

研究の動向

■ 高 β -グルカン含有大麦粉の調理加工特性

埼玉大学教育学部生活創造講座家庭科分野 上野 茂昭

はじめに

大麦は紀元前1万1000年頃から食料とされ、紀元前8500年頃から栽培が始まったとされている。主要穀物である米、小麦、トウモロコシに次ぐ4番目に収量の多い穀物であり、収量は世界でおよそ1億4395万トンとされている¹⁾。大麦の生産量のうち75%が飼料として用いられており、20%がアルコール飲料やノンアルコール飲料の麦芽として利用されている。そして、残りの5%が食用として用いられている²⁾。

わが国に大麦が伝えられたのは縄文期のことで、小麦は弥生時代の遺跡にみられるが、これらは米のように普及しなかった。しかし、中世になって農業技術が発達すると二毛作が可能となり、納税の義務を免れた麦類を盛んに栽培したため、麦飯や雑穀飯が農民の常食となった³⁾。近年わが国においては、米と小麦が最も消費の多い穀類であり、大麦をはじめとするその他の穀類の消費量は少ない(1960年頃までは年間200万トン以上の大麦が国内で栽培されていた)。日本では食料自給率向上のため、国の農業政策として大麦生産量の目標を2020年までに35万トンと設定しているものの、現在の国内収穫量は約17万トンにとどまる⁴⁾。

大麦の品種は大きく分けて3種類あり、二条大麦、四条大麦および六条大麦に分けられる。二条大麦は醸造用の麦芽として用いられ、四条大麦は麦みその原料として用いられることが多い。また、六条大麦は麦茶の原料や和菓子などに用いる「はったい粉」として利用されている。これらの条性による分類の他に、穎果が皮と癒着していないものを裸麦と呼び、穎果と皮が癒着し剥がれにくい種を皮麦と呼んでいる⁵⁾。

Shigeaki UENO

埼玉大学教育学部准教授

〔著者紹介〕(略歴) 東京理科大学基礎工学部生物工学科(2000年3月卒業)、東京大学大学院農学生命科学研究科修士・博士(農学)(2005年3月)、新潟県科大応用生命科学部助手および助教(2005年4月)、東北大学大学院農学研究科助教(2009年4月)を経て、2013年4月より現職、2015年11月より東京学芸大学大学院連合学校教育学研究科兼任。日本学術振興会科学研究費助成事業・審査委員表彰(食生活学)。(専門分野) 食品学、高圧食品加工による機能性付与、加工性改質。

近年、大麦の健康機能性に対する期待から、六条大麦および裸麦の品種の開発が多く行われている。耐寒性があり多収量の「ファイバースノウ」、低ポリフェノール大麦「とちのいぶき」や「はるしらね」、 β -グルカンなどの機能性成分を多く含んだ「ビューファイバー」や「もっちりぼし」など栽培性の改良および高付加価値化を目的とした新品種の開発が進んでいる。またオーストラリア連邦科学産業研究機構が開発した非遺伝子組換え大麦「スーパー大麦バリューマックス」は、一般大麦の2倍の水溶性食物繊維、4倍の難消化性デンプンを含むとして注目を浴び、健康志向の高い消費者に爆発的な人気を博した⁶⁾。

大麦の栄養成分

大麦の栄養成分は、他の穀類と比べ食物繊維含量が多いことで知られている(表1)。食物繊維のなかでも水溶性食物繊維は、血中コレステロール濃度の正常化、血糖上昇抑制、内臓脂肪蓄積抑制など多くの機能性が知られている⁷⁾。小麦および精白米は食物繊維総量のうち不溶性食物繊維が多くの割合を占めている。一方、大麦は水溶性食物繊維の割合が高いことが特徴的である。食物繊維は水溶性と不溶性をバランスよく摂取することが重要とされ、水溶性：不溶性の比率が1：2であることが望ましいとされている⁸⁾。しかし、2012年度における日本人の食物繊維の摂取量は14.2gで水溶性食物繊維の摂取量は3.3g、不溶性食物繊維の摂取量は10.4gとバランスの良い摂取ができていないと言えない。また日本人の食事摂取基準における目標量は、男性19g以上および女性17g以上とされ、現在の日本人の食物繊維摂取量は不足気味である⁹⁾。そのため、水溶性食物繊維含量の多い大麦を摂取することで、バランスの良い摂取量を目指すことができると推奨されている。

