カンショにおける個葉光合成速度の支配要因の解明

第2報 一葉挿し接木植物の光合成と根重生産における シンク・ソース関係*

窪田 文武・飯塚 恵治・縣 和一

(九州大学農学部)

1992年8月10日受理

要 旨: 一葉挿し接木植物における光合成と根重生産をシンク・ソース関係の視点から解析, 論議した. コガネセンガン (K), シロユタカ (S), 紅赤 (B) および蔓無源氏 (T) の4品種を接穂と台木として正逆に組合せ, 16組の接木植物を作り供試材料とした. 根重 ($R_{X/Y}$) に及ぼすシンクとソースの個別および組合わせ効果を解析にするため, 数学モデルを創出し, 接穂効果 (E_{X*}) と台木効果 ($E_{*/Y}$) および両者の組合せで生じる一般組合せ効果 ($GCE_{X/Y}$) と特定組合せ効果 ($SCE_{X/Y}$) を算出した. 下式にこれらの関係を示す.
 $R_{X*} = E_{X*} + R_{**}$; $R_{*/Y} = E_{*/Y} + R_{**}$; $GCE_{X/Y} = (E_{X*} + E_{*/Y})/2$; $R_{X/Y} = GCE_{X/Y} + SCE_{X/Y} + R_{**}$: ここで, $R_{X/Y}$ は品種 (X) を接穂, 品種 (Y) を台木とした植物の根重である. R_{X*} と $R_{*/Y}$ は, それぞれ品種 (X) を接穂あるいは品種 (Y) を台木にした植物の平均根重である. また, R_{**} は16組合せ全植物の平均根重である. K または B を接穂に用いると根重が増加し, 正の接穂効果が得られた. K の台木効果も正の値であった. T における両効果はともに小さく, 負の値であった. 一般組合せ効果と特定組合せ効果は正の相関関係にあったが, 例外 (T/S と T/T) も認められた. 光合成速度は, K を台木あるいは接穂に用いると高くなった. T/S と T/T の光合成速度は特に低い値であった. 光合成速度と根重とは限られた範囲内では正の相関関係にあった. T を台木にした組合せや T/S では葉柄重が増加した. 根のシンク能が制限される場合では葉柄がシンクとして機能した.

キーワード: 一葉挿し, カンショ, 光合成, 根重生産, シンク, ソース, 接木.

Photosynthetic Control Factors in a Single Leaf of Sweet Potato, *Ipomoea batatas* Lam. 2. Sink-source relationship between photosynthesis and root weight production in single leaf grafts: Fumitake KUBOTA, Keiji IIZUKA and Waichi AGATA (Faculty of Agriculture, Kyushu University, Hakozaki, Higashiku, Fukuoka 812, Japan)

Abstract: Photosynthesis and root weight production in single leaf grafts were discussed from the point of view of sink-source balance. Cultivars used were Koganesengan (K), Siroyutaka (S), Beniaka (B) and Tsurunasigenji (T). Scion (leaf+petiole) and stock (petiole+roots) of the four cultivars were reciprocally grafted in 16 combinations. To elucidate the single and compound effects of sink and source on root weight ($R_{X/Y}$), mathematical models were derived, from which scion effect (E_{X*}), stock effect ($E_{*/Y}$) and their combination effects, general combining effect ($GCE_{X/Y}$) and specific combining effect ($SCE_{X/Y}$), were calculated. The relationships of these components were shown as the following equations. $R_{X*} = E_{X*} + R_{**}$; $R_{*/Y} = E_{*/Y} + R_{**}$; $GCE_{X/Y} = (E_{X*} + E_{*/Y})/2$; $R_{X/Y} = GCE_{X/Y} + SCE_{X/Y} + R_{**}$: where R_{X*} and $R_{*/Y}$ are the average root weights of the grafts with cv. (X) scion and cv. (Y) stock, respectively. $R_{X/Y}$ is the root weight of a graft with cv. (X) scion and cv. (Y) stock. R_{**} is the average root weight of all the plants of 16 graft combinations. When K or B was used as scion, the root weight of grafted plants highly increased; the scion effects of both cultivars were positive. Also the stock effect of K was positive. While both scion and stock effects of T were negative and the lowest. A positive linear relationship was detected between GCE and SCE, but T/S and T/B were excepted from the tendency. Photosynthetic rate increased in the plants grafted to K-scion or K-stock, while in T/S and T/T the rates significantly reduced. Root weight production was positively related to photosynthetic rate within a limited range. In T/S and the grafts with T-stock, petiole weights increased; the petiole functioned as a sink when the tuber sink capacity was limited.

