

## 新解説

# グルテンフリー製品への Millet (ヒエ) の利用 (2) Millet (ヒエ) のグルテンフリー食品と飲料

瀬口 正晴 (SEGUCHI Masaharu)<sup>1, 2</sup>

竹内 美貴 (TAKEUCHI Miki)<sup>3</sup> 中村 智英子 (NAKAMURA Chieko)<sup>3</sup>

Key Words : グルテンフリー Millet (ヒエ)

本論文「新解説 グルテンフリー製品への Millet (ヒエ) 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 6 章 Gluten-free foods and beverages の一部を翻訳紹介するものである。

### 伝統的食品と飲料

非常に多くの伝統的 millet 食品および飲料がある。それらを分けると全粒食品, ミール / 粉末食品, 非アルコールとアルコール飲料がある。これら伝統的製品はアフリカ, インド, 東アジアで消費される。各地方とも広大な数のため, 各種食品と飲料のカテゴリー説明には限界がある。

### 全粒食品

インドでは finger millet を含む多くの種はポップ料理される。粒を約 19% まで湿らせる工程は, 調節するのに数時間かかる。続いて熱い砂 (240 °C) の層上で粒を数分間攪拌する (Malleshi and Hadimani 1994)。ポッピングは外側の皮を除去する。ポップした粒はスナック, さらに, 製粉して次の加工となる。残念ながら通常製品の品質は酸化され, 砂が混じる。インド, Gujarat 地区において全粒 finger millet は米の様な加工品 kichadi と呼ばれるものになる (Subramanian and Jambunathan, 1980)。また, 同じような製品が発芽した粒でも作られる。

### ミール / 粉からの製品

広範囲の伝統的 millet 食品にはミール (荒く挽いた粉) あるいは粉から作られたものがある。この

食品にはフラットパン, クスクス, ダンプリング, 粥がある。

### フラットパン

これはパンケーキのようなもので, アフリカ (エチオピア, エリトリア, スーダン) の Horn (角) 地域の主食である。このフラットパンは millet から作る。フラットパンの特徴は, 粉が乳酸菌とイースト混合物の発酵で変化し (Gashe *et al.*, 1982), ある種の発酵テクスチュアやフレーバーが得られる。おそらく, これらの平パンで最も良く知られたものはインジェラ (injera) とキスラ (kisra) の 2 つである。

### 1. インジェラ (injera)

インジェラはエチオピアとエリトリアで食され, スポンジテクスチュアのパンケーキで直径約 50cm, 圧さ 5mm の大きなクレープのような形に片面だけを焼き上げる。それはハネコンボの様な外様で, 形状は English クランペットにも似ている。また, インジェラを作るのに好まれる teff は finger millet に次ぐ穀物である。これはインジェラが millet 等で作られるため, sorghum や他の穀物で作られる時に比べてゆっくり老化するからである (Yetneberki *et al.*, 2004)。インジェラはスパイスソースの様なも

<sup>1</sup> 神戸女子大学, <sup>2</sup> 日本穀物科学研究会前会長, <sup>3</sup> 神戸女子短期大学

のを添えて食す。

## 2. キスラ (kisra)

スーダンのキスラは、薄く柔らかいウエハース (1-1.5mm 厚) 状で穴もスポンジ状テクスチャもない (Badi *et al.*, 1989)。キスラはシチュー (ムラーあるいはタブビーク), レリッシュ, またはソースが添えられ, 塩, チリーで味付けして出される (Ejeta, 1982)。millet は南インド, スリランカではドーサや薄い発酵パンケーキで黒グラム (緑豆) を含むパンケーキをつくるのに使う (Murty and Kumar, 1995)。

## 3. ロチ (roti)

最も良く知られた未発酵フラットパンは millet (pear millet, finger millet) から作られたロチで, チャパッチとしても知られている。このインドで人気がある主食は非常に薄く 1.3-3.0mm, 直径 12-25cm のパンケーキでソフトで柔らかいパフ状食感である。ロチは植物, 肉, 発酵ミルク食品, ピクルス, あるいはソースを添えて出される (Murty and Kumar 1995)。エチオピアでは類似の甘い, 膨らませないフラットパンでキタといい, teff で作られ好まれている (Bultosa and Taylor, 2004a)。

## クスクス

北アフリカでクスクス (蒸した凝集食) は, セモリナ (小麦内胚乳の粒) で作り, 世界中のスーパーマーケットで広く販売されている。しかし西アフリカのサハラ諸国, 例えばマリ, セネガルでは, pear millet (Plate 6.2) でクスクスは作られ, 度々 sorghum あるいは maize と混ぜて作られる。このクスクスは蒸して作られ, 蒸したクスクスはヨーグルト中で混ぜて, セアクリ, セアクライ, チアクリと呼ばれる。しかし凝集し蒸さないクスクスはアロウ, あるいはカローと呼ばれる。クスクス製品は粒子サイズにより分類されるようだ。細かな粒子で蒸気処理したクスクスはシエレと呼ばれ, 一方, シアクリは荒い粒子のもの。細かな粒子のクスクスはフレークグリットに似ていて, 荒いものは小麦粒子サイズ様である。普段, クスクスはスパイシーな香りあるソースを添えて出す。