大麦食品の開発

大麦は麦飯やサラダとして麦のまま、又は大麦粉を用いた麺やパンなどの加工食品として喫食する。しかし、

表 1. 穀類 100 g あたりの栄養成分¹⁰⁾

	エネルギー kcal	タンパク質 g	脂質 g	炭水化物 g	カリウム mg	水溶性食物繊維 g	不溶性食物繊維 g
大麦押麦	340	6.2	1.3	77.8	170	6.0	3.6
大麦米粒麦	340	7.0	2.1	76.2	170	6.0	2.7
小麦	337	10.6	3.1	72.2	470	0.7	10.1
精白米	355	9.2	0.9	74	88	微量	0.5

大麦粉は小麦粉と異なりグルテンを含んでいないため製パン生地不安定、製麺時の弾力不足が生じ、また液状食品利用時の高い粘度が問題となり多くの食品に利用されていないのが現状である¹¹⁾¹²⁾。他方、大麦粉を小麦粉の代替として食品に利用する研究も進められている。竹内ら¹³⁾は、大麦粉の種類が製パン性に及ぼす影響を調べ、添加率が高いほど品質が低下するが、グルテンの添加、加水量の増加、砂糖添加量の増加によって小麦粉試料の品質に近付くことを明らかにした。原ら¹⁴⁾は、大麦粉置換ベーグルの製パン性と嗜好性を検討し、30%置換が最も好まれ、40%までは配合可能であることを明らかにした。

大麦の様々な特性を改良した品種や製粉技術の向上により、大麦は以前に比べて調理加工しやすくなってきている。埼玉大麦食品普及・食のモデル地域実行協議会では事業者向けレシピ、学校給食向けレシピ、消費者向けレシピを作成するとともに、パン、麺（例えば埼玉大学大麦力・稲庭饅頭）、パスタ、インスタント麺、ココア、菓子類等多数の食品を開発してきた¹⁵⁾。しかし、いずれの食品においても1食あたりの食物繊維量は1~4 g程度であり、日本人の食事摂取基準に及ばないため、効率的に摂取できる新たな大麦粉およびメニュー開発が必要である。

我々の研究グループは、大麦粉の利用可能性をさらに広げるとともに、食事摂取基準に近づけることを目指し、高β-グルカン大麦粉「もっちりぼし」を用いたメニュー開発、および加工特性の改質に関する研究に取り組んでおり、本稿ではその研究成果の一部を紹介する。

高β-グルカン大麦粉を用いたメニュー開発

β-グルカンをはじめとする水溶性食物繊維を効率的に摂取できる食品の例として、大麦粉を用いて調製したホワイトソース、バンズを利用したクリームコロッケのハンバーガーを作製し、様々な特性について小麦粉利用試料との比較を行うことにより、食物繊維を効率的に摂取可能なメニューについて検討した。

大麦粉添加によるバンズの物性への影響を明らかにするため、強力粉に対して高βグルカン大麦粉を0%

25%、50%、75%、100%置換してバンズ試料を調製した。なおクリームコロッケ調製時のパン粉は大麦粉100%試料を用いて調製した。

焼成後のバンズ試料の外観を比較すると、大麦粉置換率0%のバンズはクラストがなめらかで均一であったのに対し、大麦粉置換率が高くなると凹凸が増え、置換率100%ではクラストに大きな亀裂が入っていた。また0%試料と25%試料には綺麗に焼き色が付いていたが、50%試料の焼き色は薄く、75、100%試料には焼き色が付いていなかった（図1、表2）。クラムは大麦置換率に関わらずほぼ同様の色相であった。

大麦粉添加バンズ試料のかたさは、大麦粉の含有量が多くなるにつれて増加する傾向があった（表3）。特に25%、50%試料間でのかたさの増加が顕著であった。凝集性は全ての試料間で有意差が認められ、大麦粉の含有量が多いほど凝集性が低くなった（表3）。

