

新解説 グルテンフリー穀物による ケーキ, パスタ, ピザ, 幼児食製造

瀬口 正晴 (SEGUCHI Masaharu)^{1,2}

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

¹ 神戸女子大学, ² 日本穀物科学研究会会長, ³ 神戸女子短期大学

Key Words : グルテンフリー ケーキ パスタ ピザ 幼児食

本論文「新解説 グルテンフリー穀物によるケーキ, パスタ, ピザ, 幼児食製造」は、「Gluten-Free Cereal Products and Beverages」(Edited by E. K. Arent and F. D. Bello) 2008 by Academic Press (ELSEVIER) の第 14 章 Formulation and nutritional aspects of gluten-free cereal products and infant foods by Eimear Gallagher の一部を翻訳し紹介するものである。

ケーキ

紹介

一般に現在のケーキバターは、水分中の脂肪、あるいは油脂の乳化システムと考える事ができる。水相には溶けた砂糖、懸濁した粉粒子が含まれている。多くのバターシステムでは、空気泡は水相より固形脂肪中に保持される。ベーキングの間、バターは加温されるので空気泡は脂肪から水/気泡相に移り、そして拡大する。ベーキングプロセスの後半、泡はケーキ構造を作る (Cauvain, 2003b)。既に述べたように薄力小麦粉は主には構造形成成分であり、グルテンネットワーク形成はケーキバター中には殆どできない。

ケーキ仕込み中の大部分の生の材料

ケーキ粉

ケーキ製造用には、粉は低タンパク質含量であり、低 α -アミラーゼ活性が普通は望ましい (Kent and Evers 1994) (表 14.2)。粉はケーキ仕込みの中で最も重要成分であり、機能としてはまず第 1 にクラム構造を作る (DesRochers *et al.*, 2003)。ケーキ粉は薄力小麦からひき、粉

は低タンパク質、低灰分レベルで、同様に細かな粒子サイズである。タンパク質量は低いが、その性質は小気泡にガスをトラップするには十分な性質であるが、パン用粉で普通見られるようなタフネス/チューイネス (歯ごたえ) はない (Ortiz, 2004)。小麦粉のもう 1 つの重要な成分はデンプンであり、その糊化したものはケーキの大部分構成成分を形成する (Cauvain, 2003b)。水和すると粉タンパク質はケーキバター中でパンドウ中よりも僅かに弱いグルテン構造をとるが、それはケーキ構造中の砂糖、脂肪による破壊効果のためである。さらにケーキ仕込み中、高レベルの水であるのは、低粘度のバターを作り攪拌操作能をおとし、グルテン形成に必要なエネルギーを低下するためである。

ショートニング, 砂糖, 膨剤

ケーキ中でショートニングには 3 つの基本的役割がある; (1) それはクリーミングプロセスの間にトラップされた空気によりバターと焼いたケーキのエアレーション、膨化をそれぞれ助ける。これらの小さな空気セル

表 14.2 小麦の分類と一般的特徴と主要利用

分類	一般的特徴	一般的利用
Hard red winter (HRW)	高タンパク質, 強グルテン, 高吸水	パンとその関連
Soft red winter (SRW)	低タンパク質, 弱グルテン, 低吸水	ケーキ, クッキー, ペストリー, パイクラスト, クラッカー, ビスケット
Hard red spring (HRS)	非常に高タンパク質, 強グルテン, 高吸水	パン, ベーガル, プレッツェルとその関連
Hard white	高タンパク質, 強グルテン, 高吸水, ふすま色素欠	パンとその関連
Soft white	低タンパク質, 弱グルテン, 低吸水, ふすま	ヌードル, クラッカー, ウエハースとその関連だがスベックは望ましくない
Durum	高タンパク質, 強グルテン, 高吸水	パスタ

Atwell (2004)

はベーキングの間、蒸気や炭酸ガスによる泡の核となる。(2) それはタンパク質、デンプン粒をコートし、水和とグルテン-デンプンの連続ネットワーク形成を阻止する。(3) それはまたバター中の乳化液に取り込まれ、クラムの水分を増加し結果的にはクラムテクスチュアに影響を与える (DesRochers *et al.*, 2003)。

砂糖はケーキに甘さを与え、しかしバターのエアレーションと構造形成に顕著な役割も示す。砂糖はデンプンの糊化を調節し、焼いた製品の物理的な構造に影響する。ベーキングの間、デンプンの糊化を遅らせ、ケーキがセットする前に CO₂ と水蒸気によって生じた蒸気圧により適当な大きさの空気泡にする (Kim and Walker 1992)。砂糖はデンプンの糊化を 57°C から 92°C に遅らせ、好ましいケーキ構造の形成をさせる。砂糖の粒子サイズもまたバターの粘度に影響する。ケーキ製造で用いる最も普通の砂糖はシュクロースである。膨化はケーキやケーキバターが待ちうける空気を抱き込んだ構造形成を助ける重要なファクターである。イーストの代わり化学的に膨らませるケーキは重曹 (ベーキングソーダー) プラス酸性材料で水の存在下で CO₂ を生む (DesRochers *et al.*, 2003)。最終的焼いたケーキのかなりの部分とは、実際には空気である。バターが始めにオープン中に入った時生じる CO₂ ガス生産と発生は、ケーキ膨化メカニズムの重要な場面であり、

