

スペルト小麦で作られた ベーグルパンの調理性と力学特性

喜多 記子*, 岡本 麻衣*, 大倉 洋代**, 長尾 慶子*

(平成19年10月4日受理)

Cooking and Mechanical Properties of Bagels Made from Spelt Wheat

KITA, Noriko OKAMOTO, Mai OKURA, Hiroyo and NAGAO, Keiko

(Received on October 4, 2007)

キーワード：スペルト小麦，ベーグル，小麦粉，食物アレルギー，力学特性，ポリアクリルアミドゲル電気泳動
Key words: spelt wheat, bagel, wheat flour, food allergy, mechanical properties, SDS-PAGE

1. 緒言

スペルト小麦 (*spelt wheat*: 学名 *Triticum spelta*) は現在の小麦の原種であり、すべての栽培小麦がこのスペルト小麦から誕生したといわれ、小アジアから黒海沿岸地方にかけてのトルコ周辺に分布していたものが、19世紀になって、リンク(Link)により発見された¹⁾。通常小麦に比べて非常に良い風味を持っているにもかかわらず、収穫率が低いことに加え硬い皮殻に包まれているので脱穀し難く、製粉歩留まりが悪いのであまり普及していない。しかし、スペルト小麦はたん白質含量が高く、アミノ酸やビタミン、ミネラルを豊富に含んでいることに加えて、普通小麦に比べアレルギーを起こしにくいといわれオーストラリアやヨーロッパでは昔から利用されている。日本でも最近注目され始めているが、スペルト小麦を用いた食品としての研究は少なく²⁾³⁾、アレルギー面については経験的に言われている点が多い。

我々はスペルト小麦の栄養・健康面に注目し、調理食材としての利用性を検討することにした。本報ではベーグルパンを取り上げ、ドウ及び焼成パンの力学特性とたん白質分子量分布および官能評価から普通小麦のそれと比較した。

2. 実験方法

(1) 実験材料

スペルト小麦: Bio-Oz(Organic White Spelt Flour) (オーストラリア産、現地にて製粉後輸入) 成分組成を表1に示す。

表1 スペルト小麦(オーストラリア原地製粉)と普通小麦(日本国内製粉)の成分組成⁴⁾⁵⁾

(100g中)	スペルト小麦	普通小麦
水分 (g)	6.6	14.5
カロリー (kcal)	382	366
たんぱく質 (g)	14.3	11.7
脂質 (g)	2.9	1.8
炭水化物 (g)	74.5	71.6
ビタミンB ₁ (mg)	0.65	0.10
ビタミンB ₂ (mg)	0.23	0.05
食物繊維 (mg)	9.3	2.7

普通小麦: 強力粉カメリア (国内製粉, 日清製粉(株)製) 成分組成を表1に示す。

白砂糖: 市販品 (三井製糖(株)製)

黒砂糖: 鹿児島県産のさとうきびを用いて共著者の大倉が黒砂糖を調製した。

食塩: 市販品 ((財) 塩事業センター)

ドライイースト: スーパーカメリア (日清フーズ(株)製)

(2) 試料調製

1) ドウ及び焼成ベーグルパンの調製

材料配合は料理書⁶⁾の配合を参考にし、予備実験に

* 調理科学研究室

** 県立鹿児島東高校

より、調製のしやすさ、膨らみ具合、出来上がりの表面の艶と張り、味の良さ等を検討し、表2のような材料配合割合に決定した。

表2 ベーグルパンの材料配合 (g)

材料	白砂糖		黒砂糖	
	スペルト小麦 ベーグル	普通小麦 ベーグル	スペルト小麦 ベーグル	普通小麦 ベーグル
小麦粉	250	250	250	250
砂糖	15	15	15	15
食塩	2.5	2.5	2.5	2.5
ドライイースト	2.0	2.0	2.0	2.0
蒸留水	140	140	140	140

- ① ボウルに分量の小麦粉、砂糖、塩、ドライイースト、蒸留水 (25℃) を入れ、手で500回混ねつする。
- ② 生地を100gずつに分割して丸め、ボウルの中で、ぬれ布巾をかけ、室温 (約25℃) に10min放置後、得られたドウをテクスチャー測定用試料とした。また、応力緩和試験には加熱温度に伴う膨化の影響を考慮し、ドライイーストを除いたドウを測定用試料とした。
- ③ ②のそれぞれを3回折りたたんで空気抜きをし、長さ25cmの棒状にした後、直径9cmのリング状に成型し、さらに室温で30min放置した。
- ④ 95℃の湯中に1個ずつ投入し、片面20secずつ (計40sec) 加熱し、水切りした。
- ⑤ ガスオーブン (コンベック GMO-S3600型) を用いて、190℃、15min焼成し、網の上で室温 (約25℃) に35min放置して粗熱をとり、破断強度、色差計および比容積測定ならびに官能検査用試料とした。

