

■ 技術報告 ■

食糧生産およびバイオマスのための 新しい無生長点栽培

Top-Disbudding Culture for Food Production and Biomass

矢 吹 萬 寿

Kazutoshi Yabuki

1 根菜類の無生長点栽培

一般に根菜類と呼ばれている塊根あるいは塊茎部に光合成産物を澱粉として蓄積する作物は他の作物に比べ、その生産性は非常に高く、食糧ないしはバイオマスとして利用するには極めて有利な作物と言えよう。

根菜類においては、その光合成産物は次のような部分に配分され、消費または蓄積される。

光合成産物	{	生命を維持するための呼吸
		植物体の構成
		植物体構成のための呼吸
		澱粉としての蓄積（収量部分）

したがって、この光合成産物の収支から、栽培技術は人間が利用する塊根とか塊茎などの収量部分に光合成産物を如何に多く蓄積させるかということにつく。一般に農業技術者は栽培技術改善のために2つの異った方向で努力をつづけて来た。その1つはその地域の環境に適するような作物の種類、品種を選択し、改良するもので、適地適作というのはこのことであり、今日話題となっている組換えDNAとか細胞融合などもこの範疇に入る。もう一つの方向は作物の持っている機能を最大限に発揮できるような栽培環境を創り出すことで、土地を耕し、灌漑、排水をし、農薬や肥料を施して来た。この2つの方向が車の両輪のごとく相よって農業技術が発達して来たわけである。ところが、非常に興味ある一つの現象が知られている。それはサツマイモの1枚の葉を挿すと発根し、蒔をつけることである。この現象を metabolic phytometer として利用しようとしたり(吉良竜夫, 1950)、光合成産物の転流機構の解析に利用しようとする(加藤ら, 1972)などが試みられて来た。この現象を上述の物質収支から考えると、葉には生長点がないから、植物体構成のための配分とか、構成のための呼吸消費はなく、光合成

産物のほとんどが塊根に蓄積されることになり、結着量は従来の蔓挿し法にくらべ、非常に多くなることが考えられる。筆者はこの考え方の妥当性ならびに実用化について、1975年以来基礎的な研究を行って来た(矢吹と上和田, 1976)、(YabukiとUewada, 1978)(矢吹ほか, 1978)。

葉柄をつけた1葉挿しを行うと、夏季高温時においても、発根、結着開始までに30日以上もかかり、葉および葉柄が持っているエネルギーの消耗が大きく、かつ収穫まで長時日を要することなどから実用的とはいえない。ところが蔓の一部をつけて挿すと、挿葉3日後にはほとんどの苗が発根しているので、実用上にはこの方が適当と考えられる。筆者らはこの方法を“節挿し法”、1枚の葉の場合を“葉挿し法”と呼んでいる。実験の結果は収量部分への光合成産物の配分率は90%にも及び収量も驚異的とも言いえるほどで、筆者らの考え方の妥当性が実証された。もちろん1枚の葉の光合成量には限界があり、葉の寿命との関係もあるが、夏季では50日間の栽培で、30~50g/葉の収量がある。従来の蔓挿し法が150日間に2~3g/葉であるにくらべ極めて効率が高いことがわかる。ただ節挿し法では腋芽が発生するという別の面倒な問題があり、腋芽抑制法が別の研究対象となっている。

このような収量部分へ光合成産物を転流させようとする考え方はサツマイモのみならず、他の根菜類や果菜類にも当然適用できるものと考えられ、現在筆者らはキャッサバについて検討を加えている。キャッサバは熱帯諸国における主要な食糧ともなり、また澱粉あるいは飼料として輸出されている。

タイ国におけるキャッサバの生態を見ると、挿木をして収穫まで約1年であるが、栽培後期になると、木化した茎は高さ3mにもなり、下葉は落下して40~50枚程度の葉が茎の先端についているだけである。キャッサバについても物質収支的な見地から考えると、落下した葉および長い茎の部分はエネルギー的にはマイナ

* 大阪府立大学農学部農業工学科教授

〒591 堺市百舌鳥梅町4丁

スと考えられ、下葉が落下を開始する直前に、生長点を切除するか、生長を抑制するとサツマイモの例と同様に、それ以後は植物体の構成ならびに構成呼吸に対する光合成産物の配分・消耗がなくなり、塊根への配分が多くなり、塊根は太らざるを得ない。これらの方法は生長点を切除するかあるいは生長点のない部分を栽培することから、筆者らは無生長点栽培 (top-disbudding culture) と名づけている。以下主にサツマイモの栽培について述べたい。

