トウジンビエ，Pearl Millet：市販タイプ

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，市販タイプ

本論文「トウジンビエ，Pearl Millet：市販タイプ」は “Lost Crop of Africa”volume I Grains NATIONAL ACADEMY PRESS 1996 の第 6 章 Pearl Millet を翻訳紹介するものである。

トウジンビエ，Pearl Millet：市販タイプ

荒涼とした農耕地で生活を維持するための最良の手段のひとつであるトウジンビエは，灌漑設備が整っているところや，気候が温暖なところなど，恵まれた条件下でもよく育つ。このことはあまり知られていないため，多くの人はトウジンビエを「良い土地で育つ作物」として敬遠し，収量は少なく，収穫指数が低いとして知られ，ハイテクのマネージメント下でよく知られた穀物とは合致しない一般的な低肥料適性のものと評価を下げている。

しかし，現代的なトウモロコシや小麦，米を栽培している地域の作物として，トウジンビエを否定するのは早計である。先に述べたようにこの植物には驚くべき特質があり，その環境回復力の一部は，ラテンアメリカ，北米，オーストラリア，ヨーロッパ，その他の地域が，近い将来切実に必要とするタイプのものであるからである。さらにトウジンビエは今や素朴な遺物ではない交配種をはじめ，さまざまな品種が世界中で利用できるようになりつつある。昔のようなもう古い印象はない。

実は，この古代作物の可能性を示す新しいビジョンが，アメリカの研究によって明らかになりつつある。実際，植え付けからわずか 90 日で粒が熟す早生品種があり，カロライナ州からコロラド州までの広大な地域にとって，巨大なコンバインで収穫することができその品種を使用することで，より高い生産性が期待でき重要な資源と考えられている。

このような認識から，トウジンビエの生産は新たな時代を迎えつつある。ほとんどこの作物について，世界最高水準の研究施設で，高度な手法で本格的に研究されている。雄性不稔種，矮性種，交配種，そして稔性のある種子を作る珍しい交配種も最近作られた。これまでのところ(少なくともアメリカでは)，飼料用穀物としてのトウジンビエの生産に重点が置かれている。米国農務省の実験では，トウジンビエを食べた肉牛，幼豚，家禽は，トウモロコシと同等（あるいはそれ以上）に成長した。しかし，アメリ

図 1　Pearl Millet, トウジンビエ：市販タイプ

[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

カのトウジンビエ推進派はますます新しい食用穀物の可能性を手にした。その前提には，十分な理由がある。現在，トウジンビエは二流の穀物というイメージがあるが，実はモロコシよりも高い潜在成長率を持っている。トウモロコシやモロコシのように，トウジンビエは超効率的な C4 光合成を行う。種類によっては成熟が早く，1 年に 2 世代，3 世代と条件さえ合えば，1 年に 2 世代，3 世代と生産できる品種もある。また他の利点もある。例えば，トウジンビエは「植物育種家の夢」である。そしてこれを素早く開発し，さまざまな品種を生み出すことができる。トウジンビエは交配が可能な種であり，さまざまな育種法をうまく使うことができる。そして，不思議なことにまた，遺伝的な幸運から，近親交配も容易である。

したがって，大規模な商業生産という点では，この作物は革命的な進歩を遂げる可能性がある。1930 年代のトウモロコシとほぼ同じ位置にあるのだ。交配種は知られているが，広く使われているわけではない。また，この作物の生理学と遺伝学に関する基本的な理解はまだ浅いものの，明らかになりつつある。今，この機会を捉えれば，1930 年代以降のトウモロコシのようにトウジンビエを近代的な技術の粋を集めて，生産性をはるかに高い水準に押し上げることができるかもしれない。今がチャンスなのだ。実際，トウジンビエは多くの新しい地域で食糧生産に同様の飛躍をもたらす可能性がある。ハイブリッド・トウモロコシの誕生による食糧増産は 2 番目に大きな功績と考えられている。ハイブリッド・トウモロコシの誕生による食糧増産は，1960 年代から 1970 年代にかけてのアジアの「緑の革命」（小麦と米が中心）に次ぐ勝利と言われている。

