

フード ケミカル

月刊

食品のおいしさと安心を科学する技術情報誌
A Technical Journal on Food Chemistry & Chemicals.

2018

2

394

特集1

低糖質食品開発の今

特集2

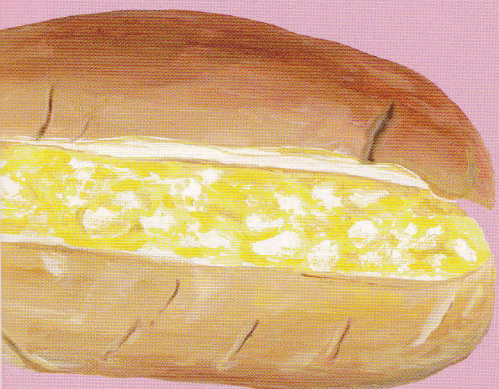
コッペパンアップデート



PICK UP!
編集部イチ押し

(株) 林原 ファイバリクサ™

ifia
JAPAN
International
Food Ingredients
& Additives
Exhibition
and Conference



古代穀物スペルト小麦の特性を活用した小麦粉製品の提案 ——機能性と嗜好性の向上を目指して——



赤石記子 Noriko Akaishi
東京家政大学 家政学部栄養学科 講師

あかいし・のりこ

●略歴 東京家政大学栄養学科卒業。同大学院家政学研究科博士課程修了。博士(学術)。管理栄養士。
●専門分野 調理科学, 栄養学, 家庭科教育



長尾慶子 Keiko Nagao
東京家政大学大学院 客員教授

ながお・けいこ

●略歴 お茶の水女子大学食物学科卒業。現在、東京家政大学大学院 人間生活学総合研究科 客員教授。博士(学術)。
●専門分野 調理科学, 家庭科教育, 食生活学

1. はじめに

米と並ぶ主食の位置にある小麦粉は、加工用途が非常に幅広く、主食としてのめん、パン以外にてんぶらの衣や菓子、ソース、加工食品にと種々の食べ物に多用されている。現在、私たちが利用している小麦粉は、分類上普通小麦(*Triticum aestivum*)であり、品種改良が繰り返されたものである。この普通小麦以前に栽培され、古代ローマ帝国時代に最も多く栽培されていたのがスペルト小麦(*Triticum spelta*)で古代穀物と呼ばれている。スペルト小麦は脱落性が高く収穫量が低いことや皮殻が硬く脱穀しにくいことから、改良された普通小麦が一般的になっていた。しかし、近年、再び欧米を中心に注目されている。その優位性として、普通小麦より味や風味が良いこと、皮が硬いために鳥害を受けることが少なく、栽培しやすいこと、低農薬栽培が可能であること、栄養成分のタンパク質、ビタミンB₁、ビタミンEを多く含んでいること、また、小麦アレルギーを発症しにくいことが挙げられ、日本でも最近見かけるようになってきている^{1,2)}。これまでにスペルト小麦粉を製品に加工した場合の調理性や嗜好性に関する研究は少なく、ましてやアレルギー性や健康機能面については経験的にいわれているにすぎず、その根拠は明らかになっていない。わが国では、食物アレルギーの原因食品として、小麦が鶏卵、乳製品に次いで3番目に挙げられ、乳幼児から成人までの幅広い世代を通して患者数が多い

ことが報告³⁾されている。患者にとっては原因食品を除去することが一番安全ではあるが、代替食品を生涯にわたり選択することは負担が大きく、誤食により重篤な状況になる危険もある。最近では、症状が出ない程度に原因食物を摂取し続けて耐性獲得を目指す“経口免疫療法”⁴⁾が進められており、低アレルゲン化された食品を利用することで、早期の耐性獲得につながることを期待されている。

小麦粉の低アレルゲン化については加熱や発酵などの操作法が挙げられ、小麦粉の種類や調理条件を工夫することで、少量でも食べられる小麦粉製品が提案できれば、小麦アレルギー患者のQOLの向上にも貢献できるといえる。