Key words: Graft, *Ipomoea batatas*, Photosynthesis, Root weight production, Single rooted leaf, Sink, Source.

カンショの乾物生産におけるシンクとソースの相
互関係の重要性は, 先に津野・藤瀬¹⁸⁾や北條ら⁴⁻⁸⁾が
指摘するところであり, 種々の品種を接木し異なる
シンク・ソースの組合せが乾物生産に及ぼす影響に

についての解析が数多く行われている. 最近では,
Nakatani ら^{12,13)}が塊根生産におけるシンク能の品
種間差を解析しており, 一葉挿し植物の実験系とし
ての有用性を報告している.

このような一連の研究が行われる中で, 著者らも
カンショ品種の一葉挿し接木植物を対象に, 光合成,

* 本論文の一部は第187回講演会(1989年4月)にお
いて発表.

乾物生産におけるシンク・ソースの関係について解析を進めてきた。異なる品種を接穂や台木として組み合わせた場合、一葉挿し植物のような単純な物質生産系においても反応は複雑であり、シンク・ソース関係が光合成や塊根生産にどのように影響するかを明確に捉えることは難しい。その主な理由は、北條らが⁷⁾指摘するように物質生産がシンクとソースの相互作用系のなかで行われており、一方のみが他方の律速因子として作用するような単純な制御系ではないことによるものと考えられる。

Hahn^{2,3)}は、塊根生産に及ぼす接木の効果を回帰係数を基礎に統計的手法により解析し、シンク・ソース関係をより明確に捉えようと試みている。ここでは、これとは異なる視点から接木効果の解析法を考案し、一葉挿し接木植物を対象に、台木品種と接穂品種の個別の効果や両者の組合せで生じる複合効果を根重生産について検討し、乾物生産および光合成における各品種のシンクあるいはソースとしての特性を明らかにした。

材料と方法

一葉挿し植物の接木と栽培

相互接木を行うための供試材料として、コガネセンガン、シロユタカ、紅赤および蔓無源氏の4品種を用いた。コガネセンガンとシロユタカは収量性に優れる品種、蔓無源氏は収量性が劣る品種である。また、コガネセンガンは光合成速度が高く、蔓無源氏は光合成速度が低い品種であることを著者らは確認している。接穂と台木の組合せを示す場合、以下ではコガネセンガンをK、シロユタカをS、紅赤をB、および蔓無源氏をTの略号で表し、接木した場合、例えばコガネセンガン（接穂）と蔓無源氏（台木）の接木植物はK/Tで表した。

圃場で栽培中の個体の展開葉のうち第3,4位葉を1989年7月20日に葉柄基部で切断し苗とした。葉柄を十分水を含んだパーミュキュライトに挿入し、6日間育苗後、発根した苗を砂を充填したポット（内径8.3 cm、深さ20 cm）に移植し、8月4日まで九州大学農学部圃場のビニルハウス内で栽培した。

8月5日にNakataniら¹³⁾の方法で4品種正逆総当り（16組合せ）の接木を行った。葉柄長は接穂側5 cmおよび台木側5 cmであり、1個体の葉柄長を全供試材料とも10 cmに揃えた。なお、各組合せとも4反復とした。

肥料として標準濃度の春日井氏畑作用水耕液を使

用した。毎朝給水と施肥を兼ね、本液をポットの最下部の排水口から流出するまで十分に与えた。接木処理後60日目（9月14日）に、各処理区4個体を採取し、葉面積や器官別（葉部、葉柄部および根部）の乾物重を測定した。