このように考える理由は難しいことではない。世界の乾燥地は，ますます深刻な食糧危機に直面している。すでに中東では，このことが明らかになりつつある。例えば，1989 年，シリアの国会議長は，アラブの開発と人口問題を議論する会合で，「アラブ世界では，もっと食料を生産しなければ，国民の 3 分の 1 が飢餓に直面するだろう」と発表した。「危険は急速に進行しており，もし私たちが誠実に向き合わなければ，決して危機を乗り越えることはできないだろう。」とアブデル・カーダー・カドゥーラ議長は述べた。彼はアラブの食糧消費は年間 7% 増加しているのに対し，生産は 2% 強しか増加していないと指摘した。このような場所では，世界で最も干ばつや暑さに強いこの穀物が，明らかに重要な役割を担っている。

このように，この植物は，良い条件にも悪い条件にも適応できるため，世界の広大な地域で，気候が 10 年ごと，あるいは 1 年ごとに激しく変化する「温室効果ガス」の世界の広大な地域で，また，より多くの人々が高温で乾燥した土壌から食料を得なければならない地域で優れた食用作物となる可能性がある。

トウジンビエの生産性と有用性を向上させるチャンスはある。しかし，その改善には時間がかかるかもしれない。そのため，トウジンビエの生産性を向上させるためには作物を近代的かつ世界的に有用な食糧資源とするためには，大粒で密度が高く，食味の良い球形を持つ明るい色の粒の品種が必要とされている。また，トウジンビエを食用として広く普及させるためには，脱皮性の向上が不可欠である。最終的には，これらのすべてが実現しそうである。次のような有望な開発路線がある。

高粒種

過去 100 年間の世界的な穀物育種の進歩は，米，小麦，トウモロコシの収量を劇的に増加した。しかし，一般的な認識とは異なり，穀物はまだほぼ同じ量の生長を遂げている（つまり，全体の乾物量はほとんど変化していないのだ。）収量が増えたのは茎や葉の割合を減らし，種子の割合を増やすように植物を再構成したためである。通常は草丈を低くすることである。また，一株あたりの種子の数を増やすこともある。

このような植物の再配置が，ほとんどの地域で起こった穀物の収量を飛躍的に向上させることに成功した。このような植物は，優れた管理によく反応する；肥料やその他の投入物を有益に利用することができるのである；また，収量と収入の上昇スパイラルが生まれ，食料生産だけでなく，収穫量と収入の増加スパイラルも生み出す。例えば，農家が土地の一部を休ませることで，土地の物理的な状態や肥沃度を回復させることができる。

しかし，現在のところ，アフリカのトウジンビエは，このようなタイプではない。何世紀もの間，雑

アメリカでのトウジンビエの栽培

アメリカでは古くからトウジンビエが栽培されているが，その名を聞いたことのあるアメリカ人はほとんどいない。しかし，この状況はまもなく変わるかもしれない。しかし，この作物はアメリカにとって貴重な穀物であると，多くの先駆的な研究者たちが考えている。高収量の品種が選抜・育成され，交配種まで生まれている。しかし，食料の供給過剰から，現在は主に家畜の飼料として開発されている。最近の成果では，アメリカの畜産業で非常に有望視されている。

その研究の一部は，ネブラスカ州とカンザス州で行われている。旱魃や酸性土壌に強く，病害虫に強い。また，窒素肥料をあまり必要としないため，農家にとってはありがたい存在である。この植物は，乾燥や酸性土壌に強く，害虫にも強い。実験では，この植物が大平原地帯の複数の作付体系に適合する可能性があることが示された。

トウジンビエは良質なタンパク質の穀物として，多くの家畜の餌として利用できるかもしれない。トウモロコシと比較すると，トウジンビエは粗タンパク質とエーテル抽出物濃度が高く，必須アミノ酸の濃度が高い。すでに，家禽類と牛の両方の飼料として有望視されている。