そこで筆者らはスペルト小麦の優位性を活用するため、小麦粉製品の中から副材料の種類、発酵条件および加熱方法が多岐にわたるパン製品を研究対象に取り上げた。

まず初めにスペルト小麦粉の加工適性を普通小麦粉と比較した。愛知県西尾市の西尾製粉の協力を得て、同日に同条件で製粉された小麦粉を用いてベーグルパンを調製し、調理食材としての利用適性を物性と嗜好性、および抗酸化性から比較検討した⁵⁾。

2つ目にパンの加熱方法に注目した。「ロールパンやフランスパン等」で行われる一般的な方法としてオーブン加熱がある。それ以外に「ベーグルパン」はドウを一旦ゆで加熱後にオーブン加熱を行う[ゆで+オーブン]の2段階加熱法(以降、ベーグル加熱)であり、中国の饅頭(肉まん、あんまん)は蒸し加熱で、

ロシアの「ピロシキ」や日本の「カレーパン」は揚げ加熱で調製されている。他に簡便な方法として電子レンジ加熱もある。このようなパンの加熱方法の違いが、イーストの活性化や発生した二酸化炭素による容積増加などのパンの外観の変化とともに、嗜好性や栄養機能性成分量の増減、アレルギー性にも影響してくると推察される。そこで、スペルト小麦粉を使用した加熱方法の異なるパン製品に及ぼす上記影響について検討した⁶⁾。

3つ目に発酵種に注目した。現在、ドライイーストにはない独特のフレーバーと食感を持つ自然酵母パンに人気があるが、発酵種とする食品素材中の微生物や酵素、および発酵条件などが嗜好性、機能性、アレルギー性に影響を及ぼすことが考えられる。そこで、ドライイーストを対照とし、発酵種によく利用されるレーズン、日本の酒饅頭に使われる米糀、および乳酸菌の有用性が期待できるヨーグルトを各発酵種試料とし、それら発酵液がスペルト小麦粉パン製品に及ぼす影響について検討した⁷⁾。

4つ目にドウの発酵条件をとりあげた。これには小麦粉に直接発酵液を加える「ストレート法」と、パンの材料である小麦粉の一部と各発酵液を予備発酵させたものをそれぞれの残りの小麦粉に加える「中種法」とがあるが、これら発酵条件が製品に及ぼす影響についても検討した^{7,8)}。

以上の4視点から検討し、得られた結果について紹介する。

2. 実験方法

1) 実験材料

- ・スペルト小麦粉：(原産地)オーストラリア
- ・普通小麦粉：(原産地)アメリカ1銘柄とカナダ2銘柄の小麦をブレンド

各小麦粉は西尾製粉(愛知県)に製粉を依頼した。黒砂糖は当研究室大倉洋代氏自家製(原材料：奄美大島産サトウキビ)とし、上白糖、食塩、ドライイースト、レーズン、米糀、粥、ヨーグルトは市販品を使用した。

2) 試料調製

(1) 普通小麦粉との加工適性の比較試料

普通小麦粉およびスペルト小麦粉を使用して各ベーグルパンを調製した。すなわち各小麦粉250gに対して上白糖または黒砂糖6%、食塩1%、ドライイースト0.8%、水(25℃)56%を加えて良く混捏(ねつ)し、100gずつに分割後、10分間1次発酵させ、リング状に成型した。さらに30分間2次発酵させた。それら生地を95℃の湯中で片面20秒ずつゆで加熱後、オーブンで190℃、15分間焼成した。

(2) 加熱方法の異なるパン試料

上記各小麦粉に対して上白糖1%、食塩1%、ドライイースト1%、水(25℃)56%を加えて良く混捏し、10分間1次発酵させ、25gずつに分割後、丸く成型した。さらに30分間2次発酵させた。加熱条件は①オーブン加熱法(190℃、15分)、②ベーグル加熱法(40秒ゆで加熱後、オーブンで190℃15分加熱)、③揚げ加熱法(170℃、3分)、④蒸し加熱法(100℃、10分)、⑤電子レンジ加熱法(500W、90秒)とし、得られた各パンを試料とした。

