トウジンビエ，Pearl Millet

瀬口　正晴（*SEGUCHI Masaharu*）[1,2]　楠瀬　千春 (*KUSUNOSE Chiharu*) [3]

Key Words: トウジンビエ，Pearl Millet

本論文「トウジンビエ，Pearl Millet」は “Lost Crop of Africa”volume I Grains NATIONAL ACADEMY PRESS 1996 の第 4 章 Pearl Millet を翻訳紹介するものである。

トウジンビエ，Pearl Millet

世界の穀物の中で，トウジンビエ，Peal Millet（*Pennisetum glaucum*）は 6 番目に重要な穀物である。現在，ほとんどの分類学者が，栽培されているトウジンビエの最も妥当な名称の一般的なシノニム（同義語）は *Pennisetum typhoides* と *Pennisetum americanum* であると考えている。。この作物は「ブルラッシュ・アワ」とも呼ばれ, インドでは通常「バジュラ」と呼ばれている。西アフリカの野生の草を起源とするこの植物は，4000 年以上前，おそらく現在のサハラ砂漠の中心部で家畜化（栽培化）された（**図 3 地図参照**）。そして，その原産地から東アフリカへ，さらにインドへと広がっていった。両地域で熱心に採用され，主食となった。

現在，アフリカで約 1,400 万ヘクタール，アジアで約 1,400 万ヘクタール栽培されている。国によっては，キビとモロコシをひとまとめにして統計しているため，正確な数値は不明である。また，トウジンビエは組織的な商業に参入していないため，統計が取れない国も多い。世界の穀物生産量その半分近くをインドが担っている。少なくとも 5 億人の人々がトウジンビエに依存して生活している。

しかし，その重要性にもかかわらず，トウジンビエは「失われた」作物と言われている。というのも，その潜在能力はまだまだ大きいからである。現在，この穀物は重要な穀物の中で “ 孤児 ” のような存在である。科学的にも政治的にも支持されていないのである。実際，インドとアフリカの一部以外では，その名を聞いたことがある人はほとんどいない。そのため，モロコシや他の主要穀物よりも遺伝子の発達が遅れている。例えば，平均収量は 1 ヘクタールあたり 600kg にすぎず, ほぼ自給自足の作物である。そのためか，トウジンビエはほとんど研究・産業化されていない。

この 20 年間，西アフリカの生産量はわずか 0.7% しか増加していない。この地域の食用作物の中で最も低い成長率であり，人口増加率をはるかに下回っている。しかも，このわずかな増加さえも，主に栽

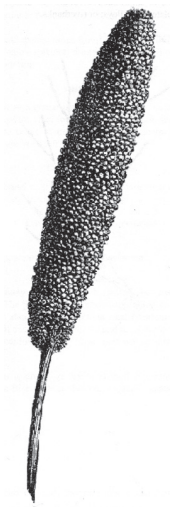

図 1　Pearl Millet
トウジンビエ

図 2　毎日の食事の準備のためにトウジンビエを運ぶ農民

[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

培面積の拡大によるものである。アフリカの他の地域では，さらに劇的な減少が続いている。わずか50年前トウジンビエは，東部アフリカ，南部アフリカの何百万人もの人々にとって，計り知れない価値をもっていた。

しかし，数十年の間に，特にアフリカ南部では，より多くの農家がトウジンビエを放棄し，トウモロコシに切り替えていた。

これにはいくつかの理由がある。一つは，国際的な研究努力により，トウモロコシの生産性がアワより高くなったこと，二つ目は，政府の奨励策によりトウモロコシは経済的に有利になったこと，三つ目は，加工が容易なため，トウモロコシの利用がより便利になったことである。このように現在，変化の勢いはとどまるところを知らず，トウモロコシはしばしば適合していなかったトウジンビエ地域に押し入っている。

しかし，今，新しい時代の幕が開かれようとしている。暑さと乾燥に強いトウジンビエは，今後ますます暑さと乾燥が厳しくなる中で，復活の可能性を秘めている。生命維持のための穀物の中で最も優れているのは，トウジンビエだろう。トウジンビエは過酷な環境下で育つ。主要な穀物の中で，極端な暑さと乾燥に耐えることができる穀物である。暑すぎたり，乾燥しすぎたりして収量が安定しない地域でも，確実に収穫することができる。トウモロコシ（あるいはモロコシ）の収量を維持することができないほど暑くて乾燥した地域でも，確実に収量を上げることができる。このような地域は，偶然にも，最も支援を必要としている地域なのである。ここ数十年の飢饉がもたらしたのは，この地域である。そこでは砂漠が拡大し，毎年2,500万ヘクタールの生産力が失われている。そして，農業開発が最大の人道的利益をもたらす可能性があるのもこの地域である。

