

加熱による大麦糠の物理的性質の変化

Effects of Heating on the Physical Properties of Barley Bran

池田 倫子, 田辺 賢一*, 山中 なつみ**

Noriko IKEDA, Kenichi TANABE*, Natsumi YAMANAKA**

要旨；大麦の糠は産業廃棄物として扱われてきたが、精麦の技術向上によって β -グルカンを多く含む糠を選択的に回収できるようになったため、食物繊維が豊富に含まれる大麦糠の有効活用が期待されている。食物繊維の生理効果は物理的性質によって異なることから、大麦糠の保水性とアマランスに対する吸着性と加熱によるこれらの物理的性質の変化について検証した。試料は外皮に近い外側の大麦糠とそれより内側の β -グルカンを多く含む大麦糠、対照試料にはセルロースを用いた。その結果、大麦糠の保水性は加熱することで増大した。特に内側の大麦糠は、湿式加熱によって保水性が顕著に増大した。大麦糠の吸着性は、湿式加熱や 170°C 以上での乾式加熱によって低下した。

Abstract ; Barley bran has been treated as an industrial waste. It contains an abundance of dietary fiber. As the processing methods of polished barley have improved, it has become possible to select barley bran containing a high proportion of β -glucan. Therefore, it is expected that barley bran will be effectively used. Since the physiological effects of dietary fiber differ according to the physical properties, we examined following two factors : the water holding capacity of barley bran and adsorption properties to amaranth of barley bran, and verified the changes in physical properties upon cooking. Three samples were tested: the outside of barley bran, near the outer pericarp; the inside of barley bran which contains a large amount of β -glucan; and cellulose as a control. As a result, the water holding capacity of barley bran was increased by cooking. In particular, the water holding capacity of the inside of barley bran was markedly increased by boiling. The adsorption of barley bran was reduced by boiling and baking at $>170^{\circ}\text{C}$.

キーワード；大麦糠，食物繊維，加熱調理，保水性，アマランス吸着性

Keywords ; barley bran, dietary fiber, cooking, water holding capacity, amaranth adsorption

1. 緒言

大麦は代表的な穀物の1つであるが、国内では主にビールや焼酎、麦茶などの原料として消費され、米や小麦に比べて食材として摂取する機会の少ない穀物である。精白米や小麦粉に比べると大麦の胚乳には食物繊維が豊富に含まれ¹⁾、特に水溶性食物繊維の1つである β -グルカンの含有量が高いことが知られている²⁾。大麦（押麦）の水溶性食物繊維量は全粒小麦の4倍以上であり、全粒小麦よりも β -グルカンの割合が高いことが報告されている²⁾。また、Havrlentova³⁾らは、春大麦の β -グルカン含量が春小麦の8倍以上あることを報告している。大麦に含まれる β -グルカンには、食後血糖値の上昇抑制⁴⁾や血しょうコレステロール値の低下⁵⁾といった代謝系疾

患の改善効果が認められている。こうした背景の中、消費者の健康志向の高まりにより、大麦が食材として注目されるようになった。2016年以降には国内において大麦を使用したおにぎり等の商品の販売数が顕著に増加した⁶⁾。近年では β -グルカン高含量品種の開発も進められている⁷⁾。

大麦の種子は、外側から外皮、果皮、種皮、糊粉層、胚乳から成る⁸⁾。精麦によって外皮から糊粉層までは糠として除去され、原料重量の約20~35%の糠が発生する⁸⁾。大麦は胚乳に食物繊維が豊富に含まれ、糠には特有の渋みがあるため、大麦糠は食材としては活用されず、家畜の飼料以外は産業廃棄物となっている。しかし、大麦糠には様々な生理効果が認められており、中嶋ら⁹⁾は