(3) 発酵液の異なるパン試料

発酵液は滅菌水に砂糖とレーズンを加えたものを「レーズン発酵液」、滅菌水に米糀と粥を加えたものを「糀発酵液」、滅菌水に砂糖とヨーグルトを加えたものを「ヨーグルト発酵液」とし、恒温恒湿庫で30℃、65%RH、72時間発酵させ、ろ過した液を使用した。

スペルト小麦粉130gに各発酵液を56%、砂糖、塩を各1%加え混捏し、1次発酵ならびに2次発酵させ、スチームコンベクション

オーブンで焼成(180℃, スチーム80%3分→0%5分)した。これを[ストレート法]パンとした。(ヨーグルト発酵液のみ, パン発酵を助けるため, 小麦粉に対して0.15%のドライイーストを添加した。)

次にあらかじめ上記小麦粉と各発酵液の一部各50gを2回に分けて2日間予備発酵させ, その発酵種に残りの材料を混合し, 同様に焼成した物を[中種法]パンとした。

対照試料は発酵液を水に替え, ドライイーストを1%加え, 同条件で焼成したドライイーストパンである。

3) パンの破断強度測定

レオメーターII(山電製RE2-33005S)を用いて, 上記(1)の試料を5分割後, 皮面部からの破断試験を実施した。測定条件は, ロードセル:20N, 測定歪率:90%, 測定速度:5mm/s, プランジャー:φ3mmの円柱型とした。

4) 抗酸化能測定(化学発光法)

上記(2)(3)の試料を凍結乾燥後粉碎した。

各々の2gに70v/v%エタノールを20mLずつ加え, 抽出した液を測定に供した。ルミテスターC-100(キッコーマン製)を用いて以下のように実施した。

40mM AAPH/0.1Mリン酸緩衝液, pH7.0に0.1Mリン酸緩衝液または各濃度の試料抽出液をルミチューブに入れて攪拌後, 37℃で2分間恒温槽中にて加温処理をした。次にルミノール試薬200μLを添加し, ルミテスターで化学発光値を測定した。

コントロールとして0.1Mリン酸緩衝液を用いて, 試料を原液から順次リン酸緩衝液にて希釈し, コントロールの発光値を1/2にする濃度をIC₅₀値(%)として求めた。つまりこのIC₅₀値が小さいほど, 抗酸化能が大きいことを示している。

5) SDS-PAGE(電気泳動分析法)

(2)の凍結乾燥試料からタンパク質を抽出し, 10-20%グラディエントゲル(ATTO製)で20mA, 100分泳動後, CBB染色し, 比較した。

6) ELISA法によるアレルギー性の評価

上記(3)の発酵液の異なるパン試料について, モリナガFASPEK小麦測定キット(グリアジン:(森永生科学研究所)を用いて, ELISA測定をした。パンを凍結乾燥後, 粉末にしたものを測定キットの指示に従って, 抽出ならびに希釈して分析した。

なお, このキットは, 試料中のグリアジンを指標に小麦総タンパク質濃度を測定するものである。得られた結果を小麦粉中のアレルギー物質質量すなわち小麦抗原量として表した。

3. 結果および考察

1) 普通小麦粉との加工適性の比較

普通小麦粉とスペルト小麦粉でそれぞれベーグルパンを調製し, 検討した結果, 焼成前のスペルト小麦ドゥは普通小麦ドゥに比べて軟らかく, 弾性要素よりも粘性要素の寄与割合が高く, 展延性が大きであった。すなわち, このような展延ドゥは戻りにくく, 軟らかく成型しやすいといえる。さらにパン焼成中に発生した二酸化炭素がグルテン膜を伸展しやすくしているものと推察され, 焼成スペルト小麦パンの比容積も普通小麦のそれに比べ有意に大となり, よく膨化していた。これは輸入小麦粉で調製したパンの低膨化性⁹⁾が, 国内製粉を用いることにより改善されることが明らかとなった。次にベーグルパンの破断強度試験の結果を図1に示した。パンの調製において, 砂糖はイーストの発酵を助長し風味に寄与する。今回一般的な上白糖だけでなく黒砂糖を利用したのは, 黒砂糖中に多量含有されるミネラルなどの成分が, 小麦粉中

