

II章 サツマイモの特性

botanical features of sweetpotato

【章の概説】

(中谷 誠)

本章では、サツマイモの植物学的な特性を解説する。植物学的な特性とは、形態的特性、生理的特性、生態的特性、遺伝的特性、生化学的特性などである。前章では、サツマイモという作物の成立とその伝播が解説されている。植物は、その進化の過程で、他の植物や動物、微生物等との競争に打ち勝ち、遺伝子を残すために、多様な戦略をとってきた。*Ipomoea batatas* という植物も、独自の戦略のもとに、その生きざまを進化させ、植物としての形を作り上げてきた。さらに栽培化以降は人類の影響のもとで、さらにその特徴を変化させ、現在のサツマイモという作物の形や生きざまを形成してきたものである。すなわち、*Ipomoea batatas* という植物の特性は、それを作物たらしめているものである。また、植物学的な特性は、栽培技術や品種改良、貯蔵、流通・利用技術の基礎として重要であり、現在の生産、利用技術はもとより、将来の技術開発にとっても、これらの情報は必要不可欠である。ここでは、主に農作物としてのサツマイモを理解する基礎情報として、サツマイモの特性を解説した。このため、DNAの複製機構など生物に共通の事項や光合成自体の機構など植物一般に共通の事項は詳述せず、サツマイモに特徴的な事項に絞った記述とした。一方で、理解を進めるため、他の作物との比較によってサツマイモの特徴を際立たせることも試みた。

本章では、まず、形態・生理・生態について解説し、次いで、品種改良の基礎となる遺伝・育種、サツマイモの利用に深い関わりを持つ成分について解説し、さらに、近年、健康面などから注目が集まっている機能性について解説した。

1 節 形態・生理・生態 morphology, physiology and ecology

【節の概説】

(中谷 誠)

本節では、サツマイモの植物学的特性のうち、その形（形態）や植物としての生きざま（生理・生態）について解説する。近代の自然科学は、動植物の形態を記述し、分類することから始まった。私たちは、まずものの形でそれが何であるかを判断する。例えば、私たちは、スーパーマーケットの店頭で、特に表示がなくても、その形でサツマイモを認識できるし、何となくおいしそうか、まずそうかも判断している。このように、形態は作物を理解する基盤として重要である。一方で、サツマイモに詳しい生産農家でも、とてもサツマイモとは識別できないようなサツマイモも海外には存在する。したがって、形態の多様性についても理解が図れる記述を心がけた。

サツマイモを栽培する場合、その生理・生態の理解は不可欠である。つまり、サツマイモという植物の繁殖様式やどんな環境を好むか、いつ頃、どのようにして“いも”ができて、それがよく肥大する条件は何か、といった情報は、よりよい生産のために重要であることは論を待たないであろう。ところで、形とは必ず何らかの機能を伴うものであり、形態と生理・生態とは密接に関連しているものである。本節では、できるだけ形態と生理・生態との関連が理解できるよう心がけることとした。なお、サツマイモは、主に“いも”の生産を目的に栽培される農作物であるため、従来の形態や生理・生態に関する研究も、“いも”に焦点を当てたものが多く、本節でもそれらを踏襲している。しかし、“いも”以外の根系の機能など、生産上重要であっても、研究蓄積が不足している分野もあり、今後の研究に期待する部分も残されていることを指摘しておきたい。

(1) 形態 morphology

1) 地下部 root (underground organs)

(中谷 誠)

ア いも tuber, storage root, tuberous root

いうまでもなく、サツマイモは“いも”を得ることを主な目的として栽培される作物である。私たち日本人にとって、いもという言葉からは、サツマイモをはじめ、ジャガイモ、サトイモ、ヤマノイモ等がイメージされるが、いも類の定義はそれほど明確ではない。いもを目的とする作物に関連する言葉としては、“地下作物”、“根菜”などがあり、英語では、“root crop”や“tuber crop”という用語がある。これらの包含関係を図II-1に示す。まず、地下作物とは地下に主な収穫対象物ができるものであり、いも類は地下作物の一群であることは明確である。しかし、ダイコンやニンジン、タマネギ、ラッカセイ等も地下作物であるが、これらは、“いも”とは見なされない。このうち、ラッカセイは、種子を収穫対象とする作物で、根菜類とも見なされない。根菜類とは、地下の栄養器官を収穫対象とする作物で、広くはいも類も根菜類に包含されると考えられる。日本に最も古くから存在するいも類は、サトイモと考えられていることから、“いも”とは、広義の根菜類のうち、サトイモのように、でん粉質の地下栄養器官を指すものと考えられる。

植物形態学的観点から、根菜類の収穫器官の起源は、表II-1に示すように、莖、根、葉の変態器

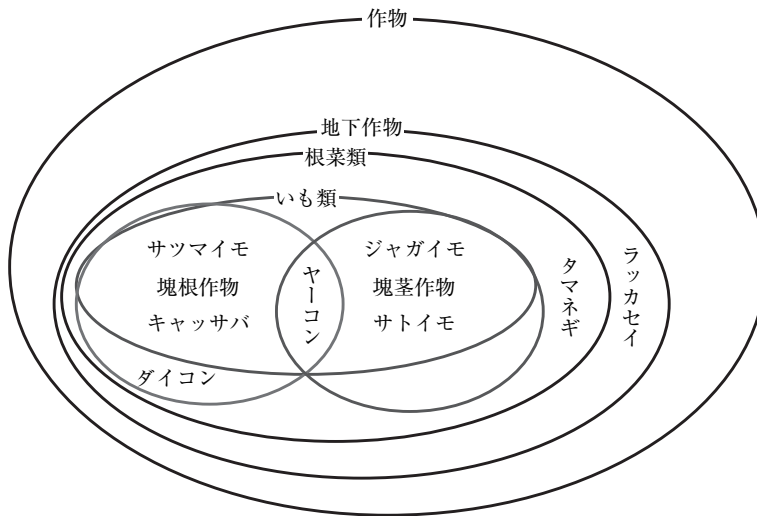


図 II-1 芋類の作物としての位置付け

表 II-1 地下作物の収穫目的器官による分類

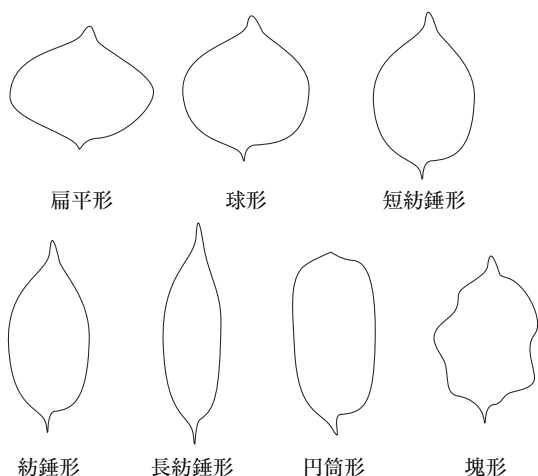
収穫目的器官の起源	作物例
根	サツマイモ, キャッサバ, ダイコン, ニンジン, テンサイ, ヤーコン*
茎	ジャガイモ, サトイモ, ナガイモ, ヤマノイモ, コンニャクイモ, レンコン
葉	タマネギ, ニンニク, ユリ根
種子	ラッカセイ

*ヤーコンは、塊根と塊茎の両方を形成するが、食用として利用するのは主に塊根

官の3種類に分類される。サツマイモの“いも”は、根が肥大した器官であり、塊根と呼ばれる。塊根を収穫目的とするいも類は、サツマイモのほか、キャッサバ（タビオカ、マニオクとも呼ばれる）、ヤーコンなどがあるが、いも類全体として見ると少数派である。ジャガイモ（塊茎）、サトイモを含むタロイモ（塊茎）、ヤマノイモ等を含むヤムイモ類（根茎）、コンニャクイモ（球茎）などは、いずれも茎の変態器官であり、英語では tuber と呼ばれる。サツマイモなどの塊根もしばしば tuber と呼ばれるが、正確には、tuberous root ないしは storage root と英語表記される。なお、最近、国際的な学会等では tuberous root という表記も塊茎と紛らわしいので、塊根は storage root と表記することが推奨されている。

イ いも（塊根）の形状 shape of storage root

サツマイモの“いも”すなわち塊根は、根の基部でも先端でもなく、根の中間部分が肥大したものである。茎から塊根に至るまでの部分、一般に言ういものなり首部分を諸梗（stork of storage



図Ⅱ-2 縦断面形状によるサツマイモ塊根形状の分類

root)と呼ぶ。塊根の諸梗側を基部と呼び、根の先端に近い側を尾部と呼ぶ。塊根の形状は、根の中間が太ることから紡錘形を基本とするが、土壌の硬度や水分、地温など環境条件の影響を受けて変わりやすい。一般には、ポリマルチ被覆による高地温は、塊根形状を長くし、下層土の圧密は丸くする方向に作用する。

一方で、品種による塊根形状の差異も明確であり、遺伝的な支配も受ける形質である。品種の特性としての塊根形状は、種苗特性分類審査基準¹⁾によって、図Ⅱ-2のように、扁平形、球形、短紡錘形、紡錘形、長紡錘形、円筒形、塊形の7つに分類される。

大半の品種は、球形から長紡錘形に分類され、扁平形や円筒形、塊形に分類される品種は少ない。さらに、塊根の最も太い位置が基部にあるものを“肩張り”、尾部が最も太いものを“下膨れ”と記述する。塊根の曲がりを記述する指標はない。これらはいずれも塊根の縦断面の形状に関する分類・記述である。横断面に関しては、サツマイモ塊根の基本形は円形である。しかし、塊根肥大が均一に進まず、縦方向に溝のようなものができる場合があり、これを条溝と呼ぶ。条溝のできやすさも品種の特性であり、種苗特性分類審査基準では、5段階で評価する。

上記の分類はいずれも定性的なものであり、穀類の子実と比べると不整形な塊根形状を定量的に的確に記述する指標はいまだに開発されていない。現状では、塊根の長さとの直径の比（長径比）と塊根1個重でだまかに形状の特徴を把握しているが、品種や栽培技術開発に適用できる簡易かつ的確な指標の開発が求められる。

引用文献

- 1) 農林水産技術情報協会. 1981. かんしょ種苗特性分類調査報告書. 49.

ウ いも（塊根）の色 color of storage root

塊根の色は、皮色（skin color）と内部の肉色（flesh color）からなり、両者は同じこともあれば、違う場合もある。でん粉やセルロースなど塊根に含まれる成分の大半は無色である。塊根成分のうち、色を呈する成分の主なもの、アントシアニン（赤や紫）やフラボノイド（黄）などのポリフェノール類やカロテノイド（橙や黄）である。

通常塊根皮色と呼ばれているものは、周皮（periderm）の色であり、周皮細胞に形成される色素の種類や量によって、さまざまな色彩を呈する。皮色は、環境条件の影響も受けるが、基本的には、品種によって決まる遺伝的な特性である。種苗特性分類審査基準¹⁾では、皮色の基本色を、白、黄、褐、橙、紅、赤、紫、その他の8色に分類する。基本色に加えて補助色を、無、白、黄、褐、橙、紅、赤、紫、その他の9色に分類し、さらに、濃淡を五段階評価し、皮色を評価・記述するこ

ととしている。例えば、「タムユタカ」は、塊根全体に均一に色が着かず、両端部分のみ紅色を帯びるが、その場合には、「両端帯紅」と記述される。なお、まれに、皮色に緑色が入った塊根を見かけるが、これは塊根が日光に暴露されたために緑化したもので、周皮本来の色ではない。このほか見た目の皮色の印象は、周皮表面の粗滑の影響も受ける。周皮は塊根肥大に伴って、剥げ落ちながら新生されるため、拡大するとかなり凹凸があり、凹凸が大きいと光が散乱してぼやけた色に見える。

塊根肉色も、環境の影響は受けるが、品種で決まる部分の大きい特性である。肉色の基本色は、白、黄、橙、紫の4色で、これらの比率と濃淡で肉色が決まる。上述のように、黄と橙はカロテノイド系色素、紫はアントシアニン系色素によっている。このうち、紫が肉色に入ることを特に“うん（暈）”と呼ぶ。以前は、うんは、青果用ではおいしそうに見えない、でん粉原料用としては、製品としてのでん粉の白度が下がる等の理由で、好ましくない特性とされたが、最近では、アントシアニンの機能性などに着目した食品加工用、食用などで、紫サツマイモの開発が進んでいる。紫に限らず、塊根内部において、各種の色素は必ずしも均一には蓄積されない。塊根の細胞内部においては、アントシアニン色素は液胞（vacuole）に、カロテノイド色素は色素体（plastid）と呼ばれる小器官に蓄積される。

引用文献

1) 農林水産技術情報協会, 1981. かんしょ種苗特性分類調査報告書, 49.

エ 不定根 adventitious roots

根は大きく分けると、種子から発生する種子根（主根；seminal root）、根から発生する側根（分枝根；lateral root）、そしてある条件下で茎や葉から発生する不定根に分類できる。サツマイモは、通常は、種子ではなく、苗を植付けて栄養繁殖されるため、その根系（root system）は、不定根と側根で構成される。種子根や側根も含め、サツマイモのすべての根は、潜在的には塊根に発達しうるが、“いも”として商品価値を有する塊根になるものの大半は、不定根である。

不定根は、苗を植付ける前、育苗期間中に、茎の節部の葉隙（leaf gap）と呼ばれる部分にすでに形成されていた不定根原基（adventitious root primodium）が伸長して発根したものと、植付後に、苗の切り口や茎の節間部分から新たに発生したものがある。このうち、塊根に発達しやすいのは、植付前に形成されていた根原基が伸長した不定根である。育苗中、茎の節部の根原基は、その節に着いた葉が完全に開く頃に形成され始める。そして、徐々に発達し、最上位の展開葉から下に数えて第5葉あたりの節部で根原基数は一定に達する。この第5節から第7節あたりまでの3つの節位にある根原基から伸長した不定根が最も塊根に発達しやすいとされている。サツマイモの栽培技術として、7節以上の苗を育苗し、少なくとも下部2～3節は土中に挿すことがしばしば推奨されるが、上記は、このことの根拠のひとつとなっている。

オ 塊根の発育 development of storage roots

一般に植物の根系（root system）の機能としては、養水分吸収、物理的支持、栄養貯蔵などがあり、サツマイモの根系もこれらいずれの機能も果たしているが、特に、栄養貯蔵の機能が発達した根系である。この栄養貯蔵機能の主体を担うのが塊根であり、“いも”として私たちが利用して

いる。このように塊根の発育は、作物としてのサツマイモにとって、最も重要な発育過程のひとつであり、不定根 (adventitious root) が塊根に発達していく形態学的な過程はよく解明されている。まず、サツマイモの塊根肥大の特徴を他の根が肥大する作物との比較で見ると (図 II-3), サツマイモの塊根は、根の中心部分にある木部 (xylem) と呼ばれる部分が主に肥大したものであり、キャッサバの塊根やダイコンの肥大根も木部肥大型と分類できる。一方、ニンジンの肥大根は、木部の外側にある篩部 (phloem) が主に肥大したものである。また、テンサイ (サトウダイコン) の肥大根は、次々に木部と篩部を分化させながら肥大したものであり、肥大根の横断面には、年輪状に木部と篩部が交互に見える。

サツマイモの根はいずれも潜在的には塊根に発達しようが、多くの場合、苗の植付時にすでに茎内に形成されていた不定根が塊根になる。若い不定根が塊根に発達する形態学的な過程を、図 II-4 に模式的に示した。若い不定根は、一般的な双子葉植物の若い根と同様の形態をしており、外側から表皮 (epidermis), 皮層 (cortex), 内皮 (endodermis), 内鞘 (pericycle) を最外層とする中心柱 (stele) からなる単純な構造をしている。中心柱内に、原生篩部 (protophloem) が分化するが、サツマイモの場合、通常は 5 ないし 6 つで、五原型 (pentarch) ないし六原型 (hexarch) と呼ばれる。

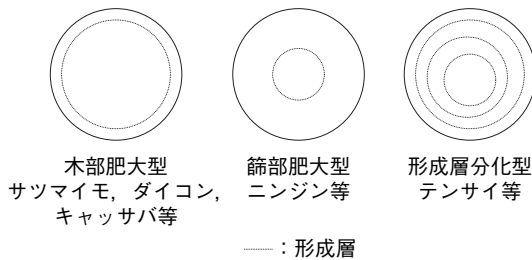


図 II-3 各種根菜類の根の肥大様式

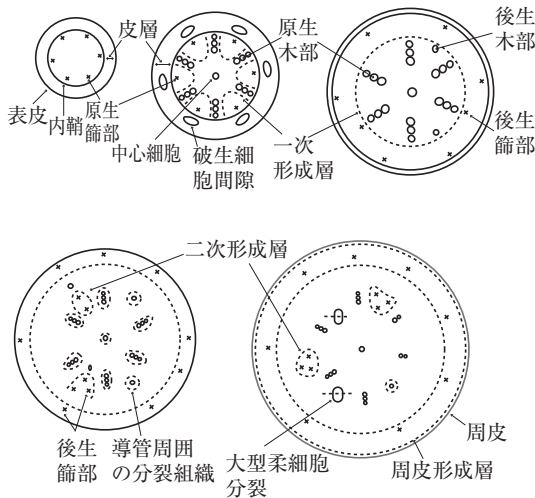


図 II-4 塊根の発達過程の模式図 (国分, 1973 を一部改変)

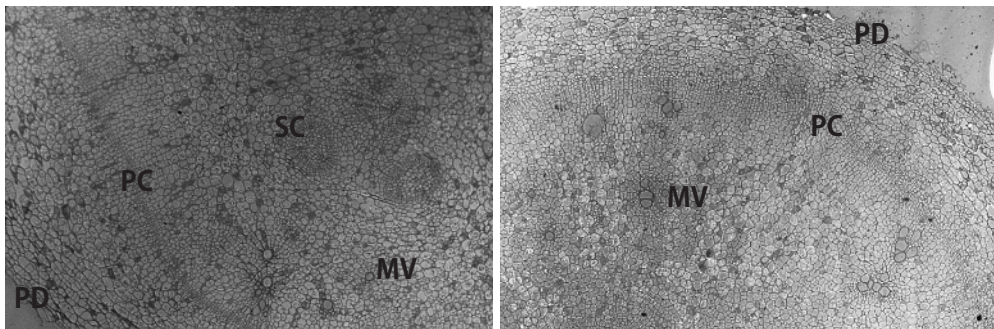
原生篩部と対になる形で、原生木部 (protoxylem) が分化し、その間に、一次形成層 (primary cambium) が分化する。一次形成層は、細胞分裂を繰り返しながら発達し、やがてたがいにつながり、円周状になる。中心柱の肥大によって、皮層は破生細胞間隙 (rhexigenous intercellular space) を生じ、表皮や皮層は剥げ落ちて行く。好適な条件では、円周状の一次形成層が完成するまで、植付から約 4 週間程度を要し、根の直径は 2mm を越える。また、この頃には、多くの柔細胞 (parenchyma cell) では、でん粉粒の蓄積が始まる。ここまでの過程では、サツマイモの品種による内部形態の差は明確ではない。

続いて、一次形成層の内側に、二次的な分裂組織が分化・発達する。そのひとつは、後生篩部 (secondary phloem) と後生木部 (secondary xylem) の分化を伴う二次

形成層 (secondary cambium) で、もうひとつは、導管 (vessel) の周囲に分裂組織が分化する。これらの活発な細胞分裂によって、根の肥大が進む。また、一次形成層内部の柔細胞も、肥大するとともに、これらの単純な分裂によっても、肥大が進む。このような塊根に特徴的な内部構造は、好適条件ではほぼ植付数週間後には完成する。この頃には、根の直径は5mmを越え、外層の表皮や皮層はほぼ完全に剥げ落ち、代って、周皮 (periderm) が形成され、根の最外層を被うようになる。

この時期以降の塊根の肥大様式には、品種による差が明確である。国分 (1973)¹⁾によれば、柔細胞の肥大や単純分裂が盛んで、これを主体として肥大が進む「沖縄100号」のような品種は、多収ではあるが、炭水化物の転流・蓄積が劣り、低でん粉で水っぽいいもとなる。一方、二次形成層の分化・分裂が盛んな「コガネセンガン」のような品種は、維管束 (vascular bundle) の分化を伴いながら細胞分裂が進むため、炭水化物の転流も良好で、多収かつ高でん粉となりやすい。柔細胞の単純分裂も二次形成層の活動も不活発な品種は、塊根肥大が劣り低収となるが、結果として、「沖縄100号」のようなタイプに比べるとでん粉含量は高くなる。国分は、乾物収量が高いのは、「コガネセンガン」のようなタイプであると結論している。ただし、「コガネセンガン」のような肥大様式をとる品種は、一次形成層内部に、不定形の二次形成層の分化・発達を伴うため、肥大が進めば、条溝ができたり、ごつごつした外観になりやすいと考えられる。一方、単純分裂も二次形成層の活動も不活発な低収タイプの品種、例えば「紅赤」では、塊根肥大は、主に円周状の一次形成層の活動に依存しているため、ある程度肥大が進んでも、塊根断面は円周状の形状を維持し、塊根形状の乱れは少ないと考えられる (図II-5)。

好適な条件では、以上のような過程で塊根が発達するが、無論、すべての根が塊根になるわけではない。若い根は、それが置かれた外部環境条件や植物体内の生理的条件によって、枯死するもの以外は、塊根、梗根 (pencil like root) ないしは細根 (fibrous root) になる。内部形態的に見て、若い根の運命を決めているのは、形成層の活性と中心柱の木化 (lignification) の程度である。戸荻 (1950)²⁾によれば、形成層の細胞分裂活性が盛んで、かつ中心柱の細胞の木化の程度が低ければ、上述のような過程をたどって、若い根は塊根へと発達する。形成層の活性が低く、中心柱の木化が



図II-5 植付6週間後の「コガネセンガン」(左), 「紅赤」(右)の塊根横断切片像
PC: 一次形成層, SC: 二次形成層, MV: 導管周囲の分裂組織, PD: 周皮

進んだ場合、根はほとんど肥大せず、細根となる。細根にはほとんどでん粉は蓄積せず、養水分吸収や植物体の支持など、一般的な植物の根系の機能を担う。また、ある程度形成層の細胞分裂活性は高いが、中心柱の木化程度も高い場合、根の直径はある程度増加するものの、塊根とはならず、一般にはゴボウ根とも呼ばれる梗根となる。梗根とは、その内部形態が藷梗 (stark of storage root, 一般に言ういものなり首) とよく似ていることによる名称で、導管や篩管 (sieve tube) などの通導組織は発達しているものの、木部の細胞の大半は木化しており、でん粉を蓄積する柔細胞は少数である。サツマイモの近縁野生種の多くは、塊根を形成しないが、それら野生種においても、梗根と類似の根を持つものは多い。

引用文献

- 1) 国分禎二. 1973. 鹿児島大学農学報, 23: 1-126.
- 2) 戸苺義次. 1950. 農事試報, 68: 1-96.

2) 地上部 top

ア 蔓 (茎) stem, vine

(中谷 誠)

一般的なサツマイモ地上部の特徴のひとつは、茎が水平方向に伸長し、地面を被うことである。この性質をほふく (葡萄) 性と呼ぶ。この性質は、生育初期に的確に除草すれば、それ以降は雑草の発生を抑えやすい作物であることにつながっている。一方で、この性質は、群落の光の利用効率が低いことにもつながっている。茎の長さが数 m を越える場合もそれほど珍しくはない。植付けた苗自体の茎を主茎と呼ぶ。主茎のみが伸長することはまれで、主茎の枝である一次分枝、一次分枝の枝である二次分枝も伸長する場合が一般的である。通常の栽培条件では、三次、四次分枝は発生しても、それらが長く伸びることはまれである。

わが国で一般に栽培されるサツマイモ品種の多くは、ほふく性であるが、世界的には、茎が完全に立ち上がるわけではないものの、分枝を含めて茎が短く、立型と分類される品種も存在する。国内の品種では、「ベニコマチ」は比較的茎が短く、その群落は、生育前半にはブッシュ状に見えるため、このような草型を叢生 (そうせい) 型と呼ぶ。

サツマイモの近縁野生種には、アサガオのような巻蔓性を持つものが多い。栽培種サツマイモの中にも、この性質を残しているものがある。巻蔓性は、蔓返し等の作業面で支障となるので、好ましくない特性とされたが、蔓返し作業自体があまり行われなくなったこともあり、最近の品種でも、弱い巻蔓性を持つものもある。

茎は、基本的には薄い緑であるが、褐色や紫色に着色する品種も多い。節と節間で着色程度が違う場合も多く、地上部による品種の分類・判別の指標になる。また、茎の先端付近に細かい毛 (毛茸) が生えていることもあり、この多寡も品種を見分ける指標になる。

イ 葉柄 petiole

(中谷 誠)

サツマイモの葉は、狭い意味での葉である葉身 (leaf blade) と葉柄からなる。葉柄は、茎の節と葉身をつなぐ器官で、2/5の互生葉序で茎に付いている。葉柄自体の形態は比較的単純で、品種による変異も少ない。葉柄の長さや太さには、品種による違いが認められるが、栽培条件の影響も大きい。葉柄の長さとそのばらつきは、茎の伸長特性や分枝特性とともに、群落の生産構造 (光

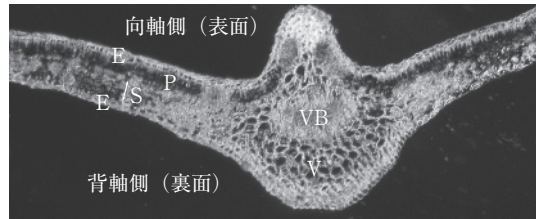
合成を行う構造)の基本となる特性で、葉柄の長さとう塊根の乾物収量との相関を認めた研究報告もある。

わが国では、サツマイモの葉柄はほとんど利用されないが、韓国ではスーパーマーケット等にも並ぶごく一般的な食材で、フキのようなおひたしや油炒め、いったん干して水に戻して利用される。

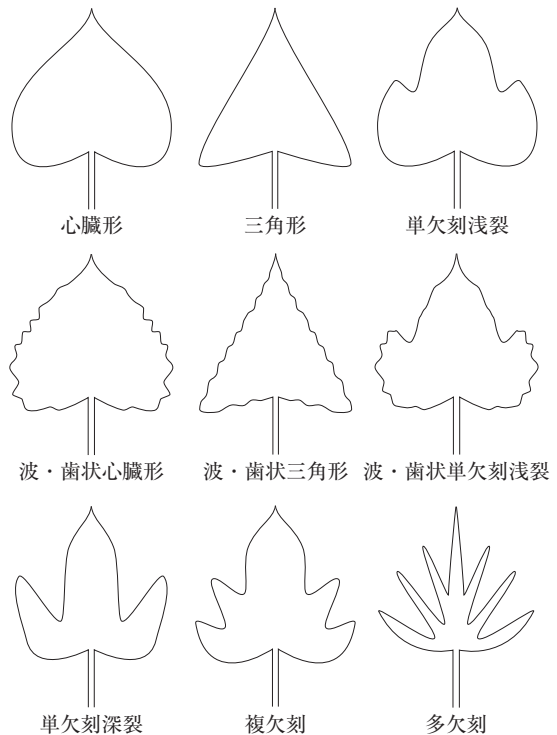
ウ 葉身 leaf blade

(中谷 誠)

葉身は、光合成によって炭水化物を作り出す器官である。サツマイモの葉身の基本的な形態は、双子葉植物として一般的なものである。葉脈は網状葉脈で、葉柄から葉身の中央を主脈が通り、側脈が分枝している。葉脈は物質輸送と葉の機械的支持の機能を果たしている。葉身の内部構造(図II-6)を、表面(形態学的には、向軸側;adaxialと言う)から見ると、最外層は、クチクラ(cuticula;ワックス)で保護された1層の表皮細胞(epidarmis cell)が被う。表皮細胞には、葉緑体(chloroplast)はない。表皮の内側には、葉緑体を含み光合成を行う葉肉細胞(mesophyll cell)がある。葉肉細胞は、表側に位置する柵状組織細胞(palisade cell)と裏側に位置する海綿状組織細胞(spongy cell)とからなる。葉肉の間を維管束(vascular bundle)が走っており、維管束中の導管(vessel),篩管(sieve tube)が水分,養分の輸送を行っている。サツマイモはC₃植物で、維管束鞘(bundle sheath)には葉緑体は存在しない。葉身の裏面(形態学的には、背軸側;abaxialと言う)も表皮で被われているが、裏面には、葉身内部とのガス交換や水分調整の機能を担う気孔が存在する。



図II-6 サツマイモ葉身の断面像(品種:「ベニアズマ」)
E:表皮, P:柵状組織, S:海綿状組織, V:葉脈, VB:維管束



図II-7 サツマイモの葉型の分類

サツマイモの葉身の形状は、図II-7のように多様である¹⁾。葉型は基本的には、品種によって決まる遺伝的な特性ではあるが、生育時期や葉位によって、同じ品種、同じ個体であっても、別の葉型を示す場合も多い。わが国の品種は、心臟形や単欠刻浅裂の葉型を示すものが多い。一方、熱帯

地域の品種には、多欠刻の葉型のものも多い。葉身の大きさも、ある程度品種によって決まっているが、生育条件の影響で変化が大きい形質である。

葉身の基本色は緑であるが、品種によって黄色に近い黄緑から濃緑色まで、多様である。また、紫や褐色に着色する品種もあるが、生育条件や生育時期、葉位によって着色程度は変化する。葉身裏面の葉脈が着色する品種もあり、この形質は比較的安定した形質で、品種の分類・識別の指標となる。また、葉身と葉柄の境界部に、一对の蜜線と呼ばれる小さな器官があるが、この部分の着色程度も、品種識別の指標に用いられる。

引用文献

1) 農林水産技術情報協会. 1981. かんしょ種苗特性分類調査報告書. 49.

