

## 新解説

# グルテンフリー製品への Millet (ヒエ) の利用 (1) 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 (1)」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 from millets 1 の一部を翻訳紹介するものである。

### 紹介

Millet (ヒエ) は単一種ではなく、単一の属内に幾つかの異なった種がある。Millet は容易に栽培できる植物 (穀物) であり、小さな粒子を有し、基本的にその粒を挽いて利用する。Millet という言葉はフランス語“mille”多くという意味から来たもので、手に一杯の Millet は数千の粒を含むという意味である。事実、表 6.1 に見られるように、Millet には多くの種類があり、そのうちのある種は非常に似ていて、例えば Proso millet, Little millet など、さらに似ていない他の種、特に Finger millet や Teff などあり、それらは他の多くの Millet とは違った種に入る。文献によると Millet の研究には少々問題がある。というのは同一種に違う一般名が用いられたり、間違っただけの種の名前が広く用いられていることである。この点で、表に示されている各種の英語名で試験するとき用いられるが、しかし俗語的な名前のリストも文献を読む時には助けになる。

この章では、まず初めに重要な Millet 種のそれぞれの各歴史、生産、粒の物理的性質と栄養的成分の点からレビューする。次に Millet から作られた生産物の伝統的食品と飲料のタイプを述べ、続いてこれらの製品をつくるために用いる加工技術の説明をする。最後に、最近および未来の Millet 食品と飲料の

傾向について調べる。

### 重要な Millet 種の解説

Millet の生産量は 2001-2005 年 (FAO, 2007) に 33.6 百万トンで、僅かに 1980 年代 (表 6.2) の 29.3 百万トンより高い。量的に最も重要な millet 種は降順に、Pear millet, Foxtail millet, Proso millet, Finger millet の順である。しかしながら全世界の生産量だけでは、ある地方での Millet の重要性を示す必要ガイドにならない。生産量の小さな発展国で、Millet はその農学的特性のために食料の安全保障の点で重要な役割を演じている (例えば Fonio の場合である) (Smith, 1996)。

### Pearl millet

#### 記述, 歴史, 生産

Pear millet は 5,000 年以上前からアフリカで栽培されていたと言われている (Adreus and Kumar, 1992)。さらに西アフリカのサハラ (サハラ砂漠近辺) 諸国から、南アフリカにかけて広く栽培されて来た。広くインドでも栽培され、おそらく約 3,000 年前にはあったであろう。収穫は一般に自給自足の農家で栽培されていたが、しかし次第にオーストラリアの様に商業的収穫になっていく。Pear millet は 1 年

<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

表 6.1 さまざまなヒエ種。主に USDA 遺伝資源情報ネットワーク (GRIN) からの情報

一般的英語名	他の一般的俗称	分類学
Finger millet	Ragi	Tribe Eragrostideae
	wimbi	<i>Eleusine coracana</i> L. Gaertn.
Teff	Tef	Tribe Eragrostideae
	Twff grass	<i>Eragrostis tef</i> (Zuccagni) Trotter
	Abyssinian lovegrass	
Job's tears	Adlay	Tribe Andropogoneae
	Adlay millet	<i>Coix Lacryma-jbi</i> L.
White fonio	Fonio	Tribe Paniseae
	Acha	<i>Digitaria exilis</i> (Kippist) Stapf
	Fonio millet	
	Hungry rice	
Black fonio	Black acha	Tribe Paniseae
	Hungry rice	<i>Digitaria iburua</i> Stapf
Japanese millet	Japanese barnyard millet	Tribe Paniseae
		<i>Echinochloa esculnta</i> (A. Braun) H.Scholz
Sawa millet	Shama millet	Tribe Paniseae
	Awnless barnyard grass	<i>Echinochloa colona</i> (L) Link
	Corn panic grass	
	Deccan grass	
	Jungle ricegrass	
	Jungle rice	
Proso millet	Common millet	Tribe Paniceae
	Boroom millet	<i>Panicumu miliaceum</i> L. Subsp.
	Hog millet	<i>miliaceum</i>
	panic millet	
Little millet	Blue panic	Tribe Paniceae
	sama	<i>Panicum sumatrense</i> Roth.
Kodo millet	Creeping pasupalum	Tribe Paniceae
	Ditch millet	<i>Paspalum scrobiculatum</i> L.
	Indian paspalum	
	Water couch	
Foxtail millet	Italian millet	Tribe Paniceae
	Foxtail bristle grass	<i>Staria italica</i> (L) P. Beauv. subsp.
	German millet	<i>italica</i>
	Hungarian millet	
Rearl millet	Bulrush millet	Tribe Paniceae
	Cattail millet	<i>Pennisetum glaucum</i> (L.) R.Br.
	Babala	
	Bajra/Bajira	
Guinea millet	False signal grass	Tribe Paniceae
		<i>Urochloa deflexa</i> (Schumach.) H. Scholz

Germplasm Resources Information Network (2007).

表 6.2 1981 年から 1985 年までのさまざまなヒエの世界および地域の推定生産量 (千トン)

	Total	Pearl	Foxtail	Proso	Finger	Teff	Fonio	Others
Africa	9557	7330	-	- <sup>a</sup>	855	1063 <sup>b</sup>	309	-
Asia	17048	6013	5462	2279	2905	-	-	386
World	29295	13351	5489	4931	3763	1063	309	387
World (%)	100	45.6	18.7	16.8	12.8	3.6	1.1	1.3

<sup>a</sup> - no reported values

<sup>b</sup> Only values from Ethiopia

Official and FAO estimates based on country information, as modified by Marathe (1994).