最終ケーキの容積と食感に影響を与える。

ケーキバターの性質

攪拌とベーキングの間、成分間の相互作用とバター構造へのそれらの影響が起こる。一般に未調理のケーキバターは oil-in-water (水中油滴型) 乳化と考えられ、連続水相に砂糖と懸濁した粉粒子が溶けている。初めに、ケーキ調製の攪拌段階後、脂肪の役割はバターのエアレーションに重要である。攪拌の間、システム中で起こる空気セルの閉塞が泡に成長する。最大のケーキ容積を与えるためには、システム中の空気の分布は大きなセルが少数よりも小さいセルが多数のほうである。ベーキングプロセスの間、液状のしかも空気抱き込んだエマルジョンのケーキバターは、半固形で多孔質の柔らかい構造に変わる。これは主にはデンプンの糊化、タンパク質の凝固、バター中に溶けた化学物質から生成されたガス泡、閉塞された空気、各成分間の相互作用によるものである (Sahi, 1994)。

グルテンフリーケーキの仕込み

これまで述べたように、ケーキ仕込み中の小麦粉の存在は多くの役割をもち、ケーキバターを粘度変化して最終的な焼けたケーキのクラム構造の形成と良好な食感の生成を行う。今日まで、比較的僅かの仕事しかグルテンフリーケーキ食品製造用の変更粉利用に関して出版さ

れなかった。米粉、ガム（キサントラン、グア、カラギーナン、ローストビーン）とある乳化剤がブレンドされ仕込まれたバターとケーキのレオロジー的性質が Turabi *et al.*, (2007) により研究された。全体的には、乳化剤とのコンビネーションでガムはミキシング段階中、空気をよりトラップする能力のバターになり、さらに乳化の安定性を増加した。著者らは納得のゆく品質の米ケーキの仕込みの際に、1%キサントランガム（オープン中でケーキバター粘度を増加し、ケーキの破壊を阻止した）、さらに3%乳化剤利用（ケーキ容積と多孔質の増加とソフトネスの増加）を薦めた。

キャサバデンプンは南アメリカ原産の食品の成分である。その化学的性質はこれまで非常に議論されてきたが（Cardenas and de Buckle, 1980; Camargo *et al.*, 1988）、最近グルテンフリー穀物システムにその有用性のあることが研究された。酸化に対して感受性があった（Mat Hashim *et al.*, 1992; Paterson *et al.*, 1994）。

Demiante *et al.*, (2000) は、キャサバデンプンの化学的酸化的サンプルの生産性について議論し、さらにこのデンプン（他のキャサバデンプンの範囲も含め）のベーキング性質と化学的構造の間の関係を議論した。彼らの研究から、著者らは化学処理キャサバデンプンがカルボキシレートグループを含みそれはドウ拡張とベーキング性質に重要であると結論した。

Bean *et al.*, (1983) は100%米粉でレーヤーケーキを作り、強い攪拌形態とカップルした粉の水和がケーキの品質改良することを見出した。彼らは米粉と水の強い攪拌が、デンプン粒を内胚乳から解放し、その機能を増加するのであろうと考えた。さらに高スピード攪拌は、「ゲル」タンパク質形成をもたらすケーキのクラムグレイン化を強く押し進める可能性がある。大豆粉、コーン粉、米粉を含むケーキタイプの製品が Borowski and Pomianowski (1994) により仕込まれ、一方 Jud (1993) はタラガムの性質を討論し、その特別のガラクトマンナン成

分に関心を示した。この中性多糖は、グルテンフリーペストリータイプの食品に厚みを与え、ゲル化剤として応用でき、さらに食物繊維として考えられた。Von Atzingen and Machado Pintae Silva (2005) は、10種のグルテンフリーデンプンと粉（キャサバ、米、コーン製品を含む）でグルテンフリーケーキを作り、機器的テクスチュアと色の研究をした。米粉を使ったケーキは最も圧縮力があつた。修正キャサバデンプンのうち、酸処理デンプン調整品は最も明るい色調を与えたが、一方色調の強さは米、コーン粉で作るケーキが最も強かつた。キャサバ、大豆、ソルガム、セージ、ポテト粉をベースにしたグルテンフリーマフィンミックスの微生物的側面が、Chauhan *et al.*, (2001) により評価された。材料、およびマフィン中、主な細菌、カビの微生物のカウントの結果、最少—カビ無しのものでマフィンミックスのシェルフライフは約3日間であつた。その結果は小麦含有マフィンの結果と良く一致した。

結 論

ケーキ製造では、低タンパク質含量、低 α -アミラーゼレベル、粒子サイズの細かい薄力小麦を挽いた小麦粉を使う。粉の機能は、主にケーキクラムの構造を作ることで、パンのテクスチュアとむすびつくような正常のスポンジ的な性質ではなく、砕けやすいものである。ケーキ仕込みには、また脂質と砂糖の高レベルを含む。水が仕込み中に加えられると、粉タンパク質は砂糖と脂肪による仲介で弱いグルテンネットワークを作る。今日まで僅かに小麦粉に置き換わるケーキ製造研究の報告があつた。とられたアプローチは、米、キャサバ、コーン、ガム例えばキサントラン、グア、カラギーナン、タラ、ローストビンガムから作った粉で進められた。高品質ケーキは、米粉、キサントランガムと乳化剤を用いて作り、米粉を用いて強い攪拌条件でやることもまた推奨された。

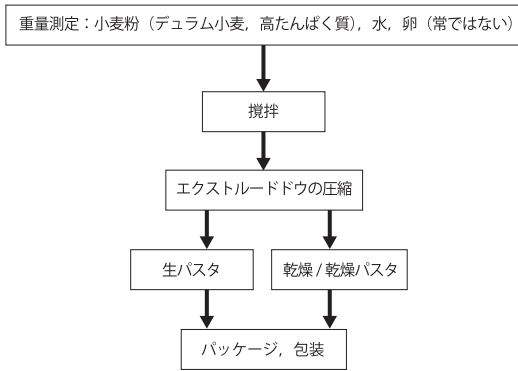


図 14.4 パスタ製造

パスタとエクストルード食品

パスタの製造

全てのパスタは同一の基本的技術を共有し、粉と液体（主に水）とを攪拌してドウを作り、次にエクストルージョンで加工して必要な形と食品自体の寸法に成型する（図 14.4）。

