

新解説

グルテンフリー製品への sorghum (モロコシ) と maize (トウモロコシ) の利用 (2)

瀬口 正晴 (SEGUCHI Masaharu)^{1, 2}

竹内 美貴 (TAKEUCHI Miki)³ 中村 智英子 (NAKAMURA Chieko)³

Key Words: グルテンフリー sorghum (モロコシ) maize (トウモロコシ)

本論文「新解説 グルテンフリー製品への sorghum (モロコシ) と maize (トウモロコシ) の利用 (2)」は “Gluten-Free Cereal Products and Beverages” (Edited by E. K. Arendt and F. D. Bello) 2008 by Academic Press (ELSEVIER) の第 5 章 Sorghum and maize by Schober and Bean の一部を翻訳紹介するものである。

グルテンフリー食品生産

伝統的食品

Sorghum, maize は、数千年間ヒトの食料として用いられてきた。伝統的食品へ多用されるなどして、発酵、未発酵の平たなパン、かゆ、米状食品、タコシエル、トリテラ等がある (Serna-Saldivar and Rooney, 1995; Rooney and Serna-Saldivar, 2003)。トリテラのような幾つかの例外のほかは、これらは一般の西欧料理ではない。これらの製品は全てが小麦以外でつくられるため、セリアック病の人々には安全でありセリアック患者の特別のマーケットを満たしている。

パン

小麦/sorghum 合成パンでの sorghum の利用は多くの研究者により研究されており (Munck, 1995), セリアック病の人々への食事としては適していないのか多くはない。しかしより多くのパン研究は高価な小麦のアフリカ諸国への輸入を減らすためである (Satin, 1988)。この 2 番目の目的には maize はアフリカでの主食でないため用いられていない。僅かの研究が maize からパンの生産に利用された。これは maize のはっきりしたフレーバーが一部原因してい

るが、しかし maize は広くトリテラのような製品に用いられ、さらにデンプンの分離にも用いられることから、それ自体は大きな食品である。こうした付加価値の研究や maize の小麦フリー食品における利用は maize の研究の強調された大きな場面ではない。

これまで述べたように、sorghum パン生産に関する仕事の多くはアフリカへの小麦輸入減少が必要である事から由来するが、アフリカでは maize は主作物では無く小麦に変わり利用できるものではなからう。パンの成分に加え、いくらか研究者は sorghum からのグルテンフリーパンを報告し、この仕事の多くは Taylor と Dewar (2001) によってレビューされた。もっと最近のレビューでは、sorghum パン生産の最近の報告に加えて初期の仕事をサマライズし、そして詳細な小麦フリーパン生産が sorghum から行われる情報を与えてくれた (Taylor *et al.*, 2006)。最初の sorghum パンの生産に関する包括的な研究の 1 つは、Hart *et al.*, (1970) による報告である。これらの研究者らは基本的なレシピを作成し、その結果研究試験でいろいろなガム、デンプン、酵素、乳化剤、ショートニングをレシピに加えた効果を見ている ((Hart *et al.*, 1970)。彼らはまたサワードウ発酵の利用もテストしている。これらのテストでは、粉基本重量に対して ~ 100-150% の水を含むソフト

¹ 神戸女子大学, ² 日本穀物科学研究会前会長, ³ 神戸女子短期大学

バターが十分なふくらみを与えるのに必要であった。メチルセルロース添加は、パンの品質を変えガス保持性を増加し、パンの潰れを防ぎ、2% 4000cps のハイドロキシプロピル-メチルセルロース (Methocel) 最適量をいれる時にパン改良が生じた。分離したデンプンをメチルセルロースと混ぜると、オープンライズとクラム構造の改良が認められた。添加したデンプンのタイプは必要なく、sorghum からのデンプン、修飾したワキシ- sorghum, maize, cassava, arrowroot, potato からでも全て類似の結果だった。α- アミラーゼ、プロテアーゼ、乳化剤添加はクラム構造を弱くすることがわかり、ショートニングと一緒にメチルセルロース、メチルセルロース誘導体と用いるとパンを柔らかくした。サワードウ発酵プロセスを加えても、sorghum パン品質を改良しなかった。