のタンパク質やデンプンに作用することが考えられたためである。小麦粉の種類および砂糖の種類を変えることで、放置時間35分後のパンの破断応力に小麦粉の種類や砂糖の種類による差は観察されなかったが、24時間後にはスペルト小麦[上白糖]パンのみ有意に硬くなり、老化が進行していた。この理由として、デンプンの老化に関わるアミロースとアミロペクチンの存在比が考えられたが、黒砂糖の添加により老化を抑制することが可能であった。黒砂糖には、保水性が高くパンの老化を遅らせるといわれる果糖が多いことと、カルシウムやマグネシウム、カリウムなどの成分が製パン性を良好にすることが報告¹⁰⁾されており、黒砂糖中に含まれるそれらの成分によりデンプンの網目構造が強固に形成され、焼成後も弾力性が維持されやすいことが考えられた。

嗜好性を評価する官能評価で、スペルト小麦ベークルパンおよび普通小麦ベークルパンの総合的な嗜好性に有意差が見られなかったことから、スペルト小麦粉は普通小麦粉の代替利用が期待できること、ならびに黒砂糖添加による調理性の向上が明らかとなった。

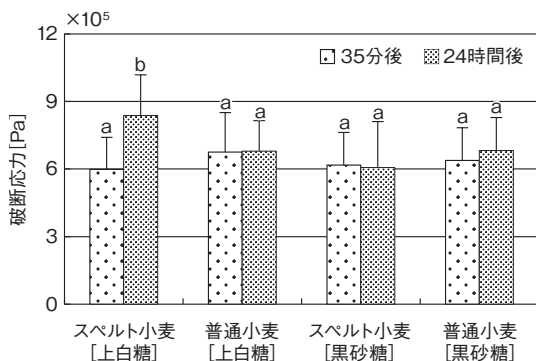


図1 小麦粉および砂糖の種類がベークルパンの破断応力に及ぼす影響
n=12-18 異符号間に有意差あり: $p < 0.05$

2) 加熱方法を変えた場合の影響

パンを製造する際には種々の加熱手法が取られることが予測される。その際には製品の外観と食感だけでなく、健康機能性(ここでは抗酸化性を対象とする)やアレルギー性にも影響を及ぼすと推測し検討を行った。

製品の外観に及ぼす影響として、ベークル加熱法はゆで操作中にドウ内部が予備加熱され、表面は水分により展延性に富みパンの比容積は他の加熱法に比べて最大となり、良く膨化していた。食感に及ぼす影響として、パン外層部(クラスト)の破断曲線では、水分を利用しない乾式加熱ではもろさのある脆性傾向を示し、蒸し加熱および電子レンジ加熱法では軟らかい延性傾向を示した。パン内部の破断エネルギーは、オープン加熱と電子レンジ加熱で高値となり、ベークル加熱、揚げ加熱、および蒸し加熱で低値となった。これらの結果よりパン外層部および内部の水分量の多少が食感に関与していることが明らかとなった。次に、これら小麦粉の種類および加熱法の異なる各パンの抗酸化能を化学発光法により測定し、結果を図2に示した。

いずれの加熱法でも、スペルト小麦の方が普通小麦よりもIC₅₀値が小さく、抗酸化能が大となった。これには、スペルト小麦には抗酸化能が大であるビタミンE(トコフェロール)が普通小麦に比べて多いことが影響したと考えられる。また加熱法が抗酸化性に及ぼす影響として、普通小麦パンでは生ドウを加熱することで抗酸化能が減少するのに対し、スペルト小麦パンではいずれの加熱条件下でも抗酸化能は低下せず高い安定性が認められた。このように加熱操作によって抗酸化性が失われにくいことは、スペルト小麦粉をさまざまな製品形態で提供しても高い抗酸化性を保持できることが明らかとなった。