## 団子と他のドウ製品

南アフリカの北部のペデ人は伝統的なボイル団子を全粒 pear millet ミールからつくる (Quin, 1959)。これらの団子はジングワ ザ ブピ ブジャ レオザと呼ばれ, pear millet から作る団子あるいはパンという意味である。色は緑色-茶色の固い砕けやすいテクスチャで, 僅かに苦いナッツ臭とカビ臭い甘味のある美味しいものだ。ジングワ ザ ブピ ブジャ レオザに似ているインドの団子製品は mudde と呼ばれる (Malleshi and Hadimani, 1994)。また, インドでは蒸した millet ドウをフライにしたボンガナムというスナックフードがある (Subramanian and Jambunathan, 1980)。

Lin *et al.*, (1998) は, proso millet から作った oil pudding と呼ばれる同じタイプの製品が中国北部のシャンクス地方にあると述べた。蒸した millet ドウの切れ端は周りを調理赤豆で包みフライにする。oil pudding の内側は確かな甘味とデリケートなテクスチャがある。

## お粥

伝統食品には無限にお粥があり, それらは millet から作られる。お粥の種類には砕いたポテト状の固い物から, 流れるようなスプーンで食べられるようなものまである。一貫していることは第1にお粥の固形含量の範囲に関わることで, ほぼ 30% から 10% まで低下する範囲である。また, 温度もお粥の重要な役割でもある。粘りのある熱いお粥は冷却すると何れも固化する。お粥はまた, いろいろなフレーバーも多く, 乳酸発酵の酸味, または, タマリンドジュースの酸を添加した酸味, さらに今日ではマヨネーズのよう酸味のものもある。一般的にはお粥はアルカリ性であり, お粥を作るのに麦芽穀物粉が材料として加えられる。これはお粥に甘味を与え, 粘度を低下させるためである。

アフリカで食べられているのは固いお粥である。南アフリカでは多くの名前があり, そこにはパプ (南アフリカ), サザ (ジンバブエ), 東アフリカではウガリとよばれ, キスワハリ語である。今日では一般にこの固いお粥はトウモロコシ粉で作られる。しかし pear millet, finger millet 等は未だその地域の農村の人々の間で用いられている。サハラ地域では固いお粥は一般にトーと呼ばれ, 皮を取っ

たた pear millet がおそらく最もポピュラーな使用穀物である。マリではトーはしばしば木材あるいは millet/sorghum 茎の浸出液、あるいはライム (カルシウムオキサイド) を添加し、アルカリ性にして作られる (Rooney *et al.*, 1986)。トーの pH は約 8.2 でソースとともに冷やして出される。中国の山西省では foxtail millet お粥は伝統的な食品である (Lin *et al.*, 1998)。南アフリカ、ボツワナでは、北部で人気のある中程度の粘りの発酵したお粥、テングがある。ペジ人は伝統的に全粒 pear millet ミールからテングを作る (Quin 1959)。作り方はお粥を調理する前に 1 日発酵する。出来上がったお粥の乳酸含量は約 0.8% である。よく知られる薄いお粥はナイジェリアのオギとケニヤのウジである。何れも酸味があり酸性である。通常、オギは pear millet から作り、ウジは finger millet から作る (Plate 6.2)。

### 非アルコール飲料

#### オスキムンド

ナミビアで非常に人気のある pear millet 飲料は、オスキムンドと呼ばれる。それは乳酸発酵したもので pear millet 粉と sorghum 麦芽粉を混ぜて作る (Taylor, 2004b)。オスキムンドは緑色-茶色で僅かに粘りのあるバター酸味のあるものである。類似したものではトグワがあり、maize 粉と finger millet 麦芽で作る (Oi and Kitabatake, 2003)。また、タンザニア、ナイジェリアでは pear millet と white fonio で作るクヌンザキ (Ayo, 2005) (Plate 6.2) がある。ジンバブワでの伝統的な発酵飲料は、ミルク、finger millet と混ぜ、高栄養価飲料を作る (Mugocha *et al.*, 2000)。

### アルコール飲料

アフリカの多くで pear millet, finger millet は未だに伝統的なアフリカビールに広く用いられている。南アフリカで伝統的ビールは外見から濁りビールと呼ばれる。それは穀物、糊化デンプン、イーストからの半懸濁粒子によって濁るからである。Quin (1959) はペジ人がいかにしてこのビールを 100% pear millet 麦芽から作ったかを述べたが、これはブジャルワ ブジャ レオザと呼ばれるもので、文字的には pear millet からのビールと言う意味である。ビールは緑色-褐色の色をしており、ミルク状で発



