

グルテンを含まない古代穀物 (10)
(古代穀物のこれからの研究の必要性)

第11章 古代穀物のこれからの研究の必要性

目 次

グルテンを含まない古代穀物（10）
（古代穀物のこれからの研究の必要性）

第11章 古代穀物のこれからの研究の必要性

1. イントロダクション	P1
2. 育種と農業	P3
2.1. 関係する組織	P3
2.2. 農業生産性	P4
2.3. 技術的進歩	P5
2.4. 種子システム	P10
2.5. 持続可能な有機農業	P11
3. 品質システム (Quality system)	P12
3-1. 穀物と食品成分と品質データ	P13
3-2. 大スケール加工の必要性	P14
3-3. 品質試験とモニター方法の必要性	P15
4. 食品と食品技術	P18
4-1. 伝統食品とアルコール飲料；発展の必要性	P19
4-2. グルテンフリー食品と飲料；発展の必要	P20
4-3. 主流食品と飲料	P21
5. 生化学的活性物質と古代穀物の未来	P23
6. 結論	P25

1. イントロダクション

続いてのこの章では、古代穀物が少なくとも栄養面で、小麦同様殆ど人間の毎日の食事に必要な穀物粒であることを示す。古代穀物は、一般の植物化学物質に富み、明らかに非常に不完全ではあるが毎日消費することにより、所謂西欧型ライフスタイル病と呼ばれる非伝染性疾患に対し制御できることを示した。古代穀物で非常に広域の魅力的食品と飲料製品が伝統的に作られ、新たに新規製品も研究されている事を示し、特にグルテンフリー製品が素早くマーケットにひろがり満足を与えるべく研究されていることを示す。生活水準とライフスタイルの変化による急速な人口増加とそのための食料の必要性増加から、天候不順と農業がネガティブなことで結びついて、世界中の食料不安がずっと続く脅威に照らし合わせた時、古代穀物はひどい天候条件にもよく適応することと低農業必要要件にも適応するために安定作物として供給されてきた。

これらの多くの長所にも関わらず古代穀物の現在の様相はかなり混乱しており、第2章で示した通りである。

FAO データーは過去 20 年間 (FAOSTAT, 2015) 主穀物、小麦、トウモロコシ、米の生産が増加し続け、中でもトウモロコシの最も早い増加を示した (図 11.1)。古代穀物の場合フォニオ、キノアの生産は非常に低いベースとはいえ、殆ど 3 倍ほどのドラマチックな増加ぶりである。フォニオでは、この小さな粒の脱穀の機械的な技術の進歩が多分最も重要なファクターである (West Africa Agricultural Productivity Program, 2015)。キノアの場合これは疑いもなく、農業上利点の確信の結果とその起源の中心地、例えばボリビアとペルーにおける文化的役割の結果 (第 5 章) である。エキゾチックなグルテンフリー穀物に対する西側諸国の関心も大きな役割を演じたが、2013 は International Year of Quinoa by the FAO として進められた (FAO, 2013)。擬似穀物としてのソバではあるが、全体図ではドラマチックな生産低下へと入れ替わった。しかしながら、多分最近のグルテンフリー製品に使われるためか何か逆転がある (第 7 章)。最も懸念していることは、アワ生産の停滞していることとモロコシ生産の僅かな低下していることである。これらの穀物の両タイプは、アフリカ、インド地域が主生産地であり、非常に迅速な人口増加のこれら国々ではそれらがほぼ全て主食食物に置き換わりつつある。豆に関する情報は少なく、しかし FAOSTAT データーによるとササゲ生産が次第に増えており 20 年間で 2 倍となっている。この生産性増加はほぼアフリカであり、作物の 95% はそこで生産されている例えばアフリカのササゲ平均生産は、1993 年 0.3 トン/ha から 2013 年 0.6 トン/ha の 2 倍となり、特に世界生産増加の本質的ながやきとなって

いる (FAOSTAT, 2015)。ササゲの生産増加は、国家農業研究活動と国際共同研究イニシアテブ、例えば the International Institute for Tropical Agriculture and the Bean/Cowpea & Dry Grain Pulses Collaborative Research Support Program (Michigan State University, 未データー) との連携の結果である。

この最終章では、これらの悪傾向を逆転させ成功に進めるためには何が必要かについての重大な問題に焦点を当ててゆく。そこには良好な展開方法と望ましい考察を必然的に含んでくる。未来の技術革新の予測は困難である。ライト兄弟が飛ぶ丁度8年前、物理学者の Lord Kelvin は空気より重い機械が飛び上がるのは不可能であると述べた。ヒトの行動の予測はより困難である。1977年に Digital Equipment Company の社長 Mr. Ken Olson は「だれもが自分の家庭にコンピューターをほしがる理由はない」と言った。これらの著者の1人の意見は確かにその当時の意見に一致したかもしれない。

この章では、古代穀物により世界中の人々への負荷価値を可能にするためのこれからの研究開発の必要性を批判的に調べる。つづいて育種、農業から始まる食物連鎖へのつながりの結びつきは、食物製品と加工技術を通じて要求される品質管理システム、さらに消費者の栄養と健康ニーズに繋がる。ずっと通して2つの重要なクロスカット (断面) テーマがある；それは共同研究開発、改良プログラムのテーマと、過去の研究成果からの学びのテーマである。この章で結論とするのは優先順位に関する簡単な症例事項である。

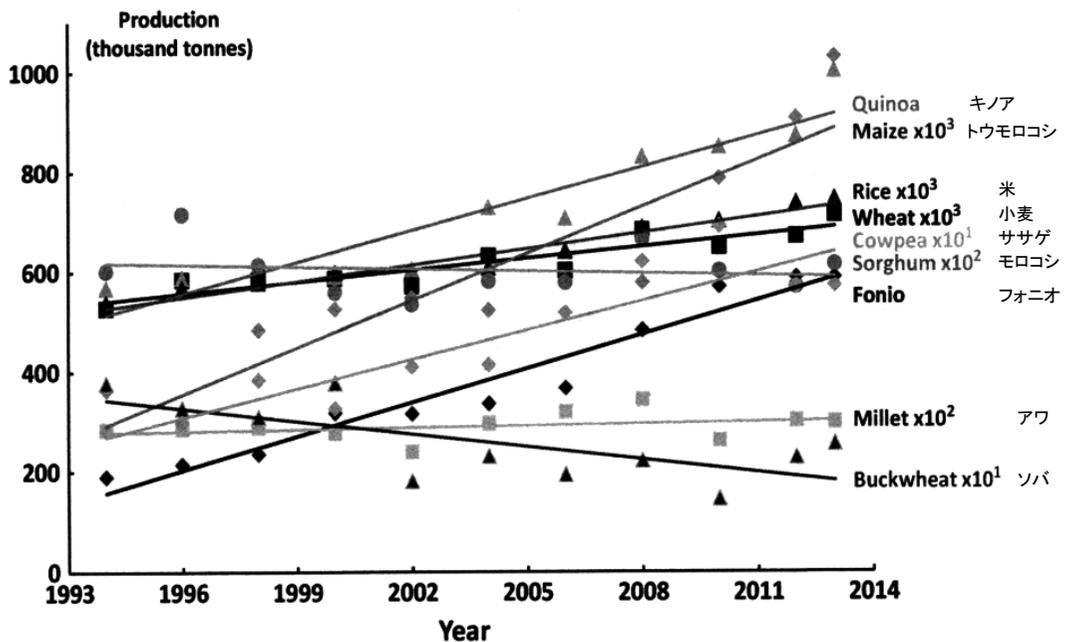


図 1.1.1 トウモロコシ、米、小麦と比較した古代穀物の世界生産、1994年から2013年 (FAOSTAT、2015年から)

2. 育種と農業

2. 1. 関係する組織

2つのCGIAR (Consultative Group on International Agricultural Research) 研究所が古代穀物に対し責任を持っており、モロコシ (sorghum) とヒエ (millet) に対しては International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT) が、ササゲ (cowpea) に対しては International Institute for Tropical Agriculture (IITA) が担当している。1990年代にはICRISATは南アフリカ国の national departments of agriculture とパートナーシップ協定を結び、幾つかの成功したモロコシ、パールミレット品種の育種に顕著な成功をおさめた (Monyo, 1998 ; Obilana, 1998)。この仕事は西、東アフリカで進み、特にインドで進んでいる (ICRISAT Exploreit, 日付無し)。ICRISATは全部で約240種の市販モロコシ改良品種を発表し、何れもアフリカとアジアでの交雑とオープン受粉品種 (OPVS) である。

改良したモロコシ品種はアフリカでは農家にほぼ500ドル/haの収入をもたらした。IITAのササゲ活動に関しては、IATAによる改良品種の活動は世界68カ国で発表された。重要な特性には、高収量、初期～中期の成熟、大きな種子といった好ましい最終特性、望ましい種子膜のテクスチュアと色合いを含む。

残念なことに、CGIARの活動は他の古代穀物についてはすすんでいない。例えばICRISATと関連組織は、約10,000小アワ付属種の収集を行い (ICRISAT Exploreit、データは無し) とIITAは約2000のバンバラ落花生 (bambara groundnut) 付属種の収集をした (IITAI、データは無し)。擬似穀物に関してはいかなる深い活動もないようだ。

しかし、他のより小スケールだがより長期で進行中の国際農業研究活動は the United States Agency for International Development (USAID) Collaborative Research Support Program (CRSPS) とその後継の Feed the Future Innovation Laboratories が行っている。2つのプログラムが古代穀物に集中している ; TNSORMIL とその後継の SMIL (Digest Project, 2013)、Bean/Copea と Dry Grain Pulses CRSP 後継の Legume Innovation Lab である (Crawford *et al.*, 2013)。CRSP と Feed the Future Innovation Lab projects では、米国の大学がアフリカ とラテンアメリカの大学研究所と協力研究開発を行い、パートナーシップで実行作業を行った。多分もっとも大切な農業貢献は、発展途上国からの科学者の CRSPS/Innovation Labs による高レベルトレーニングである。例えば INTSORMIL は30年間の中で、200名以上の BSc、MSc、PhD 植物育種者のトレーニングに関係し、他の農学研究、関連の教育、例えば農業、植物病理学、土壌学、分子生物学の様なものには400数名の科学者が関与した (INTSORMIL, 2009)。

2. 2. 農業生産性

これまで示したように古代穀物の低生産性はそれらの利用性をかなり制限する(図 11. 1)。その低生産性の大きな理由は、収穫量が主要穀物に比べてずっと小さいためである(図 11. 2) (FAOSTAT, 2015)。

世界平均をみると、モロコシ生産は古代穀物のうちでも遥か高く最高 1.5 トン/ha だが、ともに非常によく似た熱帯 (C4) 穀物であるのにもかかわらずトウモロコシのほぼ 36% である。他の古代穀物は平均して 1 トン/ha あるいはそれ以下であり、それは主要穀物の最も低い収量の小麦の僅か 1/3 である。この低い収量では、その穀物の値段が非常に高いか、あるいは製品コストが比較的低くなければ、古代穀物を商業的農家の魅力的作物にはならない。

恐らく最も心配なのは古代穀物と主要穀物との収量ギャップが一般にひろがっているということである。図 11. 2 に見られるように、主要穀物収量は過去 20 年間 35-37% 以上増加している。それに対してモロコシ、キノアの収量は本質的には変化なく、一方ソバはかなり低下している。収量の改良は、アワ、フォニオ、ソバ、ささげで示された。これまで幾つかの理由が、これらの傾向の説明に提案されて来た。