高βグルカン大麦粉利用ホワイトソースの力学物性

薄力粉を高βグルカン大麦粉に置換（0%、25%、50%、75%、100%）したホワイトソースの力学特性の測定を行った（表4）。ホワイトソース試料のかたさは、大麦粉の含有量が多くなるほどやわらかいソースとなり、凝集性は大麦粉の含有量が多くなるほど高くなり、弾力のあるソースとなる傾向が見られた。また付着性はばらつきが大きかったものの、大麦粉の添加によって減少していた。一方、付着距離は大麦粉の添加によって長くなっており、大麦粉の含有量が多いほどよく伸び、ねっとりとしたソースとなる傾向が見られた。大麦粉を添加するとガム性は減少し、50%以上の置換率では差が見られなかった。

高βグルカン大麦粉クリームコロッケ試料の力学物性

高βグルカン大麦粉置換ホワイトソースを用いたコロッケの破断強度測定において、最大応力、総エネルギー、弾性率ともに大麦粉置換率0%（小麦粉100%）が最も大きく、置換率が高くなるにつれて小さくなった（表5）。

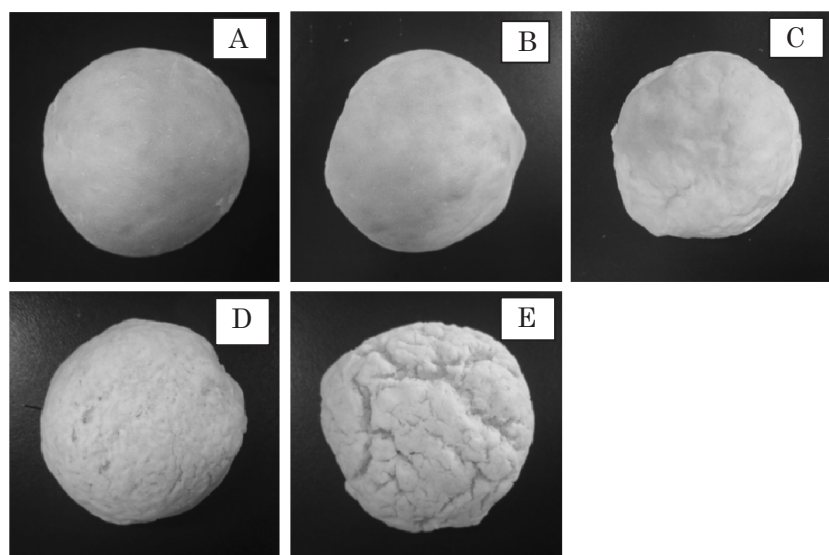


図1. パンズ試料の外観 (大麦粉置換率 0 % (A), 25% (B), 50% (C), 75% (D), 100% (E))

表2. パンズ試料クラストの色

	0 %	25%	50%	75%	100%
L*値	59.94 ± 4.55	66.66 ± 4.51	73.91 ± 1.61	73.09 ± 1.29	71.56 ± 2.13
a*値	16.48 ± 3.19	11.66 ± 4.14	2.66 ± 1.48	2.46 ± 0.53	3.11 ± 0.63
b*値	39.37 ± 1.38	37.66 ± 2.76	26.06 ± 2.32	24.54 ± 0.83	23.88 ± 1.16

n = 27~30, 平均値 ± 標準偏差

表3. パンズ試料のかたさおよび凝集性

大麦置換率	0 %	25%	50%	75%	100%
かたさ [N]	2.51 ± 0.66 ^a	3.10 ± 0.57 ^b	8.82 ± 1.2 ^c	12.8 ± 1.3 ^d	12.7 ± 2.4 ^d
凝集性 [-]	0.701 ± 0.25 ^a	0.612 ± 0.29 ^b	0.684 ± 0.01 ^c	0.615 ± 0.02 ^d	0.471 ± 0.11 ^e

n = 25~30, 平均値 ± 標準偏差, 異なるアルファベット間に有意差あり (p < 0.01)