このような理由から，トウジンビエは世界的なイニシアチブの対象となるに十分である。しかし，この作物にはさらに大きな可能性がある。気候の上昇気温の上昇は，ほぼすべての国で懸念されている。そして，水資源は，先進国を含む世界の多くの国々にとって，最も制限の多い資源になりつつある。農業は通常，その国の水の最大の使用者であり，水分をがぶ飲みするのではなく，吸い上げるような作物は，これまで以上に需要が高まる可能性がある。そのため，これまでトウジンビエの名前を聞いたことがなかった国でも，トウジンビエが重要な資源になる可能性がある。農学的にも，モロコシと同じように世界中で利用されないわけがない。実際，アメリカでの最近の研究ではその可能性は，現在考えられているよりもはるかに高いことが，明らかになっている。すでに，この作物は，アメリカの中西部で有望視されている。また，中南米，中央アジア，中東の高温・乾燥地帯でも広く使われるようになるかもしれない。モロコシも有望である。モロコシもまた，乾燥した土地で育つが，冷涼な条件下での栽培に適している。トウジンビエの重要な特徴は，暑さと低気温の両方に耐えられることである。オーストラリ

図3　アフリカのトウジンビエ生産地。推定1400万ヘクタールの畑があり。サブサハラ・アフリカ地域で3番目に広く栽培されている作物である。この植物は，おそらく4,000～5,000年前に中央高原の南縁で家畜化（栽培化）されたと考えられている。その後，アフリカやアジアの半乾燥熱帯地域に広く分布している。現在では世界のトウジンビエの約3分の1がアフリカで栽培されており，そのうちの約70%が西アフリカで栽培されている。アフリカの主なトウジンビエ生産国は，西はナイジェリア，ニジェール，ブルキナファソ，チャド，マリ，モーリタニア，セネガル，東はスーダン，ウガンダである。農業の商業化により南部アフリカでは，農業の商業化により，トウモロコシがこの伝統的な食用作物を部分的あるいは完全にこの伝統的な食用作物に取って代わった。(ICRISAT，1987年，各点は20,000ヘクタールを表す)。

アなどの乾燥地帯でも，明るい未来が待っているかもしれない。

トウジンビエは栽培が簡単である。モロコシ，トウモロコシ，他の穀物より病気が少ない。また，害虫も少ない。トウジンビエは本来，家畜の飼料で，よほど空腹な人以外は口にできないというイメージがあるが，それは間違いだ。実はこの穀物は 9% 以上のタンパク質とアミノ酸をバランスよく含む優れた食材なのである。トウモロコシよりも油分が多く，「高エネルギー」穀物である。またモロコシの消化率を低下させるタンニンやその他の化合物もない。

また，トウジンビエは多用途に使える食材である。主に全粒粉，割粉，挽粉，生地，または米のような穀物として使用される。これらは発酵パン（ロティ），発酵食品（キスラやガレット），薄いあるいは濃いお粥（トー），蒸し料理（クスクス），ノンアルコール飲料，スナックなどに加工される。

穀物の品種によっては，丸焼きにして直接食べることもある。山間部のニジェールの山岳地帯の主食は，トウジンビエに乾燥ナツメヤシと乾燥ヤギのチーズを混ぜたものである。この栄養価の高い混合物は，サハラ砂漠を越えて長旅をする際に持っていき横断する長旅の途中で，調理せずに水で割って食べる。

その他の穀物は，伝統的なビールの原料として使われる。ナイジェリアでは，トウモロコシやモロコシと同じように発酵させてオギという伝統的な離乳食があり，今でもよく食べられている（H.S.R. Desikachar の情報）。

今後もトウジンビエは様々な食品に利用される可能性がある。また小麦や米と同じような製品にできることでより多くの人に受け入れられるはずである。新しい技術では，膨化パンにも使える可能性があるようだ。

これらのことは，トウジンビエが完璧であるということではない。実際，この作物にはいくつかの深刻な問題がある。ひとつは，原料の穀物が加工しにくいこと。多くの消費者は，様々な製品に使用するために，様々な粒径に粉砕する。従来の手打ちによる脱皮では，粉の歩留まりが悪く（75% 程度）また，保存安定性にも問題がある。半ウェット製粉とパーボイルの技術は最近貯蔵安定性の問題を克服できた（D.E. Blyth の情報。ICRISAT）。