* 中村学園大学 栄養科学部 栄養科学科

** 名古屋女子大学 健康科学部 健康栄養学科

ヒトにおける排便回数と量の増加, McIntosh ら¹⁰⁾ はラットにおける大腸がんの発現抑制, Lupton ら¹¹⁾ は高コレステロール血症のヒトにおける血中 LDL コレステロール値の低下¹¹⁾ を報告している。また, 新たに開発された大麦糠の回収方法及び回収装置⁸⁾ により, 洗みが少なく β -グルカンを多く含む糠部分を選択的に回収することが可能となった。田辺ら¹²⁾ は, この技術により精麦された β -グルカン含有大麦糠で作製したクッキーをヒトに摂取させ, 血糖上昇抑制およびインスリン分泌抑制効果を確認するとともに, 嗜好性についても薄力粉で作製したクッキーと差がなかったと報告している。これらのことから, これまで廃棄されていた大麦糠は食物繊維源として広く活用すべき食材であると考えられた。

食物繊維は保水性, 吸着性ならびに粘性といった物理的特性を有するために, 消化管内で有害物質を吸着したり, 糞便量を増加させることで排便を促進させたりする¹³⁾。一方, 食物繊維は加熱することで物理的性質が変化することが報告されている¹⁴⁾。

大麦糠は未加熱で食することは可能だが, 大麦糠の汎用性を高めるためには加熱などの加工が必要である。そこで, 大麦糠の食物繊維を有効に活用するための効果的な加熱方法を検討するため, 大麦糠の保水性と有害色素のアマランスに対する吸着性, これらの加熱による変化について明らかにすることを目的とした。

2. 実験方法

2.1 試料

試料は, 有限会社伊東精麦所(長崎県諫早市)によって新たに開発された大麦糠の回収方法及び回収装置⁸⁾ により大麦(長崎県産はるか二条)を精麦し, 得られた大麦糠2種類を使用した。すなわち, 大麦の歩留比率85~95%重量の糠を回収したものを糠(外側), 大麦の歩留比率75~85%重量未満の糠を回収したものを糠(内側)とした。糠(内側)は β -グルカン含量が2.8 g/100 g 以上のものを選択的に回収したものであった⁸⁾。また, 対照試料として代表的な不溶性食物繊維であるセルロースを用いた。

2.2 加熱試料の調製

試料0.5 g を薬包紙に精秤し, ガラスシャーレ(直径95 mm)に乗せて140°C, 170°C, 200°Cの乾熱機で20分加熱した後, デシケータ内で放冷した。加熱温度はクッキーを想定した170°Cとその前後の温度帯とした。これを乾式加熱試料とした。

精秤した試料0.5 g と蒸留水10 mL を50 mL の遠心管

に入れ, 試験管ミキサーで攪拌した。試験管の上部をアルミホイルで覆い沸騰水中で20分間加熱した後, 流水中で冷却した。これを湿式加熱試料とした。吸着性測定の際には試料0.5 g に蒸留水9 mL を加えて加熱した。

2.3 保水性の測定

保水性は大麦糠の表面への吸着水と組織内孔に取り込まれる水分を保水量として測定した。未加熱試料及び乾式加熱試料は, 蒸留水25 mL と共に50 mL の遠心管に入れた。湿式加熱試料においては調製後, 蒸留水15 mL を加えた。超音波洗浄機(株式会社エスエヌディ US-102)で10分間脱気し, 25°Cインキュベータ内で24時間静置, 吸水させた。その後, 遠心分離(KUBOTA Model 5,500, KUBOTA RA-508C, 8,000×g, 10分)して上清を除去し, 吸水後の試料重量を測定した。加熱前の試料に対する吸水後の試料の重量倍率を求め, 保水性として比較した。尚, 遠心分離は消化管内容物の保水量測定に用いられる条件¹⁵⁾と同様の条件で行った。