パスタ製造の大部分の材料—デュラム小麦

パスタはほぼ大部分セモリナ粉から作り、それはデュラム小麦を挽いたものである。実にデュラム小麦セモリナは、イタリア、フランス、ギリシャの国々の法律で許可されている唯一のパスタ製造材料である。特別のパスタは他のいろいろな成分（例えば生、冷凍、あるいは粉体化した卵、大豆タンパク質、小麦グルテン、ミルクタンパク質等）を混ぜて作られる（Cubadda and Carcea, 2003）。デュラム小麦は強力小麦で、セモリナ粉は均一なサイズの内胚乳粒子からなる粒子である。セモリナ粉のタンパク質は、SS 結合、水素結合、疎水結合でマトリックスを作り、調理したパスタに粘弾性を与える。デュラム小麦中のタンパク質含量は 9-18% の範囲である。タンパク質含量、グルテン組成の両方は、通常デュラムコムギパスタのドウの性質、およびクッキング品質に影響する主要要因と考えられている（表 14.2）。パスタクッキングをしている間のタンパク質マトリックスの成長は重要で、粘度のあるパスタドウとパスタは好ましく、その 1 つが水中でボイルの間、裂けな

あるいは崩れてバラバラにならないことである（Feillet and Dexter, 1996）。普通小麦で得られるドウは非常に伸展があり、中間/低粘性であるが、一方デュラム小麦で得られるものは一般に高粘性、弱い伸展性の特徴を示す。良好なグルテン粘度はデンプン粒をパスタ構造の内部に保持し、粘着性を低下する。またクッキング中、水吸収の転調をし、パスタの過剰な広がりを抑えて正確なかたさを与える。デュラムセモリナのグルテン定性、定量性がクッキング品質に影響する最も重要なファクターであるが、デンプン、可溶性、不溶性ペントサンのような微量成分、リポ蛋白質、いろいろな酵素類、酵素作用でできるものもまたそこに入る（Cubadda and Carcea, 2003）。

グルテンフリーパスタの仕込み

グルテンフリーパスタの調製は食品技術者にとり挑戦的仕事であるというのは、小麦をスタート物質として用いる時に形成されるグルテンが欠けているからである。グルテンは攪拌、エクストルージョンの間、ドウデベロップメントに貢献する主なものであり、沸騰水中でクッキングの間、パスタの解離を防ぐ（Feillet, 1984; Abecassis *et al.*, 1989）。グルテンなしを、加水と攪拌前に未糊化デンプンあるいはコーン粉のブレンドで乗り越える、あるいは攪拌やエクストルードの間、デンプンの一部を糊化して乗り越えると考えた（Molina *et al.*, 1975）。デュラムパスタはセリアック病を持つ人々の食事には支持されないので、パスタ生産には非デュラム成分の利用研究に進んだ。しかしながらデュラムと同じドウ水合と生じる性質の効果を利用して、適当なエクストルージョンのドウ粘性に必要な正確な水合レベルを求める事は重要なことである（Manthey *et al.*, 2004）。デュラムによるパスタの重要な性質は粘着力である。粘着力はタンパク質ネットワークから大きく外れたデンプンによるものであり、調理した食品の表面に付着するものである（Cubadda 1988）。これまでの研

表 14.3 擬似穀物アマランス、ソバ、キノアで調製したヌードルの性質の比較

	テクスチュア かたさ (N)	クッキング時間 (min)	クッキング重量 (%/100)	クッキングロス (%)
アマランス	0.43	4	2.48	10.5
ソバ	1.19	10	2.21	11.2
キノア	0.92	7	3.22	14.4
小麦	1.55	10	3.03	6

Schoenlechner *et al.*, (2004).

究で関心が深かったのは非セモリナ成分 / 粉で作ったときのパスタの劣った調理性であった。しかしながらこれは高あるいは超高温にて乾燥することで乗り越える事ができ、グルテンマトリックス中でのタンパク質の変性であり、その結果、でんぷん粒がクッキング中に破壊されることから防がれる。多量の損傷デンプンがセモリナ付近で吸水を強く増加させ、グルテンマトリックスの成長を壊す効果を示す成分となる (Manthey and Schorno, 2002)。さらにデンプンの損傷は、料理パスタの粘着性の増加と結びつく (Grant *et al.*, 1993)。これらの特徴はグルテンフリーパスタ形成の際、考慮せねばならぬ。Manthey *et al.*, (2004) は非デュラム成分を用いた時のパスタの性質の変化を議論した。非デュラム成分の化学的、および水—結合性がいろいろであるので、ドウ水和、ドウ伸展、ドウ粘弾性は変化する。そこで製造プロセスは適宜に変えねばならない、というのはドウ強さがエクストルージョンのスピード同様、エクストルージョンに必要とする機械的エネルギー量に影響

するからである (Levine,2001)。

擬似穀物粉を利用するグルテンフリー研究があり、その重要な機能的性質により人気が上がっている。擬似穀物は Schoenlechner *et al.*, (2004) によってグルテンフリーパスタに関する研究に使われた。ソバ、アマランス、キノアを 10% レベルで食品中に入れて、高調理ロス、調理中低安定性が起こるという結果を得た。実験デザインの方法で (アルブミン、乳化剤、酵素添加ともに)、3 種の成分を異なった比率でブレンドし、グルテンフリーパスタの性質を改良した (表 14.3)。

