

## サツマイモの塊根シンク能形成研究の現状と展望

誌名	農業技術
ISSN	03888479
著者	中谷, 誠
巻/号	46巻11号
掲載ページ	p. 495-499
発行年月	1991年11月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



# サツマイモの塊根シンク能形成研究の現状と展望

中 谷 誠

## 1. はじめに

サツマイモは南九州や関東地方等の畑作地帯における基幹作物の一つで、近年、わが国における作付面積は6万ha強で安定的に推移している。しかし、国際化時代を迎え、わが国のサツマイモ生産においても、高品質化と低コスト化による競争力の強化が重要な課題となっている。

ところで、サツマイモの平均単収は、昭和30年代以降あまり向上しておらず、このことがコスト低減の足を引っ張る要因の一つになっている。また、サツマイモはエネルギー資源作物としても着目されており、この場合、生産力の向上が必要不可欠の条件である。このように、多収は今日においても重要な課題である。

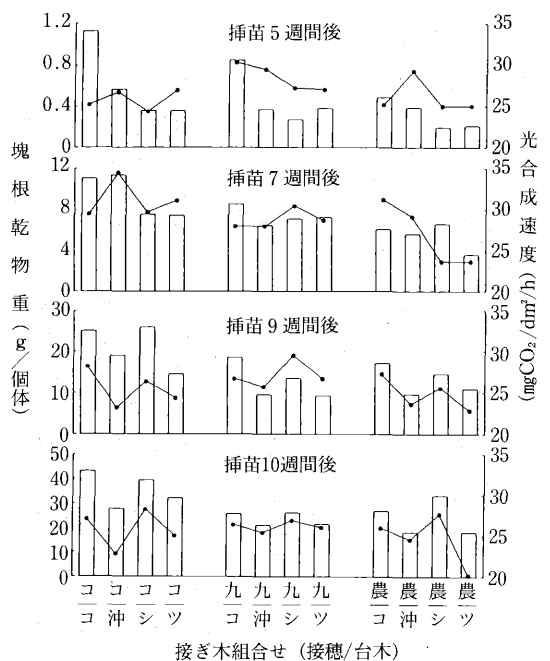
乾物生産特性からみたサツマイモの作物としての特徴の一つは、収穫目的器官である塊根への物質分配率が高いことであり<sup>1)</sup>、これは塊根の光合成産物等の受容体としての能力(シンク能力)が高いことに依っている。サツマイモの物質生産力や収量性には、草型や個葉の光合成能力といった光合成産物の供給に関する能力(ソース能力)よりも、塊根のシンク能力の影響が大きいことが、接ぎ木実験等によって明らかにされている<sup>2,3)</sup>。このことから、サツマイモの生産力向上のためには、まず、塊根のシンク能力の向上を図るべきと考えられる。栽培的手段を採るにしても育種の場面においても、塊根シンク能力の向上を図るためには、その実体を把握する必要がある。塊根シンク能力の実体については、十分に解明されているとはいえないが、本稿では、主に生理的な側面から見た塊根シンク能力の発達とそれに関係する内的な要因についての研究の現状を紹介する。

## 2. 塊根シンク能力の発達

塊根の肥大を露光により停止させたり<sup>1)</sup>、塊根を形成しない近縁野生種の地下部を接ぎ木すること<sup>4)</sup>により塊根シンク能力を低下させてやると、地上部の光合

成速度も低下することが知られている。これは、シンク能力の制限により、葉身からの炭水化物の転流が抑えられ、葉緑体中のデンプン粒が発達し、内膜系の構造を破壊するためとされている<sup>5)</sup>。このようにシンクが光合成速度に影響を与えるような能力は、塊根がどの程度発育した段階で発揮されるのであろうか。

第1図には、塊根の肥大の良否、早晩の異なる4品種を台木とし、地上部の発育特性の異なる3品種を接ぎ穂とした接ぎ木植物の塊根乾物重と光合成速度の推移を示した<sup>6)</sup>。塊根形成以前や形成直後では、台木品種の塊根重と接ぎ穂の光合成速度との間に関連は認められなかったが、塊根の肥大が進み、その乾物重がおおよそ10gを超えるような時期になると、台木品種の塊根乾物重の大小と光合成速度の高低はほぼ一致するようになり、この程度の生育時期以降は、塊根が光合成産物の主要なシンクになっており、光合成速度にも