生植物で約 2m 高で、15-140cm 長のシリンダー状花穂をもつ (National Research Council, 1996)。Pear millet は、厳しい環境条件下でも良く対応するユニークな点があり、年間降水量が 250mm と非常に低く、さらに、約 30°C の高い気温で、非常に乾燥した土壌でも栽培できる (National Research Council 1996)。Pear millet は栽培される Millet の半分以上に相当するもの (ICRISAT/FAO 1996) であることが報告されてきたが、表 6.2 のデータは本質的にこのことを述べている。

### 粒の物理的特徴

Pear millet 粒は涙形から卵形で、色は大きく変化してクリーム白からグレーと紫色である (Plate 6.1)。種子が真珠に似ていることが名前の由来であ

る。粒は長さ 2mm までで、1,000 粒重は約 8-15g である (Abdelrahman *et al.*, 1984)。粒の構造 (図 6.1) は、ソルガム、メーズの構造に、さらに他の殆どの millet の構造は似ているが、Finger millet のみ別である。外側果皮、種皮、アリューロン層、胚芽、デンプン性内胚乳からなる。穀粒は裸になる (皮は脱穀する時に外れる)。Pear millet 粒のユニークなことは、比較的大きな胚芽であり、全粒の 21% までといわれる (Abdelrahman *et al.*, 1984)。内胚乳は粒の約 76% まで、果皮は約 10% である。内胚乳は、Peripheral (周辺部)、Corneous (角張った部分)、Floury (粒部分) 内胚乳に分けられる。Peripheral 内胚乳は、デンプン小粒の混じったタンパク質の多いマトリックスである (Serna-Saldivar and Rooney 1995)。Corneous 内胚乳では、デンプン粒はより均



Plate 6.1 さまざまなヒエ

上 左から右 Pearl millet (ジンバブエ), Finger millet (エチオピア)。中 左から右へ:Fonio(セネガル), Teff(エチオピア) Teff (南アフリカ)。下 左から右へ:装飾 Fonio (セネガル), 装飾 Proso millet (オーストラリア)

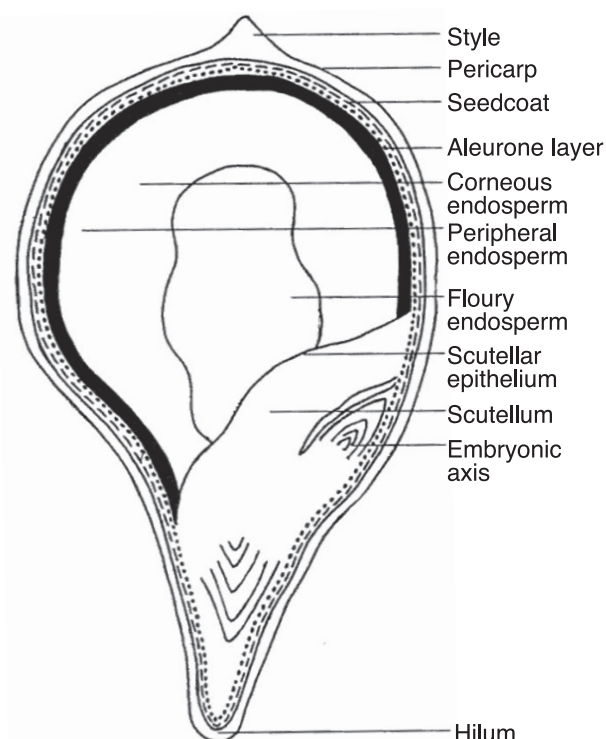


図 6.1 パールミレットの縦断図 (Taylor, 2004a)

表 6.3 より重要なヒエの穀物の典型的な栄養価

	Pearl millet <sup>a</sup>	Foxtail millet <sup>b</sup>	Proso millet <sup>b</sup>	Finger millet <sup>a</sup>	Teff <sup>a</sup>	Fonio <sup>a</sup>	Japanese millet <sup>b</sup>	Kobo millet <sup>c</sup>
Moisture (%)	10	12	12	12	11	10	11	- <sup>f</sup>
Protein (% N×6.25)	11.8	9.9	9.9	7.3	9.6	9.0	8.9	11.5
Carbohydrate (%)	70	73	75	74	73	75	76	74
Fat (%)	4.8	1.6	1.7	1.3	2.0	1.8	1.8	1.5
Dietary fiber <sup>d</sup>	8.5 <sup>e</sup>	9.4	13.1	11.7			14.3	9.4
Ash (%)	2.3	1.6	0.8	2.6	2.9	3.4	0.9	3.7
Calcium (mg/100g)	37	-	-	358	159	44	-	-
Iron (mg/100g)	9.8	-	-	9.9	5.8	8.5	-	-
Energy (kJ/100)	1475	-	-	1396	1404	1534	-	-
Vitamin A(μg RE)	22	-	-	6	8	-	-	-
Lysine (g/100g Protein)	3.2	1.7	1.2	2.5	2.3	2.5	1.5	1.7

<sup>a</sup> Values as is basis from National Research Council (1996), unless otherwise specified.

<sup>b</sup> Kasaoka et al. (1999), as is basis.

<sup>c</sup> Hulse et al. (1980), dry basis.

<sup>d</sup> Malleshi and Hadimani (1993), as is basis.

<sup>e</sup> Taylor (2004), dry basis.

<sup>f</sup> -Values not reported.

