

モロコシ, Sorghum

瀬口 正晴 (SEGUCHI Masaharu)^{1,2}, 楠瀬 千春 (KUSUNOSE Chiharu)³

Key Words: モロコシ, Sorghum

本論文「モロコシ, Sorghum」は“Lost Crop of Africa”volume I Grains NATIONAL ACADEMY PRESS 1996 の第 7 章 Sorghum を翻訳紹介するものである。

失われた作物の本にモロコシを取り上げるのは、一見すると大きな間違いの様に見える。モロコシは、世界の主要作物の中でアフリカが貢献している植物の 1 つである。モロコシの生産統計は（少なくとも一部の国では）雑穀の生産統計と一緒にになっているため、生産量は定かではない。世界の年間生産量はこの 2 つを合わせたもので 1 億トンを超えるが、そのうち 6,000 万トンがモロコシであることは確かである。1985 年の FAO の統計によると、モロコシの栽培面積は以下の通りである。アフリカ 1,800 万ヘクタール、アジア 1,900 万ヘクタール、北中米 900 万ヘクタール、南米 300 万ヘクタールである。主な生産量（単位：百万トン）は、米国 (28.70)、インド (10.30)、中国（推定 6.80）、メキシコ (6.60)、アルゼンチン (6.20)、スーダン (4.25)、ナイジェリア (3.50) である。実際、この植物は、人間の全エネルギーの 85% 以上を供給する一握りのエリート植物に属している。世界では、約 5,000 万ヘクタールの土地から約 7,000 万トンの穀物を生産している。現在、30 カ国以上、5 億人以上の人々が主食として食べている。唯一米、小麦、トウモロコシ、ジャガイモの 4 品目は、人類を養う上でモロコシを上回っている。

しかし、モロコシは、現在、正当に注目されることも、生産される可能性も、ほんのわずかである。それだけでなく世界第 5 の主要作物であるモロコシ

のサポートは不十分であるばかりか、その広大な未開拓の可能性を考えると、サポートが不十分なのだ。このように考えると、まさに「失われている」である。しかし、この状況はそう長くは続かないかもしれない。すでに数人の研究者が新しい時代の到来を予感している。研究支援モロコシは、小麦や米、トウモロコシに捧げられる世界的な水準に匹敵する研究支援を受けることで、より多くの食糧に貢献することができる。そして、最も必要としている地域や人々に貢献することができるだろう。実際、20 世紀が

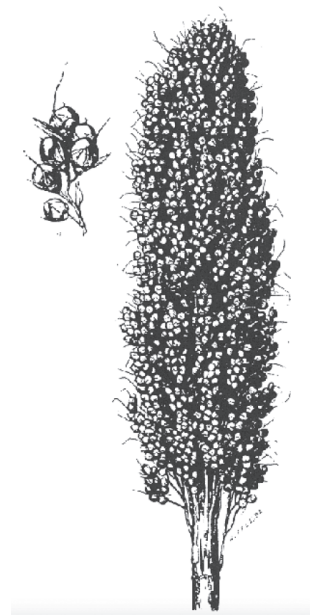


図 1 モロコシ, Sorghum

¹ 神戸女子大学, ² 日本穀物科学研究会前会長, ³ 九州栄養福祉大学

小麦, 米, トウモロコシの世紀であったとすれば, 21 世紀はモロコシの世紀になるかもしれない。第一に, モロコシは生理学的な脅威植物である。温帯と熱帯の両方で育つことができる。モロコシは最も光合成効率の高い植物の一つである。モロコシは, 光合成の中で最も効率の良い C4「リンゴ酸」サイクルを採用している。この太陽光を効率的に利用するこの基本的な利点は, 食用作物ではごくわずかであり, 主な作物ではサトウキビとトウモロコシだけである。最も高い乾物蓄積率を誇る。最も早く成熟する食用植物の一つである (ある種の植物は 75 日ほどで成熟し, 年に 3 回収穫が可能である。)

また, 人間や機械のエネルギー消費量当たりの食糧エネルギーの生産量も最も高い。トウモロコシのサイレージ, サトウキビ, トウモロコシの穀物をも上回る (Heichel, 1976。)

第二に, モロコシは多くの限界的な土地で繁栄する。その卓越した生理機能により, すべての穀物の中で最もタフな穀物のひとつとなっている。ひどい降雨にも耐える - ある湛水にも耐える。少なくともいくつかのモロコシは, 数週間水中に放置しても生き延びることができる。水が引くと成長が再開する。イスラエルの最近の研究では, 塩分に対する耐性もあることが判明している。これは最近, あらゆる作物にとってますます有用な特性だ。D. Pasternak からの情報である。しかし, モロコシは, いくつかの雑穀ほど耐塩性が高くない。

塩害条件下で良好な収量を得るには, 選抜と管理が必要である。しかし, 最も重要なのは, 高温と乾燥の条件に耐えられることである。実際, トウジンビエを除く他の主要穀物が安定的に栽培できないほど, 高温で乾燥した土地で生産することができる。ある干ばつの年, サウスダコタ州ミッチェルではトウモロコシがあまりに不作だったため, 毎年恒例の「トウモロコシ宮殿」は, モロコシきびで作らなければならなかった。屈辱的な出来事であった。しかし, トウモロコシは見つからず, モロコシだけが生き残った。この乾燥耐性は, 根が巨大で深く張り巡らされていることが主な理由だが, それ以外にも乾燥に負けない仕組みがある。例えば, ストレスがかかると葉を巻いて蒸発を抑えたり, 代謝を抑えて休眠に近い状態にしたりすることができる。また, 雨が降るまで代謝プロセスを停止し, 休眠状態に近い