家禽類

ジョージア州の様々な場所で行われた試験で，トウジンビエの粒がトウモロコシの代わりにニワトリの飼料に使用できることが示された。飼料変換効率や体重増加率を低下させることはない。実際，トウジンビエを食べたニワトリは，トウモロコシ，モロコシ，ライ小麦，小麦を食べたニワトリよりも成長が早く，健康であることがわかった。というのも，トウモロコシは南東部の主要な養鶏用飼料であるが，同地では生育が悪く，中西部の州からトウモロコシを購入しなければならないからだ。ある研究者は輸送コストが上がれば，購入トウモロコシに代わって地元産のトウジンビエが養鶏用飼料として使われるようになるかもしれない。このほかにも，トウモロコシを栽培することが困難な他のいくつかの地域でも，同様に切り替わる可能性があるようだ。

牛肉

中西部と南東部の両方で行われた代謝と肥育の試験で，トウジンビエは牛の飼料としても優れていることがわかった。油分がトウモロコシやモロコシの 2 倍以上あり，エネルギー密度が比較的高い。また，トウジンビエはタンパク質源としても有用であることが証明されている。Christensen ら，1984 年。トウモロコシに比べ，トウモロコシに比べ，粗タンパク質（乾物中約 14%）と必須アミノ酸の濃度が高い。

草の上に頭を伸ばそうとした結果，背が高すぎて，穀物の生産に適さないのだ。余分な茎を作ることで，エネルギーと水分を消費しているのである。もちろん，ここでは，穀物の生産を主目的とする農家の利益に焦点を当てている。多くの自給自足農家にとって，茎もまた重要な資源である。また，肥料を与えると株が重くなり，雨や風で簡単に土の中に倒れてしまうため，肥料の恩恵を十分に受けることができない。逆説的だが肥料が多ければ多いほど，収穫量は減る。

1950 年代以前，メキシコの小麦はこのような状況であったが，日本の矮性品種の遺伝子を導入することで，短くて丈夫な茎を持つ植物が生まれた。植物の構造を強化することで，肥料の効能を最大限に発揮させることができる。緑の革命を起こした小麦の主要な要素である。

今，トウジンビエも同じような変化を遂げつつある。茎が強く矮性（わいせい）品種が初めて実用化されつつある。このような品種は，すでにアメリカなどで開発されている。1 ヘクタールあたり 4,480kg の収量が研究施設で達成されている。1991 年には，農場の実証圃場で 1 ヘクタールあたり 3,024kg の収量を記録している。

従来，トウジンビエは赤道から約 30° の範囲内で栽培されてきた。しかし，近年ではアメリカ国内でも，ジョージア州，カンザス州，ミズーリ州など，赤道から遠く離れたアメリカ各地で，ある種のトウジンビエが毎年栽培されている。また，旱魃や砂漠の代名詞のような植物だが，温暖で湿度の高い場所でもよく育つ。ジョージア州南部やアラバマ州の砂浜海岸平野など，温暖で湿度の高い場所でもよく育つ。

このようなアメリカの温帯地域では，トウジンビエは夏の一年草として貴重な存在となる可能性を秘めている。トウモロコシはこの地域にはあまり適応していない。この地域では，トウモロコシの根が浅

図 2　1992 年，テキサス州プレーンビュー。収穫されるハイブリッドトウジンビエ。南東部（主にジョージア州）と中西部（カンザス州，ネブラスカ州）の両方でハイブリッドトウジンビエが作られている。高さ 1m 程度，通常の半分の高さで，コンバインで収穫できる。生産量も大幅に向上しヘクタールあたり 3,000kg の収量も珍しくない。市販のこのような商業品種が農家用にリリースされている。（M. マーリー）

く（酸性土壌のため），夏の干ばつが多いため，トウモロコシの収量は低くなる。ハイブリッド・トウジンビエは，このような酸性土壌でも根を深く張ることができるため，より安定した収穫が期待できる。その結果，より安定した収量が得られるようになった。また，トウジンビエはモロコシに深刻な影響を与える 2 つの害虫，ユスリカや鱗し類 : メイガ科にも耐性がある。さらに，アフラトキシンの問題もない。

さらに，トウジンビエは南東部の農家に思いもよらない柔軟性を与えている。トウモロコシは 4 月の 2 週間以内に植え付けなければならないが，トウジンビエは 4 月から 7 月の間ならいつでも植えることができるのである。つまり夏の危険を回避し，冬の寒さで生育が停止する前に収穫することができるのである。