Caperuto *et al.*, (2001) は、キノアとコーンのミックスを用いてグルテンフリーのスパゲッティタイプの食品を作るのに用いた。調理品質、テクスチュア (粘り、弾力性)、粘度が求められた。受け入れ状況は官能パネルで評価する。キノア粒の製粉はキノア、コーン粉ミックスが適合するのに必要であった。製品はマイルドなコーン味で一般に適当に受け入れられるものであった。グルテンフリーパスタを作る試み

表 14.4 小麦粉 (WGF)、ひよこ豆粉 (CF)、ミルクパウダー (MP) を含むある非伝統的パスタの製法と栄養的特徴

ブレンド	ブレンド中成分 (%)			タンパク質含量 (%)	タンパク質品質	
	WF	CF	MP		ケミカルスコア ^a	LAA ^b
WF	100			13.0	0.43	Lysine
CF		100		22.0	1.00	SAA ^c
MP			100	34.0	>1.00	None
ブレンド 1	70	25	5	16.3	0.79	Lysine
ブレンド 2	60	30	10	17.8	0.9	Lysine
ブレンド 3	50	35	15	19.3	0.99	Lysine

^aFAO/WHO/UNU をもとにした参照パターン (1991,1998), ^b制限アミノ酸, ^cSurfur amino acids. Marconi and Carcea (2001) より

で、Marconi and Carcea (2001) は、乳タンパク質とカロウビン（イナゴマメガムからとったタンパク質）を用いた（表 14.4）。著者らはカロウビンがいかにグルテンのレオロジー的性質が似ているか、そしてグルテンフリーパスタ仕込みにテクスチュア剤として使い、それによってタンパク質ネットワークを形成し、しっかりしたパスタをつくり、パスタ料理でデンプンをホールディングする能力を与えるだろうと述べた。

Feillet and Roulland (1998) は、分離したカロブタンパク質と小麦グルテンの間のレオロジー的類似性を研究した。いくつかの生化学的違いはあるが、2つのタンパク質は非常によく似た性質をもちカロブタンパク質は高分子量サブユニットの高含量に寄与するものである。そこで、著者らはカロウビンがグルテンフリー食品に都合良く用いられるのではないかと考えた。

Gobbetti *et al.*, (2007) は半固形条件下でサワードウ・ラクトバチルスを用いて、未発酵のデュラム小麦セモリナに用いた。発酵に続いてドウは凍結乾燥、そば粉と混合して“fusilli”タイプのパスタを作った。2次元電気泳動とマススペクトルグラフィーにより、デュラム小麦グリアジンは殆ど全体的に乳酸菌で発酵中に加水分解されることが判った。存在するグルテンのレベルはセリアック病の患者にとって未だ不安全であろうが、彼らは、20% 発酵したデュラム小麦セモリナがパスタの仕込みにあるならば、セリアック病にとって新規なもので安全な許容範囲を持つものと考えた。

Huang *et al.*, (2001) によって、RSM（応答曲面法）が非グルテンパスタの仕込み作成に用いられた。彼らは官能試験とパスタの粘着性の至適方法を基本にして、より高いレベルの修正デンプン、キサントガム、ローカストビングムを用いて小麦ベースのパスタに似ているグルテンフリーパスタを得た。これは良好な「初めに噛んだときのかたさ」をもつもので、高レベルの凝集性を持つものであった。

グルテンフリー豆粉は、タンパク質含量、リジン含量がいずれも小麦粉、セモリナより高い。

100% 豆粉の二軸エクストルーションで作ったパスタのクッキング品質が Wang *et al.*, (1999) によって評価された。豆粉成分で、これまでのパスタエクストルーダーを用いた同一のものとは比べても新しい加工方法をカップルさせたものは、クッキング後に改良テクスチュアとフレーバーが示され、オーバークッキング後も変化は小さいことが判った。

Limroongreungrat and Huang (2007) はアルカリ処理したポテト粉に大豆タンパク質を補強したもので新しいパスタを作り、一方 Chen *et al.*, (2002) は、5% α 化デンプン（グルテンの機能をするものとして）と 95% 未処理デンプンで作ったグルテンフリーデンプンヌードルの生産を述べた。彼らの研究でスイートポテトデンプンでもドウを作り、できたものは良いクッキングの性質と官能の性質を示したが、スイートポテト品種間には大きな違いのある事をのべ、このヌードルを作る時重要なのはこの品種を選ぶことが大切なのだと強調した。

Mestres *et al.*, (1988) は、グルテンフリー米粉で作ったヌードルのデンプンのネットワークの研究をした。このヌードル中には、天然のデンプン構造は消え、しかし新しい結晶組織が見られた。アミロース-ベースの構造は、複合体フォーム中（米粉ヌードル中）、あるいは老化フォーム中（両ヌードル中に）の両方に見られた。著者らはまた両パスタは良いクッキング適性を示し、それはアミロースネットワークにもとづくもので或る事を見出した。

Kovacs and Varga (1995) は、グルテンフリーマカロニの性質に関する研究を行った。クッキング品質と官能試験は、3つのタイプのコーンデンプンと2つの乳化剤（ドウの水結合能と粘度改良のため）のマカロニミックスで試験した。高品質マカロニは高アミロース含量、低遊離グルコースかあるいは他のデンプン分解物含量の少ないコーンデンプンを使用した時に得られた。