エ 花・種子 flower, seed

(熊谷 亨)

サツマイモは暗期の長さが一定期間より長くなると花芽を形成する短日植物で、わが国では開花時期に低温となり、サツマイモの花を見ることはまれであるが、短日条件で一年中気温が高い低緯度の熱帯・亜熱帯地域ではよく開花する。

花はアサガオの花と同じく、大きく開いた漏斗形の円錐形で、花卉が全部融合している合弁花、1つの花に雌しべが1本、雄しべが5本ある両性花である。色は一般的に花の基部の筒状の部分(花筒)は紫色を呈し、その他の花冠部分(舷部)は白あるいは花冠の外側に向けてわずかに紅紫色に着色が見られる。花筒部分の着色がない全体が白色の花や、花冠部分の着色が比較的濃いものもある。花冠の形は、円形～五角形で、その幅は約3～5cmである。柱頭は花柱の長さにより葯の上に完全に出ているものから、完全に葯の中に埋もれているものまである。柱頭の色は、白色～淡紅紫色である。がく(萼)は5枚で、その形状は卵形、楕円形、倒卵形、長楕円形、披針形に、がくの先端(がく頂)の形は鋭角、鈍角、尖鋭角、尾状に分類される。これらの形質は品種により異なり、品種識別の指標となる。

開花後受精すれば約1か月で蒴(さく)果と呼ばれる実がなり、中に最大4粒の種子が入るが、多くは1～2粒である。九州農業試験場指宿試験地における約50年間の交配結果を見ると、交配した花数の50～60%が結蒴し、1蒴内の平均種子数は1.5～1.7粒であった。種子の形はアサガオと同じであるが(蒴の中に入る種子の数により変わる)、大きさはアサガオに比べ小さく、大きさは約3mm、1粒重は20～25mgである。種子の色は茶色から黒色である。種子は硬実性でそのままでは吸水しないので、種皮に傷を付けて播く必要がある。硬実は、登熟後に種子中の水分の減少により、種皮が不透水性になるためと考えられており、種子を乾燥状態においたほうが硬実性が進行する。硬実性は種子を発芽させる場合は面倒な特性であるが、種子の長期間保存という面では重要な役割を果たす。育種事業では大量の交雑種子を発芽させ個体を得る必要があるので、硫酸で処理することにより硬実性の消去を行っている。

(2) 生理・生態 physiology and ecology

1) 一年性作物 annual crop

(中谷 誠)

熱帯地域を起源地とするサツマイモは、わが国をはじめとする温帯地域では、自然条件下では、

冬を越えて生育することはできない。このため、温帯地域では、一年に一作、高温期にのみ栽培される一年性作物である。

しかし、熱帯地域では、年間を通じて生育が可能であり、作期・作型も多様で、一年性作物的に栽培される場合も、永年性作物 (perennial crop) 的に栽培される場合もある。

一年性作物とは、農学あるいは作物学上の用語であり、これと紛らわしい、植物学上の用語として、一年生植物 (annual plant) という用語がある。一年生植物とは、開花・種子生産を1回行うとその個体は枯死する植物であり、サツマイモは、熱帯圏で開花・結実した場合でも、そのことで枯死に至ることはない植物であり、一年生植物ではない。植物学的には、サツマイモはあきらかに多年生植物 (perennial plant) である。

2) 萌芽 sprouting

(中谷 誠)

わが国をはじめとする温帯地域におけるサツマイモ栽培の最初の工程は、種いもからの育苗であり、育苗の最初の過程が種いも、すなわち塊根からの萌芽である。なお、同じ塊根作物であるキャッサバやヤーコンの塊根は、通常は萌芽しない。通常、キャッサバは地上茎を、ヤーコンは塊茎を繁殖に用いる。塊根の萌芽を通じた栄養繁殖は、サツマイモに特有の繁殖様式である。

塊根中の萌芽原基 (shoot primodium) は、一般には、圃場で生育中にすでに形成されている¹⁾。サツマイモ塊根には、縦方向に5ないし6列の側根の列があり、側根が出ていた部分は、“目”と呼ばれ、やや窪んでいる。萌芽原基は、この目の部分に2ないし4個形成される。形成された萌芽原基は、地上部からの何らかの刺激や塊根内のアブシジン酸 (abscisic acid; ABA) などの休眠に関係する植物ホルモンの作用によって、例えば温度や水分などが好適な条件であっても、萌芽してこない休眠状態に置かれる。害虫による食害や台風などによる地上部の損傷によって、地上部との連絡が絶たれた場合、生育中の塊根は圃場萌芽することが多い。圃場萌芽の程度には明確な品種間差異が見られる。

収穫によって、地上部と切り離された塊根は、生理的な休眠 (dormancy) 状態にはないため、貯蔵中であっても温度等の条件によっては、萌芽する。同じいも類でも、ジャガイモの塊茎には、明確な休眠が認められ、休眠が打破されるまでは、例えば好適な環境条件であっても萌芽しないと対照的である。

サツマイモ塊根の萌芽には、極性 (polarity) があり、基部側、一般にいうなり首側が萌芽しやすい。萌芽の良否、多少にも、あきらかに品種間差があり、育苗の難易と関係が深い。「ベニアズマ」や「シロユタカ」、「シロサツマ」などは萌芽が良好で、一方「紅赤」は萌芽が悪い。塊根萌芽の最適温度は、28～35℃の範囲で、品種間で差がある。わが国の主要品種の大半は、30℃付近に萌芽適温があるが、「高系14号」の萌芽適温は、あきらかに高く35℃付近である²⁾。

萌芽過程では、塊根中のアミラーゼやプロテアーゼの活性などが高まり、でん粉等の貯蔵養分を分解して、萌芽原基の成長のために供給する³⁾。萌芽後も、苗は、塊根の貯蔵養分の供給を受けて成長を続けるが、ある程度苗が成長すると、独立栄養となり、さらに苗の成長が進むと、逆に種いもに炭水化物を供給するようになる。したがって、育苗期間中に種いもとした塊根の貯蔵養分は、完全に消費され尽くすことはない。このことは、種いもとした塊茎の養分がほぼ完全に萌芽の成長

のために消費され、種いもは腐敗・消滅するジャガイモと対照的である。

引用文献

- 1) 戸刈義次. 1950. 農事試報, 68: 1-96.
- 2) 中谷 誠. 1992. 農研センター報, 21: 1-53.
- 3) 中潤三郎. 1962. 香川大学農学部紀要, 9: 1-96.

3) 発根 rooting

(中谷 誠)

種いもからの萌芽苗あるいは蔓先苗は、切り取られ、挿し木苗として、圃場に挿苗される。苗が発根し、養水分吸収を開始し、光合成を再開するまでは、苗に貯蔵された養分を消費するだけで、物質生産は一時停止する。したがって、速やかな発根・活着は、サツマイモ栽培上で重要なポイントのひとつである。養水分の吸収力は、基本的には根の総表面積によるため、速やかな活着のためには、速やかな根表面積の拡大が重要である。根の表面積は、根長と根径の関数であるが、挿苗直後の時期では、根長の寄与が大きい。したがって、総根長の確保が、速やかな活着のポイントとなる。根長の確保に利用できる養分は、苗の貯蔵養分のみであり、充実した健苗の育成がサツマイモ栽培の要諦として重視されるのは、このためである。また、葉身も貯蔵養分の供給元として重要であり、挿苗に当って葉身の切除を行うことは得策ではない。

総根長は、発根数と1本当りの平均根長との積であり、発根や根の伸長に使いうる苗の貯蔵養分が一定であるとする、短い根を多く発根させても、少ない根を長く伸ばしても、活着自体への効果は同じである。しかし、サツマイモの根は、塊根という収穫目的器官に発育する重要な器官であり、挿苗後の根系の状況は、後の個体の生育や塊根の形成に影響を及ぼす。塊根になりにくい、短く細い根を多く発根させることは、後に“蔓ぼけ”を誘発し¹⁾、塊根の発育を阻害する危険がある。したがって、一定の貯蔵養分を消費するのであれば、発根数増加よりも、1本1本の根を長く伸ばす方が望ましい。

土中に挿入された茎の部分から不定根 (adventitious root) が出るが、挿苗後に発根する不定根は、2種類に分類できる。ひとつは、育苗中に苗体内にすでに形成されていた根原基が伸長したもので、主に茎の節から発根し、比較的太く、長く伸びやすい。もうひとつは、挿苗後新たに根原基が分化・伸長したもので、こちらは、節間部や苗の切り口から出る、細い根である。通常、塊根になりやすいのは、前者のすでにあった根原基から伸びた根であり、上記の観点からすると、根原基の新生よりも、すでにある根原基を伸ばすことによって活着を確保することが望ましい。

根原基の分化と根の伸長は、さまざまな要因の影響を受けるが、植物体内では植物ホルモンによって調節されており、中でもオーキシシン (auxin) の関与が大きい。一般に、高いレベルのオーキシシンは、根の分化を促すが、根の伸長には抑制的に働くとされている。このことはサツマイモでも同様で、苗体内で、オーキシシン活性が高い節では、根原基の分化が進み、オーキシシン活性が低下した節で、根の伸長が盛んであることが示されている。したがって、上記のように、少ない根を長く伸ばすためには、挿苗時には、発根部位のオーキシシンレベルはある程度低いことが望ましいことになる。かつて、苗の発根促進を目的として、広範なオーキシシンの投与試験が行われたが、そのほとんどは、発根数の増加効果は認められたものの、塊根形成や収量に明確なプラスの効果が認められなかつ

たのは、このような理由によると考えられる。実用化された苗の活着促進剤は、オーキシン作用ではなく、植付後の葉身等からの蒸発散を抑制するものである。

苗を採苗後、数日間貯蔵してから挿苗することを“取置き”と呼ぶが、適正に貯蔵された苗の発根部位では、オーキシンレベルが低下するので、少ない根が長く伸び、活着や塊根形成に好影響を与えることが示されている²⁾。ただし、2週間以上の貯蔵や高温や低温、暗黒といった条件での苗貯蔵は、苗の貯蔵養分の消耗を招くので、発根・活着には悪影響を及ぼすことを銘記すべきである。

サツマイモ苗は、18℃以下の地温では、ほとんど発根しない。また、発根の最適地温には品種間で差が見られるが、大半の品種の最適地温は30℃付近である。品種の苗発根の最適地温は、種いも萌芽の最適地温と一致するようである。35℃以上の地温では、発根は低下し、40℃では、全く発根しない。以上は、一定温度に地温を制御した実験結果であり、昼夜温較差のある、実際の圃場条件では、平均気温が15℃以上あれば、植付は可能である。また、ポリマルチ栽培では、晴天時の日中には、地温が40℃を越えることはしばしば観察されるが、40℃を越えている時間が1日当たり3時間程度であれば、1本1本の根は短くなるが、補償的に発根数が増えることから、活着自体には大きな悪影響はない²⁾。ただし、短い根が数多く発根することから、塊根形成には悪影響が危惧され、実際、マルチ栽培では、塊根形成がやや抑えられて、諸梗が長くなりやすいことが知られている。

引用文献

- 1) 渡辺和之. 1979. 農事試報, 29:1-94.
- 2) 中谷 誠. 1992. 農研センター報, 21:1-53.

4) 光合成 photosynthesis

(中谷 誠)

光合成は、次式に要約されるように、光エネルギーを用いて、二酸化炭素と水から、炭水化物と酸素を生成する反応である。



サツマイモは光合成から見るとC₃植物に分類される。C₃植物という名称は、二酸化炭素を固定する最初の反応が、炭素数3の有機酸との反応であることに由来し、トウモロコシなどのC₄植物はそれが炭素数4であることに由来する。

光合成速度は、二酸化炭素の吸収速度で測定できる。1枚1枚の葉（以下、個葉と称す）の光合成速度を光の強さを変えて測定すると、暗黒下では、呼吸によって見かけ上の光合成速度は負の値になる。呼吸速度と光合成速度がつりあって、見かけの光合成速度がゼロとなる時の光強度を光補償点と呼ぶ。それ以上光を強くしても、光合成速度が上昇しない光強度を光飽和点と呼ぶ。サツマイモの光飽和点はほぼ500μmol m⁻²s⁻¹付近で、いわゆる陽性植物の光合成特性を示す。つまり、日当りのよいことを好む植物である。最近、観賞用のサツマイモ品種が育成されているが、このことから、観葉植物的に室内栽培することは難しい。ちなみに、同じいも類では、サトイモは弱光域に適応した陰性植物型である。

葉の周囲の二酸化炭素濃度が増加すると光合成速度も増加する。光強度と同様、二酸化炭素濃度についても、飽和現象が見られるが、二酸化炭素の飽和点は、大気中の二酸化炭素濃度に比べると

はるかに高い。また、盛んに光合成している群落内部の二酸化炭素濃度は低下している場合が多いので、二酸化炭素濃度の増加は、個葉の光合成速度には、プラスに作用すると考えられる。

気温と個葉の光合成速度との関係を見ると、サツマイモでは、少なくとも、23～33℃の範囲では、気温による光合成速度の変化は少ない¹⁾。わが国における通常のサツマイモ生育期間の大半は、この気温の範囲内にある。

光合成の物理的反応や化学反応を担っているのは、葉緑体 (chloroplast) に存在する光化学反応に関与する膜タンパク質群や炭酸固定を司るルビスコ (RuBPC/o) などの酵素タンパク質であり、これらのタンパク質の原料となる窒素の供給量は、個葉の光合成速度に多大な影響を及ぼす。また、炭水化物の合成や代謝に関連の深いカリも、サツマイモにおいては光合成速度に影響を及ぼす重要な要因である。光合成におけるエネルギー代謝に深い関わりを有するリン酸については、サツマイモの場合は、個葉の光合成速度自体へのその含有率の影響は、窒素やカリに比べると小さいとされている。

サツマイモの個葉の光合成速度は、生育時期や葉位によって異なるが、光飽和点以上の光強度で、おおむね $10 \sim 20 \mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 程度である。茎の先端に近い若い葉の個葉光合成速度は高く、下位の老化した葉では低い。また、個葉の光合成速度には品種間で明確な差が見られるが、品種の収量性とは直接の相関は認められない。個葉の光合成速度は、葉の厚さとは相関が高く、1枚の葉の面積が小さい品種で高い傾向が見られる。これらのことは、サツマイモにおいては、個葉の光合成速度は、収量や乾物生産の規定要因ではないことを示している。

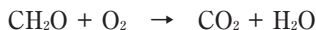
引用文献

- 1) 津野幸人・藤瀬一馬. 1965. 農技研報, D13: 1-131.

5) 呼吸 respiration

(中谷 誠)

呼吸は、炭水化物を分解して、生命活動に必要なエネルギーをアデノシン三リン酸 (ATP) などの形で作り出す反応である。酸素を使わない嫌気呼吸 (anaerobic respiration) もあるが、エネルギーの獲得効率が低いため、サツマイモが通常行っている呼吸のほとんどは好気呼吸 (aerobic respiration) である。好気呼吸の過程は複雑であるが、結果としては、次式に要約される光合成の逆反応で、炭水化物が二酸化炭素と水に分解され、その間に多量の ATP が作られる。



好気呼吸の系は、解糖系、TCA 回路 (tricarboxylic acid cycle)、電子伝達系から構成され、細胞内では、解糖系は細胞質で、後二者は、ミトコンドリア (mitochondria) で行われている。

サツマイモの各器官の単位乾物重当りの呼吸速度を比較すると¹⁾、活発に成長あるいは活動を行っている葉身や茎先端部で高く、貯蔵機能に特化した塊根で低い。個体全体で見ても、葉身の呼吸量が最も大きく、次いで茎の呼吸量が多い。塊根は単位重量当りの呼吸速度は低いが、重量は大きいので、速度は高くとも重量の少ない葉柄や細根よりも呼吸量は大きい。サツマイモ個体全体では、光合成によって稼いだ炭水化物の 20～30% を呼吸で消費していると推計されている。言い換えれば、光合成量の 70～80% を成長に使っていることになる。

呼吸速度は、温度の影響を直接的に受ける。一方、サツマイモの光合成速度は通常の生育温度の

範囲内では、温度の影響は小さい。このため、温度が上がると、呼吸速度が増加するほどには、光合成速度は増加せず、成長に使える炭水化物の量は低下する。このことが、真夏の高温期に、成長や塊根肥大が足踏みする理由である。なお、サツマイモは C_3 植物であり、光を受けて光合成を行っている際には、葉身は通常の呼吸よりも速くなる光呼吸を行っていると考えられるが、サツマイモで、光呼吸を調査した報告は見当たらない。

上述のように、塊根の呼吸速度は、他器官と比べて低いが、塊根全体の呼吸量は多い。このため、塊根の形成・肥大には、大量に酸素供給が必要であり、酸素不足は、塊根の肥大停止や死滅・腐敗など深刻な影響を及ぼす。塊根の呼吸速度は、塊根表面が水濡れしただけでも、2分の1以下に低下し、土壤の過湿による酸素不足には特に弱い。このことが、サツマイモが水はけのよい土壤を好む理由のひとつとなっている。サツマイモは水耕栽培ができない作物と見なされてきたのもこのためであるが、宇宙農園でのサツマイモ栽培を目指してアメリカで、薄膜状に水耕液を供給する NFT 法によって酸素供給を大幅に改善した栽培システムが開発されている²⁾。

引用文献

- 1) 津野幸人・藤瀬一馬. 1965. 農技研報, D13 : 1-131.
- 2) Hill, W. *et al.* 1984. The Sweetpotato for Space Mission. Tuskegee University. p. 66.

6) 転流 translocation

(中谷 誠)

葉身の葉肉細胞 (mesophyll cell) で光合成により作られた炭水化物は、一時的な貯留場所として葉緑体 (chloroplast) 中ででん粉粒の形で貯留される。これはあくまで貯留であり、比較的短時間の間に分解され、葉脈の維管束 (vascular bundle) に移行する。この維管束に移行する過程を、ローディング (loading) と呼び、サツマイモの場合、器官間を転流する炭水化物は、主にショ糖 (sucrose) である。葉脈からやがて主脈を通過して葉柄からは茎に転流する。茎に入ったショ糖は、生育初期には、葉身の新生・展開や茎の伸長に向かって、言い換えると、茎中で主に“上”方向に転流する。一方、塊根形成以降は、塊根への転流比率が高まり、“下”方向への転流が主体となる。塊根へは諸梗部の維管束を経て光合成産物が供給される。諸梗から塊根全体に広がった維管束を通じて運ばれ、やがてショ糖は維管束から降ろされる。この過程をアンローディング (unloading) と呼ぶ。維管束を離れたショ糖は、貯蔵柔細胞 (storage parenchyma cell) に拡散し、そこで、最終的にでん粉として蓄積される。塊根中における維管束の分布も、塊根の乾物蓄積効率に大きな影響を与える要因とされている¹⁾。以上が、葉身から植物体全体への転流経路の概略である。

サツマイモ植物体内における光合成産物の転流は、エネルギーを要する積極輸送 (active transport) の過程も含まれる複雑な過程であるが、維管束を通じた長距離の転流は、基本的には、ショ糖の濃度勾配によっている。

引用文献

- 1) 国分禎二. 1973. 鹿児島大学農学報, 23 : 1-126.

7) でん粉合成 starch biosynthesis

(中谷 誠)

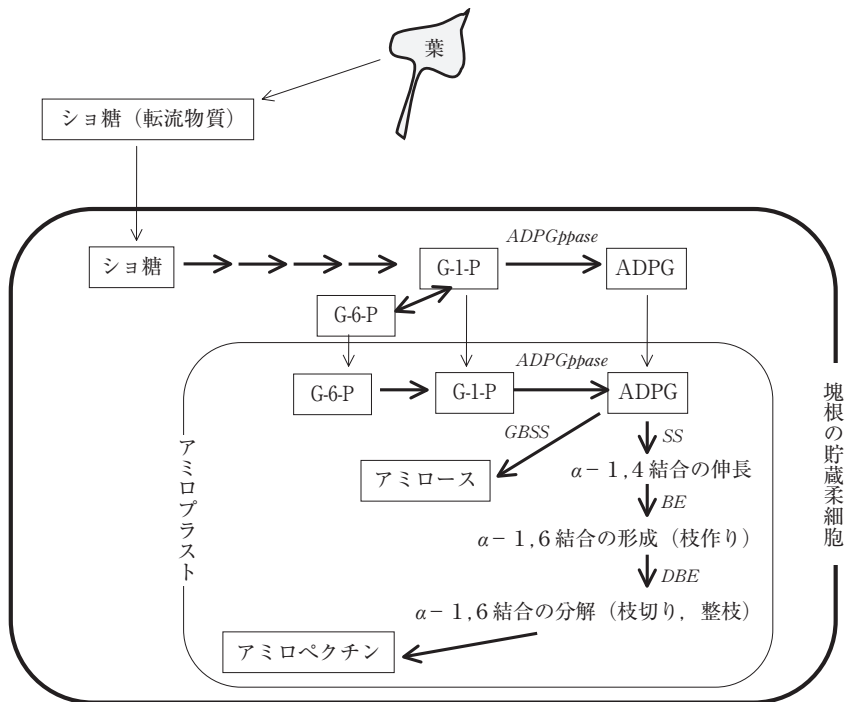
サツマイモにおけるでん粉の生合成は、光合成の場である葉身でも、転流の中間経路である茎でも行われているが、本項では、主にてん粉蓄積の場である、塊根でのでん粉合成について解説する。

また、サツマイモでん粉自体の特徴等については、別項を参照されたい。

イネの胚乳におけるでん粉合成経路¹⁾から類推される、サツマイモ塊根の貯蔵柔細胞におけるでん粉合成経路の概略を図Ⅱ-8に示した。貯蔵柔細胞に拡散してきた転流糖であるショ糖は、いくつかの経路を経て、アデノシン二リン酸-グルコース (ADPG) に変換され²⁾、ADPG がでん粉合成の直接の基質となる。でん粉合成自体は、細胞内のアミロプラスト (amyloplast) と呼ばれる、葉緑体と同起源であるがクロロフィルを持たない小器官で行われるが、ショ糖からADPGに至る経路のどの過程で、細胞質からアミロプラスト内部に移行するかは、サツマイモでは明らかにされていない。一般的には、グルコース6リン酸 (G-6-P)、グルコース1リン酸 (G-1-P) ないしADPGが細胞質からアミロプラスト内に移行するとされている。

アミロプラスト内では、でん粉合成酵素 (starch synthase ; SS) が、ADPG からグルコースを1分子ずつでん粉のグルコース鎖に α -1, 4結合でつないで、鎖を伸ばしていく。でん粉合成酵素は、大きく2種類に分類され、可溶性のSSは、アミロペクチンの鎖を伸ばし、でん粉粒結合型でん粉合成酵素 (granule bound starch synthase ; GBSS) はアミロペクチンの直鎖を伸ばす。この他、アミロペクチンの α -1, 6結合による枝分れを作るでん粉枝作り酵素 (branching enzyme ; BE) や α -1, 6結合を加水分解するでん粉枝切り酵素 (debranching enzyme ; DBE) がでん粉合成に関与し、モチ性や糊化特性など、でん粉の質を制御している。

一方、でん粉蓄積量には、でん粉合成の基質であるADPGを合成するADPGピロホスホリラー



図Ⅱ-8 でん粉合成経路の模式図

ゼ (ADPGpase) の影響が大きい。品種のでん粉蓄積量とこの酵素活性との間には相関が認められる³⁾。塊根貯蔵柔細胞におけるでん粉合成は、転流・拡散してきたショ糖を不溶性のでん粉という形で、系外に持ち出すことでもあり、維管束から柔細胞までの、さらには葉身から塊根に至るショ糖の濃度勾配を作り出し、光合成産物の転流を容易にするという意味でも、生産上重要な過程である。

引用文献

- 1) Nakamura, Y. *et. al.* 1989. *Plant Cell Physiol.*, 30 : 833-839.
- 2) Murata, T. 1972. *Agric. Biol. Chem.*, 36 : 1877-1884.
- 3) Nakatani, M. and Komeichi, M. 1992. *Jpn. J. Crop Sci.*, 61 : 463-468.

8) ソースとシンクの相互作用 interaction of source and sink (中谷 誠)

光合成産物などを作り出す器官をソース (source)、それを使ったり蓄えたりする器官をシンク (sink; 受容体) と呼ぶ。本項では、光合成産物のソースとシンクを解説する。光合成の場合のソースは葉身であり、シンクは光合成産物を使うという意味では全器官であるが、サツマイモの主要なシンクは塊根である。

基本的に、生産を担っているのはソースであるため、単純に考えると、ソースの能力を向上させれば、作物の生産は向上すると思われるが、ソースとシンクの間には相互作用があり、ソース能力の向上が必ずしも生産の向上につながらない場合もある。例えば、サツマイモを接ぎ穂として、塊根を形成しない近縁野生種を台木とした接ぎ木植物の葉 (サツマイモの葉) の光合成速度は、サツマイモ同士を接ぎ木したものに比べると低くなる¹⁾。これは、野生種台木の接ぎ木では、塊根シンクがないため、葉から炭水化物が持ち去られる速度が落ち、このため光合成反応の場における炭水化物濃度が高くなり、光合成反応にフィードバックがかかって、光合成速度が落ちるものと解釈される。

このように、サツマイモの物質生産の向上のためには、単に葉の光合成能力を向上させるだけでなく、シンクの機能の向上も必要であり、サツマイモ品種の生産性にはシンク能力の影響が大きいことが示されている²⁾。

引用文献

- 1) 加藤眞次郎ら. 1979. *日作紀*, 48 : 254-259.
- 2) Hahn, S. K. 1977. *Crop Sci.*, 17 : 559-562.

9) 植物ホルモン plant hormones (中谷 誠)

植物ホルモンは、環境条件や植物の生理的条件に応じて合成され、微量で植物の成長を制御している物質で、これまでに、オーキシシン (auxin) 類、ジベレリン (gibberellin)、サイトカイニン (cytokinin) 類、アブシジン酸 (abscisic acid; ABA)、エチレン、ブラシノステロイド (brassinosteroid) 類、ジャスモン酸 (jasmonic acid) 類が知られている。また、植物の開花を促す“花成ホルモン (florigen)”は、その存在が提唱されながら、長い間不明のホルモンであったが、ごく最近、その正体が判明しつつある。

オーキシシンは、最も早く見つかった植物ホルモンで、天然型オーキシシンは、インドール酢酸 (indole

acetic acid ; IAA) である。オーキシンの基本的な生理作用は、細胞の軸方向（縦方向）への伸長促進作用である。この作用は、濃度依存性で、至適濃度以上のオーキシンはかえって、細胞伸長を阻害することが知られている。また一般に、根の細胞伸長に対する至適濃度は、地上部細胞の至適濃度より低い。サツマイモ塊根に光が当たると、肥大が停止することが知られている。この原因のひとつは、露光部位におけるオーキシンレベルの低下であることが報告されている¹⁾。このことから、塊根の肥大に一定のオーキシンが必要であることがわかるが、外からオーキシンを投与しても、塊根肥大は促進されない。塊根形成や肥大におけるオーキシンの役割は、いまだ不明である。

ジベレリンは、植物体を伸ばす作用を基本とする植物ホルモンである。このほか、単為結果などの作用も知られ、ブドウの種なし処理等で農業上でも活用されている。ジベレリンは、化学的には数十種類以上のものが知られているが、サツマイモで活性を有する主な天然型ジベレリンは、GA₁とされている。サツマイモの茎（蔓）の伸長にも、ジベレリンは関与しており、蔓が伸びない矮性の突然変異体（例えば「矮性農林1号」）は、ジベレリンの生合成系に欠損がある²⁾。塊根の形成・肥大に対するジベレリンの関与は不明である。

サイトカイニン類は、細胞分裂を促進する植物ホルモンとして見出された。天然の活性型サイトカイニンは、ゼアチン（zeatin）とその関連化合物である。サツマイモ塊根における主要なサイトカイニンは、ゼアチンリボシド（zeatin riboside ; ZR）である³⁾。塊根形成は活発な細胞分裂を伴う過程であり、ZRは塊根形成に深く関与しているとされる。その理由は、①若い根が塊根に発達する時期に、根のZRレベルは大幅に増加する。このZRの大幅増は、いくつかの栽培品種で共通に認められるが、塊根ができない近縁野生種では観察されない。②生育初期のサツマイモに外部からサイトカイニンを投与すると塊根数が増えることが多い。③塊根内部では、ZRは、塊根形成と関わりが深い一次形成層周辺に多く分布している。このようにZRが細胞分裂の促進を通じて、サツマイモの塊根形成に関連が深い⁴⁾ことはほぼ間違いないと考えられるが、塊根が形成された後の、旺盛な肥大や乾物蓄積については、必ずしも明確な関連は認められない。

ABAは当初、落葉ホルモンあるいは休眠ホルモンとして見出された物質で、成長抑制作用が多く知られるが、成長促進的な作用もある。また、水ストレスによる葉の気孔閉鎖もよく知られた作用である。サツマイモでも、採苗後、数日間苗を貯蔵すると、その間の水ストレスで、苗体内のABAは増加する。このABA増加の作用の詳細は不明であるが、好適に貯蔵された苗は実際に活着が良好であるため、一種の乾燥馴化のような作用があるのかも知れない。サツマイモの根でもABAは存在し、上記ZRが急増する時期よりやや遅れて増加することが観察されている。しかし、ZRの場合と異なり、品種によってその増加程度には大きな差が認められ、塊根ABAレベルは、乾物蓄積が盛んな品種で高い傾向がある。果実などの物質蓄積にABAが関与しているとの報告もあり、サツマイモでも、塊根の活発な乾物蓄積にABAが関与している可能性が指摘されている⁴⁾。

エチレンは、他の植物ホルモンと異なり、通常は気体の状態にある植物ホルモンである。作用として、果実の成熟・追熟、落葉などの脱離、老化の促進や細胞分裂阻害、伸長成長阻害などが知られている。塊根を含むサツマイモ植物体からエチレンが発生することは確認されているが、その作用は不明である。エチレンの伸長成長阻害作用を活用して地上部の過剰栄養成長（蔓ぼけ）を防止

することを目的に、エチレン発生剤（エテホンやメチオニン）処理が検討されたが、実用化には至っていない。

ブラシノステロイドは、アブラナの花粉から分離された植物ホルモンで、化学構造中にステロイド骨格を持つ植物ホルモンの総称である。一般には、茎の伸長、葉の拡大、根の伸長など植物全体を大きくする作用が知られている。サツマイモでは、ブラシノステロイド処理の増収効果についての報告がある。しかし、報告数は少なく、その作用機作については、現状では不明である。

ジャスモン酸自体は、当初、花の香気成分として単離されたが、その後、ABAと類似の植物成長抑制作用が明らかになり、最近では、植物の傷害刺激の伝達物質であることも示唆されている。また、ジャガイモの塊茎形成の特異的刺激性物質として同定されたチュベロン酸 (tuberonic acid) は、ジャスモン酸の類似物質である。サツマイモの植物体からはジャスモン酸が分離・同定⁵⁾されており、塊根形成しない野生種にジャスモン酸を投与すると、塊根様の根肥大が生じることが観察されているが、その作用については、未解明の点が多い。

通常、開花しないサツマイモで、交配育種を実施するため、アサガオ台木への接ぎ木による開花誘導処理が行われている。これは、台木アサガオの葉身で作られた花成ホルモンが、サツマイモの接ぎ穂に移行して作用するためと考えられるが、サツマイモでの花成ホルモンの同定には成功していない。最近、イネの出穂関連遺伝子 Hd3a の産物であるタンパク質が花成ホルモンの本体であると報告された。サツマイモの交配育種の効率化等、実用場面でも活用できる可能性が高く、期待が持たれるところである。

引用文献

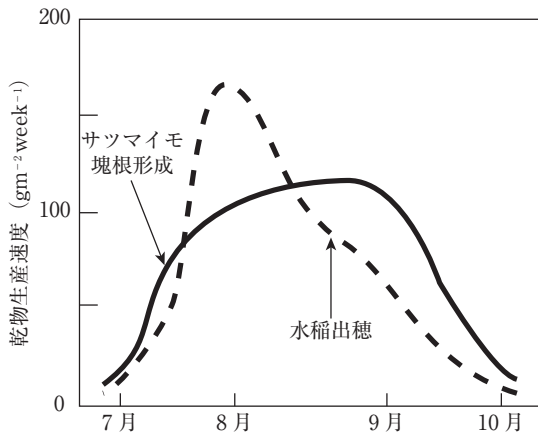
- 1) 秋田重男ら. 1962. 中国農試報, A8 : 75-128.
- 2) Suge, H. 1979. Japan. J. Genetics, 54 : 35-42.
- 3) Matsuo, T. *et al.* 1983. Plant Cell Physiol., 24 : 1305-1312.
- 4) Nakatani, M. and Komeichi, M. 1991. Jpn. Jour. Crop Sci., 60 : 91-100.
- 5) 中谷 誠・幸田泰則. 1992. 日作紀, 61 : 394-400.