キサントガム添加は sorghum パンの納得ゆく品質のできることが報告されたが、しかしその添加の正しい技術が良好な結果を得るためには重要である (Satin, 1988)。ドウに入れる前、キサントガムを水に浸けることが乾燥物で添加するよりパン品質を改良するのに良い。さらにキサントガムに加えて、科学者ら Hart *et al.*, (1970) による添加テストでは、前もって糊化したキャッサバデンプン (Olatunji *et al.*, 1992b; Hugo *et al.*, 1997) も sorghum パン品質を改良した。前もって糊化したキャッサバデンプンも改良要因とわかり、比容積は 3.3cm³/g ほど高くなると報告された (Hugo *et al.*, 1997)。Cauvain (1998) は sorghum パンの幾つかの複雑な仕込みを作ったが、そこでは sorghum 粉、イースト、塩、水に加えて脱脂ミルク粉、Na-carboxymethyl cellulose、ベーキングパウダー、大豆粉、あるいは 50% maize デンプン、脱脂ミルク粉、Na-carboxymethyl cellulose およびドライ卵アルブミンを受け入れる sorghum ベースパンを作った。

Sorghum 雑種の各固有製パン品質の違った評価をするために、Schober *et al.*, (2005) は、9 種の選択した sorghum 雑種と、市販 sorghum 粉で sorghum パン製造と比較した。この研究では、あるエクストルージョンセルを用いて、小麦ドウのファリノグラフであわせた水レベルを使い、同様のやり方でバター粘弾性をある一定値に標準化した。この研究での他の重要な要因は、発酵時間よりもパンが一定の高さ

になるまで発酵を行ったことである。これはグルテンフリーパンの発酵を高度な条件コントロールしても、一定時間で再現性よくすることが困難なためである。Olatunji *et al.*, (1992a) のものに類似した簡単な仕込みを用いたが、それは sorghum 粉と maize デンプン (70/30) プラス水、塩、砂糖、イーストからなるものである。パン容積とパン高は用いたハイブリッドの種類では影響されないが、かなりの相違がクラム肌とテクスチュアに関しては見出された。機械的損傷デンプン粒は粉中で (最も固いサンプルでもっとも高い) は、これらの相違を説明する鍵要因とわかり、より高いデンプン損傷はより荒いクラム構造になる。最も可能性が高いのは、損傷デンプンはより簡単に内胚乳アミラーゼで崩壊され、その結果発酵する糖量がより多くなり、より弱いデンプンゲルを作る。さらに最も異なるクラム肌をもつ 2 つのハイブリッドが選ばれ、キサントガム、脱脂乳粉、基本仕込みへのいろいろな加水量のパンが作られた。ハイブリッド間のクラム肌の違いは、キサントガム、脱脂ミルク粉、水のいろいろな組み合わせでも保持された。また気のつく事は、キサントガム、脱脂ミルク粉はパンクラストの見てくれを改良するが、全体的なパンの品質への影響はネガティブな効果であった。

ライ麦ペントザンはまた sorghum ベースをパンに含んだ場合グルテンフリーパン品質改良に添加効果があるようである (Casier *et al.*, 1977)。ライ麦ペントザン添加は、受け入れられる容積をもつ sorghum パンの改良、報告によると老化性質の改良ができた。しかしながらライ麦プロラミン (セカリン) はセリアック病の人々に有毒 (Murray, 1999) であり、セリアックの人々をターゲットにしたパンに用いるライ麦ペントザンは完全にセカリンフリーでねばならない。

僅かの研究が maize パン生産のために行われた。Olatunji *et al.*, (1992a) は、sorghum に用いたと同じ仕込みで maize パンを作った。Sanni *et al.*, (1998) と Edema *et al.*, (2005) は、サワー maize パンを maize 粉と maize デンプン (70:30) とで、異なった maize 粉と大豆粉とで、あるいは maize と大豆の混合とで同様に作った (Edema *et al.*, 2005)。これらのパンの膨化は乳酸菌とイーストを混合した培養物を用いて得られた。塩、脂肪、砂糖、高レベルの水分

を用いた。これらのパンの比容積は低く、しかしこれらの物は殆どのグルテンフリーマーケットに特別パンとして出されている。

ケーキとクッキー

パンに加えてケーキ、クッキーもまた sorghum, maize 粉で作られる。しかしながらパンでも前述したように、文献はこれらのタイプの製品に sorghum 利用のものがより多く入っており、これら sorghum は次の議論で強調されている。Oyidi (1976) は sorghum 粉 (普通ではない sorghum 変異種から得られたもの) からのうまくいっているケーキやビスケット製品の報告をしている。同じように Olatunji *et al.*, (1992a) は sorghum, あるいは maize とキャッサバデンプン (70:30) を用いたケーキ用のレシピを開発した。同じように Dyidi (1976) は (普通使用しない sorghum 変異種からの) sorghum 粉でケーキ、ビスケットの製造に成功した。Badi と Hosney (1976) は 100% sorghum 粉でクッキー製造を研究した。できたクッキーは好ましいスプレッド性とトップクラック性に欠け、著者による “tough (強い), hard (固い), gritty (ざらざら), mealy (つぶつぶ)” なテクスチュアと味があると述べられた。