2.4 吸着性の測定

吸着性はラットにおける成長抑制作用が認められるアマランス(食用赤色2号)を毒性モデル物質としたTakeda¹⁶⁾らの方法を用いて測定した。未加熱試料及び乾式加熱した試料は, 50 mL の遠心管に入れ, アマランス(ボルドーS, 和光特級)200 ppm 水溶液を10 mL 加えた後, 37°Cの恒温水槽内で24時間振とう(80 stroke/min)させた。湿式加熱した試料においては調製後, アマランス2,000 ppm 水溶液を1 mL 加えた後, 同様に振とうさせた。遠心分離(KUBOTA Model 5,500, KUBOTA ST-2504MS, 3,000 rpm, 20分)した後, 上清を3倍希釈し520 nm における吸光度を測定した。試料から溶出した成分が吸光度に影響することから, アマランス水溶液の代わりに蒸留水を加え, 同様の条件で振とう, 遠心分離し, 得られた上清をブランクとした。アマランスの検量線を作成して上清中のアマランスを定量し, 加えたアマランス量から差し引いて吸着量を求めた。加熱前の試料1 g あたりのアマランス吸着量を吸着性として比較した。

2.5 統計処理

糠(外側), 糠(内側), セルロースは加熱条件ごとに保水性, 吸着性ともに5回測定した。得られたデータの有意差の検定は, 一元配置の分散分析を行い, Tukey法による多重比較検定で行った。統計処理にはエクセル統計 ver. 10を用い, 危険率が0.05以下のとき有意であるとみなした。