10) 乾物生産 dry matter production

(中谷 誠)

植物の乾物生産とは、文字通り、植物体の乾燥重量の増大であり、乾燥重量には、窒素等の土壌から吸収した物質の重量も含まれるが、大半は、光合成によって作られた炭水化物に由来する。したがって、乾物生産量は、概略、光合成量から呼吸量と葉身の枯死等による損耗量を差し引いた差である。

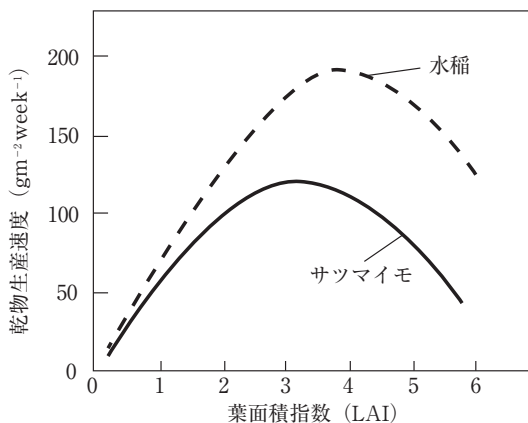
サツマイモは、わが国で単位土地面積当りの乾物生産量が最も大きい作物のひとつである。本項ではサツマイモの乾物生産の特徴を、主にイネとの比較によって解説する。図II-9には、この2作物の単位時間当りの乾物生産速度 (CGR ; crop growth rate) の推移¹⁾を示した。CGRの最大値は、あきらかにイネの方が高い。しかし、イネでは高いCGRを維持する期間が短い。一方、サツマイモは、最大値は高くないものの、比較的高いCGRを長期間にわたって維持する。1作期の乾物生産量は、図II-9のグラフの積分値となり、サツマイモの方が大きい。すなわちサツマイモは、速度ではなく、時間の長さで稼いでいる作物であり、イネを短距離ランナーとすれば、長距離ランナー的な乾物生産特性を持った作物である。



図Ⅱ-9 サツマイモと水稻の乾物生産速度の時期的変化 (津野・藤瀬, 1965)

によって地面が被われていない時には1以下で、生育が進み群落が発達してくると1以上の値を示す。基本的に光合成量は、葉面積と単位葉面積当りの光合成速度との積であり、LAIの値が小さい時期には、葉面積が大きくなれば、光合成量も大きくなる。しかし、LAIが大きくなると、葉の相互遮蔽が生じるので、ある程度以上、LAIが大きくなると、それ以上は光合成量が増えなくなる。その時のLAIを最適LAIと呼び、イネの最適LAIは品種によって異なるが、4～6程度であるのに対し、サツマイモの最適LAIは3程度である(図Ⅱ-10)¹⁾。言い換えれば、イネでは、土地面積の5倍程度の葉面積でも効率的な光合成ができる群落構造を持っているのに対し、サツマイモは3倍程度の葉面積でしか効率的な光合成ができない群落構造を有しているということである。

このように群落構造が劣るサツマイモが、高い乾物生産量を示すのは、前述のように時間で稼いでいることに加えて、乾物の分配特性も寄与している。収穫目的器官への乾物の分配率を収穫指数



図Ⅱ-10 サツマイモと水稻における葉面積指数と乾物生産速度との関係 (津野・藤瀬, 1965)

サツマイモのCGRの最大値がイネに比べて低いのは、主にその群落構造の違いによっている。サツマイモは茎がほふくし、群落の高さは、イネなどに比べて低く、光合成を行う葉身の垂直分布が狭い。さらに、イネの葉身が比較的直立しているのに対して、サツマイモの葉身の角度は、水平に近い。このために、イネの群落では、比較的光が通り、下位葉もある程度は光が当たるのに対して、サツマイモ群落では、葉相互の光の遮蔽程度が大きいため、単位土地面積当りの葉面積の比率を葉面積指数(LAI; leaf area index)と呼び、生育初期に群落

数(HI; harvest index)というが、サツマイモ塊根へのHIは通常0.6～0.8で、イネの籾へのHIは0.5程度である。サツマイモの高いHIは、塊根収量の面でももちろん優れた特性であるとともに、乾物生産の面でも優れた特性である。というのは、収穫器官、すなわち貯蔵器官の呼吸活性は、他の器官のそれに比べて低く、呼吸による光合成産物の消費を全体として低く抑えることができるためである。イネの籾への乾物分配は、出穂後の生育後半にしか行われぬのに対し、サツマイモ塊根は、生育の比較的早い時期に形成され、それ以

降、塊根への乾物分配が続くことが、高いHIの要因となっている。イネでは、籾は植物体の一番高い位置にあるため、籾の重量を増やすと、その物理的支持のために、必然的に茎への乾物分配を高め、茎の強度を増す必要があり、HIを高めることは難しいが、サツマイモ塊根は地下にあり、HIを高めても倒伏を危惧する必要がないことも、サツマイモの乾物生産上の優れた点である。

以上をふまえて、サツマイモの乾物生産の向上策を論考する。ひとつは欠点の解消、すなわち低いCGRの最大値の向上である。このためには、光合成速度の向上なども考えられるが、最も重要なのは、群落構造の改善であろう。しかし、ほふくするサツマイモの生育特性を抜本的に改変することは、ハードルの高い課題である。現時点で可能性がある改善方向のひとつは、生育後半の過繁茂を抑えるとともに、葉身の寿命を延ばすことである。生育後半の塊根への乾物分配と直接競合するのは、葉身の枯死と新生のターンオーバーであるとされており、この面でも、葉身寿命の延長は重要な課題であると考えられる。具体的には、葉身寿命の長い品種の選抜や植物生育調節剤の活用等が手法として考えられるが、現在、このような視点からの技術開発には未着手である。

もうひとつの方向は、長所のよりいっそうの強化、すなわち比較的高い乾物生産を維持する期間の延長である。生育期間の延長は最もシンプルな方法で、実際、近年の多収事例の大半は、可能な限りの早植えかつ晩期収穫で達成されている。しかし、低温期のあるわが国で、大幅に生育期間を延長することは難しい。図II-9を見ると、植付後、生育初期に乾物生産の遅滞があることがわかるが、この遅滞を早期に解消し、グラフの立上りを急にすることによっても、高い乾物生産を示す期間の延長を図ることができる。ポリマルチ栽培による植付期の地温上昇による活着や初期生育の改善は、乾物生産や収量に好影響を与えることはよく知られている。塊根早期肥大性品種や低温発根性品種なども、この点で乾物生産向上に寄与できる。

また、HIをさらに高めることも、サツマイモの長所を伸ばす視点で重要である。塊根への乾物分配を高める、すなわち塊根のシンク機能の向上は、サツマイモの多収性育種における中心的な課題である。

引用文献

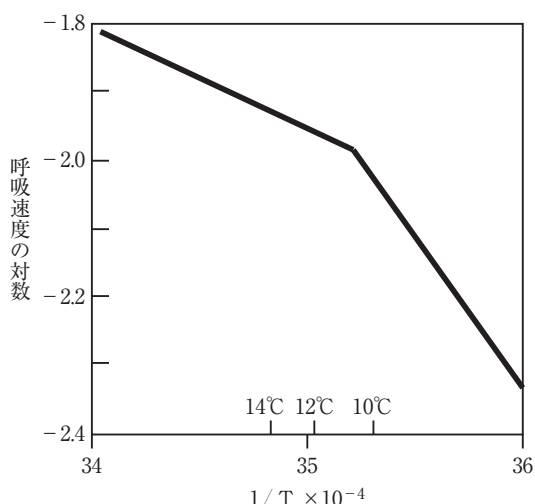
1) 津野幸人・藤瀬一馬. 1965. 農技研報, D13: 1-131.

11) 温度反応 response to temperature

(中谷 誠)

サツマイモは熱帯起源の作物であり、基本的に温暖な気候を好む。種いもからの萌芽や苗の発根の最適温度は、品種間差があるが、概略30℃付近である。35℃を越えると、さまざまな成長速度が低下し、40℃を越えると成長を停止する¹⁾。光合成は、温度の影響が少なく、呼吸は温度が上がれば上昇する。このため、光合成と呼吸の差引きとも言える乾物生産は、30℃より低い温度に最適温度域がある。乾物生産量の影響を強く受ける塊根肥大についても、30℃より低い温度に最適温度域がある。

18℃以下の温度では、サツマイモは障害は受けないものの、成長速度はきわめて低くなる。この温度は、イネの障害型冷害の危険温度とほぼ一致しており、熱帯起源の作物の成長の限界温度として共通していると考えられる。この温度域における成長低下の原因は、明確にされていないが、イネではタンパク質合成の低下が関係しているとの仮説が提唱されている。



図II-11 サツマイモ塊根の呼吸速度のアレニウス作図例 (品種:「九州112号」)

さらに温度が低下し、10～13℃以下の温度では、サツマイモは低温障害 (chilling injury) を被り²⁾、通常は感染しないような感染力の弱い微生物にも感染するなどして、個体の死に至る場合もある。例えば塊根の貯蔵温度は、この温度以上でなければならない。温度を変えて測定した塊根の呼吸速度を、アレニウス作図と呼ばれる方法で図示すると (図II-11)、この10～13℃の温度で、明らかな不連続性が認められる。これは、ミトコンドリアの包膜の相転移によるとされている。細胞膜やミトコンドリアの包膜、葉緑体の包膜などの生体膜は、脂質の中にタンパク質がはまったような形をしており、脂質部分は、ある程度の流動性を有していないと正常

に機能しない。サツマイモなどの低温障害を受ける植物の生体膜の脂質は、飽和脂肪酸の割合が高く、この温度以下では流動性が低下して、正常な機能を果たせなくなる。相転移とは、例えば豚のラードが高温では液体であるが、冷蔵庫に入ると固体になる現象をいう。比喩的に述べれば、サツマイモの生体膜脂質はラードのように低温で固まるが、コムギのように低温障害を受けない植物の生体膜脂質は、冷蔵庫に入れても固まらないサラダ油のような特性を持っているということである。

さらに温度が下がり0℃付近以下になると、凍害 (freezing injury) ないし霜害 (frost injury) を被る。サツマイモは凍霜害には全く耐性がない。地上部が霜を被ると、葉は枯死し、塊根の貯蔵性も低下する。サツマイモの収穫時期は、初霜期が晩限となる。

引用文献

- 1) 中谷 誠. 1992. 農研センター報, 21: 1-53.
- 2) Uritani, I. and Yamaki, S. 1969. Agr. Biol. Chem., 33: 480-487.

12) 土壌環境 soil environment

(中谷 誠)

サツマイモは、一般にはあまり土壌を選ばない作物であると認識されているが、実際には、土壌の養水分の供給能や保持能、通気性、生物性、地温などを通じて、生育や収量、品質に大きな影響を与えている。わが国のサツマイモ産地の土壌を見ると、南九州や関東の産地は黒ボク土など火山性土壌で、四国や北陸、東海の産地は砂質土壌が多い。黒ボク土は養水分の保持能が良好で、砂質土は不良という違いがあるが、水はけが良く、通気性が比較的良いことは共通している。一方、代表的な水田土壌で、水はけに問題のある灰色低地土には、サツマイモ産地はほとんどない。このことは、サツマイモ栽培にとって土壌の通気性が重要なポイントであることを示している。

堆肥などの有機物の施用は、土壌の物理性、中でも通気性の改善を通じてサツマイモの生育・収

量を向上させるが、有機物の中には過度の肥料成分、特に窒素を多量に含むものもあり、これらについては“蔓ぼけ”等の地上部の過剰栄養成長をもたらす恐れもあり、注意が必要である。

土壌の硬さは、塊根の外観品質に影響を及ぼすと考えられるが、これについての研究報告は少ない。一般的には、硬い土壌では短く丸い塊根になりやすいと考えられる。また、塊根表面の凹凸が激しくなりやすい。

サツマイモは、一般に酸性土壌に強く、4.2～7.0の土壌pHの範囲では、生育、収量に差は見られない。しかし、近年被害が広がっている立枯病の病原菌 (*Streptomyces ipomoeae*) は、高温、高pHの土壌条件を好むため、pH5.0以下では発病は軽微であるが、6.0以上では激発する。立枯病は土壌伝染性病害であり、汚染畑では、地温が上がるマルチ栽培を避け、pHを上げない管理が肝要である(III章3節“立枯病”の項参照)。

13) 水分生理 water relations (中谷 誠)

サツマイモの生育に好適な土壌水分は、圃場含水量 (field capacity) の60～70%程度とされている¹⁾。圃場含水量とは、多量の降雨または灌水後に水の下方向への移動がほぼ終わった時の含水量であるが、実用的には24時間後の含水量をもって圃場含水量とする。

好適土壌水分よりも低い、すなわち乾燥した状態では、生育や乾物生産、塊根肥大は多かれ少なかれ抑えられる。サツマイモは、日本の作物の中では、早ばつに強い作物と見られている。この要因のひとつは、生育中期以降のサツマイモの根系は広く、また土壌の深い層まで細根が到達するために、土壌表層の乾燥には耐えることがあげられる。また、塊根の7割以上は水分であり、一時的な乾燥には塊根が一種の水タンクの機能を果たし²⁾、枯死をまぬがれ、後の降雨によって回復することができることも早ばつに強い要因となっていると考えられている。しかし、これは日本の他作物に比較して相対的に早ばつ害が小さいということであり、土壌乾燥の弊害がないという意味ではない。また、海外で見られるような長期にわたって乾燥が続くような激しい早ばつには耐えられない。

土壌水分が過多気味に推移すると、地上部はよく茂るが、塊根の肥大は不良となる場合が多い。塊根の肥大には多量の酸素が必要であり、過湿は土壌の気相率や通気性を低下させ、塊根への酸素の供給を減少させる。一般には、過湿気味の土壌条件では、長い塊根ができやすいとされている。土壌水分過多が続くと、塊根からの分枝根が目立ち、一般に言うヒゲの多いイモが多発する。また、塊根の目の部分にカルス状の組織ができる皮目肥大と呼ばれる症状も、過湿害のひとつと見られる。さらに激しい降雨により、冠水するような状況には、サツマイモは耐えられない。サツマイモの茎や根には通気組織はないため、地上部が冠水していなくても、畦が水没しているような状況では、地下部は窒息して、個体は枯死に至ることが多い。

引用文献

- 1) 位田藤久太郎. 1950. 園学雑, 19: 49-60.
- 2) Sekiya, K. et al. 2000. Proc.12th ISTRC Symposium, 344.

14) 蔓ぼけ excessive top growth (中谷 誠)

サツマイモでは、地上部は非常によく繁っているのに、塊根の肥大が悪く、収量が低いことがあ

り、これを“蔓ぼけ”と呼ぶ。蔓ぼけは、地上部の過剰繁茂により、光合成産物が塊根に分配されないことに加えて、過剰繁茂による群落の受光体制の悪化が加わり、大幅な減収をもたらす場合もある。

蔓ぼけは、土壌の過湿、窒素過多、土壌の圧密、日照不足などによって誘発される¹⁾。したがって、高畦による土壌過湿の回避、窒素施肥の抑制などが対策となる。

サツマイモ植物体側の要因としては、生育前半の細根量の過多が、窒素吸収を促し、それが地上部の成長を促し、それがさらに光合成産物の地上部への分配を高めるといふ悪循環が、蔓ぼけにつながりやすいとされている。したがって、生育初期の細根の過剰を避けるべきである。一方で、迅速な活着と初期生育の確保のためには、根量の確保が重要である。根量の確保と過剰な細根の抑制を両立するためには、塊根になりうる根の十分な伸長・発達によって根量を確保することが重要となる。

蔓ぼけの発生リスクは、品種によって大きく異なる。一般的には、地上部生育が旺盛で、塊根肥大の遅い品種は、リスクが高い。育種プログラムの中では、多肥条件などによる蔓ぼけ耐性とも言える選抜も実施されており、近年の品種は、「紅赤」や「農林1号」など古い品種に比べて、あきらかに蔓ぼけを起こしにくくなっている。

伸長した茎から発生した不定根、いわゆる“蔓根”が吸収した窒素は、ほとんどが地上部の伸長に使われるので、蔓根の過多も、蔓ぼけにつながる。生育中後期に蔓返しと呼ばれる作業を行い、蔓根を切断することは、蔓ぼけの防止・軽減効果があるとされる。しかし、労力の問題と近年の品種が蔓ぼけを起こしにくくなっていることから、最近では、蔓返しはあまり行われなくなった。

引用文献

1) 渡辺和之. 1979. 農事試報, 29: 1-94.

15) 開花誘導 flower induction

(熊谷 亨)

植物の中で生理的な変化を起こさせ、花芽を形成させ花を咲かせることを、催花、あるいは開花誘導と呼ぶ。サツマイモは暗期の長さが一定期間より長くなると花芽を形成する短日植物で、わが国では着蕾・開花時期に低温となり、サツマイモが開花することは少ない。サツマイモ栽培は苗の移植によるので、開花の必要はないが、品種開発においては交配母本としたい品種・系統が開花することが重要となる。

サツマイモの人為的開花促進法としては、短日、接木、環状剥皮、水耕などの処理で効果のあることが報告されているが、最も簡便で効果的な方法は接木法であり、育種事業ではほとんどこの接木法が用いられている。接木に用いる台木については、現在のキダチアサガオにたどり着くまでにいろいろな台木が使用されてきた。1944年以降、国の育種組織としての交配採種を行っていた九州農業試験場指宿試験地（鹿児島県指宿市）では、当初ヨルガオを台木に用いていたが、開花促進効果が十分でないため、短日処理を併用する重複法を採用した。この頃の催花に関する考え方は、接木による根部肥大の抑制と地上部のC/N比の上昇および短日処理による花芽分化の促進を中心としていた。

その後、催花能力がきわめて強く、胚軸も太くて接木操作の簡便なキダチアサガオが導入され、

1958年以降はこの植物を台木とする接木により開花誘導が行われている。キダチアサガオが使用されるようになってからも改良が行われ、1963年からは接木位置を高くし、その下の台木キダチアサガオの葉を利用する高接法が開発され現在に至っている。この方法は、接木約1か月後にほとんどの品種・系統が開花し、同時期に接木すればほぼ同時期に開花するので、開花したほぼすべての花を交配に利用できるようになったほか、年2回（春と秋）の交配採種が可能となり、年間10万粒をこえる採種が可能となった。高接法により開花が促進される理由は、何らかの物質（1937年に旧ソ連の科学者が開花ホルモン、フロリゲンと命名）がキダチアサガオの葉で生成され、接穂のサツマイモの成長点に移行し花芽が分化すると考えられている。その物質の実態は長い間謎のままであったが、2007年シロイヌナズナとイネにおいて、そのような働きをするタンパク質が明らかにされ^{1,2)}、将来接木によらないサツマイモの開花誘導法が開発される可能性が出てきた。

催花処理によらず長日下でも開花するサツマイモ（露地開花性系統）も存在し、このような特性を交配母本に導入できれば、接木によらない交配採種が可能となる。また、容易にサツマイモの交雑種子を大量生産することができるので、サツマイモ栽培に交雑種子を利用する種子播き栽培も検討されたが、収量性が低い、いもが不均一であるなど課題が多く、実用化には至っていない。

引用文献

- 1) Corbesier, L. *et al.* 2007. *Science*, 316 : 1030-1033.
- 2) Tamaki, S. *et al.* 2007. *Science*, 316 : 1033-1036.

16) 窒素固定 nitrogen fixation

(安達克樹)

サツマイモはやせた土地でも比較的よく育つ作物として知られており、それゆえ長い間“救荒作物”として位置付けられてきた。このことは、従来はサツマイモが土壤中の養分を効率よく吸収することができるためであると考えられてきたが、近年、重窒素 (¹⁵N) 自然存在比法という手法によりサツマイモにおける窒素固定の寄与が示唆されている^{1,2)}。このことは、サツマイモが土壤中の窒素養分のみならず空気中の分子状窒素（窒素ガス）を栄養として利用する仕組みを持ち合せていること、すなわち、ダイズなどマメ科作物と同様に、“生物的窒素固定”が行われていることを示している。しかし、サツマイモの植物全窒素に占める固定窒素の割合（窒素固定寄与率）は品種や器官（塊根、葉身）により変動する傾向にあり、その品種による差異も年次間で非常に不安定である²⁾。

生物的窒素固定では、窒素固定微生物の持つ窒素固定酵素（ニトロゲナーゼ）による酵素反応で窒素ガスは生物が利用できるアンモニア態窒素に還元され、利用される。これまでに窒素固定能力を持つ微生物として報告されているものは細菌、らん藻、放線菌である。比較的最近になって（1980年代後半より）根粒菌のように植物との間で特別な構造物（根粒）を作らないが、植物体内に生息している窒素固定細菌の研究が進んでおり、これらの細菌は植物体内窒素固定細菌と呼ばれ、植物と共生関係（あるいはゆるい共生関係）にあることが知られている。

これまでにサツマイモから *Klebsiella oxytoca* や *Pantoea agglomerans* などの窒素固定能力を有すると見られる細菌が分離されている。さらに、サツマイモ植物体内より窒素固定酵素をコードする遺伝子（DNA, *nifH* 遺伝子）自体および *nifH* 遺伝子の発現による mRNA が見出されて、それら

の *nifH* 遺伝子断片は根粒菌（いくつかの *Bradyrhizobium* 属細菌）などの *nifH* 遺伝子と高い相同性を示すことが報告されている³⁾。上述したように、サツマイモにおける窒素固定は、マメ科作物の場合と比較して不安定であることがひとつの特徴のようで、今後の研究開発に当っては、この不安定さ、変動要因の解明についても意識する必要がある。また、同一圃場内の株間変動や同一株内の部位間変動などの不安定要因もある。サツマイモの窒素固定の全体像が明らかとなるには、さらにより多くの知見の集積が求められる。

このように、サツマイモの生物的窒素固定に関する研究は途についたばかりであり、未解明の点も多い。しかし、サツマイモが窒素固定細菌との共生関係（あるいはゆるい共生関係）により窒素固定を行っていることはほぼ確実であり、このことの農業上の優位性については強く認識すべきである。工業的方法による窒素固定反応は大量の化石エネルギー消費に依存しているので、将来の化石エネルギー資源の有限性と人類の長期的な食糧生産の両方を考慮する時に、作物としてのサツマイモの重要性は次第に高まるであろうと推察する。

引用文献

- 1) Yoneyama, T. *et al.* 1998. *Biol. Fertil. Soils*, 26 : 152-154.
- 2) 大脇良成・藤原伸介. 2002. *農業技術*, 57 : 399-403.
- 3) Terakado-Tonooka, J. *et al.* 2008. *Microbes Environ.*, 23 : 89-93 .

II 章 1 節の参考文献

- 農業技術体系 作物編 5 ジャガイモ サツマイモ. (社) 農山漁村文化協会.
農林省九州農業試験場. 1978. 指宿試験地研究 30 年.
農林水産省九州農業試験場. 1997. 指宿試験地のあゆみ－甘しょ交配研究の五十年－.