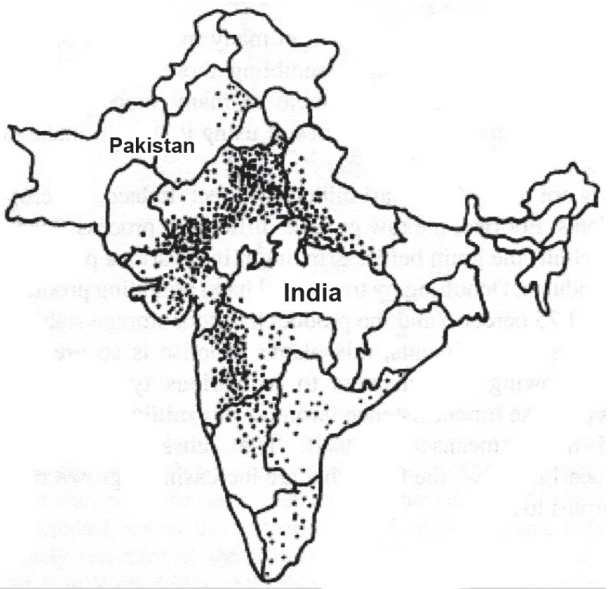

図 4　バジュラ 約 3000 年前，インド洋を渡ってきたトウジンビエは，南アジアの食糧供給に欠かせない存在となった。現在では，米，小麦，モロコシに次いで，インドで 4 番目に重要な穀物となっている。現在，バジュラはインドの穀物栽培面積の 10%近くを占めており，穀物食糧の約 5%を生産している。ラジャスタン州，マハラシュトラ州，グジャラート州，ウッタルプラデシュ州で，作付面積 1400 万ヘクタールで 80%を占め，年生産量 500 万トンのうち，70 パーセントを占める。 インドの農家は，暑い時期や乾燥した時期に灌漑の下でトウジンビエを栽培し，1 ヘクタールあたり 3，4 トンもの収穫を日常的に得ている。しかし，ほとんどの農家は乾燥地帯で，特に降雨量が少なく，そこではモロコシやトウモロコシの栽培に適さない場所である。土壌は肥沃でなく，灌漑もない。年間降雨量が 150mm という区画もある。しかし，トウジンビエは生き残り，食料を生産している。亜大陸のバジュラ栽培地域。(ICRISAT, 1987 年, 各点は 2 万ヘクタールを表す)

このような問題があるにもかかわらず，この植物は非常に有望であるため，この植物を紹介することにした。次の 2 つの章（続く次号）では，その様々な種類を紹介する。次の章（次号）では，アフリカやアジアに住む何百万人もの自給自足農家が，トウジンビエを生活の糧としていることを紹介する。その次の章（さらにその次号）では商業的なトウジンビエの種類とトウジンビエを生産し，余剰分を販売する農家が増えていることについて紹介する。

栄養成分

トウジンビエの平均的な成分は，**表 1** に示すとおりである。その中でも特に重要なものを以下にまとめた。

図 5　バジュラの収穫物を手にするインドの農民

インドでは，トウジンビエを挽いて粉にし，ケーキや無発酵パン（チャパティ）にするのが一般的である。また，薄いものから濃いものまで，様々な種類のお粥を作る。また，米と同じように炊くこともある。穀物を乾燥させて食べることもあり，アコヒ，ブンジャ，ラヒ，フラと呼ばれポップコーンに似たものである。地域によっては，緑の穂を炒って野菜のように食べることもある。 少量だが，緑色の飼料として家畜に与えられることが多い。この植物は生育が早く，耕す力が強く，刈り込みに適している。また，茎が細く，多肉質であることが多い。 このように，インドではトウジンビエは決して軽視されている作物ではない。インド政府は国のフードバスケット（穀倉地帯）を安定させる作物であると認識している。様々な地域に適した改良品種が開発され，栽培が開始されている。実際，その潜在能力は特に人口の増加に伴い，限界集落の耕作を増やす必要があるため，その可能性はますます高まっている。

炭水化物は通常，乾燥穀物の約 70% を占め，そのほとんどはデンプンから構成されている。デンプン自体の構成比は，室温で水不溶性のペーストとなるアミロペクチンが 3 分の 2 程度で構成され，アミロース（水溶液中でゲルを形成する可溶性成分）が 3 分の 1 程度である。数百種類を測定した結果，タンパク質は 9 〜 21% であり，平均 16% である。しかし，現在，農場で使われている品種は，平均して 2 〜 12% 程度である。このうちプロラミンが 40%，グロブリンが 20% である。また，アルブミンの存在も報告されているが，グルテンはない。このタンパク質の生物学的価値は 83%，消化率係数は 89% と測定されている。これらの数値は，タンパク質の摂取量を 5 パーセントに設定したラットの摂食実験によって決定されたものである（CSIR, 1966）。タンパク質効率比は 1.43 で，小麦（1.2）よりさらに優れている。タンパク質摂取量 10% で算出（CSIR, 1966）。

この穀物には約 5% の脂肪が含まれており，これは標準的な穀物に含まれる量のおよそ 2 倍である。その成分は，約 75% が不飽和脂肪酸，約 24% が飽和脂肪酸で構成されている。トウジンビエのビタミン値は一般にトウモロコシよりやや低いが，ビタ

みんなに トウジンビエパンを食べさせよう

かつて東アフリカの農村に住む多くの人々にとって，トウジンビエは穀物の世界で大きな役割を担っていた。しかし，ここ 30 〜 50 年の間に，トウモロコシに押され，その重要性は低下している。この衰退に拍車をかけたのは，トウモロコシの研究が進み，生産性が向上したこと，また，政府の政策により，トウモロコシの生産にインセンティブ (報酬) が与えられたからである。

その結果，トウモロコシは適応できない乾燥した環境で栽培され，失敗することが多くなった。このことは，農民だけでなく，政府も認識している。そこで，このような乾燥地帯でのトウジンビエやモロコシの重要性を再認識することが必要になってきた。そのためには，これらの作物を深刻な干ばつだけでなく，少なくとも大半の年においてトウモロコシと競合できるよう，これらの作物の生産を十分に魅力的なものにしなければならない。ここにトウジンビエの科学者の仕事がある。

しかし，長い目で見れば，アフリカでさえも，トウモロコシはまったく問題ではない。問題は小麦，より正確にはパンなのである。政治家は国民にパンを与えるつもりである。彼らは，長い間，このように言ってきた。技術屋は，特に小麦の栽培のできない熱帯地方でのこの傾向を繰り返すかもしれない，しかし，そのような抗議はほとんど意味がないと断言できる。彼らはその加工スピードをゆっくりにするがそれを止めることはできない。都市に住む人々はパンを欲しがっており，そして，選ばれた役人たちは，彼らがそれを手に入れるのを確実にする。人々はすでにパンに触れており，彼らはそれを求め，それを手に入れるだろう。