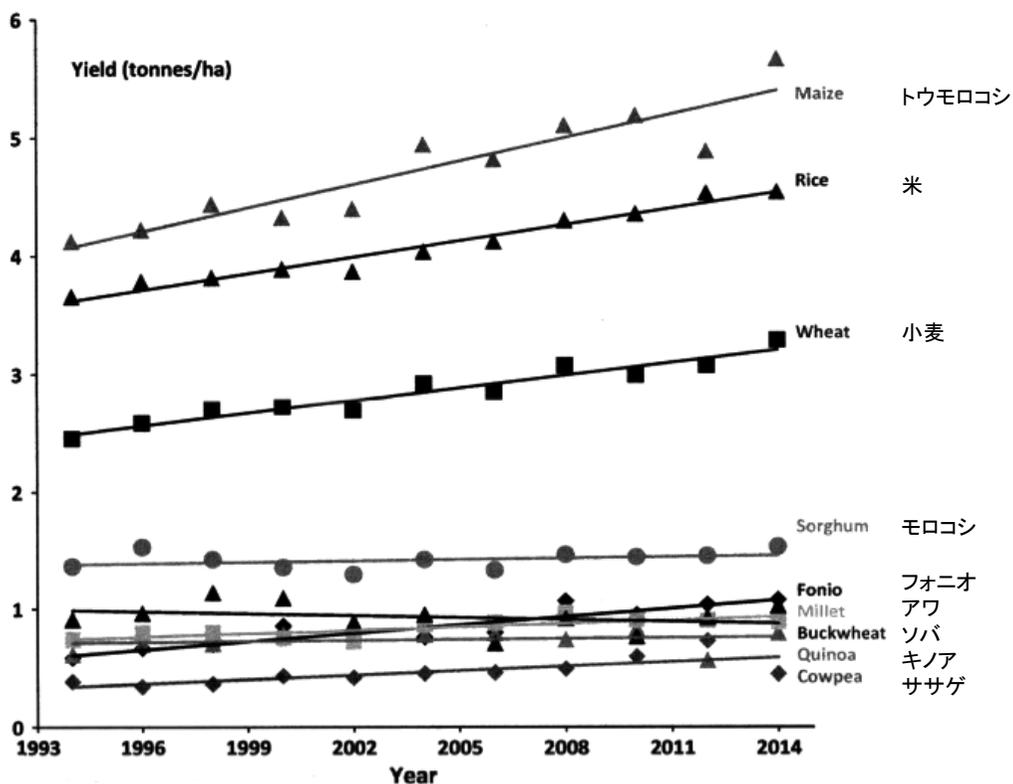


図 1 1. 2 1994 年から 2014 年までのトウモロコシ、米、小麦と比較した古代穀物の世界平均収量 (FAOSTAT, 2015 年から)

古代穀物生産改良への大きな制約は、モロコシ以外に対してほぼ全ての国際的な種子—育種企業が古代穀物に関しては顕著な取り組みをしてこなかったことである。これは簡単なことで、恐らく種子のマーケットがあまりにも小さくて開発コストを正当化できなかつたためであろう。最終価値に対する育種コストのデーターを得ることが難しい。しかしながら、Australian Grains Research & Development Corporation の計算するところによると、利点：小麦を含めた国内品質試験と、所謂モロコシ、豆の様な粗粒穀物の費用便益比はわずかで、1.0~1.2:1であった。(GDRC, 2011)。

ここでは殆どの場面で、古代穀物の育種と関連の農業上の研究は国内の公的部門組織で単独に進められ、つまり農業の国家部門と大学の役目である。残念ながらこれらには資金不足で、特に発展途上国ではそのようであり、それらのパフォーマンスと存在そのものの両方を脅かす良い証拠である (Echeverria and Beintema, 2009)。

2. 3. 技術的進歩

一般的な研究開発の挑戦には、持続可能なササゲ栽培生産性の技術開発、さらにその加工を助ける技術開発が含まれているが、IITA によって包括的にレビューされた (Fatokun *et al.*, 2002)。それらは全ての古代穀物にも同様に適用でき、そして包括すると；

- ・ 遺伝と育種—極端な温度耐性のための育種、および干害の適応、生化学的ストレスへの抵抗性を含む。
- ・ バイオテクノロジー—関心ある遺伝子の配列決定とマッピング、そして再生、変換技術を含む。
- ・ 農業システムと農業の改善—そこには土壌の肥沃化とマネージメント、収穫のローテーション、収穫のシステムを含む。
- ・ 総合的病害虫管理—生化学的制御とフェロモントラップによる寄生植物の変化を含む。

これらをベースに、今日インパクトの大きな古代穀物のいくつかをここに示し、大きな育種と農業的技術進歩が試みられようとしている。植物育種は生化学と情報学の多くの進歩によって改革されて来た。古代穀物へのこれらの技術インパクトは大きく見直される。それらは育種のプロセスを短縮することにより、主要穀物との収量ギャップをドラマチックに密接なものにする。この本の目的を見つめた時、そのポイントは特に最終利用者の必要とする品質にぶつかるであろう。

2.3.1 遺伝学とバイオテクノロジー

動植物品種の遺伝マッピングは、新しいテクノロジーの進歩、コスト低減化とともに、最近では第2世代/次のシーケンサーから第3世代のシーケンサーの時代へと急激に進歩した。最近の1つの例として、Oxford Nanopore シーケンス（連続）は僅か4%のエラーで50-100kbp (kilobase pairs) の単分子シーケンスを読むことが出来た (Varshney *et al.*, 2014)。

古代穀物の件では、モロコシの遺伝子は2009年にシーケンスが約730Mbp (メガベースペア) (Paterson *et al.*, 2009) と求められ、それは米よりずっと大きく (43Mbp) しかしトウモロコシ (2300Mbp) よりずっと小さかった。それ以来、幾つか他の古代穀物品種の遺伝子が配列決定され、例えば foxtail millet は2012年、423-Mbp 遺伝子 (Zhang *et al.*, 2012)、ルピンは2013年、予測58,000 遺伝子 (Yang *et al.*, 2013)、そしてアマランスは2014年、426-Mbp 遺伝子 (Sunil *et al.*, 2014) であった。2016年については他の、例えばキノアが進んでいる (Yasui *et al.*, 2016)、あるいは計画されているのは例えばササゲである (Nealon, 2016)。作物の遺伝子理解の大きなメリットの1つは、科学者に種の系統とそして特別に望ましい特性の遺伝子のコーディングとの関係を同定させ、所謂遺伝的多様性のプールを捉える事が出来るようにする。一例としてモロコシを用い、Mace *et al.*, (2013) は殆どの種を示す全ての栽培モロコシ (*Sorghum bicolor*)、44 モロコシラインの遺伝子、さらにプラスとしてその先祖と関連あるアジア種 *Sorghum propinquum* の sequence を調べた。多くの価値ある発見の中で、彼らは改良した近交系モロコシラインに対し野性と雑草モロコシラインの中から、例えば324種の栽培候補、あるいは又改良された遺伝子を同定した。これらの遺伝子は全て栽培モロコシ種または属にあるので、比較的簡単に市販の親ラインに交叉 (クロス) できる。

育種の中でもう1つの可能性のある遺伝学の行使の例として、突然変異誘発との遺伝的コンビネーションの利用がある。最近、Jiao *et al.*, (2016) は選ばれたモロコシラインを化学物質による誘導の突然変異に供した。彼らは256の突然変異系統を配列決定し、ゲノム内の遺伝子の95%以上に影響を与える180万を超える誘発突然変異を特定した。さらに彼らは8遺伝子を同定し、それは干害への抵抗性と結びつくものであり、そのうちの2つは正確な共分離 (連鎖) を示した。興味深いことに、化学的突然変異は普通の育種の道具として考えられており、多くの国々ではGMOs (遺伝子組み替え生物) を統治する厳しい規制はない (Forster and Shu 2011)。

このアプローチが実際に古代穀物で使われているのは、1例で除草剤耐性モロコシタイプである。この特性はよく知られたGMラウンドアップレデー・トウモ

ロコシに等しく、作物に影響する事なく選択的に除草利用によって雑草抑制を可能とする。化学的突然変異によって得られたモロコシ突然変異はある特異的ポリヌクレオチドをコードし、変異したアセトヒドロキシアシド合成酵素を作り、sulfonyleurea-とimidazolinone-type 除草剤への薬剤耐性を大きくしたのものである (Uriarte *et al.*, 2012)。

部位特異的ヌクレアーゼによる遺伝子編集とは、in vitro で新しい遺伝的物質の挿入を含むを GMO 育種と従来育種の間の一連のバイオテクノロジー総称である。これらのテクノロジーで最もよく知られたものは CRISPR (clustered regularly interspaced short palindromic repeat=クリスパー) であり、ここではヌクレアーゼ酵素 Cas 9 (CRISPR-associated 9) が直接に合成ガイド RNAs (synthesized guide RNAs) によって遺伝子中の特異的場所に向けられる；そこでテーラーメイドダブルストランドブレイキ (二重鎖切断物) を導入する (Podevin *et al.*, 2013)。CRISPR/Cas 9 遺伝子編集の可能性はルピンの章で述べた (8 章)。モロコシモを含め CRISPR の穀物品種への応用はが最初 2013 年に示された (Jiang *et al.*, 2013)。多分、最も重要な CRISPR/Cas 9 遺伝子編集の価値は、正確で予測可能なエリートライン (市販品種ペアレント) の修飾が可能で、多くの特性は同時に修正されだろう (Bortesi and Fischer, 2015)。ここで育種タイムフレーム(必要時間) はドラマチックに低下させる事が出来る。

しかしながら現在の立法では、遺伝子編集技術のコマーシャルへの応用を邪魔するという問題がありそれは解決せねばならない。GMO である植物とそうでない植物の間の相違がますますばやけて論争が多く、その結果、科学者間でずっと一致点がなく、現在の法律はこのことを十分にカバーできない (Araki and Ishii, 2015)。

2.3.2 表現型 (Phenotyping)

以前に示したように、ゲノミックスーサポートされる植物育種技術は巨大な数の候補植物ラインを生み、それらは価値のある特性を持つであろう。「ビッグデータ」の時代は始まったばかりであるという正当な理由がある。既に植物育種で殆どの課題とボトルネックは、それらの植物の好ましい特性、即ち表現型を示す組織培養、温室、あるいは農園で同定されている。自動的な plant-phenotyping technologies (植物表現型技術) は、素早く進んでいる。これはフェノミクスと呼ばれ、新しい生物学の進歩を導く (Dhondt *et al.*, 2013)。例えばハイパースペクトルイメージングや 3-D tomography の様なイメージ技術と無人航空機 (ドローン) を含むロボット技術とで統合される (Dhondt *et al.*, 2013; Fahlgren *et al.*, 2015)。最近まで

このような技術の応用では古代穀物はモロコシに限られており、植物の特徴に焦点を絞った。例えばデジタルイメージは、窒素と水欠乏に関してのモロコシ植物成長の研究に用いられてきた (Neilson *et al.*, 2015)。マルチスペクトルな高解析度カメラをのせたドローンは、遺伝的多様のモロコシ集合体中の植物の高さ、数、生産量のデータを得るために用いられた (Shi *et al.*, 2016)。穀物品種の表現型に関しては、近赤外線ハイパースペクトルイメージ技術はこれまでのものに置き換えられるような大きな将来性を示し、さらに化学的、物理的、微生物的な穀物分析の全ては、正常に単一自動画像取得で適用される (Sendin *et al.*, 2016)。