表4. ホワイトソース試料の力学特性

大麦置換率	0 %	25%	50%	75%	100%
かたさ [N]	2.04 ± 0.21 ^a	1.13 ± 0.16 ^b	0.755 ± 0.070 ^c	0.693 ± 0.069 ^d	0.589 ± 0.077 ^e
凝集性 [-]	0.639 ± 0.027 ^a	0.678 ± 0.047 ^b	0.662 ± 0.14 ^b	0.693 ± 0.032 ^b	0.735 ± 0.043 ^c
付着性 [J/m ³]	121 ± 63 ^a	88.0 ± 49.7 ^b	75.2 ± 44 ^b	84.9 ± 41 ^b	69.6 ± 40 ^b
付着距離 [mm]	3.36 ± 1.8 ^a	3.61 ± 0.81 ^{ab}	4.71 ± 1.8 ^{bc}	5.50 ± 1.8 ^{cd}	5.61 ± 2.2 ^d
ガム性 [N]	1.30 ± 0.12 ^a	0.757 ± 0.076 ^b	0.500 ± 0.12 ^c	0.479 ± 0.041 ^c	5.83 ± 1.7 ^d

n = 25, 平均値 ± 標準偏差, 異なるアルファベット間に有意差あり (p < 0.05)

高βグルカン大麦粉クリームコロッケハンバーガー試料の破断強度試験

大麦粉置換によるクリームコロッケハンバーガーの物性への影響を明らかにするため, 大麦粉に置換して調製したパンズ, ホワイトソースおよびパン粉を用いてクリームコロッケハンバーガーを作製し, 破断強度測定を

行った。

パンズの大麦粉置換率3条件 (0, 25および50%), ホワイトソースの大麦粉置換率3条件 (0, 50および100%), クリームコロッケ調製に用いたパン粉は大麦粉100%で調製したパンズを粉にして利用し, 9条件でクリームコロッケハンバーガー試料を調製した。これらの破断圧縮試験における破断総エネルギーは, パンズの大

表 5. クリームコロッケ試料の力学特性

大麦置換率	0 %	25%	50%	75%	100%
最大応力 [$\times 10^4$ Pa]	19.4 $\pm$ 7.5	17.1 $\pm$ 9.9	13.1 $\pm$ 7.2	9.9 $\pm$ 2.9	10.4 $\pm$ 5.3
総エネルギー [$\times 10^3$ J/m ³]	72.2 $\pm$ 10.3 ^a	59.0 $\pm$ 12.5 ^a	41.7 $\pm$ 5.5 ^b	36.4 $\pm$ 7.5 ^b	34.3 $\pm$ 12.1 ^b
弾性率 [$\times 10^3$ Pa]	147.8 $\pm$ 77.2	117.3 $\pm$ 43.1	89.6 $\pm$ 29.9	88.6 $\pm$ 23.9	81.7 $\pm$ 30.7
破断歪率 [%]	42.9 $\pm$ 6.7	43.3 $\pm$ 3.0	42.8 $\pm$ 4.0	42.9 $\pm$ 8.7	45.1 $\pm$ 7.4
破断応力 [$\times 10^3$ Pa]	120.6 $\pm$ 22.5 ^a	101.9 $\pm$ 24.6 ^a	67.5 $\pm$ 10.6 ^b	57.5 $\pm$ 18.2 ^b	58.0 $\pm$ 21.2 ^b
破断エネルギー [$\times 10^3$ J/m ³]	239.2 $\pm$ 59.0 ^a	205.9 $\pm$ 59.0 ^a	136.7 $\pm$ 53.7 ^b	124.3 $\pm$ 20.7 ^b	125.9 $\pm$ 51.6 ^b

n=20, 平均値 $\pm$ 標準偏差, 異なるアルファベット間に有意差あり (p<0.05)



図 2. クリームコロッケハンバーガー試料の外観 (ホワイトソースの大麦粉置換率 0 %, クリームコロッケのパン粉大麦粉置換率100%, バンズの大麦粉置換率左から 0, 25, 50%)