8月14日からほぼ1週間間隔で各接木組合せ4個体を対象に個葉光合成速度（Pn）を光飽和条件下（光合成有効放射 $1,500 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 以上）で、午前9時から午後1時までの時間帯に測定した。日射量不足の場合はメタルハライドランプ（150 W）で補光した。測定には携帯型光合成・蒸散速度測定装置（英国ADC社製、SPB-H）を使用した。測定対象とした葉面積は 6.25 cm^2 であり、この面積に対して 400 mL/min の空気を送った。また、送風空気の相対湿度は50%前後に調節した。葉温は気温より約 2°C 高い状態であった。1点測定のための所要時間は約5分であった。

結 果

乾物生産

第1表に供試4品種を正逆に接木した全16組合せの植物体乾物重、個葉面積および根重比（根重/植物体重）を示した。全組合せの平均値は、植物体乾物重、 3.361 g/pl 、個葉面積、 $84.97 \text{ cm}^2/\text{pl}$ および根重比、73.5%であった。

接穂に紅赤を用いると乾物重と葉面積が増加し、それぞれ平均値は $3.898/\text{pl}$ と $96.31 \text{ cm}^2/\text{pl}$ であった。蔓無源氏接穂植物では乾物重の増加が少なく、 2.981 g/pl であり、根重比も低く69.9%であった。

コガネセンガンを台木とした場合、乾物重と根重比が増加し、それぞれ 3.945 g/pl と84.1%であったが、葉面積は $83.02 \text{ cm}^2/\text{pl}$ であり平均値以下であった。蔓無源氏台木植物では根重比が低くなり、67.1%であった。全組合せ中、乾物重の最大値（ 4.420 g/pl ）はB/K、また、最小値（ 2.595 g/pl ）はT/Sで得られた。葉面積と乾物生産との関係を検討したが、相関係数は低く（ $r=0.421$ ）、有意な関係は認められなかった。

根重生産に及ぼす接穂と台木の組合せ効果

各接木植物の葉面積は同一ではないため、植物体を受ける光エネルギー量に差が生じ、これが根部の乾物蓄積に影響する。シンク能を比較するには、各組合せにおける光エネルギー受容量を一定条件にすることが必要であるので、ここでは、同一葉面積条件（ $f=100 \text{ cm}^2$ ）に換算した根重（塊根重+細根重 g/

f) の値を求め、第2表に示した。

品種 X (接穂) と品種 Y (台木) とを接木した植物 X/Y の根重を $R_{X/Y}$ とし、供試した全接木植物の根重の平均値を $R_{*/*}$ で表した。品種 X (接穂) を供試4品種 (台木) に接木して得た各植物体の根重の平均値を接穂平均値 (R_{X*}) とした。また、逆に品種 Y (台木) を供試4品種 (接穂) に接木した植物体の根重の平均値を台木平均値 (R_{*Y}) とした。

$R_{*/*}$ は 2.965 g/f であった。最大値はコガネセン

ガン同志を接木した場合に得られ、 $R_{K/K}=4.345$ g/f, また、最小値は $R_{T/S}=1.490$ g/f, 次いで、 $R_{T/T}=2.217$ g/f であった。台木平均値はコガネセンガンが最大 ($R_{*/K}=4.003$ g/f) であり、また、接穂平均値の最大値 ($R_{K/*}=3.287$ g/f) も本品種で得られた。一方、蔓無源氏では両者とも低く、それぞれ、 $R_{T/*}=2.518$ g/f と $R_{*/T}=2.487$ g/f であった。

接木植物の根重は、接穂品種 X と台木品種 Y を接木することによって生じる組合せ効果 ($CE_{X/Y}$) と

Table 1. Plant dry weight, leaf area and root weight ratio in the single leaf grafts. The four cultivars were reciprocally grafted as scion and stock.