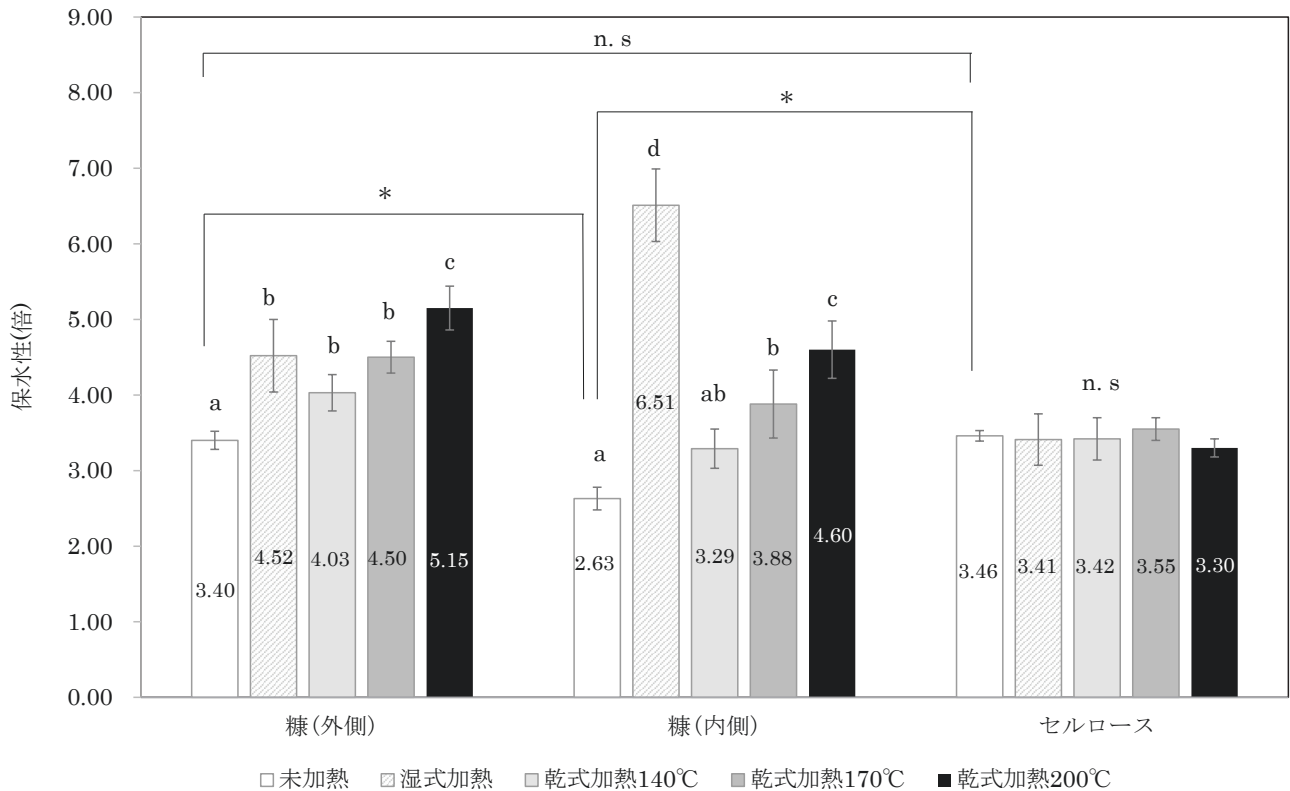


図1 加熱方法の違いが大麦糠の保水性に及ぼす影響

5回の調製における平均値と標準偏差を示した。

アルファベットは各試料で異なる加熱方法における保水性に有意差 ($p < 0.05$) があることを示す。

*は未加熱の試料間に有意差 ($p < 0.05$) があることを示す。

3. 結果

3.1 保水性

大麦糠の保水性を測定した結果を図1に示した。

未加熱の糠(外側)は、吸水後の重量が吸水前の 3.40 ± 0.12 倍になったが、湿式加熱試料では 4.52 ± 0.48 倍となり、未加熱よりも有意に保水性が高いことが示された。140°Cの乾式加熱試料は吸水後の重量が吸水前の 4.03 ± 0.24 倍、170°Cでは 4.50 ± 0.21 倍、200°Cでは 5.15 ± 0.29 倍といずれも未加熱に比べて有意に高く、200°Cが最も保水性が高かった。

未加熱の糠(内側)の保水性は、吸水後の重量が吸水前の 2.63 ± 0.15 倍であった。湿式加熱試料は 6.51 ± 0.48 倍で未加熱に比べて有意に高かった。140°Cの乾式加熱試料は 3.29 ± 0.26 倍となり、未加熱試料との間に有意差はなかったが保水性が高まる傾向が見られた。また、170°Cの乾式加熱試料は吸水後の重量が吸水前の 3.88 ± 0.45 倍、200°Cでは 4.60 ± 0.38 倍となり、いずれも未加熱試料に比べて有意に高かったが、湿式加熱試料には及ばなかった。

一方、セルロースにおいては加熱による変化は認められなかった。試料間で比較すると、糠(内側)の未加熱

試料は最も保水性が低かったが、湿式加熱試料は他に比べて保水性が顕著に高かった。

3.2 吸着性

大麦糠の吸着性を測定した結果を図2に示した。

糠(外側)の吸着性は、未加熱試料は 3.80 ± 0.27 mg/gであった。湿式加熱試料は 1.03 ± 0.08 mg/gと未加熱試料よりも有意に低下した。140°Cの乾式加熱試料は 3.84 ± 0.22 mg/gで未加熱試料と同程度であったが、温度が高くなるにつれて吸着性は有意に低下した。

糠(内側)の吸着性は、未加熱試料が 3.88 ± 0.21 mg/gであり、湿式加熱試料は 1.23 ± 0.11 mg/gと未加熱試料よりも低下した。140°Cの乾式加熱試料は 3.48 ± 0.49 mg/gで未加熱試料と同程度であったが、加熱温度が高くなるにつれて吸着性は有意に低下し、糠(外側)と同様の傾向が見られた。

セルロースの吸着性は大麦糠に比べて顕著に低く、未加熱試料は 0.10 ± 0.01 mg/g、湿式加熱試料は 0.04 ± 0.01 mg/gで未加熱試料に比べて低下した。170°C、200°Cの乾式加熱試料は140°Cよりも吸着性が高かった。