Plate6.2 様々な Millet ベースの食品

上左から右: finger millet 粉 (ケニア), finger millet 粉 (タンザニア), finger millet ベース酸性 uji ミックス (ケニア), finger mil と大豆のミックス (タンザニア)。中左から右へ: pearl millet (セネガル), pearl millet チアクリ蒸しクスクス (セネガル), 膨化 proso millet (アメリカ)。下左から右へ, pearl millet arraw 非蒸しクスクス, tamarind 酸性インスタント pearl millet kunun (ナイジェリア)。

泡性に均一性があり、好ましいカビ臭、苦みある酸味がある。乳酸含量は 1.8%。この不透明ビールは発泡性だが、殺菌していないため発酵が活性の間に失われる。不透明ビールは比較的、低アルコール含量で 3% ほどである。今日、ジンバブワのブラワヨでは、pear millet を大型コマースケールで自動空気圧タイプの麦芽化を行い、エノブと呼ばれる産業化された不透明ビールの成分に使っているが、そのビールはデバイレン語でゾウを意味する。

同様のものがバルカン、エジプト、トルコで製造され、ボサ、ブサあるいはボウザという (Arici and Daglioglu, 2002)。ブゼという名前はペルシャ語で millet のことである。ボザはいろいろな穀物から醸造されるが proso millet が好まれる。薄い溶液で、色は青-黄色で酸-アルコール臭の特徴がある。アルコール含量はかなり低く、1% 以下だがエジプトのボザは 7% 以上ある。エチオピアでは finger millet, teff がテラと呼ばれる伝統的な不透明ビールに、カチカラと呼ばれる spirit に用いられる (Bultosa and Taylor, 2004a)。ヒマラヤでは伝統的ビール、チャングあるいはジェナルド/ジェエナルと呼



ばれる finger millet からつくるものがある (Malleshi and Hadimani1994)。興味深いことは、発酵プロセスには粒の麦芽を含まないことである (Basappa, 2002)。

対照的に西アフリカの伝統ビールは pear millet を含む穀物から作るが基本的には透明である。これらのビールはブルクツ、ドロ、ピト、スリム、あるいはタラといろいろ知られている (Taylor and Belton 2002)。これらの特徴としては濾過をされるが、多少濁る。それらは甘く、僅かな酸味と果物の香りがあり、1-5% アルコールを含む (Demuyakor and Ohta 1993)。

### 伝統的 millet (ヒエ) ー加工技術 製粉

アフリカでは millet は伝統的に木製の杵とボールで挽かれるか、あるいはサドルの石を基本としローラーミルが用いられる。インドでは、石の回転ミルが用いられる (Subramanian and Jambunathan1980; Murty and Kumar, 1995)。これらの加工は一般に2段階プロセスからなる (Smith 1996)。初めの段階はふすま除去のための皮剥で、それは粒に水を吸わせてから得られる。ふすまは次に選り出すか、あるいは篩にかける。次に粒は水洗,あるいは水に浸け、残りのふすまを除去し、乾燥する (図 6.2)。水に

浸けている段階で乳酸発酵が起こり、好ましい酸味の香りがついた最後の粉になる (Taylor, 2004b)。2番目の段階では内胚乳を減らし、ミールまたは粉にする。今日では伝統的方法はほとんど機械粉砕に置き換わった。アフリカでは通常 pear millet は初めに研磨, 円盤脱皮機を使って粒の皮剥をする (Bassey and Schmidt, 1989)。

一般的なタイプは PRL (Prairie Research Laboratory) 脱皮機である。脱皮機はシリンダーチェンバーの中で、幾つかのカーボランダム, またはレジノイドデスクがホリゾータルシャフト上に乗っている。シャフトは電気モーターあるいはエンジンで高速回転する。ふすまは粒から研磨デスクの作用ではがれ,そして粒は互いに擦れ合い, チェンバーの表面に対しても擦れて剥がれる。脱皮の程度は簡単に脱皮時間でコントロールできる。ふすまはアスピレーションあるいは篩で除去できる。脱皮後, 内胚乳はハンマーミルでミールあるいは粉に砕かれる (Taylor 2004b)。インドでは今日, 製粉は一般にデスクミルを使って製粉され, それはチャッキイと呼ばれる (Subramanian and Jambunathan1980)。これらは2つの垂直の石, 鋳鉄あるいはスチールデスクからなり, その内部表面は溝がついているか盛り上げている (Munck, 1995)。1つが回っており, 他は止まっている。粒はデスクの真ん中の上から入り, デスク



図 6.2 millet 食品の製造プロセス

左: pearl millet 用の砥粒除去器 (上部チャンバー: 脱殻器, 下部チャンバー: 篩分離器) (セネガル)。中央: pearl millet スクスの凝集 (セネガル)。右上: 乾燥した, 発酵させた pearl millet の穀粒の乾燥 (ナミビア)。右下: teff injera の生地を粘土のグリドル (平鍋) (エチオピア) に注ぐ。