早生品種

アメリカのトウジンビエ研究の原動力は，トウジンビエが二毛作を可能にするかもしれないというチャンスである。これは今, 現実に近づきつつある。早生品種が間もなく発表される。カロライナ州からコロラド州にかけてのベルト地帯で有望視されている品種である。植え付け冬小麦が収穫された直後の春に植え付けると，秋に次の冬小麦を植える前に熟成させることができるのである。この輪作の鍵は，暑さにも乾燥にも強いというトウジンビエ特有の性質がある。トウジンビエは暑い夏でも，わずかな水分で生き延び，収穫することができる。小麦の収穫が終わり, 土壌に残された水分（しばしばわずかな）でも収穫できるのである。他の穀物にはできないことだ。このような早熟なトウジンビエの世界的な価値は，相当な実質的なものになる可能性がある。

トロピカルタイプ

トウジンビエは代表的な乾燥地穀物だが，アフリカの湿潤熱帯地域の一部でも見られる。多くのトウジンビエはガーナの比較的雨の多い地域などで栽培されている。その種類は西アフリカの乾燥地帯とは全く異なる。一般的に，種頭（スパイク）は短く太く，粒は大きく丸く白い。また，成熟する時期もかなり早い。これらの違いがあまりに顕著なため，以前は別種に分類されていたほどである。しかし，現在ではガーナ，トーゴ，ベナン原産の *Pennisetum glaucum* の *raceglobosum* に属するとされている。

このようなタイプは，これまでほとんど研究されてこなかった。しかし，このようなタイプは，それ自体が有望であり，早熟性と大粒径の遺伝子の良い供給源となるようである。熱帯地方におけるトウジンビエの可能性は, ガーナで見ることができる。ガーナでは，早期型トウジンビエが農村部の人々にとって非常に重要である。ガーナでは通常，雨季の最盛期に成熟する品種を栽培している。この品種は通常，雨季の最盛期，つまり農家が前年の収穫で蓄えた食糧を使い果たす頃に成熟する。当初は，トウジンビエと呼ばれる穀物が生地の状態で集められ，柔らかく，甘みのあるものである。通常，収穫されたばかりの頭を蒸して，脱穀し，乾燥させる。この工程は，通常とはまったく逆で，脱穀するとドロドロになってしまう未熟な粒を回収することができるの

だろう。これは魅力的な伝統であり，研究し模倣する価値が十分にある。

シュガリーのタイプ

インドでは，ガーナと同様，トウジンビエを炒ってスイートコーンのように食べることがある。ここでも，穀物はミルク状または生地状の段階で収穫される。これは，これまでほとんど研究されてこなかったトウジンビエの一面である。しかし，それは100年ほど前のトウモロコシの状況を彷彿とさせる。当時，トウモロコシを甘く柔らかい状態で食べる習慣は，一部のインディアンの子供たちと，おそらく冒険好きな農民たちだけが知っていた。スウィートコーンは北米に最初に到達した入植者には見られず，その後，1799年にニューヨーク中央部の渓谷で発見されたが，当初は評価されなかった。海岸沿いにも植えられたが，特に興味を引かれることはなかった。スイートコーンが広く栽培されるようになったのは，南北戦争後（つまり1860年代）である。今日では，「スイートコーン」は北米の主要な食品であり，その粒の選別に膨大な研究努力が払われ，その株では粒は僅かに甘くなる程度，糖をデンプンに変えている。スイートコーンの缶詰は，アメリカで最も人気のある保存食であり，その売れ行きは他の保存食を圧倒している。第一次世界大戦後，スイートコーンはアメリカで最も人気のある保存食となり，他の保存食を圧倒している。

トウジンビエも，穀物というより野菜に近い感覚で食べられるスイーツとして，大きな可能性を持っているはずだ。

ポッピングの種類

インドではトウジンビエは一般的にポッピングされる。乾燥した穀物を熱い砂の上に振りかけるとポップコーンのようにはじける。粉砂糖や黒砂糖（ジャガリー）をかけて食べることもある。

どのような種類が最もよく弾けるかについては，これまでほとんど研究されてこなかった。しかし，ポッピングはこの作物をよりよくするための有望な方法であり，さらに調査する必要がある。丸い粒と不浸透性の種皮を持つ品種を選択する。種皮が不浸透性で，内部にたまった蒸気がポッピングに必要な爆発レベルに達するような品種を選ぶ。