2.3.3 栄養価のための育種

古代穀物の育種が、巨大栄養素の栄養価改良と、抗栄養素および他の望ましくない成分、例えば苦味物質の低減目的で、数年間進められてきた。

巨大栄養素では、幾つかの古代穀物種のうち天然のモチ（高アミロペクチン）変異種が同定された。これらにはモロコシ、foxtail millet、proso millet、アマランスが含まれる (Taylor *et al.*, 2014 のレビュー)。高アミロペクチンタイプは高デンプン分解性が知られ、結果として単胃動物飼料要求率をよくする (Rooney and Pflugfelder, 1986)。タンパク質に関しては、改良タンパク質価、不可欠（必須アミノ酸）アミノ酸成分とタンパク質消化性（利用性）の両面についてモロコシラインの開発にかなりの研究が行われた。

化学的変異性と再構成 DNA 技術が高リジンモロコシラインの開発に使われた (Henley *et al.*, 2010)。また今日では、モロコシラインは高アミロペクチンと改良タンパク質消化性特性の両方の開発が行われた (Elhassan *et al.*, 2015; Jampala *et al.*, 2012)。

好ましくない成分を育種で除去する開発は、その大きな開発として低-サポニンキノア（第5章）、スウィート（低アルカロイド）ルピンタイプ（第8章）があり、各穀物の章で述べた。フェノール酸に関しては、タンニンとポリフェノールレベルにモロコシ（3章）、アワ種（第4章）、cowpea（ササゲ）（第9章）の異なる品種間で大きな変動がある。モロコシに関し、ポリフェノールのことで特に濃縮タンニンで抗栄養素と強いフレーバーと色の両方に関係あるもの、さらに同時に健康増進植物化学物質 (Taylor と Duodu 2015 のレビューあり) は、ポリフェノールの点では全く異なった性質をもつ栽培品種の育種の結果である。今やポリフェノールの多いタイプ、所謂黒モロコシ (Taleon *et al.*, 2012) があり、それとポリフェノールの低いタイプ、特にアントシアニン色素、白褐色の植物、所謂“食品等級”モロコシがある (Reddy *et al.*, 2004)。

2.3.4 Biofortification (バイオ強化=生物学的栄養強化)

育種に関する初期の発達は、巨大栄養素含量の改良と抗栄養素レベルの低下を古代穀物で行うことであり、それはバイオ強化の一例であると考えられる。WHO (2016) による定義によると、“バイオ強化とは、従来の植物育種あるいは現代バイオテクノロジーといった農学慣行によって食用作物の栄養価が改良されるプロセス”である。

しかしながらある権威筋、有名な HarvestPlus (日付なし a, b) は、CGIAR の組織でバイオ強化のパイオニアであるが、バイオ強化とは第1に巨大栄養素含量と微量栄養素の利用性の改良と考えている。

最も大きく、もっとも実際的に成功している古代穀物の微量栄養素バイオ強化の活動は、pearl millet 品種について ICRISAT とパートナーによって鉄と亜鉛のレベルの増加が実現された点である。非常に高レベル >80ppm Fe (正常範囲、31-61ppm に比べ)、>60ppm Zn (正常範囲、32-54ppm) を持つラインが同定された (Rai *et al.*, 2012, 2013)。さらに Fe と Zn 含量はプラスに、しかも高度に関与している (Rai *et al.*, 2012)。ICRISAT は、数倍の Fe 高含量、Zn 高含量種のハイブリッド栽培品種の有名な Dhanashakti を開発したが、早く成熟する他家受粉品種で非常に高い Fe レベルと上昇した亜鉛レベル、96 と 48ppm (独自のデータ) を持つもので、最初のバイオ強化作物はインドで作られ、農家で栽培された (Rai *et al.*, 2014)。食品介入研究は、高 Fe 含量 pearl millet が効果的であることを示した。ベナン共和国に於ける若い女性との野菜ソースと pearl millet 消費問題の研究から、バイオ強化された pearl millet で作った食品からの Fe 吸収が正常の pearl millet で作ったコントロールからのものの倍であることがわかった (Cercamondi *et al.*, 2013)。著者らの結論は、Fe バイオ強化 pearl millet 消費が pearl millet 消費社会の Fe 欠乏との戦闘に効果的である点である。

平行して IIRISAT は又、高 Fe、Zn モロコシ品種の開発を開始している (Upodhyaya *et al.*, 2016)。別のミネラルバイオ強化のやり方は、粒中のフィチン酸レベル低下してミネラルバイオ強化を改良する方法である。Africa Biofortified Sorghum (ABS) (アフリカバイオ強化モロコシ) project は Africa Harvest Biotechnology Foundation International によって起こされたが、トランスゲニック (遺伝子転換) 低フィチン酸モロコシの開発をフィチン酸合成に関与する酵素 myoinositol kinase の処理 (Shi *et al.*, 2008)、と multidrug resistance-associated protein (MRP) transporter gene を含む技術の gene-silencing technology (遺伝子抑制技術) (Shi *et al.*, 2011) を通して進めた。後半の技術を使って、穀物中フィチン酸レベルは 80-86%まで低下した (Kruger *et al.*, 2013)。これらの著者は顕著

な改良した Fe 利用性を *in vitro* で見出し、*in vivo* (ラット子犬モデル) での Fe 吸収はそれぞれ 37%と 61%と 6%と 20%であった。*in vivo* Zn 吸収も本質的に 25-39%ほど改良された。

ABS プロジェクトもトランスゲニックプロビタミン A バイオ強化モロコシを開発した。Golden Rice に用いたものと類似のテクノロジーを使って、モロコシ粒で大きく *trans-β-carotene* のレベルを強化し平均 9ppm の 18 倍増加したものが生産された (Che *et al.*, 2016)。顕著なブレークスルーはこのプロビタミン A モロコシ中の *β-carotene* は酸化に対して安定である。これは *geranylgeranyl transferase* (HGGT) の共存でなされ、酵素は *tocotrienol* (ビタミン E) 合成に含まれる。ビタミン E は *β-カロテン* の半減期を延ばし、4 から 10 週間にする。

2. 4. 種子システム

農学的、栄養的、最終用途の機能特性を持つ古代穀物の新種類を育種する事は、明らかに重要なことである。しかしながら、つまづくのはそれらを購入し、栽培する農家である。第 2 章で述べたように、所謂スーパー食品に対し高収入国の拡大するマーケットはあるマーケットブル (プッシュ戦略) をだす。これにも関わらず、低収入国の農家は特に、古代穀物を重要な作物とし、生産を増やすための強いインセンティブ (誘因)、特に持続的なローカルマーケットの需要を必要としている。この点では幾つかの顕著な成功例がある。例えばウガンダでは、モロコシをベースにある成功した大きなビール醸造産業の発達があるが、そこでは醸造に必要な品種を持つある特別のモロコシ品種の生産を可能とする醸造会社、国立農業研究所、小自作農家との間でパートナーシップが必要であった (Mackintosh and Higgins, 2004)。洗練されたシードシステムは、種子の生産と認証、農家との契約、大幅に強化された農業普及等を巻き込んでゼロから作成される必要があった。

発展途上国での改良された種子システムの痛切なニーズは、広く農業にかかわる国際組織によって広く認められている。大きな共同プロジェクト PASS (Program for Africa's Seed System) は、AGRA (the Alliance for a Green Revolution in Africa) によって進められ、the Bill and Melinda Gates Foundation の様な組織でサポートされている。PASS は 4 つのサブプログラムを持ち、アフリカ作物改良のための教育、訓練と、アフリカ作物の改良と選択、種子生産、多分最も重要なアグロデラー (種子、肥料、農業技術ノーハウのコマーシャル供給者) の発達がアフリカの地方で進んでいる。巨大な PASS の貢献規模は、2012 プログラムまで 350 名 MSc と PhD 農業研究者と、その年 240 学生卒に関与していたことから伺われる。農業の測れるインパクトに関して、2007 から 2012 までの 6

年間 PASS はアフリカでの種子生産を 2,000 トンから 57,000 トンに増加するのを助けた (FAO, 未データ) はっきりしていることは古代穀物種子の比率は相対的に大きく (9%)、そしてモロコシ、アワ (多分 pearl millet, finger millet)、teff、Africa 豆を含む。もう 1 つの種子 system の面では発展途上国では明らかに非政府組織 (NGOs) によって演じられる仕事がある。NGOs は、Africa さらにインド亜大陸、ラテンアメリカで多くのシステムサービスのコアプロバイダー (中心的支援者) であり、そこでは小規模農業への種子承認、農業投入物、拡張アドバイス、小規模金融を行う (Coulibaly *et al.*, 2014; Ojiewo *et al.*, 2015)。しかし、PASS や NGOs のような組織の重要な貢献にもかかわらず、目に見える古代穀物の種子システム 創造の鍵は支持者 (ドナー) からの支援ではなく、穀物に対するマーケットの要求からのものである。

2. 5. 持続可能な有機農業

天候変化、および農村環境保護に関する懸念が高まっていることに照らし合わせ、持続可能な保全農業の必要性が急激になりつつある。マーケットプルの点に関し、高収入の国の消費者の要求は大きくなり、彼らの購入する食品が倫理的で友好的マナーで生産されねばならないというものである。この事に関して、このような消費者はしばしば快く有機的に栽培された食品に対して大きなプレミア (割増金) を支払い、米国では有機食品と地元産食品に対し 27% までプレミアを支払う (Ettinger, 2013)。

第 1 章で述べたように古代穀物は低入力の農業で十分に適応し一般に伝統的、有機型農業を用いた開発途上国で栽培された。しかしながらこれ自体、増加する目の肥えた消費者マーケットの要望に合った必要費量と品質の穀物の生産を保障する。保持可能な農業と農業技術の保全の考え方について発展途上地域での農民への訓練、教育する継続的ニーズがある。キノアはその好例である。FAO's 2013 キノアの年から、アンデスの Altiplano (高原) で栽培される保持可能な農業システムの利用にかなり興味が抱かれて来た (Garcia Cardenas and Cusicanqui, 2014)。これは Altiplano (高原) が高度に生態学的に敏感な地域であり、ひどい霜、干害、時折の洪水が急山傾斜面と結びつき、非常に土壌浸食を起こしやすくする。Barrowclough *et al.*, (2016) は数々のアンデスの国々をまたいで長期の研究から、保全農業の実践は、従来の農業よりも生産量が多く、コストがわずかに低くなることを見出した。彼らがさらに結論したことは、Altiplano (高原) の農民にとって保全農業は有望であるが、その実施は個々の農民の特定のニーズを注意深く考慮しなければならない。

古代穀物の有機栽培に関し、開発途上国に於ける農民への長所は本質的には明らかにより高い価格製品を生む点である。発展途上国の農民にとってこれは決していつものケースではない。南西部インドの経済的研究は、混合所見が生まれた (Patil *et al.*, 2014)。例えばfinger milletの有機一型農業は、持久作物の豆とローテーション組んでこれまでの農業よりより高い純利益を得た。さらに乾燥地域では有機農業で収穫はより高い。しかしながらこれはいつもではなく、例えばココナッツ、綿のような市販の作物の場合、そこでは両者とも生産と価格はより低い。雨天はまた相対的利益性に重要な役割を演じ、有機農業は一般に乾燥域よりも収穫性のある大きな役割を有する。研究から、有機型農業が用いられる乾燥地域はネガティブ土壌栄養バランスが一般に問題であると結論した。著者らの提案から、この状況は一般には有機農業実施を通し、例えば施肥、作物残渣利用、ミミズ堆肥、これらのインプットされたものの利用といった栄養マネジメントによって一般に改良されると考えられる。明らかに、彼我の古代穀物にとってマーケットがあれば、農民の目の中の有機保持農業は非常に心強いものになるだろう。