2) SDS-PAGE電気泳動分析試料の調製

70% (v/v) エタノール22.5mlに、スペルト小麦粉と普通小麦粉を各々7.5g加え、40℃、500rpmで40min攪拌し、25℃、5000rpmで10min遠心分離して得られた上清を電気泳動分析用試料とした。

(3) 測定方法

1) 生ドウのテクスチャー測定

レオメーター ((株)山電製, RE2-33005) を用いて、(2)-1) で得られたドウ10gを直径32mm、高さ15mmの小型シャーレに平らに入れ、プランジャー径8mm、測定歪率60%、測定速度5mm/secとして測定を行い、かたさの指標となる圧縮応力 (N/m²) を求めた。

2) ドウの応力緩和測定

レオメーター ((株)山電製, RE2-33005) を用いて、(2)

-1) で得られたドウ25gを既報⁷⁾と同様のサーモジャケット付き試料容器内に詰め、循環恒温槽より試料温度を一定温度 (30~90℃) に制御しながら測定した。プランジャー径30mm、歪率5%として、得られた応力緩和曲線より初期応力が1/eになる時間である緩和時間 (sec) を求めた。測定温度は30、50、70、90℃とした。測定中は試料の乾燥を防ぐため、試料表面を食品用ラップフィルムで被覆し、さらにレオナー測定部を保護カバーで覆った。

3) 焼成パンの破断強度測定

レオメーター ((株)山電製, RE2-33005) を用いて、(2)-1) で得られたベーグルパンを5等分に分割後、高さを2cmに調整し、プランジャー径3mm、測定歪率90%、測定速度5mm/secとして測定を行い、パンの硬さの指標となる破断応力 (N/m²) を求めた。

4) 焼成パンの比容積測定

(2)-1) で得られたベーグルパンの重量、体積 (菜種法) を測定し、体積を重量で除した比容積を算出した⁸⁾。

5) 焼成パンの表面色測定

測色色差計 (日本電色工業 (株), ZE-2000) を用いて、(2)-1) で得られたベーグルパンを5等分に分割したものの表面を測定した。反射法により Hunter 表色系 L, a, b 値及び ΔE を求めた。

6) SDS-PAGE電気泳動分析

(2)-2) の試料液10μlと試料処理液10μlを加えたものを60℃、10minの加熱処理を行った。その後、ATTO製 AE-6440型ラピダス・ミニスラブ電気泳動装置を用い、SDS-ポリアクリルアミドゲル電気泳動法 (SDS-PAGE) で各小麦粉中のたんぱく質の分子量を分析した。ゲル濃度は10%とし、20mA、0℃、110min泳動後、クマジーブリリアントブルーで染色を行った⁹⁾。

7) 焼成パンの官能評価

(2)-1) で得られた黒砂糖を使用したスペルト小麦ならびに普通小麦のベーグルパンを官能評価試料とした。評価項目は外観 (形)、外皮の色、弾力、きめ、軟らかさ、すだち、内相の色、香り、しっとり感、飲み込みやすさ、甘味、味の12項目の識別試験と嗜好面での総合評価を加えた13項目とした¹⁰⁾。評価は7点評価法で行い、評価尺度項目は非常にない (悪い) -3, かなりない (悪い) -2, ややない (悪い) -1, どちらともいえない 0, ややある (良い) +1, かなりある (良い) +2, 非常にある (良い) +3とし、普通小麦調製ベーグルパンを