これらの著者らは、クッキーの低品質に一部関わる脂質組成の同定を続けた。小麦脂質を脱脂 sorghum 粉に添加するとクッキー表面グレインとスプレッド性は改良された。Sorghum クッキーは、また、未精製大豆レシチンあるいは精製レシチン、モノグリセリドの添加でも改良された。クッキー品質のさらなる改良は、sorghum 粉を数時間麦芽シロップあるいは水で水和し、次に空気中で乾燥させ、さらにクッキードウの pH を Na₂CO₃ を用いてあげて (Badi and Hosney, 1996 とは対照的に) 行った。Morad *et al.*, (1984) は 100% sorghum 粉で作った砂糖クッキーが、市販の小麦クッキー粉とクッキー粉 /sorghum ミックスで作ったクッキーに比較して一般に最も高いスプレッド性 (厚さに対する幅) を持つことを見出した。

スナックフード

幾つかのタイプのグルテンフリースナックフードを sorghum と maize の両方で作る事ができた。Maize はエクストールドしたスナックフード製造に

好まれる粉の元である。このスナックフード生産は、セリアック病患者に対する製造製品の比較的簡易な方法を供給する。

Sorghum スナックフード

高品質のトルテラチップは簡単に白色フードグレード sorghum から作られたが、maize トルテラチップの生産に用いるものに比べてその製造中調理と浸水時間と同様、用いるライム (石灰) 濃度を落として行われた (Serna-Saldivar *et al.*, 1988)。軽いカリカリしたテクスチュアのスナック食品は、sorghum の揚げ物にした乾燥粒 (ペレット) によってできるが、それはアルカリ条件下で調理される (Suhendro *et al.*, 1998)。この製品は類似インドネシア食品に基づき、それと同じやり方で全 maize から作るものである。Sorghum 製品の生産の最も良い加工方法は、初めに粒をオートクレーブ 120°C で 60 分間かけ、続いて粒を水に浸けて 9% 水分にまで乾燥し、最後に 220°C で揚げ物にする。異なった sorghum サンプルで比較してわかったことは、中間にソフト内胚乳をもつサンプルは、固い内胚乳のものより加工中に広がるということだ。この製品を作るのに、ワキシ sorghum 利用を行うと貧弱な品質になるので、薦められない。

Young *et al.*, (1990) が sorghum で作るとき、デコーテーション (皮取り) 前に煮ると米で作ったものようになった。煮ることは固さを増加し、最終調理粒の粘りを低下することと同様にデコーテーション粒の収量を増加し、粒の破壊を減らすことがわかった。

Maize スナック食品、朝食食品、他の食品製品

Maize からのスナック食品生産は大きな産業であり、広範囲のスナック生産は商業的に maize から生産される。2000 年には maize からのスナック生産は 56 億ドルに達する。エクストールドスナック製品は殆ど maize を用いている。Maize 粒、あるいはその粉のエクストルージョンによって、カール、パフ、ボールといった製品ができる (Rooney and Serna-Saldivar, 2003)。多くの工場は最終エクストールド食品をコントロールし、そこには用いる maize 組成、エクストルージョンパラメーター、ダイの形を含む。エクストールドスナックに加えてフライスナック製

品も maize から作られる。これらは典型的にアルカリ加工した maize から作られるもので、それ自体がトルテラチップの様なものから成る。

もう1つの maize の大きな利用は朝食セリアルである。朝食セリアルは“フレーク、シュレッド、粒、パフ、あるいは他の形態”に作られている (Rooney and Serna-Saldivar, 2003)。エクストルージョンとフレーキングは朝食セリアルを作るのに使われるほとんどのプロセスの2つである。たくさんの市販 maize ベーススナック製品と朝食セリアルが利用されているが、それらには添加小麦あるいは大麦麦芽が含まれることがある。そこでセリアック病の人々はこれらを食べる時注意する必要がある。しかしながら小麦フリー maize スナックやセリアルは簡単に作られるべきで、もし必要ならばセリアックの人々の社会にも特にそうである。