2 節 遺伝・育種 genetics and breeding

【節の概説】

(吉永 優)

サツマイモは同質6倍体(染色体数 $2n=90$)で、蔓や塊根で増殖する栄養繁殖性作物であるが、環境条件が揃えば開花し結実する。ただし、他殖性で自己不交配性や特定のグループの品種とは花粉がついても種子ができない特性、すなわち自家不和合性や交配不和合性を示す。これらの特性によりサツマイモは近親交配による近交弱勢を防ぎ、旺盛な生育や幅広い環境適応性を獲得していると考えられる。また、サツマイモでは、いもの皮色や草型などの特性が自然に突然変異して、キメラと呼ばれる遺伝的に異なる細胞からなる植物体になることがある。その頻度は他の作物より比較的高く、突然変異した形質は栄養繁殖により維持される。こうして、サツマイモは遺伝的に見るとさまざまな遺伝子の組合せを有する、ヘテロ性の高い状態(雑ばくな状態)を維持している。サツマイモは他殖性で高次倍数体のため、遺伝様式が複雑で、有用形質の遺伝解析や遺伝子の集積が困難である。その中で量的形質の収量性やでん粉含量の遺伝的特性については、統計遺伝学的手法による解析が進められ、いもの収量は遺伝子の非相加的効果(優性効果)が大きく、でん粉含量は相加的効果の大きな形質であることが明らかになった。そこで外国品種や近縁野生種を活用しつつ、近親交配によりでん粉含量に関する遺伝子の集積を図りながら母本を養成し、母本間の近交係数を考慮して、雑種強勢(ヘテロシス; heterosis)を発現する組合せ能力の高い交配組合せを選んで単交配を行い、高でん粉多収系統を選抜してきた。その結果、「コガネセンガン」をはじめ、「ハイスターチ」、「コナホマレ」、「ダイチノユメ」など多くの高でん粉多収品種が育成された。食用や加工用品種の育種についても、でん粉原料用と同様に優良形質を持つ母本を利用した交雑育種法が行われている。カロテンやアントシアニンなどの新用途向け品種の育成では、アメリカのカロテン品種、沖縄や種子島地域の紫サツマイモ在来種などが積極的に母本として活用され、それぞれ成果をあげている。将来に向けた新しい分子育種として、遺伝子組換えやDNAマーカーの研究が進められているが、これらの技術が実用品種の育成に活用されるまでには至っていない。

現在、わが国におけるサツマイモの育種は民間や県の育種組織などでも取組まれているが、作物研究所(茨城県つくば市)と九州沖縄農業研究センター(宮崎県都城市)での育種活動が主力となっている。本土ではサツマイモは自然開花しないので、キダチアサガオにサツマイモを接木して開花させる。九州沖縄農業研究センターでの育種は、遺伝資源や有望系統などの特性を考慮して交配組合せを決定し、1年目に交配・採種を行う。2年目は実生個体選抜試験として、種子を苗床に播き、育てた苗を畑に移植した後、いもの外観や結薯性^{けっしょ}を株ごとに評価して個体選抜を行う。3年目以降は系統選抜試験、生産力検定試験などを行い、いもから萌芽させた苗を系統ごとに畑に移植して系統の選抜を繰り返す。その際、用途ごとに皮色、肉色やいもの形状などの形態的形質、収量性、切干歩合やでん粉歩留などの生態的形質、食味などの品質を調査し、選抜系統を絞り込む。同時にセンチュウや立枯病などの病害虫に対する抵抗性の有無を判定する(特性検定)。6年目には生産力検定試験を行い、有望系統は地方番号(九州番号)を付けて関係各県に配付し、地域適応性検定試

験（系統適応性検定，奨励品種決定試験）を実施する。また，長崎など公立農業試験場の協力を得て病虫害抵抗性検定試験（特性検定試験）を行っている。有望系統については，財団法人いも類振興会が事務局となるカンショ品質評価研究会において，実需者が用途ごとに加工適性を評価し，品種化やその後の普及に必要な客観的データを蓄積している。

(1) 遺伝 inheritance

1) 遺伝の法則 theory of inheritance

(中山博貴)

生物の特徴や性質，能力などを総称して形質と呼び，生物の親の形質が子やそれ以後の世代に伝わる現象を遺伝という。サツマイモの場合，葉の形や色，病気への抵抗性，収量性などはすべて形質である。また，葉の形における心臟形と複欠刻，病気に対する抵抗性と感受性などのように，たがいに相対立する形質は対立形質と呼ばれる。

遺伝現象を支配する因子としてメンデルによって想定された機能単位が遺伝子であり，後の研究によって遺伝子の実体はデオキシリボ核酸 (DNA) という物質であることが明らかにされた。個々の遺伝子は染色体と呼ばれる棒状の構造体の上の一列に並んでおり，それぞれの遺伝子の染色体上における位置を遺伝子座と呼ぶ。また，同一の遺伝子座上にあって，対立形質に対応するそれぞれの遺伝子を対立遺伝子という。個々の個体が持つ遺伝子の組合せが遺伝子型，その遺伝子型によって個体に現れる形質の属性が表現型である。

メンデルは異なる対立形質を持ったエンドウマメ個体を交配し，その子や孫で見出される対立形質の変異を調査した。その結果，両親の遺伝子の組合せによって，そのうち一方の遺伝子に支配される形質が発現する“優劣の法則”，親から子へ伝わった遺伝子が孫の代で分離し，それに伴って表現型の分離が見られる“分離の法則”，ならびに異なる形質の遺伝子が独立して子へ伝わる“独立の法則”を発見した。これらを総称して“メンデルの遺伝の法則”という。

一方，メンデルの遺伝の法則にあてはまらない遺伝様式を示す事例も存在する。例えばマルバアサガオの花色は1遺伝子座に支配されているが，赤花の純系（遺伝的に固定した個体）と白花の純系を交配すると雑種第1代 (F_1) は両親の間である桃色花となる（不完全優性）。また，スイートピーの花色に関する遺伝子（紫花 B ，赤花 b ）と花粉の形に関する遺伝子（長い花粉 L ，丸い花粉 l ）のように同一の染色体上の近傍に位置している遺伝子同士では，それぞれの形質は独立に遺伝しない（このことを連鎖と呼ぶ）。この紫花・長花粉（遺伝子型 $BbLL$ ）と赤花・丸花粉（同 $bbll$ ）の個体を両親として交配を行うと，孫に当る雑種第2代 (F_2) では紫花・長花粉および赤花・丸花粉の個体に加えて，一定の割合の紫花・丸花粉および赤花・長花粉の個体が出現する。これは生殖に伴う細胞分裂（減数分裂）の過程で，対合した相同染色体の一部が交換され，連鎖が切れて新たな遺伝子型を生じるためである。

花色のように質的な形質ばかりではなく，農業上有用な形質には草丈，収量，開花期などの連続した値を示すものも多い。このような形質は量的形質と総称され，その変異は遺伝的要因および非遺伝的要因（環境）の双方の影響を受ける。量的形質の変異のうち，どの程度が遺伝的要因によって決まっているのかを示す指標のひとつとして広義の遺伝率が用いられ，この値が高い形質ほど遺

伝的改良, つまり育種の効果が高いことが期待できる。

先述のようにサツマイモは6組のゲノムを持つ6倍体であり, このような高次倍数性の作物では種子稔性が低いため, 交雑育種においては, より多くの花を交配に供試する必要がある。

2) 相加的效果・非相加的效果 additive effects, non-additive effects (吉永 優)

交配と選抜を繰り返すことにより, ある遺伝形質を累積させることができる場合には遺伝子の相加的效果があるという。一方, 交雑後1代だけに現れ, 次代に影響しない効果を非相加的效果という。いもの収量やでん粉歩留など量的形質の遺伝変異は連続的な分離を示し, 遺伝的要因と非遺伝的要因の相互作用により表現される。このうち遺伝的要因は, 作用力の小さい個々の遺伝子の効果の和として発現される相加的效果と, 優性遺伝子のように相加的にはならない非相加的效果(優性効果)に分けて説明できる。相加的效果は片親から2分の1ずつ子供に伝えられる遺伝子の効果である。ある形質の表現型が相加的效果だけによるものとするれば, 子供のヘテロ接合体の遺伝子型値は2つの親のホモ接合体の遺伝子型値の平均になる。しかし, 実際には両親の遺伝子型値の平均からずれる場合があり, この平均からの偏差が優性効果である。もし, ヘテロ接合体の遺伝子型値が親の遺伝子型値よりも小さい場合は部分優性, 親の遺伝子型値と同じ場合は完全優性, 親の遺伝子型値を越える場合は超優性という。サツマイモでは, 近親交配の自殖系統を用いた研究(坂井, 1964)から, いもの収量は非相加的效果の大きい形質, でん粉含量は相加的效果の大きな形質であることが明らかにされた。すなわち, いもの収量は自殖第1代における弱勢化の程度が強く現れ, その程度は自殖第2代でも変わらない。また, 自殖第1代において, 収量が親より多い個体の出現する例はほとんど見られなかったことから, 収量は遺伝子の非相加的效果(優性効果)による部分が多いとされた。一方, でん粉含量については, 自殖による弱勢化の程度が自殖第1代および第2代で少ない。また, でん粉含量に関する分離も正規分布に近く, 高でん粉系統の自殖第1代の分布は高でん粉側に偏ることから, でん粉含量は優性効果が少なく, 遺伝子の相加的效果が大きい形質と結論付けられた。高でん粉多収品種の育成は以上のような相加的效果と非相加的效果に基づいた育種法によって行われてきた。まず, 近親交配により相加的效果の高いでん粉含量などに関する遺伝子を集積した母本(近交系)を養成する。次に, 母本間の雑種第1代(F_1)で生育などがきわめて旺盛になる雑種強勢(ヘテロシス)を発現させるために, 組合せ能力(非相加的效果)の高い組合せを検出する。さらにそれらの組合せの種子を大量に採種し, でん粉含量と収量性の選抜を行う。一般に雑種強勢(ヘテロシス)は同一種内の遠縁同士の組合せほど強く現れる。逆に自殖や近親交配を繰り返した時, 生育や収量などが弱勢化することを近交弱勢という。母本の近親交配の程度を示す近交係数とサツマイモの収量の関係について, 吉田(1986)は近交係数がおおむね0.1以下であれば収量は低下せず, 0.2を超えると大幅に低下することを報告している。

3) キメラ chimera (吉永 優)

遺伝子の自然突然変異により, 同一個体内に異なる遺伝子型の細胞や組織が混在するものである。キメラの名称はギリシャ神話に登場する, 頭はライオン, 胴は羊, 尾が竜という怪獣のキマイラに由来する。本来, 緑色を示す葉の一部が白, 黄や赤のまだら模様になる斑入りや, 茎・芽に変異が生じる枝変わり(芽条変異)もキメラの一種で, サツマイモでは比較的良好に見かけられる。枝変わ

りの代表的な例としては、いもの皮色の一部が赤から黄白などに変化するもので、その次代では萌芽する場所によっては異なる皮色の個体が得られる。例えば「ベニアズマ」の皮色変異から選抜された黄白皮の「くりこがね」がある。肉色に見られる変異として、黄白から橙（「コガネセンガン」変異）、紫から黄白（「アヤムラサキ」変異）への変異がある。その他、蔓が短くなったり（「蔓無源氏」, 「矮性農林1号」）、長くなったり（「べにまさり」培養苗の変異）、頂葉色や葉の色が変化するものがある。

4) トランスポゾン transposon

(田中 勝)

転移性遺伝因子とも言われ、染色体DNA上のある位置から、他の位置へ移動（転移；transposition）することのできる遺伝因子の総称である。一般には、動く遺伝子という説明をされることもある。トランスポゾンはその内部構造と転移様式によってDNA型トランスポゾンとレトロトランスポゾン（retrotransposon）に大別される。DNA型トランスポゾンでは、染色体上のトランスポゾン配列が切り出され、DNA分子のままに他の位置に挿入されるが、レトロトランスポゾンではトランスポゾン配列が一度RNA中間体に転写された後、逆転写酵素（reverse transcriptase）の働きにより再びDNA分子となり、染色体上の他の位置に挿入される。

サツマイモの染色体上には、レトロトランスポゾンやDNA型トランスポゾンの一種であるMITE（miniature inverted-repeat transposable element）様の配列が見つまっている。特にレトロトランスポゾンについては、これまでに数十種類の配列の存在が報告されており、それぞれの配列も多コピー存在することが示唆されている¹⁾。レトロトランスポゾン的一种である*Rtsp-1*と*Lib*については、実際に染色体中で転移する能力（転移活性）を持つことが報告されており^{1,2)}、サツマイモの突然変異の一因であると考えられる。これら両因子の転移は培養細胞で認められるほか、*Lib*については茎頂培養の過程でも転移することが報告されている²⁾。このことは、組織培養苗において突然変異が発生する原因のひとつではないかと考えられる。

引用文献

1) Tahara, M. *et al.* 2004. *Mol. Genet. Genomics*, 272 : 116-127.

2) Yamashita, H. and Tahara, M. 2006. *Plant Mol. Biol.*, 61 : 79-94.

5) 栄養繁殖と種子繁殖 vegetative propagation, seed propagation

(吉永 優)

植物の繁殖様式で、栄養繁殖とは有性生殖を経る胚や種子による種子繁殖でなく、栄養器官すなわち、根、茎、葉などから次世代の植物体が成長するもの。一般に栄養繁殖作物は種子繁殖力が低く、高次倍数体であることが多い。栄養繁殖作物のサツマイモは同質6倍体で、塊根や茎で繁殖するが、開花すれば種子繁殖もできる。ただし、開花しにくいという、交配しても結実率が低い。多収で不良環境によく耐えるのも栄養繁殖作物の特性であり、サツマイモもこれにあてはまる。サツマイモの育種はその繁殖様式に基づいて行われており、育種の過程は交配による遺伝変異の拡大、交配して得た実生の個体選抜、選抜個体の栄養繁殖およびその特性評価からなる。サツマイモは、イネやムギなどの種子繁殖作物と異なり、交配して得た種子由来の実生を増殖、評価し、固定（後代で遺伝的な分離がないこと）の操作が必要ないため、育種法は比較的単純である。

(2) 育種 breeding

1) 育種目標 objectives of breeding

ア 形態的形質 morphological characters

(吉永 優)

皮色 skin color

白, 黄, 褐, 橙, 紅, 赤, 紫などの基本色および二次色として塊根の部分的な着色の有無や濃淡などを評価する。食用には鮮紅色や赤紫色の皮色が求められるため, 赤みの濃さや鮮やかさを重視して選抜を行う。主要品種の中で皮色が優れているのは「ベニアズマ」で, やや紫を帯びている。「高系 14 号」は本来鮮やかな皮色ではないが, 香川県で栽培されていた「坂出金時」(「高系 14 号」の短蔓変異) から自然突然変異を利用した選抜により, 皮色の優れた「土佐紅」が選抜され, その派生系統が現在でも各地で生産されている。でん粉原料用の育種では, 皮色が白または黄白のサツマイモが選抜されてきた。白または黄白の皮色はでん粉の白度が高くなり, また食用サツマイモとの区別もつきやすいことなどが理由である。皮色は主として遺伝子によって決定される形質であるが, 栽培条件によってもいくらか変化する。「高系 14 号」の皮色を改善するため, 皮色に及ぼす掘取時期, 土壌水分, 施肥法, 微量要素, 貯蔵条件などの影響が明らかにされている。また, 皮色はでん粉の蓄積に伴い色が濃くなるとされる。赤い皮色の食用品種が帯状粗皮病ウイルスに感染すると表皮の退色が目立ち品質が劣るため, ウイルスフリー苗の利用は皮色の改善に有効である。赤い皮色はペオニジンおよびシアニジンを基本骨格とするアントシアニンによるものであり, 塊根中のアントシアニンと同種類のものであるが, 組成は異なる。

形状・大きさ root shape, root size

いもの形状は紡錘形を基本とし, 長紡錘形や短紡錘形, 球形や塊形などがある。また, いもの基部や先端部が部分的に膨れる下膨れ, 肩張りがあり, それらを形状と組合せて品種・系統の特性評価を行う。食用では, 紡錘形で長さは太さの3~5倍, 毛穴が浅く表面が滑らかで, くびれ, 曲がりがない美しい形状が重視され, 短紡錘形は市場の評価が低い。原料用や加工用では, 紡錘形から短紡錘形で, 肥大が優れるものが望まれる。長紡錘形のいものはマルチ等の栽培条件により形状が長くなりやすく, 機械収穫の際にいもの先端を傷つけることがあるので, 選抜の際に留意する必要がある。育種でいもの大きさを評価する際は, 標準品種の「コガネセンガン」や「高系 14 号」を中とし, 大から小の5段階に区分する。市場ではL(200~300g程度)またはM(150~200g程度)サイズが望まれる。しかし, 近年, 家庭で取扱いやすいようにS(100~150g)からMサイズの小ぶりないものが求められるようになり, 小袋詰めにして販売されるケースが見受けられる。こうした新しい消費ニーズに対応して, 小さいものが多く着生する品種の開発が行われている。

肉色 flesh color

白, 淡黄白, 黄白, 淡黄, 黄, 橙, 紫などがあり, 主として遺伝子によって決定される形質である。食用では, 見た目の美しい黄色みの強い肉色が望ましく, 淡黄または黄色の「ベニアズマ」, 「べにまさり」, 「ベニコマチ」が優れている。「紅赤」, 「高系 14 号」, 「べにはるか」, 「クイックスイート」は黄白色で, 「ベニアズマ」などに比べると黄色みがやや少ない。育種では蒸しいもの肉色を

肉眼判定し、食用では黄白から黄色の系統を選抜している。また、食用や加工用では調理後黒変による肉色の品質低下が問題になるため、蒸しいもの輪切りを一晩放置した後、調理後黒変の程度を調査して黒変の少ない系統を選抜している。なお、調理後黒変はポリフェノールと3価の鉄イオンとの非酵素的な結合による黑色物質の形成によるものであり、遊離アミノ酸と反応することにより緑色を呈する場合がある。肉色の黄色は β -カロテンとその関連物質、橙色は β -カロテン、紫はアントシアニンによるものである。

イ 生態的形質 ecological characters

多収性 high yielding ability

(片山健二)

より高い収量を上げる能力を示す。多収性はすべての用途の品種で求められる育種目標である。特に原料用品種では、最も重要な育種目標のひとつであり、単位面積当りのでん粉収量の向上が最重要視される。しかし、塊根の収量とでん粉歩留との間には負の相関関係があり、両者がともに高い高でん粉多収品種を育成するために、これまで多くの研究が行われてきた。サツマイモの塊根収量は、近親交配による弱勢化の程度が大きく、主として遺伝子の非相加的効果により発現するとされており、ヘテロシス（雑種強勢）効果が期待されることから、組合せ能力について選抜を行うとともに、組合せの近交係数をできるだけ低くした他系交配を行うことが有効であると考えられている。一方、でん粉歩留は、主として微動遺伝子の相加的効果により発現するとされており、近親交配を行いながら高でん粉系統の選抜を繰り返すことによって優良遺伝子の集積を進めることが有効であると考えられている。そこで、高でん粉多収品種を育成するためには、近親交配下ででん粉歩留について選抜を重ね、でん粉歩留の高い近交系母本を育成し、近交弱勢による塊根収量の低下をヘテロシス効果で回復させるために、組合せ能力の高い近交系母本間の他系交配を行う方法が有効であると提案された。実際にこうした考え方にに基づき、組合せ能力検定試験から選抜された多収の「コガネセンガン」や「シロユタカ」が育成された。また、塊根収量は収量構成要素から見ると、単位面積当りのいも数と平均のいも1個重の積であり、これら両者の間にも負の相関関係があるが、収量向上のためには両者ともに多い品種が望まれる。また、物質生産の面から見ると、塊根収量は光合成を行う地上部のソース能力と光合成産物を蓄積する地下部のシンク能力の大小によって左右される。地上部が適度に繁茂してソース能力を十分に発揮するとともに、地上部から地下部への光合成産物の転流が円滑に進み、地下部が肥大しやすいシンク能力の高い品種が多収性を示すと考えられる。多収性にはこのほかにも病虫害や環境ストレスなど収量を低下させる要因に対する抵抗性などの形質も関わっており、収量性を向上するためには、品種の総合的な能力を改良していくことが重要である。

切干歩合・乾物率 dry matter content

(片山健二)

生いもの乾物率を示す。測定は、上いもを約2kg取り、水洗して水分を拭き取り、細断機で千切りとし、混合して100gを2点計り取り、80℃で予備乾燥後105℃で6時間通風乾燥し、乾物重を秤量する。育種目標としては、用途によりその改良方向が異なり、でん粉・焼酎原料用ではでん粉やアルコールの収率を上げるために高い切干歩合の品種が、色素用やジュース用では汁液の絞りやすさから低い切干歩合の品種が求められる。また、食用では切干歩合が高いと肉質が粉質になり、

低いと粘質になる傾向が知られており、切干歩合 32～38%程度のものが食用として一般的である。生いもの切干にはでん粉、食物繊維、糖類などが含まれており、中でもでん粉の量が最も多い。切干歩合はでん粉歩留より測定が簡易なため、でん粉歩留の代りの指標としても用いられる。原料用品種では、高切干歩合は重要な育種目標であるが、でん粉歩留と内容が重複するため、でん粉歩留の項目で詳しく述べることにする。

でん粉歩留・でん粉含量 starch content

(片山健二)

生いものでん粉含量を示す。測定は、切干歩合測定用の千切り試料を 100～200g 取り、250～500ml の水を加えて、電動ミキサー（9,500～10,000 回転/分）で 90 秒間粉碎し、シャワー水で 200 メッシュ（網目 75 μ m）の篩に通して約 5 l の沈澱桶に流し込み、一夜放置後上澄液を捨てる。沈澱を風乾後 105 $^{\circ}$ C で 6 時間乾燥し、乾燥でん粉重を秤量する。育種目標としては、先述の切干歩合と同様で、でん粉・焼酎原料用では高いでん粉歩留が、色素用やジュース用では低いでん粉歩留が求められる。特にでん粉原料用品種では、最も重要な育種目標のひとつであり、これまで高でん粉品種の育成とそのための育種法に関する研究が行われてきた。でん粉歩留は、主として微動遺伝子の相加的効果により発現するとされており、高でん粉歩留の系統を育成するためには、近親交配を行いながら高でん粉系統の選抜を繰り返すことによって優良遺伝子の集積を進めることが有効であると考えられている。実際に、こうした考え方にに基づき、近親交配を用いて優良遺伝子を集積した高でん粉歩留の交配母本として「CS69136-2」, 「CS69136-33」, 「CS7279-19G」などの CS 系統が育成されており、それら母本間の交配からでん粉歩留が 27～30% と極高の原料用品種「ハイスターチ」が育成された。さらに「ハイスターチ」を交配母本として高でん粉・多収の「コナホマレ」や「ダイチノユメ」が育成されている。また、近年でん粉合成系の律速酵素が ADPG ピロホスホリラーゼ (ADPGppase) であることが明らかになり、サツマイモでも ADPGppase 活性とでん粉含量との間に正の相関が認められている。現在、分子生物学的手法を用いて ADPGppase 活性を高めることにより、高でん粉系統を作出しようとする研究が始まっており、今後の進展が期待される。

肉質（粉質・粘質）flesh texture (mealy type and sticky type)

(中村善行)

食物のおいしさに関わる品質特性には、味、香り、色、物理特性などがある。このうち、物理特性は“食感”、“舌触り”、“テクスチャ”などという言葉で言い表される。これらはいずれも食べる側からみた概念であり、これらに対応した食べられる側（すなわち、食物）の属性を表現する場合に、畜肉、果実、いも類などにおいて“肉質”という言葉が使われる。“肉”とは、でん粉、タンパク質、脂肪などが蓄積する内部組織のことを指し、畜肉（動物性食品）では“meat”、果実やいも類などの植物性食品では“flesh”という。いも類の肉質は、水気が多く、粘着性の高い“粘質；sticky, soggy”と、水気が少なく、粘着性の低い“粉質；mealy”とに大きく分けられる¹⁾。

いも類の肉質は、生塊根の特性ではなく加熱調理した塊根についての特性を指すが、両者にはある程度関連があり、でん粉含有率の高い生塊根を加熱調理すると粉質になりやすい²⁾ことが知られている。でん粉含有率は遺伝的特性に支配される傾向が強いことから、肉質はでん粉含有率を介して育種目標のひとつとなっているが、遺伝様式の詳細はよくわかっていない。また、同一の品種・系統の塊根であっても栽培年次や栽培地などで異なることも多い。貯蔵中に呼吸などのエネルギー

代謝に伴って、でん粉含量が減少するため、貯蔵後の塊根の肉質は粘質化するのが一般的であるが、その変化の様相も品種・系統によって異なる場合がある。例えば、収穫直後は粉質の傾向が強い「ベニアズマ」の肉質は貯蔵に伴って粘質化しやすく、出荷時期を変えることで肉質を調整するなどの工夫を行っている産地もある一方で、「高系14号」は比較的肉質の変化が少なく、越年出荷に適していると言われている。このような肉質変化の差異は貯蔵中のでん粉分解酵素（アミラーゼ、グルコシダーゼなど）の活性の違い等で説明されている³⁾。しかし、でん粉が分解されて多量の糖分が生成するにもかかわらず、肉質が粘質化しにくい系統なども報告されており、肉質の形成要因やその変化のメカニズムには未解明の部分も多く残されている。近年、ジャガイモの煮崩れに細胞の大きさや接着性が関与することや果実の肉質変化に細胞壁の分解が密接に関わっていることなどが明らかになりつつあり、サツマイモに関しても同様の視点から研究が進められている。

引用文献

- 1) 奈良省三. 1957. 三重大学学芸学部紀要. 77.
- 2) 庄司謙次郎. 1948. 甘藷加工法. 天然社.
- 3) 宮崎文史. 1993. 千葉県農業試験場特別報告. 第24号.

繊維 fiber

(中村善行)

食物繊維 (dietary fiber) の定義は分析技術の発展や人々の考え方によって時代とともに変化してきた。Trowell によって最初にこの言葉が定義付けられた当初は植物性多糖類とリグニン類とに限定されていたが、現在では、キチンなどの動物性多糖類も含めて“ヒトの消化酵素によって分解されにくい非でん粉性多糖類”という定義が最も広く受け入れられている。この定義に厳密に従うと、湿熱処理によって消化酵素の作用を受けにくい構造に変化した難消化性でん粉 (resistant starch) などは食物繊維には含まれないことになるが、この点は議論が分かれるところではある。被消化性の低い食物繊維は、エネルギー源や栄養素としての働きに乏しいことから、以前は単に食物に含まれる滓と見なす傾向が主流であったが、日本人の食生活が欧米化するに伴って、脂肪吸収の抑制や腸内細菌環境の正常化などの積極的な生理作用が注目され、現在では食品の重要な成分のひとつと捉えられるようになってきている。五訂食品標準成分表によれば、サツマイモ可食部における食物繊維の重量含有率は生塊根で約 2.3%、加熱調理した塊根 (蒸しいもや焼きいもなど) で約 3.6%、干しいもで約 5.9% と炊飯米 (1.0% 以下)、パン (約 2.0%)、ジャガイモ (1.8%~3.1%) など他のでん粉性食品に比べて高い。平均的なサイズの焼きいも (300g 程度) を 1 本食べることで食物繊維が約 10g 摂取でき、1 日の摂取基準の目標量の半分近くを達成できることになる。

食物繊維は水溶性画分と非水溶性 (不溶性) 画分とに分けられ、サツマイモ生塊根における各々の平均的な含有率はそれぞれ約 1.0%、約 2.2% である¹⁾。約 1,000 種の品種・系統について、近赤外分光分析法によって含量を推定した結果、両画分の含有率はおおの 0.39~2.2%、0.36~2.8% の範囲に分布していた²⁾。また、31 品種・系統の 4 年間にわたる栽培試験によると、両画分含有率の遺伝率 (広義) はそれぞれ約 0.75、約 0.55 と比較的高く³⁾、育種操作によって含有率の変異を誘導することが可能と考えられる。また、食物繊維の含有率はでん粉含有率とは負の相関を有する (相関係数は水溶性画分で約 -0.76、不溶性画分で約 -0.57) が、塊根収量とは明確な相関関係が認め

られないことから、収量性を犠牲にすることなく含有率を改変することができる³⁾とされている。

引用文献

- 1) 津久井亜紀夫. 1988. 日本家政学会誌, 39 : 89-97.
- 2) 田宮誠司ら. 2003. 作物研究成果情報. <http://www.naro.affrc.go.jp/top/seika/2003/nics/nic03008.html>
- 3) 田宮誠司ら. 1999. 育種学研究, 1 : 143-147.

食味 taste, palatability, eating quality

(中村善行)

サツマイモは食用作物であり、食味特性は重要な形質である。2007年現在、国内総消費量は約100万t、一人当たりの年間消費量は約4kgであるが、そのうち、青果用（焼きいも、蒸しいも等の形で家庭内消費向け）が約45%と最も多く、加工食品原料用も約10%で3番目に多い。主食（この概念自体が崩れつつあるが）やでん粉原料としての役割はかなり薄れており、良食味は青果用サツマイモの消費拡大にとって最重要な要件である¹⁾。

サツマイモの食味を左右する主な要因は加熱調理後の肉質と甘味である。肉質は、水分が少なく、ほくほくした食感の“粉質”と、水分が多く、しっとりとした（あるいは、ねっとりとした）食感の“粘質”とに大別される。青果用には従来、前者が好まれ、「ベニアズマ」や「高系14号」およびその派生系統が青果用市場出荷の多くを占めてきたが、近年、水分が多く、しっとりとした食感を支持する消費者嗜好の変化もうかがわれ、「ベニアズマ」や「高系14号」に比べて粘質な肉質を有する新品種（「べにまさり」、「べにはるか」など）が新たに青果用市場に登場している。甘みに関しては、サラダやジュース等への加工用途など一部の例外を除けば、一貫して高糖度が指向されている。「ベニアズマ」が東日本を中心に長年にわたって青果用品種の出荷量第1位を保っている背景にもその卓越した甘味特性があるといわれている。

食味は人間の五感すべてを使って判断される特性であり、最終的な判定は官能試験によらざるをえないが、十分に訓練され、経験も積んだ評価者の集団（パネル）による官能検査の結果は高い再現性を示すといわれている。一方、育種や栽培の研究などでは比較的短期間に多量の試料について食味判定を行わねばならない場面も多く、機器を使った簡易分析法の確立に対する要望が強い。甘味については、蒸煮塊根片磨砕液の糖度をBrix糖度計で測定する方法が汎用されている。この方法は溶液中の溶質濃度変化に応じた光の屈折に基づくもので、表示される数値（Brix%）は、20℃におけるショ糖の重量%を表すが、果実や野菜などにおいては甘さの尺度として利用されている。サツマイモにおいても、全糖含有率や食べた時に感じる甘さとBrix%との間には比較的高い相関があることが知られているが、糖含量が高い（Brix%が6%以上）「ベニアズマ」などの品種・系統のみのサンプル集団内では甘さとBrix%との間の食い違いも指摘されている。肉質に関しても、蒸煮塊根組織の力学的特性（粘弾性や凝集性など）に基づいた客観的な評価法の開発が試みられている。テンシプレッサーや人間の咀嚼動作をシミュレートしたテクスチュロメーターなどの機器を用いて炊飯米の食味特性を解析した研究などが参考になろう。

食味に対する栽培環境要因の影響に関してもさまざまな研究が行われており、多くの知見が得られている。高温、乾燥、リン酸の施用などの条件は塊根のでん粉含有率を高めて粉質になりやすい、窒素施肥量を増加にすると甘味に深く関わる酵素β-アミラーゼの活性が高まり、灰色黒ぼく土畑

では蒸煮塊根の糖度も高まること、などが報告されている。また、収穫後の貯蔵条件と食味との関係に関しても、低温で貯蔵すると甘味が増すことが知られている。

引用文献

1) 犬飼義明ら, 2007. 根の研究, 16 : 147-154.