対照の0として評価させた。パネルは東京家政大学調理科学研究室員14名とした。

3. 結果及び考察

(1) 小麦粉の種類及び砂糖の種類がドウの圧縮応力に及ぼす影響

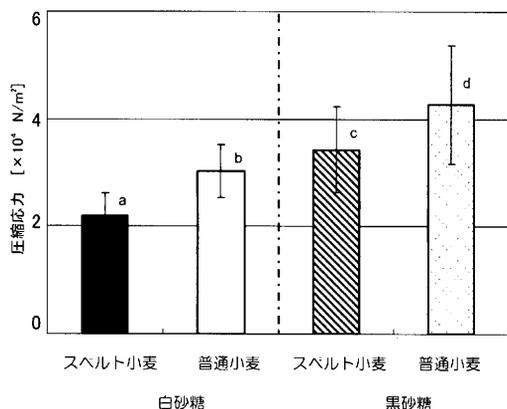


図1 スペルト小麦と普通小麦の生地ドウ(砂糖の種類別)の圧縮応力の比較
異符号間で有意差あり:p<0.05

テクスチャー測定より得られた圧縮応力の結果を図1に示す。白砂糖、黒砂糖共にスペルト小麦が普通小麦よりも有意に低値となり、軟らかい生地であった。小麦粉そのものの水分量がスペルト小麦は普通小麦に比べ少ないにもかかわらず、このような結果になったのは、グルテンの性質の違いなどが考えられる。また、紙数の関係で本報には示していないが、スペルト小麦の生地は付着性も大であった。そのため、パンを成型する際にもスペルト小麦の方が軟らかく、手に付着しやすいため、成型がし辛い点が難点としてあげられる。

(2) ドウの応力緩和測定結果

先の圧縮応力結果において、白砂糖と黒砂糖のドウに同様の傾向が見られたので、白砂糖を用いた生地について、さらに加熱温度に伴うドウの粘弾性を比較するため試料温度を変えた応力緩和測定を行った。試料に一定歪を与え、その応答として現れる応力が時間的に緩和していく現象を記録した応力緩和曲線から、初期応力が1/eになる時間である緩和時間を求め、図2に示している。試料が弾性体に近づくほど緩和時間はより短くなり、粘性体に近づくほど緩和時間がより長くなるといわれている。室温に近い30℃試料ではスペルト小麦の方が緩和

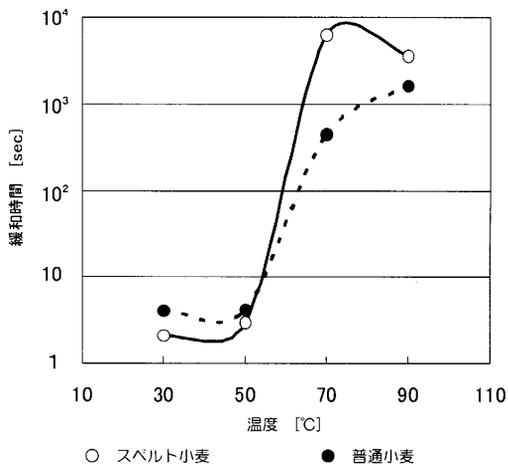


図2 応力緩和試験でのスペルト小麦と普通小麦ドウの応力緩和時間

時間が短く、より弾性体の性質が強いことを示しているが、グルテンたんぱく質の熱凝固やでん粉の糊化が進行している70℃や90℃では、スペルト小麦の方が緩和時間は著しく長くなり、粘性要素がより強く現れ、物性に变化が生じていることが推察された。その変化の程度はスペルト小麦の方が大であった。このように、生地の緩和時間が変化していくことは、焼成中及び焼成後のパンの物性にも影響を及ぼしていることが示唆された。

(3) 焼成パンの破断強度測定結果

焼成したベーグルパン試料の破断応力結果を図3に示す。白砂糖、黒砂糖の種類に関わらず、普通小麦よりもスペルト小麦の破断応力が大で有意に硬いという結果となった。先述の生ドウのテクスチャー測定ではスペルト

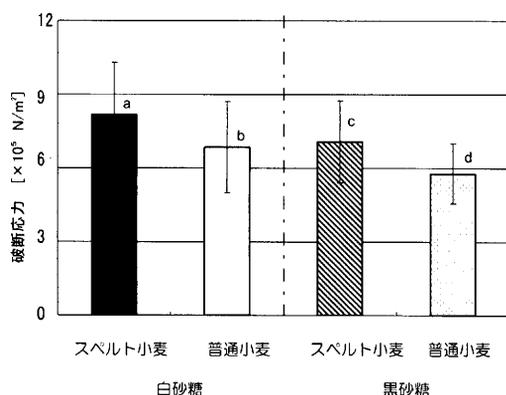


図3 スペルト小麦と普通小麦の焼成パン(砂糖の種類別)の破断応力の比較
異符号間で有意差あり:p<0.05

小麦のベーグル生地が軟らかいという結果であったが、焼成すると硬くなり、噛みしめのあるパンとなることが示唆された。また、黒砂糖と白砂糖と添加する砂糖の種類を変えた試料間で比較すると、小麦粉の種類に関わらず黒砂糖を用いたパンの方が有意に軟らかくなった。この点については、本実験に使用した黒砂糖の水分量や、ミネラル成分、pHなどの影響も考えられ、今後の検討課題といえる。