第1図 異なる接ぎ木組合せにおける塊根乾物重(□)と光合成速度(●)

コ：コガネセンガン， 九：九州89号， 農：農林1号，  
沖：沖縄100号， シ：シロサツマ， ツ：ツルセンガン，  
注) 挿苗5週間後の塊根乾物重は太根+塊根乾物重を示す。

Makoto NAKATANI: Development of Sink Acitivity of Tuberos Root and its Physiological Bases in Sweet Potato. 農業技術 46(11), 1991.

影響を及ぼしていることが示された。また、同時にこの結果は、露光による塊根肥大停止や野生種との接ぎ木といった塊根シンク能力をほぼゼロにするような極端な場合のみでなく、塊根肥大の品種間差のような量的な塊根シンク能力の差も光合成能力に影響を与えることを示すものであり、シンク能力の改良により、シンクとソースの相互作用を通じて、物質生産全体の向上も期待できることを示すものと考えられる。

### 3. 品種の塊根シンク能力の定量的把握

塊根のシンク能力は量的な形質であり、その生理的背景を探るためにも、遺伝的改良のためにも、まずそれ自体を定量的に評価する必要がある。サツマイモ塊根の場合、穀類で用いられるシンクサイズ(子実数×子実容量)でシンク能力をとらえることは困難である。葉身寿命等のソース側の特性も塊根肥大等に影響を与える<sup>7)</sup>ので、塊根自体の能力を評価するには、ソースの量や能力を一定にした条件で、塊根の乾物蓄積量を指標とすることが妥当と考えられる。接ぎ木により地上部品種を揃える評価法も試みたが、接ぎ穂の茎の伸長量や葉面積は台木品種により大きく異なり、問題が残った。

ところで、サツマイモでは、葉1枚でも塊根を形成・肥大させることできる。この1葉挿し栽培では、地上部に生長点はないので、地上部生長量の差が塊根自体の能力評価の防げとはならない。この方法は実際の育種場面での選抜にも用いられている<sup>8)</sup>。しかし、この場合でも1葉の面積や光合成能力は異なる。

そこで、第2図に示すような、同一品種の葉面積を揃えた葉身を接ぎ木した1葉挿し接ぎ木植物の系で塊根シンク能力の評価を行い、光合成や蒸散といったガス代謝の面からその

適否を検討したところ、この系の物質生産はほぼ塊根シンク能力によって規定されていると考えられ、厳密な塊根シンク能力評価系として優れていることが明らかになった<sup>9)</sup>。

以下では、主にこの実験系を用いて、塊根シンク能力の生理的背景を検討した。

### 4. 塊根シンク能力の生理的背景

塊根シンク能力を決定している生理・生化学的過程を解明することは、サツマイモの改良に極めて重要な知見を与えるものである。塊根シンク能力には種々の要因が関与していると思われるが、大きくは、1) 塊根の容量に関係する要因すなわち塊根の形成・肥大に関わる要因、2) 光合成産物等の転流に関する要因、3) デンプン等貯蔵物質の合成・蓄積に関する要因、の3つに分けて考えることが出来る。当然、これらは相互に関連しあっているが、1) には組織形態や内生生長調節物質等が、2) には主に転流系の構造や活性が、3) には貯蔵物質合成系の生化学的特性や貯蔵組織の構造等が関与すると考えられる。

これらのうち、塊根形成や肥大、物質蓄積に関する解剖学的機構は比較的解明が進んでおり、塊根形成と1次形成層の活性や木化程度との関係<sup>10)</sup>、肥大・物質集積と2次形成層等分裂組織との関連<sup>11)</sup>、転流効率と篩部断面積との関係<sup>12)</sup>、塊根のアミロプラスト発達の特徴<sup>13)</sup>等が明らかにされている。しかし、解剖学的特性は調査や結果の定量的な扱いの点で、生育診断や育種の選抜指標に用いるのはやや難しい。生理的なシンク能力の指標として、塊根組織のカルス形成能や無機成分のバランス等を検討したが、肥大やシンク能力との関連は認められなかった。