早期肥大性 early thickening of storage roots (甲斐由美)

苗の植付後、短期間に塊根が肥大し収穫可能となる性質で、食用の早掘栽培用品種には特に必要とされる。また、近年いも焼酎の増産に伴い、焼酎工場の稼働開始時期が早くなっているため、焼酎原料用の品種にも早期肥大性が求められる傾向がある。

品種育成に当っては、標準栽培（5月中旬植付、10月中旬掘取）より栽培期間の短い早掘栽培試験（4月中旬植付、8月上旬掘取）を行い、収量性や品質を調査して適性を評価する。早期肥大性の品種には「コガネセンガン」、「ベニアズマ」、「べにまさり」、「高系14号」などがある。これらは標準栽培でも多収となるが、収穫が遅れるといもが大きくなり過ぎたり、条溝や曲がりが生じていもの形状が乱れることがあるため、適期に収穫するよう注意する必要がある。

早期肥大性の品種は生育後期に肥大性が低下することが多い。これに対して、肥大が始まるのは遅いが生育後期まで続き、生育期間が長くなるにつれて収量が増すものを晩期肥大性という。「紅赤」や「ジョイホワイト」、「アヤムラサキ」などは晩期肥大性の品種である。

耐肥性 tolerance to heavy manuring (甲斐由美)

サツマイモは養分吸収力が強く、やせた土地でもよく育つことが知られているが、適量の窒素施肥は地上部の生育を盛んにし、光合成による炭水化物の生産を増加させることでいもの収量を高める。普通栽培での適切な窒素施肥量は、土壌の種類や前作の違いによって多少異なるが、通常は10a当り3～6kgとされる。しかし、窒素施肥が過剰になると、地上部が繁茂しすぎていもの肥大が悪くなり、収量が大きく低下する現象、いわゆる“蔓ぼけ”が起こることがある。古くから各地域で作られていた在来のサツマイモ品種は全般的に蔓ぼけを起こしやすいが、試験研究機関等で人工交配によって育成された近年の品種は、施肥条件下で多収となるものが選抜されてきたことにより、蔓ぼけしにくい性質を持っているものが大半を占めている。一般に、この蔓ぼけしにくい性質を耐肥性という。現在も栽培されている品種のうちでは、「紅赤」や「農林1号」は耐肥性が低いので、これらを栽培するには圃場の状態や施肥管理に注意が必要である。また、粘質な土壌や湿潤な土壌では蔓ぼけが起こりやすいため、耐肥性の高い品種を選んで栽培することが望ましい。

萌芽性 sprouting ability (甲斐由美)

サツマイモでは、苗床に伏込んだ種いもから出芽させ、これをそのまま育てて苗として圃場に植付ける栽培法（挿苗栽培）が一般的である。よって、種いもからの萌芽の良否（萌芽性）は、サツマイモ栽培の難易に関わる重要な形質のひとつとなっている。育種に当っては、種いも萌芽開始の遅速、萌芽揃いの整否、苗の伸長の遅速および萌芽数の多少を観察し、これらを総合的に評価して萌芽性を判定している。

萌芽性が良いと、少ない種いもでも多くの苗を得ることができ、経済的であるほか、植付時期に幅をもたせることができるため、計画的な作付けに役立つ。しかし、萌芽性の良い品種には、掘取

時に地中ですでに萌芽している現象（圃場萌芽）や貯蔵中の萌芽が起こりやすいものがあり、外観品質に影響するため食用では特に問題となる。「べにまさり」も圃場萌芽を起こしやすい品種のひとつであり、産地では栽培条件等によって圃場萌芽の抑制が図られている。

また、「紅赤」などの萌芽性の劣る品種を栽培する場合は、種いもを伏込む前に適当な温度と湿度を与えてあらかじめ芽を出させておくという催芽処理を施すことで、育苗を容易にすることができる。

貯蔵性 storage ability

（甲斐由美）

熱帯原産の植物であるサツマイモは寒さに弱く、低温条件で貯蔵すると傷害を受け、表面の黒変や腐敗などが起こりやすい。また、高温で貯蔵すると萌芽や発根が促進されるため、貯蔵でん粉の消費や外観品質の低下を招く。乾燥条件にも弱く、湿度が低すぎると、いもの両端が萎れ、腐敗や変質を起こす。さらに、軟腐病や黒斑病など貯蔵中に腐敗を生じさせる病害もあるため、貯蔵のしやすさを表す“貯蔵性”は、実際に無加温の室内や貯蔵庫内でサツマイモを3～4か月間貯蔵した後、サツマイモの傷み具合によって総合的に判断する。サツマイモに最適の貯蔵条件は、温度が13～14℃、湿度が85～90%とされるが、「コガネセンガン」など傷みやすい品種では15℃程度のやや高めの方がいいとされる。

腐敗の有無だけでなく、食用や加工用の場合は、貯蔵により調理後のいもの肉質が粘質化するなどの変化も問題となり、「高系14号」のように貯蔵しても肉質があまり変わらない品種が望まれる。ただし、最近の消費者には、ホクホクした焼きいもだけでなく、しっとり柔らかく甘みが強い焼きいもも好まれる傾向があるため、貯蔵による肉質の変化が必ずしもマイナスであるとは言い切れない。

抵抗性品種・感受性品種

（甲斐由美）

resistant cultivar and susceptible cultivar to biotic or abiotic stresses

病害虫に対して、その被害を受けにくい品種を抵抗性品種、受けやすい品種を感受性品種という。植物の持つ抵抗性には、表皮組織などの構造やそこに含まれる抗菌性成分などによって病原菌などの植物組織への侵入を防ぐ“静的抵抗性”と、侵入時に働く抵抗反応である“動的抵抗性”とがある。動的な抵抗反応とは、病原菌などの侵入部位周辺の組織が速やかに壊死する“過敏感反応”などであり、病原微生物の侵入の進行を阻止する。抵抗反応は植物の持つ抵抗性遺伝子の働きにより起こるが、単一の遺伝子による“真正抵抗性”と複数の遺伝子が関わる“圃場抵抗性”とに大別される。植物の品種に対応する病原菌の生理的変異体（レース）が複数存在する場合、特定のレースに対して抵抗性を示すという品種特異的な真正抵抗性が成立するが、このような真正抵抗性を持つ抵抗性品種を続けて栽培すると、その品種が抵抗性を持たないレースが急激に増えたり、新しく現れたりすることで大きな被害をもたらすことがある。サツマイモでは、サツマイモネコブセンチュウについて、複数のレースが存在することがわかっており、主要なレースのすべてに抵抗性を示す品種も得られているが、続けて栽培することにより新たなレースが現れる可能性は否定できない。

病害抵抗性 disease resistance

(甲斐由美)

サツマイモの主要な病害には、立枯病、黒斑病、つる割病、黒あざ病や紫紋羽病などがあるが、これらのうち品種による抵抗性の差が明らかな立枯病、黒斑病、つる割病については、品種育成時に、病原菌の人工接種などの検定手法によって抵抗性を評価し、系統の選抜を行っている。この他、ウイルスによる病害もあり、特にサツマイモ斑紋モザイクウイルスの強毒系統が病原である帯状粗皮病は、退色や粗皮などの症状によっても外観を著しく損なうため、外観が特に重視される食用では、茎頂培養によってウイルスを除いたウイルスフリー苗の利用が一般的となっている。このウイルスに抵抗性を持つ系統は選抜されていないが、遺伝子組換えによって抵抗性を付与した系統は作出されている。また、このウイルスから分離された弱毒系統をあらかじめ接種することによって、抵抗性を持たせることも可能であるとされる。

害虫抵抗性 insect resistance

(甲斐由美)

サツマイモの茎葉や塊根を加害する主な害虫には、ナカジロシタバやハスモンヨトウなどの昆虫類と、サツマイモネコブセンチュウやミナミネグサレセンチュウなどの線虫類とがある。これらのうち、昆虫類の加害に対する抵抗性については、品種による差は明らかでなく、抵抗性品種も存在しない。しかし、線虫類の加害に対してはサツマイモの品種によって抵抗性に明らかな差があるため、品種育成に当っては、検定用に線虫を増殖した圃場を用いて抵抗性系統の選抜を行っている。よって、近年育成された品種の大部分は、サツマイモネコブセンチュウに強、ミナミネグサレセンチュウにやや強以上の抵抗性を示す。

立枯病抵抗性 resistance to soil rot

(甲斐由美)

発病すると根および地下部の茎が腐敗し、株が枯死することもある立枯病に対する抵抗性。品種により抵抗性に差があり、「高系 14 号」とその派生系統は弱く、「ベニアズマ」は比較的強いとされる。しかし、近年、千葉県において「ベニアズマ」のウイルスフリー系統の一部で立枯病抵抗性が低下したという報告もある。

抵抗性の検定は、立枯病が安定して発生する現地圃場に消石灰を散布し、マルチ被覆を行って地温を高め、立枯病の発病を促進した条件で行っている。挿苗から約 60 日後に掘取り、茎および塊根の病斑の発生程度、細根の根腐れ程度、地上部の生育状況を調査して総合的に判定する。また、千葉県や徳島県ではそれぞれ病原菌の接種などによる簡易検定法を開発し、検定を行っている。

主な品種の立枯病抵抗性程度は、「ベニアズマ」がやや強、「べにはるか」、「クイックスイート」が中程度、「ベニコマチ」がやや弱、「高系 14 号」、「パープルスイートロード」、「紅赤」が弱とされている。

つる割病抵抗性 resistance to stem rot

(甲斐由美)

発病すると株全体が萎れ、茎が縦に裂ける症状を示すつる割病に対する抵抗性。品種による抵抗性の差は明らかであり、品種育成に当っては、サツマイモ苗の切り口をつる割病菌の懸濁液に浸してから圃場に植付け、約 40 日後に掘取って茎に現れた症状（病徴）の程度により判定するという方法で抵抗性を検定している。主な品種の抵抗性は、「タムユタカ」が強、「クイックスイート」、「パープルスイートロード」、「べにはるか」はやや強、「高系 14 号」、「ベニアズマ」、「コガネセンガン」

はやや弱とされる。「べにまさり」は産地では「ベニアズマ」より弱いとされている。「紅赤」や「ベニコマチ」はつる割病に弱く、これらを栽培する場合には、植付前の苗をあらかじめ殺菌剤で処理する必要がある。

黒斑病抵抗性 resistance to black rot

(甲斐由美)

感染・発病したいもの表面に黒い斑点状の病斑が生じることから黒斑病と呼ばれる病害に対する抵抗性。品種による黒斑病抵抗性の差は明らかであり、過去には「クロシラズ」や「黒斑1号」などの抵抗性品種が育成されたが、現在普及はしていない。抵抗性の検定は、長崎県農林技術開発センターで行われており、サツマイモ苗に黒斑病の病原菌を接種して圃場で約5か月間栽培し、掘取後に茎といもの発病率を調査した結果と、いもに直接病原菌を接種して、生じた病斑面積を測定した結果とを総合して判定している。判定に当っては、あらかじめ黒斑病抵抗性の強弱が調べられている標準品種（抵抗性強の品種として「黒斑1号」、「農林1号」、中として「沖縄100号」、「農林2号」、やや弱として「高系14号」、弱として「コガネセンガン」）を基準として用いている。

標準品種以外の主な品種の黒斑病抵抗性は「シロユタカ」、「シロサツマ」、「タムユタカ」が強、「べにまさり」、「ムラサキマサリ」がやや強、「パープルスイートロード」、「クイックスイート」、「ジョイホワイト」、「アヤムラサキ」が中である。「ベニアズマ」や「ベニコマチ」は弱い。

サツマイモネコブセンチュウ抵抗性 resistance to southern root-knot nematode

(甲斐由美)

多種類の野菜や畑作物の根に寄生し、根にこぶを作り品質や収量を低下させる有害線虫であるサツマイモネコブセンチュウに対する抵抗性。サツマイモの品種による抵抗性の差異は明らかであり、抵抗性品種が育成されている。品種育成に当っては、前年に感受性品種「農林1号」またはハウセンカを栽培してサツマイモネコブセンチュウを増殖した検定用の圃場でサツマイモ系統を栽培し、線虫の侵入によって根に生じた根こぶや卵のう（線虫の卵のかたまり）を観察し、生成部位や数の多少などにより抵抗性を判定している。

抵抗性品種では、線虫の侵入後まもなく組織の過敏反応を起こし、線虫周辺の組織が壊死することや、根こぶの元になる巨大細胞を全く作らないか発達が悪く、根に侵入し寄生した線虫の発育を阻止することが知られている。

近年、サツマイモネコブセンチュウには、サツマイモの品種によって増殖率が異なる複数の個体群（レース）が存在することが明らかになり、地域によって優先レースが異なることもわかっている。したがって、品種登録の候補となる有望系統については各レースの線虫をそれぞれ用いた接種試験を行い、レース別に抵抗性を評価している。「ジェイレッド」は主要なレースのすべてに強い抵抗性を示し、その栽培によって圃場の線虫密度を低減することも可能である。

ミナミネグサレセンチュウ抵抗性 resistance to coffee root-lesion nematode

(甲斐由美)

サツマイモが加害を受けると、いもの表面に褐色の小さな斑点を生じ、進行するとこれらが融合して大きな病斑となり品質および収量を低下させるミナミネグサレセンチュウに対する抵抗性。サツマイモ品種による抵抗性の差異は明らかであり、抵抗性品種では、線虫の侵入により速やかにコルク層が発達し、侵入した線虫の発育や移動を阻害することが観察されている。品種育成に当っては、感受性品種である「農林2号」を前年に栽培しミナミネグサレセンチュウを増殖させた検定圃

場でサツマイモ系統を栽培し、掘取後に塊根表面の被害程度を観察して抵抗性を評価している。

主な品種のミナミネグサレセンチュウ抵抗性程度は、「タムユタカ」、「ムラサキマサリ」が強、「高系14号」、「ベニコマチ」、「べにはるか」、「シロユタカ」、「ダイチノユメ」、「ジョイホワイト」、「ジェイレッド」、「アヤコマチ」がやや強、「べにまさり」、「ときまさり」、「ハマコマチ」、「アヤムラサキ」、「ベニハヤト」が中、「紅赤」、「ベニアズマ」、「コガネセンガン」がやや弱である。

直播栽培適性 adaptability for direct planting

(境 哲文)

苗床から苗を採苗し圃場へ植付ける一般的な挿苗栽培に対し、種いもを直接圃場へ植付ける栽培法を直播栽培と称する。苗を養成する必要がなく、苗床や育苗に要する経費の削減や省力化が可能で、挿苗栽培との植付作業の分散化が図れるため大規模経営にも適し、植付後の耐旱性が挿苗栽培より優れ、屑小さいもが有効活用でき、機械化による作業の省力化が図れる、などの利点がある一方で、結薯位置が深くなり収穫時にいもを損傷しやすい、子いもの形状・大きさが不整となりやすい、保毒した種いもの使用が病害の蔓延をもたらす、鳥害・鼠害を受けやすい¹⁾、萌芽が不齊で初期生育量が小さいと雑草の繁茂を招く、などの問題点も抱えている。

直播栽培では種いもが再肥大した親いもや子いも、すなわち親いもの根が肥大した親根いも、蔓から伸びた不定根が肥大した蔓根いもの3種類が着生するが、親いもの比率が増すに従い収穫物の品質や子いも収量の低下をもたらすため、その再肥大程度が小さい品種の利用が望ましい。ただし、バイオマス利用、特にバイオエタノール用途などのように高い総いも収量が要求される場合、親いもの肥大性はそれほど問題とはならない。その他、直播用品種には、次年度の種いもとなる小さいもを着生すること、挿苗栽培より植付時期が早いので低温萌芽・伸長性を有することなどが求められる。特に、種いもの確保に当っては、親いもの肥大程度に前年の栽培履歴が影響することから²⁾、挿苗栽培による採種圃の設置などを含め、均質な種いもの生産について検討する必要がある。

直播栽培では、挿苗栽培との作業分散と収量向上の観点より、挿苗栽培よりも早い時期に播種することから、低温萌芽・伸長性の劣る品種では生育のばらつきによる減収や土中の種いも腐敗による欠株に留意する。また、種いも数量の確保や再肥大の抑制を目的に行われる種いも切断直播栽培では、切断部位による萌芽の遅速が生じるため、使用する品種の萌芽特性を把握しておく必要がある。

直播適性の高い品種として、すでにでん粉・飼料用の「ナエシラズ」、ジュース用のカロテン品種「ジェイレッド」、色素・醸造用のアントシアニン品種「ムラサキマサリ」が育成されているが、直播による栽培面積は限定的である。

引用文献

- 1) 秋田重男ら. 1962. 中国農試報, A8: 75-128.
- 2) 兎玉敏夫. 1962. 農事試研報, 1: 157-222.

けっしょ 結薯型 root type

(境 哲文)

サツマイモを直接畑へ植付ける直播栽培では、収穫時の地下部に種いもが再肥大した親いもと新規の子いも、すなわち親いもの根が肥大した親根いも、蔓から伸びた不定根が肥大した蔓根いもの3種類が着生する(図II-12)。いもの着生部位やその肥大程度から親いも型、親根いも型、蔓根い

も型あるいは親根いもと蔓根いもの両方をつける中間型などに分類される。種いもの再肥大は導管や第一期形成層の活動に始まり、内部分裂組織の発達によって引き起こされ、次いで子いもの順に肥大するが、親根いもおよび蔓根いもともに挿苗栽培したいもと同じ発達過程をたどる¹⁾。

親いもの肥大程度には品種間差が見られるが、現在の主要品種は挿苗栽培を前提として育成されているため種いものが再肥大しやすく、その多くは収穫物に占める親

いもの比率が高い親いも型に分類される。親いもと子いもの収量には高い負の相関関係が認められるが、親いもの肥大程度は同一品種でも個体、年次間差が大きいいため、親いも型品種ほど子いも収量が不安定となる。また、親いも肥大が小さい親根いも型と蔓根いも型では、子いもの数や肥大に親いもの素質が大きく影響する親根いも型より、収穫物の大部分を蔓根いもが占める蔓根いも型の収量性が安定している²⁾。ただし、結蒨型と総いも収量に明確な因果関係は認められない。

親いもには再肥大前後の新旧組織が共存し、また、肥大が旺盛な場合にはいもが裂開し組織のコルク化や腐敗、土砂の混入を招くため、でん粉歩留や白度が低く、加熱による加水でん粉の糊化特性も子いもあるいは挿苗栽培のいもとは異なる³⁾。同様に、紫サツマイモでも、親いもと子いもに含まれるアントシアニン含量やその成分組成が異なる。したがって、直播栽培用のサツマイモが備える結蒨型は、子いも収量および品質の変動要因である親いも肥大が小さい中間型や蔓根いも型が望ましいといえる。

直播用サツマイモの育種に当っては、親いも肥大性が小さい方向に劣性、蔓根いもの着生は非着生に対し部分優性を示すことから、片親に親いも肥大が小さく、蔓根いもを着生する交配母本の利用を進めれば、目的の結蒨型を備えた系統の開発は可能と考えられる²⁾。一方で、既存品種の親いも肥大を人為的に抑制し、結蒨型の改善による子いもの増収につなげようと、これまで直播曝光栽培法、種いも切断栽培法、小片播種法などが試みられてきたが、それぞれに解決すべき課題も多く、普及に至るまでの技術的な確立はいまだなされていない。

引用文献

- 1) 児玉敏夫. 1962. 農事試研報, 1: 157-222.
- 2) 小林 仁. 1972. 中国農試報, A21: 21-64.
- 3) 境 哲文ら. 2008. 日作紀, 77 (2): 310-311.

種子播き栽培 true seed cultivation

(吉永 優)

サツマイモの真正種子(種いも等も“たね”と呼ばれるが、真正種子とは植物学的な意味での種子)を畑に播く栽培方法。種いもを植付ける直播栽培より大幅な省力化が期待できるとして、1970年代から1990年代にかけて、種子播き栽培用品種の作出やその栽培技術に関する研究が九州農業



図II-12 直播栽培におけるいものつき方

試験場を中心に実施された。しかし、種子の発芽率、初期生育、収量性、いもの形状や品質の不均一性が課題として残り、研究は中止され、実用化には至っていない。将来、国産バイオ燃料向けなど飛躍的な低コスト生産を実現するため、種子播き栽培技術への注目が高まる可能性はある。種子播き栽培したサツマイモは、主に種子の直根が肥大し、側根は肥大しにくい。また、いもの形状は不整で、塊形のいものが出現しやすく、皮色のバラツキが大きい。挿苗栽培に比べて初期生育は劣り、生育後半からは地上部の生育は旺盛になるものの、T/R率(≒蔓/いも率)が挿苗栽培に比べて高く、同化産物の塊根への分配率が少ない生育パターンを示す。ポリマルチ栽培を行うと発芽率や収量性は改善されるが、収量性は挿苗栽培の80%程度である。種子播き栽培用品種を作出するためには、集団の開花結実性と収量性の両方を高める必要があるが、両形質間の相関は低いいため、同時に改良していくことが可能とされている。また、選抜母系内で、株当たり採種数、いも収量、切干歩合、ネコブセンチュウ抵抗性など重要形質間の相関も高くないため、それぞれの形質について選抜が可能であることが示された。そこで種子播き栽培用品種の育種法として、まず、自然開花する基本集団の任意交配により開花結実性の向上を図りつつ、母系別に種子を採種する。翌年その種子の一部を用いて収量性や切干歩合などを調査し、母系の一般組合せ能力を評価して優良母系を選抜する。その後、優良母系間の相互交配を行い、同様な母系選抜を繰り返して基本集団の能力を向上させる。こうした後代検定付き循環選抜法が集団の改良に有効であるとされている。

ウ 用途別形質 characters for each purpose

加工適性 processing suitability

(吉永 優)

サツマイモの加工用途は、焼きいも、蒸切干(干しいも)、かりんとうなどの油菓子、ペーストやパウダー、食用色素、ジュース、焼酎、醸造酒など多岐にわたる。そうした各加工用途に対する品種・系統の適性を加工適性という。加工適性を正確に評価するためには、加工品を実際に作成し、加工時の作業性、歩留や製品の品質などを調査しなければならない。しかし、系統選抜の段階では、個々の加工品の作成には多大な労力を要するため、加工適性の指標となる品質成分、すなわち、切干歩合、でん粉歩留、蒸しいもの食味、調理後黒変、色素含量などを調査して加工適性に関する系統選抜を実施している。また、蒸切干、パウダーやペーストなどの加工用については、実際に加工品を試作し、製品色や食味などを詳しく評価する。さらに有望系統については、実需者と連携して各種加工品の試作を行い、より客観的な加工適性を把握している。特に財団法人いも類振興会が事務局となるカンショ品質評価研究会において、品種になる前の九州および関東番号系統などについて、蒸切干、焼きいも、ペースト、油菓子など用途ごとに実需者が製品を試作し、品種化やその後の普及に必要な客観的データを育成地に提供している。加工適性の例をあげると、蒸切干については、製品歩留、蒸切干の色や食味が優れ、シロタと呼ばれる白くて硬い部分が生じないものが望ましい。焼きいもについては、いもの形状や大きさの揃いが良く加工しやすいこと、食味は、ほくほく感としっとり感のバランスの取れたものが求められる。油菓子用には、製品歩留が高く、加工しやすい形状を持ち、製品の味が良いことに加え、加工時の変色がなく、製品の仕上がりが美しいことが必要である。また、ペーストやパウダー用には、紫、橙色や黄色の肉色が鮮やかで変色が少ないこと、繊維が少ないこと、でん粉歩留が高いことがあげられる。色素用には、アントシアニンの

含量が高いこと、耐光性や耐熱性が優れた色素を持つことがあげられる。ジュース用には低でん粉で搾汁率が高いこと、飲料の変色が少ないことが求められる。アルコール原料用には、高でん粉、多収でいもの外観がよく、貯蔵性が優れること、香味が優れた焼酎や醸造酒ができることが重要である。

成分育種 genetic improvement for ingredient components (甲斐由美)

成分育種とは、作物の一般的な育種目標である多収や良食味といった総合的な特性の改良を図るだけでなく、作物に含まれる特定の成分に着目し、その含量や品質の改変を目的として交配・選抜などを行うことである。サツマイモのでん粉原料用の品種では、高でん粉収量を得ることが目標であるため、塊根中のでん粉含量の向上を目指して育種が進められた結果、画期的な品種として育成されたのが「コガネセンガン」である。さらにでん粉の量だけでなく質を改変した品種として、通常の品種より低い温度で糊化する（のり状になる）という、低温糊化性のでん粉を持つ「クイックスイート」も育成されている。加工用では、企業との共同研究の成果として、塊根中のアントシアニン色素含量を飛躍的に高めた品種「アヤムラサキ」が育成されている。また、塊根中のβ-カロテン含量の高い品種として「ベニハヤト」、「サニーレッド」、「ジェイレッド」が育成され、利用されている。この他、でん粉製造時の副産物として回収できる糖化酵素β-アミラーゼの活性が高い系統やタンパク質含量が高い系統なども選抜されている。茎葉利用については、抗酸化能などの機能性を持つポリフェノール類の含量を高める目的で、高ポリフェノール系統を親にした交配および選抜を行っている。

地上部利用 utilization of top (甲斐由美)

サツマイモは、地下部（塊根）だけでなく地上部（葉・茎・葉柄）も、食用、加工原料用、飼料用、観賞用などさまざまな用途で利用することができる。食用では、葉柄の食味が良い「エレガントサマー」や葉柄および葉の食味が優れる「すいおう」など地上部利用専用の品種も育成されている。サツマイモの茎葉は暑さに強く、葉の栄養価もハウレンソウを上回るほど高いので、夏の葉野菜として有用であり、沖縄などでは古くからサツマイモ茎葉を食用として利用している。また、ポリフェノール類などの機能性成分を豊富に含むことも明らかにされ、青汁などの健康補助食品の原料となっているほか、洋菓子の原料としても一部で用いられている。豚や牛などの家畜の飼料用として以前は盛んに利用され、1981年には地上部利用専用の飼料用品種「ツルセンガン」が育成されたが、畜産農家が省力化のために購入飼料を多く利用するようになったことなどから、最近では飼料用としての地上部利用は減少している。しかし、豚にサツマイモ茎葉を含む飼料を与えることで、夏の暑熱環境下における肉質の低下を軽減できることが明らかにされ、今後の利用が期待される。このほか、葉の形が切れ葉であったり、葉色が黄色や紫色であるなどの特徴を持つものが観賞用の品種として登録され、夏の暑さに強い園芸用素材として利用されている。

2) 育種法 breeding method

ア 交雑育種法 cross breeding method (片山健二)

異なった系統間の交雑により作成した雑種集団から育種目標にあった後代を選抜して品種を育成する育種法。交雑により両親の持つ異なる優良形質を併せ持った雑種を選抜することができる

もに、雑種強勢を利用することにより収量性が両親よりも優れた雑種を選抜することも可能となる。サツマイモでは最も一般的に用いられる育種法のひとつである。サツマイモは栄養繁殖作物であり、日本のような温帯地域では自然開花はほとんどなく、種子もできにくい。そこで、交雑を行うためには人為的に開花を誘導する必要がある。現在、日本ではキダチアサガオを台木とし、サツマイモを高接ぎする方法を用いて開花を誘導している。サツマイモは種子の稔実性が低く、交配した1花に対して0.5～1粒の種子しかできないため、多量の交雑種子を得るためには、十分な交配花数が必要である。また、サツマイモは他殖性であるため、交配に際して除雄を行う必要はないが、交配不和合性を示し、一部には自殖性の系統が存在するので、交配を行う際には交配親の交配不和合群と自家和合性を検定し、交雑が可能な組合せを決定する必要がある。また、サツマイモは栄養繁殖性であるので、交雑により得られた雑種はそのまま栄養繁殖で固定・増殖しながら選抜を進めることが可能であり、種子繁殖作物のような固定の操作は必要ない。サツマイモは同質6倍体 ($2n = 90$) で他殖性のため、遺伝的にヘテロ性が高く、交雑した場合、 F_1 で遺伝形質が分離し、その分離は両親の形質の範囲を超える超越分離を示すことが多い。また、ほとんどの形質は量的遺伝形質のような分離を示すことから、育種により優良形質をひとつの品種に集積することは難しい。そこで、近親交配下で優良形質についての選抜を繰り返すことにより、優良形質を集積した近交系を育成するとともに、近交弱勢による塊根収量の低下をヘテロシス効果で回復させるために、組合せ能力の高い近交系母本間の他系交配を行う育種方法が有効であると提案されている。今後もサツマイモの品種改良における交雑育種法の重要性は変わらないが、育種の効果を高めるためには、交配母本として未利用の遺伝資源を探索・活用することや、交雑以外の育種手法で得られた材料などを利用することも必要である。

イ 突然変異育種法 mutation breeding method

(片山健二)

突然変異によって生じた優良個体または集団を選抜して品種を育成する育種法。突然変異には自然突然変異と人為突然変異があり、人為突然変異は放射線や化学物質などの突然変異原を使用して人為的に誘発した突然変異である。突然変異育種には、既存の遺伝資源にない新しい形質を獲得できたり、原品種の特性を大きく変えることなく特定の形質だけを改変できるなどの利点がある。一方では、有用形質の突然変異率が低いため大規模な試験が必要になることや、突然変異遺伝子は劣性がほとんどなのでサツマイモのような高次倍数性作物では突然変異形質が表現型として現れにくいといった欠点もある。サツマイモでは、自然突然変異である芽条変異（枝変わり）を選抜して品種となった例がいくつかあり、その中でも「紅赤」は食味が優れることから、発見後100年以上過ぎた現在でも食用品種として栽培されている。サツマイモで初めて人為突然変異の誘発について報告したのはMiller (1935) で、その後多くの研究が行われ、塊根、幼苗、種子に対する β 線、 γ 線、X線、速中性子、エチレンイミン (EI)、エチルメタンサルフォネート (EMS) の適性線量・濃度がそれぞれ提案されている。これまで突然変異誘発処理により変化が報告された形質には、草型、葉色、莖長、莖の太さ、節間数、莖色、塊根の皮色、肉色、肉質などがあり、切干歩合、全糖含量、塊根収量などの農業形質についても突然変異誘発処理による変異の拡大効果が認められている。これまで人為突然変異を利用してサツマイモの新品種が育成された例はないが、近年イオンビームの

ような新しい突然変異原が開発されており、今後の研究の進展が期待される。

ウ 任意交配育種法 breeding method by random mating (吉永 優)

ハンソンにより提案された自殖性作物の育種法で、アメリカ農務省のアルフレッド・ジョーンズが1965年にサツマイモへの適用を提唱した。他殖性作物であるサツマイモの露地開花性集団を利用し、虫媒による放任授粉によって集団内個体間の任意交配を繰り返し、遺伝子群の組換えを積極的に起こしてこれまでにないような新しい遺伝子型を持った品種を育成しようとする育種法。ジョーンズの提案は、まず、4から20の交配母本を選定し、それらの母本から等量の自然交雑種子を採種し、混合して第1世代を作成する。第2世代以降は隔離された条件下で虫媒による任意交配集団として世代を重ね、無選抜で経過する。その際、各世代500個体からなる集団を基本とし、500個体の各個体から等量の種子を混合して次世代の集団とする。第5世代以降は育種目標に沿って優良個体を選抜し、材料を育種事業に組入れる。この育種法の長所として、①染色体の組換えを促すことで複数の遺伝子座間の相互作用により生じる遺伝効果(エピスタシス効果)が期待できる、②世代を進めることにより、容易に集団の遺伝的な改良が可能で、従来の単交配の F_1 では期待できなかった個体の選抜が可能になる、③人工交配や無選抜の世代では記帳の必要がないので、省力かつ低コスト、などがあげられる。ただし、短所として、①無選抜の任意交配の世代を要するため、育種年数が長くなる、②広い圃場面積を要する、③個体ごとに区分して採種する必要があること、などがあげられる。日本でも1968年から任意交配育種法の有効性が中国農業試験場で検証され、育成系統や遺伝資源の中から遺伝変異の拡大、交配不和合群、近交弱勢の回避などに留意して30品種・系統を選び(D集団と呼ぶ)、ジョーンズから導入した任意交配集団(J集団と呼ぶ)との任意交配を行い、第1世代としてDJ-1集団を作成した。このDJ集団について任意交配を繰り返したところ、でん粉歩留と収量など、形質間の相関が低くなり、本育種法が適用できることが示された¹⁾。一方で、無選抜を繰り返す過程で集団内の優良遺伝子が減ったり、劣悪遺伝子が増えたりする可能性もあることから、任意交配育種法を改良して、集団選抜法と組み合わせる方法が提案されている。なおDJ集団は九州農業試験場で種子播き栽培用品種の作出のために利用された。本育種法はアメリカなど海外で用いられている。

引用文献

1) 四方俊一. 1980. 中国農試報, A28: 1-48.