状態になることができる。

第三に, モロコシは, おそらく世界で最も用途の広い作物である。種類によっては, 米のように茹でたり, オートのように割って粥にするもの, 大麦のように "モルト" にしてビールにするもの, 小麦のように焼いて平たいパンにしたり, ポップコーンのように弾いてスナック菓子にするものもある。また, スイートコーンのように青いうちに茹でて食べる, 糖分を含んだ粒もある。植物全体が飼料や干し草, サイレージとして利用されることも多い。茎は建築, フェンス, 織物, ほうき作り, 薪などに利用される。また, 茎から砂糖やシロップ, 液体燃料が取れるものもある。車や料理の燃料にもなる。生きた植物は, 防風林として利用される。作物の覆い用, ヤムイモや他の重い木の支柱として使われる。種子は家禽, 牛, 豚の餌になる。その上, モロコシは "生きた工場" であることを約束する。工業用アルコール, 植物油, 接着剤, ワックス, 染料, 紙や布のサイジング, 潤滑油, 掘削用澱粉などを作ることができる。

第四に, モロコシは数え切れないほどの方法で栽培できる。多くは天水栽培, 一部は灌漑, 一部は米のように苗を移植して栽培する。サトウキビと同じように, ラトーン栽培 (伐採した苗を再び発芽させる = 株出し栽培) も可能で, 植え替えをすることなく, 次々と作物を収穫することができる。自給自足の農家にとっては理想的であり, 他方, 完全に機械化され, 広大な商業規模でも生産することができる。

最後に, モロコシは比較的未開発である。穀物の種類, 植物の種類, 適応性, 生産能力において未開発の多様性がある。この作物には多様性があり, かつては 18 もの亜種が植物学者によって認識されていた。実際, モロコシは他のどの主要な食用作物よりも未開発で未利用の遺伝的潜在能力を有していると思われる。

これらすべての資質と可能性をもってすれば, ある種の科学者がモロコシのことを「特別なもの」と見なすのも不思議ではない。世界でこの作物は, 今後ますます発展していくことであろう。この植物が人類の幸福に貢献することは間違いないであろう。それは遅かれ早かれ実現する。私たちが生きている間に, 人口はほぼ 2 倍になると予測されている。数十億の新参者を, 減少する優良農地でいかに養うか

が、これからの時代の圧倒的な課題である。明らかに、肥沃でない、より困難な土地に、膨大な量の食料を生産させなければならない。さらに、ずっと恐ろしい温室効果の温暖化が進めば、モロコシは、今ある土地の大部分において、また、今日、パン籠、ライスランド、コーンベルトとして有名な地域の大部分で、モロコシが作物として選ばれるようになるかもしれない。

つまり、何が起ころうとも、モロコシの重要性が増すことは確かなようだ。特に、熱帯地方や亜熱帯地方でますます苦境に立たされている食糧供給を支えるために、モロコシの重要性が高まることは間違いないさそうだ。この作物は、暑くて乾燥した過密な地球にとって、これまで以上に重要な資源となることであろう。

実際、これはすでに始まっている。国際的な支援はわずかなものであるにもかかわらず、モロコシは世界的にブレイクしそうな勢いである。米国では、モロコシの収量向上は他の主要な穀物の収量向上を上回っている。インドでは、モロコシの採用が進んでいる。そして、メキシコ、中米、カリブ海地域は、このアフリカの植物にとって最も予想外の地域であり、最も急速に成長している。メキシコのモロコシの急速な普及は目を見張るものがある。1953年以前、メキシコではこの作物はほとんど使われておらず、国際的な統計を見る限り、モロコシの存在は知られていなかった。しかし、1970年には約100万ヘクタール、1980年には約150万ヘクタールで栽培されるようになった。その理由は、モロコシは生産コストが安いだけでなく、収穫量もトウモロコシの約2倍と実用的だからである。(最近のテストでは、1ヘクタールあたり1,508kgに対し、2,924kg)。また、降雨量が不安定な地域では、モロコシは、2つの作物の中でトウモロコシより信頼性の高い作物であることが証明されている。

メキシコではモロコシのほとんどを家畜の飼料として使っているが、最近では新しい食用品質のモロコシに頼ることが多くなっている。中南米の主食である丸い平たいパン「トルティーヤ」の製造に適した穀物である。また、モロコシは、朝食用シリアル、スナック、デンプン、砂糖など、現在トウモロコシから作られている製品の製造にも使用されている。また、また、醸造技術で有名なメキシコでは、一部

のビール（ヨーロッパタイプ）のベースにもなっている。

これらの開発はモロコシの可能性を示すものであり、今後、世界各地で生産が盛んになることは間違いない。しかし、この作物が国際的な潜在能力を発揮するには、まだ多くのことが必要である。現在、モロコシには以下のような欠点がある。

*** 地位の低さ。**世界的に見ると、モロコシは、「粗食」「家畜の飼料」「農民の食べ物」という間違った偏見によって、世界的に見ると阻（はば）まれている。

*** 食品としての価値が低い。**栄養成分（タンパク質約12%、脂肪約3%、炭水化物約70%）において、トウモロコシや小麦とほとんど変わらない。しかし、モロコシは食味の面で2つの問題を抱えている。1つはタンニンで、これは茶色いモロコシの種皮に含まれている。タンニンは、食べるとタンパク質などの栄養成分の吸収・利用を阻害する。タンニンは丁寧処理しないと、残ってしまうため栄養効果が低下してしまうのである。

もう1つの問題はタンパク質の質で、これはブラウン、ホワイトを問わず、すべてのモロコシに影響する。タンパク質の大部分はプロラミンというアルコールに溶けるタンパク質で、人体の消化率は低い。アルコール可溶性画分は通常のモロコシの全タンパク質の約59%を占めている。この難消化性タンパク質の量は他の穀物ではもっと少ない。