一なサイズの多角形でタンパク質マトリックス中に存在している。Floury 内胚乳では、大きな球形で、緩くつまったデンプン粒が不連続タンパク質マトリックス中に存在している。デンプンは Floury 内に約 70% あると記録され (Lestienne et al., 2007), さらに、そのうちの約 26% はアミロースである (Muralikrishna et al., 1986)。

### 栄養素と抗栄養素

Pear millet の栄養成分を表 6.3 に示した。比較的高い総エネルギー含量で、ほぼ 1,475kJ/100g である。この高エネルギー含量は、粒の高脂質含量によるもので、それは胚芽の大きさに関係がある。同様に他の millet と比較すると pear millet はタンパク質が高い (Serna-Saldivar and Rooney, 1995)。プロラミン含量は約 31-34% で他の millet に比べて低い。これはアルブミン、グロブリンタイプのタンパク質に富んでいる大胚芽に関係するものである。Pear millet 中のタンパク質のタイプはアミノ酸組成に影響する。高グロブリン、アルブミン含量のため、不可欠アミノ酸リジンは僅かに高い (表 6.3)。これに関しラット中で、pear millet の正確なタンパク質消費性は 94-97% と報告された (Singh et al., 1987)。Pear millet 中の脂質は殆ど不飽和脂肪酸 (約 75%) である (Osagie and Kates 1984)。このため製粉した pear millet の保存性に酸化変敗の影響がある。pear

millet 中の大部分はデンプンで炭水化物だが、約 62% の *in vitro* 低消化性である (Muralikrishna et al., 1986), しかし粒をポップコーン様のポップ(爆ぜる)処理でそれは約 73% まで上げることができる。表 6.3 は 8.5% の食物繊維を示したが、Ragae et al., (2006) は 15% の値を示し、Singh et al., (1987) は約 17% までの値を示した。この大きな食い違いは、食物繊維測定複雑さと品種の違いによるためである。Pear millet は、また、約 2% 抵抗性デンプンを含む。もし全粒を食べるとすれば良い鉄分となるが剥皮は 30% まで鉄含量を低下させる (Lestienne et al., 2007)。

Pear millet 中の大部分の抗栄養物はフィチン酸、ゴイトロゲン、シュウ酸である。フィチン酸塩含量は約 0.7-0.8% である (Lestienne et al., 2007)。フィチン酸塩は、カルシウム、鉄、亜鉛等の金属との結合によって生化学活性を低下させることができる。Pear millet 中の甲状腺ホルモン化合物は、おそらくフェノール性フラボノイド、C-グルコシルフラボン、およびそれらの代謝物である (Gaitan et al., 1989)。これらの物質はまた、pear millet 粉中の悪臭の原因と同定され (Reddy et al., 1986), 特徴的なマウス様の、糞の様な匂いである (Pelembé, 2001)。デコルチケーション (剥皮), 粒のふすま除去は、明らかにフラボノイドタイプ物質を低下させることができ (Lestienne et al., 2007), そのことは製粉前



に剥皮するとゴイトロゲン含量の低下がおきる。一般にフェノールタイプ物質はパールミレットに高く(約 1400 $\mu$ g/g ガリウム酸等量), そしてこれは小麦, 大麦, ライ麦に比べ高い抗酸化活性を示す (Ragaee *et al.*, 2006)。Pear millet 中のシュウ酸は, 明らかにカルシウムシュウ酸複合体形成によってカルシウム利用性を低下する (Opoku *et al.*, 1981)。しかしながら麦芽(粒の発芽)は本質的にシュウ酸塩含量を 0.50 から 0.07% に低下する事がわかった。

## Foxtail millet

### 記述, 歴史, 問題点

Foxtail millet は主に中国, 他のアジア諸国で成長する。ユーラシアで最も古い穀物の 1 つであり, 中国がおそらくその源の中心である (Jiaju and Yuzhi 1994)。中国新石器時代文化の非常に大きな重要事である。Foxtail millet は 1.5m の高さまで成長する単一の幹の種であり, しかし中国のタイプは一般に 60-70cm 高である。非常にうまく耕運されている。各本体には狐色の毛のようにみえる穂があり, そこでこのように名前がついた。穂は約 10-15cm の長さで, 1.5-3.0cm の直径である (House *et al.*, 1995)。収穫は温度域に十分関係し, 成熟まで 70-120 日間である。Foxtail millet の生産は, 中国では 1988 年には 2.5 百万トン以上あり (Jiaju and Yuzhi 1994), 世界生産は約 5.5 百万トンで, アジアが主生産地である (表 6.2)。

### 粒の物理的特徴

Foxtail millet 粒は約 2mm の長さ, 穎は白く, 赤, 黄, 茶, あるいは黒色である。白も赤品種もタンニンを含む種は見つからなかった (Hodge and Chandra, 2005)。1000 粒重は約 2.6g で, 製粉回収は皮とふすま除去で約 77% となる (Malleshi and Hadimani, 1994)。Foxtail millet ではデンプン粒は普通粉内胚乳で球状であるが, 多角形の形もまた見出される (Kumari and Thayumanavan, 1998)。粒のサイズは 0.8 から 9.6 $\mu$ m といろいろである。デンプンのアミロースとアミロペクチン含量は Foxtail millet のタイプによる。Foxtail millet には, ワキシ (高アミロペクチン) と平常 (低アミロース), あるいはノンワキシ (高アミロース) がある (Nakayama *et al.*, 1998)。正常の foxtail millet で, アミロース

含量は 33% までである (Malleshi *et al.*, 1986)。タンパク体は殆ど球形で, 直径 1-2 $\mu$ m である (Rost, 1971)。全抽出窒素の約 40% はプロラミンタンパク質で, 約 20% は還元剤でのみ抽出できる (Danno and Nataka, 1980)。このことは, Foxtail millet が殆ど他の穀物のようにプロラミンタンパク質に富んでおり, タンパク質中に高比率でジスルフィド結合があることを示している。