多くの熱帯の国々では，トウジンビエがパンにならない限り，この需要を満たすには非常に高価なものとなる。そして，このことも政治家は認識している。人々が要求する食料を与えるためのコストを下げる努力ができれば，この要求を支持するであろう。ここで トウジンビエの科学者がやるべきことはもう一つある。どうやるのか私に聞かないでくれ。あなたは私よりもずっとよくご存知だろう。私はただ，それが必要だと言っているのである。

L.D. スウィンデール氏の講演より
ICRISAT 前事務局長

表 1　トウジンビエは栄養価の高い穀物である。籾殻がなく，タンニンもなく，5-7%の油分を含み，トウモロコシやモロコシよりも高いタンパク質とエネルギーレベルを有している。オイルを構成する不飽和脂肪酸は，オレイン酸（20-31），リノール酸（40-52%），リノレン酸（2-5%）である。飽和脂肪酸は，パルミチン酸（18 ～ 25%）とステアリン酸（28%）である。
一般的に，トウジンビエは他の穀物よりもタンパク質の含有量が多く，180 のトウジンビエ系統で試験。
* L.W.Rooney からの情報。

NUTRITIONAL PROMISE　栄養面での期待

Main Components	Essential Amino Acids		
Moisture (g)	10	Cystine	1.8
Food energy (Kc)	353	Isoleucine	3.9
Protein (g)	11.8	Leucine	9.5
Carbohydrates (g)	70	Lysine	3.2
Fat (g)	4.8	Methionine	1.8
Fiber (g)	1.9	Phenylalanine	4.1
Ash (g)	2.3	Threonine	3.3
Vitamin A (RE)	22	Tryptophan	1.4
Thiamin (mg)	0.31	Tyrosine	3.0
Riboflavin (mg)	0.19	Valine	4.9
Niacin (mg)	2.6		
Calcium (mg)	37		
Chloride (mg)	43		
Copper (mg)	0.5		
Iron (mg)[a]	9.8		
Magnesium (mg)	114		
Manganese (mg)	0.8		
Molybdenum (μg)	190		
Phosphorus (mg)	339		
Potassium (mg)	418		
Sodium (mg)	15		
Zinc (mg)	2.0		

[a] Values range from 1.0-20.7mg.

ミン A は非常に優れている。カロチン値も穀物としては良好である。報告されている値（ビタミン A として）は，22 レチノール当量（RE）である。この値自体は優れているとは言えないが，ビタミン A の量は穀物にとって良いものである。

穀物の可食部のうち，灰分は約 3% で，小麦，米，大豆よりやや多い。可食部のうち灰分は約 3% で，小麦，米，トウモロコシよりやや多い。このため，さまざまなミネラル成分がより多く含まれている。したがって，さまざまなミネラル成分も多く含まれる傾向にある。トウモロコシと比較すると，リン（平均 339mg）はまたその半分の量，鉄（平均 9.8mg）は 3 倍以上，カルシウム（平均 37mg）は 5 倍以上となっている。バリウム，クロム，コバルト，銅，鉛，マンガン，モリブデン，ニッケル，銀，ストロンチウム，スズ，チタン，バナジウム，亜鉛，ヨウ素の少量も指摘されている。

飼料試験において，トウジンビエは米や小麦よりも栄養的に優れていることが証明されている。インドで行われた研究のレビューによると，トウジンビエと豆類をベースにした食事をベースとした食事は，小麦をベースとした同様の食事よりも，人間の成長を促進する上でいくぶん優れていると述べている。例えば，ある研究では，研究者が貧者の典型的な菜食主義者の食事を作った。その中のある実験では乏しい。米の一部または全部をトウジンビエに置き換えた場合，栄養価はかなり高まった。

小児を対象とした研究では，トウジンビエを主食

とする食事を与えた被験者全員が，窒素，カルシウム，リンのバランスがとれていることがわかった。タンパク質の見かけの消化率は約 53% で，シコクビエおよびモロコシタンパク質の見かけの消化率に近い値であったが，米タンパク質の見かけの消化率（65%）よりは低い値であった。また，シコクビエは子供の食事に含まれる米の窒素，カルシウム，リンの人の吸収する量を減らすことなく，米の 25% を代替できることがわかつた。