「温故知新プロジェクト」は生活科学全般にかかわる総合研究プロジェクトですが、本誌では食のテーマについて取り上げています。

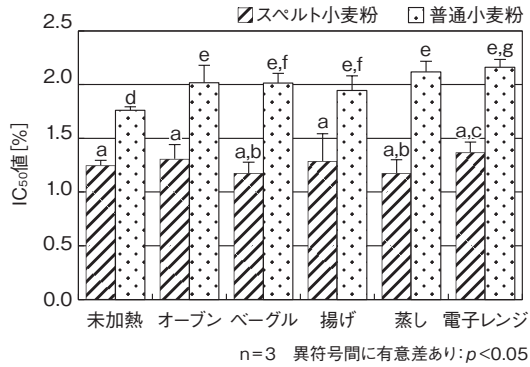


図2 小麦粉の種類および加熱法の異なるパンの抗酸化性

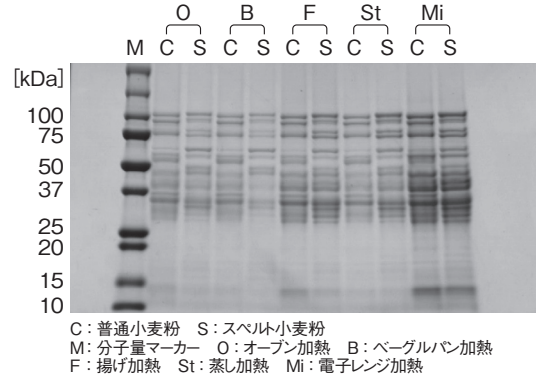


図3 小麦粉の種類および加熱法の異なるパンのSDS-PAGE

次に、小麦粉の種類および加熱法の異なるパンのSDS-PAGE（電気泳動分析法）によるタンパク質分子量分布の結果を図3に示した。

スペルト小麦粉と普通小麦粉とは異なる分子量分布を示しており、特に50 kDa、37 kDa付近のバンドに差が見られた。加熱時間の長いオープン加熱や蒸し加熱において10～15 kDaのバンドが消失しており、短時間加熱となる揚げ加熱や電子レンジ加熱では残存している。この10～15 kDa付近はアレルゲンの塩可溶性画分のα-アミラーゼ/トリプシンインヒビターファミリーが存在する分子量といわれている。この結果は、加熱による小麦アレルゲンの変化を示唆するものである。

3) 各種発酵液利用による効果

パンの発酵には、ドライイーストが簡便で利用されることが多い。先述したように最近では時間と手間のかかる「天然酵母パン」が、ドライイーストパンとは異なる風味と食感、健康的イメージを持つとして人気がある。

そこで発酵種によく利用されるレーズン、米糀、ヨーグルトより得られる発酵液および従来のドライイーストをそれぞれ添加した各種焼成パンを調製し、抗酸化性とアレルゲン性の評価、および官能評価を行い比較検討した。

発酵液の種類および発酵条件の異なるパンの抗酸化性の結果を図4に示した。ドライイーストに比べ、レーズンおよび糀発酵液パンの抗酸化性が最も高く、ヨーグルト発酵液パンの場合には[ストレート法]よりも[中種法]でさらに高くなった。これは発酵液中のレーズンや糀、ヨーグルト由来のポリフェノール類や抗酸化能を有するビタミン類、ならびにペプチド類が含まれており、それらがパンに付与されたためと考えられ、パンの抗酸化性の向上にはこれら発酵液の添加は有効であった。

小麦の低アレルゲン化に関する研究は、食塩水で小麦粉を洗う方法、酵素を反応させる方法、微生物を利用した発酵で小麦タンパク質を分解する方法が報告^{11～13)}されている。

そこで、スペルト小麦を用いた発酵液の種類および発酵条件を変えたパンについて、ELISA (Enzyme-Linked Immuno Sorbent Assay) 法により小麦抗原量を測定し、アレルゲン性を評価した(図5)。

対照のドライイーストパンと、いずれの発酵液を使用した[ストレート法]調製パンとの抗原量には有意差がなかったが、[中種法]で調製すると抗原量が10～20%低下する傾向がみられた。ヨーグルト発酵液を用い[中