Stock cv.	Scion cv.				
Koganesengan (K)	K	S	B	T	Mean
Plant wt (g/pl)	3.912	4.113	4.420	3.333	3.945 ^a
LA (cm ² /pl)	75.45	89.25	88.89	78.47	83.02 ^a
Root ratio (%)	83.8	8.38	86.7	82.1	84.1 ^a
Siroyutaka (S)					
Plant wt (g/pl)	2.870	3.395	3.913	2.595	3.193 ^b
LA (cm ² /pl)	68.46	86.77	102.85	91.56	87.41 ^a
Root ratio (%)	76.6	73.2	78.7	52.6	70.3 ^{ac}
Beniaka (B)					
Plant wt (g/pl)	2.785	2.873	3.700	3.083	3.110 ^b
LA (cm ² /pl)	68.37	83.36	96.71	83.42	82.97 ^a
Root ratio (%)	70.7	70.0	71.9	77.8	72.6 ^{bc}
Tsurunasigenji (T)					
Plant wt (g/pl)	3.150	3.160	3.560	2.913	3.196 ^b
LA (cm ² /pl)	76.00	85.16	96.77	87.91	86.46 ^a
Root ratio (%)	65.4	68.1	67.8	66.9	67.1 ^{bc}
Mean					
Plant wt (g/pl)	3.180 ^A	3.385 ^A	3.898 ^B	2.981 ^A	3.361
LA (cm ² /pl)	72.07 ^A	86.14 ^{BC}	96.31 ^B	85.34 ^C	84.97
Root ratio (%)	74.1 ^A	73.8 ^{AB}	76.3 ^B	69.9 ^{AB}	73.5

Mean values followed by the same letter are not significantly different at 5% level.

Table 2. Root weight per unit leaf area in the single leaf grafts.

Stock cv.	Root weight (g/f) Scion cv.				
	K	S	B	T	Mean
Koganesengan (K)	$R_{K/K}$, 4.345	$R_{S/K}$, 3.864 ^{ns}	$R_{B/K}$, 4.313 ^{ns}	$R_{T/K}$, 3.489 ^{ns}	$R_{*/K}$, 4.003 ^a
Siroyutaka (S)	$R_{K/S}$, 3.212 ^{**}	$R_{S/S}$, 2.864 ^{**}	$R_{B/S}$, 2.995 ^{**}	$R_{T/S}$, 1.490 [*]	$R_{*/S}$, 2.640 ^b
Beniaka (B)	$R_{K/B}$, 2.880 ^{**}	$R_{S/B}$, 2.412 ^{**}	$R_{B/B}$, 2.750 ^{**}	$R_{T/B}$, 2.876 ^{**}	$R_{*/B}$, 2.730 ^b
Tsurunasigenji (T)	$R_{K/T}$, 2.710 ^{**}	$R_{S/T}$, 2.526 ^{**}	$R_{B/T}$, 2.496 ^{**}	$R_{T/T}$, 2.217 ^{**}	$R_{*/T}$, 2.487 ^b
Mean	$R_{K/*}$, 3.287 ^A	$R_{S/*}$, 2.917 ^B	$R_{B/*}$, 3.139 ^B	$R_{T/*}$, 2.518 ^{AB}	$R_{*/*}$, 2.965

Numerals were presented as root dry weights per unit leaf area ($f=100$ cm²). $R_{X/Y}$, the root weight of a grafted plant with scion cultivar (X) and stock cultivar (Y); $R_{*/*}$, the total mean root weight; $R_{X/*}$, the mean root weight of plants with scion cultivar (X); $R_{*/Y}$, the mean root weight of plants with stock cultivar (Y); Mean values followed by the same letter are not significantly different at 5% level. Values followed by ns, * and ** are not significantly different, significantly different at 5% and 1% levels to value of $R_{K/K}$ (4.345 g/f), respectively.

全平均値の和とすると、(1) 式で示される。

$$R_{X/Y} = CE_{X/Y} + R_{*/*} \cdots \cdots (1)$$

同様に、接穂平均値は接穂効果 ($E_{X/*}$) と全平均値の和、また、台木平均値は台木効果 ($E_{*/Y}$) と全平均値の和とすると、それぞれ (2), (3) 式で示される。