の間から出てくる。一般的な操作方法は伝統的な石ミルと同じである。

### 製パン法

Millets は他の小麦以外の穀物同様、グルテン形成タンパク質を含まない。小麦グルテンタンパク質は小麦ドウを作り、その粘弾性で気泡ホールデングしたテクスチャを与え、パンの膨らみを与えることができる。グルテンが無くても膨らんだフラットパン例えばインジェラは millet から作られる。これらができる鍵は、インジェラを作るのに、発酵ドウの一部 (20%) を水でペーストとし、調理することである (Taylor 2004b)。この製品はアブシットと呼ばれる。調理はデンプンを糊化し、アブシットの粘性物を作る。アブシットは次にドウにもどし、かたまりをバターに薄め、それをさらに発酵する。バターの増加した物性は調理の結果、アブシットは発酵中生じる CO<sub>2</sub> を良く保持できるようになる。2つ目の重要なことは、インジェラがいかに焼かれるかである。発酵したバターはミタドと呼ばれる熱い粘土のグリドルに注ぐ (図 6.2)。次にミタドのフタをバターの上から閉め、バターを蒸す。バター温度は上がり、CO<sub>2</sub> は液体から出てくる。同時にバター中のデンプンは糊化し、その粘度を上げる。バター中でガスアワを作る効果は、ガスが逃げる時にセルを作り、バターはセットする。3つ目に大切なことは粒自体の性質による。teff, finger millet は最も品質の良いインジェラを作る。特にこれらの粒からつくるインジェラは老化に抵抗性がある (Yetneberk *et al.*, 2004)。これらの密接な millets と関係ある良い品質のインジェラを作る正確な理由は知られていないが、デンプンと関係あるようで、おそらく顕著なのは両方の持つ成分が簡単なタイプのデンプン粒ではないことである (Bultosa *et al.*, 2000)。集合デンプン粒は多くの小さい多形粒からなる。

### 蒸しとかたまり

クスクスは特徴的な粒状テクスチャがある。millet のクスクスを作るのは最初に細かな粒 (粒は 1mm 以下) を 30-40% 水で湿らせミールを手で粒にし、そしてその粒をふるって均一サイズにする (図 6.2) (Galibe *et al.*, 1987)。それを次に蒸気で蒸す。

次に蒸した粒は手で集めてかたまりにし、篩って再び蒸す。このプロセスをさらに繰り返す。蒸すプロセスはデンプンを糊化し、粒を共に固める。

### 乳酸発酵

これまで述べたように多くの伝統的 millet 食品は酸味がある。伝統的に加工は乳酸菌 (LAB) 発酵で進められる。発酵は同時 (例えば天然のバクテリアによるもの)、あるいは選択されたスターター培養によるものである。もう 1 つの可能性は発酵した食品製品の 1 部を使うこと、またはドウとか次に発酵の接種物のような中間的なものを使うものである。このプロセスは back-slopping として知られる (World Health Organization 1996)。Botes *et al.* (2007) は、LAB レベルを  $9 \times 10^{15}$  から  $15 \times 10^7$  cfu/mL と測定し、3 種のブルガリアのボザ中に測定している。それらは全て *Lactobacillus* (i. e. *L. brevis*, *L. fermentum*, *L. paracasei*, *L. pentosus*, *L. plantarum*, and *L. rhamnosus*) 属である。*Lactobacillus bif fermentans* と *Pediococcus pentosaceus* は finger millet 発酵した飲料ジャーニーから分離された (Saroj and Prakesh, 2004)。

乳酸発酵は幾つかの栄養改良を grain 中にもたらす。タンパク質、炭水化物消化性は改良され、ビタミン B が増え、ミネラル利用性は改良される。しかしながら最も大切な発酵の健康利益は pH4.0 以下に pH が低下することである。これは病原菌成長を阻害し (Svanberg *et al.*, 1992)、そして食品の悪変スピードを低下する (World Health Organization, 1996)。この両方の効果は発展途上国では非常に好ましいもので、そこでは多くの人々が安全な水、あるいは冷蔵食品貯蔵の利用ができないからである。これらの人々にとって有益なため WHO (1996) は、乳酸発酵を食中毒に対する完全な挑戦と考えている。

### 麦芽と醸造

麦芽はコントロールされた環境条件下、湿気ある大気中で、穀物粒の制限発酵である。伝統的に南アフリカでミレットとソルガムの麦芽は、川の中に葉を袋状にして入れて浸け、続いて粒を 2-3 日袋の中で放置、あるいは床に広げて発芽させて作る (Gadaga *et al.*, 1999)。麦芽は次に太陽下で乾燥し、最後に荒く粉砕する。大きな変化は粒中で麦