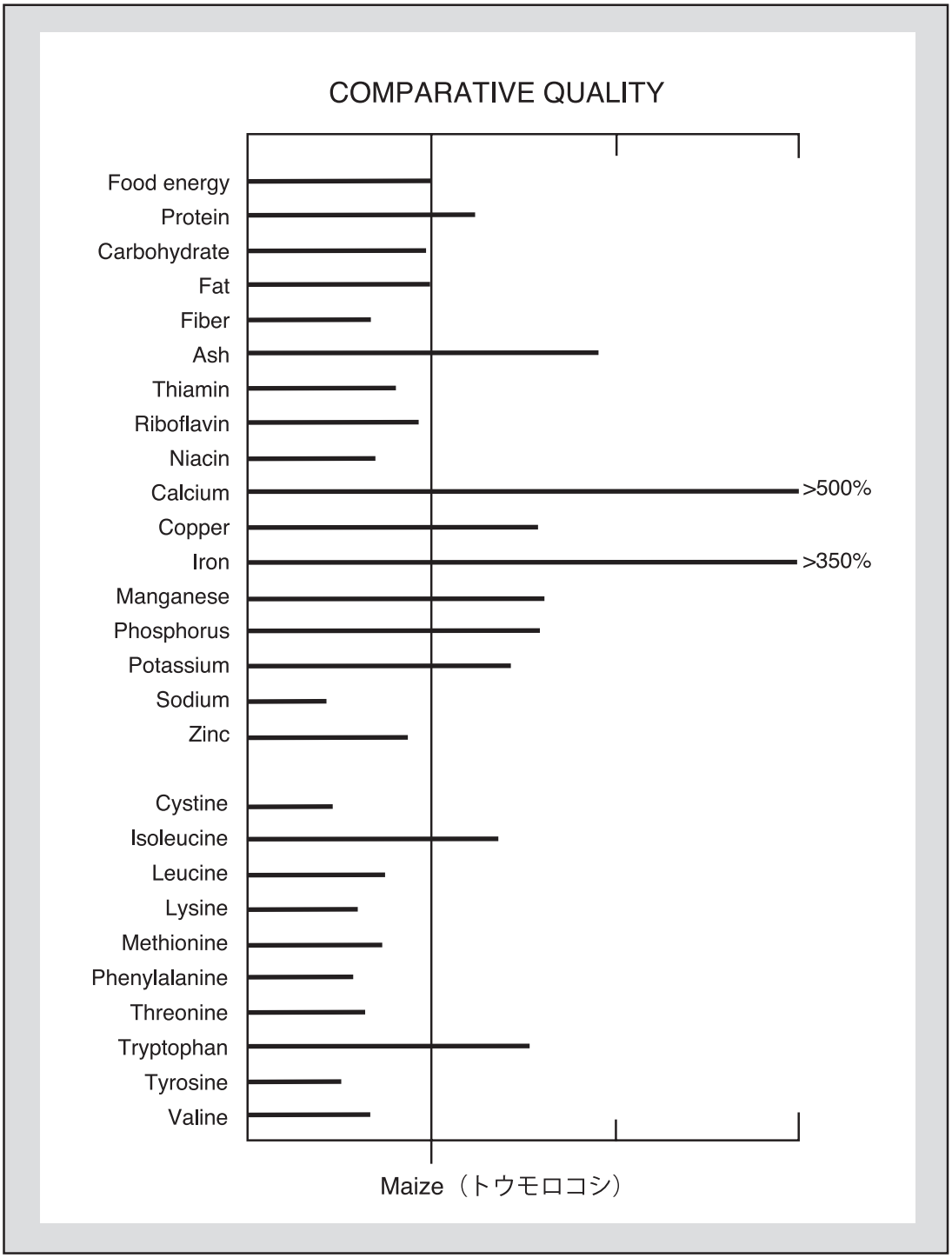

図 6　1972 年には, タンパク質含有量は 9 ～ 21%の範囲で, 平均値は 16 パーセント。それは優れたアミノ酸プロファイルを持っており，多様性そしておそらく成長条件で，様々なレベル タンパク質を構成するアミノ酸は，2 倍も変動する可能性がある。 しかし，一般的に，報告された値はより高いトリプトファン，スレオニン，バリンを示し，より低いロイシンを示し，その他は穀物ソルガムと比較したトウジンビエの同様の必須成分のアミノ酸である。しかし，不確かなのはトウジンビエタンパク質の消化率である。 消化可能なタンパク質の実際の量が他の主要な穀類より少ないことは確実である。

品種情報

植物名

Pennisetum glaucum（L.）R.Br.

広く使われている *Pennisetum americanum* という名称は，分類学的に殆どの権威筋によると妥当でないとされている。

同義語

Pennisetum typhoides（Burm. f.）Stapf and Hubbard, *P. americanum*（L.）Leeke，*P. spicatum* Roem and Schult.

一般名

アンゴラ語：マッサンゴ

アラビア語 :duhun, dukhon

英 語：pearl millet, bulrush millet, cattail millet, candle millet

エチオピア語：ブルトゥク（オロモ語），

ダグサ（アムハラ語）フランス語 :mil du Soudan, petite mil, mil

インド語：バジュラ，バジュリ，クンブ，サジジェ

ケニア語：ミ / マウェレ，ムウェレ（キクユ族）

マリ語：サンヨー，ニヨー

ガウリマラウィ語：machewere (Ngoni), muzundi (Yao), uchewere，nyauti (Tumbuka)

ニジェール語：ヘグニ（ジャルマ），ガウリ（ペウル），ハッチ（ハウサ）

ナイジェリア語：ゲロ（ハウサ），ダウロ，マイワ，エメーエ（ヨルバ）

ショナ語：ムフンガ，ムフング

ソト語：nyalothi

スーダン語：ドゥクホン

スワヒリ語：uwele (ウウェレ), mawele（マウェレ

スワティ語：ntweka

ザンビア語：mawele, nyauti, uchewele (Nyanja), bubele, kapelembe, isansa, mpyoli (Bemba)

ジンバブエ語：mhunga (Chewa), u/inyawuthi (Ndebele)