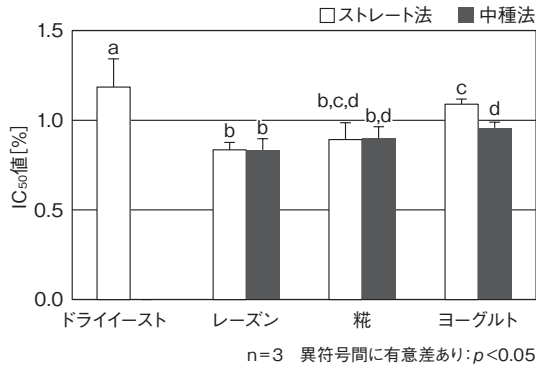


図4 発酵液および発酵条件の異なるパンの抗酸化性

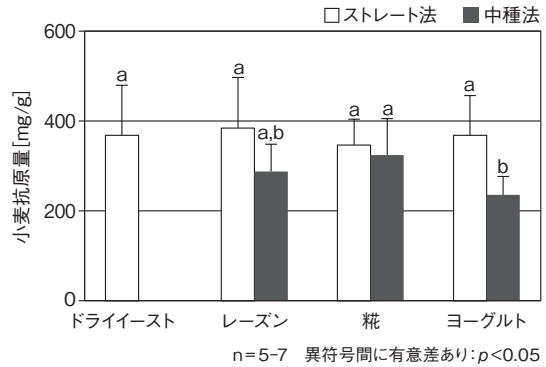


図5 発酵液および発酵条件の異なるパンの抗原量

種法]で調製したパンでは、抗原量が有意に低下した。これには、小麦粉に乳酸菌とパン酵母を添加することでグリアジンに作用し、アレルギー性が変化することが考えられた。

以上のように[ストレート法]よりも[中種法]でパンを調製した方が、抗原量が有意に低下していることから、パンの嗜好性を維持できる範囲内で、より長く発酵させることは抗原量の低下につながると推察された。

発酵液添加パンの官能評価⁷⁾では、各種発酵液添加パンの香りや味、および硬さに特徴が見られ、ドライイーストに比べ、レーズン、特にヨーグルト発酵液添加パンの嗜好性が高く、好まれていた。食品素材由来の発酵液を添加することで、嗜好性だけでなく機能性面への有用性が明らかとなった。

古代穀物スペルト小麦粉は、普通小麦粉に比較して加工適性は劣らず、また抗酸化性の面では加熱による耐性が明らかとなった。

アレルギーに関する部分では、誌面の都合で割愛したが、筆者らはスペルト小麦粉が普通小麦粉に比べ加熱による抗原量の低下が大であることを明らかにしている⁸⁾。アレルギー性については、今後の検討課題と考えている。

本稿は、著者らの既報論文を元に構成したもので、詳細は下記文献5～9)にて確認下さい。

参 考 文 献

- 1) 三輪睿太郎監訳：『ケンブリッジ世界食物史大百科事典2』, p.121, (朝倉書店, 2004)
- 2) 富田勉：Food Style 21, 12 (7), 78-81, (2008)
- 3) 海老澤元宏：厚生労働科学研究による食物アレルギー診療の手引き2014
- 4) 柳田紀之ら：日本小児アレルギー学会誌, 24, 39-46 (2010)
- 5) 喜多記子ら：日本家政学会誌, 60, 997-1003 (2009)
- 6) Akaishi (Kita), N., *et al.* : J Cookery Sci Jpn, 43, 351-357 (2010)
- 7) 赤石(喜多)記子ら：日本調理科学会誌, 44, 153-162 (2011)
- 8) 赤石記子ら：日本調理科学会誌, 46, 231-235 (2013)
- 9) 喜多記子ら：東京家政大学紀要, 48, 1-6 (2008)
- 10) 田中康夫, 松本博編：『製パン材料の科学』, p.132, 186 (光琳, 1992)
- 11) 池沢善郎ら：アレルギー, 43, 670-688 (1994)
- 12) Watanabe, M., *et al.* : Biosci. Biotechnol. Biochem., 58, 388-390 (1994)
- 13) 古林万木夫ら：日本小児アレルギー学会誌, 21, 96-101 (2007)