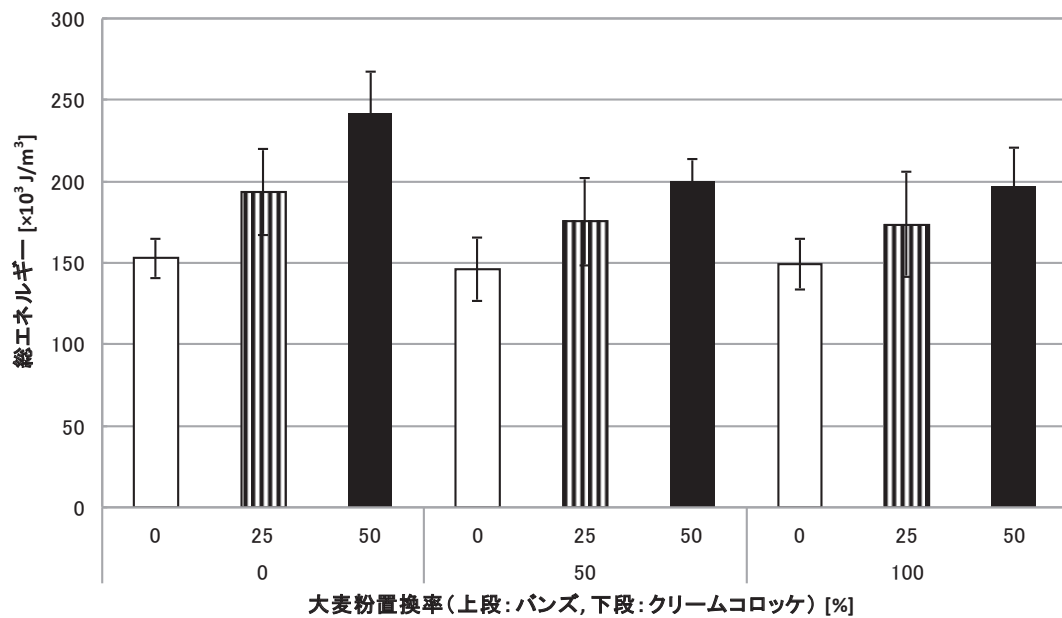


図 3. クリームコロッケハンバーガー試料の破断圧縮試験における総エネルギー

麦粉置換率が高いほど大きかった (図 3)。最も総エネルギーが大きかったのは 0 % コロッケ 50% バンズ試料であり, この試料は 0 % コロッケ 0 % バンズ試料, 50% コロッケ 0 % バンズ試料, 50% コロッケ 25% バンズ試料,

100% コロッケ 0 % バンズ試料および 100% コロッケ 25% バンズ試料との間に危険率 5 % 以下で有意差が認められた。また, バンズの大麦粉置換率と同じである試料同士を比較すると, コロッケの大麦粉置換率が高くなるほど

総エネルギーが減少する傾向が見られたが、有意差は認められなかった。

食物繊維摂取量の推算

本研究で使用した大麦粉（ソフト大麦粉）は、高βグルカン大麦品種「もっちりぼし」を原料としており、その食物繊維量は18.2 gと報告されている¹⁶⁾。したがって、小麦粉の食物繊維量の文献値2.5 gおよび大麦粉の食物繊維量18.2 gとして、調製したクリームコロッケハンバーガーから摂取できる食物繊維摂取量を推算した（表6）。

本研究で調製したクリームコロッケハンバーガー試料の中では、大麦粉置換率50%パンズ、100%ソースの食物繊維含有量が最も高いが、50%パンズは通常のパンズより極めて硬く、消費者には受け入れにくいと考えられる。したがって、物性、食物繊維量を加味して検討すると、25%パンズ100%ソース試料が最も適していると考えられた。このクリームコロッケハンバーガーを1個食べることで一日に必要な食物繊維の1/3以上が摂取できる。