*** 加工の難しさ。**モロコシは小麦、米、トウモロコシに比べ食用に加工するのが難しい。

結局のところ、これらの欠点は、モロコシの壮大な将来に対する深刻な障害ではないが、それぞれが、進歩の潮流における海の錨のようなもので、この作物を運命から遠ざけている。これらの欠点はすべて克服することが可能である。

この植物の可能性があまりに大きいので、次号から4つの章としてその様々なタイプに割いた。次の章では、モロコシがアフリカの何百万という自給自足農家にとってどのような可能性を持っているかに焦点を当てる。モロコシは、アフリカとアジア（ラテンアメリカは言うに及ばず）の何百万人もの自給自足農家にとって、生活の糧となっている。その次の章では商業用モロコシのことで、余剰生産をしている農家で栽培されることが多くなっている。その次の章では、特殊モロコシに焦点を当て、今はまだ

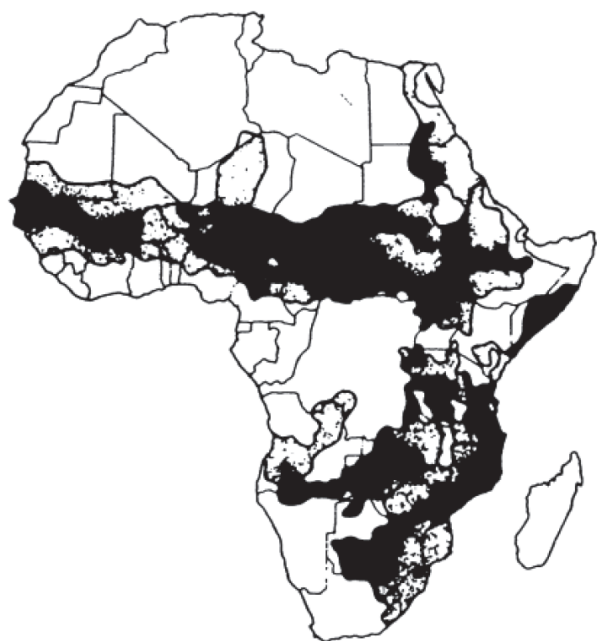


図2 Africa 地図

非常に有望な食品モロコシ研究からアフリカが受ける恩恵の大きさは、この地図からもわかる。この作物は、おそらくアフリカ大陸で最も広く普及し、重要な主食となっている。収量を現在の平均よりはるかに上げることができるという事実だけでなく、モロコシは幅広い生態学的条件に適応するため、現在の平均よりはるかに高い収量を上げることができ、大きな資産となっている。数千年の間に、この古代食はおそらく何度も家畜化された。少なくとも4つの主要なタイプが様々な場所で生まれた。それを図に示す。そのうちのひとつが最も古いものは、4000年以上前にエジプトで食べられていたドウラ（首の曲がった）種である。エチオピアは多様性の中心地であり、ドウラモロコシは現在でもアフリカの角（つの）（アフリカ大陸東部の呼称）のほとんどの人々の主食となっている。ナイジェリア東部からチャド、スーダン西部にかけての地域は、コーダツム種の多様性の中心地である。ナイジェリア西部からセネガルにかけては、ギニア種が生まれた。タンザニアから南アフリカにかけての地域は、カーフィル種の中心地である。いずれもこれらの別々のモロコシは、数え切れないほどの世代を養ってきた。

世界的にあまり知られていないけれども、将来的には優れたメリットを持つタイプのことである。

最後に、エネルギー源としてのモロコシの可能性を、農場と農家に利益をもたらすその他の特別な品質とともに章を設けている。

もちろん、これらの区分は任意的なものである。単にこの植物が持つ可能性の幅の広さを表現するための便宜的なものである。異なる種類、異なる目的、異なる利用者の間には、重複する部分や共通する部分も多くある。また、アフリカのモロコシ生産に特化した大きな進歩は、鳥、イナゴ、寄生雑草の駆除から、製粉、穀物貯蔵、侵食防止への新しいアプローチまでの章の範囲を超えた方法と技術から生まれると思われる。

栄養

他の穀物同様、モロコシは3つの主要な部分から構成されている：(種皮), 胚芽 (胚), 胚乳 (貯蔵組織)



図3 メキシコ, モレロス州。モロコシ作物を持つ農民。(D.H. Meckenstock) モロコシは、トウモロコシ、大麦、小麦ふすま、大豆などとともにメキシコの飼料原料の74%を占めている。しかし、現在では食用穀物としてモロコシの栽培が盛んになっている。

アフリカからメキシコへの贈り物

メキシコでのモロコシの台頭は目覚ましく、メキシコの第二の緑の革命"と呼ばれている。モロコシは、トウモロコシ、豆類に次ぐ栽培面積と、トウモロコシ、綿花に次ぐ生産額で第3位の作物となった。播種面積は1958年から1980年の間に、約1,300%拡大し、モロコシの生産量も2,772%増加した。1980年には150万ヘクタール以上のモロコシが栽培され、メキシコで最初の「緑の革命」作物である小麦の栽培面積の2倍以上となった。メキシコは世界第6位のモロコシ生産国となり、アメリカと中国だけがこの元々アフリカの穀物の使用量を増やしている。

モロコシは、トウモロコシや小麦よりも少ない水で栽培できるのが特徴である。乾燥した土地が多いメキシコでは、大きな利点である。これは貯水池の枯渇により、政府が灌漑用水を制限しなければならないことがあるからだ。また、灌漑によって土壌が塩害を受けた地域でもモロコシが栽培されるようになった。小麦が年間6〜7回であるのに対し、モロコシは2〜4回の灌漑が必要である。1ヘクタールあたりの平均収量は小麦ほどではないが、トウモロコシよりはるかに多い。