2 サツマイモの節挿し栽培

2.1 苗および苗の挿し方

苗床は従来の蔓挿し法のものと同じく同様で、通常種蒔は 3,000 個/a の割合で植付ける。種蒔から蔓が 5～6 本出て、その蔓からそれぞれ約 10 本の苗蔓が出る。この苗蔓の展開葉を用い、1 節挿しあるいは多節挿しとする。1 節挿しの場合は葉と葉との間で蔓を切断して挿す。蔓は短くしないのでそのままの長さの方が、蔓の持っているエネルギー量が多いので、挿葉後の生育が良好である。多節挿しの場合は、展開葉が 5 枚あるいは 10 枚になった時に苗として採る。蔓に葉のつき方が図-1 に示すごとく、5 枚が 1 組となっているので、5 枚あるいは 10 枚としている。後に述べるキャッサバの葉の着方もこれと同じく同様で、丁度星形を描く時の筆順である。余談になるが、茎あるいは蔓の同一線上にある葉数の 5 倍が全葉数となる。5 枚あるいは 10 枚が結蒔にどの程度影響があるかは現在のところ不明であり、他の数でもよいが、少なくとも植付葉数計算には便利である。

したがって展開葉の 5 枚あるいは 10 枚ついた蔓苗の生長点を切除し、蔓全部を土中 2～3 cm の深さに埋める。もちろん葉は地上に出す。また従来の蔓挿し法と同様に蔓の基部の 1～2 葉を土中に挿してもよい。前者の場合は葉のついた節ごとに小さな蒔がつくが、後者の方法では蒔数は少いが大きいものがつく。この無生長点栽培法では挿した葉だけが最後まで光合成反応

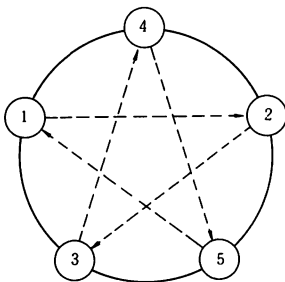


図-1 サツマイモの葉のつき方

をつづけ、新しい葉は出ないから、健全な葉を選ぶとともに取扱いにも注意を拂う必要がある。

2.2 栽培床

サツマイモ栽培においてもつとも注意すべきことは、常に土壌の通気性を高く維持することである。灌水あるいは降雨後は土壌空隙が水に満され、通気性が悪くなる。日本のような降雨量の多い処では排水を良好にするため、高畝栽培にすることが常識となっている。筆者らの実験では灌水あるいは降雨後は土壌空気の CO_2 濃度が直ちに 2～3 % となり、しかも CO_2 濃度が 2,000 ppm (0.2 %) でも結蒔に影響する結果を得ている。 CO_2 濃度が高まると根の正常呼吸が阻害されるためと考えられる。培土としては定説した団粒構造の土壌を用うことが必要であり、灌水にも団粒構造が破壊されないようにしなければならない。この栽培法は葉面積指数 (L. A. I.) (単位土地面積上の葉の面積) を 3～4 に確保するために畝立てとすることはできず平畝としなければならないので、とくに土壌水分の管理が重要になる。排水をよくするために、図-2 に示すごとく、ベッドの下層に礫を置いたり、有孔プラスチック板をおいて空間をつくり、排水に努めることが必要である。この空間に空気を吹き込むとなお好適環境が創られる。