芽が生じ、粒の  $\alpha$ -、 $\beta$ -アミラーゼの活性化が起こる。お粥では、麦芽は麦芽  $\alpha$ -アミラーゼによりデンプンの加水分解をし、お粥粘度低下を起す。この粘度低下効果は非常に大切で、お粥が離乳食あるいは弱者のための食糧として用いられる時に重要である。どんな食品の栄養価も直接その固形食品に関係がある。こうして 30% 固形のお粥は、10% の栄養食品より 3 倍多いだろう。しかしこのお粥は固くて、幼児にはあまり良くない。粘度の低下は麦芽粒を加えて到達できる。例えば、sorghum 麦芽を 25% 固形 pear millet のお粥に添加すると、全固形物は 30% となり、おかゆの粘度は 6000cp 以上から受け入れることができるレベル、わずか 2500-3000cp に低下する (Thaoge *et al.*, 2003)。さらにお粥は麦芽  $\beta$ -アミラーゼの作用でより食べやすくなる (例えばマルトースの生産と甘味度増加)。ジアスターゼ力に関し、アミラーゼの全体レベルは pear millet 麦芽 (Pelembé *et al.*, 2002), finger millet 麦芽 (Gomez 1994) は、sorghum 麦芽に類似していることが示された。しかし pear millet はより  $\beta$ -アミラーゼ活性が高く、大麦麦芽レベルに近い (Pelembé *et al.*, 2004)。薄いお粥用に用いられる麦芽穀物は、アミラーゼリッチ粉 (ARF)、あるいは“パワー粉”と呼ばれる (Alnwick *et al.*, 1988)。アフリカの離乳食を作る時には ARF の利用が安全性と衛生習慣につながり、強く推薦されてきた。また、粒の麦芽化には他の多くの効果が穀物粒成分にあり、そのうちほとんどは栄養価のプラス効果である (Taylor and Belton, 2002)。必須アミノ酸成分は改良され、タンパク質とデンプンの消化性も同様に改良される。ビタミン B 含量は増え、ミネラルの生体利用性はフィチン酸の分解で改良される。

### ビール醸造

ビール醸造では麦芽の 1 番の機能はアミラーゼを与えることで、デンプンをマルトースにし、さらに適当に分解し、イーストで発酵されエタノール、CO<sub>2</sub> にする。Gadaga *et al.*, (1999) は、ジンバブーで pear millet あるいは finger millet を用いる“ドロ”と呼ばれる濁りビールの醸造の伝統的プロセスを述べた。このプロセスの中で、麦芽はデンプンを糊化するのに調理され、酸っぱくし、続いて麦芽はアミラーゼ源として加えられデンプンを加水分解し

た。典型的にはこの伝統的ビールのアルコール発酵は、野生イーストによってもたらされる。これはエタノールに加えてメタノール、ブタノール、他のアルコールがこのビールのあるタイプから検出された。興味深い事に Bulgarian boza の分析で、Botes *et al.*, (2007) は 7 種のイーストをみつけ、主には *Candida* と *Pichia* 種であったが、しかし見つけたイースト中には *Saccharomyces* 属に入るイーストはなかった、そのイーストはビールアルコール発酵に関係する普通のイーストに含まれるものである。僅かな対照として、finger millet ビール、ジャーナルには *S. cerevisiae* の含まれる事が見つけられ、しかし *Saccharomycesopsis fibuligera* は *Candida* と *Pichia* 種同様に分離された (Saroj and Prakesh, 2004)。

### 最近、未来の傾向 製粉

粒が小さいために millet 製粉の大部分の挑戦はふすまから効率よくきれいな粉を分離することである。この分離させる困難さを解決するために、かなり革新が図られた。おそらく最も効率的な方法は、1990 年代初期、セネガルの機械エンジニア Mr. Sanoussi Diakite によるフォニオの脱皮であろう。明らかに脱皮機は、一種のラセンプロペラの研磨トレイが着いているしなやかな研磨デスクである (Smith, 1996)。人力の脱皮では 1 時間以上かかったものを、2kg、6 分間で精製する。精製した穀物食品は高い効率で 95% という非常にきれいなものである。ケニアの finger millet の製粉場で、修正を加えた玉型の脱胚芽装置を使って脱皮がうまくいった。1970 年代、原理は Carter disc grain セパレーターを模した Palyi-Hansen BR 001-2 という垂直の dic 型脱胚芽装置がカナダで sorghum と millet の脱皮用に改良された (Rasper 1977)。1 時間あたり粒 3t までの能力があり、pear millet から約 77% が回収された。

もう 1 つのタイプの sorghum と millet 用の脱皮装置がデンマークの United Milling System で開発された (Munck 1984)。この脱皮装置は手で打ち付けるやり方を模倣するタイプである。それは事前に湿らせた粒を下から脱皮チェンバーへ移すスクリュウからなる。脱皮は穴あき円筒形スクリーンへのローターターニングの方法でなされる。脱皮装置は垂直のデスク製粉に結びついている。粉回収



80% が pear millet で求められた。しかしながら、この収量を得るために必要なのは、ふすまとともにスクリーンを通過させ、内胚乳の 60% をふるいとアスピレーターで回収することである。ニジェールでは、製粉プロセス、SOTRAMIL (Societe de Transformation du Mil) は特に pear millet 用に改良された (Goussault and Adrian, 1977; Kent, 1983)。