淡色系

これまで栽培されてきたトウジンビエのほとんどは褐色または茶色であったが，大規模な商業生産に適した白粒タイプが開発中である。見た目も美しく，味も甘い。また，タンパク質を多く含むものもある。また，黄色い粒のトウジンビエも知られている。ビタミンAの前駆体であるカロチンを豊富に含む黄色い粒のトウジンビエが知られている。これまでのところあまり改良されていない。

加工しやすいタイプ

前述したように，トウジンビエは穀物のなかでも調理が難しい。というのも，全粒粉（カリオプス）には胚芽の割合が多いからだ。しかし，それ以上に重要なのは，胚芽が穀粒の中に入り込んでいて，取り除くのが難しいことである。このため，従来の手作業による脱皮では，粉の歩留まりが悪くなることが多いのである。このような理由から，従来の手作業による脱皮では，粉の収量が少ない（もちろん，保存中に腐敗する傾向がある）。

そのため，脱皮特性を向上させた品種が求められている。確かに，大粒で球状，均一で硬い穀粒を持ち，高い製粉歩留まりを実現する品種はすでに存在するが，体系的に記録されておらず，大規模な商業生産に至っていない。

トウジンビエが食品に加工されるようになると，以下のものが必要となる。望ましい製粉特性を持ち，より均一な穀物を大量に供給することである。味，色，保存性などにおいて，より均一な穀物を大量に供給する必要がある。

料理用品種

世界の穀物の品種改良のほとんどは，パン，ケーキ，クッキー，クラッカー，カネロニ（パスタの1種），あるいは様々な朝食用などを考えている。しかし，アフリカでトウジンビエが大きく売れるためには，まったく異なる食品に適している必要がある。アフリカでは（インドと同様），トウジンビエの食品は，発酵していないパン，発酵したパン，厚い粥，薄い粥，蒸し調理したもの，飲料，スナックなどである。現在，どのトウジンビエがこれらの食品に最適な特性を持っているかという情報はほとんどない。これはハンディキャップである。もちろん，優れた品種

が存在することは間違いないがこれを利用者自身の家で収集し，調査する必要がある。しかし，これまで述べたように，ある種の食材の有機的な特性を数値化することはもちろん，生み出すことも難しい。

品質 - 栄養タイプ

一般的な意見と教科書によく書かれていることに反して，トウジンビエは一般的な穀物の中で最も栄養価の高いものの一つである。これまで述べてきたようにまた，食物エネルギー（784 キロカロリー / kg）は全粒穀物の中で最も高い。また，タンパク質も豊富で必須アミノ酸であるリジンの含有量も他の穀物より優れている。

しかしながら，あるトウジンビエ粒はスレオニン，含硫アミノ酸が少ないため（栄養的に言うと）苦戦する場合がある。また，リジンの量もまだ改善できるはずである。もちろん，他の主要な穀物にも同じ欠点があるが，ここ数十年の間に，トウモロコシ，モロコシ，大麦などにも高リジン型が見つかっているのでアミノ酸分析装置で世界中のトウジンビエを丹念に調べれば，同じようなことがわかるかもしれない。

ハイブリッド

すでに述べたように，1930 年代にトウモロコシの交配種が開発され，収量が 4 倍になった。同じような画期的な方法で，トウジンビエの交配種が実用化された。トウジンビエのハイブリッドが実用化されたのは 1960 年代後半である。これはアメリカの Glenn Burton が開発したものである。インドでは 1966 年以来，高収量のハイブリッドが使用されている。遺伝的にヘテロな雑種はホモな両親に比べてしばしば生活力が優れる現象があるこれを雑種強勢と言うがトウジンビエで実質的であった。当然ながら，ハイブリッドに使用される品種は遺伝的に多様でなければならない。一般的な交配した品種が近縁であったためか，樹勢が伸びないという共通点がある。インドの科学者は，現地品種のほぼ 2 倍の収量を実現するハイブリッドを開発することに成功した。インドでは，ハイブリッド雑穀はほとんど灌漑農業にのみ使用されている。収量はしかし，アフリカのトウジンビエ生産の大部分とは関係がない。インドでも乾燥地の農家ではまだ非ハイブリッド型が使われている。