$$R_{X/*} = E_{X/*} + R_{*/*} \cdots \cdots (2)$$

$$R_{*/Y} = E_{*/Y} + R_{*/*} \cdots \cdots (3)$$

すなわち、台木効果と接穂効果は、各品種の台木平均値あるいは接穂平均値から全平均値 ($R_{*/*} = 2.965 \text{ g/f}$) を差し引いた値である。これらの効果を第3表に示した。台木効果はコガネセンガンで最大であり、 $E_{*/K} = +1.038 \text{ g/f}$ であった。また、本品種の接穂効果も大きく、 $E_{K/*} = +0.322 \text{ g/f}$ であった。他の品種では紅赤の接穂効果 ($E_{B/*} = +0.174 \text{ g/f}$) が正の値であった他は、全て負であった。蔓無源氏では両者とも負の大きな値となり、 $E_{T/*} = -0.447 \text{ g/f}$ と $E_{*/T} = -0.478 \text{ g/f}$ であった。

接木植物 X/Y には、品種 X の接穂効果と品種 Y の台木効果がそれぞれ 1/2 ずつ加わるものと仮定し、ここではこれを一般組合せ効果 ($GCE_{X/Y}$) として (4) 式に示した。

$$GCE_{X/Y} = (E_{X/*} + E_{*/Y}) / 2 \cdots \cdots (4)$$

いずれの接木植物においても台木効果と接穂効果が 1/2 ずつ加わるならば、各接木植物の根重は全平均値と一般組合せ効果の和 ($R_{X/Y} = GCE_{X/Y} + R_{*/*}$)

となる。しかし、実際にはこのようにして求めた和と根重値とは必ずしも一致しない。それは、 $CE_{X/Y}$ が $GCE_{X/Y}$ に一致しないためである。そこで、その差を特定の接穂品種 X と台木品種 Y を組み合わせた場合に生じる特定組合せ効果 ($SCE_{X/Y}$) とした。すなわち、 $CE_{X/Y}$ は $GCE_{X/Y}$ と $SCE_{X/Y}$ との和となり、 $R_{X/Y}$ は (5) 式で示される。

$$R_{X/Y} = GCE_{X/Y} + SCE_{X/Y} + R_{*/*} \cdots \cdots (5)$$

(1) 式に示した組合せ効果は、(5) 式では一般組合せ効果と特定組合せ効果の二つに分割される。

全 16 組合せの一般組合せ効果と特定組合せ効果を求め第4表に示した。コガネセンガンを台木にした場合、一般組合せ効果および特定組合せ効果とも全て正の値であった。コガネセンガン同志を接木した場合、一般組合せ効果は最大 ($GCK_{K/K} = +0.680 \text{ g/f}$) であった。また、特定組合せ効果は、紅赤を接穂にし、コガネセンガンを台木にした場合、最大 ($SCE_{B/K} = +0.742 \text{ g/f}$) となった。蔓無源氏は収量性が低い品種として知られるが、コガネセンガン台木に本品種を接木すると一般組合せ効果 ($GCE_{T/K} = +0.296 \text{ g/f}$) および特定組合せ効果 ($SCE_{T/K} = +0.228 \text{ g/f}$) とも比較的高い正の値を示した。このように、コガネセンガン台木は根の乾物生産上、全品種に対して優れた効果を発揮した。

これに対して、蔓無源氏を台木にすると、一般および特定組合せ効果は全て負の値であった。特に、

Table 3. Scion effect and stock effect in the single leaf grafts.

Scion effect (g/f)	$E_{K/*}, +0.322$	$E_{S/*}, -0.048$	$E_{B/*}, +0.174$	$E_{T/*}, -0.447$
Stock effect (g/f)	$E_{*/K}, +1.038$	$E_{*/S}, -0.325$	$E_{*/B}, -0.235$	$E_{*/T}, -0.478$

Scion effect and stock effect were calculated by the equations (2) and (3), respectively.

Table 4. General combining effect (GCE) and specific combining effect (SCE) on root weight production in the single leaf grafts.