そこで、主に塊根の形成、肥大に関係する要因として内生植物ホルモン、物質蓄積に関係する要因としてデンプン合成系の酵素活性について検討した。その際、得られた成果が育種や栽培技術開発の場面で適用されやすいように、出来るだけ簡易な手法の導入や改良心がけた。

#### 1) 塊根シンク能力と内生植物ホルモンとの関係

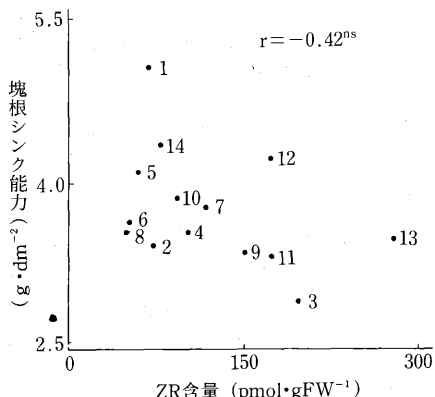
植物ホルモン等の生長調節物質が塊根の形成や肥大、物質集積の制御を通じて塊根シンク能力に影響を与えている可能性は高いと思われる。事実、サイトカイニン<sup>14, 15)</sup>やアブシジン酸(ABA)<sup>16)</sup>、オーキシン<sup>17)</sup>等とサツマイモの塊根形成・肥大との関連を示唆する報告が見られる。



第2図 一葉挿し接ぎ木植物の作成法

そこで、前述の1葉挿し接ぎ木系を用いて、サツマイモ塊根の主要なサイトカイニンであるゼアチンリポシド(ZR)<sup>15)</sup>やABA含量とシンク能力の品種間差との関係を検討したが、第3図に示すように、ZR含量とシンク能力との間には明らかな関連は認められなかった<sup>18)</sup>。

一方、第4図に示すように、塊根のABA含量とシンク能力との間には、つる割れ病が発生し、葉身が萎凋・枯死した品種を除くと、高くはないものの有意な

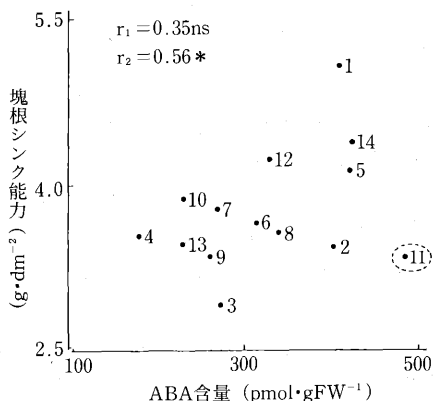


第3図 一葉挿し接ぎ木植物の塊根 ZR 含量と塊根シンク能力との関係

塊根シンク能力：単位葉面積あたり塊根乾物重

接ぎ穂品種：コガネセンガン。

台木品種：1：コガネセンガン，2：高系14号，3：紅赤，4：沖繩100号，5：農林1号，6：フクワセ，7：中国25号，8：ミナミユタカ，9：ツルセンガン，10：九州89号，11：シロユタカ，12：ベニアズマ，13：関東92号，14：シロサツマ(以下同様) 11のシロユタカはつる割れ病が発生し、葉身がほとんど枯死していた。