これまで報告されてきた大麦利用食品例の食物繊維総量を比較した（表7）。食物繊維量が報告されていたものはその値を用い、報告されていなかったものについては食品成分表に基づき推算した。本研究で作製したクリームコロッケハンバーガーは1個あたり7.1 gの食物繊維を含んでおり、また食品成分表における一般的な大麦の食物繊維含有量を用いて計算しても4.2 gの食物繊維を含有している。他の大麦利用食品例と比較しても、1食で摂取可能な食物繊維総量は多いと言える。野菜や果物を適度に摂るなど食事の栄養バランスに配慮するととも

表6. 本研究で作成したクリームコロッケハンバーガー1個分の食物繊維総量 (g)

ソース \ パンズ	0 %	25 %	50 %
	4.27	5.85	7.37
0 %	4.27	5.85	7.37
50 %	4.89	6.47	8.00
100 %	5.52	7.10	8.62

に、日常の食事に取り入れることで、効率的に食物繊維が摂取できると期待された。

大麦粉の改質

大麦粉液体食品の高い粘度を解決するために、静水圧の高圧処理を用いた。食品への高圧処理は、大気圧の数千倍の圧力を加えることにより、対象食品内部の構造を破壊し、物性や成分を変化させることが可能と期待される¹⁸⁾¹⁹⁾。大麦粉と等量の蒸留水を加え、均一な生地を作製し真空包装後、種々の圧力において20℃で10分間の高圧処理（試験機、神戸製鋼所）を施した。高圧処理生地を凍結乾燥後に高圧大麦粉試料とした。加水した高圧大麦粉試料について温度プログラム下で粘度を測定したところ、最高粘度が無処理試料の半分程度に減少した（図4）。この高圧大麦粉試料のβグルカン含量は、無処理試料と同程度であったことから、高圧処理により大麦粉の機能性を保持したまま、物理特性を制御可能であることが分かった。

今後の展望

大麦粉は健康機能性に優れた食素材である。本稿では、大麦粉を利用したパンズ、ホワイトソース、パン粉、クリームコロッケを調製し、大麦粉置換率の違いによる物

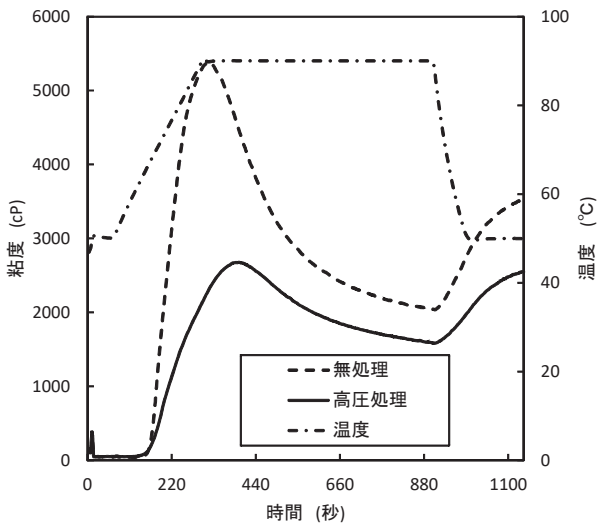


図4. 高圧大麦粉試料の粘度

表7. 既往の研究の大麦食品の比較

食品例	大麦品種	置換率 (%)	食物繊維総量 (g)	文献
食パン	もっちりぼし	15	1.4 (6枚切り1枚)	17
食パン	六条一等ミノリ麦	40	2.7 (6枚切り1枚)	13
うどん	もっちりぼし	15	4.1	17
ベーグル	大粒大麦ニシノチカラ	40	4.2 (1個80gとして推算)	14
ホットケーキ	もっちりぼし		1.7 (1枚)	17

理的特性を測定した。また、 β -グルカンをはじめとする水溶性食物繊維を効率的に摂取できる食品の例として、高 β -グルカン大麦粉を利用したクリームコロッケのハンバーガーを作製し、物理的特性を明らかにすることで、高 β -グルカン大麦粉の効率的な摂食メニューの可能性について検討した。その結果、試料の力学物性および食物繊維量から、大麦粉置換率25%パンズおよび100%クリームコロッケが総合的に優れていると考えられた。この食品は1個あたり7.1gの食物繊維を含んでおり、一日に必要な食物繊維の3分の1以上を摂取することができ、食物繊維の効率的な摂食メニューとなる可能性が示唆された。また非加熱高压処理で大麦粉の粘度上昇を抑制可能であることが示され、今後は粘度改質大麦粉を用いた食品が開発されることを期待する。