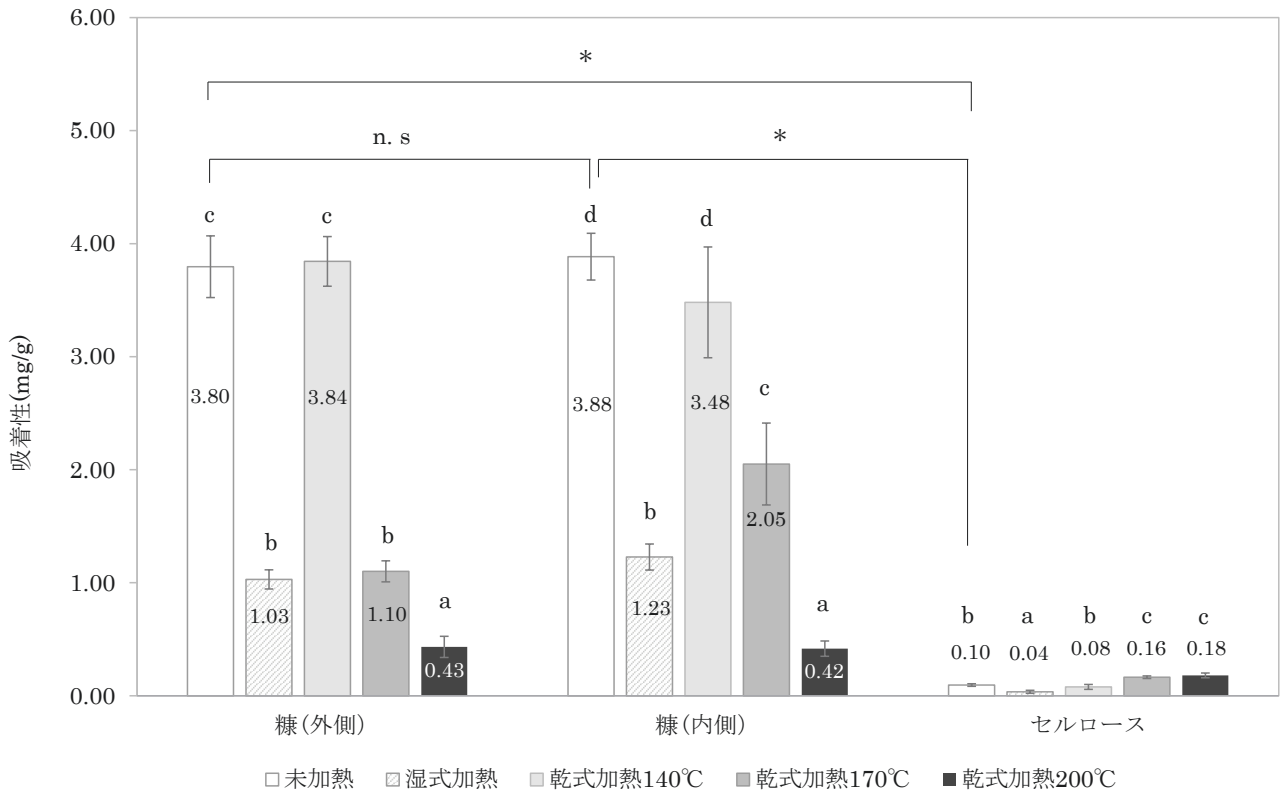


図2 加熱方法の違いが大麦芽のアマランス吸着性に及ぼす影響

5回の調製における平均値と標準偏差を示した。

アルファベットは各試料で異なる加熱方法における吸着性に有意差 ($p < 0.05$) があることを示す。

*は未加熱の試料間に有意差 ($p < 0.05$) があることを示す。

4. 考察

未加熱試料の保水性は、糠（外側）とセルロースは同程度であったのに対し、糠（内側）はこれらに比べて有意に低かった。植物細胞壁はセルロースやヘミセルロース、リグニン、ペクチンなどから構成されており¹⁷⁾、その構成成分は部位によって異なる¹⁷⁾。穀粒の胚乳や糊粉層といった柔組織における細胞壁はセルロースが少なくペクチンが主成分であるのに対し、外皮のような硬い部位における細胞壁はリグニンが主成分でセルロース含量も高い¹⁷⁾。従って、大麦糠の外側と内側で細胞壁の構成成分が異なり、保水性に影響を及ぼしたと考えられた。本研究で用いた大麦糠の内側は外側に比べてβ-グルカン含量が多く、β-グルカンが保水を抑制した可能性が考えられたが原因の特定には至らず、細胞壁の各成分における保水性の検証が必要である。