### 栄養素と抗栄養素

Foxtail millet の栄養含量の近似値は他の Millet に類似している (表 6.3)。*in vitro* での, 原料と調理 Foxtail millet のタンパク質消化性は 77-92% と各々報告され (Ravindran, 1992), 高い調理値である。報告された Foxtail millet のデンプン含量は約 50-55% (Kumar and Parameswaran, 1998) で, 穀物としては相対的に低い。*in vitro* で天然物とポップしたデンプンの 3 時間消化後の消化性は低く, 各々約 47 と 52% であった (Muralikrishna *et al.*, 1986)。しかしながら Ushakumari *et al.*, (2004) は皮を外した粒中には約 77% デンプンがあり, 約 96% の高デンプン消化性のあることを報告した。

これは全粒中のふすまの高比率であることを示し, それがデンプン消化性に関係することを示す。皮を外した Foxtail millet 中の大部分の脂肪酸は, パルミチン酸 (C<sub>16:0</sub>) (46%), ステアリン酸 (11.5%) (C<sub>18:0</sub>) とオレイン酸 (35%) (C<sub>18:1</sub>) (Ushakumari *et al.*, 2004) で, 飽和脂肪酸が穀物粒としては異常に高い比率であることを示す。全食物繊維は約 9.4% (表 6.3) だが, Ushakumari *et al.*, (2004) は原料で 8.8% とポップした時 11.8% の値を示した。

抗栄養ファクターとして, Foxtail millet にはポリフェノール, フィチン酸, シュウ酸がある。これらは皮とり (ふすまとり), 浸水, 調理のプロセスで低下する。例えば皮とりで *in vitro* ではタンパク質の消化性は 30% まで増加し, 抗栄養ファクターのある物が除去されたことによる (Pawar and Machewad, 2006)。Foxtail millet の全フェノール, カロチノイド含量は各々 47 と 80 $\mu$ g/100g と報告された (Choi *et al.*, 2007)。これらの成分のメタノール抽出物は, 優れた抗酸化活性を持つことが見出された。しかしながら Kodo millet に比べ, Foxtail millet は遊離ラジカル消去ポテンシャルはより低い

ようである (Hedge and Chandra, 2005)。

## Proso millet

### 記述, 歴史, 生産

Proso millet はおそらく満州が原産といわれている (House *et al.*, 1995)。そして世界中の気温, 気候に適し広がった。中国の北西部で重要な収穫があり, Kasakhstan (カサクスタン), インド中央と南部州, 東ヨーロッパ, USA, オーストラリアで育つ。表 6.2 に見られるように, Proso millet は多分 3 番目に最も重要な Millet で, Pear millet, Foxtail millet の次である。多くの土壌, 気候条件に十分に対応でき, 高度 3,500m の高地でも栽培される (Baltensperger, 1996)。植物は約 30-100cm 高で短く, 分けつは殆どない。

### 粒の物理的特徴

Proso millet 粒は白色クリーム, 黄色, オレンジ, 赤, 茶, 黒色である (Plate 6.1)。粒は球形-卵形で約 3mm 長, 直径 2mm である (Baltensperger, 2002)。1000 粒重は約 7.1g である。粒の製粉でふすまと皮を除き, 粉は約 79% となる (Malleshi and Hadimani, 1994)。Proso millet のデンプン性内胚乳中のデンプン粒は, 大きな多形のものよりほぼ小さく, 直径 1.3-8.0 $\mu$ m である (Kumari and Thayumanavan, 1998)。内胚乳タンパク体の形は丸く, 約 2.5 $\mu$ m の直径である (Jones *et al.*, 1970)。プロラミンは全タンパク量の 80% までに相当する (Kohoma *et al.*, 1999)。

### 栄養素と抗栄養素

Proso millet の栄養的成分は, ほぼ他の Millet に類似である (表 6.3)。デンプンは 62-68% といろいろで, アミロース含量は粒の % では乾物で約 17% である (Yanez *et al.*, 1991)。タンパク質の栄養価に関して Proso millet は *in vitro* で約 80% の消化率である (Kasaoka *et al.*, 1999)。カゼインと比べて, Proso millet タンパク質は D-ガラクトサミンによる肝臓障害を抑える有益な効果を起こすと報告された (Nishizawa *et al.*, 2002)。トリグリセリドの点では, 殆どの一般的な脂肪酸はリノール酸 (60%) で続いてオレイン酸 (14%) である (Sridhar and Lakshminarayana 1994)。Proso millet は, マウス血液プラズマ中の望ましい高濃度リポタンパク質

レベルを増加する事がわかった (Nishizawa *et al.*, 1995)。全ポリフェノール酸, カロチノイド含量は Proso millet 中, 各々 29 と 74 $\mu$ g/100g と報告され, メタノール抽出物にこれらのものが含まれ良い抗酸化性を示した (Choi *et al.*, 2007)。抗栄養素として Proso millet には Peal millet, Foxtail millet, Finger millet と比べて明らかにプロテアーゼ阻害活性がなく (Chandrasekher *et al.*, 1982), しかしながらキモトリプシン阻害剤は認知された (Ravindran, 1992)。