エ 循環選抜育種法 recurrent selection (吉永 優)

任意交配育種法を発展させ、雑種集団において育種目標の形質が優れた個体の選抜とそれらの相互交配を行い、その雑種種子を一緒にして次代の選抜集団とする操作を繰り返し行い、段階的に集団内の遺伝的構成を改良する育種法。1920年代からトウモロコシの油糧成分の育種に利用され、主に牧草、アブラナ科作物やトウモロコシなどの他殖性作物の育種に用いられるが、自殖作物にも適用されることがある。サツマイモでは育成品種の近縁係数が大きくなり、「コガネセンガン」と「高系14号」の2品種を超える多収性の品種の選抜が困難になってきたことを背景にして本育種法が注目され、1981年から育種事業に取入れられた。具体的には、まず、交配不和合群を考慮して国内系統と国外系統(Yenコレクションを含む)をそれぞれ10~20品種選び、国内と国外系統の

グループごとに多交配を行い、各親品種（母系）ごとに採種して、2つの基本集団を作成する。2年目に採種した種子を播種し、いもの外観や収量性などを評価して、各母系由来の10～20系統、全体で100～200個体を選抜する。3年目に前年度選抜された100～200系統について、一部の塊根を母株にして多交配を行い、1系統200粒の交配種子を採種する。同時に育成地では、選抜系統について生産力検定試験を行い、収量性や切干歩合の高い系統を母系ごとに5～10系統、全体で50～100系統に絞り込む。4年目には、前年に多交配した種子から前年育成地で選抜した系統を母株にして採種した種子を選び出し、各系統200粒、全体で10,000～20,000粒の種子を播種し、2年目と同じように系統選抜を行う。以降、同じような操作を繰り返し、母系選抜によって希望型への遺伝子の集積を図る。こうして2～3世代の母系選抜により優良な希望型が作られた後は、2つの集団の優良な希望型間で交配を行い、その実生集団からヘテロシスの大きな希望型を選抜する。本育種法は種子播き栽培用サツマイモの育種法にも使われた。

オ 分系育種法 selection of elite clones

(吉永 優)

サツマイモの交雑育種法が本格的に行われる前の大正時代から戦前にかけて、沖縄、愛媛、埼玉など各地の農事試験場で行われた育種法で、当時、比較的広範囲に分布していた芽条変異、実生苗や導入品種などに由来する在来品種を一か所に集めて、それらの特性を詳しく調査し、その中から地域の気象条件等にあった最も優れた系統（生態型）を選抜するもの。この育種法により埼玉では「太白」から「太白埼1号」（1918）、「花魁」から「花魁埼1号」（1919）、愛媛では「元気」から「元気218」（1919）が選抜された。沖縄でも「真栄里30号」、「佐久川22号」、「長浜17号」、「羽地台湾7号」、「暗川3号」などが選抜された。1930年に千葉では全国から集めた「紅赤」から「紅赤31号」が、1932年に愛知では「源氏」から「愛知紅赤」が選抜された。本育種法は、交雑育種のように遺伝子の組合せを変えて全く新しい品種を育成するというものではないが、選抜された優良系統は在来種に替えて新品种として普及に移され、大正から昭和の初期にかけてサツマイモ作の発展に大きく貢献した。沖縄では自然実生の混合による品種の劣化が見られたが、この育種法によってこれを防ぐことができた。

カ 種間交雑法 inter-specific hybridization

(吉永 優)

サツマイモと近縁な野生種の遺伝的な多様性に着目し、それを交雑によりサツマイモへ導入して遺伝子源を拡大しようとする育種法。1957年以降、中南米からサツマイモの近縁野生種が相次いで導入され、大学を中心に種の同定やサツマイモとの交雑親和性などの基礎研究が行われた。それと並行して九州農業試験場において野生種の育種利用が進められ、1975年には野生種利用の第1号品種としてでん粉原料用品種「ミナミユタカ」が育成された。「ミナミユタカ」は6倍体野生種（*Ipomoea trifida* 6x, K123-11）とアメリカ品種「L-45」のF₁に2回サツマイモを戻し交雑してできた品種で、センチュウ抵抗性や貯蔵性に優れている。サツマイモと交雑可能な野生種には6倍体のほか、2倍体や4倍体などが含まれる。これら *Ipomoea trifida* の原系統や種間雑種の評価から、サツマイモ育種に有効な野生種の特性として黒斑病、フザリウム菌による根腐病、ネコブおよびネグサレセンチュウ、アリモドキゾウムシなどの病害虫抵抗性のほか、乾燥耐性、貯蔵性やでん粉含量などへの寄与があげられている。

キ 芽条変異の利用 bud mutation

(吉永 優)

芽条変異(枝変わり)は自然突然変異で、原品種に比べて蔓が短くなったり、いもの皮色が変化したりする現象で、国や県による組織的な育種が開始される前、農家などが芽条変異を発見し、新品種として栽培した。代表的な品種は1898(明治31)年に生まれた「紅赤」であり、埼玉県の豊職人の妻、山田いちが「八房」から、いもの皮色が鮮やかで形や味も優れていたものを発見した。「紅赤」は「金時」とも呼ばれ、現在でも埼玉県の特産品として栽培され続けている。1907(明治40)年には、鹿児島県垂水市の中馬磯助が「源氏」に比べて極端に蔓が短くなった「蔓無源氏」を発見した。蔓が短いことは当時行われていた蔓返しという作業が不要になるという点で農家に多大な恩恵をもたらした。本品種は昭和初期頃まで南九州の主要品種として栽培された。この他にも芽条変異により、「立四十日」、「立鹿児島」、「紅農林」などが多くの品種が発見された。現在も栽培されている「土佐紅」や「ことぶき」などは「高系14号」から皮色が濃いものを選抜した系統であり、微少な芽条変異を利用したものといえる。

ク 近交系の利用 inbred lines

(吉永 優)

自殖または兄弟交配(sib-cross)などの近親交配によって、遺伝子の相加的効果の高いでん粉歩留などの優良遺伝子を集積し、実用品種として必要な特性について組合せ能力の高い近交系(inbred lines)を養成する育種法。本来、自殖して選抜を繰り返すことが最も有効であるが、基本的に他殖性を示すサツマイモでは難しい。サツマイモ品種の約10%程度は自家和合性を示すとされており、その中でかなり和合性の高い品種については自殖系が作出できる。それ以外の品種については兄弟交配などを利用して遺伝子を集積を図る。サツマイモにおいて近交系の利用を行う場合の問題は、近交弱勢による花器の退化や稔性の低下である。例えば兄弟交配1世代目ですでに葯などの花器に異常が現れ、2世代目には異常を示す花が30%に達するとの報告がある。また、花粉の数も減少し、異常花粉の割合が高くなり稔実率は低下する。ただし、稔実率の減少程度は系統間で異なることが明らかになっており、兄弟交配の初期世代から稔性について選抜することにより、兄弟交配第2世代までは高い稔性を維持でき、実用的な採種には問題がないとされている。本育種法は近交系の母本間でヘテロシス効果を利用するものであるが、その有効性については議論があり、近交弱勢によって低下した収量がヘテロシスによって回復しない場合がある、との報告がある。しかし、農業研究センターで開発された近交系母本のCS系統(Chiba sib-cross 系統)は「シロサツマ」や「ハイスターチ」など画期的な高でん粉品種の交配親になっており、近交系利用の成功例といえる。

ケ 在来品種の利用 local cultivars

(吉永 優)

大正時代以降、サツマイモで交雑育種が行われるようになると、交配母本に在来品種が多く使われた。「源氏」系の「元気」と「七福」の交配から「護国譜」や「農林1号」が育成された。また、「源氏」の芽条変異である「蔓無源氏」は「農林9号」の片親になっている。さらに「七福」と「潮洲」の交配からは「沖縄100号」が育成され、「太白(吉田)」と「沖縄100号」の交配からは「農林2号」、「農林4号」、「農林7号」、「農林10号」が出ている。このように在来品種は昭和初期の

優良品種の育成に大きく関わっている。その後も在来品種間の交配に由来する系統間の交配を中心に育種が進められたため、1970年代頃までに育成された品種の祖先に当る在来種を調べると、「七福」、「元氣」、「太白（吉田）」、「潮洲」、「紅皮」の5品種が中心になっており、これらの品種だけで全育成品種の80%以上の遺伝子源を構成するようになったとされる（坂井，1999）。1980年代なかばからアントシアニンを含む紫肉色のサツマイモの育種が開始されると、それらの交配母本に「山川紫」、「種子島紫」、「知覧紫」などの在来品種の相互交配や既存の多収品種との交配が盛んに行われた。

コ 外国品種の利用 foreign cultivars, exotic cultivars

（吉永 優）

交雑育種が開始された当初は、雑種強勢（ヘテロシス）の効果が高く、「沖繩100号」をはじめ、「農林1号」、「農林2号」や「高系14号」など多収の優良品種が数多く育成された。しかし、在来品種間やそれらに由来する系統間の交配による育種が進むと、近親交配の機会が多くなって近交弱勢が生じ、いもの外観や食味や病害虫抵抗性といった特定の形質の改良は進むものの、でん粉生産力が既存品種を大幅に上回る品種の育成は次第に困難になった。そこで、1956年以降、アメリカやアジア諸国などの外国品種が積極的に導入され、育種素材として利用された。1966年に育成された「コガネセンガン」は、アメリカ・ルイジアナ州立農業試験場が育種した「L-45（ペリカンプロセッサ）」が母本になり、インドネシアのチモール島の品種「T.No.3」の血も入った当時としては画期的な高でん粉多収品種である。橙肉でカロテンを含む加工用サツマイモの育種にも外国品種が深く関わっている。1985年に育成されたカロテン品種「ベニハヤト」は、1960年にアメリカ・ルイジアナで育成されたカロテン品種「センテナル」を母本にして育成され、片親の「九州66号」にも前出の「L-45」の血が入っている。また、「ヒタチレッド」はノースカロライナ州立大学が育成した「キャロメックス」と前出の「L-45」などの多交配に由来する。さらに高カロテン品種「ジェイレッド」と「ハマコマチ」の母本には1986年にフロリダから導入されたカロテン系統の「86J-6」が用いられた。なお、大正時代から昭和初期の沖繩交配時代に、黄肉色のアメリカ品種「サウザンクイン」や「ナンシーホール」などが交配母本に利用された。「高系14号」はこの「ナンシーホール」と「シヤム」の交配から選抜された。現在、多くの育成品種の祖先の中に外国品種の「サウザンクイン」や「ナンシーホール」が含まれている。

サ 分子育種 molecular breeding

（田中 勝）

分子育種とは植物の生理機能に関する分子レベルでの知見を利用し、有用遺伝子の導入により作物を改良することを指す。現在用いられている分子育種の主な手法として、有用遺伝子の人為的な導入、すなわち形質転換（遺伝子組換え）による方法と、DNAマーカーを用いた有用遺伝子の選抜による方法がある。

サツマイモでは、適用可能な品種は限られるものの、アグロバクテリウム¹⁾やエレクトロポレーション²⁾、遺伝子銃（パーティクルガン）を利用した形質転換法が開発されており、これらを用いた有用遺伝子の導入事例も報告されている。例えば、でん粉生合成に関与する酵素遺伝子の導入によるでん粉特性の改変¹⁾や、ウイルスの外被タンパク質遺伝子の導入によるウイルス抵抗性の付与²⁾、除草剤に対する耐性を持つ形質転換植物の作成などである。これまで、国内におけるサツマ

イモの形質転換植物に関する研究は、表現型や遺伝子発現の解析など基礎的な研究がほとんどであり、安全性評価など実用化に向けた研究例は少ない。

サツマイモの DNA マーカーに関しては、これまで RAPD（無作為増幅多型 DNA；randomly amplified polymorphic DNA）、AFLP（増幅断片長多型；amplified fragment length polymorphisms）、SSR（単純反復配列；simple sequence repeat）などのマーカーを利用した多型解析や染色体地図の作成が行われているものの、実際に有用遺伝子の選抜に利用可能な DNA マーカーは開発されていない。これは、サツマイモが自家不和合性を有する同質 6 倍体であり、有用形質の遺伝解析が困難であることが大きな原因である。近年、 F_1 集団を用いた量的形質遺伝子座（quantitative trait locus；QTL）の解析から、線虫抵抗性や乾物率、収量などに関連する QTL が同定され、各 QTL に連鎖する AFLP マーカーも報告されている³⁾。また、有用形質に関連する遺伝子の分子生物学的な手法による単離も進んでおり、これら遺伝子の配列を用いた DNA マーカーの開発も期待される。

参考文献

- 1) Otani, M. *et al.* 2007. Plant Cell. Rep., 26 : 1801-1807.
- 2) Okada, Y. *et al.* 2001. Theor. Appl. Genet., 103 : 743-751.
- 3) Cervantes-Flores, J. C. 2006. Dissertation. North Carolina State University.

3) 交雑育種の流れ cross breeding system

(境 哲文)

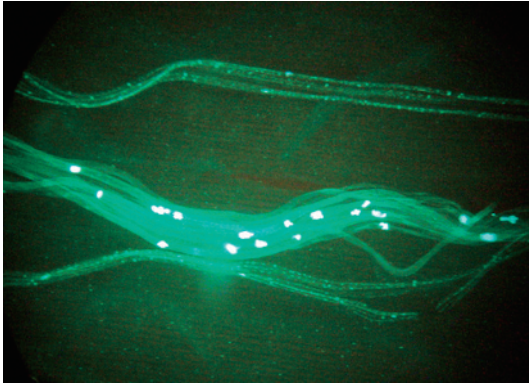
ア 交配・採種 cross and seed production

育種とは表現形質の変異拡大と選抜操作からなり、その目的形質が遺伝的変異であれば希望遺伝子型が容易に得られる手法として交配が一般的に用いられる。サツマイモは栄養繁殖作物であり、自家不和合性や自殖弱勢を示すため優良形質のホモ化は困難であるが、 F_1 以降、減数分裂から種子形成を経ずにクローンで増殖できるため、ヘテロシス（雑種強勢）の維持が容易である。ただし、変異拡大が F_1 でしか期待できないため、いかに F_1 採種を成功させるかが優良品種育成の鍵となる。交配に際して、稔実に影響する温室の温度管理以外に、特に重視されるのが開花数の確保と交配不和合群の検定作業である。

国内ではもともと熱帯性作物のサツマイモが自然開花することは沖縄を除きまれで、開花性も品種ごとに異なることから、利用できる交配母本に制限があった。そのため、さまざまな開花法が試みられ、現在では、開花誘導性の高いキダチアサガオ台木にサツマイモを接木する“キダチアサガオの高接ぎ法”で、安定した開花数を確保している¹⁾。

他殖性作物であるサツマイモは自殖弱勢を回避するため、同一グループ間では交雑できない 16 群にも及ぶ交配不和合群が存在する²⁾。不和合性には配偶体型と胞子体型が知られており、サツマイモは減数分裂前の胞子の遺伝子型に由来する胞子体型自家不和合性に分類されるが、不和合群が未知の遺伝資源を利用するにはまず不和合群の検定を行う必要がある。検定に際しては、主要な不和合群（A, B, C, D, E）に属する検定品種を用いて実際に交配を行い、簡易蛍光染色法にて柱頭における花粉管の伸長反応を検鏡することで不和合群の判定を行う（図 II-13, 表 II-2）。

サツマイモの交配は優良品種・系統間で行われるケースが多く、収量より食味や外観が重視され



図Ⅱ-13 受粉後に花柱内で観察される花粉管の伸長
(簡易蛍光染色法による)

表Ⅱ-2 交配不和合群の検定方法

供試 系統	検定品種										判定 結果	
	A		B		C		D		E			
	m	f	m	f	m	f	m	f	m	f		
被 検 定 系 統	系統 1	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	A
	系統 2	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	B
	系統 3	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+	BC ^m
	系統 4	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	A ^m E ^f
	系統 5	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	※

表中の m, f はそれぞれ花粉親と柱頭親を示し、検定品種の m の欄は被検定系統を花粉親として用いた時の検定結果である。例えば系統 3 (BC^m) は B 群に不和合で、さらにこれを花粉親とした時、C 群に不和合であることを示す。※はどの不和合群にも属さないことを表す。

引用文献

- 1) 藤瀬一馬. 1964. 九農試彙報, 9 : 123-246.
- 2) Nakanishi, T. and Kobayashi, M. 1979. Incompatibility Newsletter, 11 : 72-75.
- 3) 境 哲文ら. 2005. 日作紀, 74 (別 2) : 360-361.

イ 育種選抜試験 breeding experiment

1年目に得られた交配種子は、2年目に実生個体選抜試験、3年目に系統選抜予備試験、4年目に系統選抜試験、5年目に生産力検定予備試験、そして6年目には生産力検定試験および病虫害抵抗性検定試験(特性検定試験)に供試される。交配母本の選定に当っては、1955(昭和30)年頃より交配組合せ能力検定試験を実施し、一般組合せ能力と特定組合せ能力を評価する試みがなされたが、交配不和合群が存在するため試験の遂行には多大な労力を要した¹⁾。本試験は、育成系統全般の底上げに一定の役割を果たしたと判断され、1992(平成3)年をもって終了した。

る品種・系統で近親交配が進んでいる³⁾。また、近年は新規遺伝資源の活用が停滞しており、その再評価と交配による積極的な遺伝変異の拡大を図る必要がある。

現在、サツマイモの交配・採種作業は九州沖縄農業研究センター都城研究拠点(宮崎県都市)で一括して行われており、交配不和合群検定ののち春季と秋季の年2回実施される。得られた交配種子は、同じ研究拠点内のサツマイモ育種研究チームと作物研究所の食用サツマイモサブチーム(茨城県つくば市)に配付され、選抜・育種に供試される。2001～2007年における1年当りの九州沖縄農業研究センター向け交配組合せ数および採種粒数はそれぞれ201組合せ、58,000粒で、作物研究所は127組合せ、38,000粒となっている。

不和合群既知の検定品種と被検定系統間で正逆交配を行い、受粉後の柱頭反応をアニリンブルーで染色し検鏡する。花粉管が伸長すれば表に示すように“+”，しなければ“-”判定とし、すべての検定品種との交配結果から被検定系統が属する交配が不可能な系統同士のグループ、すなわち交配不和合群を判定する。

実生個体選抜試験は、サツマイモの交配種子（硬実種子）を濃硫酸で発芽促進処理し、苗床に播種することから始まる。一部の系統はサツマイモネコブセンチュウの増殖苗床に播種し、抵抗性の強弱を判定する。弱小苗は採苗時に廃棄し、圃場での生育競合を避けるため大苗、小苗を別にして本圃へ移植する。圃場選抜は結薯性、いもの肥大、外観および肉色をもとに株当たり1個の種いもを採種するが、成分特性など遺伝力の高い形質は株収穫を行い、冬期間に評価・選抜を行う。系統選抜予備試験では地下部の形状や揃いも加味して選抜し、系統選抜試験では苗床萌芽性、切干歩合、センチュウ抵抗性などの基本特性に加え、でん粉歩留、食味、色素成分など各種用途に応じた評価項目を設定し選抜を進める。生産力検定予備試験では地上部特性を調査し、他の品種・系統との識別性を明らかにするとともに、反復区を設け標準品種および参考品種と比較しながら収量性の評価を行う。次の生産力検定試験に供される有望系統には育成地を表す九系、作系、谷系番号を付し、各県の公立農業試験研究機関へ配付するとともに、品種として要求される特性を備えているかどうかの調査が行われる。そのため、いくつかの栽培体系あるいは環境条件を想定し、標準栽培試験のほか、長期栽培、早掘栽培、晩植栽培試験が10～14m²ほどの試験規模で2～3反復区を設け行われる。通常は3か年ほど実施されるが、この間、各都道府県で行われる系統適応性検定試験（系適）や奨励品種決定試験（奨決）および病虫害抵抗性検定試験（特性検定試験）を経て、その優秀性が確認された系統については品種化の手続きがとられる。

引用文献

1) 坂井建吉, 1967. 九州農試研究 15 年, 153-162. 九州農試, 福岡.

ウ 適応性検定 test of adaptability (地域適応性検定)

育成地でその優秀性が確認された系統は、各都道府県の公立農業試験研究機関等でその地域の環境条件に適応できるかの調査を行うため、系統適応性検定試験（系適）あるいは奨励品種決定試験（奨決）のいわゆる地域適応性検定試験に供試される。系適試験は気候・土壌などがその地域の栽培環境を代表する試験地で行われ、配付系統には育成地を示す九系、作系、谷系番号が付されている。系適試験地での評価は、近隣のサツマイモ生産県へ新たに系統配付を行う際や、配付系統の広域適応性を判断する上での重要な指標となる。また特性検定試験（特検）として、黒斑病について長崎県農林技術開発センター、立枯病について徳島県立農林水産総合技術支援センター農業研究所（2008年度まではサツマイモネコブセンチュウ抵抗性について静岡県農林技術研究所）において病害抵抗性検定試験が実施される。

系適および特検でその優秀性が確認された系統には地方番号、すなわち九州および関東番号が付され、より広範な都道府県で奨決が行われる。試験場内では県内での普及を想定したさまざまな試験がおよそ3か年行われ、さらに県内の数地点で現地試験が2か年ほど実施される。その間、生産者、普及関係者および実需者との連携をもとに県内での普及に向けた体制作りが進められる。

有望系統は品種登録され、真に普及性を有するものは農林水産省の審査会を経て、農林認定される。

Ⅱ章 2節の参考文献

- 坂井健吉. 1964. 九州農試彙報, 9: 247-397.
- 坂井健吉. 1999. ものと人間の文化史 90・さつまいも. 法政大学出版局.
- 吉田智彦. 1986. 育種学雑誌, 36: 409-415.
- 藤瀬一馬. 1983. 高エネルギー植物の研究－世界のいも類作物のエネルギー生産力調査－(2) サツマイモの収量性について. 114. 文部省.
- 農林水産技術情報協会. 1981. かんしょ種苗特性分類調査報告書. 49.
- 久木村久. 1983. 突然変異育種 Gamma Field Symposia, 20 別冊: 234-237.
- 四方俊一. 1980. 中国農業試験場報告 A (作物部), 28: 1-48.
- 小林 仁. 1984. サツマイモのきた道. 古今書院.
- 塩谷 格. 1994. 農業技術, 49: 406-411.
- 塩谷 格. 2006. サツマイモの遍歴・野生種から近代品種まで. 法政大学出版局.
- 片山健二・田宮誠司. 1994. 農業技術, 49: 503-507.
- 湯之上忠・広崎昭太. 1975. 九州農業試験場報告, 18: 1-41.

3節 いもの成分 chemical composition of storage roots

【節の概説】

(高畑康浩)

サツマイモの主成分は言うまでもなくでん粉である。そのため、食用・非食用を問わず、サツマイモ利用のあらゆる形態においてでん粉は食味や物性、加工適性に影響を及ぼす。本節“成分”においては、サツマイモでん粉の特徴を近年の研究成果を織り交ぜつつ、遊離糖類および細胞壁多糖類と併せて炭水化物として最初に取り上げる。

いも類であるサツマイモは、でん粉を主成分とする特徴を持つことはイネ・ムギ等の穀類と同様であるが、大きな違いは水分が多いことである。このことは貯蔵や流通面において不利となる面もあるものの、野菜的な優れた面を持ち合わせる。ミネラルやビタミン、ポリフェノールなどの含量・組成については穀類には見られない長所を持つ。特に、橙肉色品種における β -カロテンや紫肉色品種におけるアントシアニンについてはその色彩の鮮やかさからも各方面からの関心が高い。また、塊根に多量の β -アミラーゼを含むこともサツマイモの大きな特徴である。さらに、ここ数年徐々に注目を集めつつある茎葉成分についてもふれるべきであるが、これについては次節“機能性”で一括して取り上げる。

これら以外の成分においても興味深い研究結果が得られつつある。一例をあげれば、サツマイモの黄色成分はこれまではっきりとわかっていなかったが、近年の研究により水溶性のカロテノイドがその主成分であることが解明されつつある。これらその他の物質についても、現時点での知見を紹介する。

救荒作物であったサツマイモは今や宇宙食として期待されているほどである。その育てやすさと、茎葉部まで含めたその食材としてのパワーは計り知れない。サツマイモをよく知りその能力を日常の食生活に生かしていく上でも、本節がお役に立てれば幸いである。

(1) 炭水化物 carbohydrate

(高畑康浩)

乾物ベースではサツマイモの成分の9割以上が炭水化物であり、品種にもよるが、そのうち大半はでん粉、残りを細胞壁多糖や遊離糖類が占める。サツマイモでん粉は糖化用によく使われ、ほかに春雨や菓子類に一部利用されるのみで、でん粉としての目立った特徴が少ないと言われてきた。しかし、品種ごとのでん粉の違いなどの研究が詳細に行われるようになり、その結果を生かした活用法も開発されてきている。また、近年は低温糊化性でん粉や比較的低アミロースの品種・系統も作出されてきており、従来変異幅が少ないとされてきたサツマイモでん粉にも差別化の兆しが見られる。これら最近の知見も交えながらサツマイモでん粉について解説する。一方、遊離糖類は全体に占める含量は少ないもののサツマイモの食味に影響を及ぼす最大の要因であり、品種間差異や加工・貯蔵による変化などの研究蓄積は比較的多い。加熱調理の際にでん粉が分解されて生ずるマルトースも含めて述べる。でん粉・遊離糖類に比べて細胞壁多糖に関する研究例は少ないが、食物繊維の主要成分であり、現時点での知見を紹介する。

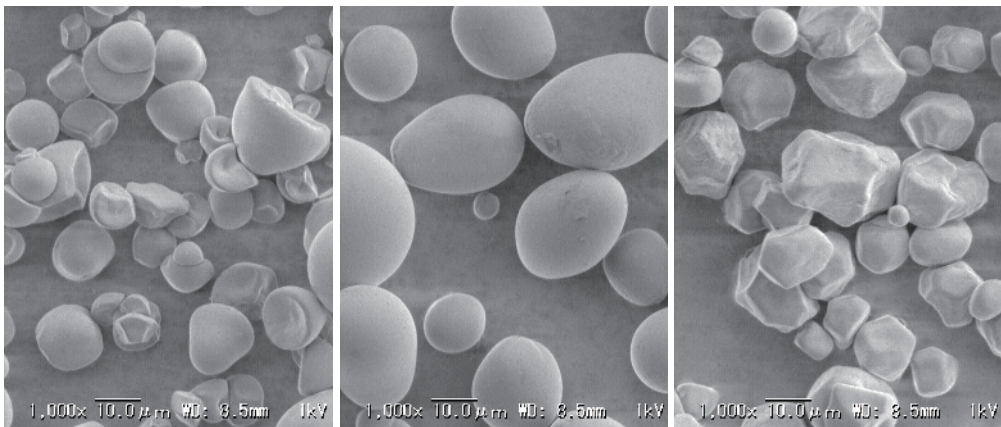
1) でん粉 starch

(北原兼文)

ア サツマイモでん粉の特徴 properties of sweetpotato starch

でん粉は植物種により固有の特性を持つ。一般に、穀類などの種子として地上にできるでん粉は、粒径が小さく、糊化温度が高く、糊化後の粘度が低いなどの特徴を持ち、一方、塊根または塊茎として地下にできるでん粉は、粒径が大きく、糊化温度が比較的 low、糊化後の粘度が高いなどの特徴を持つ。ここでは一般的なサツマイモでん粉の特徴について述べる。

サツマイモでん粉粒の形状は多面形やつりがね形をしたものが多く、粒径は2～40 μm 程度である(図II-14)。また、でん粉粒子は微結晶構造によって不溶性の顆粒を形成しており、サツマイモでん粉の結晶形はトウモロコシでん粉に代表されるA型結晶構造とジャガイモでん粉に代表されるB型結晶構造の混合型(C型結晶形)である。でん粉分子はブドウ糖が2種類の結合様式でつながった重合体で、構造的にあきらかに異なる2つの成分からなる。すなわち、主に α -1,4結合でつながった直鎖状のアミロース成分と、比較的短い α -1,4結合の直鎖単位鎖が α -1,6結合により高度に分岐したアミロペクチン成分から構成され、でん粉の特性は両成分の存在比率や分子構造により一義的に左右される。サツマイモでん粉のアミロース含量は、国内の品種で13.4～24.3%の範囲にある。サツマイモの伝播の観点からフィリピン産のサツマイモでん粉の多様性には興味を持たれるが、44種のフィリピン産サツマイモでん粉のアミロース含量は12.9～29.7%の範囲にあり、比較的高いアミロース含量のものも認められる。しかし、モチ種から高アミロース種が存在する穀類と比べると多様に乏しい。一方、アミロペクチンを構成する単位鎖の分布にも植物間で相違が認められ、図II-15には重合度6～36の範囲の単位鎖分布を示した。サツマイモでん粉では重合度6～10の短い単位鎖が多くなると糊化温度が低くなる¹⁾。また、でん粉にはリン酸基が含まれており、これらは主にアミロペクチンを構成するブドウ糖の6位または3位の水酸基に結合している。リンとしての含量は、ジャガイモでん粉で700ppm程度と高く、ウルチ種のトウモロコシでん粉で10ppm程度と低い。サツマイモでん粉のリン含量は100～220ppmの範囲にある。



サツマイモでん粉

ジャガイモでん粉

トウモロコシでん粉

図II-14 でん粉の走査電子顕微鏡写真(倍率1,000倍、バーの長さは10 μm)

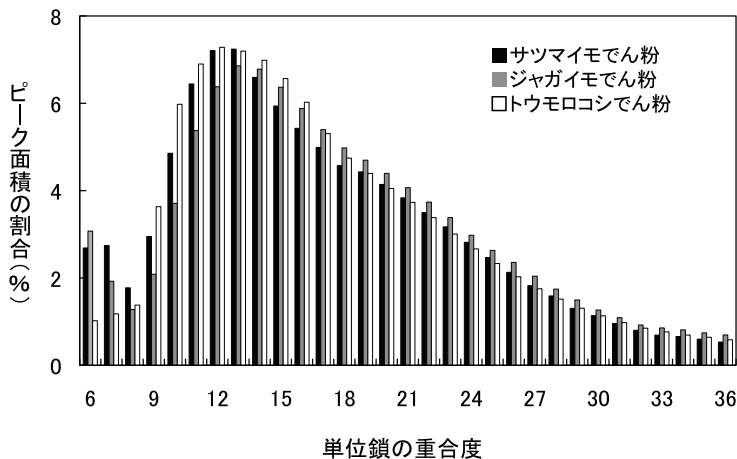


図 II-15 アミロペクチンを構成する単位鎖の分布
(ダイオネクス社製 HPAEC-PAD で測定)

なお、でん粉の特性は生育環境によってもいくらか異なってくる。サツマイモにおける環境要因とでん粉特性については総説¹⁾を参照されたい。また、サツマイモのアミロースとアミロペクチンの詳細な分子構造については成書²⁾を紹介する。

引用文献

- 1) 野田高弘. 2001. J. Appl. Glycosci, 48 : 233-238.
- 2) 椛作 進. 2003. 澱粉科学の事典, 11-38. 朝倉書店.