セルロースの保水性は加熱による変化が認められなかった。セルロースは結晶性が高く、300°C以上の高温下でなければ熱分解されないため¹⁸⁾、本研究の加熱条件ではその性状は変化しなかったと考えられた。一方、大麦糠は加熱をすることで保水性が向上した。特に、β-グルカン含量の高い糠（内側）は、湿式加熱に

よって保水性が顕著に向上した。セルロースは(1→4)-β-D-グルカン結合で構成された不溶性のβ-グルカンであるのに対し、大麦に含まれるβ-グルカンは(1→3)、(1→4)-β-D-グルカン結合で構成された水溶性の食物繊維である¹⁾。湿式加熱した糠（内側）はゲル状であったことから、β-グルカンが湿式加熱によって膨潤し、未加熱や乾式加熱よりも保水性が高くなったと考えられた。

大麦糠の乾式加熱試料は、糠（外側）、糠（内側）ともに温度が高くなるにつれて保水性は向上する傾向がみられた。しかし、Oliveiraら¹⁹⁾はオーツ麦から抽出したβ-グルカンの保水性は加熱温度が高くなるほど低下したと報告しており、本研究結果とは異なる傾向であった。また、既報²⁰⁾において、加熱前後のさつまいもから抽出した総食物繊維の保水性に差は見られなかった。加熱による保水性の変化は食品の違いや食物繊維の調製方法の影響を受けると考えられた。Robertsonら²¹⁾は、じゃがいもの食物繊維を温風乾燥あるいは凍結乾燥し、保水性を測定するとともに細胞の状態を電子顕微鏡で観察した。その結果、温風乾燥や凍結乾燥によって細胞壁はいずれも崩壊し異なる構造に変化していたと報告して

いる。そして、保水性は化学的な成分組成の違いではなく、細胞の構造の違いによって影響されたと言及している。このことから、保水性の向上は組織構造の変化が影響していると考えられ、本研究に用いた試料の細胞構造の評価が必要である。

Cummings ら^{22,23)} は、ヒトが小麦ふすま由来の食物繊維、ならびにペクチンを摂取することでいずれも糞便量が増加すると報告しているが、保水性と糞便量との相関関係については、保水性の高いペクチンよりも小麦ふすま由来の食物繊維の方が糞便の増加量が大きく²⁴⁾、一概に保水性が高ければ糞便量の増加につながるとは断定できない。大麦糠の保水性とそれを摂取した際の糞便量の増加効果の関連については、動物実験等により実際に試料を摂取した際の糞便量を調査する必要がある。

アマランスに対する未加熱試料の吸着性は、大麦糠がセルロースに比べて高く、糠（外側）ではセルロースの38倍、糠（内側）では39倍であった。Ershoff ら²⁵⁾ は乾燥アルファルファがセルロースよりもラットのアマランス成長阻害に対する抑制効果が高いことを報告している。Takeda ら¹⁶⁾ は、予めアマランスを投与したラットにおいて、ごぼうから抽出した食物繊維の摂取で成長抑制が阻害されたが、セルロースでは効果が見られなかったと報告している。本研究結果ならびにこれらの報告からも、精製されたセルロースのアマランスに対する吸着性は低く、食物繊維を豊富に含む食品素材の方が吸着性は高いことが示された。リグニンはアマランスに対する吸着性を有している¹⁶⁾ との報告があることから、本研究において大麦糠がアマランスを吸着した要因は、セルロース以外のリグニンなどの成分への吸着や大麦糠の組織への吸着によるものと考えられた。

大麦糠のアマランスに対する吸着性は、湿式加熱あるいは170°C以上の乾式加熱は未加熱試料に比べて低下した。武田ら²⁶⁾ は、ごぼうの食物繊維を異なる粒度に調製し、アマランスとともに添加した飼料をラットに摂取させたところ、粒度が小さくなるにつれて成長回復効果が弱くなることを報告している。本研究において、170°Cと200°Cで加熱したものは粒度が変化し吸着性に影響を及ぼした可能性が考えられた。従って、アマランスに対する吸着性の要因を特定するため、大麦糠の加熱に伴う粒度の変化と吸着性との関連を検討する必要があると考えられた。一方、湿式加熱は乾式加熱よりも低い加熱温度にもかかわらず他に比べて吸着性が低下した。湿式加熱により大麦糠が吸水していたことでアマランスが吸着されにくくなった可能性が考えられたが原因の特定