Sorghum ノードルとパスタ

Suhendro *et al.*, (2000) は、脱皮した sorghum 粉、水、塩から、予熱、エクストルージョン、及び乾燥処理で sorghum ノードルを作った。ヘテロワキシ sorghum は平常の sorghum に比べ、劣った品種のノードルを作った。そのノードルは料理中に粘り、柔らかさが生じ、そして乾燥損出が大きかった。アミロペクチンが増えアミロース含量が減るとヘテロワキシ sorghum は一定の老化をする。著者らは、アミロース分散化(可溶化)のタイミング、ノードル形成、さらにアミロースの老化が、予熱の影響、乾燥方法の示唆するようにさらに重要であると報告した。粉の粒子サイズもまた重要であり、より細かな粉は品質の良いノードルを作る。加工条件が最も良くノードルが適当に調理される時、良質のノードルができる (Suhendro *et al.*, 2000)。

将来の方向

この章で報告した研究は、sorghum や maize で小麦フリー食品を作って来た明確な研究を示したことだ。現在までこの種の研究の多くは、製品品質に対するヒドロコロイドのような添加物の製品仕込みや試験への効果の進捗に集中して来た。小麦フリー食品製品の機能を改良するため、sorghum や maize 粉中のタンパク質、あるいはまたデンプンの修飾に関する研究は、少なかったが僅かにはあった。タン

パク質の性質を修飾するのに多くの方法が利用されたが、それらは例えばそれらの溶解性、チャージ、分子量等である。さらに研究には小麦フリーパン、パスタのような食品製品のバックに流れる科学技術の理解が必要だが、そこでターゲットとなるタンパク質とデンプンの修飾が小麦フリー食品品質の望ましい改良が達成されるように進められた。パンの様な小麦フリー食品の生産のための特別の特性を持つ sorghum と maize の育種が価値があるであろう。しかしながら、修飾したタンパク質、デンプンに関してはもっと研究が育種目標をきめるには必要である。

さらなる情報とアドバイス

この章は、sorghum, maize の性質とそれらから生まれる小麦フリー食品に関するサマリーを述べたものである。だれもが欲しがる sorghum と maize パンのためのベースを与えるため、このセクションではいかに sorghum パンの進歩を進めてきたかを討論した。仕込みは 100% sorghum 粉でスタートした事を考えよ。ふすまの関与する問題を避けるため、皮をとった sorghum 粉を用いる事にしたとするとこれは健康の恩恵を減らすようになる。仕込みの発展中、次の要因は、パンクラム構造への影響要因を考慮することである。アミロースはセッティングを容易にするための素早い老化に必要であり、そこでワキシ sorghum 粉をベース粉にするのは避けるべきである。水量もまた決めねばならない; 良好な出発域は粉ベースの 100% から始める (殆どのグルテンフリーパン仕込みでは 80-100% の範囲になる)。単純な仕込みでは、他の基本成分は塩、砂糖、イーストを含む。

次に重要な考えねばならぬ要因とはバターの粘性であり、基本仕込み中で機械的損傷デンプン量に大きな程度で関係がある。損傷デンプン量は水の必要量に影響する。高レベルの損傷デンプンをもつ粉はあまりに濃いバターとなり、そのためもっと水を入れねばならない。しかしながら結果のパンは荒いクラムとなり、クラム中に大きな穴、あるいは底層の破壊となり – 何れの効果も多い加水量とともに損傷デンプン粒の過剰のアミラーゼ分解による。未損傷なデンプン (30% が良好な出発域) は sorghum 粉中で損傷デンプンを薄め、さらにクラム中の構造

形成を促進する。事前に糊化したデンプンはこの状況下 (粉の中で高デンプン損傷)、最上の選択ではないだろうが、それはより水を結合さえするためだ。水量は多分、未損傷なデンプンが仕込みに入れられるなら合わせる必要がある。

もし、パン容積を高くし、より一般的のクラム構造にしたいほど、さらに老化スピードが遅くなるのが望ましいほど、ヒトは 2% ハイドロキシプロピルメチルセルロース (HPMC) を加えるがそれ