(4) 焼成パンの比容積測定結果

菜種法により測定した焼成パンの比容積を図4に示す。

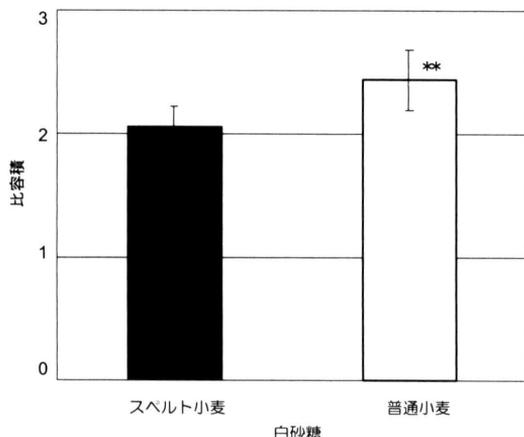


図4 スペルト小麦と普通小麦の焼成パンの比容積
*:p<0.01

普通小麦に比べ、スペルト小麦の方が比容積は小さく、普通小麦の方がよく膨化していた。黒砂糖で調製した試料の場合も同様の結果であった。スペルト小麦のたんぱく質含量が多いにも関わらず、上述のような結果になったのは、スペルト小麦には食物繊維が多く含まれていることや、グルテンそのものの性質の違いが影響したのではないかと推察される。生地の膨化の程度が小さい為、焼成したパンも硬くなったと考えられる。しかし、今回使用したスペルト小麦はオーストラリアで製粉後、日本に輸入されたものであり、比較対照とした普通小麦は、日本国内での製粉であることで、製粉時期も異なるため、今後はその点について調製条件を統一した試料での比較実験を行っていきたいと考えている。

(5) 焼成パンの表面色測定結果

結果を表3に示す。明度の程度を示すL値はスペルト小麦の方が高く、黄色味の程度を示すb値はスペルト小麦の方が高く、スペルト小麦焼成パンがやや黄色味を帯

表3 スペルト小麦と普通小麦の焼成パンの色差の比較

	L値	a値	b値	ΔE
スペルト小麦	58.0±16.9	-1.4±3.5	11.2±1.4	8.8±5.3
普通小麦	49.2±11.5	-2.2±2.7	10.8±0.8	0.0

びた焼き色となった。色差であるΔEも大いに差があるという感覚的な違いが見られた。焼きあがりの外観ではスペルト小麦の表面はつやがなく、少しざらついていた。このことはアミノカルボニル反応に影響するアミノ酸などのたんぱく質や糖分の違いが考えられる。この点も詳細な検討事項と考えている。

(6) SDS-PAGE電気泳動分析

SDS-ポリアクリルアミドゲル電気泳動分析の結果を図5に示す。スペルト小麦は普通小麦に比べ37kD以下の低分子バンドがやや濃く表れた。この分子量域は小麦アレルギーに起因するグリアジン成分が多く¹¹⁾、このような分子量分布の違いがドウ生地や焼成ベーグルパンの物性、また、アレルギーを起こしにくいことに影響を及ぼしていることが推察された。

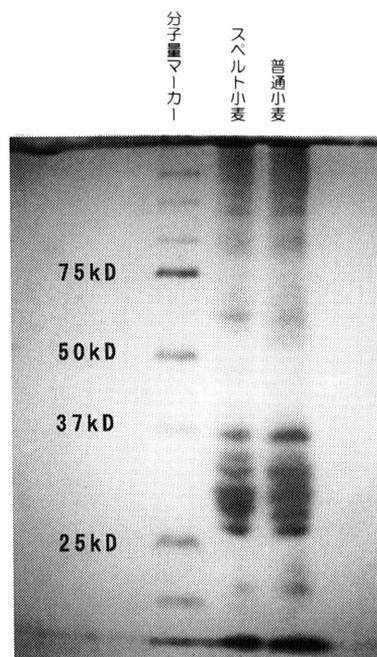


図5 SDS-PAGE法によるスペルト小麦と普通小麦の分子量分布

ゲル濃度：10%

(7) 焼成パンの官能評価

2種類の焼成ベーグルパンの品質を総合的に判断するために行った官能検査結果を表4に示す。

スペルト小麦のたん白質分子量に低分子化の様子が観察された。

6. 官能評価ではスペルト小麦焼成ベーグルパンが味と総合評価の項目で好ましい結果となった。

表4 スペルト小麦と普通小麦の焼成パンの官能評価結果 (n=14)