ズールー語：amabele, unyaluthi, unyawoti, unyawothi

説明

トウジンビエは直立した一年生で，通常は高さ 50cm から 4m の間である。分げつと分岐は珍しいことではなく，時には大量である。わらは粗く固い。多数の花が円筒形のスパイク（ラキス）の周りにしっかりと押し込まれている長さは 15 ～ 140cm の範囲である。この花序は通常緑がかった黄色で，全長が円筒形の場合もあれば，一方または両方の先が先細になっている場合もある。

花は他家受粉または自家受粉のいずれかである。雄性花粉ができる前に雌性部分（柱頭）が現れる。開花（雌の部分）の最初のフラッシュ（花粉を生成する）は約 2 日で完了する。1 日後雄性の花からの葯が現れ，開花の 2 番目のフラッシュがさらに 2 日間続く。その 1 日か 2 日後，3 回目のフラッシュ開花が始まる。これは雌性不稔小花からのものである。その結果，通常，他家受粉が起こる。ただし，タイミングが重なる場合は，いくつかの自家受粉が発生する可能性がある。

受精が起こるとすぐに穀物が発達し始め，完全に 20 ～ 30 日後に終了する。受精から成熟までの全過程，僅か約 40 日である。

種子の色は，白から茶色，青，またはほぼ紫までさまざまである。多くは濃灰色である。それらは一般的に涙の形をしており，小麦よりも小さい。平均体重は約 8mg である。ある脱穀では籾殻を含まないし，あるものは皮むきが必要である。種子はすぐに発芽する。条件が良ければ，約 5 日で芽を出す。収穫したばかりの種子はすぐには発芽しない場合がある。ただし，収穫後数週間の休眠が報告されている。トウジンビエは二倍体である（2n = 14）。

分布

トウジンビエの目立つ西アフリカと東アフリカの 2 つの広大な地域はすでに述べた。家畜化（栽培化）後すぐに，作物はアフリカ（1500 万ヘクタール）とアジア（1400 万ヘクタール）の両方の半乾燥熱帯で栽培された。トウジンビエは，1566 年頃にヨーロッパで植物が最初に知られるようになり，それはインドから受け取ったと言われる種子からベルギーで育てられた。これは *Pennisetum spicatum* としても知られるフォームは，スペイン，北アフリカでまだ栽培された。トウジンビエは少なくとも 1850 年代には米国に導入された。

栽培品種

次のような機能によって区別される，膨大な数の

ダブルディップ（二重に植える）
シコクビエの根は非常に深く，他の植物では利用できない土の層まで届く。アメリカ南東部での実験によると他の植物では利用されていない養分を吸い上げることができることが明らかになった。
このことがもっと広く知られるようになれば，大きな意味を持つことになるであろう。現在，農作物に施されている肥料の多くは，農作物の根元から流出している。そこで肥料が失われるだけでなく，汚染物質となる。一年草の作物を植えれば農家は，この肥料をもう一度使うことができる。(高価な) 肥料をもう一度使うことができ，環境浄化の手段にもなる。そしてさらに，トウジンビエを売ることで利益を得ることもできる。

タイプがある：
・早生（約 80 日），中生（約 100 日），晩生（180 日以上)。
・草丈
・蘖（ひこばえ）の量
・茎の太さ，枝ぶり
・葉の大きさ，毛並み
・種頭の大きさ，形，" 締まり " の良さ
・剛毛の数，長さ，硬さ，もろさ，毛並み
・粒の大きさ，形，色
・籾殻（glume）が粒に付着している度合い。

トウジンビエについては，系統的な育種の大部分がインドで行われた。しかし，アフリカの国々やフランス，アメリカなどからも多大な貢献があつた。収量向上のほとんどは，アフリカ品種の遺伝子をインドの育種家に取り入れたものである。しかし，1950 年代後半に細胞質雄性不稔の植物が発見され，飛躍的な進歩を遂げた。この遺伝子のおかげで，交配種が実用化された。現在では，雄性不稔の種子を親とする単一交配のトウジンビエの交配種が，民間や半官半民で盛んに行われている。特にインドでは，民間および半官半民の種苗産業が盛んである。

環境条件

日長

トウジンビエは通常，短日植物であるが，品種によっては日長中立のものもある。

雨量

この作物は，降雨量が 200 ～ 1,500mm の地域で栽培されているが，多くは 250 ～ 700mm の降雨量の地域で栽培されている。降雨量の少ない地域では，主に早生品種に頼っている。乾燥に非常に強い。西アフリカのモロコシの北限は 375mm 等降水量線付近である。トウジンビエはさらに北にあり，250mm 等降水量線付近である。この作物の干ばつへの耐性は，急速な成長，短いライフサイクル，高温耐性，発育の可塑性に由来する。しかしトウジンビエは，生育期間中の降雨量が均等であることが必要である (モロコシとは異なり，干ばつ時に休眠に入ることができない)。一方，開花時に雨が多すぎると不作になることがある。

標高

トウジンビエはアフリカでは標高 1,200m 以上ではほとんど見られないが，他の地域ではもっと高いところでも見られる。しかし，他の地域（例えば，北アメリカ西部）では，もっと高いところに生息している。

