処理が結晶構造に及ぼす影響を測定し、得られた X 線回折図から比結晶化度を算出した。

#### 4. 研究成果

大麦粉生地に 550 MPa および 600 MPa の圧力を加え、凍結乾燥後の大麦粉粉末に加水して粘度を測定したところ、顕著に粘度が低下した(図 1)。その原因がデンプンの構造にあると考え、顕微鏡観察したところ、橙色に染色されるアミロペクチンで構成されたデンプン粒は 400 MPa および 600 MPa の試料でひびや割れが認められた。これはアミロペクチンが形成する結晶構造が、高圧処理によって破壊されたためと考えられた。

デンプン損傷率は 500 ~ 600 MPa の圧力範囲で増加した。また、デンプンの損傷から結晶構造が変化していると考えられるため、X 線回折を行なったところ、550 MPa および 600 MPa の試料では比結晶化度の低下が認められた。また、 $2\theta = 20^\circ$  にピークが生じたことからアミロース-脂質複合体が存在すると考えられた。

デンプンの糊化時の膨潤はアミロースの形成する非晶領域が水和することで開始し、粘度に影響していると考えられるため、膨潤力を測定した。その結果、550 MPa および 600 MPa の試料で膨潤力が低下した。その要因として、高圧処理によりアミロース-脂質複合体が形成され、アミロースの溶出が妨げられたことが考えられた。

いずれの圧力条件においても、本研究で用いた 2 種類の大麦粉試料の  $\beta$  グルカン含量は、未処理大麦粉と変わらなかった(図 2)。

本研究で  $\beta$  グルカン含量の異なる 2 種類の大麦粉試料に高圧処理を施すことで、 $\beta$  グルカン含量を変化させることなく、大麦粉試料の各粘度パラメータである最高粘度、最低粘度、最終粘度、ブレイクダウン値、セットバック値が低下し、粘度上昇抑制効果があることが確認できた。また、高圧処理を施し、大麦粉試料のデンプン粒の結晶構造を変化させることで、デンプン損傷率の上昇や、膨潤力の低下を引き起こすことが確認できた。結晶構造解析において V 型と弱い B 型を示した  $20^\circ$  のピークが出現したことから、アミロースと脂質複合体の形成が示唆された。これらアミロースと脂質複合体によって吸水抑制やアミロースの溶出の抑制が考えられた。

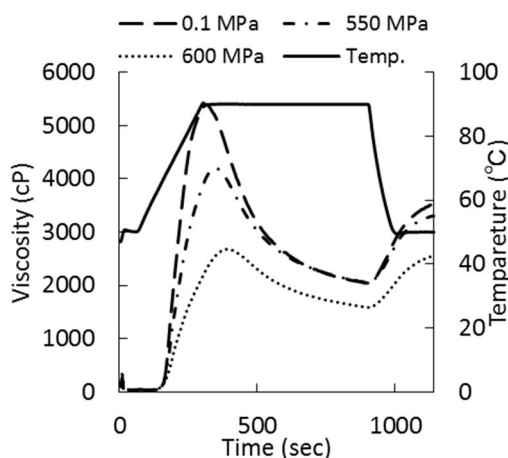


図 1 高  $\beta$  グルカン大麦粉 (もっちりぼし) の粘度プロファイル

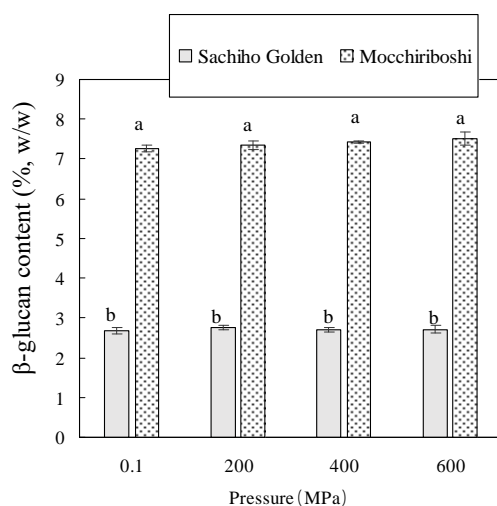


図 2 高圧大麦粉の  $\beta$  グルカン含量

## 引用文献

- 1) Shigematsu et al., *Biophys. Chem.*, 231, 105-110 (2017).
- 2) Ueno et al., *J. Agric. Food Chem.*, 58(2), 1208-1213 (2009).
- 3) FAOSIAT- Food and agriculture organization of the United Nations 2015.
- 4) International barley genome sequencing consortium, *Nature*, 491, 711-716 (2012).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3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 Shigeaki UENO, Shoji Sasao, Hsiuming Liu, Mayumi Hayashi, Toru Shigematsu, Yasuko Kaneko & Tetsuya Araki	4. 巻 1
2. 論文標題 Effects of high hydrostatic pressure on $\alpha$ -glucan content, swelling power, starch damage, and pasting properties of high- $\alpha$ -glucan barley flour	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 High Pressure Research	6. 最初と最後の頁 509-524
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） <a href="https://doi.org/10.1080/08957959.2019.1597076">https://doi.org/10.1080/08957959.2019.1597076</a>	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 -

1. 著者名 Hsiuming Liu, Shigeaki Ueno, Reiko Shimada, Tetsuya Araki	4. 巻 1
2. 論文標題 The effect of high hydrostatic pressure on taste substance distribution in fresh green tea leaves	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 High Pressure Research	6. 最初と最後の頁 408-416
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/08957959.2019.1607850	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 -

1. 著者名 Shigeaki Ueno, Yuki Kawaguchi, Yuka Oshikiri, Hsiuming Liu, Reiko Shimada	4. 巻 1
2. 論文標題 Enrichment of free amino acid content and reduction of astringent taste compounds in soybean by high hydrostatic pressure	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 High Pressure Research	6. 最初と最後の頁 398-407
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/08957959.2019.1601188	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2件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 上野茂昭, 笹尾翔士, 金子康子, 林真由美, 重松亨, 荒木徹也
2. 発表標題 高圧処理による高 $\alpha$ -グルカン大麦粉の改質
3. 学会等名 2019年日本食品科学工学会関東支部大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 笹尾翔士, ○上野茂昭, 林真由美, 重松 亨, 厚沢季美江, 金子 康子, 荒木徹也
2. 発表標題 高压処理による高β-グルカン大麦粉の改質
3. 学会等名 日本食品科学工学平成30年度会関東支部会
4. 発表年 2017年～2018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
--	---------------------------	-----------------------	----