エクストルーションはセリアック病患者用のスナック食品を製造する時に適した加工方法で

あるが、それはデンプンが最適食品中で好ましい拡張構造を与える主成分であるからである (Acs *et al.*, 1996)。Ibanoglu *et al.*, (2006) は、米、ひよこ豆、コーン粉をベースとしたグルテンフリーエクストルーdsnackの拡張の性質、色、官能性質についてについて研究のために実験計画した。エクストルーダーの供給スピード、スクリュースピードは、最終食品の色、香り、全体の受け入れられるものには影響しなかった。しかしスクリュースピードを増すと、食品の拡張とかたさに増加があり、一方供給スピードを上げるとかたさが減るがより拡張の食品になった。米ベースのsnackのエクストルージョンパラメーターは、Bhattacharya and Choudhury (1994) によっても研究された。彼らの結論したことは、エクストルーダーの直径に対する長さの比率 (L/D) は極めてエクストルージョンシステムのパラメータおよび関わる食品に大きく影響する点である。L/D 比を増加するとよりかたいものができ、一方バーレル温度 >150°C が米粉からの高級品質の拡張食品にとり必要であった。

結 論

パスタ食品の殆ど大部分はセモリナ粉で作られ、それはデュラム小麦から挽かれる。この小麦のタンパク質含量は 9-18% であり、グルテンの定量、定性の何れもドウに影響して、パスタのクッキング適性に影響する。パスタを作る時、グルテンマトリックス形成が好ましく、それはパスタが水中でボイルされている間テクスチャを保持するためである。グルテンフリーパスタが形成される時に、加工プロセスを以下のように変えるべきと暗示されるのは、例えばミキシングあるいはエクストルーディングの間、事前にグルテンフリーデンプンを糊化しておく、あるいは高、または超高温度でタンパク質を変性しておき、調理の間デンプンの破裂を阻止する。いかにサワードウラクトバチルスが発酵前のデュラム小麦セモリナに使われ、グリアジンの加水分解が起こるかという新しい方法が述べ

られた。擬似穀物 (ソバ、アマランス、キノア) 粉の利用が報告され、その研究では良質グルテンフリーパスタが乳化剤、酵素を用い、実験計画を応用し得られた。グルテンフリーパスタ生産に用いられ、その他成功している成分には豆粉、ポテト粉、米粉、コーンデンプンそれに加えてハイドロコロイドである。

ピザ

ピザ粉、ピザドウ、グルテンフリーピザドウ

ピザには一般に 2 種類ある ; 厚いと薄いパリパリしたピザである。厚いパンピザにはかなり高いタンパク質粉が必要で、イーストで発酵してパン状のベースを作る。薄いパリパリしたピザは少し低いタンパク質含量の粉で、発酵するかあるいはビスケットタイプのガスをだしてつくるベースのものである。ピザドウはストレートフォワード法で作る (図 14.5)。小麦粉とともに残り成分は塩、水、膨化剤としてベーカーズイーストを用いる。異なったタイプとして、乳酸菌とイーストが膨化プロセスで用いられる (Coppola *et al.*, 1998)。

全体的のピザの品質は主にドウに基づき、そ

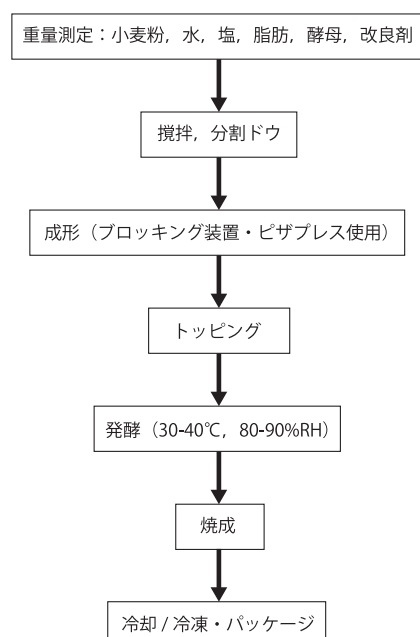


図 14.5 ピザの製造

の性質は膨化プロセスに、さらに粉のタイプ、調製方法に影響される。良い品質のピザは、ドウがシート状となり、ふくらみ、イーストによるガスを保持し、同様に良いテクスチャと官能性を有する。パンのように、ピザクラストの主要成分は強力小麦粉である。粉中のグルテンの品質は、一度粉が水和すると凝集性、伸展性ドウができ、発酵中膨らむことができ、シーティング加工の間その形状を保持する事ができねばならない。あるピザベース工場でイーストドウの冷蔵貯蔵（冷凍より保持）がゆっくりした中間発酵に用いられている。このプロセスは中間生産物の進展を楽にするために採用されて来た。

市販の利用できるグルテンフリーピザベースがある。これらは小麦デンプン、コーンデンプン、ポテトデンプン、米粉、コーン粉、ガム、乳化剤の用な成分がベースになっている。しかしながらトピックは未だわずか研究域である。アイルランドのカレッジ、コーク大学の研究者はその仕込みを研究してグルテンフリーピザベースのレオロジー面、ベーキング適性を研究している。グルテンフリー粉とデンプン、タンパク質（卵、大豆）、あるいはハイドロコロイド（グアガム）とマイクロエンカプシュレート高脂質粉のいろいろなパラエターをコンビネーションして、これまでの述べた全ての要求を満たすことを可能とした（O'Brien *et al.*, 2002b）。ドウのかたさ、テクスチャ（ピザベースのかたさ）、色、ピザ容積のテストの結果、小麦粉ベースのコントロールによく似たグルテンフリーピザを作ることが可能であると述べた（O'Brien *et al.*, 2002a）。いろいろな成分の最もいいレシピのドウレオロジーへの影響は、基本的レオロジー（直線粘弾性域の振動試験）を用いて試験した。これらの測定から極めてはっきり判ったことは、コーンデンプンシステムでは弾性率で最も大きな増加が見られ、それはグアガムが高脂質粉と結ばれた時で（O'Brien *et al.*, 2002b）、このピザは小麦ベースをコントロールにしたピザベースに類似していた。