には至らなかった。

本研究のアマランスに対する吸着性の測定では、試料と200 ppmのアマランス水溶液を振とう後、遠心分離し、上清中の吸着しなかったアマランスを520 nmにおける吸光度を測定して定量した。振とう中に大麦糠から溶出する成分が吸光度に影響し、特に加熱することによってその影響が大きくなることが認められた。従って、それぞれの条件で調製した大麦糠に蒸留水を加えて振とうさせた上清の520 nmにおける吸光度を差し引いてアマランスを定量した。しかし、乾式加熱試料は未加熱試料や湿式加熱試料よりも測定値にばらつきがあったことから、加熱した際の焦げ具合や焼きむらが測定に影響を及ぼした可能性が考えられた。

以上のことから、 β -グルカン含量の多い大麦糠は湿式加熱することで未加熱試料よりも保水性が顕著に向上し、排便増大の生理効果が期待できる可能性が示された。また、加熱することでアマランスに対する吸着性は低下するが、セルロースよりも吸着性が高いことが示され、未加熱で摂取することで毒性物質の排出効果が期待できる可能性が示された。食物繊維の生理効果は物理的性質によって異なることから、加熱による組織構造の変化と物理的性質の関連性を明らかにすることが効果的な加熱方法の提案につながると考えられた。さらに、動物を用いて本研究で調製した試料を摂取させ、その生理効果を検証することを今後の研究課題とした。

5. 謝辞

本研究にあたり、大麦糠を供与して下さった有限会社伊東精麦所に厚くお礼申し上げます。

6. 参考文献

- 1) 国立研究開発法人，農業・食品産業技術総合研究機構，高 β -グルカン大麦品種「ビューファイバー」（うるち性）「ワキシーフファイバー」（もち性），https://www.naro.go.jp/.../files/20180731nics_kind_pamph.pdf (2021.3.5検索)
- 2) 青江誠一郎，穀類に含まれる食物繊維の特徴について，日本調理科学会誌，**49**，297-302 (2016)
- 3) Havrlentova M, Kraic J, Content of β -D-glucan in Cereal Grains, *Journal of Food and Nutrition Research*, **45**(3), 97-103(2006)
- 4) Higa M, Fuse Y, Miyashita N, Fujitani A, Yamashita K, Ichijo T, Aoe S, Hirose T, Effect of High β -glucan Barley on Postprandial Blood Glucose Levels in