当初、メキシコのモロコシはほとんどが家畜の飼料として栽培されていた。この穀物は、すでにメキシコで飼育されている鶏、豚、牛、羊、ヤギなどの飼料としてかなりの割合を占めている。飼料業界では、この穀物も飼料として使われている。

である。その相対的なその比率は様々であるが、ほとんどのモロコシの穀粒は、6%の種皮、10%の胚芽、84%の胚乳で構成されている。

化学組成では、穀粒は（全粒の状態）で炭水化物約70%、タンパク質12%、脂肪3%、繊維2%、灰分1.5%である。つまり、トウモロコシや小麦の全粒粉とほとんど変わりはない。種皮と胚芽を分離して安定した粉（デンプン質の胚乳から）にすると、化学組成は約83パーセントが炭水化物、タンパク質12%、脂肪0.6%、繊維1%、灰分0.4%である。栄養成分は表1と図4に示したとおりである。しかし、その詳細については以下の通りである。

炭水化物

炭水化物は穀物の主成分であり、デンプンが重量

の32から79%を占める。残りの炭水化物は主に糖類である。モロコシの希少な品種では、糖分が非常に高い場合がある。ほとんどのモロコシのデンプン粒は、多角形と球形の両方の粒状で存在する。直径は約5μから25μ（平均15μ）である。化学的にはデンプンは通常、70-80%の分岐アミロペクチン（非ゲル化型）とアミロース（ゲル化型）20～30%である。）しかし、一部のモロコシのデンプンには、アミロペクチンを100%含むものと、アミロースを62%含むものがある。

モロコシのデンプンはトウモロコシのデンプンと性質が似ており、多くの工業用途や飼料用途で互換的に使用することができる。水と一緒に煮ると、デンプンは中程度の粘度を持つ不透明なペースト状になる。冷却すると、このペーストは糊が固まり、非

表1 モロコシの成分組成はトウモロコシに似ている。主成分はデンプンで、タンパク質、脂肪、繊維がそれに続く。トウモロコシと比較すると、モロコシは一般的に脂肪が1%少なく、ワックスが多く含まれている。複合糖質はトウモロコシのものと似た性質を持っている。タンパク質の含有量はかなりばらつきがある。アメリカの文献では8.3から15.3までの数値が報告されている（これらは中西部で栽培されているミロ モロコシで測定されたもの）。ほとんどのサンプルは9%のタンパク質の部類に入り、ほとんどの場合、トウモロコシより1、2%高くなっている。

NUTRITIONAL PROMISE 栄養面での期待			
Main Components		Essential Amino Acids	
Edible portion (g)	100	Cystine	1.3
Moisture (g)	9	Isoleucine	4.0
Food energy (Kc)	356	Leucine	13.5
Carbohydrates (g)	71	Lysine	2.1
Protein (g)	12.0	Methionine	1.3
Fat (g)	3.4	Phenylalanine	4.9
Fiber (g)	2.0	Threonine	3.3
Dietary Fiber (g)	8.3	Tryptophan	1.0
Ash (g)	2.0	Tyrosine	3.1
Vitamin A (RE)	21	Valine	4.9
Thiamin (mg)	0.35		
Riboflavin (mg)	0.14		
Niacin (mg)	2.8		
Vitamin B6 (mg)	0.5		
Biotin (μg)	7		
Pantothenic acid (mg)	1.0		
Vitamin C (mg)	0		
Calcium (mg)	21		
Chloride (mg)	57		
Copper (mg)	1.8		
Iodine (μg)	29		
Iron (mg)	5.7		
Magnesium (mg)	140		
Phosphorus (mg)	368		
Potassium (mg)	220		
Sodium (mg)	19		