## Finger millet

### 記述, 歴史, 生産

Finger millet という名称は粒の頭形から来るが, それは手の指に似ている。アフリカの元々の Finger millet は多分ウガンダ, エチオピア高地が原産である。(National Research Council, 1996)。推察されるには世界生産は少なくとも 4.5 百万トンで, ほぼアジア, アフリカで, インドはその生産の世界リーダーである (表 6.2)。Finger millet は約 1.3m の高さになるが普通は 1.0m である。広く東アフリカ, ビクトリア湖の周縁, 南アフリカ, インドで栽培される。Finger millet は比較的水分を必要とし, 雨量 (500-1000 mm), 中高地 (500-2400m), 35°C ほどの温度で, 十分排水された土地, 暑い条件下で良く育つ。マラウイでは, 平均収量は約 4 トン/ha が早生品種で得られ, 穂の長さは約 6cm である (Mnyenyembe, 1994)。インドでは Finger millet は 5 トン/ha まで生産され, 比較的高い収穫量であり, 50 年間ほど貯蔵することができ (National Research Council 1996), 飢饉に対し優れた貯蔵物質である。

### 粒の物理的特徴

Finger millet 粒は本質的には球形で直径約 1-2mm, 平均 1000 粒重は 2.5g である。粒は白から黄色である (Plate 6.1)。白色粒は殆どおこめ用に好まれ, 茶色品種は南アフリカで醸造され伝統的不透明ビールに用いられる (Gomez, 1994)。Finger millet は粒の特徴がユニークであり, 他の穀物での穎果の代わりに胞果がある。胞果の特徴的意味とは, 果皮が種皮と融合してないことを意味する (McDonough *et al.*, 1986)。これは乾粒をこすことや, あるいは水に浸けた後, こすることによって果皮が簡単に除去できる事を示す。Finger millet は 5 層の果皮があ

り、赤色から紫色をしている。色はフラボノイドとタンニンによる (Ramachandra *et al.*, 1977)。内胚乳は直径約 2 $\mu$ m のタンパク体を含み、直径 8-21 $\mu$ m までいろいろなデンプン粒を含む (McDonough *et al.*, 1986)。デンプン粒は Finger millet 中では菱形の様な各種、球、多形がある (Malleshi *et al.*, 1986)。

### 栄養素と抗栄養素

Finger millet 中の一般的栄養成分は表 6.3 に示した。タンパク質含量は全く低いが、明らかに不可欠アミノ酸メチオニンには富んでいる (National Research Council 1996)。平均、*in vitro* タンパク質消化性の原材料で料理したものは、Finger millet で各々 71 と 87% が報告されている (Ravindran, 1992)。炭水化物 (デンプン) は大部分の Finger millet 粒の成分である。デンプン含量は約 60% で、アミロースがデンプンの約 30% を示す (Mangala *et al.*, 1999)。*in vitro* でのデンプンの消化性は、Finger millet デンプン原料とポップしたもの 180 分後の消化率は、各々 66 と 74% であった (Muralikrishna *et al.*, 1986)。Finger millet 粒とモルトは食物繊維の良い供給源である (Rao *et al.*, 2004)。脂肪含量は低く (表 6.2) 非常に良い粒の貯蔵性を引き起こす。脂肪酸成分の点では、驚いたことにほぼ半分はオレイン酸である (Fernandez *et al.*, 2003)。ミネラルに関しては、Finger millet は Ca, Fe, Mg, モリブデン, セレン, マンガンに富む (Fernandez *et al.*, 2003)。低血糖反応のため Finger millet はインシュリン非依存性、糖尿病の人々の食事用にと考えられる (Kumari and Sumathi 2002)。

抗栄養素に関しては、Finger millet 中にはフィターゼ、全シュウ酸が明らかに非常に高い (0.5 と 0.03%, 各々) (Ravindran, 1991)。タンニンとトリプシンインヒビターもまた Finger millet 中の抗栄養素である。発酵ははっきりこれらの効果を低下させる (Antony and Chandra 1998)。タンニンは抗栄養素と考えられたが、それらは抗酸化性物質もある (Siwela *et al.*, 2007)。

### Teff

#### 記述, 歴史, 生産

Teff はエチオピア原産と考えられており、この国は Teff の遺伝的多様性誘導の世界的中心であ

る。Teff は細い幹の比較的短い植物 1.2m 高である (National Research Council 1996)。風で倒れやすく、粒は手で収穫する (Cheverton *et al.*, 1994)。Teff はエチオピアの主なる穀物であり、年間生産量は 1980 年代後期の 100 万トンから (表 6.2) 1990 年代の 200 万トンに増加している (Bultosa and Taylor 2004a)。これはエチオピア穀物生産の約 20% に相当する。Teff は USA の健康穀物で用いられ、南アフリカでは主に飼料穀物として用いられる。Teff は 3,000m までの高地で広範囲にわたり栽培される。しかし最適な栽培高度は 1,000-3,000m である (National Research Council 1996)。Teff は平均 1,000mm の年間降雨量の範囲で育ち、一般に約 1 トン/ha 収穫し、エチオピアでは品種改良して 1.8 トン/ha まで収穫できる。

#### 粒の物理的特徴

粒はいろいろな色をしており、白から赤、褐色である (Plate 6.1)。白色はほぼ食品用に用いられる。粒は丸く、直径は 1mm 以下で 1000 粒重は 2g である。デンプン性内胚乳は主にデンプン粒とタンパク体からなる。タンパク体は各粒子になり合体していない。しかしデンプン粒は Finger millet 中のように、多形であり、各粒は直径 2-6 $\mu$ m である (Bultosa *et al.*, 2002)。

#### 栄養素と抗栄養素

Teff の栄養素は他の Millet にてている (表 6.3)。しかしながら、特異なのはアルブミン、グロブリンがプロラミンより大きな比率であることである (Tatham *et al.*, 1996)。その低いプロラミン含量のせいで、大麦、ソールガムのようなものにくらべ Teff は消化性が良い。アミノ酸組成はバランスがとれていると考えられるが (Bultosa and Taylor, 2004a)、リジン含量はまだ低い。Teff のデンプンは、約 25-30% アミロースを含む (Bultosa *et al.*, 2002)。