イ 糊化と老化 gelatinization and retrogradation of sweetpotato starch

でん粉を工業用や食品用として利用する場合はほとんどが糊化した後に利用するので糊化特性と老化特性は重要である。図 II-16 にはラピッドビスコアライザーで測定した7%でん粉懸濁液の粘度曲線を示す。一般のサツマイモでん粉の糊化開始温度や粘度、糊液の透明度は、ジャガイモでん粉とトウモロコシでん粉のものの中間値をとる。一方、糊化したでん粉分子が時間の経過とともに収縮する現象を老化と呼んでおり、例えばでん粉濃度が高い場合は、ゲル化の後、白濁や硬化、離水などの現象が現れる。一般にアミロース成分は老化を促進するので、モチ種のでん粉や比較的アミロース含量の低いキャッサバでん粉は老化が遅く、ウルチ種の穀類でん粉は老化が早い。また、モチ種でん粉やキャッサバでん粉はゲル形成能が弱い。サツマイモでん粉の老化性はジャガイモでん粉やクズでん粉のものと同程度で中間的な老化速度を示し、適度なゲル形成能を持つ。サツマイモの品種間でもでん粉の老化速度に相違があり、「ジョイホワイト」や「サツマスターチ」のでん粉は老化が遅い。その他の性質として、 α -アミラーゼ類を含むブタすい臓消化酵素（パンクレアチン）による生でん粉粒の消化性は、トウモロコシでん粉>サツマイモでん粉>ジャガイモでん粉の順で消化されやすい。

日本におけるサツマイモでん粉は、8割程度とほとんどが糖化用として利用されており、一部は希少でん粉であるくず粉やわらび粉の代替品として、くずきり、わらび餅、ごま豆腐などの食用に

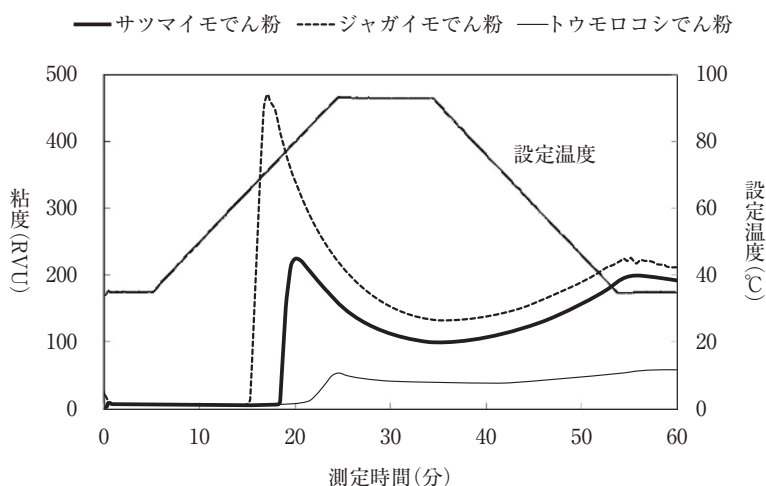


図 II-16 でん粉の粘度曲線
(7%でん粉濃度, ラピッドビスコアナライザーで測定)

利用されている。これらの食品では、サツマイモでん粉が適度にゲル化しやすく、その独特の軟らかさと歯切れの良いゲル特性を生かしたものである。

ウ 特殊なサツマイモでん粉 unique sweetpotato starches

これまでに特異なサツマイモでん粉に着目した研究も行われ、いくつかの興味深い特性を有するでん粉が見出されている。サツマイモスープやコロッケなどの調理用として選抜された系統の中に、アミロース含量が約11%の低アミロース性でん粉が見出されている¹⁾。また、高アミロース系統の選抜を目的としてサツマイモ野生近縁種に着目した研究もあり、アミロース含量が39%のでん粉が見出されている。

「九州127号」は蒸した後に高甘味を発現する系統として見出され、このでん粉は一般のサツマイモでん粉より低温で糊化することが明らかにされた¹⁾。その後、さらに低温糊化性のでん粉を有する系統「関東116号」(現品種名「クイックスイート」)が見出され²⁾、このでん粉は一般のサツマイモでん粉より20℃も低い温度で糊化する。低温糊化性のサツマイモでん粉は、一般のサツマイモでん粉に比べて、アミロペクチンを構成する短い単位鎖(重合度6~11)が多く、でん粉に結合しているリン酸基が28ppmと少ないことが構造上の特徴である。また、このでん粉は老化しにくく、酸や酵素に対して高い分解性を示すなどの利用特性³⁾を持っており、新しいサツマイモでん粉として期待が持たれている。

その他の特殊なサツマイモでん粉としては、葉で形成される同化でん粉や未分化な培養カルスに形成されるでん粉の研究がある¹⁾。さらに、石川県立大学の島田と大谷らは、遺伝子組換え技術を用いて積極的にでん粉の構造改変を試みており、サツマイモのモチ性でん粉や高アミロースでん粉が創製されている。

引用文献

- 1) 北原兼文. 2005. J. Appl. Glycosci., 52 : 45-50.

- 2) Katayama, K. *et al.* 2002. Starch, 54 : 51-57.
 3) Kitahara, K. *et al.* 2005. Starch, 57 : 473-479.

2) 遊離糖類 free saccharides

(中村善行)

ア 組成とその変化 composition and change

糖類 (saccharides) は、 $C_m (H_2O)_n$ の形で表される組成 (“炭水化物” と呼ばれるゆえん) を有し、植物体内で光合成により二酸化炭素と水とから作られる。その分子 (重) 量は百数十のものから数百万までさまざまであるが、でん粉や細胞壁多糖類などの多糖類と単糖およびオリゴ糖 (単糖が 2 ~ 10 個重合している) を合せた少糖類とに大別される。後者の中でタンパク質や脂質など、ほかの生体成分と結合していないものを遊離糖類 (free saccharides) と呼ぶことがある。

サツマイモ塊根に含まれる主な遊離糖類は、グルコース、フルクトース、スクロース、マルトースで、生塊根における重量当りの含有率は、品種・系統などによって異なるものの、おおむねグルコース 0.5 ~ 1%, フルクトース 0.5 ~ 1.0%, スクロース 2 ~ 5%, マルトース 0 ~ 0.02% である¹⁾。生塊根を加熱するとでん粉が糊化し、 β -アミラーゼの作用を受けてマルトースが大量に生成する。その含有率は現行の食用品種の大部分で 12% 前後であるが、中には 15% 以上に達する品種・系統もある。一方、マルトース以外の 3 種の遊離糖に関しては、フルクトースとスクロースとが多少増加し、それぞれ 1 ~ 2%, 3 ~ 5% に達するものの、マルトースに比べるとそれらの含有率は低い。これら遊離糖類の含量は、高速液体クロマトグラフィ (HPLC) を用いて個別一斉測定するのが現在では一般的であるが、搾汁液の Brix 糖度を屈折率糖度計で測定する簡易評価法も目的によっては有効である。また、含量に及ぼす栽培環境要因等の影響についても研究が行われており、スクロースはマルトースに比べて栽培年次による変動が大きい¹⁾ こと、マルトース含量は β -アミラーゼの熱安定性やでん粉の糊化特性と関連が深いこと²⁾、地温が低いとマルトース含量が高まる傾向があること、低地力土壌における窒素施肥量の増加によるマルトース含量の増加効果³⁾ などが報告されている。

引用文献

- 1) Takahata, Y. *et al.* 1992. Japan. J. Breed., 42 : 515-521.
 2) Takahata, Y. *et al.* 1994. J. Agric. Food Chem., 42 : 2564-2569.
 3) 柏木伸哉ら. 2007. 日作九支報, 73 : 47-51.

イ 遊離糖類とサツマイモの甘味 relationship between taste and free saccharides

加熱調理後のサツマイモに含まれる主な糖類はフルクトース、グルコース、スクロース、マルトースで、それらの含有率 (水分含有率で補正) と甘味度 (スクロースを基準に、それと同等の甘さを感じる濃度で比較する。グルコース、マルトースの 40°C における甘味度はそれぞれスクロースの 50 ~ 60%, 35 ~ 40% である) とを掛け合せた値は、甘味 (食味) の官能評価と高い相関を有することが報告されている¹⁾。また、マルトースの割合が多いと淡白な甘さを感じやすく、逆にスクロースが多い場合にはコクのある甘さを感じやすくなるとも言われている。西日本の代表的な青果用品種である「高系 14 号」やその派生系統はマルトースの占める割合が高く、東日本で人気の高い青果用品種の「ベニアズマ」はスクロースの割合が高いことが知られているが、類似の傾向がエ

ダマメの甘味嗜好性についても指摘されており、興味深い。

加熱調理過程での β -アミラーゼによるマルトース生成(糖化)はでん粉の糊化開始(通常の品種では65~75℃で開始すると考えられている)から酵素が熱失活するまで(75℃前後)の間で行われる²⁾ので、マルトース含量を高めるには、この時間を長くすることが重要である。電子レンジで加熱したいものが、石焼きいもなどと比べて甘味が少ないと感じられるのは、品温の上昇が速く、糊化でん粉に酵素が作用する時間が短いためである³⁾とされている。

2002年に育成された新品種「クイックスイート」は、糊化開始温度が通常の品種・系統よりも15~20℃低く、品温が低い加熱初期段階から β -アミラーゼによる糖化作用を受けるために、電子レンジによる急速加熱でも必要なマルトース生成期間が確保され、十分な甘味を引き出すことが可能であるとされている。

このように甘さはサツマイモの食味を形成する最も重要な要素であるが、一方で、ジャガイモと比べて加工用途が限定される大きな要因となっていることも否定できない。 β -アミラーゼが欠失したか、その活性がきわめて低い品種(「サツマヒカリ」,「オキコガネ」)が育成されており、きわめて低い甘味性を活かして、総菜、飲料など従来と異なる用途への利用拡大を目指した試みも見られる。

引用文献

- 1) 高畑康浩ら. 1993. 九農研, 55: 43.
- 2) 山口美代子ら. 1994. 園田学園女子大学論文集, 29: 329-337.
- 3) 松本文子. 1965. 家政誌, 16: 284-287.

3) 細胞壁多糖類 cell wall polysaccharide

(野田高弘)

高等植物は、細胞の外側にセルロースを骨格としたペクチン、ヘミセルロース等の多糖を主成分とする細胞壁からなっている。近年、食物繊維が消化器系の機能を助け、大腸ガン予防効果、脂質代謝改善効果といった機能性を有することが理解されるにつれ、その主成分である細胞壁多糖に注目が集まりつつある。サツマイモでん粉を製造するに当って、多量のでん粉粕が生じるが、サツマイモでん粉の需要を拡大するには残存でん粉と細胞壁多糖が主体であるでん粉粕の有効利用を念頭におく必要がある。

サツマイモでん粉粕にアミラーゼを作用させ、残存でん粉を分解することによって細胞壁多糖を調製し、ペクチン、ヘミセルロース、セルロースに分画した後、それらの多糖の特性について検討した報告がある¹⁾。それによれば、ペクチンは酸性糖の割合が高く、中性糖ではガラクトースが最も多い割合で検出されている。また、ヘミセルロースはグルコースが最も高く、キシロース、アラビノース、ガラクトースも認められ、キシラナーゼ分解試験によりキシラン系の多糖もいくらか含まれているという結果も得られている。さらに、セルロースはグルコースの占める割合がほぼ100%で、セルロースのマイクロフィブリルで構成されていることが示唆されている。皮部、形成層部、内部の3つの組織部位に分割したサツマイモから調製された細胞壁多糖についても報告²⁾があり、皮部の細胞壁多糖を構成するガラクトースの割合が低く、アラビノースの割合が高いことが明らかとなっている。数品種のサツマイモから得られた細胞壁多糖の腸内細菌の増殖に及ぼす影響につい

でも報告がある³⁾。それによれば、ビフィズス菌（善玉菌）によるサツマイモ細胞壁多糖の資化性には品種間差があり、ペクチンおよびヘミセルロースの含量が高い品種由来の細胞壁多糖は、資化されやすい傾向が示されている。

引用文献

- 1) Noda, T. *et al.* 1994. *Starch/Staerke*, 46 : 232-236.
- 2) Noda, T. *et al.* 1994. *J. Jpn. Soc. Starch Sci.*, 41 : 311-316.
- 3) Yoshimoto, M. *et al.* 2005. *JARQ.*, 39 : 37-43.

(2) タンパク質 protein

1) アミラーゼ amylase

(鮫島陽人)

アミラーゼはでん粉などのグリコシド結合を加水分解する酵素の総称であり、作用する部位の違いから α -アミラーゼ、 β -アミラーゼ、グルコアミラーゼなどに大きく分けられる。このうち、サツマイモに含まれる主要なアミラーゼは β -アミラーゼであり、その他には α -アミラーゼが存在する。

β -アミラーゼはでん粉の非還元末端から順番にマルトース（麦芽糖）を生成する酵素である。 β -アミラーゼはサツマイモのほか、ダイズ、オオムギなどの高等植物および一部の微生物中に存在する。ダイズやオオムギの β -アミラーゼは分子量が50,000～60,000程度であるが、サツマイモの β -アミラーゼは4個のサブユニットからなる分子量220,000の酵素であることが知られている¹⁾。

サツマイモの β -アミラーゼは、微生物起源のものとは異なり、生のでん粉を分解することができない。しかし、サツマイモを加熱調理するとでん粉が糊化し、 β -アミラーゼが作用できるようになる。その結果、マルトースが生成して、甘味が増加する。

サツマイモの β -アミラーゼの耐熱性は、他の植物のものとは比べてあまり高くないとされてきた。しかし、近年の研究により、サツマイモ搾汁液の β -アミラーゼはムギ由来の工業用 β -アミラーゼよりも耐熱性に優れていることが明らかにされている。現在、サツマイモの β -アミラーゼを工業的に取り出して活用しようとする取組みがなされており、サツマイモのでん粉製造時に排出される廃液から β -アミラーゼを回収するプロセスが構築されている。

サツマイモに含まれる β -アミラーゼを食品加工に利用した例として、鹿児島県の奄美大島に伝わる“ミキ”があげられる。ミキは放冷した米粥にすりつぶした生のサツマイモを加え、でん粉を糖化して作られる飲料である。夏のスタミナ飲料として奄美大島で広く飲まれている。

また、サツマイモには微量であるが α -アミラーゼが含まれる。 α -アミラーゼは糊化でん粉をデキストリンとマルトース、グルコースに分解し、糊化でん粉の粘性を低下させる。サツマイモの α -アミラーゼ活性は貯蔵により収穫直後の約20倍に増大するため、貯蔵したサツマイモは収穫直後のサツマイモに比べ、加熱調理した時に物性が軟らかくなりやすいと指摘されている²⁾。

引用文献

- 1) 不破英次ら. 2003. でん粉科学の事典. 261. 朝倉書店.
- 2) 馬場 透. 1990. サツマイモの高度加工利用に関する研究. 72. 鹿児島県農業試験場研究報告 第18号.

2) スポラミンとトリプシンインヒビター sporamin, trypsin inhibitor (外山 潤)

スポラミンは、サツマイモ塊根中の主要な可溶性タンパク質であり、全可溶性タンパク質の60～80%を占める。イボメインともいう。病傷害、長期間の貯蔵および萌芽時に激減することから、貯蔵タンパク質と考えられている^{1,2)}。また、トリプシンインヒビター活性を有する。

塊根に含まれるスポラミンは、2つの成分に大別され、電気泳動分析による推定分子量はともに25,000である¹⁾。一方、アミノ酸配列から推定される分子量は約20,000である。スポラミンをコードする遺伝子は、ゲノム中に重複して多数存在し、圧倒的な発現量と多型性を導いている³⁾。スポラミン遺伝子の塩基配列から推定されたアミノ酸配列は、マメ科植物のトリプシンインヒビターの1種(クニッツ型)と相同性を示すが、反応部位のアミノ酸は異なり³⁾、阻害機構も異なるとされている。

トリプシンインヒビターは、生物界に広く分布するプロテアーゼ(タンパク質分解酵素)インヒビターの1種であり、消化酵素のトリプシンに結合し酵素活性を阻害するタンパク質やポリペプチドである。マメ科植物の種子から多数発見されているが、それ以外の植物ではサツマイモで最初に報告されている。その存在意義については、塊根におけるプロテアーゼの調節や外敵の食害からの防御タンパク質としての機能が推定されている。一方、ヒトや家畜がこれを食すると、消化管におけるタンパク質の消化・吸収を阻害するため抗栄養因子のひとつにあげられる。加熱調理により活性はほぼ失われるが、天日乾燥では活性は失われない。サツマイモのトリプシンインヒビター活性は、マメ類、トウモロコシ、ジャガイモ等よりも低いとされ、抗栄養的作用については通常は問題ないと考えられているが、サツマイモの品種・系統や栽培条件(高窒素条件等)により塊根のスポラミン含量が高まり、トリプシンインヒビター活性も高くなることがあるため、注意を要する。

このほかの酵素活性として、スポラミンがデヒドロアスコルビン酸レダクターゼ活性、モノデヒドロアスコルビン酸レダクターゼ活性およびグルタチオンペルオキシダーゼ様活性を有することが近年報告されている。これらの酵素活性の意義については、酸化ストレスに対する役割が推定されている。また、サツマイモを食する際の機能性として、抗酸化活性や抗糖尿病効果等が期待されているが、今後の研究がまたれる。

引用文献

- 1) Maeshima, M. *et al.* 1985. *Phytochemistry*, 24 : 1899-1902.
- 2) Li, H. S. and Oba, K. 1985. *Agric. Biol. Chem.*, 49 : 737-744.
- 3) 中村研三ら. 1988. *化学と生物*, 26 : 391-398.

(3) ポリフェノール polyphenol

1) クロロゲン酸などカフェオイルキナ酸 (石黒浩二)

caffeoylquinic acid including chlorogenic acid

サツマイモに含まれる主なポリフェノール成分はクロロゲン酸などのカフェオイルキナ酸類である。植物体内では病虫害防除などの役割を果たしていると考えられている。動物が摂取するとさまざまな生理活性効果がもたらされる。生塊根には、カフェ酸、カフェ酸がキナ酸に1分子結合した

クロロゲン酸 (5-*O*-カフェオイルキナ酸), 2分子結合したジカフェオイルキナ酸 (3,4-ジ-*O*-カフェオイルキナ酸, 3,5-ジ-*O*-カフェオイルキナ酸, 4,5-ジ-*O*-カフェオイルキナ酸) が主に含まれ, 加熱により 3-*O*-カフェオイルキナ酸と 4-*O*-カフェオイルキナ酸がクロロゲン酸の異性化により増加する¹⁾。フォーリンチオカルト法で測定した生塊根乾燥物 100g 当りの総ポリフェノール含量は約 200 ~ 3,000mg (クロロゲン酸相当量) であり²⁾, 皮層部に多くのポリフェノールが蓄積している。ポリフェノールは障害や病原菌の侵入, または低温や乾燥などのストレスによって増加する。また, 貯蔵中にカフェ酸スクロース (6-*O*-カフェオイル- (β -D-フルクトフラノシル- (2 \rightarrow 1)) - α -D-グルコピラノシド) が生成・増加する²⁾。葉身部のポリフェノール含量は塊根部よりも高く, カフェ酸が3分子キナ酸に結合した 3, 4, 5-トリ-*O*-カフェオイルキナ酸も含まれる。栽培種の塊根には 3, 4, 5-トリ-*O*-カフェオイルキナ酸は検出されないが, ある野生種の塊根にはこの成分が含まれていることが最近明らかとなった。ポリフェノール各成分の抗酸化活性, 抗変異原活性, ガン細胞増殖抑制活性, α -グルコシダーゼ阻害活性, アンジオテンシン I 変換酵素阻害活性等が報告されているが, これらの活性はカフェオイル基の数が多いほど高活性となる傾向がある。すなわち, トリカフェオイルキナ酸 > ジカフェオイルキナ酸 > モノカフェオイルキナ酸の順で高活性である。

引用文献

- 1) Takenaka, M. *et al.* 2006. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 70 : 172-177.
- 2) Ishiguro, K. *et al.* 2007. *J. Agric. Food Chem.*, 55 : 10773-10778.
- 3) Yoshimoto, M. *et al.* 2006. *Acta Hort.*, 703 : 107-116.

2) アントシアニン anthocyanin

(沖 智之)

アントシアニンはシダ植物以上の高等植物に広く分布し, 広義にはフラボノイドに属する。アグリコンであるアントシアニンと結合する糖や有機酸の組合せにより自然界で約 400 種発見されており, 一般に赤色, 紫色, 青色を呈する。サツマイモでは肉色が紫色をしたものに含まれ, 紫サツマイモには 19 種類以上のアントシアニンが存在する。主要なアントシアニンは図 II-17 に示した 8 種であり, 「山川紫」から単離されたことから YGM-1a, -1b, -2, -3, -4b, -5a, -5b, -6 と称される。それらはシアニジンもしくはペオニジンのアグリコンに糖 (グルコースやソフォロース) と芳

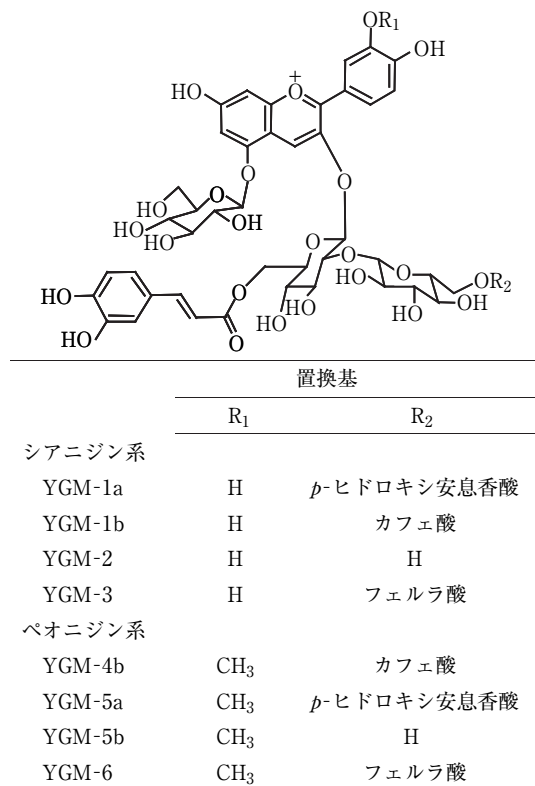


図 II-17 紫サツマイモに含まれる主要なアントシアニンの化学構造

香族有機酸（カフェ酸，*p*-ヒドロキシ安息香酸，フェルラ酸）が結合したアシル化アントシアニンであり，ブルーベリーやイチゴに含まれているアントシアニンとは化学構造が異なる。アントシアニンの組成は品種により異なっており，「種子島紫」，「宮農 36 号」，「備瀬」ではシアニン系アントシアニン（YGM-1a, -1b, -2, -3）が，「アヤムラサキ」，「ムラサキマサリ」，「アケムラサキ」ではペオニン系アントシアニン（YGM-4b, -5a, -5b, -6）が多く含まれる。紫サツマイモのアントシアニンは光や熱に対する高い安定性，中性 pH 域での優れた発色という食品産業上の利点を有しており，天然着色料として使用されている。食品へ添加した場合は，ムラサキイモ色素，アントシアニン色素，野菜色素，着色料（アントシアニン）と表示される。

(4) ミネラル minerals

(奥野成倫)

サツマイモ塊根は，主として生食用，アルコール用，でん粉原料用，および，加工用に消費されてきた。青果として塊根を使用する場合は食味が重視され，また，焼酎等のアルコール用やでん粉原料用に塊根を使用する場合は塊根のでん粉含量がまず着目されるため，塊根中のミネラルについての知見は他の成分についてのそれより少ない。品種育成の過程では，収量や病害虫抵抗性などの特性は検討されてもミネラルまで測定されることはない。いくつかの必須ミネラル含量は日本食品標準成分表に記載されており，可食部 100g 当りの含量は，四訂日本食品標準成分表ではカリウム 460mg，カルシウム 32mg，鉄 0.5mg，五訂増補日本食品標準成分表ではカリウム 470mg，カルシウム 40mg，マグネシウム 25mg，鉄 0.7mg などの値が掲載されているが，測定対象の品種名は記載されていない。品種名が明らかなサツマイモとしては，塊根の肉色が最も一般的な黄白色系であるいくつかの品種について必須ミネラル含量が測定されている¹⁾。例えば，「コガネセンガン」，「高系 14 号」，および「ベニアズマ」については，生重 100g 当りでは，カリウムはそれぞれ 386mg，397mg，および 365mg，マグネシウムはそれぞれ 22mg，18mg，および 19mg，カルシウムはそれぞれ 38mg，29mg，および 41mg，鉄が 0.4mg，0.8mg，および 0.6mg である（1986 年 6 月植付，10 月収穫の塊根）。また，肉色が橙色系の品種としては「ベニハヤト」のミネラル含量が測定されており，カリウムは 430mg，マグネシウムは 21mg，カルシウムは 42mg，鉄は 0.6mg である。

さまざまな用途向けに肉色が橙色や紫色のサツマイモ品種が次々に育成されてきているので，それらのミネラル含量も明らかになっている。塊根の肉色が黄白色系，橙色系，あるいは紫色系である 3 種にサツマイモ品種を分けた場合の，皮付き塊根中のミネラル含量が測定されており，表 II-3 のとおりである。いずれも重要なミネラルであり，例えばマグネシウムは心臓血管疾患のリスク低下への関与などの有用な特性を持ち，カルシウムは最も不足しがちなミネラルであり不足による影響は骨粗鬆症をはじめ多様な疾患を引き起こすとされている。肉色が紫色や橙色の品種には，マグネシウムやカルシウムの含量が「コガネセンガン」を上回るものがある。五訂増補日本食品標準成分表によれば，ニンジン（根，皮付き，生），ジャガイモ（塊茎，生），および西洋カボチャ（果実，生）については，カリウムはそれぞれ 280mg，410mg，および 450mg，マグネシウムはそれぞれ 10mg，20mg，および 25mg，カルシウムはそれぞれ 28mg，3mg，および 15mg，鉄はそれぞれ 0.2mg，0.4mg，および 0.5mg である。すなわち，サツマイモ塊根は上記ミネラルの含量の点では他の野菜・

表II-3 サツマイモ塊根^{a)}のカリウム、マグネシウム、カルシウムおよび鉄の含量 (mg/100g, 生重)

	カリウム	マグネシウム	カルシウム	鉄
黄白色系				
「コガネセンガン」	374	18	24	0.6
橙色系				
「サニーレッド」	392	27	43	0.7
「ジェイレッド」	424	17	24	0.5
「ベニハヤト」	388	24	57	0.5
「九州122号」	364	20	33	0.6
紫色系				
「アヤムラサキ」	292	31	63	1.1
「種子島紫」	387	28	49	0.9
「九州119号」	366	23	44	0.6

^{a)} 1995年5月植付, マルチ栽培, 10月収穫, 皮付きの塊根(九州農業試験場 [現九州沖縄農業研究センター]にて測定)

いも類と比較しても遜色がなく, 野菜の性質を持っていると言える。サツマイモのミネラルについての知見の蓄積はいまだに少ない。抗酸化酵素であるグルタチオンペルオキシダーゼを構成しており, また, 直腸腺腫リスク軽減との関係も注目されている²⁾ セレンなども含め, 今後の研究発展が望まれる。なお, アメリカ産のサツマイモ塊根のミネラル含量も測定されており, 例えば, 品種「Jewel」(肉色が橙色)については, 生重100g当りカリウム360mg, マグネシウム18.3mg, カルシウム17.4mg, 鉄0.59mg, マンガン0.24mg, 亜鉛0.27mgなどとなっている³⁾。

引用文献

- 1) 小泉英夫ら. 1991. 食総研報, 55:1-8.
- 2) Fernández-Bañares, F. *et al.* 2002. *Am. J. Gastroenterol.* 97 (8): 2103-2108.
- 3) Lopez, A. *et al.* 1980. *J. Food Sci.*, 45 (3): 675-678.