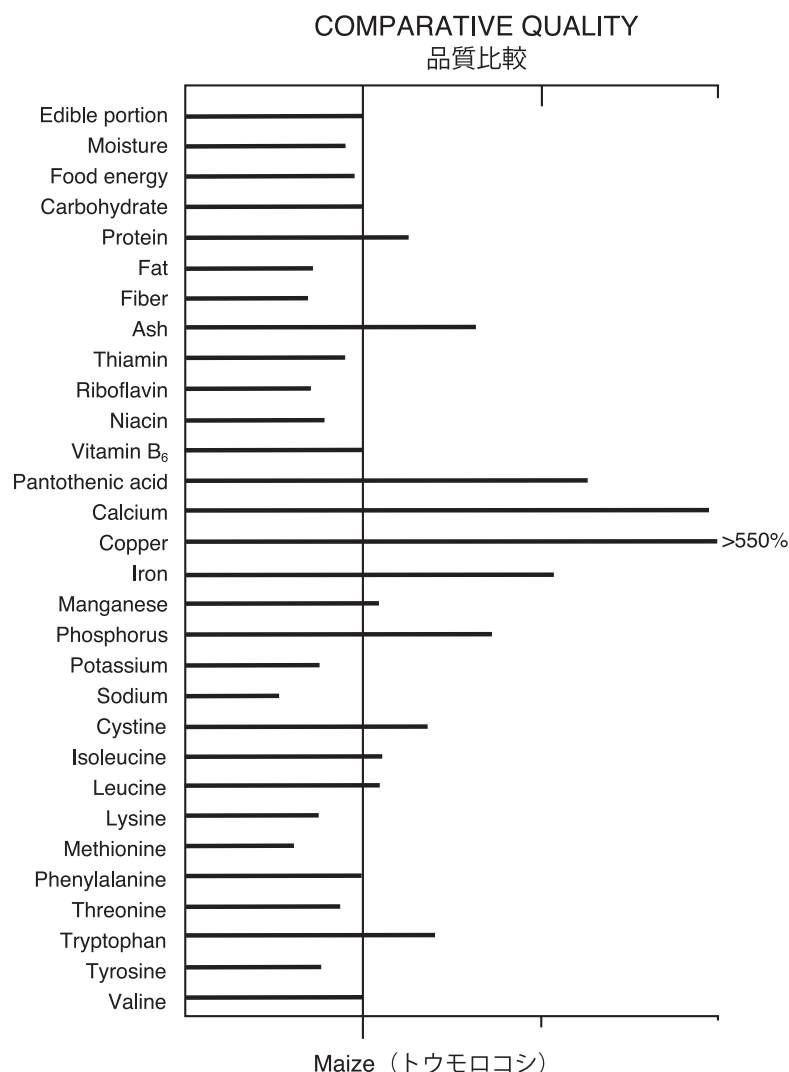


図4 人間の栄養学上, モロコシのタンパク質は"不完全"である。これは重要なアミノ酸, 特にリジンが不足している。今日の標準的なモロコシは, 推奨されるリジン所要量の約 45 パーセントを提供している。何百万人ものアフリカ人, アジア人, ラテンアメリカ人にとっての主要食品であるにもかかわらず, モロコシはタンパク質の消化率が低い。消化率を向上させるためには, 適切な加工が必要である。このような理由から, アフリカのモロコシの多くは, 食べる前に発酵させることが多い。

可逆的なゲルになる。ゲル化温度は 68 度から 75 度である。

タンパク質

モロコシのタンパク質含有量は, トウモロコシよりも変動が大きく, 7 から 15 パーセントの範囲にある。25% という報告もあるが, これはストレスを受けた植物の種子のものであるようだ。一般的な品種では, 前述のように穀粒の含有率は約 12% で, トウモロコシより 1-2% 高い。

タンパク質のアミノ酸組成はトウモロコシのそれとよく似ている。リジンが第一の制限アミノ酸であり, 次いでスレオニンである。リジンは推奨所要量の約 45% を供給する (タンパク質 100g あたり 5.44g

のリジン) FAO/WHO (1973)。トリプトファンおよびその他のアミノ酸は, トウモロコシよりも若干多く含まれている。

タンパク質にはグルテンはない。タンパク質の大部分はプロラミンである。プロラミンは, 人間が容易に消化することができない架橋型である。実際, プロラミンは通常のモロコシの全タンパク質の約 59% を占めている。これは他の主要な穀物よりも高く, 食品としての価値がかなり低下している。

長期的には, プロラミンの少ないモロコシが, 日常的に使えるようになるかもしれない。このような, より栄養価の高い品種はすでにいくつか見つかった。例えば, エチオピアで 2 つ, スーダンで 1 つ。しかし, このような高品質なモロコシが完成するま

では、モロコシのタンパク質の価値をフルに発揮させるために、穀物を加工する必要がある。

脂肪

一般的にモロコシはトウモロコシより約1%少ない脂肪を含んでいる。遊離脂質は穀物の2-4%を占め、結合脂質は0.1-0.5%である。油の特性はトウモロコシの油と似ている。つまり、脂肪酸は高度に不飽和である。オレイン酸とリノール酸が全体の76%を占めている（いくらかのトウモロコシ食のヒトの間でも同様）。

ビタミン類

トウモロコシに比べ、モロコシはビタミンB群のパントテン酸、ナイアシン、葉酸、ビオチンは高レベル;リボフラビン、ピリドキシンは同レベルで;ビタミンA(カロチン)は少なめである。ビタミンB群のほとんどは胚芽に存在する。ペラグラは、ナイアシンの摂取量が少ないために起こる病気で、モロコシの食習慣のある人の間で流行している（いくらかのトウモロコシ食のヒトの間でも同様）。

ミネラル

モロコシの灰分は1-2%である。他の穀物同様、カリウムとリンが主なミネラルである。カルシウムと亜鉛の含有量は低い傾向にある。モロコシは20種類以上の微量栄養素が含まれていることが報告されている。

栄養面での懸念

最近、ペルーで栄養失調の子供を対象に行われた栄養実験によって、モロコシの世界的な食品としての地位が揺らいでいる。モロコシは"食用に適さない"という結論に至った。

この問題の一因は、ペルーで使用されたサンプルは製粉されたもの（穀物の胚乳のみからなる）であり、単に粥に茹でて直接食べさせただけであったことが問題の一因である。一方、アフリカでは、穀物を丸ごと粉碎しアフリカでは全粒粉を挽き、タンパク質やビタミンが豊富な胚芽も一緒に食べ、時に発酵させることもある。

モロコシの栄養価の問題の核心は、前述したようにタンパク質の60%近くがプロラミンと呼ばれる

高度に架橋された形になっていることである。人間の消化酵素は、この難消化性タンパク質を消化できない。筋肉、酵素、血液、脳をより多く必要とする身体でさえ必要なアミノ酸を供給することができるかもしれないプロラミンを通過させ続ける。しかし、モロコシは、食品の品質に関して、2つ目の問題を抱えている。色の濃いモロコシの種皮に含まれるタンニンがタンパク質などの栄養成分の吸収・利用する能力を阻害する。低タンニン（黄色や白色）の穀物でない限り、あるいは茶色い種皮を丁寧に取り除かない限り、タンニンの一部が残ってしまい、モロコシの栄養効果が低下する。

さらに3つ目の問題は、モロコシの穀物を発芽させると、シアノゲニン・グルコシドが生成される。新芽では、これに酵素が作用してシアンが生成される。これはこれは発芽したモロコシのみでの潜在的な危険性であり、穀物そのものには関係ない。

種情報

植物名

Sorghum bicolor (L.) Moench

同義語

Sorghum vulgare Pers., *S. drummondii*, *S. guineense*, *S. roxburghii*, *S. nervosum*, *S. dochna*, *S. caffrorum*, *S. nigricans*, *S. caudatum*, *S. durra*, *S. cernuum*, *S. subglabrescens*.