ブタ膵臓  $\alpha$ -アミラーゼを用いて、*in vitro* で Teff デンプンの分解性を調べるとコーンデンプンに似ていることがわかった (Bultosa and Taylor, 2004b)。ミネラルの点では、Teff は Fe, Ca, Mg, P が多い。Fe, Ca 含量はそれぞれ 11-33, 100-150mg/100g と報告された (National Research Council 1996)。Teff はタンニンを含むと示されたが、Bultosa and Taylor



(2004a) によると白も茶色品種もタンニンの味は無いという。

## Fonio

### 記述, 歴史, 生産

Fonio には白 fonio, 黒 fonio タイプがあり, 白 fonio が一般的である (表 6.1)。Fonio は西アフリカの乾燥サバナで栽培され (サヘル地域), 多分最も古いアフリカの穀物である (National Research Council, 1996)。植物は約 45-50cm 高で, 長さ 15cm までの指の様な穂がある。一般的な収量は約 1.0-1.4 トン/ha であるが, 非常に良好な農業収穫条件下では 2.0 トン/ha が収穫される (Ndoye and Nwasike, 1994)。マリ, セネガルでの全 Fonio の生産は約 10,000 トンである (Smith, 1996)。Fonio は非常に早く成熟し, 早いタイプは収穫後 6-8 週間で粒はできる。こうして Fonio は時に “生命の穀物” と言われる。Fonio は貧困な土壌条件下で生育でき, 例えば砂地, 酸性土壌で, 普通ソルガム, パールミレット栽培に適さない条件と考えられるところである。ほぼ年間降雨量 400mm 以上の土地で育つ (National Research Council, 1996)。

粒の物理的特徴 Fonio 粒は小さく, 1,000 粒重は僅か 0.5-0.6g (Table 6.1) である。粒は約 1.0mm 長, 幅 0.75mm (Irving and Jideani, 1997), 胚芽は粒の長さの 1/3 以上である。デンプン性内胚乳は多面体デンプン粒で直径 10 $\mu$ m である。デンプンアミロース含量は普通で, 約 27% である (Jideani *et al.*, 1996)。タンパク体は粒の全ての場所にあるが, 殆どはデンプン性内胚乳に豊富である (Irving and Jideani 1997)。タンパク質は殆どグルテリンと報告され (Jideani *et al.*, 1994), しかしながらこれはタンパク質の 55% 以上が抽出されないと誤っているものであろう。不十分な抽出はタンパク質の高い架橋の性質によるためであろう。特異的にアリューロン層と内胚乳末梢は脂質に富んでいるようだ (Irving and Jidesni 1997)。

### 栄養素と抗栄養素

Fonio の大まかな成分は他の Millet に似ている (表 6.3)。Fonio はリジンが少なくメチオニンが多い (Lumen *et al.*, 1993)。これらの著者によると, この初期制限アミノ酸リジンの化学的スコアは 2-5 才の

子供で全卵の僅か 50% である。今日まで Fonio の抗栄養は研究されていない。

## Japanese millet と Sawa millet

### 記述, 歴史, 生産

Japanese millet (ヒエ) は日本の原産といわれている (House *et al.*, 1995), 一方 Sawa millet は, 同じ属のもう 1 つ別の種でインドで栽培されている。両種の形態学は似ていてともに一緒に扱われるが, Japanese millet の方がずっと情報量があり, 特に東北地域 (Watanabe, 1999) で多く, この地域では貯蔵性が良好なために重要な穀物と考えられている。また中国, 韓国でも生産される。Japanese millet は 3.0 トン/ha の収穫が期待されている。一般に植物は温暖を好み, 冷温には抵抗性がある。

### 粒の物理的性質

Japanese millet の 1,000 粒重は約 3.3g で, 皮とふすまは全重量の 23% である (Malleshi and Hadimani, 1994)。Japanese millet のデンプン粒は直径が約 1.2-10.0 $\mu$ m で, 球あるいは多形の形である (Kumari and Thayumanavan, 1998)。

### 栄養素と抗栄養素

ほぼ栄養素は Japanese millet は他の millet と類似である (表 6.3)。Japanese millet 中の大部分のタンパク質はグルテリンであり, 続いてプロラミンである (Suman *et al.*, 1992)。in vitro での原料, 加熱した Japanese millet のタンパク質消化性は実に高く各々 84, 89% であった (Suman *et al.*, 1992)。表 6.3 の脂質含量は 1.8% であるが, Sridhar と Lakshminarayana (1994) の報告は全脂肪含量 (結合, 構造脂質を含む) が 8.0% で, これはかなり他とは異なるようだ。もっとあり得るのは脂質の約 48% がリノール酸, 28% がオレイン酸であることである。Japanese millet は良い抗酸化性があるようだ。抗酸化性の性質をもつものとして抽出されるものにフェノール性物質としてルテオリンとトリシンがあり, セロトニン誘導体として N-(*p*-coumaroyl)serotonin がある (Watanabe, 1999)。今日まで Japanese millet, sawa millet 中の抗栄養素は何も研究されていない。



## Kodo millet

### 記述, 歴史, 生産

Kodo millet はインドに土着のものであり, 信じられていることは約 3000 年前から栽培されていることである (House *et al.*, 1995)。熱帯, 亜熱帯にうまく適合している。Kodo millet は一般に雑草の種とともに栽培され, 収穫の間ははっきり区別されない。収穫の成熟には 4-6 ヶ月かかり, 収量は 250 から 1000kg/ha といろいろである (Hulse *et al.*, 1980)。