結 論

パンのような強力小麦粉がピザ製造ベースに使われる。ピザドウは、完全にグルテンマトリックスができ弾力の性質をもち、発酵過程の間CO₂をトラップする力を持たねばならない。ピザは世界中の全ての年代の人々に消費されている。しかしながらグルテンフリーピザベースの発展に利用できる試験結果は殆どない。1つの研究は、いかにしたらコーンデンプン、タンパク源、ハイドロコロイドを正確な比率でシート状ドウ食品を作り、良い性質のピザベースの食品を作ることができるであろうかと報告している。

グルテンフリー食品の栄養的側面

グルテンフリー食品は一般に栄養価に富むとか強化しているというのではなく、時に精製した粉あるいはデンプンでつくられるため、置き換るグルテン含有のものと比べ同じレベルの栄養価はない。そこで、グルテンフリー食事にはセリアック病患者が生きてゆくに必要な栄養的バランスが確かにとれている食事と言えるかどうか不確実性が残っている（Gallagher *et al.*, 2004）。

Kunachowicz *et al.*, (1996) は、グルテンフリー成分、および製品の栄養価値の範囲について包括的な研究を進めた。その結果、タンパク質濃度は小麦デンプンに基づく典型的なグルテンフリー粉は低い（0.4-0.5g/100g）、一方、ソバ、キビ粉中では高く、例えば各14.6と11.6g/100gであった。明らかにこれらの値は小麦、あるいはライ麦粉（各9.2, 5.5g/100g）よりも高い。さらに、そば粉はチアミン、リボフラビン、ナイアシンに富んでいて、キビ粉はまたリボフラビン、ナイアシン濃度が高かった。得られた値は小麦粉、ライ麦粉よりずっと高かった。小麦デンプングルテンフリーケーキはタンパク質、ビタミン含量が低かった。Kunachowicz *et al.*, (1996)は、多くの“健康”グルテンフリー粉（例えばソバ、ライ麦）もあるがこれらは常には使われているわけではなく、一般には大部分のグ

ルテンフリー粉と食品の栄養価は、相当する本来の食品よりも低いと結論した。

Thompson (1999,2000) はグルテンフリー食品の栄養的面に関する2つの包括的な研究を行った。初めの研究では、多くのグルテンフリー穀物製品はチアミン、リボフラミン、あるいはナイアシンがそれらを置き換えようとしている栄養価のある小麦製品に比べて劣った量であることがわかった。セリアック病を持つ人でこれらのビタミンの取り込みをまた、その人の食事全体から摂取する場合には、この研究の結果は精製したものの利用で、栄養分を与えていないグルテンフリー穀物食品にはチアミン、リボフラミン、あるいはナイアシンが欠乏食となり、そこでセリアック食事は、ビタミンB類の常に欠ける食事と評価せねばならないことを示した。Thompsonの2つ目の研究(2000)はグルテンフリー食品(パン、パスタ、冷穀物が調べられた)中の葉酸、鉄、食物繊維のレベルが調べられた。再度わかったことは、グルテンフリー穀物食品は、一般に葉酸、鉄のレベルが滋養された/栄養価を強化されたグルテン含有相当物よりも低い事であった。そこでもしグルテンフリー穀物食品がセリアック病患者に全エネルギー取り込みの十分な部分を与えるならば、そのグルテンフリー食事はこれらの栄養価が不十分レベルであることもあり得る。Grehn *et al.*, (2001) は、セリアック病と診断された49人の成人の栄養、食事の取り込みとグルテンフリー食事を調べた；その結果、正常の食事をしているコントロールグループの人に比べ、食物繊維の取り込みが低かった。栄養価の食事レベルが、典型的なグルテンフリー食事範囲内では低いと考えられるので、Mariani *et al.*, (1998) は、しっかりグルテンフリー食事を厳守すると、栄養的にバランスのとれてない食事をしている未成年の栄養状態をさらに悪くすると結論した。

グルテンフリー幼児用食事

良い栄養は幼児にとり至上の成長と発達を促進するのに不可欠なものである(Raiha and

Axelsson,1995)。穀物、粉も入るが、小児科医によって推薦される最も一般的な食物であり、炭水化物とタンパク質含量による高エネルギーの食物である(Perez-Conesa *et al.*, 2002)。最近の疫学的研究から、セリアック病は子供に一般的であり、その広がりには1:300と1:80の間である(Korponay-Szabo *et al.*, 1999)。矛盾する研究として、小児食習慣がセリアック病の全体的発生に影響するかどうかがある。Ivarsson *et al.*, (2002) は、小麦のグルテンの摂取を組み込んで長く母乳で育てたものはセリアック病の危険を低下させたこと述べた。しかしながらZiegler *et al.*, (2003) は生まれて3ヶ月たつ前にグルテン含有の供与を追加した子供が anti-transglutaminase (セリアック病の特異的血清学的マーカー) 陽性の危険性の増加を示す事を見出した。そのためはっきりした結論はでない。