一般名

中国：コウリヤン

ビルマ：シャルー

東アフリカ：ムタマ、シャルー、フェテリータ

エジプト：ドゥラ

英語：チキンコーン、ギニアコーン

インド：ジョラ、ジョワー、ジャワ、チョラム、デュラ、シャルー、ビシंगा

南アフリカ：カフィールコーン

スーダン：ドゥラ、フェテリータ

米国：ソルガム、マイロ、ソルゴ、スダン草

西アフリカ：オオキビ、ギニアコーン、フェテリータ

中近東：マイロ

説明

モロコシには、多くの種類がある。しかし、すべて高さ50cmから6mの杖状の草である。多くは

一年草で、数種類は多年草。茎は通常直立し、乾燥したものと汁気のあるものがある。果汁は淡白なものと甘いものがある。多くは1本の茎であるが、品種によっては旺盛に耕作し、時には1ダース(12)の茎をつける品種もある。このような余分な茎は、早い時期にできることもあれば、遅い時期にできることもある。また、収穫後に耕起するものもある。収穫後に藁(ひこばえ)した株は、切り戻し、萌芽させ、そのまま栽培することができる。サトウキビのように植え替えをせずに栽培できる。

土壌が許す限り、モロコシは深いタップルート(直根性)(写真、参照)を生成する。ただし、多数の分岐した側根は、土壌の上層部、特に最上部の1メートルを占有している。横方向に1.5メートルまで広がる。

葉はトウモロコシの葉によく似ている。葉の数は、栽培品種によって7枚から24枚。最初は直立するが、後に下向きに湾曲する。干ばつ時には、葉の縁が丸くなる。葉の中にある「モーターセル」と呼ばれる列がローリング運動を起こし、この珍しい方法で乾燥に強い。花首は通常、コンパクトなパニクル(穂)である。それぞれ2種類の花をつける。茎がなく(無茎花)、雄花と雌花の両方があるもの(perfect)と；もうひとつは茎があり、通常は雄花(雄しべ)である。受粉は風によって行われるが、自家受粉が一般的である。他家受粉の程度は、風の量とパニクル(穂)のタイプに左右されるが、開かれた花首は密集しているものより他家受粉しやすい。粒はトウモロコシより小さいが、デンプン質の胚乳は似ている。

多くは籾殻に覆われている。種皮の色は、淡黄色から紫褐色まで様々である。色が濃いものは、一般に味が種皮に含まれるタンニンのため苦い。胚乳は通常、白色でしかし、ポップコーンのように外皮が硬いものもある。

この作物は常に種子から栽培される。種子の中には休眠状態を示し、収穫後1カ月ほどは発芽しない種もある。あまり知られていないことだが、幹切りで増殖することができる；根と芽を出すことができる組織(原基)があり、それによって新しい植物が育つ。モロコシは $2n=20$ の2倍体である。

分布

アフリカの作物であり、現在ではほぼ全世界に知



図5 モロコシは葉の面積が少ない割に、根が大きい。この地中深くから水分を探し出し、半乾燥地帯でも生育できるような半乾燥地での生育に適している。その結果、モロコシは、乾燥した条件下でも穀物を収穫できることから、世界の飢餓との闘いにおける重要なツールとなっている。(A.B. Maunder, DeKalb Plant Genetics 提供)

られている。ダウ船は約3,000年前からインド洋を横断してきたが、おそらく最初にアフリカから運び出し、2,000年以上前にインドに持ち込んだと思われる。それは、ほぼ間違いなく船員用の食料である。インドのモロコシはアフリカのソマリアとモザンビークの間の海岸にあるものとの関係がある。

モロコシは恐らくインドから陸路で移動し、約2,000年前にシルクロードを通して中国に到達した。また、アフリカから直接海路で行ったかもしれない。1000年以上前(おそらく紀元8世紀)、中国の船乗りがアフリカの東海岸にたどり着き、種を持ち帰った可能性が高い。*Halepensis* 属の2倍体の *S. propinquum* である野性中国モロコシとの交配が、現在、中国で見られるモロコシ(高粱グループ)独自の特徴でその最も有力な理由と考えられる。

Broomcorn(ほうきとうもろこし)は、1600年代にイタリアで栽培が始まり、その後南ヨーロッパに広まった。このモロコシの品種は西洋の箒やブラシ

ジョワール

モロコシは、おそらく 20 世紀にわたり、南アジアの主食となってきた。現在、モロコシはインドで少なくとも 2,000 万ヘクタールを占め、これは、米を除く他のどの作物よりも多い面積である。現地で「ジョワー」と呼ばれるモロコシは、貨幣価値に換算すると、おそらくインドで最も高価な穀物である。地元では「ジョワー」と呼ばれ、おそらく米と小麦に次ぐ、インドで 3 番目に価値の高い作物である。

このアフリカ産の穀物を、外部の人はしばしば「インドの偉大なモロコシ」と吹き替えている。それは不思議ではない。ジョワールは、インドの多くの地域で重要な食糧となっている。特に中南部の乾燥地帯では重要な食糧で、何百万人ものインド人が食べている。米と同じように使う人もいるが、ほとんどのジョワールは製粉され粉にする。この粉は白っぽい色をしており、特に次のような用途に使われ特に伝統的なパン（チャパティ）に使われる。通常、全粒粉が使われるが、胚芽を取り除くために精白し、保存性の高い粉を作ることもある。日持ちのするための粉である。この粉を小麦粉とブレンド（25%以下）することで、欧米風のパンも作ることができる。また、ジョワールは麦芽化（発芽）され、その状態でビールや食品など様々な加工品に使用される。ビールやベビーフードなど、さまざまな加工品に使われている。粒は、加熱するとポップコーンのように弾ける。インド人はこの軽くておいしい粒をそのまま食べたり、焼き菓子に入れたりしている。