現在，カンザス州とジョージア州でハイブリッドトウジンビエが植えられている。ハイブリッドトウジンビエの高さは通常の半分の 1 メートルほどで，1 ヘクタールあたり 3,000 キロ以上の穀物を生産することができる。背が低く，均一に成長するためコンバインによる収穫が可能である。現在，商業品種を農家に提供している。ジョージア州では，ハイブリッド種子は鶏を飼育している会社によって生産・販売されている。同社は農家に種子を提供し，その作物を購入する契約を結んでいる。この会社のインセンティブは，トウモロコシよりもトウジンビエの方が鶏の餌として優れており，地元で栽培できることである。（前述したようにこの地方では，夏の干ばつと酸性土壌のため，トウモロコシは競争力がない）。

アポミクティックタイプ

よく知られているように，ハイブリッドには，農家が 1 年かそこらで新しい種子を購入しなければならないという制約がある。多くの国では，このことは農業の日常的な一部となっており，制約を受けることはほとんどないが，農家は種子を購入し，供給者は十分な量の種子を生産し，植え付けシーズンに間に合うように届けなければならない。アフリカの農村部では，それが問題になることがある。

トウジンビエでは，世代を超えて生産能力を維持するハイブリッドの形態が開発されている。これらの形は，アポミクティックタイプとして知られ，完成の域に達しようとしている。

トップ–クロスハイブリッド

作物の品種は，状況の変化や新しい病気が発生したときに，悲惨な結末を迎えることがある。交配種の場合，その災難は深刻である。新しい品種を作るには，長い時間と不確実性が伴うため，特に深刻である。新しい遺伝物質で新たに始めなければならないからだ。この作業には 10 年以上かかるかもしれない。しかし，インドにある国際半乾燥熱帯作物研究所（ICRISAT）の育種家は，新しい病気が発生したり，状況が変化したりしても，無期限に存続するトウジンビエの交配種作成の戦略をすすめた。通常，交配種は，既知で均一な品質の近交系親 2 種を用い

て開発される。ICRISAT の戦略は，一方の親を幅広い遺伝的背景を持つ開放受粉品種に置き換えることである。

その結果生まれたのが「トップ–クロス」と呼ばれる交配種で，現在テスト中である。これまでのところ，古い交配種と同程度の収量があり，また，病気に対する抵抗力も強い（おそらく，より幅広い遺伝子を持っているためと思われる）。それはそれでいいのだが，将来のトラブルを未然に防ぐという点でトップ–クロスハイブリッドの真価が発揮される。万が一，片方の品種が病気になったとしても，育種家は公開受粉した親から一世代か二世代で（たとえば 2 年以内）抵抗性を導入することができる。従ってそのため，雑種を強く，安全に保つことができ，遺伝子の予防保全のようなものである。

ICRISAT の育種家たちは，この戦略をさらに進めて，唯一残った近交系の親でさえ，幅広い遺伝的背景を持つ雑種に置き換えている。これは，出来上がった雑種が，より多くの遺伝的多様性を持つことを意味する。この方法は，種子の生産コストを削減するのにも役立つ。

幅広い交配

トウジンビエ（即ち，*Pennisetum glaucum*）は，いくつかの野生種と交配しそのうちのいくつかは，非常に遠縁の種である。縁種との交配は稔性のある雑種を生み出すので，両者のゲノムを大幅に変更することができる。すでに，以下のような交配が行われている。ネイピアグラス（*Pennisetum purpureum*）を含むいくつかの交配がすでに行われている。トウジンビエとネピアグラスのハイブリッドがインド，米国，その他の国々で多年生飼料用としてリリースされている。野生亜種と雑草亜種（*Pennisetum glaucum* subspecies *monodii* と *Pennisetum glaucum* subspecies *stenostachyum*）の 2 種もパールミレットとの交配は容易である。これらの品種が付与する有用な特性は，病害虫抵抗性，A1 細胞質の稔性回復遺伝子，細胞質多様性，悪条件下での高収量，アポミクシス，早熟性，花序・植物形態の多様性などである。