精製した洗浄粒は、水平のミルストーンタイプマシンを用いて脱皮する。脱皮した粉は次にブラシマシンに通し、さらに不純物を除去し、そして製粉して粉にし、その際 Ultrafine インパクトグラインダーを用いる。空気輸送の内胚乳物質を 85°C でグラインダーに運ぶ。これは水分含量を安全レベルまで低下させ、粉を殺菌し、昆虫、卵を殺し、脂質を不活性化、他の粒中の酵素を不活性化する。研削した後、粉は篩で分離する。小麦製粉に用いるローラー製粉は、それ自身ではミレット製粉ではうまくいかない (Perten, 1977)、しかし商業的には付け加えステップで用いられている。ナミビアでは、pear millet の工業的製粉は初めに disc 脱皮装置で粒を脱皮し続いてローラーミルで内胚乳を製粉する (Mr S. C. Barrion, Lecturer, University of Namibia 個人連絡)。Senegal hammer 製粉ではさらに pear millet を製粉して内胚乳の大きなかたまりを粉にすることをやっている (Smith, 1996)。

## 食物と飲料

### パンとビスケット (クッキー)

セネガルでは 30 年以上、バケットタイプのパンはパールミレットを用いて作られてきた。粉は約 85% 小麦粉、15% millet 粉である (Perten, 1984)。バケットは 100% 小麦粉のものより小さく、黒いが人気はまだある。

グルテンが欠けることは、100% 非小麦粉で作る製パンプロセスを変える必要がある。一般に 100-150% ぐらいの水を粉に加えて用いるバターを、ドウの変わりに用いる (Taylor *et al.*, 2006)。このプロセスはケーキ製造により近い。さらにハイドロコロイド、デンプンあるいはガムが、非小麦粉とのコンビネーションのレシピに通常含まれる (Satin 1988)。添加ハイドロコロイドは、インジェラを作るときのアブシットのような機能を示す。1990 年頃、Nigeria Federal Institute of Industrial Research で

これらのバターパンのパイオニア的研究が行われ、著しい成功をおさめた。Olatunji *et al.*, (1992) は、70% maize, sorghum あるいは pear millet 粉、プラス 30% キャッサバデンプンと正常の成分、イースト、塩、砂糖、ショートニング、カビの  $\alpha$ -アミラーゼとでバターブレッドを作った。バターは粉に対して 80-100% 水を入れた。バターは 30 分間発酵し、ベーキングパンに注ぎ、さらに 20 分間発酵し、そして焼く。3つの穀物粉のうちの 1つ、pear millet でパンを作ると高い比容積 2.33 cm<sup>3</sup>/g を示した。しかし残念ながら pear millet はクラムの色が灰色がかったもので、受け入れられないという判断である。

ビスケットを作る際は、非小麦粉を用いるとビスケットは壊れやすく崩れやすい。Pear millet 粉を用いる時、Badi and Hosney (1977) はその溶液だけには小麦粉をレシピに入れねばならぬことを明らかにした。小麦粉の比率が増えるに連れて、ビスケットは次第に崩れやすさが減り、大きな直径のものになる。興味深いことに、ほぼ 30 年後、Indrani *et al.*, (2004) の finger millet ビスケット製造加工が US パテントに認められた。レシピは 50-60% finger millet 粉、7-10% 小麦グルテン粉、プラス他成分でできている。

### 簡単に食べられる食品

米国で特別に膨らませた proso millet 製品ができた (Plate 6.2)。この簡単な朝食穀物は、圧力容器 (Gun Puffing) で作られた。圧力容器では全粒を容器に入れ、容器は約 1750kPa の蒸気を入れる。容器は 150°C で 1-2 分間加熱する。トリップバルブが離され、粒は容器外に放出する。圧力の素早い低下で、粒中の水は瞬間的に蒸発し、デンプンの糊化と粒の膨化が起こる。粒の膨化でふすまがはがれる。研究がさらに進み、いろいろな技術の利用で簡単に食べられる foxtail millets 食品が出現した (Ushakumari *et al.*, 2004)。確かなことは、ローラー乾燥はデンプン糊化をもっともよく進め、続いてポッピング、フレーキング、エクストルージョンクッキングと進むことである。

### 飲料

麦芽 finger millet 粉に熱ミルクを混ぜ飲料にする

と、インドでは人気のある製品となる (Malleshi and Hadimani, 1994)。しかし明らかにマーケット上の製品の多くは 10% 以下の millet 麦芽を含む。これは粉分散率の問題のためである。食品の進歩は、品質改良を要求する。しかしナイジェリアでは、特別のインスタント pear millet 飲料、クヌンザイマと呼ばれるものがあり (Plate 6.2), ここにはタマリンド oil で香り付けした調理済み pear millet 粉が含まれる。

millet のラガービール醸造を見てみると、大きく研究されていない (Taylor *et al.*, 2006)。これは sorghum の状況に比べた場合で、市販 sorghum がラガービールでは今や多くの国で醸造されているからである。おそらくこの違いの大部分の理由は、醸造に用いる際 millet はそれらを作るのに十分低コストで利用できない点である。それにもかかわらず、制限された研究で millets は有用な醸造成分であることを示す。例えば Nzelibe と Nwasike (1995) は、研究室での醸造では pear millet と fonio 麦芽の方が sorghum 麦芽より本質的にはより高度の抽出 (麦芽の可溶性) ができることを観察した。