また、モロコシはインドの人々だけでなく多くの人々に食べられている。その茎も主要な飼料として利用されている。高収量と栄養価の高さは他の追随を許さない。茎が甘くてジューシーな品種も開発されている。特に牛がおいしそうに食べている。

インドで栽培されているモロコシの約 80% はデュラとして知られ、エチオピアや北アフリカ、サハラ砂漠の南縁で主流となっている。多くの改良品種が開発されている。主に平野部で栽培され、夏の雨に依存しているが、あるものは灌漑による栽培も行われている。

ジョワールは、耕作が困難な黒綿土壌で重要な作物のひとつである。雨季には底なし沼のような泥ができ、乾季にはひび割れたコンクリートのようなものができる。そのため重いバーティゾル（黒色綿花土）粘土の奥深くから水分を抽出する能力は、この作物がインドで最も優れた作物のひとつである。

のほとんどを生産している。現在ではメキシコが主要産地となっている。

園芸品種

この作物には様々な種類がある。植物学者によって、31 種、157 品種、571 栽培形態が確認されている。しかし、これらはいずれも不稔性や遺伝的バランスの違いという障壁なしに容易に交雑するため、単一の種である *Sorghum bicolor* にまとめることが望ましいと思われる。ある種の野生のモロコシも含めて植物学の権威は、特定の野生モロコシも含めて、種の中の品種として指定する。

栽培モロコシは野生種 (*S. arundinaceum* のような) 野生種との交雑が容易なため、分類学者にとっては頭の痛い問題かもしれないが、植物育種家にとって大きな意味を持つ。実際、膨大な種類の遺伝的特徴を曖昧なまを組み合わせ、新しい品種を作ることができる。その結果、アフリカ、インド、アメリカなどで多くの品種が認められ、新しい品種も次々と生まれている。

環境要件モロコシは、おそらく他の食用作物よりも幅広い生態学的条件に適応している。基本的に高温で乾燥した地域の植物であるが、冷涼な気候にも対応できる。また、降雨量の多い場所や、一時的な

湛水も可能である。

日長

多くの品種は日長に対して鈍感であるが、モロコシは基本的に短日種である。日長によって生育から生殖への移行がほとんどの伝統的な品種は、日長が 12 時間まで短くなると、生殖生長に分化する。この生殖生長への移行は雨の少ない時期に開花し、その後の乾季に成熟することが多い。農家にとっては非常にありがたい。このような伝統的な形体のあるものは日照時間に非常に敏感で、日長の短縮とともに植え付けなければ、無理な高さになるものもある。一方、温帯の矮性モロコシは日長の影響を受けず、気候が許す限り一年中植えることができる。

雨量

モロコシの一部は雨の多い地域で栽培されているが、モロコシはとて干ばつに強い作物である。干ばつに強いので、トウモロコシが育たないような乾燥した気候の地域では非常に重要な作物である。

標高

モロコシは海拔 3,000m 以上の場所で栽培されて



図6 スイートモロコシ

いる。

低温

霜に当たると枯れてしまう。30℃前後で最適な生育となる。

高温

本来は熱帯・亜熱帯の植物で、赤道からおおよそ40°の間にある。しかし、アメリカではますます冷温帯に迫いやられている。

土壌の種類

モロコシはとても多様な土壌に耐えることができる。重粘土でもよく育つ。特に熱帯地方の深い割れ目や黒い綿のような重い粘土質の土壌でもよく育つ。モロコシは軽い土壌や砂質土壌でも同様に生産性が高い。様々な土壌の酸性度 (pH5.0-8.5) に耐えることができる。また、塩分にもトウモロコシより強い。

References

- A sorghum newsletter is sponsored by the Sorghum Improvement Conference of North America. For information on ordering, contact Ronny R. Duncan, Editor, Sorghum Newsletter, Department of Agronomy, University of Georgia, Georgia Station, Griffin, Georgia 30223-1797, USA.
- Andrews, D.J. 1972. Intercropping with sorghum in Nigeria. *Experimental Agriculture* **8**:139-150.
- Andrews, D.J. 1974. Responses of sorghum varieties to intercropping. *Experimental Agriculture* **10**:57-63.
- Andrews, D.J. and P.J. Bramel-Cox. 1993. Breeding varieties for sustainable crop production in low input dryland agriculture in the tropics. Pages 211-223 in D.R. Buxton *et al.*, eds. International Crop Science I. Proceedings of a Conference, Ames, Iowa, July 1993. CSSA, Madison, Wisconsin.
- Bramel-Cox, P.J., K. Anand kumar, J.H. Hancock, and D.J. Andrews. In press. Sorghum and millets for forage and feed. In D.A.V. Dendy, ed., Sorghum and Millets: Chemistry and Technology. AACC, St. Paul, Minnesota.
- Brand, T.S., H.A. Badenhorst, and F.K. Siebrits. 1990. The use of pigs both intact and with ileorectal anastomosis to estimate the apparent and true digestibility of amino acids in untreated, heat-treated and thermal-ammoniated high-tannin grain sorghum. *South African Journal of Animals Science* **20**(4):223-228.
- Bunting, A.H. 1984. Advancing agricultural production in Africa: a personal review. Pages 435-445 in D.L. Hawksworth, ed., Advancing Agricultural Production in Africa. Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, UK.
- Buxton, D.R. *et al.*, eds. In press. International Crop Science I. Proceedings of a Conference, Ames, Iowa, July 1993. CSSA, Madison, Wisconsin.
- de Milliano, W.A.J., R.A. Frederiksen, and G.D. Bengston, eds. 1992. Sorghum and Millet Diseases: A Second World Review. ICRISAT, Patancheru. 370 pp.
- Dendy, D.A.V., ed. In press. Sorghum and Millets: Chemistry and Technology. AACC. St. Paul, Minnesota.
- DeWalt, B.R. 1985. Mexico's second Green Revolution: food for feed. *Mexican Studies/Estudios Mexicanos* **1**(1):29-60.
- Doggett, H. 1988. Sorghum. Longmans. London. 515 pp.
- Doumbia, M.D., L.R. Hossner, and A.B. Onken. 1993. Variable sorghum growth in acid soils of subhumid West Africa. *Arid Soil Research and Rehabilitation* **7**(4):335-346.
- Eggum, B.O. 1990. Importance of sorghum as a food in Africa. Pp. 222-228 in G. Ejeta, E.T. Mertz, L. Rooney, R. Schafert, and J. Yohe, eds., Sorghum Nutritional Quality: proceedings of an international conference held February 26-March 1, 1990. Purdue University, West Lafayette, Indiana.