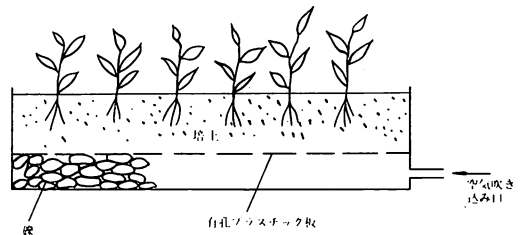


図-2 栽培ベッドの構造

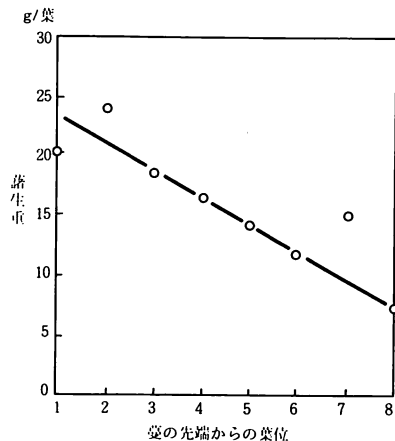


図-3 葉位とサツマイモ結蒔量

栽植密度は栽培季節の日射の強度によって異なり、また後に述べる CO_2 施肥を行うかどうかによっても異なるが、夏季は $400 \text{ 葉}/\text{m}^2$ 、冬季は $300 \text{ 葉}/\text{m}^2$ を基準とするがよい。1 節挿しでは挿苗に非常な労働力と時間がかかるが、多節挿しにすると、例えば10節挿しでは $30 \sim 40 \text{ 蔓}/\text{m}^2$ 挿せばよいことになる。5 葉蔓にするか、10葉蔓にするかが1つの問題点であるが、葉位と蒔の生産力との関係を求めたものが図-3である。先端に近い葉ほど結蒔量が多いことから、若い葉ほど良いことになる。したがって展開葉が5葉になった時点で採苗し、挿すことが好ましいものと考えられる。

2.3 腋芽の萌芽抑制

腋芽の発生は図-4に示すごとく、節部の生長点側にあり、根は反対側の蔓の両側にある。1 節の場合は萌芽原基部を切除すればよい。ただしこの原基部を切除する時、葉柄部と蔓との接合部が狭くなり、カルスの生成ともからんで、光合成産物が根に転流することの妨げにならないよう注意すべきである。

一般には多節挿しをするが多節挿しの場合は萌芽原基部を切除することは出来ない。普通植物は腋芽発生を植物自身が制御するために、生長点で抑制ホルモンである IAA (インドール醋酸) を出し、これが茎を流下して腋芽の発生を抑え、生長点の生長を促進している。生長点が折れたり、切除されると IAA の発生がなくなるから、直ちに腋芽が発生し別の生長点をつくり生長をつづけることになる。この無生長点栽培は生長点を切除するから、腋芽発生を促進させることになる。したがって切除部に人為的に腋芽抑制ホルモンを塗布するとよい。ただ切除部が治癒し、カルスが完全に出てくると効果がなくなるため浸透力のある物質の探索が必要である。

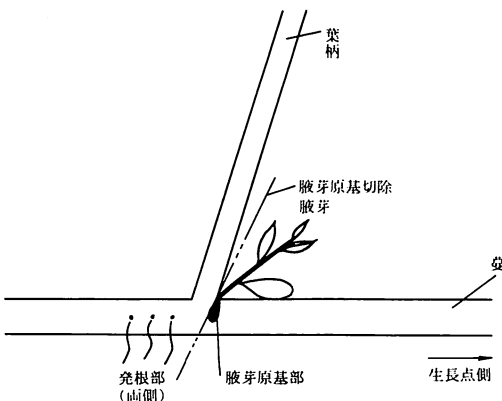


図-4 サツマイモ腋芽原基部

2.4 栽培管理

挿苗後は十分に灌水するとともに、萎調を妨ぐために夏季では5～6日間日覆いをする必要がある。日覆いを取去った後は定常的な栽培管理に移るが、問題の灌水は、テンシオメータにより土壌のpF値が2.2～2.3程度になった頃に灌水を行うとよいが、実際には経験によって行うことになる。灌水にはサツマイモ用春日井氏液の $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{4}$ 濃度のものが適当と考えられる。腋芽が発生した場合は直ちに切途しなければならない。放置すると本葉が落ちる。普通サツマイモの葉の寿命は45～50日で、先端に本葉が出ると下葉が落ちて行くが、葉挿し法では葉の寿命は90日以上に延びる。したがって栽培期間は75～90日が適当なようで、蓄積効率から言えば夏季では約75日である。