第4図 一葉挿し接ぎ木植物の塊根 ABA 含量と塊根シンク能力との関係

r<sub>1</sub>はつる割れが発生したシロユタカ(No11)を含み、r<sub>2</sub>は除いた場合の相関係数。

正の相関が認められ、ABA とシンク能力との関連の可能性が示された<sup>18)</sup>。しかし、これは生育の1時点における結果である。

そこで、シンク能力の高い品種としてコガネセンガン、低い品種として紅赤、さらに塊根を形成しない近縁野生種を用いて生育に伴うこれら植物ホルモンの根における含量変化を調査した<sup>19)</sup>ところ、野生種ではいずれの時期でも含量は低く、その変動も小さかった。栽培2品種では、連続した1次形成層が完成し、塊根が形成され始める時期に根のZR含量は急増したが、ZR含量の最大値には品種間差は無かった。一方、根のABA含量はZR含量の増加よりやや遅れて増加したが、その含量の最大値には、品種間で大きな差が見られ、コガネセンガンのそれは紅赤の約6倍であった。この2品種の塊根の発達を解剖学的にみると、1次形成層の完成まではほぼ同様の推移を示したが、それ以降、コガネセンガンでは旺盛な2次形成層の分化・発達が認められたのに対し、紅赤では2次形成層はほとんど認められず、1次形成層内部では導管の周囲に分裂組織が認められただけであった。2次形成層は旺盛な肥大や物質集積に関連が深いとされている<sup>11)</sup>。コガネセンガンの塊根について、この両植物ホルモンの分布を調査したところ、第1表に示すように、両者とも1次形成層付近の含量が最も高かったが、それ以外の部位では、ZRは1次形成層の外側、ABAは2次形成層等が存在する内側で含量が高かった<sup>20)</sup>。

第1表 塊根各部位の ZR, ABA 含量

部位名	含有率(pmol·gFW <sup>-1</sup> )	
	ZR	ABA
皮部(周皮を含む)	170.0±31.2b	130.8± 34.1c
1次形成層付近	205.5±11.5a	550.0±101.1a
木部周縁部	131.2±20.7c	384.7± 60.4b
中心部	109.8± 1.6c	199.1± 56.0c

1) 3塊根，2×2反復の平均値±標準偏差で示した。

2) 英字は5%水準のダンカン多重検定による。

また、サイトカイニンをサツマイモ植物体に外生的に処理した場合、塊根数や塊根重の増大効果が認められている<sup>21)</sup>が、生育後半の処理ではこのような効果は認められなかった。1葉挿し植物の生育中期にABAを処理するとやや塊根重が増加する傾向が見られたが、処理が長期化すると葉身の枯死を招き効果は判然としなかった。

他の生長調節物質の関与を含め、さらに検討を進める必要はあるが、これらの結果は、ZRを主体とする

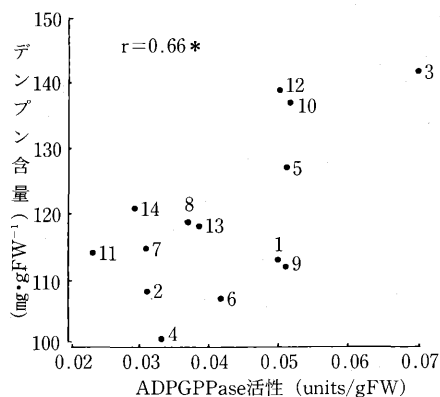
サイトカイニンは主に塊根の形成に、ABA は主に形成後の旺盛な肥大や物質集積に関連している可能性を示すものである。なお、上述の実験は主に、簡易な酵素抗体法を用いて得られたものである。これまで、植物ホルモン等の分析は手数や時間を要する生物検定や機器分析によってきたため、生育診断や育種の指標に用いられた例は少ない。しかし、この方法によれば、例えば目的は全く異なるが、ケルダール法による窒素分析等よりも簡易に多点数の分析を行うことができるため、実際の技術場面にも導入できる可能性は高く、一層の研究の進展が期待されることである。

## 2) 塊根デンプン含量とデンプン合成系酵素活性との関係

サツマイモ塊根の主要な貯蔵物質はデンプンであり、デンプン蓄積の効率はシンク能力を構成する重要な要因の一つと考えられる。また、塊根のデンプン含量は経済的にみると最も重要な品種特性の一つである。塊根の解剖学的特性もデンプン蓄積の効率に影響を与える<sup>11)</sup>が、デンプン合成系の生化学的活性もデンプン蓄積に大きな影響を与える要因であると考えられる。サツマイモ塊根においても、デンプンは、主に ADP-グルコース (ADPG) を基質としてデンプン合成酵素 (SSase) によって合成される<sup>22)</sup>。この SSase にはデンプン粒に結合した形のもと可溶性の形で存在するものがあり、サツマイモ塊根では結合型の活性の方がかなり強いとされている<sup>23)</sup>。