- Einhellig, F.A. and I.F. Souza. 1992. Phytotoxicity of sorgoleone found in grain sorghum root exudates. *Journal of Chemical Ecology* **18**(1): 1-11.
- Ejeta, G. 1983. Hybrid Sorghum Seed for Sudan: Proceedings of a Workshop, November 5-8, 1993, Gezira Research Station, Sudan. Agricultural Research Corporation, Wad Medani, Sudan. APPENDIX F 334 About this PDF file: This new digital representation of the original work has been recomposed from XML files created from the original paper book, not from the original typesetting files. Page breaks are true to the original; line lengths, word breaks, heading styles, and other typesetting-specific formatting, however, cannot be retained, and some typographic errors may have been accidentally inserted. Please use the print version of this publication as the authoritative version for attribution. Lost Crops of Africa: Volume I: Grains Copyright National Academy of Sciences. All rights reserved.
- Ejeta, G., E.T. Mertz, L. Rooney, R. Schaffert, and J. Yohe, eds. 1990. Sorghum Nutritional Quality: proceedings of an international conference held February 26-March 1, 1990. Purdue University, West Lafayette, Indiana.
- Engels, J.M.M., J.G. Hawkes, and M. Worede, eds. 1991. Plant Genetic Resources of Ethiopia. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 383 pp.
- House, L.R. 1985. A Guide to Sorghum Breeding. 2nd edition. ICRISAT, India. 238 pp.
- Howarth, C.J. 1990. Heat shock proteins in sorghum and pearl millet: ethanol, sodium arsenite, sodium malonate and the development of thermotolerance. *Journal of Experimental Botany* **41**(228):877-883.
- Hulse, J.H., E.M. Laing, and O.E. Pearson. 1980. Sorghum and the Millets: Their Composition and Nutritive Value. Academic Press, New York. 997 pp.
- ICRISAT. 1982. Sorghum in the Eighties: Proceedings of the International Symposium on Sorghum. November 2-7 1981. Patancheru, A.P. India. ICRISAT, Patancheru.
- International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR). 1976. Proceedings of the Meeting of the Advisory Committee on Sorghum and Millets Germplasm. Rome. Mimeo.
- IDRC. 1979. Sorghum and Millet: Food Production and Use. Report of a workshop held in Nairobi, Kenya, 4-7 July 1978. S. Vogel and M. Graham, eds. IDRC, Ontario, Canada.
- IRAT. 1978. L'IRAT et l'amélioration du sorgho. *Agronomie Tropicale* **32**:279-318.
- INTSORMIL/ICRISAT. 1987. Proceedings of the International Pearl Millet Workshop. ICRISAT, Patancheru. 278 pp.
- Leng, E.R. 1982. Status of sorghum production as compared to other cereals. Pages 25-32 in Sorghum in the Eighties: Proceedings of the International Symposium on Sorghum. November 2-7 1981. Patancheru, A.P. India.
- ICRISAT, Patancheru. Lopez-Pereira, M.A., *et al.* 1990. New agricultural technologies in Honduras: an economic evaluation of new sorghum cultivars in southern Honduras. *Journal for Farming System Research and Extension* **1**(2):81-103.
- Matlon, P.J. 1990. Improving productivity in sorghum and pearl millet in semi-arid Africa. *Food Research Institute Studies* **22**(1): 1-43.
- Quinby, J.R. 1971. A Triumph of Research . . . Sorghum in Texas. Texas A&M University Press, College Station. 28 pp.
- Quinby, J.R. 1974. Sorghum Improvement and the Genetics of Growth. Texas A&M University Press. College Station, Texas. 108 pp.
- Rooney, L.W., A.W. Kirleis, and D.S. Murty. 1986. Traditional foods from sorghum: their production, evaluation, and nutritional value. Pages 317-353 in Advances in Cereal Science and Technology volume 3. AACCC, St. Paul, Minnesota.
- Serna-Saldivar, S.O., C.M. McDonough, and L.W. Rooney. 1990. The millets. Pp. 271-300 in K.J. Lorenz and K. Kulp, eds., Handbook of Cereal Science and Technology. Dekker, New York.
- Van de Venter, H.A. and W.H. Lock. 1992. An investigation of heat-shock and thermotolerance induction responses as indices of seed vigour in grain sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench.]. *Plant Varieties and Seeds* **5**(1): 13-18.
- Wenzel, W.G. 1991. The inheritance of drought resistance characteristics in grain sorghum seedlings. *South African Journal of Plant and Soil* **8**(4):169-171.
- Zaongo, C.G.L., L.R. Hossner, and C.W. Wendt. 1994. Root distribution, water use, and nutrient uptake of millet and grain sorghum on West Africa soils. *Soil Science* **157**(6):379-388.