謝 辞

高 β -グルカン大麦粉は埼玉大麦協議会から提供頂いた。本研究の一部は公益財団法人飯島藤十郎記念食品科学財団の支援を受けた。また本研究は埼玉大学教育学部家政教育講座の学生（奥山理子；2016年卒）および東京大学大学院農学生命科学研究科の学生（笹尾翔士；2016年修了）の協力で進めた。各氏のご協力に感謝する。

参 考 文 献

- 1) ピーター・ベルウッド, 長田俊樹, 佐藤洋一郎監訳. 農耕起源の人類史. 京都大学学術出版会, 2008, 77-78
- 2) 2013年度 FAOSTAT Production. <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E> (入手日: 2015.12.24)
- 3) 橋本慶子, 下村道子, 島田淳子. 調理と文化. 朝倉書店, 1993
- 4) 農林水産省. “麦の需給に関する見通し.” <http://www.maff.go.jp/j/press/seisan/boeki/pdf/150326-04.pdf> (入手日: 2015.12.25)
- 5) 小柳敦史, 渡辺好昭. 麦類の栽培と利用, 朝倉書店, 2011, 142-146
- 6) 帝人. “帝人スーパー大麦バリューマックス.” <http://www.teijin.co.jp/focus/barleymax/> (入手日: 2017.1.4)
- 7) 青江誠一郎. 大麦 β -グルカンの機能性. 日本食生活学会誌, 2015, 26, 3-6
- 8) 斎藤衛郎, 高橋敦彦, 武林亨. 高コレステロール血症の改善 虚血性心疾患および糖尿病の予防のための食物繊維の適正摂取量. 日本栄養食糧学会誌. 2000, 53, 87-94
- 9) 厚生労働省. “国民健康・栄養調査 (平成26年).” http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/kenkou_eiyouchousa.html (入手日: 2017.1.4)
- 10) 文部科学省. “食品成分データベース,” <http://fooddb.mext.go.jp/> (入手日: 2017.1.4)
- 11) 松本晴美, 丸山良江. 大麦粉, 高繊維大麦粉より調製した4%および6%希釈加熱液の調理特性 穀粉の調理への利用 (第2報). 家政誌. 1986, 37, 439-445
- 12) 松本晴美, 丸山良江, 林裕子, 熱田玲子. 大麦粉, 粟粉, 黍粉のレオロジー的性質. 家政誌. 1984, 35, 165-171
- 13) 竹内枝穂, 津田淑恵. 品種の異なる大麦粉の食パンへの利用. 日本調理科学会誌. 2003, 36, 23-31
- 14) 原たつえ, 高崎房子, 中ノ瀬千尋, 大家千恵子. ベーグルの調理特性 (第2報) —大麦粉の利用—. 東京文化短期大学紀要. 2004, 21, 31-37
- 15) 円谷陽一, 木原誠, 永倉英彦, 川嶋かほる, 東海林義和. 大麦新品種もっちりばしの特性と食品への応用. 食品と科学. 2014, 56, 28-34
- 16) 埼玉大麦食品普及・食のモデル地域実行協議会. 平成25年度日本の食を広げるプロジェクト事業 実施結果報告書. 2014
- 17) 円谷陽一, 大久保俊彦, 東海林義和. 大麦粉使用レシピ集. 埼玉大麦食品普及・食のモデル地域実行協議会, 2014
- 18) 上野茂昭, 重松亨, 陸賢太郎, 斉藤恵, 林真由美, 藤井智幸. 高压処理によるタマネギの改質に関する研究. 日本食品工学会誌. 2009, 10, 37-43
- 19) 上野茂昭. “第2編「応用編」第1章「高圧力の食品加工への応用」第7節「穀類・豆類への加工技術」.” 進化する食品高压加工技術. 重松亨, 西海理之編著. NTS出版. 2013, 177-185