は注意深く粉とデンプンを混ぜねばならない、そうすれば水が加えられる時、塊はできない。水の量は今や、再び合わせるのがよく、それは HPMC がバター中で水とより結合するからである。別の状況では元々の sorghum 粉は高レベルの損傷デンプンは含んでおらず、バターの水結合、粘度、凝集性の増加をする必要がある。これは HPMC あるいはすでに糊化したデンプン添加の両方法によって成就できる。

References 2

- Badi, S. M. and Hosney, R.C. (1976). *Cereal Chem.* **53**: 733-738.
- Bedolla, S., Palacios, M. G., Rooney, L. W., Dielh, K. C., and Khan, M. N. (1938). *Cereal Chem.* **60**: 263-268.
- Boyer, C. D. and Shannon, J. C. (2003). *Corn Chemistry and Technology*, 2th edn. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, pp. 289-312.
- Casier, J. P. J., de Paep, G., Willems, H., Goffings, G., and Noppen, H. (1977). *Proceedings of a Symposium on Sorghum and Millets for Human Food*. London: Tropical Products Institute, pp. 127-131.
- Cauvain, S. P. (1998). *Technology of Breadmaking*. London: Blackie Academic & Professional, pp. 330-346.
- Edema, M. O., Sanni, L. O., and Sanni, A. I. (2005). *Afr. J. Biotechnol.* **4**, 911-918. Hamaker, B. R., Mohamed, A. A., Habben, J. E., Huang, C. P., and Larkins, B. A. (1995). *Cereal Chem.* **72**: 583-588.
- Hart, M. R., Graham, R. P., Gee, M., and Morgan Jr., A. I. (1970). *J. Food Sci.* **35**: 661-665.
- Hosney, R. C. (1994). *Principles of Cereal Science and Techonology*, 2nd edn. St. Paul: AACC.
- Hugo, L. F., Waniska, R. D., and Rooney, L. W. (1997). *Harnessing Cereal Science and Technology for Sustainable Development*. CSIR ICC-SA Symposium, Pretoria, South Africa, pp. 100-144.
- Morad, M. M., Doherty, C. A., and Rooney, L. W. (1984). *J. Food Sci.* **49**: 1070-1074.
- Murray, J. A. (1999). *Am. J. Clin. Nutr.* **69**: 354-365.
- Olatunji, O., Koleoso, O. A., and Oniwinde, A. B. (1992a). *Utilization of Sorghum and Millets*. Pata-ncheru, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, pp.83-88.
- Olatunji, O., Osibanjo, A., Bamiro, E., Ojo, O., and Bureng, P. (1992b). In: *5th Quadrennial Symp-osium on Sorghum and Millets*. Schwechat, Austria: International Association for Cereal Scien-ce and Technology, pp.45-54.
- Oyidi, O. (1976). *Samaru Agric. Newslett.* **18**: 44-49.
- Pratt, R. C., Paulis, J. W., Miller, K., Nesen, T., and Bietz, J. A. (1995). *Cereal Chem.* **72**: 62-167.
- Rooney, L. W. and Waniska, R. D. (2000). *Sorghum: Origin, History, Technology, and Production*. New York: John Wiley & Sons, pp.689-750.
- Sanni, A. I., Onilude, A. A., and Fatungase, M. O. (1998). *World J. Microbiol. Biotechnol.* **14**: 101-106.
- Satin, M. (1988). *New Sci.* **28**: April, 56-59.
- Schober, T. J., Messerschmidt, M., Bean, S. R., Park, S. H., and Arendt, E. K. (2005). *Cereal Chem.* **82**: 394-404.
- Suhendro, E. L., McDonough, C. M., Rooney, L. W., Waniska, R. D., and Yetneberk, S. (1998). *Cereal Chem.* **75**: 187-193.
- Suhendro, E. L., Kunitz, C. F., McDonough, C. M., Rooney, L. W., and Waniska, R. D. (2000). *Cereal Chem.* **77**: 96-100.
- Taylor, J. R. N. and Dewar, J. (2001). *Advances in Food and Nutrition Research*, Vol. 43. San Diego, CA: Academic Press, pp. 217-264.
- Taylor, J., Schober, T., and Bean, S. R. (2006). *J. Cereal Sci.* **44**: 252-271.
- Watterson, J. J., Shull J. M., and Kirleis, A. W. (1993). *Cereal Chem.* **70**: 452-457.
- Young, R., Haidara, M., Rooney, L. W., and Waniska, R. D. (1990). *J. Cereal Sci.* **11**: 277-289.