グルテンフリー対グルテン含有の幼児、子供用の成分と食品の栄養上比較

離乳前の時期、食事は子供の健康に最高重要のものであり、それは主には穀物粒と子供ミルク調整粉乳がベースになるものである。フィチン酸は穀物中には高濃度ではいつている。フィテートは人間には吸収されず、フィチン酸は重要な金属類の生化学的利用とは反対の効果を示す。さらにフィテート(フィチン酸塩)のリン酸部は、栄養的には利用されない。そこでフィテートのネガティブな性質は赤子の健康に効果を示すだろう。Febles *et al.*, (2001) は、フィチン酸含量を400穀物食品(グルテン含有もグルテンフリー同様)で調べ、そしてグルテンフリー食品は明らかにグルテン含有食品(平均>20mg/g)と比べて平均3.3mgのフィチン酸の顕著な低レベルで有る事が判った。非タンパク質窒素は幼児栄養には不可欠成分として機能する。しかしながら産業加工条件は食品のその栄養価と安全性を害する(Man and Bada, 1987)。Perez-Conesa *et al.*, (2002, 2005) は、産業上の加工上の効果を調べ、例えば、熱とその後の酵

素処理の与える影響を小麦とグルテンフリー市販の幼児用の非タンパク質窒素 (NPN) レベルで調べた。加熱、酵素処理の両方がはっきりと研究した全ての穀物の NPN をかえた。特に、NPN レベルはグルテン含有穀物よりもグルテンフリー穀物の方が低く、これらの穀物中のタウリン (生まれたばかりの新生にとってもう 1 つの不可欠成分) の完全な欠乏は加熱反応ステップの間多分アンモニアに変化したのだろう。

結 論

グルテンフリー粉は一般に高度に精製されており、栄養は強化されてないので、グルテンフリー食事の人々は栄養的にはバランスがとれていない。栄養的に整ったグルテンフリー粉は存在する、例えばソバ、あるいはキビがそうであると報告されている。これらは高タンパク質で金属も高濃度である。しかしながらこれらの粉は殆ど使われておらず、業者は殆どこれを精製し、栄養価を強化しないグルテンフリー粉とし、それは低繊維、鉄、フォレート粉であった。

健康食は幼児には最高の成長と発達するのに不可欠である。穀物 (特に小麦) は幼児、若い子供の食事の基本を形成するもので、それらの置き換えは注意深く行い、栄養の取り込みが犠牲にならないように注意深く選ばねばならない。成分の選択同様、これらの成分の加工上の

変化もモニターせねばならない、それはこれまでの研究が報告するように、いかに高温や酵素処理が粉中の不可欠成分の幾つかを低下させているのかとすることである。

全体の結論

グルテンフリー穀物食品中のグルテン置換は大きな技術的挑戦である。今日までデンプン、ハイドロコロイドの利用が、産業界ではグルテンフリーベーカリー食品のグルテンを模倣するために広がった。ビスケット製造での薄力粉は、コーン、大豆、ソルガム、ソバのデンプンの範囲でうまく置換する事ができた。グルテンフリーケーキはガム、ハイドロコロイドを米、キャサバ、コーンの粉とブレンドしてつくられ、グルテンフリーパスタでは初めの成分の選択からパスタ製造のプロセス (ここではデンプンの事前の糊化、あるいは乾燥技術が導入される) まで追求する。しかしながらグルテンフリー粉の大部分は高度に精製された低栄養価のものである。グルテンフリー食品の健康面強化へのステップが次第にすすみ、最も著しいのはグルテンフリー穀物食品への擬似穀物、および他の栄養価ふくむ粉の導入である。特に高品質の食品製造で重要なのは、成長と生育が最も大切な健康な幼児、およびベビー食品である。

Refernce

- Abecassis, J., Faure, J., and Feillet, P. (1989). *J. Sci. Food Agric.* **47**(4), 475-485.
- Acs, E., Kovacs, Z., and Matuz, J. (1996). *Cereal Res. Commun.* **24**, 441-449.
- Bean, M. M., Elliston-Hoops, E. A. and Nishita, K. D. (1983). *Cereal Chem.* **60**, 445-499.
- Bhattacharya, S. and Choudhury, G. S. (1994). *J. Food Process. Preserv.* **18**, 389-406.
- Borowski, J. and Pomianowski, J. F. (1994). *Przegl. Pierkarski Cukierniczy* **42**, 11-12.
- Camargo, C., Colonna, P., Buleon, A., and Richard-Moland, D. (1988). *J. Sci. Food Agric.* **45**, 273-289.
- Caperuto, L. C., Amaya-Farfán, J., and Camargo, R. O. (2001). *J. Sci. Food Agric.* **81**, 95-101.
- Cárdenas, O. S. and de Buckle, T. S. (1980). *J. Food Sci.* 45509-45512.
- Cauvain, S. P. (2003b). In: *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. London: Elsevier Science, pp.756-759.
- Chauhan, S., Lindsay, D., Rey, M. E. C., and von Holy, A. (2001). *Microbios* **105**, 15-27.
- Chen, Z., Sagis, L., Legger, A., Linssen, J. P. H., Schols, H. A., and Voragen, A. G. J. (2002). *J. Food Sci.* **67**, 3342-3347.
- Coppola, S., Pepe, O., and Mauriello, G. (1998). *J. Appl. Microbiol.* **85**, 891-897.