3. 品質システム (Quality system)

穀物と穀物食品の品質システムにとり基本的必要性は、安全の存在、品質標準、さらにきちんとした分析方法の存在することである。国家レベルでは、これは一般の利害関係者と協議して作業する国の保健・食品・農業省の責任である。著名な例にUS Department of Agriculture (USDA) があり、多くの活動の中で公的にはGIPSA US Grains Standardsとthe USDA Food Composition Databasesに責任がある。幾つかの公的な国際組織や国際科学組織も、穀物生産、穀物食品安全性、品質標準、分析の公的方法に関与し、最も著名なものはthe joint Codex Alimentarius Commission of the FAO and WHO, the International Organization of Standardization (ISO), AACC International (以前のAmerican Association of Cereal Chemists) とInternational Association for Cereal Science and Technology (ICC) がある。しかしながら古代穀物の供給チェーンでは既にインパクトを与え、最近の傾向で有名なキノア (CBI Markt Intelligence, 2015a) は、例えばBritish Retail Consortium (BRC) Global Food Standards の様な大きな食品小売業法人 (food retailing corporations) により、それら自身の食品安全品質標準が課せられている。

3. 1. 穀物と食品成分と品質データー

表 11.1 に公的なグルテンフリー古代穀物の栄養データー、グレーディング、最終利用品種調製に関する状況を示した。ある穀物、millet (アワ)、アフリカ豆、スウィートトルピンは、公的型栄養成分のデーターが欠けていて、一方、モロコシ、擬似穀物：アマランス、ソバ、キノアにはある。この本の色々な穀物の章から明らかのように、全ての穀物で研究文献中に大きな栄養データーがある。しかしながらこのタイプのデーターでは、常にその正確さに関して保留がある。公的な USDA National Nutrient Database for Standard Reference の開発奨励には、2015 年からのフラボノイド、フラボン、プロアントシアニジンに関する植物化学データーを含む (USDA NDL, 2016)。しかしながら、このデーターは作物品種内の広い成分変化のため非常にミステークが多く、それは第一に遺伝子によるためではなく、環境による影響である。例えばモロコシ (item 20648) には約 2g/100g のプロアントシアニジンを含むと示された。残念ながらこれはタンニンタイプのモロコシにのみ適応されることは指摘されておらず、殆どのモロコシはプロアントシアニジンのどんな顕著な量も含まれていないということである。

信頼できる食品製品栄養成分データーに関しては、本質的に粉成分に関するデーターのみがある (表 11.1)。そこですらはっきりと弱い点がある。例えばアワ製品で、USDA National Nutrient Database (USDA NDL, 2016) には製品の作られたアワの品種は述べられていない。明らかに消費者がこれら製品を購入する時、殆どの完全な信頼できる古代穀物食品製品成分データーのないことは、消費者が本質的に栄養的品質に期待する点があるのかどうかに統一される。

表 11.1 グルテンフリーの古代穀物の既存および提案された品質データ、規制、および基準の要約 (1)

Grain	Organization Responsible for the Standard	Title	Major Aspects of Standards	References
Sorghum モロコシ	Codex Alimentarius Commission (Codex)	Sorghum Grains (172-1989); Sorghum Flour (173-1989), Revision 1995	Primarily grain and food safety and to a lesser extent food composition	Codex (1995)
	USDA NDL	20067 Sorghum grain; 20648 Sorghum flour, whole grain; 20650 Sorghum flour, refined, unenriched	Grain and food nutrient composition	USDA NDL (2016)
	ICC	ICC Standard 174: Determination of Germinative Energy of Sorghum Grain	End-use quality (malting)	ICC (2011)
	ICC	ICC Standard 175: Determination of Total Defects in Sorghum Grain	Grading procedure (food and feed)	ICC (2011)
	ICC	ICC Standard 176: Estimation of Sorghum Grain Endosperm Texture	End-use quality (milling)	ICC (2012)
	ICC	ICC Standard 177: Detection of Tannin Sorghum Grain by the Bleach Test	End-use quality (food and feed)	ICC (2012)
	ISO	ISO/DIS 9648 Sorghum – Determination of Tannin Content	End-use quality (food and feed)	ISO (1988)
	GIPSA	Grain Inspection Handbook II, Chapter 9 Sorghum	Grades and grading procedures for trade (food and feed)	GIPSA (2013)
	Grain Trade Australia	Sorghum Standards	Grades and grading procedures for trade and ensuring product safety (food and feed)	Grain Trade Australia (2015)
	DAFF	Regulations Relating the Grading, Packing and Marking of Sorghum intended for sale in the Republic of South Africa	Grades and grading procedures for trade (food and feed)	South African Department of Agriculture (2008)

表 11.1 グルテンフリーの古代穀物の既存および提案された品質データ、規制、および基準の要約（2）

Grain	Organization Responsible for the Standard	Title	Major Aspects of Standards	References
Millets ヒエ	Codex	Whole and Decorticated Pearl Millet Grains (169-1989); Pearl Millet Flour (170-1989), Revision 1995	Primarily grain and food safety and to a lesser extent food composition	Codex (1995)
	USDA NDL	20031, Millet, raw; 20032, Millet, cooked; 20647, Millet, flour; 434883 Millet, puffed; 20142 Teff, uncooked; 20143Teff, cooked;	Grain and food nutrient composition	USDA NDL (2016)
	Namibian Ministry of Agriculture, Water and Forestry	Regulations relating to composition and quality of pearl millet (mahangu) products	Grades and grading procedures for trade and ensuring product safety (food)	Namibian Ministry of Agriculture Water and Forestry (2008)
Quinoa キノア	Codex	Codex Alimentarius Standard for Quinoa proposed by Bolivia in 2015	Primarily grain and food safety (e.g., limits for saponins) and to a lesser extent food composition	Codex (2015)
	USDA NDL	20035, Quinoa, uncooked; 20137, Quinoa, cooked	Grain and food nutrient composition	USDA NDL (2016)
Amaranth アマランス	USDA NDL	20001, Amaranth grain, uncooked; 20002, Amaranth grain, cooked	Grain and food nutrient composition	USDA NDL (2016)
Buckwheat ソバ	USDA NDL	20008, Buckwheat; 20009, Buckwheat groats, roasted, dry; 20010, Buckwheat groats, roasted, cooked; 20011, Buckwheat flour whole-groat	Grain and food nutrient composition	USDA NDL (2016)
	Canadian Grain Commission	Official Grain Grading Guide: Buckwheat	Grades and grading procedures for trade (food)	Canadian Grain Commission (2016)
	South African Department of Agriculture	Standards and Requirements Regarding Control of the Export of Buckwheat	Grades and grading procedures for trade (food)	South African Department of Agriculture (2005)
Sweet lupins スイートルピン African legumes アフリカ豆	FSANZ	Lupin as an allergen (proposed regulation)	Food safety	FSANZ (2016)
	USDA NDL	16062, Cowpeas, common (blackeyes, crowder, southern), mature seeds, raw; 16063, Cowpeas, common (blackeyes, crowder, southern), mature seeds, cooked, boiled, without salt	Grain and food nutrient composition	USDA NDL (2016)
	African Organization for Standardization	Draft African Standard CD-ARS 867 Cowpeas Specification, 2012	Grades for trade and ensuring product safety (food)	African Organization for Standardization (2012)
Wild rice ワイルドライス	USDA NDL	20088 Wild rice, raw; 20089 Wild rice, cooked	Grain and food nutrient composition	USDA NDL (2016)
	Canadian Wild Rice Council	Wild Rice Products and Grades	Grading system (grain food quality)	Indian Harvest (2011)

DAFF, South African Department of Agriculture, Forestry and Fisheries; FSANZ, Food Standards Australia New Zealand; GIPSA, US Department of Agriculture Grain Inspection, Packers and Stockyards ICC, International Association for Cereal Science and Technology; ISO, International Organization for Standardization, NDL, Nutrient Data Laboratory; USDA, United States Department of Agriculture.

3. 2. 大スケール加工の必要性

調整と標準化に関して、状況は非常に混合している（表 11.1）。Codex Alimentarius Standards がモロコシ、パールグレイン (pearl grain)、粉にあり、類似の標準化がササゲ とキノアでも考慮中である。Codex タイプの標準化は第 1 に食品の安全性である。各穀物の章（3-10 章）で述べたように、全ての穀物同様、古代穀物の消費に結びつく 2-3 の重要な健康被害がある。ソバ (Heffler *et al.*, 2011)、ルピン (FSANZ, 2016) では、アレルギーに関し、危険性の大きさの定量化と標準化をセットすることが明らかに必要である。貿易促進のためのグレーディング規制に関して、多くの国々ではモロコシ、ソバの標準化を持つが、他の穀物では非常に僅かである。これは古代穀物マーケットの成長に重大な障害であり、さらにとくにこれが欠点であるのは、それらの伝統的な栽培地域、それは明らかに世界のより貧弱な地域からの輸出に関するものであるためである (Taylor

and Stading, 2014)。アマランスの場合、国際的に受け入れられる標準化の欠けている点が、最近大きな問題として欧州連合によって認識された (CBI Market Intelligence, 2015b)。

最終的利用に関する標準化は、本質的にはソルガムの国内および国際規格のみが存在するようである。これらの標準化はモロコシ中のタンニンの存在に焦点が当てられ、タンニンタイプのモロコシ穀物の検査方法の標準化に関するものであり (ICC, 2012; GIPSA, 2013)、モロコシ粒中のタンニンの定量に関するものである (ISO, 1988)。特に又、モロコシモルト中ジャスターゼ力 (全アミラーゼ活性) 決定の標準化があり、そこには bird-proof (タンニン) モロコシから作られたモルトを含む (SABS, 1970)。これまで述べたように、注目すべき世界の広がりには大きなスーパーマーケットチェーンが自体のプライベートの品質標準を農作物にセットする事が増えて来た点である (Greenberg, 2010; Tesco, 日付不明)。これらの “in-house standards 社内標準” は、それらが食品生産の安全性と品質を約束する価値がある。しかしながら、それらは高度の複雑性と洗練された食品品質マネジメントシステムのコストのため、小さな製造者達にとっては大きな挑戦である。スーパーマーケット標準化の出現は、商品の各生産者の示す組織努力を通して成し遂げることが出来る。ワイルドライスの場合、生産面とグレード品質標準化は生産者組織によって進んだ (Indian Harvest, 2011)。この例は他の古代穀物生産者組織によってもはっきりフォローされるべきであるが、それは消費者、小売業者、穀物生産者に明らかに価値あることだからである。