- Subjects with Normal Glucose Tolerance: Assessment by Meal Tolerance Test and Continuous Glucose Monitoring System, *Clinical Nutrition Research*, **8**(1), 55-63 (2019)
- 5) Shimizu C, Kihara M, Aoe S, Araki S, Ito K, Hayashi K, Watari J, Sakata Y, Ikegami S, Effect of High β -Glucan Barley on Serum Cholesterol Concentrations and Visceral Fat Area in Japanese Men—A Randomized, Double-blinded, Placebo-controlled Trial, *Plant Foods for Human Nutrition*, **63**(1), 21–25 (2008)
 - 6) 麦の参考資料, 農林水産省, www.maff.go.jp/j/seisan/boueki/mugi_zyukyuu/attach/pdf/index-86.pdf (2021.3.5検索)
 - 7) 柳澤貴司, 機能性が期待できる大麦品種. 北陸作物学会報, **51**, 63-65(2016)
 - 8) 伊東清一郎, 大麦の回収方法及び大麦由来物質の回収方法ならびに大麦糠回収装置, 特許第6231058号 (2015)
 - 9) 中嶋洋子, 永山スミ, 山田和彦, 池上幸江, 印南敏, 池田彰男, 玉川浩司, 小池肇, 健康な若年成人女性の排便習慣に対する大麦ふすま内層画分配合シート型シリアルの影響, 日本食物繊維学会誌, **8**(1), 21-29(2004)
 - 10) McIntosh G.H., Le Leu R.K, Royle P.J., Young G.P, A Comparative Study of the Influence of Differing Barley Brans on DMH-Induced Intestinal Tumors in Male Sprague-Dawley Rats, *Journal of Gastroenterology and Hepatology*, **11**(2), 113-119 (1996)
 - 11) Lupton, J.R., Robinson M.C., Morin J.L., Cholesterol-lowering Effect of Barley Bran Flour and Oil, *Journal of the American Dietetic Association*, **94**(1), 65-70(1994)
 - 12) 田辺賢一, 小川眞季, 中村禎子, 奥恒行, 高 β -グルカン大麦糠を配合したクッキーの摂取がヒトの血糖上昇ならびにインスリン分泌に及ぼす影響, 日本食物繊維学会誌, **22**(1), 21-28 (2018)
 - 13) 青江誠一郎, 山下亀次郎, 岸田太郎, 印南敏, “食物繊維の生理作用”, 食物繊維 基礎と応用, 日本食物繊維学会編集委員会編, 第一出版, 121-150(2008)
 - 14) 松本健司, 増田かおる, 武川加奈子, 小柳喬, 柿未成熟果実由来食物繊維の胆汁酸吸着能に対する加熱の影響とパン素材への応用, 日本食品科学工学会誌, **61**(11), 543-547(2014)
 - 15) Sakata T, Short-chain Fatty Acids and Water in the Hindgut Contents and Feces of Rats After Hindgut Bypass Surgery.*Scandinavian Journal of Gastroenterology*, **22**(8), 961-968(1987)
 - 16) Takeda H, Kiriya S, Correlation between the Physical Properties of Dietary Fibers and Their protective Activity against Amaranth Toxicity in Rats. *The Journal of Nutrition*, **109**(3), 388-396(1979)
 - 17) 綾野雄幸, “食物繊維の化学”, 食物繊維, 印南敏, 桐山修八編, 第一出版株式会社, 16-18(1995)
 - 18) 平田利美, セルロースの事典, セルロース学会編集, 朝倉書店, 188(2008)
 - 19) Oliveira L.C., Oliveira M, Meneghetti V.L., Gutkoski L.C., Effect of Drying Temperature on Quality of β -glucan in White Oat Grains, *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, **32**(4),775-783(2012)
 - 20) 池田倫子, 山中なつみ, 小川宣子, 加熱方法の違いがさつまいもの食物繊維量と物理的性質に及ぼす影響, 日本家政学会誌, **71**(11), 719-726(2020)
 - 21) Robertson J.A., Eastwood M.A., An Examination of Factors which may Affect the Water Holding Capacity of Dietary Fibre, *British Journal of Nutrition*, **45** (1) , 83-88 (1981)
 - 22) Cummings J.H., Branch W, Jenkins D.J.A., Southgate D.A.T, Houston H, James W.P.T, Colonic Response to Dietary Fibre from Carrot, Cabbage, Apple, Bran and Guar Gum, *The lancet*, **311**(8054), 5-9 (1978)
 - 23) Cummings J.H., Southgate D.A.T., Branch W.J., Wiggins H.S., The Digestion of Pectin in the Human Gut and its Effect on Calcium Absorption and Large Bowel Function, *British Journal of Nutrition*, **41**(3), 477-485 (1979)
 - 24) Stephen A.M., Cummings J.H., Water-holding by Dietary Fibre *in Vitro* and its Relationship to Faecal output in Man, *Gut*, **20**(8), 722-729(1979)
 - 25) Ershoff B.H., Thurston E.W., Effects of Diet on Amaranth (FD & C Red No.2) Toxicity in the Rat, *The Journal of Nutrition*, **104**(7), 937-942(1974)
 - 26) 武田秀敏, 桐山修八, 食物繊維の水中沈定体積とアマランス毒性阻止効果に及ぼす粒度の影響, 日本農芸化学会誌, **65**(2), 171-176(1991)