### 健康食品

millet の最も重要な食品としての健康促進面は、一般にフェノール酸を相当量含んでいることである。フェノール酸は抗酸化活性が顕著であり、それは循環器疾患、ガン抑制の点で価値があるようである (Awika and Rooney 2004)。残念なことに millet のフェノール研究には限界がある。しかし凝いもなく言えるのは、全ての millet にはフェノール酸があることだ (Dykes and Rooney, 2006)。一般に ferulic acid, p-coumaric acid, cinnamic acids が主なタイプである。Millet 唯一の flavonoids は flavones で、それらは粒の色素沈着に関係ある。タンニンタイプのフェノール酸に関し、finger millet で濃縮したタン

ニンをふくむ幾つかの品種はユニークであるようだ (Ramachandra *et al.*, 1977)。タンニンを含有する品種の抗酸化活性はタンニンなしの品種よりもずっと高く、タンニンがある sorghum に類似している (Siwela *et al.*, 2007)。

### おわりに

millet にはグルテン形成タンパク質を含まないという事実にも関わらず、非常に多くの millet 食品、飲料には異なったタイプがある。発展途上国では人々が次第に都会化しても millet は普通にその人気を保持している。これは図 6.2 に示すように、パッケージされた millet ベース食品製品の人気から明らかである。例えばアフリカ西部のサハラ地域では、sorghum と millet の加工機械数とそれらが作る量が急激に増え、都市人口の増加による要求に応じている (Vitale and Sanders, 2005)。発展国の有機農家、専門食品会社では millet を理想製品として転換している。よい例は米国アイダフォ州の teff 農業がある (National Research Council, 1996; The teff Company, 2007)。

millets は可能性があり、我々の食事にバラエティを与えてくれ、有用な健康促進の性質があり、特に抗酸化活性がある。多くの millet 加工技術、および食品製品発展には革新性がある。現在より関心が必要と思われる地域は millet のコスト競争力の改良である。これは適宜、機械化された農家にとって都合のいい改良によって、より生産性の高い品種、掛け合わせ等により成就される。この仕事は世界中のいろいろな代理店によって進められているが、特に Semi-Arid Tropics (ICRISAT) のための International Crops Research Institute や CGIAR (Consultative Group on International Agricultural Research) といった組織が millets 生産のために責任ある組織であり、より財源を必要としている。

### References

- Alnwick, D., Moses, S., and Schmidt, O. G. (1988). *Improving Young Child Feeding in Eastern and Southern Africa: Household-level Food Technology*. Ottawa: International Development Research Centre.
- Arici, M. and Daglioglu, O. (2002). *Food Rev. Int.* **18**, 39-48.
- Awika, J. M. and Rooney, L. W. (2004). *Phytochemistry* **65**, 1199-1221.
- Ayo, J. A. (2005). *Br. Food J.* **106**, 512-519.
- Badi, S. M. and Hoseney, R.C. (1977). *Proceedings of a Symposium on Sorghum and Millets for Human Food*. London: Tropical Products Institute, pp. 37-39.