3. 3. 品質試験とモニター方法の必要性

古代穀物の貿易促進と大スケール加工の効果に対するこれまで行われて来た標準化確立は、これらの穀物を次第にグローバルな主要食品加工へと重要化してきた。これが起こるために、関係する品質試験とモニター方法のしっかりしたセットの設定が必要不可欠であり、信頼のできる、しかし単純で迅速、費用対効果あり、十分しっかりしたものであるため、低所得地域のこれら穀物が生産される地域で簡単に実現出来るものである。試験プロトコルをはっきりとしたものにする前に、ある穀物にどんな重要品質要因成分が第1に必要なのかをはっきりさせることである。重要な品質要因とは、関連栄養的品質か関連加工品質か、あるいはその両方である。しかしながら、現在古代穀物に対する要求がすすみ、大部分の面でそれらは優勢な商品作物 (トウモロコシ、米、小麦) 以上の優れた栄養面あるいは他の価値を与えてくれるという予想から、それらの栄養的あるいは価値ある健康 - 促進的性質が品質基準の重要点となる。

加工上の穀物の基本的な物理的パラメーターは一般に類似しているので、加工品質法は簡単に進歩するか、あるいは日常的に用いられる商品作物から真似される。例えば穀物中最も重要な物理的品質要因は粒の硬さである (Taylor and Duodu, 2009)。硬さは、鍵となる加工パラメーターをきめるが、例えば製粉工程であり、粉の粒子サイズ分布、デンプン損傷程度、調理中のデンプン糊化特性、伸張性、粒の膨化特性である。穀物粒の硬さ測定の確立された方法、例えば Single Kernel Characterization System (SKCS)、既知の比重のわかった溶液を用いた密度グレーディング、研磨性、剥皮法、製粉法等は、例えばモロコシや幾つかのアワのような古代穀物のグレードに用いられてきた (Chiremba *et al.*, 2011; Hallgren and Murty, 1983; Pedersen *et al.*, 1996)。しかしながらある古代穀物、特にテフ、フォニオ、アマランスは特に種子サイズが小さく、特別の物理的品質測定法が常に必要である。コストと単純化が特に重要な品質測定の最適条件である。

栄養的観点から最も重要な要因の1つは古代穀物の品質に関して、タンパク質含量、品質、利用性である。このことと大いに関係があるのは、発展途上国では、これら穀物が第1の生産物でありそこでは農村部の脆弱なグループ内の永続的なタンパク質栄養失調である、そして又高収入国では“良好な巨大栄養素”として消費者間で植物タンパク質のプラスイメージが膨らむ。グリセミックレスポンスと食物繊維含量に関し炭水化物プロフィールも重要であり、古代穀物は全粒として多くの近代的食品に用いられ、さらに食物繊維の摂取量をふやす魅力的な方法と考えられる。微量栄養素プロフィール成分、特に一般に不足するミネラル、ビタミン、例えばCa、Fe、Zn、同様にビタミンA、Bも不可欠である。

明らかに栄養成分を特徴づける湿式化学法は貧弱で費用がかかる。しかし近赤外 (NIR) あるいは赤外 (IR) スペクトルスコピー技術にたよる迅速、非破壊予測法は、非常に威力があり頼りになり、穀物の概略成分を評価でき、さらにとりわけ脂肪酸成分 (Sato *et al.*, 1998) の様なより特定のパラメーターカロチノイド (Brenna and Berardo 2004)、フェノール成分 (Dykes *et al.*, 2014; Meng *et al.*, 2015)、その他のものに使われた。さらにこれらの装置類の売り手は、次第にそれらの装置の販売を広範な各穀物の計算用に、時間のかからないようそれらを家の中で出来るようにと進歩させた。将来はそれらの装置を宣伝する方法として、多分色々な古代穀物の NIR 計算が装置メーカーによりオンラインで自由に行われるだろう。低コストの手持ち NIR と関連の技術装置は、小スケール農家の農地で、古代穀物の品質をモニターするのに多大の価値を与えるようになるだろう。会社は既にその方向に動いている。例えば、2 AA battery 操作 bluetooth 接続の“セミポータブル” (重量 5kg) 水分測定装置が現場で今や利用されている (Pertem

Instruments, 未日付)。あるゲームチェンジャー（変革者）は、このタイプのものをスマホの技術にとり入れ、発展途上国の農村地域のどこにでもあるようにした。低収入農家は、彼らの作物の鍵となる品質パラメーターをモニターでき、さらに収穫の正しい時期を設定、それらの商品の価格予想でき、さらにオンラインでバイヤーとリンクできるようになるだろう。

しかしながら、小規模農家が大部分の生産者である時、恐らく均一な品質を確かめる最も重要な要因が、基本的な価格連鎖を発展させるだろう。これの要求することは、種子システムが設定する場所で農民が適当な種子をアクセスし、穀物は契約栽培者ベースで多分マーケットのために育種され、そして農家は受け入れられるような収量、望ましい品質の穀物を生産するための適当な持続可能な栽培実施の適当な訓練を受けることである。要因には、勿論保障されたマーケットと農家生産物の価格を含むだろう。このようなシステムは既に多くの発展途上国では所定の位置にあり、コーヒーの様な主要商品、換金作物のための組織化された小規模農家共同体には存在している。

穀物のトレーサビリティ（追跡可能性）の必要性はより重要となっているが、それは製品の品質、安定性の確認のみならず農民からの搾取場合を減らすことでもある。西側諸国では増加する消費者パーセンテージは商品に対して喜んでプレミアムを支払い、例えば Rainforest Alliance (Rainforest Alliance, 未日付) の様な確立した組織のよって発する“倫理的な”あるいは“持続可能”な保障されたプレミアムがある。これらの市場と認証の重要なドライバーは、環境保護を超えた生産プロセスであるが、生産チェーンに関与する人々の生活と幸福の改善もそこに含まれる。こうして食品加工業者と消費者の両方は、生材料（原料）にプレミアムを支払う生産基準に合うようなものというやむを得ない関心を持つ。古代穀物は持続可能な環境や生計基準に非常にうまく一致し、昔から使われて来た悪影響の少ない技術を使い、一般に低所得農家によって栽培されて来た。穀物の人気が高まるにつれ、倫理的または持続可能な基準に必ずしも適合しない他の生産システムが登場することを考慮して、そのような生産チェーンを保護するメカニズムが必要となる。

4. 食品と食品技術

新規および改良型加工食品、食品加工技術の進歩は、常に食品会社、国立、民間食品研究機関、大学の食品科学、技術部門の中心的活動による。これは続いている。特にグルテンフリー古代穀物に関しては、そのペースは次第に早くなっている。政府研究機関は古代穀物の開発と加工技術に大きな貢献を行い、そこにはマイソール王国とインド（モロコシ、アワ食品）の Central Food Technolorigal Research Institute (CFTRI)、南アフリカ（モロコシのモルトと発酵）の the Council for Scientific and Industrial Research (CSIR)、そしてより最近、アイルランド（古代穀物ーグルテンフリー食品）の Agriculture and Food Development Authority (Teagasc) がある。

興味深い事に、1960-70年代に the FAO が Composite Flour プログラムの戦陣を切った。そのプログラムの目的は開発途上国における食品安全保障を改良することで、それは地方で育った穀物の粉の利用して、例えばモロコシ、アワ、擬似穀物を利用し小麦粉とブレンドしてパンやパスタのような主食小麦ベース製品にすることである (De Ruiter, 1978)。顕著な開発、製粉、二次的生産食品加工技術がすすみ、非小麦穀物ベースの複合製品製造が、多くの国々、特に北アフリカのセネガル、スーダンで行われている。FAO Composite Flour Programme (合成粉プログラム) の研究協力の結果として、現代の古代およびグルテンフリーベース食品の発展、例えば高一容積非小麦粉パン製造へのハイドロコロイドの応用への基盤の多くが供給された。

しかしながらプログラムは当初の目標に達するには成功は小さかった。FAOSTAT data が示すのには 1993 年、初期のスーダンはモロコシ 2.1 百万トン生産し小麦 12 万トン輸入した (FAOSTAT, 2011)。2011 年までモロコシ製造は 2 倍以上 4.6 百万トンであった。しかしながら小麦輸入はほぼ 14 倍の 1.7 百万トンに増加した。

USAID CRSPs と Innovation Labs の活動は、古代穀物育種の点ではこれまでに述べた。それらの食品と食品技術 R&D work (研究開発事業) に関し、ある重要な特徴は、幾つかの成功の貢献例だが、例えば小規模 pearl millet 食品加工が西アフリカのサハラ地域で進められているがプロジェクトは市場主導の点である (Food the Future, 2016)。市場主導のアプローチは常に Food Value Chain (フードバリューチェーン) (Microlinks, 未日付) の考え方の応用を含み、それによって全ての科学者はチェーンの仕事に協同的にとりこまれ地方農家や食品加工者とパートナーシップをむすぶ。FAO は『持続可能なフードバリューチェーンの発展は、発展途上国における数百万の貧者の家庭が貧困からたち向かう重要な道のりを与えるである』と考えた (Neven, 2014)。

古代穀物に関し産業発展した大きな成功例は、輸入大麦に変わり地域成長のモロコシを用いて Africa での大麦のスタウト（ビール）醸造した点だ。1980 年代後半、ナイジェリア政府は大麦の輸入を禁止して、地方農民をささえ、外国為替の節約をサポートした。数ヶ月以内で、地方醸造産業に技術進歩をさせ、モロコシを使ってより大きなビール醸造が出来た。大麦輸入禁止は撤回されてから長い、しかしこれはモロコシがベースで価値連鎖を作った成功例であり、今回の Nigeria での殆どのビール製造はモロコシに基づいている (Michael and Nzeka, 2012)。今回 Nigeria の醸造産業は年間売上高 \$ 2.7 billion (十億ドル)、そしてビールは 1.1 billion liters (十億リットル) 余の生産である (Adekoya, 2016)。もっと最近では、モロコシラガー醸造産業の類似の高度の成功発展がこれまで述べたように、例えばウガンダ、ザンビアの国々で進んでいる。それらの成功の鍵は、私的な会社と政府間のパートナーシップがフード価値連鎖に沿って進められた事、一方醸造会社は小国の農業研究システムと働き、地方農家に技術を与え、政府は醸造の税軽減策を輸入大麦の変わりモロコシ醸造に与えたことである (Mackintosh and Higgins, 2004)。

4. 1. 伝統食品とアルコール飲料；発展の必要性

迅速な都市化の結果によるライフスタイルの変化は、特に発展途上国ではよりコンビニエンスタイプの食品、意欲的な製品への強まる要求が生まれ、その結果伝統的食品からラガービール、小麦パン（これまで述べたように）や炭酸ソフト飲料の様な食品に流れてゆく (Haggblade *et al.*, 2016; Monteiro *et al.*, 2013)。快適な食事への発展途上国の要求は、又伝統的古代穀物ベースの食品と飲料、例えばスナック、長寿命非アルコール飲料などを近代的バージョンのマーケット用へと成長させる (Taylor *et al.*, 2010) (図 11.3)。ローカルな消費者の要望が目的とするこのようなニッチな食品を製造するのは、一般には、小、中サイズの企業である。要求される実際の加工技術は、よく知られた比較的低い技術で、例えばエクストルージョンクッキングで粉をインスタント化するようなものである。しかしながら、このような現代風伝統的製品を製造し生活設計しようと試みる場合、小、中企業にとって経験する問題は多く、可能性としては気の遠くなるようなものである。この問題は関連の技術的問題とビジネス技術の問題の両方にカテゴライズされる。技術的問題には、一定の品質の穀物をレギュラー供給のあること、加工道具のあること、例えば食品安定性、食品表示法のような鍵となる区域に技術のないことが含まれる。ビジネス技術の問題に関しては、例えば流通チェーンやマーケットのセットアップするコストの問題、金銭の獲得と言った基本的な問