### 粒の物理的性質

Kodo millet は 1,000 粒重が 6.7g である。ふすまと皮が粒の大部分で, 約 37% である (Malleshi and Hadimani, 1994)。デンプン粒は大, 多形で, しかし幾つかは小, 多形である (Kumari, Thayumanavan, 1998)。粒のサイズはいろいろで 1.2-9.5 $\mu$ m である。アミロース含量は粒の重量に比例して乾燥重量ベースで約 20% である。

### 栄養素と抗栄養素

他の millet 同様, ほぼ Kodo millet の栄養成分はふつうである (表 6.3)。プロラミンタンパク質は Barnyard と Foxtail millet に似ている (Parameswaran and Thayumanavan, 1997)。グルタミン酸 (主にグルタミン), アラニン, ロイシン, セリンに富むがリジンは不足している。Sridhar と Lakshminarayana (1994) は, 表 6.2 に示すより高脂質値 (3.2%) を報告した。脂質はリノール酸とオレイン酸と類似量で, 大部分の脂質区分の全脂肪酸の 70% である。Finger, Barnyard, Pear millet に比べ, Kodo millet は遊離のラジカル消光ポテンシャルが最も高く, そのことは有用な抗酸化活性の可能性を示す (Hedge and Chandra, 2005)。驚くことではないが, ラジカル消光活性は粒がローストやボイルで皮が剥かれたり, 加熱されるとき低下する。今日まで抗-栄養素は Kodo millet 中では研究されていない。

以下, 次号へ

## References

- Abdelrahman, A., Hoseney, R. C., and Varriano-Marston, E. (1984). *J. Cereal Sci.* **2**: 127-133.
- Andrews, D. J. and Kumar, K. A. (1992). *Adv. Agron.* **48**: 89-139.
- Antony, U. and Chandra, T. S. (1998). *J. Agric. Food Chem.* **46**: 2578-2582.
- Baltensperger, D. D. (1996). In: Janick, J. ed. *Progress in New Crop*. Alexandria, VA: ASHS Press, pp.182-190.
- Baltensperger, D. D. (2002). In: Janick, J. and Whipkey, A. eds. *Trends in New Crops and New Uses*. Alexandria, VA: ASHS Press, pp.100-103.
- Bultosa, G. and Taylor, J. R. N. (2004a). *Encyclopedia of Grain Science*, Vol. 3. Amsterdam:Elsevier, pp.281-290.
- Bultosa, G. and Taylor, J. R. N. (2004b). *Starch/Stärke* **56**: 20-28.
- Bultosa, G., Hall, A. N., and Taylor, J. R. N. (2002). *Starch/Stärke* **54**: 461-468.
- Chandrasekher, G., Raju, D. S., and Pattabiraman, T. N. (1982). *J. Sci. Food Agric.* **33**: 447-250.
- Cheverton, M., Pullan, M., Didehvar, F., Greig, A., and Chapman, G. (1994). *Advances in Small Millets*. New York: International Science Publisher, pp. 431-448.
- Choi, Y., Jeong, H. S., and Lee, J. (2007). *Food Chem.* (in press).
- Danno, G. and Nataka, M. (1980). *Agric. Biol. Chem.* **44**: 913-918.
- Fernandez, D. R., Vanderjagt, D. J., Millson, M. et al. (2003). *Plant Foods Hum. Nutr.* **58**: 1-10.
- Gaitan, E., Lindsay, R. H., Reichert, R. D. et al. (1989). *J. Clin. Endocrinol. Metab.* **68**: 707-714.
- Gomez, M. I. (1994). *Advances in Small Millets*. New York: International Science Publisher, pp.289-296.
- Hedge, P. S. and Chandra, T. S. (2005). *Food Chem.* **92**: 177-182.
- House, L. R., Osmanzai, M., Gomez, M. I., Monyo, E. S., and Gupta, S. C. (1995). In: *Sorghum and Millets: Chemistry and Technology* (Dendy D. A. V. ed.), American Association for Cereal Chemist, St Paul, MN, pp. 27-67.
- Hulse, J. H., Laing, E. M., and Pearson, O. E. (1980). *Sorghum and the Millets: their Composition and Nutritive Value*. New York: Academic Press.
- ICRISAT/FAO (1996). *The World Sorghum and Millet Economies: Facts, Trends and Outlook*. Patancheru, India: ICRISAT and Rome: FAO.
- Irving, D. W. and Jideani, I. A. (1997). *Cereal Chem.* **74**: 224-228.
- Jiaju, C. and Yuzhi, Q. (1994). *Advances in Small Millets*. New York: International Science Publisher, pp.101-108.
- Jideani, I. A., Owusu, R. K., and Muller, H. G. (1994). *Food Chem.* **51**: 51-59.
- Jideani, I. A., Takeda, Y., and Hizukuri, S. (1996). *Cereal Chem.* **73**: 667-685.