低温

幼苗期と開花時の低温に弱い。

高温

穀物が成熟するためには，日中の気温が高いことが必要である。アフリカのトウジンビエ地帯では気温は通常 30°C を超える。

土壌の種類他の植物と同様，トウジンビエは水はけのよい明るいロームで最もよく育つ。トウジンビエは粘土質の土壌ではうまくいかず，湛水にも耐えられない。また，酸性土壌（pH4-5 程度）にも耐性がある。アルミニウム含有量の高い土壌にも耐性がある。

関連種トウジンビエには多くの近縁種がある。そのうちのいくつかは，非常に厄介なものである。アフリカの多くの地域では，野生の *Pennisetum* 属の植物が花粉を運んでくる。この交配が作物の生産能力を急速に低下させる。西アフリカではシブラスと呼ばれる雑草のような「混血種」の大群が，農家の作物を汚染している。栽培種は穂先が広く，粒が大きく，ほとんどが突出しているのに対し，野生種は穂先が細く，尖っている。また，粒が小さく，全体

が殻に包まれていて，落ちやすい。この雑草種は幸いなことにインドに持ち込まれなかった。

作物と野生種との交雑や導入は農家にとっては問題だが，育種家にとっては作物と雑草の両方に新しい形が生まれるのだからありがたいことだ。

References

PEARL MILLET

Andrews, D.J. 1974. Responses of sorghum varieties to intercropping. *Experimental Agriculture* **10**: 57-63.

APPENDIX F 331

Lost Crops of Africa: Volume I: Grains

Copyright National Academy of Sciences. All rights reserved.

Andrews, D.J. and P.J. Bramel-Cox. In press. 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.

Andrews, D.J. and K.A. Kumar. 1992. Pearl millet for food, feed and forage. *Advances in Agronomy* **48**: 90-139.

Andrews, D.J., J.F. Rajewski, and K.A. Kumar. 1993. Pearl millet: a new feed grain crop. Pp. 198-208 in J. Janick and J.E. Simon, eds., New Crops. Purdue University Press, Lafayette, Indiana.

Annegers, J.F. 1973. Ecology of dietary patterns and nutritional status in West Africa 1: distribution of starchy staples. *Ecology of Food Nutrition* **2**(2): 107-119.

Annegers, J.F. 1973. The protein-calorie ratio of West African diets and their relationship to protein calorie malnutrition. *Ecology of Food Nutrition* **2**(3): 225-235.

Annegers, J.F. 1973. Seasonal foods shortages in West Africa. *Ecologyof Food Nutrition* **2** (4): 251-257.

Annegers, J.F. 1974. Protein quality of West African foods. *Ecology of Food Nutrition* **3**(2): 125-130. Appa Rao, S. 1987. Traditional food preparations of pearl millet in Asia and Africa. In J.R. Witcombe and S.R. Beckerman, eds., Proceedings of the International Pearl Millet Workshop, 7-11 April, 1986. ICRISAT, Patancheru.

Appa Rao, S., M.H. Mengesha, and V. Subramanian. 1982. Collection and preliminary evaluation of sweet-stalk pearl millet (*Pennistum*). *Economic Botany* **36**: 286-290.

Badi, S., B. Pedersen, L. Manowar, and B.O. Eggum. 1990. The nutritive value of new and traditional sorghum and millet foods from Sudan. *Plant Foods or Human Nutrition* **40**: 5-19.

Bationo, A., C.B. Christianson, and W.E. Baethgen. 1990. Plant density and nitrogen fertilizer effects on pearl millet production in Niger. *Agronomy Journal* **82**(2): 290-295.

Bationo, A., C.B. Christianson, and M.C. Klaij. 1993. The effectof crop residue and fertilizer use on pearl millet yields on Niger . *Fertilizer Research* **34**(3): 251-258.

Brunken, J.N., J.M.J. de Wet, and J.R. Harlan. 1977. The morphology and domestication of pearl millet. *Economic Botany* **31**: 163-174.

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.

Burton, G.W. and J.B. Powell. 1968. Pearl millet breeding and cytogenetics. *Advances in Agronomy* **20**: 49-89.

Burton, G.W., W.W. Hanna, J.C. Johnson, Jr., D.B. Lenck, W.G. Monson, J.B. Powell, H.D. Wells, and N.W. Widstrom. 1977. Pleiotropic effects of the tr trichomology gene in pearl millet on transpiration, forage quality and pest resistance. *Crop Science* **17**: 613-616.

Burton, G.W. and B.K. Werner. 1991. Genetic markers to locate and transfer heterotic chromosome blocks for increased pearl millet yields. *Crop Science* **31**(3): 576-579.

Buxton, D.R. *et al*., eds. In press. International Crop Science 1. Proceedings of a Conference, Ames, Iowa, July 1993. CSSA, Madison, Wisconsin.

Council of Scientific and Industrial Research (CSIR). 1966. The Wealth of India (volume 8). Publications & Information Directorate, CSIR, New Delhi.

Curtis, D.L., G.W. Burton, and O.J. Webster. 1966. Carotenoids in pearl millet seed. *Crop Science* **6**: 300-301. (vitamin-A millets)

Geiger, S.C., A. Manu, and A. Bationo. 1992. Changes in a sandy Sahelian soil following crop residue and fertilizer additions. *Soil Science Society of America Journal* **56**(1): 172-177.

Hamon, S. 1993. Le mil en Africque. Proceedings of a meeting on millet (*Pennisetum glaucum* L.). Montpellier, France, 24-26 November, 1992. Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développe en Coopération (ORSTOM), Montpellier. 283 pp.