他の有用と思われる野生種としては，*Pennisetum squamulatum*, *Pennisetum orientale*, *Pennisetum faccidum*, *Pennisetum setaceum* がある。また，トウジンビエはバッファローグラス（*Cenchrus ciliaris*）など，まっ

遺伝子界の宝石

トウジンビエは現在，遺伝子研究用としては使われていないが，伝統的な遺伝学と分子遺伝学の両方の詳細を明らかにするのに最適な植物の 1 つになる可能性がある。このような基礎科学から生まれる副産物は，食糧需要を満たすための作物の価値を高める新しい形の生まれる可能性がある。

植物界のショウジョウバエ

遺伝的相互作用を研究するためのツールとして，トウジンビエは研究者が動物遺伝学の詳細を解明してきたショウジョウバエに匹敵することが期待される。1930 年代以来，研究者たちが動物遺伝学の詳細を解明してきた植物ハエ，ショウジョウバエに匹敵する可能性を秘めている。次のことを考えてみる。

- トウジンビエは丈夫で，場所をとらないので，5cm の鉢で育つことができる。
- 成熟が早いので，1 年に 4 世代も可能である。（いくつかの植え付けから 35 日で開花する品種もあれば，日長と高温を利用して開花させるものもある）。
- 子孫を大量に残すことができる。1 つの花序から 1,000 個以上の種子ができ，1 つの株から 25 個以上の花序ができる（抑制しない場合）。
- 花は小さいが，遺伝子操作には理想的な形をしている。一般的な植物と異なり，花粉を飛ばす前に受精することができる。そのため，研究者は容易に交配させることも，自家受粉をさせることもできる。
- 染色体も大きく，数えやすい。
- 交配によって得られる植物は通常，顕著な雑種性をもって生育する。遺伝子の相互作用が明確である。

遺伝子の多様性：トウジンビエの遺伝子プールは，約 140 種または亜種に及ぶ。

- 多くの遺伝的状態を得ることができる。異なる *Pennisetum* 属の種は，染色体数が x=5,7,8,9 の倍数である。それぞれ，2 倍体から 8 倍体，それ以上の倍数体まで，さまざまな倍数体が存在する。また，一年草と多年草の両方が存在する。そして有性種と無性種がある。

ファーザーレス・グレイン

ほとんどの植物がそうであるように，トウジンビエも両親の特徴を持った種子を作る。しかし，その近縁種の中には，母親の遺伝子だけを持つ種子を作るものがある。その場合，新しい世代は前の世代と同じになる。このような状態をアポミクシス（無融合生殖）という。野生のイネ科植物では珍しくない。作物への導入は，複雑すぎる，費用がかかりすぎる，あるいは，あまりに突飛すぎると考えられてきた。しかし，その状況は変わりつつある。ペニセツム属の中で *Pennisetum* 属では，多くの種でアポミクティック型が発見されている。もし，その自己複製能力をトウジンビエに移植することができれば，大きなメリットが生まれます。

一つにはアポミクテック型のトウジンビエがあれば，農家の畑は遺伝子漂流から守られる。野生種や雑草種から飛んでくる花粉が，エリート種を劣化させることがない。もうひとつは，異なるアポミクティック品種の種子を異なるアポミクティック品種の種子を混ぜることができ，農家は自然の多様性の安心感と人工品種の生産性を同時に手に入れることができる。

第三に，アポミクティック・トウジンビエの交配種は，その遺伝的優位性を失うことなく，無制限に何世代にもわたって種子繁殖させることができる。もう，農家は毎年新しい種を買って雑種を楽しむ必要はないのだ。野生の *Pennisetum* のアポミクティックタイプは，それ自体，作物として有望なものではない。種子が少なく，雑草的な性質が強い。しかし，そのアポミクシス遺伝子をトウジンビエに導入することができる。実際，アフリカの野生の草である *Pennisetum squamulatum* から栽培用のトウジンビエにこの遺伝子を移植することは，すでに大きな進展を見せている。この研究は，ジョージア州ティフトンにある Coastal Plain Experimental Station の Wayne Hanna によって行われたものである。この開発により，トウジンビエはハイテク農業のリーダーになる可能性がある。

アポミクシスと関連する分子マーカーの発見が進んでいる。この関連性から，将来的にはアポミクシスと関連する遺伝子を単離することができるようになるであろう。このように，トウジンビエの遺伝子は，食糧生産に革命をもたらす可能性を秘めている。