- Badi, S. M., Bureng, P. L., and Monowar, L. Y. (1989). In: Dendy, D. A. V. ed. *ICC 4th Quadrennial Symposium on Sorghum and Millets, Lausanne, Switzerland*. Vienna: International Association for Cereal Science and Technology, pp. 31-45.
- Basappa, S. C. (2002). *Indian Food Ind* **21**, 46-51.
- Bassey, M. W. and Schmidt, O. G. (1989). *Abrasive-disk Dehullers in Africa*. Ottawa: International Development Research Centre.
- Botes, A., Todorov, S. D., Von Mollendorff, J. W., Botha, A., and Dicks, L. M. T. (2007). *Process Biochem.* **42**, 267-270.
- Demuyakor, B. and Ohta, Y. (1993). *J. Sci. Food Agric.* **62**, 401-408.
- Dykes, L. and Rooney, L. W. (2006). *J. Cereal Sci.* **44**, 236-251.
- Ejeta, G. (1982). *Proceedings of the International Symposium on Sorghum Grain Quality*. Patancheru, India: ICRISAT, pp. 67-78.
- FAO (2007). <http://faostat.fao.org/> (accessed March 2007).
- Gadaga, T. H., Mutakumira, A. N., Narvhus, J. A., and Ferusu, S. B. (1999). *Int. J. Food Microbiol.* **53**, 1-11.
- Galiba, M., Rooney, L. W., Waniska, R. D., and Miller, F. R. (1987). *Cereal Foods World* **32**, 878-884.
- Gashe, B. A., Girma, M., and Bisrat, A. (1982). *SINET: Ethiopian J. Sci.* **5**, 69-76.
- Germplasm Resources Information Network (GRIN) (2007). *GRIN Taxonomy for Plants*. [www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs](http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs) (accessed February 2007).
- Goussault, B. and Adrian, J. (1977). In: Dendy, D. A. V. ed. *Proceedings of a Symposium on Sorghum and Millets for Human Food*. London: Tropical Products Institute, pp. 13-17.
- Indrani, D., Manohar, R. S., Rajiv, J., and Rao, G. V. (2004). US Patent 2004/0191386 A1.
- Kent, N. L. (1983). *Technology of Cereals*. 3rd edn. Oxford: Pergamon Press.
- Kumari, P. L. and Sumathi, S. (2002). *Plant Foods Hum. Nutr.* **57**, 205-213.
- Lin, R., Li, W., and Corke, H. (1998). *Cereal Foods World* **43**, 189-192.
- Marathe, J. P. (1994). *Advances in Small Millets*. New York: International Science Publisher, pp. 159-180.
- Mugocha, P. T., Taylor, J. R. N., and Bester, B. H. (2000). *World J. Microbiol. Biotechnol.* **16**, 341-344.
- Munch, L. (1984). *Symposium: The Processing of Sorghum and Millets: Criteria for Quality of Grains and Products for Human Food*. Vienna: International Association for Cereal Science and Technology, pp. 41-47.
- Munck, L. (1995). *Sorghum and Millets: Chemistry and Technology*. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, pp. 223-281.
- Murty, D. S. and Kumar, K. A. (1995). *Sorghum and Millets: Chemistry and Technology*. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, pp. 185-222.
- Nzelibe, H. C. and Nwasike, C. C. (1995). *J. Inst. Brew.* **101**, 345-350.
- Oi, Y. and Kitabatake, N. (2003). *J. Agric. Food Chem.* **51**, 7024-7028.
- Olatunji, O., Koleoso, O. A., and Oniwinde, A. B. (1992). *Utilization of Sorghum and Millets*. Patancheru, India: ICRISAT, pp. 83-88.
- Opoku, A. R., Ohenhen, S. O., and Ejiiofor, N. (1981). *J. Agric. Food Chem.* **29**, 1247-1248.
- Pelembe, L. A. M. (2001). Pearl millet malting: Factors affecting product quality. PhD thesis, University of Pretoria, Pretoria.
- Pelembe, L. A. M., Dewar, J., and Taylor, J. R. N. (2002). *J. Inst. Brewing* **108**, 7-12.
- Perten, H. (1977). *Proceedings of a Symposium on Sorghum and Millets for Human Food*. London: Tropical Products Institute, pp. 47-51.
- Perten, H. (1984). *Symposium: The Processing of Sorghum and Millets: Criteria for Quality of Grains and Products for Human Food*. Vienna: International Association for Cereal Science and Technology, pp. 52-55.
- Quin, P. J. (1959). *Foods and the Feeding Habits of the Pedi*. Johannesburg: Witwatersrand University Press.
- Rasper, V. E. (1977). *Proceedings of a Symposium on Sorghum and Millets for Human Food*. London: Tropical Products Institute, pp. 59-72.
- Rooney, L. W., Kirleis, A. W., and Murty, D. S. (1986). *Advances in Cereal Science and Technology*, Vol. VIII. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, pp. 317-353.
- Saroj, T. and Prakesh, T. J. (2004). *Food Microbiol.* **21**, 617-622.
- Stain, M. (1988). *New Sci.* **28** April, 56-59.
- Subramanian, V. and Jambunathan, R. (1980). *International Association for Cereal Chemistry, 10th Congress, Symposium: Sorghum and Millet*. Proceeding Vienna: ICC, pp. 115-118.
- Svanberg, U., Sjögren, E., Lorri, W., Svennerholm, A.-M., and Kaijser, B. (1992). *World J. Microbiol. Biotechnol.* **8**, 601-606.
- Taylor, J. R. N. (2004a). *Encyclopedia of Grain Science*, Vol. 2. Amsterdam: Elsevier, pp. 253-261.
- Taylor, J. R. N. (2004b). *Encyclopedia of Grain Science*, Vol. 1. Amsterdam: Elsevier, pp. 380-390.
- Taylor, J. R. N. and Belton, P. S. (2002). *Pseudocereals and Less Common Cereals*. Berlin: Springer-Verlag, pp. 25-91.
- Taylor, J. R. N., Schober, T. J., and Bean, S. R. (2006). *J. Cereal Sci.* **44**, 252-271.
- Thaoge, M. L., Adams, M. R., Sibara, M. M., Watson, T. G., Taylor, J. R. N., and Goyvaerts, E. M. (2003). *World J. Microbiol. Biotechnol.* **19**, 305-310.
- The Teff Company (2007). [www.teffco.com](http://www.teffco.com) (accessed March 2007).
- Vitale, J. D. and Sanders, J. H. (2005). *Agric. Econ.* **32**, 111-129.
- World Health Organization (1996). *Fermentation: Assessment and Research*, WHO/FNU/FOS/96.1. Geneva: WHO.
- Yetneberk, S., De Kock, H. L., Rooney, L. W., and Taylor, J. R. N. (2004). *Cereal Chem.* **81**, 314-327.