(5) ビタミン vitamins

(奥野成倫)

サツマイモ塊根は“いも”というイメージが強く, 野菜的側面については意識されてこなかったが, 各種ビタミンが含まれていることが明らかにされている。四訂日本食品標準成分表では, 品種名は不明であるが, 可食部100g当りの含量は β -カロテン0.01mg, 総ビタミンC(総アスコルビン酸, 還元型と酸化型の合計)30mgとなっており, ビタミンB₁とB₂, ナイアシンも含まれている。また五訂増補日本食品標準成分表では, 品種名は不明であるが, 可食部100g当りの含量は β -カロテン0.023mg, ビタミンEとしては α -トコフェロールは1.6mg, β -トコフェロールと γ -トコフェロールはトレース(0.1mg未満), δ -トコフェロールは0, また, 総ビタミンCは29mgとなっており, ビタミンB群に加え, 葉酸, パントテン酸も含まれている。 β -カロテンはプロビタミンAであるだけでなく, ビタミンEとともに脂溶性の抗酸化性ビタミンであり, またビタミンCは水

溶性の抗酸化性ビタミンである。

品種名が明らかなサツマイモ塊根のビタミン含量については、塊根の肉色が黄白色系である品種として、「コガネセンガン」、「高系14号」、および「ベニアズマ」について、生重100g当り、 β -カロテンがそれぞれ0.2mg, 0.3mg, および0.4mg, α -トコフェロールがそれぞれ1.1mg, 0.9mg, および0.5mg, 総ビタミンCがそれぞれ48mg, 36mg, 56mgという数値が1991年に食品総合研究所により報告されている。また、肉色が橙色系である品種として「ベニハヤト」の場合、 β -カロテンは9.1mg, α -トコフェロールは0.2mg, 総ビタミンCは28mgという数値が同時に報告されている。

「ベニハヤト」が命名登録されたのは1985年であり、その後も肉色が橙色系や紫色系のさまざまな品種が育成され、それらのビタミン含量も明らかにされている(表II-4, 表II-5)^{1,2)}。五訂増補日本食品標準成分表によれば、ニンジン(根, 皮付き, 生), 西洋カボチャ(果実, 生), およびハウレンソウ(葉, 生)の β -カロテン含量はそれぞれ, 7.7mg, 3.9mg, 4.2mg, α -カロテン含量はそれぞれ2.8mg, 0.017mg, 0, ビタミンE含量(4種のトコフェロールの合計)はそれぞれ0.5mg, 6.3mg, 2.3mg, 総ビタミンC含量はそれぞれ, 4mg, 43mg, 35mgとなっている(可食部100g当り, いずれも品種は不明)。肉色が橙系のサツマイモ塊根は、 β -カロテン含量では他のいくつかの野菜を上回るといえる。また、サツマイモ塊根の場合、肉色が橙系の品種よりも紫色系の品種のほうが、 α -トコフェロールが多い傾向がある。サツマイモ塊根では、肉色が黄白色系の品種であっても、その他の色(橙色系, 紫色系)の品種であっても、ビタミンE同族体のうち α -トコフェ

表II-4 肉色が橙色のサツマイモ塊根^{a)}の β -カロテン, α -トコフェロール, および総ビタミンCの含量(mg/100g, 生重)

	β -カロテン	α -トコフェロール	総ビタミンC
「ジェイレッド」	12.6	0.4	19.2
「サニーレッド」	13.8	0.3	19.5
「九州122号」	14.7	0.4	13.2
「ベニハヤト」	10.5	0.9	12.2

^{a)} 1996年5月植付, マルチ栽培, 10月収穫, 皮付きの塊根(九州農業試験場[現九州沖縄農業研究センター]にて測定)

表II-5 肉色が紫色のサツマイモ塊根^{a)}の α -トコフェロールおよび総ビタミンCの含量(mg/100g, 生重)

	α -トコフェロール	総ビタミンC
「アヤムラサキ」	1.5	4.4
「種子島紫」	1.7	16.0
「九州119号」	1.5	11.2

^{a)} 1996年5月植付, マルチ栽培, 10月収穫, 皮付きの塊根(九州農業試験場[現九州沖縄農業研究センター]にて測定)

ロールが最も多く含まれる¹⁾。五訂増補日本食品標準成分表によれば、ジャガイモにはビタミンEはほとんど含まれておらず、ゴボウの総ビタミンC含量は3mgである。すなわち、サツマイモは同じ地下にできる“いも”であってもジャガイモとは対照的であり、また、ほかのいくつかの“根もの野菜”に比べ総ビタミンC含量で上回る。ジャガイモもサツマイモと同様に、肉色が橙色や紫色の品種が育成されているので、今後は、肉色が同じ材料どうしで成分が直接比較されると予想される。

塊根の肉色が橙色系である品種の多くは、塊根の色素の主成分は β -カロテンである¹⁾。「ベニハヤト」塊根を14℃で6か月間貯蔵した場合、塊根中心部の総カロテノイド含量はほとんど変化しないことが1993年に鹿児島県において報告されている。また、品種「Jewel」をマイクロウェーブ処理（7分間加熱、塊根内部到達温度99℃）または焼き処理（191℃で80分間加熱、塊根内部到達温度99℃）すると、乾物当りの総 β -カロテン含量（二重結合の1か所がトランス配置からシス配置に変化した β -カロテンも含む）が前者で23%、後者で31%減少することがアメリカでは1988年に報告されている。1993年にはアメリカ産のサツマイモ塊根（GA90-47）を試料とした高速液体クロマトグラフィーによる分析において、同定はされていないが β -カロテン以外にも相当量の色素成分の存在がピークとして示されている。さらに、2001年に命名登録された品種「べにまさり」の塊根には、 β -カロテンだけではなく、 β -クリプトキサンチンや新規のイポメアキサンチン類などの酸素を含むカロテノイド類も含まれる³⁾。新規物質の発見の可能性という点で今後も新品種の成分分析は重要である。 β -カロテン、ビタミンE、およびビタミンCは抗酸化性ビタミンであり、同じく抗酸化活性を持つポリフェノールと併せ、サツマイモ塊根を摂取する上で今後も注目しておくべき成分である。

引用文献

- 1) Okuno, S. *et al.* 1998. *Trop. Agric.*, 75 (2) : 174-176.
- 2) Oki, T. *et al.* 2006. *Food Sci. Technol. Res.*, 12 (2) : 156-160.
- 3) Maoka, T. *et al.* 2007. *Phytochemistry*, 68 (13) : 1740-1745.

(6) その他の成分 other ingredients

(石黒浩二)

1) 黄色色素 yellow pigments

サツマイモ塊根の色素成分としては、橙肉色サツマイモの β -カロテンと紫肉色サツマイモのアントシアニンが同定され、これらの機能性効果も精力的に研究されてきた。一般的な黄色みを帯びたサツマイモの色素についてはほとんど研究されてこなかったが、近年濃黄肉色品種「べにまさり」の黄色色素成分が明らかとなった¹⁾。 β -カロテンおよび β -クリプトキサンチンのエポキシ体を主成分とする複数のカロテノイドにより黄色の色調を呈する。新規のカロテノイド成分4種も同定され、イポメアキサンチンA、イポメアキサンチンB、イポメアキサンチンC1、イポメアキサンチンC2と命名された。今後、これらの黄色色素高含有品種の育成や各成分の機能性研究が進展することが期待される。

2) ヤラピン jalapin

サツマイモを切断すると白い乳液がしみ出てくる。この物質の主成分はヤラピンと呼ばれる樹脂配糖体であり、乾燥すると黒く凝固し、皮膚や衣服に付着するととれにくい。黒いのはポリフェノールを抱合して、酸化重合し、固化することによるとされる。ヤラピンの構造は、ヤラピノール酸 (11-ヒドロキシパルミチン酸) にラムノースやグルコース、フコースからなる 4-5 糖が配糖体結合とエステル結合で環状に結合し、糖にはイソ酪酸, 2-メチル酪酸, デカン酸, ドデカン酸, *trans*-けい皮酸などの有機酸がエステル結合しており、糖や有機酸の組成や結合部位によりいくつかの種類が報告されている²⁾。なお、同様のヤラピンは荃葉、いも焼酎醪^{もろみ}にも認められる。サツマイモと同じヒルガオ科 *Ipomoea* 属植物の乳液には緩下効果があり、乾燥塊根やそのエタノール抽出液であるヤラッパおよびヤラッパ脂は古くから緩下剤や健胃剤として知られている。サツマイモのヤラピンにも便秘解消効果があるとされる³⁾。

引用文献

- 1) Maoka, T. *et al.* 2007. *Phytochemistry*, 68 : 1740-1745.
- 2) Noda, N. *et al.* 1992. *Chem. Pharm. Bull.*, 40 : 3163-3168.
- 3) 木幡健五郎・山下益男. 1943. *醸造学雑誌*, 21 : 26-34.

4 節 機能性 physiological function

【節の概説】

(高畑康浩)

昔からサツマイモは体に良い食べ物とされ、健康の維持や向上に資する成分が含まれているものと認識されてきた。優良なカロリー源として捉えられるばかりでなく食物繊維やビタミン、ミネラルの補給源として、その大きな役割を果たしてきたことは前節において述べてきたとおりである。一方、ポリフェノールの健康効果については日常の摂取において意識されることはなかったと思われる。サツマイモの品種改良や栽培技術開発の場面においても、黒変・褐変の原因になるなどとして20年程度前まではむしろポリフェノールの低減化が好ましいものとされていた位である。現在でも青果用や加工用として変色の少ないことは重要な形質であるが、転機となったのは紫サツマイモの育種改良であった。その後、それに続く製品開発が進められたが、その土台として機能性研究の果たした役割はきわめて大きい。さらには、茎葉利用型品種とその用途開発もほぼ時を同じくして進められ、従来までのサツマイモのイメージをはるかにこえた製品群が登場している。本節では、いもの機能性として特に近年明らかにされてきた紫サツマイモの各種機能性を中心に解説し、さらに茎葉の成分と機能性についてカフェオイルキナ酸やルテインを中心に解説する。

(1) いもの機能性 physiological functions of sweetpotato

(沖 智之)

1) いもの一般的な機能性 common physiological functions of sweetpotato

食品の機能性には、生命を維持する栄養素としての機能（一次機能）、味、色、香り、物性などの感覚や嗜好に関わる機能（二次機能）、生体防御、恒常性維持、疾病の予防などの生体調節に関わる機能（三次機能）の3種類がある。食品の機能性と称する場合は三次機能を指し示すことが多い。サツマイモには主成分のでん粉のほか、ビタミン類（ビタミンB₁、B₂、C、E）やミネラルが含まれ、栄養バランスがよいことから準完全栄養食品とも呼ばれており、一次機能である栄養素の供給源として優れた作物である。サツマイモは第6の栄養素と呼ばれる食物繊維も豊富に含んでおり、サツマイモの食物繊維では抗菌活性、抗炎症作用、抗う蝕作用、整腸作用が確認されている。サツマイモの表皮近くに分布する乳白色液のヤラピン（糖脂質の一種）には緩下作用があり、食物繊維とともに便通を促進する。サツマイモに含まれるガングリオシド（シアル基や硫酸基を有する糖脂質）は培養したヒトのHela細胞やB-16細胞の増殖を抑制する作用があり、ポリフェノールの一種であるクロロゲン酸とカフェオイルキナ酸はB-16細胞のメラニン生成を抑制する。サツマイモ抽出液ではハイブリドーマ細胞（HB4C5）の抗体産生を促進する作用も認められる。これらの機能性は肉色が白や黄の一般的な品種で確認されているが、橙や紫の品種にも共通に含まれる成分が機能性に関与しており、同様な効果が期待できる。

2) サツマイモの抗酸化能 antioxidant capacity of sweetpotato

食品の三次機能（機能性）は生体の免疫系、内分泌系、循環器系、消化器系、細胞系の広い範囲で発現し、その作用機序もさまざまであるが、数多くの疾病の発症や老化に関わっている活性酸素

やフリーラジカルを消去する能力（抗酸化能）は注目されている機能性のひとつである。サツマイモの抗酸化能は原理の異なる評価法（リノール酸自動酸化抑制法, t-ブチルペルオキシドラジカル消去法, 1,1-ジフェニル-2-ピクリルヒドラジル（DPPH）ラジカル消去法, ORAC法）において、白、黄、橙、紫のいずれの肉色を持つ品種でも確認されるが、「アヤマラサキ」をはじめとするアントシアニン（紫色色素）を含む紫サツマイモの抗酸化能は特に高い。「アヤマラサキ」、「ムラサキマサリ」、「アケムラサキ」のORAC値は、2007年にアメリカ農務省が公開したデータベース（277種類、そのうち野菜・果実103種類）と比較すると、紫サツマイモと同じくアントシアニンを含有するベリー類に匹敵し、データベース掲載の作物の中でも上位に位置する。「アヤマラサキ」、「ムラサキマサリ」では主としてアントシアニンによりDPPHラジカル消去能が発現するが、「種子島紫」、「備瀬」、「宮農36号」ではクロロゲン酸などカフェオイルキナ酸であり、品種間で差異が確認されている。サツマイモ脂溶性画分の2,2'-アジノビス（3-エチルベンゾチアゾリン-6-スルホン酸）（ABTS）ラジカル消去法による評価では、肉色が橙色のサツマイモではβ-カロテンによるABTSラジカル消去能への寄与がα-トコフェロール（ビタミンE）より高いが、その寄与率が品種により異なっており、他のラジカル消去成分の存在が指摘されている。

3) 紫サツマイモの生体内機能性 physiological functions of purple-fleshed sweetpotato *in vivo*
 紫サツマイモの機能性に関する研究は他の肉色のサツマイモより先行しており、紫サツマイモ、特に「アヤマラサキ」から単離されたアシル化アントシアニンや抽出されたアントシアニン含有物では試験管内レベル（*in vitro*）と実験動物レベル（*in vivo*）で多様な機能性が確認されている。「アヤマラサキ」を原材料としたジュースではヒトレベル（*in vivo*）で肝機能向上効果、

血圧上昇抑制効果、血液流動性改善効果が確認されている（表II-6）。ラットに紫サツマイモアントシアニン含有物を経口投与すると、紫サツマイモに含まれる主要なアシル化アントシアニン（シアニジン-3-カフェオイルソフォロシド-5-グルコシド（YGM-2）、ペオニジン-3-カフェオイルソフォロシド-5-グルコシド（YGM-5b））が血液中に検出される。ヒトが紫サツマイモジュースを飲用した場合もラットと同様にYGM-2とYGM-5bが血液や尿中に検出され、紫サツマイモのアントシアニンは体内に吸収された後、肝臓で代謝（化学構造の変化）を受けることなく血流に乗って全身を巡り、尿に排泄される。そのため循環器系を対象とした試験管内レベルでの評価法で確認された紫サ

表II-6 紫サツマイモの機能性

評価レベル	機能性
試験管内レベル (<i>in vitro</i>)	抗酸化作用 LDL酸化抑制作用 マクロファージ泡沫化抑制 抗変異原作用 アンジオテンシンI変換酵素阻害作用 α-グルコシダーゼ阻害作用 血液流動性改善効果
実験動物レベル (<i>in vivo</i>)	血中抗酸化能上昇 酸化ストレス回避効果 肝障害軽減効果 血糖値上昇抑制効果 血中中性脂肪抑制効果 血圧上昇抑制効果 血管弛緩作用 血流量増加作用 血液流動性改善効果
ヒトレベル (<i>in vivo</i>)	肝機能向上効果 血圧上昇抑制効果 血液流動性改善効果

ツマイモアントシアニンの機能性はヒトにおいても発現する可能性がある。試験管内レベルにおいて紫サツマイモのアントシアニンが抗酸化能、アンジオテンシン変換酵素活性ならびに血液流動性改善効果を示し、紫サツマイモのジュースやアントシアニン含有物が Wistar 系ラットで四塩化炭素誘導の肝障害軽減効果、高血圧自然発症ラットで血圧上昇抑制効果ならびにストレス負荷ラットで血液流動性改善効果を示すことから、ヒトでの機能性は紫サツマイモのアントシアニンにより発現していることが強く示唆されている。アントシアニンは生体内に吸収されない場合でも、管腔において α -グルコシダーゼ阻害により、Sprague-Dawley ラットでの糖負荷時の血糖値上昇抑制効果があり、糖尿病予防が期待される。

(2) 茎葉に含まれる成分とその機能性 components contained in top and their functions

1) 加工素材としての地上部 top organs as processing materials (石黒浩二)

サツマイモは一般的には塊根部（いも）を食べるが、茎葉部分にも多くの栄養成分が含まれ、アジアやアフリカの国々では茎葉部も積極的に利用される。日本でも戦後の食糧難の時代には、茎葉部（いも蔓）を食した人は多く、現在でも沖縄県などでは、茎葉を食する文化がある。近年、茎葉を利用する専用品種が開発され、夏野菜や青汁等の加工原料などとして栽培されている。開発に伴って、茎葉に含まれる成分研究やその機能性研究が精力的に遂行された。ここでは、茎葉に豊富に含まれるポリフェノール、ルテインおよび茎葉の持つ各種機能性効果について解説する。

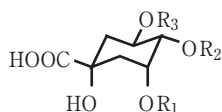
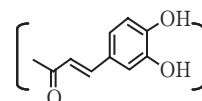
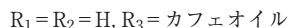
これまで、あまり利用されることのなかったサツマイモの茎葉部は、今後成人病予防や高齢化社会に向けた高機能性食材として普及していく可能性を持っている。

2) ポリフェノール polyphenol (奥野成倫)

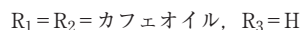
ポリフェノールは野菜をはじめ植物界に広く存在するが、レタス、ホウレンソウ、ゴボウ、シュンギクなどの市販野菜を上回る量のポリフェノールを葉身部に含むサツマイモ品種・系統が多数あることが明らかにされている¹⁾。中には葉身部凍結乾燥試料 100g 当りの総ポリフェノール量（フォーリン・チオカルト；Folin-Ciocalteu 法による測定でクロロゲン酸相当量で表示した値）が 17g に達する品種・系統もあり¹⁾、サツマイモ茎葉はポリフェノールの供給源として魅力的な素材である。

サツマイモ茎葉には 3 節で述べられたように、ポリフェノールとしてカフェ酸、クロロゲン酸、ジカフェオイルキナ酸（3,4-ジ-O-カフェオイルキナ酸；3,5-ジ-O-カフェオイルキナ酸；4,5-ジ-O-カフェオイルキナ酸）、および、3,4,5-トリ-O-カフェオイルキナ酸が含まれており²⁾、これらはいずれもカフェ酸を部分構造として持つのでカフェ酸誘導体と呼ぶことができる（図 II-18）。これらのうち 3,4,5-トリ-O-カフェオイルキナ酸はほとんどのサツマイモ塊根には検出されないという点がサツマイモ茎葉を特徴付けている。この物質が含まれている植物の報告例は他のカフェ酸誘導体に比べ非常に少なく、アメリカでのキク科植物からの単離など数例である。また、これまで検討されたどのサツマイモ品種・系統においても、上記 6 種の物質のうち茎葉中に最も高濃度に含まれるのは 3,5-ジ-O-カフェオイルキナ酸である。どのようなポリフェノールが試料に含まれているかは総ポリフェノール量の測定では不明なので、成分分離の過程を含む高速液体クロマトグラ

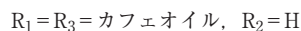
クロロゲン酸 (chlorogenic acid) :



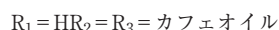
3, 4-ジ-O-カフェオイルキナ酸 (3, 4-di-O-caffeoylquinic acid) :



3, 5-ジ-O-カフェオイルキナ酸 (3, 5-di-O-caffeoylquinic acid) :



4, 5-ジ-O-カフェオイルキナ酸 (4, 5-di-O-caffeoylquinic acid) :



3, 4, 5-トリ-O-カフェオイルキナ酸 (3, 4, 5-tri-O-caffeoylquinic acid) :

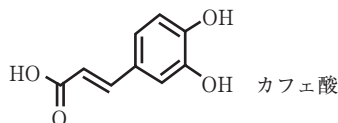
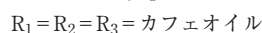


図 II-18 サツマイモ茎葉に含まれるカフェ酸誘導体

クロロゲン酸は5-O-カフェオイルキナ酸 (5-O-caffeoylquinic acid) とも表記できる

フィー (high-performance liquid chromatography ; HPLC) などの分析法が通常は用いられる^{2,3)}。

サツマイモ茎葉は苗床では1年間に少なくとも6回の収穫が可能であり、上記6種のカフェ酸誘導体の中では収穫回数にかかわらず3, 5-ジ-O-カフェオイルキナ酸が最も多く茎葉中に含まれる。サツマイモ葉身部の総ポリフェノール量は栽培条件により変化し、例えば、条件制御可能な温室で栽培した場合、20℃ > 30℃、また、遮光0% > 遮光40%であり、DPPH (1, 1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) ラジカル消去活性も同様である。なお、葉身部の個別のカフェ酸誘導体については、ほぼすべてが栽培時の遮光に伴い含量が低下する。

カフェ酸誘導体を持つ機能性としては、ヒト免疫不全ウイルス (HIV) やヘルペスウイルスに対する増殖阻害作用なども報告されており、今後も有用な活性が次々と見つかると思われる。茎葉利用品種として育成されたサツマイモとしては「すいおう」や「エレガントサマー」があり、これらの茎葉にも上記のカフェ酸誘導体は含まれる。「すいおう」や「エレガントサマー」よりもカフェ酸誘導体を多く含むサツマイモ品種・系統も存在することから、これらに続く茎葉利用品種が近い将来育成されるであろう。

サツマイモ茎葉のポリフェノールの分析は日本だけではなく中国でも行われており、茎部にはフェルロイルキナ酸類 (feruloylquinic acids, キナ酸にフェルラ酸が結合した物質) やカフェオイルフェルロイルキナ酸類 (caffeoyl-feruloylquinic acids, キナ酸にカフェ酸とフェルラ酸が結合した物質) の存在が2008年に報告されている。アメリカでは1994年にサツマイモ茎部 (論文の中ではvineと表記されている) からp-クマル酸と脂肪酸 (炭素数16, 18および20) が結合した

エステル類が見出されている。クロロゲン酸、ジカフェオイルキナ酸 (3, 4-ジ-O-カフェオイルキナ酸, 3, 5-ジ-O-カフェオイルキナ酸, 4, 5-ジ-O-カフェオイルキナ酸)、および、3, 4, 5-トリ-O-カフェオイルキナ酸はいずれもカフェ酸がキナ酸に結合した構造であるが、キナ酸には水酸基が4個あるので、構造上は1, 3, 4, 5-テトラ-O-カフェオイルキナ酸 (キナ酸にカフェ酸が4分子結合した構造) が存在する。実際この物質はキク科の植物などから単離されている例はあるが、サツマイモ茎葉や塊根からは見出されていない。クロロゲン酸からトリカフェオイルキナ酸までは、キナ酸に結合しているカフェ酸の数が多いほど機能性が高いことから、テトラカフェオイルキナ酸が含まれるか否かをはじめ、サツマイモのポリフェノールに関してはまだ解決すべき魅力的な課題が残っている。

引用文献

- 1) 奥野成倫ら. 2002. 九州沖縄農業研究成果情報 第17号. 85-86.
- 2) Islam, M. S. *et al.* 2002. J. Agric. Food Chem., 50 (13) : 3718-3722.
- 3) 奥野成倫ら. 2008. 農業技術, 63 (8) : 262-266.

3) ルテイン lutein

(石黒浩二)

ルテインとはカロテノイドのキサントフィルの一種であり、野菜や果物に含まれている黄色～橙色の色素成分である。特に、ホウレンソウやケールなどの濃緑色野菜に多く含まれている¹⁾。ルテインはヒトの目の水晶体や網膜黄斑部などに存在し、眼病の原因となる活性酸素を消去すると考えられている。ヒトはルテインを合成できないので、野菜等から摂取する必要がある。欧米における疫学調査において、ルテインの摂取量や血清中の含量が高いほど、黄斑変性症や白内障など眼病疾患が少なくなることが示されている。さらに、ヒト介入試験でもルテイン摂取は眼病予防に有効とされている。また、ルテインは心疾患予防や皮膚の紫外線保護にも効果がある。

ケール (生鮮重 100g 当り 14.7～39.6mg) やホウレンソウ (生鮮重 100g 当り 4.4～15.9mg) がルテインを多く含む代表的な野菜であるが¹⁾、茎葉利用サツマイモ「すいおう」の葉身部にもケール並みのルテインが含まれる (生鮮重 100g 当り 12.9～42.6mg)²⁾。

サツマイモ茎葉を食べることでルテインの摂取が期待できるが、精製されたルテインをサプリメントなどとして効率的に摂取することもできる。現在、マリーゴールドから抽出されたルテインが市場に流通しているが、サツマイモの茎葉から、より低コストでルテインを生産できる可能性がある。

引用文献

- 1) Mangels, A. R. *et al.* 1993. J. Am. Diet. Assoc., 93 : 284-296.
- 2) 石黒浩二. 2005. 九州沖縄農業研究成果情報, 20 : 97-98.

4) 茎葉の持つ各種機能性 other functions

(倉田理恵)

サツマイモ茎葉は非常に高いポリフェノールを含有しており、その主成分はカフェオイルキナ酸類であることは先に述べられたとおりである。この含量は他の野菜類に比べても非常に高く、茎葉においては、抗酸化能評価の一指標である DPPH ラジカル消去活性と総ポリフェノール含量が非常に高い相関を示すことから、可溶性抗酸化物質の中心はポリフェノール類であると考えられる。

よって茎葉における機能性の探索は、まず抗酸化能と関係が高いものから検討された。ほかの多くの報告から、抗変異原活性と抗ガン作用は抗酸化能が高いものに効果が示されており、茎葉抽出物においても抗変異原活性測定の常法である Ames 法とヒトガン培養細胞（胃，大腸，白血病）¹⁾の増殖に抑制効果が認められた。両方に効果が認められることから、発ガンの初期から増殖に至る全過程の抑制効果が期待される。しかし、残念ながら抗ガン作用については食事摂取による効果の明確な疫学結果は得ることができないため、抑制の可能性が示されたのみであった。そのため、さらなる機能性探索は茎葉を食事で摂取することにより効果が期待されるものを中心として行われている。以前よりサツマイモには糖尿病改善効果についての伝承があったが、科学的にも茎葉抽出液処理した動物培養細胞試験と茎葉粉末を与えた糖尿病モデル動物試験で実証されている²⁾。また、抗高血圧症についても茎葉粉末を与えた高血圧モデル動物試験により低下させる効果が認められた。さらに予防という観点からは、抗骨粗鬆症作用および抗アルツハイマー病作用も動物培養細胞試験とモデル動物試験で検証されている。これらの効果は、どれもポリフェノールに起因することが示唆されている。またそのポリフェノール成分の特徴として、茎葉で特徴的かつ最も機能性が効果的な成分である 3, 4, 5-トリ-O-カフェオイルキナ酸については、抗 HIV 作用があることが報告されており、サツマイモ茎葉ほど高含有の植物は、ほかに見付かっていないため、その効果および薬としての可能性も期待されている。

その他の茎葉で特徴的な成分としては、ルテインがあげられ、一般野菜の中では最も高く含まれている。そのため眼病予防効果が期待されている。

サツマイモ茎葉についての機能性研究は現在もますます盛んであり、これからの発展および活用がさらに期待されるところである。

引用文献

- 1) Kurata, R. *et al.* 2007. *J. Agric. Food Chem.*, 55 : 185-190.
- 2) Yoshimoto, M. *et al.* 2006. *Acta Hort.*, 703 : 107-115.
- 3) Ishiguro, K. and Yoshimoto, M. 2006. *Acta Hort.*, 703 : 253-256.