2.5 CO_2 施肥

節挿し法の場合は、畝立栽培をすると単位土地面積当りの葉数(LAI)が確保できないから平畝植付けとなる。平畝では土壌水分制御が困難となるから、ビニルハウス内で栽培し、降雨からのがれ灌水により土壌水分含有率の調節することが好ましい。ビニルハウス内で栽培する場合、10月～3月の間は、朝、夕、1日中ハウスを密閉することが多い。このような時は CO_2 施肥を行うことができる。この節挿し栽培は葉に生成された光合成産物の根への転流が容易なため、光合成効率や根への蓄積効率が高く、 CO_2 施肥の効果も大きい。筆者らの実験結果では CO_2 濃度が $2,000 \text{ ppm}$ 前後がもっとも効果的であった。しかも一般に CO_2 処理を行うと5～6日後から光合成能力が低下するが、無生長点栽培では CO_2 施肥効果は低下せず、 CO_2 施肥5週間後でも CO_2 無使用区の4倍の光合成能があり、8週間後でも3.5倍であった。ただ腋芽が出て生長点を持つと上述のごとく急速に光合成能は低下する。

2.6 結蒔量

夏は戸外で、寒冷期は、最低気温が 18°C 以上に保たれた温室内で砂耕法で栽培した場合の生蒔重の収量の年変化を図-5に示す。収量は培土、栽植密度あるいは灌水法によって異なる。これは葉面積指数(LAI)が1程度であったので実用とは異なるが、大略の値がわかる。

日射量の多い夏季では、 $45 \text{ g} \cdot \text{生重} / \text{葉} / 50 \text{ 日} \approx 11.5 \text{ g} \cdot \text{乾重} / \text{葉} / 50 \text{ 日}$ 、日射量の少ない冬季では $3 \text{ g} \cdot \text{生重} / \text{葉} / 50 \text{ 日}$ であった。前述のごとく従来の蔓挿し法が夏季で $2 \sim 3 \text{ g} \cdot \text{生重} / \text{葉} / 150 \text{ 日}$ であるにくらべ、節挿し法は極端に収量が多いことがわかる。さらに CO_2 処理をするとその効果も大きい。夏季と冬季との収量

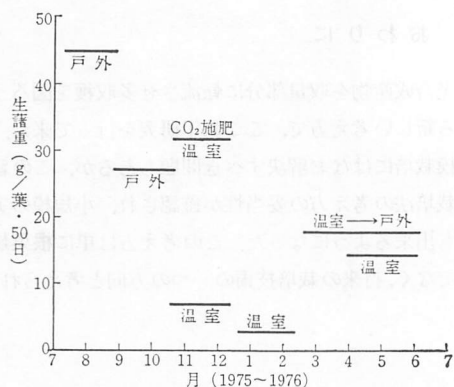


図-5 カンショ節挿し法による結蒬量の周年変化（栽培期間を異にしたが、50日間に換算）

差が大きい理由は、夏季は挿苗7日後ぐらいから結蒬を開始するのに対し、冬季は挿苗後30日頃から結蒬を開始すること。また日射量は7～8月が平均400 cal/cm²/日、11～12月は約100 cal/cm²/日で、夏季は冬季の4倍であった。したがって、結蒬期間の比は(50-7)/(50-30)≒4。これに日射量の比4を乗ずると、夏季収量は冬季収量の16倍が期待されるが、実際も約15倍であった。図-6に結蒬の状態を示す。

次に長さ300 cm、幅100 cm、深さ20 cmの実用栽培ベッドに栽植密度300 葉/m²として、9月21日より12月21日まで栽培した。活着した9月29日より、



図-6 サツマイモ節挿しの結蒬状況

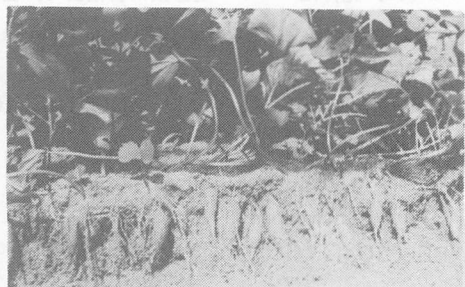


図-7 実用栽培における結蒬状況

日出より日没まで2,000 ppmの濃度でCO₂施肥を行った結果、1ベッド当り(3 m²)生蒬重41kgの収量があった。また乾物の蒬部への配分率は90.3%，蒬の乾物率は27.0%で、いずれも高い値を示した。図-7に収穫時の結蒬状況を示す。