外観の形	0.43	香り	0.50
外皮の色	1.00*	しっとり感	-1.07**
弾力	1.30**	飲み込みやすさ	-0.79**
きめ	0.10	甘味	0.00
軟らかさ	-0.93**	味	1.00*
すだち	0.00	総合評価	0.86*
内相の色	0.93**		

普通小麦を対照(0)として、スペルト小麦を7段階評価させた。

** :p<0.01 * :p<0.05

スペルト小麦の方が、外皮の色が強く、弾力性があり、硬く、内相の色も濃いという項目で有意に差がみられた。これらは先の機器測定での破断強度や色差計での結果と一致していた。また、しっとり感、飲み込みやすさではマイナス評価となったが、味の項目で有意に高い評価となった。スペルト小麦で調製したパンは、普通小麦に比べ、噛んでいく内に、口腔内で甘味と旨味が広がり、何もつけなくてもそのまま食べても美味しいという評価であった。弾力性や軟らかさにおいても、程よく硬く噛みしめのあるパンであるということから、総合的にも普通小麦よりも好ましい評価を得た。

4. 要約

スペルト小麦の調理への応用を考えて、ベーグルパンの物性と嗜好性を検討した結果、以下の結果を得た。

1. 生ドウの圧縮応力はスペルト小麦試料の方が低値で軟らかい生地となった。それは添加する砂糖の種類異なる白砂糖ならびに黒砂糖添加生地ドウでも同様の傾向であった。
2. ドウ生地の品温30℃の応力緩和試験では、スペルト小麦試料の方が普通小麦のそれより緩和時間が短く弾力性が強く表れた。
3. 焼成パンの破断試験では、スペルト小麦試料の方が破断応力が大で硬く噛みしめのあるパンであることが明らかとなった。
4. パンの比容積は普通小麦試料に比べて膨化の程度は小であった。
5. SDS-ポリアクリルアミドゲル電気泳動測定より、

謝 辞

本研究を進めるにあたり試料を提供下さいました、農事開発研究所 谷端淳一郎様、西尾製粉株式会社 長尾治様、ご助言賜りました高知工科大学 牧田寛先生に厚く御礼申し上げます。また、実験にご協力下さいました調理科学研究室 辻沙織さんに感謝申し上げます。

引用文献

- 1) 岡田哲：コムギ粉料理探究事典，東京堂出版，東京，p.175 (1999)
- 2) 広瀬潤子，吉野（家護谷）世美子，小椋美保，片岡美幸，成田宏史：スペルト粉の小麦粉代替食品としての有用性の検討，京都女子大学食物学会誌，53，41-44 (1998)
- 3) 成田宏史：モノクローナル抗体を用いた小麦アレルゲンのエピトープ解析，飯島記念食品科学振興財団平成9年度年報，164-167 (1997)
- 4) Wighard Strehlow：The wonder food SPELT，Purity Foods，p.1-41
- 5) 医歯薬出版株式会社：五訂増補 日本食品成分表，東京，(2006)
- 6) 伊藤勇：BAGLE&BAGLE，p.6-7
- 7) 長尾慶子，藤井彩香：デンプン粒~水系の糊化にともなう状態変化の微視的および巨視的観察，日調科誌，38，45-50 (2005)
- 8) 金谷昭子：フローチャートによる調理科学実験・実習，医歯薬出版株式会社，東京，p.8 (1984)
- 9) 谷尾昌彦，田谷省三，高山敏之：日本とオーストラリアの小麦品種におけるγ-グリアジンの電気泳動バンド構成，中国農業試験場研究報告，19，47-58 (1998)
- 10) 原たつえ，中ノ瀬千尋，高崎房子，梅國智子，大家千恵子：ベーグルの調理特性，日調科誌，37，292-298 (2004)
- 11) 小川正，篠原和毅，新本洋士：抗アレルギー食品開発ハンドブック，サイエンスフォーラム，東京，p.23 (2006)

Abstract

We examined the cooking properties of bagels made from spelt wheat flour, which is an original kind of wheat, and compared the mechanical properties and sensory evaluation of the dough and bagels with those made from common wheat flour. The dough made from spelt wheat was softer than common wheat by texture measurement. It was similar to dough with brown sugar and white sugar added. Differences in elasticity and viscosity were noted between the dough made from spelt wheat and common wheat during preparation by means of retardation time. Bagels made from common wheat flour were larger and its specific volume swelled out more than spelt wheat. Rupture stress of bagels made from spelt was higher than common, giving it a crisper texture. There was a difference between the protein molecular weight of the two kinds of wheat flour according to SDS-PAGE analysis. Bagels made from spelt wheat were favorably evaluated by sensory evaluation test for taste and total evaluation.