題の範囲である。ほんの今、政府と NGOs は、小規模食品加工会社の現出によって直面する問題を認め、そのグリップをつかみ始めたところである。多分、もっと革新的なアプローチは、ビジネスインキュベーションセンターの考え方であるが、そこでは革新的で企業的な継続スキル（そしてしばしば財的な）サポートを受け、それは実行可能な事業になるまでつづく（Bayhan, 未日付）。大学キャンパス内にインキュベーションセンターを設置するのが最も良い方法であるが、それは企業が技術的、ビジネス的専門知識の広域スペクトルを受け取りやすいからである。さらにこのセンターは科学と技術の卒業生に機会を与え、彼らの製品開発と研究プロジェクトの成果をビジネスに結びつける機会を与える。これは、卒業生の失業が深刻な社会的課題になり、貴重な人的資本の莫大な浪費になりつつある多くの開発途上国に特に関係がある（Mohamedbhai, 2015）。

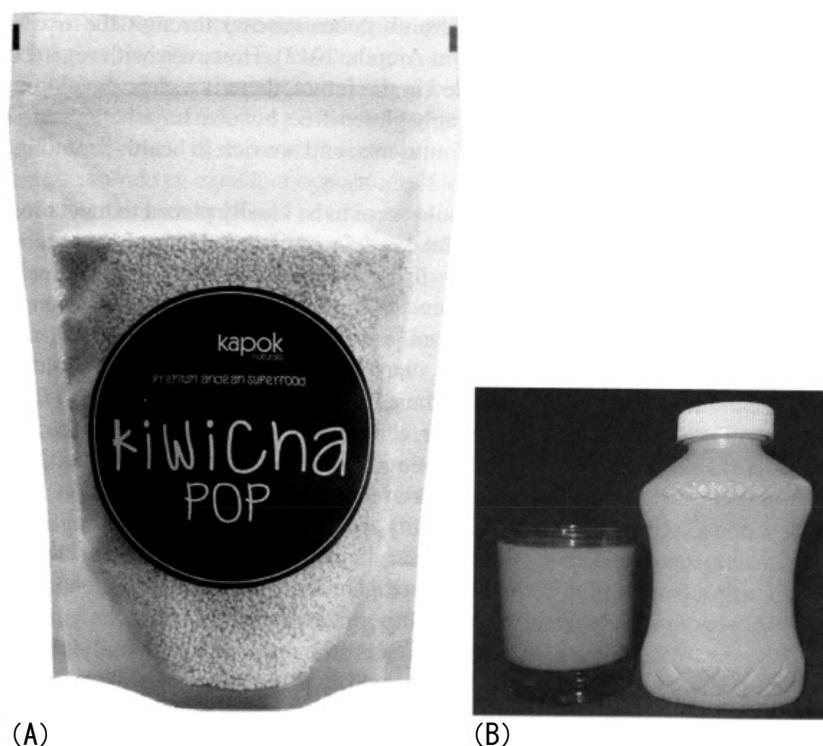


図 1.1.3 その国の伝統的な古代穀物の食べ物や飲み物に基づいて、現代の地元で生産された商品。(A) アマランススナックおよび (B) モロコシノンアルコールサワー飲料、南アフリカ

4. 2. グルテンフリー食品と飲料；発展の必要

グルテンフリー食品と飲料製品のマーケットは、西側諸国で成長し続け大きくなり、そして今や発展途上国でもそうである。ある計算では、2014-21 の期間に

USA のマーケットは 2.8 から 4.9 十億ドル、年平均率 7.7% 増加する (Transparency Market Research, 2016)。大きな成功が、デンプンとヒドロコロイドにより理屈通りの技術的機能 (例えば理想的なパン容積とクラム凝集性) を持つパンやパスタ製品のようなベーキング製品でなされている (Hager and Arendt, 2013)。しかしながらグルテンフリー製品のタイプに関し将来は、単にグルテンフリーだけではなく、よりベターな感覚的性質を抱き良い栄養価を与えるもの、さらに健康増進生化学的活性に富むものが要求される (Matos and Rosell, 2015)。

グルテンフリー古代穀物は、これらの消費者の要求を理想的に答えるものであろう。しかしながら完全な小麦グルテン機能を古代穀物粉で置き換えること、特に全粒粉を用いる場合は技術的に非常に挑戦的である。今日までの多くの化学的研究のあるにも関わらず、穀物あるいは擬似穀物でもない古代穀物の貯蔵タンパク質はその粉を水と混ぜドウをつくっても、小麦グルテンの粘弾性、ガス保持性を模倣できるという全く説得力のあるデモンストレーションはない (Taylor *et al.*, 2016)。しかしながら、モロコシプロラミンの kafirin は、分離され可塑化された時小麦グルテン様の粘弾性を示した (Oom *et al.*, 2008)。もっと最近わかった事は、これまでのモロコシ以上に非 GM 高タンパク質消化性変異体が良いドウと製パン性を示したことだ (Goodall *et al.*, 2012)。これは明らかにゲノミックスペースの植物育種が、よりよい品種のグルテンフリー製品を作れる可能性を古代穀物に示したものだ。

グルテンフリー飲料については、簡単にデンプンの原料として古代穀物を使い、市販アミラーゼでデンプンを加水分解して発酵用糖にできる (Taylor and Emmambux, 2008)。しかしながら完全に大麦モルトを古代穀物モルトに置き換えることは又技術的に非常に挑戦的である。それらのデンプンは、一般に大麦モルトデンプンより高い糊化温度をもち、加水分解酵素活性も異なったバランスをもっている (Hager *et al.*, 2014)。これは適当な発酵するために必要な十分な発酵糖とイースト栄養物を持たない悪い麦汁 (発酵し難いビール) の結果である。これもゲノミックベース植物育種が解決するだろう。

4. 3. 主流食品と飲料

おそらく古代の穀物にとって最大の機会を提供する領域は、皮肉なことに、主流の製品化である。すでに述べた様に、伝統的食品への要求は一般に経済が膨張するに伴って低下し、人々のライフスタイルはより便利さを求め、そして彼らの味覚はよりグローバルなものになる。さらにグルテンフリー製品のマーケットが常にあったとしても、一般にはニッチのカテゴリーとして考えられ、明らかにお

世辞的なマーケットの容積数とメディア的の人気である。例えば対象を絞った研究では、グルテンフリー製品が2013年までには小麦代替製品マーケットカテゴリーの僅か1-3%を占めるだけだった事を示し、さらに需要動向に基づいて数はずっと変化することは期待されない (Sheluga 2014)。多分、これは1人当たり小麦に対する需要が高収入地域あるいは発展途上国の両方で落ち込んでいない理由である (FAOSTAT, 2015)。こうして古代穀物を消費することから生じる潜在的な利益を獲得する最良の道は、高所得国と進行経済国の大多数の消費者のニーズを満たす主流の製品になることである。

前述のことは、食品製造者と小売り業者に関しては失われぬ。消費者は同時に食物を通して健康になる方法を探るとともに、エスニックフレーバー (民族の香り) や彼らの食品の多様性の成分といったエキゾチックなトレンドに興味をもつ。古代穀物製品は特別のチャンス食品製造業者の製品革新に与え、そこでは単に新しいフレーバーのみならず、タンパク質、食物繊維、微量栄養素といった好ましい成分を含んでいるが、一方でクリーンなラベルを維持している (IFT Food Technology Daily News, 2016)。大部分の食品会社はこうして彼らの製品中に古代穀物をその成分として増加する。例えば、西欧諸国では朝食用穀物、焼き物、クラッカーの様な製品を求めるのが次第に一般的になり、スーパーマーケットの棚では、目立つようにモロコシ、proso millet (ヒエ)、キノア、アマランス、テフが他のものに混じって置かれている。重要な点は、これらの製品の殆どはグルテンフリーを諸消費者のターゲットにしたものではない。マーケットはまだ揺籃期だが成長は堅調に推移した、例えばUSAではアマランス、テフ、キノアの成長は2014年においては123、58、と35%と各々である (Whole Grains Council, 2015)。

飲料センターで、古代穀物は実にビールカテゴリーで重要な役割をしているが、クラフトビールに関心のある米国や他の西部英語圏の国々では小ビール醸造会社が急増している。例えばニューヨークタイムス2013の報告によると、クラフトビール売上高はUSAで17.2%の成長があり、それは他のビール販売の1.9%減少と比較される (Mount, 2015)。さらに報告では小さなビール会社数が1521 (2008年) から3200 (2014年) に拡大している。食品としてはこのスペシャルビールへの要望は、大きくは巨大産業生産によるビールの単調で非常に同一のフレーバーに基づく消費者の退屈感によって起こされるものである。古代穀物は革新の機会を与え、これらの穀物の固有で単に異なったフレーバーのみならず、それらの天然の色合いをもつもの (黒モロコシのような) がビールに添加される。この程度だが、多少の醸造のマーケットに侵入が見られる古代穀物とはモロコシである。米国で

は、例えば少なくとも 2-3 ダースのモロコシビールがあり、単に微小のビール会社のみならず 2-3 の大ビール会社によってもそうであり、Anheuser-Busch 社による Redbridge は長く存在するものである。モロコシビールの幾つかは、グルテンフリー消費者をはっきりとターゲットにしたものである一方、多くの一般のクラフトビール消費者に対してもターゲットとしている。

古代穀物を使用する拡大の大きな価値は、製品中にこっそり全粒成分をより多く含ませる良い機会があるためである。健康価値がはっきりしているにも関わらず、相対的に全粒製品のマーケット侵入が比較的低い大きな理由の 1 つは、消費者の中の低い知覚のためである。私たちは育った味にこだわる傾向があるため、たとえば子供として食べていた白パンから、大人としては全粒粉パンに移行するのは簡単ではない。古代穀物は新しいフレーバーのチャンスがあり、諸費者はより簡単に受け入れることが出来る。

たとえ製品に古代穀物が入っていてプレミアム価格を望んでも、穀物コストと利用性が大きなボトルネックである。古代穀物は、主にストレスの強い環境下で作られて来た事と相まって、一般の商品穀物のように広い遺伝的改良を行っていないが、それは主流のものとしては期待されてこなかった生産物であったためだ。これらの穀物の需要が成長し続けるにつれて、先進的な繁殖および生産技術に投資するための圧力はより圧倒的になるだろう。明らかに“古代”の出現が中止される前にはどのぐらい多くこの古代穀物の遺伝的前進が進まねばならないのかという疑問は残る。

5. 生化学的活性物質と古代穀物の未来

多分先進国の中での古代穀物への最も強い要望の一つは、特に体重増加、その関連結果、年齢に關与する慢性的病気で苦しんでいる社会の栄養関連問題と他の慢性疾患を治す魔法の弾丸のようなものを求める決して終了のない検索である。“古代穀物”という言葉は、それ自体消費者の心に健康というように響くそれ自体である（“スーパーフード”あるいは“ナチュラル”の様な他の曖昧な定義と同一の並び）。これらの穀物は一般に精製されていない形（全粒）で用いられ、明らかに洗練された商品の穀物製品よりも健康的である。ほとんどの消費者が古代の穀物を、栄養価や健康上の利点のある未精製の商品全粒穀物と単に同等であると考える可能性は低い。こうして安価な商業穀物から得られるもの以上のビタミン、ミネラル、食物繊維の栄養素を古代穀物製品の消費者は得ることが出来という付