図３　最近，ジンバブエの研究者たちは，トウジンビエと 49 の異なるナピアグラス（*Pennisetum purpureum*）の交配を行った。その結果この 2 つの近縁種の間で 200 以上の交配種を生み出した。これは飼料として広く使われているナピアグラスの収量とタンパク質含有量を高めるために行われた。新しい交配種は，乾物収量が 30 ～ 40%多くなっただけでなくタンパク質の含有量も 20 ～ 40%（9% 対 11 ～ 13%）高くなった。（ICRISAT）

たく異なる属の種と交配されている。少なくともある研究者は，通常のやり方を覆すようなアプローチで，トウジンビエを「改良型」ワイルド種として使っている。その結果，丈夫で弾力性のある *Pennisetum* ハイブリッドは，ほぼ野生の砂漠化した環境を安定させるのに役立つと考えられている。一方でそこに住む人々に食料を得る機会を与えることができるようだ。これは G.F. Chapman からの情報。

スイートストークタイプ

少なくとも，サトウキビとスイートモロコシの 2 つの植物は，茎に糖分を含む。しかし，1980 年代にインドの科学者たちがトウジンビエの植物からこのような形質を発見するまで，誰もトウジンビエにこのような形質を見つけられるとは思わなかった。インドの科学者が南部のタミル・ナードゥ州で胚芽を収集した際に，この形質を偶然発見したのだ。彼らは，コインバトールのタミルナドゥ大学の R. Appadurai と ICRISAT の S. Appa Rao，M.H. Mengesha と V. Subramanian である。最初のテストは，茎を噛むことだった。その後，彼らは Brix の測定値が 3 から 16 パーセントの範囲で変化することを

発見した。コインバトールとマドゥライ周辺では，成熟した時点で通常の 2 倍以上の水溶性糖分を含む品種が発見された。

これらのスイートストークタイプは細長い葉身，豊富な節間耕起（成熟は非同期），短く細い穂，非常に小さな粒を有していた。この品種は生地段階で噛むと簡単に見分けることができる。

このトウジンビエは飼料として利用され，通常 9 月に収穫され，その後ラトゥーン（刈り株苗）作物として穀物や藁に利用される。農家では家畜は甘い茎を好むので，農家は優れた飼料と見なしている。

将来のタイプ

以上のように，トウジンビエは遺伝的な強みが豊富であり，技術革新と進歩の機会を提供する。最終的には，バイオテクノロジーがこのような多様な作物に大きな影響を与える可能性がある。例えば，DNA の断片を品種から品種へ，あるいは野生の *Pennisetum* の近縁種（あるいは他の属のもの）から移植するために，日常的に使用することができる。おそらく，そのための技術（例えばベクターや電気泳動など）が開発されるのは時間の問題だろう。

このような移植は，作物のプロトプラスト（壁のない細胞）を植物体に再生させることができれば，最も効果的である。トウジンビエのプロトプラストはまだ再生できないが，懸濁培養物（トウジンビエ × ネピアグラスの交配種を含む）を全植物に再生することが可能である。すべての情報は W.W. Hanna から得たものである。

この作物の膨大な多様性を体系化する最良の方法は，染色体地図を作成することだろう。これによって，トウジンビエのあらゆる種類の改良が可能になると思われる。この作業は，多くの作物の場合よりも簡単なはずだ。トウジンビエは 2 倍体で，かなり大きな 7 本の染色体と，すでに知られていて明確にマッピングされている多数の遺伝子がある。

References

PEARL MILLET, COMMERCIAL TYPES

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. D.A.V. Dendy, ed., In press. Sorghum and Millets: Chemistry and Technology. AACC, St. Paul, Minnesota.

Hoseney, R.C. and E. Varriano-Marston. 1980. Pearl millet: its chemistry and utilization. Pp. 462-494 in G.E. Inglett and L. Munck, eds. Cereals for Food and Beverages: Recent Progress in Cereal Chemistry and Technology. Proceedings of an international conference, August 13-17, 1979, Copenhagen, Denmark. Academic Press, New York.

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. AACC, St. Paul, Minnesota.