露光により塊根肥大やデンプン蓄積を停止させた場合、結合型 SSase 活性はむしろ増加することが報告されており<sup>24)</sup>、このことは結合型 SSase はデンプン蓄積を直接には調節していないことを示すと考えられる。そこで、地上部品種を揃えた接ぎ木植物を材料として、塊根デンプン含量と関連の深い塊根乾物率と可溶性 SSase 活性との関係を調査したが、関連は認められなかった<sup>25)</sup>。これらのことから、デンプン合成の最終段階を司る SSase はデンプン蓄積の律速過程ではないことが示唆された。

デンプン合成の主要な基質である ADPG は、転流してきたショ糖がいくつかの過程を経て、グルコース-1-リン酸に変換され、それを基質として ADPG ピロホスホラーゼ (ADPGPPase) によって合成される<sup>26)</sup>。ADPG はデンプン以外に代謝される系が知られておらず、トウモロコシ胚乳やパレイショ塊茎では、この酵素がデンプン合成の key 酵素の一つと考えられている<sup>27)</sup>。そこで、1 葉挿し接ぎ木植物を用いて、塊根の ADPG



第5図 一葉挿し接ぎ木植物における塊根の ADP-グルコースピロホスホラーゼ活性とデンプン含量との関係

PPase 活性とデンプン含量との関係を調査したところ、第5図に示すように、有意な正の相関関係が認められた<sup>18)</sup>。このことは、サツマイモ塊根においてもこの酵素反応がデンプン蓄積の key の一つになっていることを示唆するものである。

サツマイモ塊根のデンプン含量の品種間差は大きく、今後、この酵素について、アイソザイム等を含めさらに検討を進めれば、遺伝子工学的手法を用いたデンプン含量向上に道を開く可能性もあると思われる。また、イネ胚乳においては、分枝酵素 (Q-酵素) が、デンプン蓄積に重要な役割を果たしていることが報告されており<sup>28)</sup>、サツマイモ塊根における、これらの検討も重要な今後の課題と思われる。

## 5. おわりに

ここでは主に個体レベルやホルモン、酵素のレベルの研究を紹介したが、これらは圃場レベルにおける乾物生産研究の成果を出発点として、乾物生産の限定要因 (limiting factor) を順々に掘り下げていこうとしたものである。先にも述べたように塊根シンク能力は複雑な要因が総合されたものであり、未だ明快な答が得られていないものも少なくない。穀類等では、収量構成要素に分けた解析によって様々な面での研究が進展したが、サツマイモの場合、塊根数と塊根1個重に分けて解析することはあまり意味がない。現状では種々の相互作用の結果としての塊根重をシンク能力の指標とせざるを得ない。塊根シンク能力を構成するいくつかの生理的要素について適切な指標を設定し、それらを圃場レベルで解析することが可能になれば、サツ

マイモの生産性に関する研究は大きく進展するものと考えられる。

現在、サツマイモの生産自体と同様に、サツマイモの作物研究を取り巻く環境も厳しいものがあるが、一方では分子レベルの研究等も進展しつつあり、これらと圃場レベルの研究とのギャップを埋めていくこともこれからの作物研究に課せられた任務の一つと考えている。このような努力を続ければ、ここに述べた成果が栽培技術や育種等を通じて、実際の生産に役立つ日も遠くはないものと期待している。

(農業研究センター作物第一部資源作物研究室)