随的知覚価値がある。マーケットが多くなるにつれて、そしてこれらの穀物がよりポピュラーになるにつれて、新規要因は最終的には外されてゆき、消費者はよりこれらの穀物からの真の価値を吟味し賢明になってゆく。古代穀物は、こうしてすぐにでもそれら自身のメリットでより素早く表面に立つ必要がある。

第1章で述べたように、古代穀物は商品穀物より一般に気候変動に適応し、持続可能な生産システムに乗りやすく、これを重大な世界の食料安全保障作物として育成し保護せねば成らないものである。しかしながらこれまで述べたように、生産技術のための持続的投資の最大の目的は堅牢性の確保と持続可能な需要のためである。消費者の要望を確認するのに、これらの穀物からの提供、商品穀物以上の特異的、説得力のある健康価値を示すものがあれば、それよりも良いものはない。生物活性ある植物化学物質はこの件に関する研究の論理的な道であり、粒中の二次的代謝物の特異タイプの蓄積を支配する経路が特異的なものであるためである。

食生活の多様性を増すだけでなく、ある古代穀物はまた一般に商業穀物には見られないようなユニークな植物化学物質に富み、こうして価値のある物質の多様な摂取ができています。その良い例はモロコシ粒であるが、それは3-deoxyflavonoids に富み、それはユニークな化学的、生化学的性質をもつ（第3章）。特にO-methylated 3-deoxyanthocyanidins は強いフェーズ II 酵素-誘導の性質があり、それはanthocyanidin アナログを欠いている (Yang *et al.*, 2009) ある着色したササゲ品種（第9章）とワイルドライス（第10章）はまた anthocyanins に富み、典型的に果物や野菜と関与している。さらに cowpeas には色々な glycosylated proanthocyanidin dimers と同様の珍しい catechin-7-O-glucoside が高レベル含まれている；glycosylation は catechin の生化学利用性をより上げると報告される (Raab *et al.*, 2010)。ルピン（第8章）とアフリカ豆（第9章）は、又価値のあるフラボノイドと生化学的活性ペプチドがあり重要な生化学効果がある (Awika and Duodu, 2016)。ソバ（第7章）はルチン (rhamnosyl-glucoside of quercetin) の豊富源であり antiinflammatory (抗炎症薬) と他の価値が知られている。

古代穀物の植物化学物質のいくつかは一般に果物、野菜に結びついているが、殆どの多くの人々は定期的な果物、野菜の十分量の消費はしていない。一方、穀物は毎日の主食であり、食事の大部分を占めている。こうした主流食品中古代穀物の摂取は、消費者に価値ある植物化学物質を供給する一貫した基盤としての効果的なやり方になろう。これまで言ったように、古代穀物中の植物化学物質の特異的価値を述べた理解出来る信頼データは、それらの利用を増やす長い道のりとなり、真の健康的穀物としてそれらの状態をはっきり伝えるものとなろう。

6. 結論

古代穀物の人気増加は、本来、消費者と消費者監視機構（立法者とメディア）両方からの精査増加を引き起こすであろう。これらの穀物の生材料の特別価格、そして製品に含まれる特別価格は、消費者と連絡できる目に見える価格で正当化されねば成らない。これらの穀物の成分に基づきタンパク質、食物繊維、微量栄養素、植物化学物質プロフィールの点から、多分それらをきちんと定期的に消費すれば、重要な健康価値を与えてくれる。しかしながらこの価値は、消費者と、多分同じ様に重要な食品に利用される健康強調表示を管理する規制当局を説得する厳格な臨床試験や、他の確実な方法を用いて示される必要がある。

研究と開発の優先順位；

1. 古代穀物の健康価値を直接に示すための研究は、そのもの自身とある主流製品の成分としての両方で行い、長期に渡りその要望が持ち続けられるという確認のあることが特に重要である。これらは又、好ましい健康価値を生むため製品中にこれら穀物の理想的有用レベルを設定出来ることにもなる。色々な穀物中で、生化学的活性物質の可能性ある相乗的相互作用も発見されるだろう。
2. 古代穀物の持続可能、経済的栽培を強化するための大きく増加した遺伝的、育種的、農学的研究は重要である。この研究は発展途上国のこれらの穀物の生産を支配している小規模農家の経済福祉であることを認識すべきである。
3. (2) と関連して、経済的食バリューチェーン（価値連鎖）研究で、如何に古代穀物を発展途上国の低所得、小規模農家、取引業者、食品加工者、その他のバリューチェーンの中で効果的車両として利用出来るかは非常に重要である。この研究は本来、生産国々での全ての利害関係者を含む協力的、参加的なものでねばならない。高所得国のこれらの作物の需要増大を活用すると、アフリカ、アジア、ラテンアメリカに於ける迅速な都市化に結びついてきて、慢性的な貧困に苦しんでいる発展途上国、主に農村社会に利益をもたらす可能性がある。
4. 古代穀物とそれら加工品の健康価値の可能性と同様に食感等の感覚的性質を大きく変化する加工が要求される。これは特に発展途上国で重要である

のは、彼らの栄養状態の悪化と栄養状態の健康への影響に対抗するために重要であるからである。制限された発芽、発酵、微粉化、進んだ製粉技術（例えば脱ぬか、超摩砕）は、とりわけ全粒製品の食感プロフィールの強化が知られ、ある場合には同様に植物化学物質プロフィールの強化も知られる。

5. 古代穀物とそれらの製品に対する必要なラベリングの形式化が不可欠で、特に製品アイデンティティの維持と促進に関して必要である。このようなラベルを使用するには、例えば最少レベルの含有に“古代穀物”の宣言が製品上に必要な時か？あるいはその必要な時は、古代穀物が全粒として含まねばならない時か、あるいは実質的にもこのような全粒として含む時に必要なのか？後の点は重要であり、とくに古代穀物粒にとって重要で、それらのふすまを外した時には、大きく内胚乳成分が原則としてメインストリーム穀物の成分として同定される；つまり種子皮あるいはふすまの損失は、それらの食物繊維と大部分の植物化学物質の損失であるからである。明らかに、共通に受け入れられる古代穀物の定義に達しえることに時間のかかる可能性があることを考えると、このラベリングは全穀物スタンプを持つ Whole Grains Council（全粒穀物評議会）同様、民間組織によっても短期間のうちに取り持たれるべきである。

REFERENCES

- Adekoya, F. 2016. A available from: <http://allafrica.com/>
- African Organization for Standardization, 2012. A available from: <https://law.resource.org>
- AGRA, undated. PASS sub-programs. A available from: <http://archive.agra.org>
- Araki, M., Ishii, T., 2015. *Trends Plant Sci.* 20, 145–149.
- Awika, J.M., Duodu, K.G., 2016. *J. Funct. Foods*, (In Press).
- Barrowclough, M., Stehouwer, R., Alwang, J., Gallagher, R., Mosquera, V .B., Domínguez, J.M., 2016. *J. Soil Water Conserv.* 71, 91–102.
- Bayhan, A., undated. *Business Incubator Process: A Policy Tool for Entrepreneurship and Enterprise Development in a Knowledge-Based Economy*. A available from: http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/Pnadt103.pdf
- Bortesi, L., Fischer, R., 2015. *Biotechnol. Adv.* 33, 41–52.
- Brenna, O.V., Berardo, N., 2004. *J. Agric. Food. Chem.* 52, 5577–5582.
- Canadian Grain Commission, 2016. A available from: <https://www.grainscanada.gc.ca>
- CBI Market Intelligence, 2015a. CBI Market Intelligence, The Hague, The Netherlands.
- CBI Market Intelligence, 2015b. CBI Market Intelligence, The Hague, The Netherlands.
- Cercamondi, C. I., Egli, I. M., Mitchikpe, E., Tossou, F., Zeder, C., Hounhouigan, J. D., Hurrell, R. F., 2013. *J. Nutr.* 143, 1376–1382.
- Che, P., Zhao, Z. Y., Glassman, K., Dolde, D., Hu, T. X., Jones, T. J., Obukosia, S., Wambugu, F., Albertsen, M. C., 2016. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 113, 11040–11045.
- Chiremba, C., Rooney, L.W., Taylor. J.R.N., 2011. *Cereal Chem.* 88, 570–575.
- Codex, 1995. A available from: www.codexalimentarius.org
- Codex, 2015. A available from: <ftp://ftp.fao.org/codex/>
- Coulibaly, H., Bazile, D., Sidibé, A., 2014. *Sustainable Agric. Res.* 3, 18–32.
- Crawford, E.W., Maredia, M., Reyes, B., 2013. A available form: www.afre.msu.edu
- De Ruiter, D., 1978. Pomeranz, Y. (Ed.), *Advances in Cereal Science and Technology*, Vol. II, American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, pp.349–385.
- Dhondt, S., Wuyts, N., Inzé, D., 2013. *Trends Plant Sci.* 18, 428–439.
- Digest Project, 2013. A available form: crsps.net/2013/04/
- Dykes, L., Hoffmann, L., Portillo-Rodriguez, O., Rooney, W. L., Rooney, L. W., 2014. *J. Cereal Sci.* 60, 138–142.
- Echeverría, R. G., Beintema, N. M., 2009. www.fao.org.
- Elhassan, M. S., Emmambux, M. N., Hays, D. B., Peterson, G. C., Taylor, J. R. N., 2015. *J.*

Cereal Sci. 65,132–139.

Ettinger, J., 2013. www.organicauthority.com

Fahlgren, N., Gehan, M. A., Bater, I., 2015. *Curr. Opin. Plant Biol.* 24, 93–99.

FAO, 2013. A vailable from www.fao.org

FAO, undated. AGRA’s Program for Africa’s Seed Systems(PASS). A vailable from: www.fao.org

FAOSTAT, 2011. <http://faostat3.fao.orf/>

FAOSTAT, 2015. A vailable from: <http://faostat3.fao.orf/>

Fatokun, C. A., Tarawali, S. A., Singh, B. B., Kormawa, P. M., Tamò, M., 2002. IITA, Ibadan, Nigeria, p.433.

Feed the Future, 2016. A vailable from: <https://feedthefuture.gov>

Forster, B. P., Shu, Q. Y., 2011. FAO/IAEA, Vienna, pp.9–20.

FSANZ, 2016. A vailable from: <http://www.foodstandards.gov.au/>

Garcia Cardenas, M., Cusicanqui, J., 2014. UNESCO, Paris, pp.6–21.

GDRC, 2011. A vailable from: <https://grdc.com.au>

GIPSA,2013. A vailable from: www.gipsa.usda.gov

Goodall, M. A., Campanella, O. H., Ejeta, G., Hamaker, B. R., 2012. *J. Cereal Sci.* 56, 352–357.

Grain Trade Australia, 2015. Grain Trade Australia Section 2–Sorghum Trading Standards, 2015/16 Season, A vailable from: [www/graintrade.org.au/commodity_standards](http://www.graintrade.org.au/commodity_standards)

Greenberg, S., 2010. A vailable from: www.plaas.org.za

Hager, A. S., Arendt, E. K., 2013. *Food Hydrocolloid.* 32, 195–203.

Hager, A. S., Taylor, J. P., Waters, D. M., Arendt, E. K., 2014. *Trends Food Sci. Technol.* 36, 44–54.