- Cubadda, R. and Carcea, M. (2003). In: *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. London: Elsevier Science, pp. 4374-4378.
- Cubbeda, R. (1988). In: Fabriani, G. and Lintas, C. eds. *Durum Chemistry and Technology*. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, pp. 217-235.
- Demiante, I. M., Dupuy, N., Huvenne, J. P., Cereda, M. P., and Wosiacki, G. (2000). *Carbohydr. Polym.* **42**, 149-158.
- DesRochers, J. L., Seitz, K. D., and Walker, C. E. (2003). In: *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. London: Elsevier Science, pp. 760-765.
- Febles, C. I., Arias, A., Hardisson, A., Rodriguez-Alvarez, C. and Sierra, A. (2001). *Food Chem.* **74**, 437-441.
- Feillet, P. (1984). *Sci. Aliments* **4**, 551-566.
- Feillet, P. and Dexter, J. E. (1996). In: Kruger, J. E., Matsuo, R. B., and Dick, J. W. eds. *Pasta and Noodle Technology*. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, pp. 95-133.
- Feillet, P. and Roulland, T. M. (1998). *Cereal Chem.* **75**, 488-492.
- Gallagher, E., Gormley, T. R., and Arendt, E. K. (2004). *Trends Food Sci. Technol.* **15**, 143-152.
- Gobbetti, M., Rizzello, C. G., Di Cagno, R., and De Angelis, M. (2007). *Food Microbiol.* **24**, 186-196.
- Grant, L. A., Dick, J. W. and Shelton, D. R. (1993). *Cereal Chem.* **70**, 676-684.
- Grehn, S., Fridell, K., Lilliecreutz, M., and Hallert, C. (2001). *Scand. J. Nutr.* **45**, 178-182.
- Huang, J. C., Knight, S., and Goad, C. (2001). Model prediction for sensory attributes of nongluten pasta. *J. Food Qual.* **24**, 495-511.
- Ibanoglu, S., Ainsworth, P., Ozer, E. A., and Plunkett, A. (2006). *J. Food Eng.* **75**(4), 469-472.
- Ivarsson, A., Hornell, O., Stenlund, H., and Petetson, A. (2002). *Am. J. Clin. Nutr.* **75**, 914-921.
- Jud, B. (1993). *Food Inged. Eur.* 342-346.
- Kent, N. L. and Evers, A. D. (1994). In: Kent, N. L. and Evers, A. D. eds. *Kent's Technology of Cereals*. Oxford: Pergamon, pp.170-189.
- Kim, C. S. and Walker, C. E. (1992). *Cereal Chem.* **69**, 206-212.
- Korponay-Szabo, I. R., Kovacs, J. B., Czinner, A., Goracs, G., Vamos, A., and Szabo, T. (1999). *J. pediatr. Gastrointest. Nutr.* **28**, 26-30.
- Kovacs, E. and Varga, J. (1995). *Tecnica Molitoria*, **46**, 1206-1211.
- Kunachowicz, H., Nadolna, I., Klys, W., and Ruthowska, U. (1996). *Zywnie Czlowiekai Metabolizm* **23**, 99-109.
- Levine, L. (2001). *Cereal Foods World* **46**, 169.
- Limroongreungrat, K. and Huang, Y.-W. (2007). *Lebensm. Wiss. Technol.* **40**, 200-206.
- Man, E. H. and Bada, J. L. (1987). *Annu. Rev. Nutr.* **7**, 209-225.
- Manthey, F. A. and Schorno, A. L. (2002). *Cereal Chem.* **79**, 504-510.
- Manthey, F. A., Saujanya, R. Y., Dick, T. J., and Badaruddin, M. (2004). *Cereal Chem.* **81**, 232-236.
- Marconi, E. and Carcea, M. (2001). *Cereal foods World* **46**, 522-530.
- Mariani, P., Grazia, V. M., Montouri, M. et al.: (1998). *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* **27**, 519-523.
- Mat Hashim, D. B., Morthy, S. N., Mitchell, J. R., Hill, S. E., Linfoot, K. J., and Blanshard, J. M. V. (1992). *Starch/ Stärke* **44**, 471-475.
- Mestres, C., Colonma, P., and Buleon, A. (1988). *J. Food Sci.* **53**, 1809-1812.
- Molina, M. R., Mayorga, I., Lachance, P. A., and Bressani, R. (1975). *Cereal Chem.* **52**, 240-247.
- O'Brien, C. M., von Lehmden, S., and Arendt, E. K. (2002a). *Irish J. Agric. Food Res.* **42**, 134.
- O'Brien, C. M., Schober, T., and Arendt, E. K. (2002b). *Proceedings: American Association of Cereal Chemists International Annual Meeting*.
- Ortiz, D. E. (2004). In: *Encyclopedia of Grain Science*, pp. 134-140.
- Paterson, L. A., Mat Hashim, D. B., Hill, S. E., Mitchell, J. R., and Blanshard, J. M. V. (1994). *Starch/Stärke* **46**, 288-291.
- Pérez-Conesa, D., Ros, G., and Periago, M. J. (2002). *J. Cereal Sci.* **36**, 125-133.
- Pérez-Conesa, D., Periago, M. J., Ros, G., and López, G. (2005). *Food Chem.* **90**, 513-521.
- Räihä, N. C. R. and Axelsson, I. E. (1995). *Pediatr. Nutr.* **42**, 745-764.

- Sahi, S. S. (1994). *J. Cereal Sci* **20**, 119-127.
- Schoenlechner, R., Jurackova, K., and Berghofer, E. (2004). *Proceedings: 12th ICC Cereal and Bread Congress, Harrogate, UK*.
- Thompson, T. (1999). *J. Am. Diet. Assoc.* **99**, 858-862.
- Thompson, T. (2000). *J. am. Diet. Assoc.* **100**, 1389-1396.
- Turabi, E., Summu, G., and Sahin, S. (2007). *Food Hydrocolloids* (in press).
- Von Atzingen, M. C. and Machado Pinta e Sliva, M. E. (2005). *Ciencia y Technol. Aliment.* **4**, 319-323.
- Wang, N., Bhirud, P. R., Sosulski, F. W., and Tyler, R. T. (1999). *J. Food Sci.* **64**, 671-678.
- Ziegler, A. C., Schmid, S., and Huber, D. (2003). *J. Am. Med. Assoc.* **290**, 1721-1728.

連絡先：瀬口 正晴 (Masaharu Seguchi)
Email: :gr228587@wf7.so-net.ne.jp