Hanna, W.W. 1987. Utilization of wild relatives of pearl millet. In J.R. Witcombe and S.R. Beckerman, eds., Proceedings of the International Pearl Millet Workshop, 7-11 April, 1986. ICRISAT, Patancheru.

Hanna, W.W. 1990. Transfer of germ plasm from the secondary to the primary gene pool in *Pennisetum*. *Theoretical land Applied Genetics* **80**(2): 200-204.

Hill, G.M. and W.W. Hanna. 1990. Nutritive characteristics of pearl millet grain in beef cattle diets. *Journal of Animal Science* **68**: 2061-2066.
Hoseney, R.C. and E. Varriano-Marston. 1979. Pearl millet: its chemistry and utilization. Pages 461-494 in Cereals for Food and Beverages, G.E. Inglett and L. Munck, eds. Academic Press, New York.
Hoseney, R.C., D.J. Andrews, and H. Clark. 1987. Sorghum and pearl millet. Pages 397-456 in Nutritional Quality of Cereal Grains: Genetics and Agronomic Improvement. Agronomy Monograph No. 28. CSSA, 677 South Segoe Road, Madison, Wisconsin 53711.
Hoseney, R.C., E. Varriano-Marston, and D.A.V. Dendy. 1981. Sorghum and millets: anatomy, composition, milling. Pp. 71-144 in Y. Pomeranz. ed., Advances in Cereal Science and Technology, Volume IV . American Association of Cereal Chemists (AACC), St. Paul, Minnesota. APPENDIX F 332

Lost Crops of Africa: Volume I: Grains
Copyright National Academy of Sciences. All rights reserved.
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 Millets: Their Composition and Nutritive Value. Academic Press, New York. 997 pp.
International Sorghum/Millet (INTSORMIL) Collaborative Research Support Program/ICRISAT. 1987. Proceedings of the International Pearl Millet Workshop. ICRISAT, Patancheru. 278 pp. INTSORMIL. 1990. Annual Report 1990. INTSORMIL, University of Nebraska, Lincoln. 246 pp. INTSORMIL. 1991. Annual Report 1991. INTSORMIL, University of Nebraska, Lincoln. 256 pp. Kumar, K.A. 1989. Pearl millet: current status and future potential. *Outlook on Agriculture* **18**(2): 46-53.
Lambert, C. 1982. IRAT [Institut de Recherches Agronomiques Tropicales et des cultures vivrières] et l'amelioration de mil. *Agronomie Tropical*. **38**: 78-88.
Mahalakshmi, V., F.R. Bidinger, K.P. Rao, and D.S. Raju. 1992. Performanceand stability of pearl millet topcross hybrids and their variety pollinators . *Crop Science* **32**(4): 928-932.
Marathee, J.P. Structure & characteristics of world millet economy. 1993. Pp. 159-178 in K.W. Riley, S.C. Gupta, A. Seetharam, and J.N. Mushonga, eds., Advances in Small Millets. Proceedings of an IDRC ICRISAT conference. Oxford International Book House, New Delhi.
Matlon, P.J. 1990. Improving productivity in sorghum and pearl millet in semi-arid Africa. *Food Research Institute Studies* **22**(1): 1-43.
Mohammed, M.S. and M.D. Clegg. 1993. Pearl millet-soybean rotation and nitrogen fertilizer effects on millet productivity. *Agronomy Journal* **85**(5): 1009-1013.
Niangodo, O. and B. Ouendeba. 1987. Varietal improvement of pearl millet in West Africa. Pp. 95-105 in J.R. Witcombe and S.R. Beckerman, eds., Proceedings of the International Pearl Millet Workshop. 7-11 April, 1986. ICRISAT, Patancheru.
Obizoba, I.C. and J.V. Atii. 1994. Evaluation of the effect of processing techniques on the nutrient and antinutrient contents of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) seeds. *Plant Foods for Human Nutrition* **45**(1): 23-34.
Oendeba, B., G. Ejeta, W.E. Nyquist, W.W. Hanna, and A. Kumar. 1993. Heterosis and combining ability among African pearl millet landraces. *Crop Science* **33**(4): 735-739.
Pantulu, J.V. and M. Krishna Rao. 1982. Cytogenetics of pearl millet. *Theoretical and Applied Genetics* **61**: 1-17.
Rachie, K.O. and J.V. Majmudar. 1980. Pearl Millet. Pennsylvania State University Press. University Park, Pennsylvania. 307 pp.
Read, J.C. and E.C. Bashaw. 1974. Intergeneric hybrid between pearl millet and buffel grass. *Crop Science* **14**: 401-403.
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.
Singh, P., Y. Singh, B.O. Eggum, K.A. Kumar, and D.J. Andrews. 1987. Nutritional evaluation of high protein genotypes in pearl millet. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **38**: 41-48.
Smith, R.L., L.S. Jensen, C.S. Hoveland, and W.W. Hanna. 1989. Use of pearl millet, sorghum, and triticale grain in broiler diets. *Journal of Production Agriculture* **2**: 78-82.
Tostain, S. 1992. Enzyme diversity in pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.). 3. Wild millet. *Theoretical and Applied Genetics* **83**(6/7): 733-742.