### 引用文献

- 1) 津野幸人・藤瀬一馬 (1965) 農技研報 D13 : 1-132.
- 2) 北條良夫ら (1971) 農技研報 D22 : 165-191.
- 3) Hahn, S.K. (1977) Crop Sci. 17 : 559-562.
- 4) 北條良夫・朴正潤 (1971) 農技研報 D22 : 145-164.
- 5) 長南信雄ら (1982) 日作紀 51(別1) : 89-90.
- 6) Nakatani, M. et. al. (1988) 日作紀 57 : 535-543.
- 7) 下坪訓次ら (1986) GEP 成果シリーズII-11 農林水産技術会議事務局 92-107.
- 8) 吉田智彦ら (1987) GEP 成果シリーズII-14 農林水産技術会議事務局 84-89.
- 9) Nakatani, M. et. al. (1988) 日作紀 57 : 544-552.
- 10) 戸苺義次 (1950) 農事試報 68 : 1-96.
- 11) 国分禎二 (1973) 鹿児島大農学報 23 : 1-126.
- 12) Calderon, C.D. et. al. (1983) Hortsci. 18 : 335-336.
- 13) 松田智明ら (1988) 日作紀 57(別1) : 205-206.
- 14) Matsuo, T. et. al. (1983) Plant Cell Physiol. 24 : 1305-1312.
- 15) Sugiyama, T. & T. Hashizume (1989) Agric. Biol. Chem. 53 : 49-52.
- 16) 折谷隆志ら (1983) 日作紀 52(別2) : 115-116.
- 17) 秋田重男ら (1962) 中国農試報 A 8 : 75-128.
- 18) Nakatani, M. et. al. (1988) Proc. 8th Symp. Internat. Trop. Root Crops 507-515.
- 19) Nakatani, M. et. al. (1991) 日作紀 60 : 91-100.
- 20) 中谷誠・古明地通孝 (1991) 日作紀 60 : 322-323.
- 21) McDavid, C.R. & S. Alamu (1980) Ann. Bot. 45 : 363-364.
- 22) Murata, T. & T. Akazawa (1968) Arch. Biochem. Biophys. 126 : 873-979.
- 23) 佐々木堯・貝沼圭二 (1981) 日本食品工学会誌 28 : 640-646.
- 24) 村田孝雄 (1970) 農化 44 : 412-421.
- 25) 中谷誠ら (1988) GEP 成果シリーズII-16 農林水産技術会議事務局 75-100.
- 26) 村田孝雄 (1981) 旭正編 植物生理3, 朝倉書店, pp.72-101.
- 27) Preiss, J. & C. Levi (1980) Biochemistry of Plants Vol.3. Academic Press, pp.371-423.
- 28) Nakamura, Y. (1989) Plant Cell Physiol. 30 : 833-839.

## 農林漁業現地情報(通巻240~241号)

### ——農林水産省統計情報部発行——

○霞ヶ浦のアオコ肥料化に成功(茨城・常北町) 同町の民間会社A研究所では、毎年夏に霞ヶ浦で大量に発生して悪臭を放つアオコの肥料化に成功した。アオコは、水中の窒素やリンなどを栄養源にして繁殖する植物プランクトンで、霞ヶ浦の汚濁の象徴になっている。これまでは、回収されたアオコは乾燥させ焼却処分されていたが、窒素などを多く含んでいるので、有機質肥料化の研究に取り組み、アオコの悪臭を取り除き、乾燥させてバクテリアや活性剤を混ぜ、窒素、リン酸、カリを成分調整して肥料化したもの。費用も焼却処分の3分の1で済む見込みである。

○ハウスなし栽培照明で収量アップ(徳島・上坂町)

県果樹試北分場は、ハウスなし栽培に4種類、①混光(メタルハライド+ナトリウム)、②陽光、③メタルハライド、④普通灯の光源を自動的に継続照射する実験を行った結果、2年間の収量は、無照区に比べ混光区が2倍、陽光区が1.6倍の高収量となった。ハウ

スなしは、一般に照度の低下により花芽の着生量、果実の肥大に問題が生じるが、この照明補光により品質・収量の両面で好結果が得られた。栽培農家は大きな期待を寄せている。

○ルバーブを試験栽培(北海道・足寄町) 同町の農林業振興協議会は、平成2年度からルバーブの試験栽培を手がけている。ルバーブはシベリア南部が原産のタデ科の多年草植物で、葉柄が赤や緑の種類がある。葉柄はジャム等に加工できるうえ、繊維質に富み健康食品としても有望である。播種は5月初めであるが、株分けでも増やすことができ、収穫期は9月頃が適期である。現在は試験段階だが、収量が安定し需要の増加が見込まれば、特産品として育てたいとしている。

○水田の溝切り機を乗用化(新潟・全域) 県農試では、現在歩行型の機械で行われている水田の中干し前に行う溝切り作業を、多条型の乗用田植機を改良して乗用化に成功した。改良方法は田植機本体後部のリンクに作業機二つを取り付けたフレームを、作溝機が車輪後方となるように装着し、車輪跡を形成して二条の溝を作るようにしたものである。