2.7 今後の問題点

上述のごとく、極端な収量が得られるも、栽植密度300 葉/m²を如何に能率よく挿すかという点である。1蔓10葉としても30蔓/m²となり、10 aでは3万蔓を挿さねばならない。他の1つの問題点は約90日間有効な腋芽抑制物質の探索である。この2点が解決するならば、容易にバイオマス生産が可能となる。一般家庭用として3 m²の栽培ならば、手入れも行き届くので全く問題はない。

3 キャッサバの無生長点栽培

前述のごとく、キャッサバの生長を抑え、茎および落葉へ配分される光合成産物を塊根へ転培させ蓄積させようとするものである。問題点は生育のどの段階で生長抑制をはかり、どの程度の栽植密度が単位面積当りの収量が最大になるかという点である。詳細について述べるほどの結果はまだ得られていないが、無生長点栽培法の考え方がキャッサバにも適用できることが確められた。

筆者らがタイ国カセサート大学農学部、農林省ファイボン畑作試験地と協同研究を行った結果、栽植密度は1,000本/1,000 m²～1,500本/1,000 m²(80～100 cm間隔)とし、生育抑制の草丈は120 cm位が適当であった。CIAT(コロンビア国際キャッサバ研究所)の従来の栽培法では最適の葉面積指数(LAI)は3～4となっており、LAIが3～4になった時期に生長点切除を行うのがよからう。腋芽制にはサイトカイニンのランノリンベーストが効果的であるが、有効期間は3ヶ月程度である。矮化剤による生長抑制の方がよいかも考えられる。



図-8 キャッサバの無成長点栽培の状況
(タイ国ファイボン畑作試験地)

キャッサバは初期生育が非常におそく、挿木3ヶ月後からようやく結薯を開始するので長期間栽培しなければならない。(タイ国では一般に12ヶ月間栽培する)タイ国の気候は湿潤期と乾燥期とがあり、乾燥期は全く降雨を見ないので、土壌水分含有率が極端に小さくなり、落葉がおこる。この無生長点栽培は新しい葉が出ないので問題となる。この方法は短期間でも収穫量は多いから、湿潤期間だけ栽培するように考えている。これらの点から乾燥期がない熱帯多雨林気候帯での栽培は有利である。

4 おわりに

光合成産物を収量部分に転流させ多収穫を図ろうとする新しい考え方で、ここ数年研究を行って来た。大規模栽培にはなお解決すべき問題もあるが、この新しい栽培法の考え方の妥当性が確認され、小規模の実用化も出来るようになった。この考え方は単に根菜類だけでなく、将来の栽培技術の一つの方向と考えられる。

新刊洋書案内

廃棄物からの物質とエネルギー

Materials and Energy from Refuse

本書は、1981年10月20日から22日にかけて開かれた「廃棄物からの物質とエネルギーに関する第2回国際シンポジウム(The Second International Symposium «Materials and Energy from Refuse»)」での講演集である。このシンポジウムは、ベルギー王立技術者協会(Koninklijke Vlaamse Ingenieursvereniging)の主催により、ベルギーのアントワープで行なわれた。本書には、8件の展望講演と67件の研究発表、および9件のパネルディスカッションの記録が収録されている。

廃棄物のリサイクルによる再利用は、省エネルギーと省資源の観点から、世界的に課題として注目されている。わが国においても、この問題は、単に業界ばかりでなく、廃棄物を処理する側の自治体や、廃棄物を取締る側の行政機関にとっても、切実な問題となっている。本書は、関係者にとって参考になろう。

参考までに、本書の目次をつぎに紹介する。

前がき

基調報告

展望講演(8件)

発表論文

廃棄物の分離法(8件)

セルローズおよび食品廃棄物の再利用法(3件)

土地造成への廃棄物の利用(4件)

建設業界における廃棄物の再利用(4件)

廃棄物からの金属の回収(4件)

廃棄物を利用した燃料(13件)

廃棄物からのバイオガス(4件)

廃棄物の焼却法(5件)

廃棄物の加熱分解とガス化法(14件)

廃棄物の法規制と管理法(8件)

パネルディスカッション(9件)

ちなみに、発行はベルギー王立技術者協会で、価格は3,600ベルギーフラン(送料とも約3万円)。

申込先は下記のとおり。

KONINKLIJKE VLAAMSE INGENIEURS
-VERENIGING

Jan Van Rijswijcklaan 58

2,000 - Antwerpen

BELGIUM