- Jones, R. W., Beckwith, A. C., Khoo, U., and Inglett, G. E. (1970). *J. Agric. Food Chem.* **18**: 37-39.
- Kasaoka, S., Oh-Sashi, A., Morita, T., and Kiriya, S. (1999). *Nutr. Res.* **19**: 899-910.
- Kohoma, K., Ngasawa, T., and Nishizawa, N. (1999). *Biosci. Biotechnol. Biochem.* **63**: 1921-1926.
- Kumari, S. K. and Thayumanavan, B. (1998). *Plant Foods Hum. Nutr.* **53**: 47-56.
- Kumar, K. K. and Parameswaran, K.P. (1998). *J. Sci. Food Agric.* **77**: 535-542.
- Kumari, S. K. and Thayumanavan, B. (1998). *Plant Foods Hum. Nutr.* **53**: 47-56.
- Kumari, P. L. and Sumathi, S. (2002). *Plant Foods Hum. Nutr.* **57**: 205-213.
- Lestirne, I., Buisson, M., Lullien-Pellerin, V., Piquet, C., and Treche, S. (2007). *Food Chem.* **100**: 1316-1323.
- Lumen, B. O., Thompson, S., and Odegard, W. J. (1993). *J. Agric. Food Chem.* **41**: 1045-1047.
- Malleshi, N. G. Desikachar, H. S. R., and Tharanathan, R. N. (1986). *Starch/Stärke* **38**: 202-205.
- Malleshi, N. G. and Hadimani, N. A. (1994). *Advances in Small Millets*. New York: International Science Publisher, pp. 271-287.
- Mangala, S. L., Malleshi, N. G., and Tharanathan, M. R. N. (1999). *Eur. Food Res. Technol.* **209**: 32-37.
- McDonough, C. M., Rooney, L. W., and Earp, C. F. (1986). *Food Microstructure* **5**: 247-256.
- Mnyenyembe, P. H. (1994). Past and present research on finger millet in Malawi. In: Riley, K. W., Gupta, S. C., Seetharam, A., and Mushonga, J. N. eds. *Advances in Small Millets*. New York: International Science Publisher, pp. 29-59.
- Muralikrishna, G., Malleshi, N. G., Desikachar, H. S. R., and Tharanathan, R. N. (1986). *Starch/Stärke* **38**: 48-51.
- Muralikrishna, G., Malleshi, N. G., Desikachar, H. S. R., and Tharanathan, R. N. (1986). *Starch/Stärke* **38**: 48-51.
- Nakayama, H., Afzal, M., and Okuno, K. (1998). *Euphytica* **102**: 289-293.
- National Research Council (1996). *Lost Crops of Africa*, Vol. 1: Grains. Washington DC: National Academy Press.
- Ndoye, M. and Nwasike, C.C. (1994). *Advances in Small Millets*. New York: International Science Publisher, pp. 65-97.
- Nishizawa, N., Fudamoto, Y., and Yoshirahu, Y. (1995). *Biosci. Biotechnol. Biochem.* **59**: 333-335.
- Nishizawa, N., Sato, D., Ito, Y. et al. (2002). *Biosci. Biotechnol. Biochem.* **66**: 92-96.
- Osagie, A. U. and Kates, M. (1984). *Lipids* **19**: 958-965.
- Opoku, A. R., Ohenhen, S. O., and Ejiofor, N. (1981). *J. Agric. Food Chem.* **29**: 1247-1248.
- Parameswaran, K. P. and Thayumanavan, B. (1997). *Plant Foods Hum. Nutr.* **50**: 359-373.
- Pawar, V. D and Machewad, G. M. (2006). *J. Food Process. Preservation* **30**: 269-279.
- Pelembe, L. A. M., Dewar, J., and Taylor, J. R. N. (2004). *J. Inst. Brewing* **110**: 320-325.
- Ragaei, S., Abdel-Aal, A. M., and Noaman, M. (2006). *Food Chem.* **98**: 32-38.
- Ramachandra, G., Virupaksha, T. K., and Shadaksharaswamy, M. (1977). *J. Agric. Food Chem.* **25**: 1101-1104.
- Rao, M. V. S. S. T., Manohar, R. S., and Muralikrishna, G. (2004). *Food Chem.* **88**: 453-460.
- Ravindran, G. (1991). *Food Chem.* **39**: 99-107.
- Ravindran, G. (1992). *Food Chem.* **44**: 13-17.
- Reddy, V. P., Faubin, J. M., and Hosney, R. C. (1986). *Cereal Chem.* **63**: 383-406.
- Rost, T. L. (1971). *Setaria lutescens* (Gramineae). *Protoplasma* **73**: 475-479.
- Serna-Saldivar, S. and Rooney, L. W. (1995). *Sorghum and Millets, Chemistry and Technology*. St Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, pp. 69-124.
- Singh, P., Singh, U., Eggum, B. O., Kumar, K. A., and Andrews, D. J. (1987). *J. Sci. Food Agric.* **38**: 41-48.
- Siwela, M., Taylor, J. R. N., De Milliano, W. A. J., and Duodu, K. G. (2007). *Cereal Chem.* **84**: 169-174.
- Smith, I. F. (1996). *Sorghum and Millets: Proceedings of the Symposia*. Vienna: International Association for Cereal Science and Technology, pp. 171-197.
- Sridhar, R. and Lakshminarayana, G. (1994). *Cereal Chem.* **71**: 355.
- Suman, C. N., Monteiro, P. V., Ramachandra, G., and Sudharshana, L. (1992). *J. Sci. Food Agric.* **58**: 505-509.
- Tatham, A. S., Fido, R. J., Moore, C. M., Kasarda, D. D., Kuzmicky, D. D., Keen, J. N., and Shewry, P.R. (1996). *J. Cereal Sci.* **24**: 65-71.
- Ushakumari, S. R., Latha, S., and Malleshi, N. G. (2004). *Int. J. food Sci. Technol.* **39**: 907-915.
- Wanatabe, M. (1999). *J. Agric. Food Chem.* **47**: 4500-4505.
- Yanez, G. A., Walker, C. E., and Nelson, L. A. (1991). *J. Cereal Sci.* **13**: 299-305.