Hagblade, S., Duodu, K. G., Kabasa, J.D., Minnaar, A., Ojijo, N, K., Taylor, J. R. N., 2016. *Food Nutr. Bull.* 37, 219–241.

Hallgren, L., Murty, D. S., 1983. *J. Cereal Sci.* 1, 265–274.

HarvestPlus, undated. What is biofortification? A vailable from: www.harvestplus.org

HarvestPlus, undated. Biofortification. A vailable from: www.harvestplus.org

Heffler, E., Nebiolo, F., Asero, R., Guida, G., Badiu, I., et al., 2011. *Allergy* 66, 264–270.

Henley, E. C., Taylor, J. R. N., Obukosia, S.D., 2010. *Adv. Food Nutr. Res.* 60, 21–52.

ICC, 2011. ICC, Vienna.

ICC, 2012. ICC, Vienna.

ICRISAT Exploreit, undated. Sorghum. A vailable from: exploreit.icrisat.org.

IFT Food Technology Daily News, 2016. A vailable from: www.ift.org

IIT Aa, undated. Cowpea. A vailable from: <http://www.iita.org/cowpea>

IIT Ab, undated. A available from: my.iita.org

Indian Harvest, 2011. A available from: www.inharvest.com

INTSORMIL, 2009. A available from: <http://pdf.usaid.gov/>

ISO, 1988. ISO, Paris.

Jampala, B., Rooney, W. L., Peterson, G. C., Bean, S., Hays, D. B., 2012. *Field Crops Res.* 139, 57–62.

Jiang, W., Zhou, H., Bi, H., Fromm, M., Yang, B., Weeks, D. P., 2013. *Nucleic Acids Res.*, <https://doi.org/10.1093/nar/gkt780>.

Jiao, Y., Burke, J. J., Chopra, R., Burow, G., Chen, J., Wang, B., et al., 2016. *Plant Cell* 28, 1551–1562.

Kruger, J., Taylor, J. R. N., Xiaogu, D., De Moura, F.F., Lönnerdal, B., Oelofse, A., 2013. *Food Chem.* 141, 1019–1025.

Mace, E. S., Tai, S., Gilding, E. K., Li, Y., Prentis, P. J., Bian, L., et al, 2013. *Nat. Commun.* 4, doi: 10.1038/ncomms3320.

Mackintosh, I., Higgins, B., 2004. *Asp. Appl. Biol.* 27, 235–245.

Matos, M.E., Rosell, C. M., 2015. *J. Sci. Food Agric.* 95,653–661.

Meng, Q., Murray, S.C., Mahan, A., Collison, A., Yang, L., Awika, J., 2015. *Crop Sci.* 55, 2234–2243.

Michael, D., Nzeka, U., 2012. Nigeria Grain and Feed Annual Report, GRAIN Report Number NI1204. USDA Foreign Agricultural Service Global Information Network. Available from: <http://gain.fas.usda.gov>

Michigan State University, undated, Impact Assessment of Bean/Cowpea & Dry Grain Pulses CRSP: Research, Outreach & Training Investments. Available from: www.afre.msu.org

Microlinks, undated. Key Information for Those New to the Value Chain Approach. Available from: <https://www.microlinks.org>

Mohamedbhai, G., 2015. The Challenge of Graduate Unemployment in Africa. *International Higher Education* 80. Available from: <http://ejournals.bc.edu>

Monteiro, C.A., Moubarac, J. C., Cannon, G., Ng, S. W., Popkin, B. M., 2013. *Obesity Rev.* 14, 21–28.

Monyo, E. S., 1998. *Sorghum Millets Newslett.* 39, 17–33.

Mount, I., 2015. *New York Times*, Feb 5, 2015. Available from: www.nytimes.com

Namibian Ministry of Agriculture, Water and Forestry, 2008. Regulations Relating to Composition and Quality of Pearl Millet (Mshangu) Products: Classification, Grading and Quality Standards of Pure Mahangu Flour/Meal and Mixed Product. Namibian Ministry of Agriculture, Water and

- Forestry, Windhoek.
- Nealon, S., 2016. Available from: <https://www.universityofcalifornia.edu>
- Neilson, E. H., Edwards, A. M., Blomstedt, C. K., Berger, B., Møller, B. L., Gleadow, R. M., 2015. *J. Exp. Bot.* 66, 1817–1832.
- Neven, D., 2014. FAO, Roma. Available from: www.fao.org.
- Obilana, A. B., 1998. *Sorghum Millets Newslett.* 39, 4–17.
- Ojiewo, C. O., Kugbei, S., Bishaw, Z. Rubyogo, J. C., 2015. *Community Seed Production, Workshop Proceedings*, 9–11 December 2013. FAO, Rome and ICRISAT, Addis Ababa, 176 pp.
- Oom, A., Pettersson, A., Taylor, J.R.N., Stading, M., 2008. *J. Cereal Sci.* 47, 109–116.
- Paterson, A. H., Bowers, J. E., Bruggmann, R., Dubchak, I., Grimwood, J., et al., 2009. *Nature* 457, 551–556.
- Patil, S., Reidsma, P., Shah, P., Purushothaman, S., Wolf, J., 2014. *Land Use Policy* 37, 40–51.
- Pedersen, J., Martin, C., Felker, F., Steele, J., 1996. *Cereal Chem.* 73, 421–423.
- Perten Instruments, undated. AM5800–new Portable Grain Moisture Meter. Available from: www.perten.com
- Podevin, N., Davies, H. V., Hartung, F., Nogue, F., Casacuberta, J. M., 2013. *Trends in Biotechnol.* 31, 375–383.
- Raab, T., Barron, D., Vera, F. A., Crespy, V., Oliveira, M., Williamson, G., 2010. *J. Agric. Food Chem.* 58, 2138–2149.
- Rai, K. N., Govindaraj, M., Rao, A. S., 2012. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods* 4, 119–125.
- Rai, K. N., Patil, H. T., Yadav, O. P., Govindaraj, M., Khairwal, I. S., Cherian, B., Rajpurohit, B. S., Rao, A. S., Shivade, H., Kulkarni, M. P., 2014. *Indian Farming* 64, 32–34.
- Rai, K. N., Yadav, O. P., Rajpurohit, B. S., Patil, H. T., Govindaraj, M., Khairwal, I. S., Rao, A. S., 2013. *J. SAT Agric. Res.* 11, 1–7.
- Rainforest Alliance, undated. *Forest Products Certification Scheme*. Available from: www.rainforest-alliance.org
- Reddy, B. V. S., Ramesh, S., Reddy, P. S., 2004. *Sorghum Millets Newslett.* 45, 5–12.
- Rooney, L. W., Pflugfelder, R. L., 1986. *J. Anim. Sci.* 63, 1607–1623.
- SABS, 1970. *Method 235 Standard Test Method for the Determination of the Diastatic Power of Malts prepared from Kaffircorn (Sorghum) including Bird-proof Varieties, and Millet*. South African Bureau of Standards, Pretoria.
- Sato, T., Uezono, I., Morishita, T., Tetsuka, T., 1998. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 75, 1877–1881.
- Sendin, K., Williams, P. J., Manley, M., 2016. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. (In Press).

Sheluga, D., 2014. Gluten Free White Papper, Ardent Mills. Available from: www.ardentmills.com/uploads/Gluten-Free-White-Paper.pdf

Shi, J., Ertl, D., Hagen, L., Wang, H. 2008. US Patent Application US 2008/0020123 A1.

Shi, J., Ertl, D., Wang, H., Ki, B., Faller, M., Schellin, K. 2011. US Patent US 8,080,708.

Shi, Y., Murray, S. C., Rooney, W. L., Valasek, J., Olsenholler, J., Pugh, N. A., Henrickson, J., Bowden, E., Zhang, D., Thomasson, J. A., 2016. Corn and sorghum phenotyping using a fixedwing UAV-based remote sensing system. In: Valasek, J., Thamasson, J.A. (Eds), Proceedings of a Conference on Autonomous Air and Ground Sensing Systems for Agricultural Optimization and Phenotyping April, 2016. Baltimore, ML.

South African Department of Agriculture, 2005, Available from: www.gov.za

South African Department of Agriculture, 2008. Available from: www.daff.gov.za

Sunil, M., Hariharan, A. K., Nayak, S., Gupta, S., Nambisan, S. R., et al., 2014. DNA Research dsu021.

Taleon, V., Dykes, L., Rooney, W.L., Rooney, L.W., 2012. J. Cereal Sci. 56, 470-475.

Taylor, J. R. N., Duodu, K. G., 2009. DEStech Publications, Lancaster, PA, pp. 197-235.

Taylor, J. R. N., Duodu, K. G., 2015. J. Sci. Food Agric. 95, 225-237.

Taylor, J. R. N., Emmambux, M. N., 2008. Woodhead Publishing, Abington, UK, pp. 281-335.

Taylor, J., Stading, M., 2014. Available from: <https://www.sp.es/en/units/fb/network/traditionalgrains>

Taylor, J. R. N., Taylor, J., 2017. Academic Press, San Diego, CA, pp.79-104.

Taylor, J. R. N., Barrion, S. C., Rooney, L. W., 2010. Cereal Foods World 55, 16-19.

Taylor, J. R. N., Belton, P. S., Beta, T., Duodu, K. G., 2014. J. Cereal Sci. 59, 257-275.

Taylor, J. R. N., Taylar, J., Campanella, O. H., Hamaker, B. R., 2016. J. Cereal Sci. 67, 22-34.

Tesco undated. Available from: <https://realfood.tesco.com>

Transparency Market Research, 2016. Available from: www.transparencymarketresearch.com

Upadhyaya, H. D., Dwivedi, S. L., Singh, S., Sahrawat, K. L., Singh, S. K., 2016. Crop Sci. 56, 374-383.

Uriarte, V. T., Zambelli, A. D., Kaspar, M. and Pardo, P. A., 2012. US Patent Application 13/822,276.

USDA NDL, 2016. USDA Food Composition Database, Release 28. Available from: <https://ndb.nal.usda.gov/>

Varshney, R.K., Terauchi, R., McCouch, S.R., 2014. PLoS Biol. 12(6), e1001883.

West Africa Agricultural Productivity Program 2015. Available from: www.waapp-ppaao.org/

WHO, 2016. Available from: www.fao.int

Whole Grains Council, 2015. Available from: <http://wholegrainscouncil.org/newsroom/wholegrain-statistics>.

Yang, L., Browning, J. D., Awika, J. M., 2009. *J. Agric. Food Chem.* 57, 1797–1804.

Yang, H., Tao, Y., Zheng, Z., Zhang, Q., Zhou, G., et al. 2013. *PloS One*, <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0064799>.

Yasui, Y., Hirakawa, H., Oikawa, T., Toyoshima, M., Matsuzaki, C., 2016. *DNA Research* dsw037.

Zhang, G., Liu, X., Quan, Z., Cheng, S., Xu, X., et al., 2012. *Nature Biotechnol.* 30, 549–554.

非 売 品

製パン技術資料 No.886

2022年1月発行

発行編集人 井 上 好 文

発 行 所 一般社団法人 **日本パン技術研究所**

〒134-0088 東京都江戸川区西葛西6-19-6
電 話 03(3689)7571
F A X 03(3689)7574
<http://www.jibt.com>

印 刷 所 有限会社 東 邦 印 刷
〒104-0043 東京都中央区湊3-5-1
エス・ユービル
電 話 03(3551)8346(代)
F A X 03(3551)8356

※許可なく転載・複写ならびにweb上での使用を禁じます。