Stock cv.	GCE and SCE (g/f)			
	Scion cv.			
	K	S	B	T
Koganesengan (K)	$GCE_{K/K}, +0.680$	$GCE_{S/K}, +0.495$	$GCE_{B/K}, +0.606$	$GCE_{T/K}, +0.296$
	$SCE_{K/K}, +0.700$	$SCE_{S/K}, +0.404$	$SCE_{B/K}, +0.742$	$SCE_{T/K}, +0.228$
Siroyutaka (S)	$GCE_{K/S}, -0.002$	$GCE_{S/S}, -0.187$	$GCE_{B/S}, -0.076$	$GCE_{T/S}, -0.386$
	$SCE_{K/S}, +0.249$	$SCE_{S/S}, +0.086$	$SCE_{B/S}, +0.106$	$SCE_{T/S}, -1.089$
Beniaka (B)	$GCE_{K/B}, +0.044$	$GCE_{S/B}, -0.142$	$GCE_{B/B}, -0.031$	$GCE_{T/B}, -0.341$
	$SCE_{K/B}, -0.129$	$SCE_{S/B}, -0.411$	$SCE_{B/B}, -0.184$	$SCE_{T/B}, +0.252$
Tsurunasigenji (T)	$GCE_{K/T}, -0.078$	$GCE_{S/T}, -0.263$	$GCE_{B/T}, -0.152$	$GCE_{T/T}, -0.463$
	$SCE_{K/T}, -0.177$	$SCE_{S/T}, -0.176$	$GCE_{B/T}, -0.317$	$SCE_{T/T}, -0.285$

$GCE_{X/Y}$ and $SCE_{X/Y}$ were calculated by the equations (4) and (5), respectively.

蔓無源氏同志を接木した場合、低い値 ($GCE_{T/T} = -0.463$ g/f および $SCE_{T/T} = -0.285$ g/f) となった。また、コガネセンガン进行接穂とした場合でも両効果は低い値 ($GCE_{K/T} = -0.078$ g/f, $SCE_{K/T} = -0.177$ g/f) であり、蔓無源氏とコガネセンガンとは対照的な台木特性を持つ品種であった。

シロユタカおよび紅赤を台木に使用した場合、一般および特定組合せ効果は、組合せた品種によって正負、様々な値であった。シロユタカ台木に蔓無源氏以外の3品種を接木した場合、特定組合せ効果は全て正の値であったが、T/Sのみ効果が著しく低下し、 $SCE_{T/S} = -1.089$ g/f となった。また、T/Bでは、一般組合せ効果が負の値 ($GCE_{T/B} = -0.341$ g/f) であったが、特定組合せ効果は高い正の値 ($SCE_{T/B} = +0.252$ g/f) を示した。

第1図には一般組合せ効果と特定組合せ効果との相関関係を示した。両者は有意な正の相関関係にあった。コガネセンガン进行台木とする組合せでは、両効果は全て第1象限に含まれたのに対して、蔓無源氏を台木とした組合せは、全て第3象限に含まれた。全体的に一般組合せ効果が高い組合せでは、特定組合せ効果も高くなる傾向にあったが、T/SやT/Bのようにこの傾向から大きく外れる組合せも認められた。

Fig. 1. Relationship between general combining effect (GCE) and specific combining effect (SCE). The points dotted in the figure are from the data shown in Table 4. X/Y indicates a graft combination with cultivar X (scion) and cultivar Y (stock). K, Koganesengan; B, Beniaka; S, Siroyutaka; T, Tsurunasigenji.

光合成速度に及ぼす組合せ効果

第2図 (A, B, C, D) に光合成速度の経時的变化を示した。全組合せとも接木後14~20日の間に最高値を示し、その後、徐々に低下し60日目には、最高値の60%前後の値となった。

光合成速度は接穂と台木品種の組合せによって変化し、組合せ間で有意差が認められた。コガネセンガン进行台木にした場合、接穂4品種の光合成速度はほぼ全期間を通して高い値であり(第2図A, B, C,

Fig. 2. Time course in photosynthetic rate in the single leaf grafts. There is no significant difference at 5% level between the points followed by the same letter or no letter for the values measured on the same day. □, Koganesengan stock; △, Siroyutaka stock; ■, Beniaka stock; ▲, Tsurunasigenji stock.

D), 台木による正の効果が強く示された。

接穂に蔓無源氏を用いると(第2図D), 他の3品種を接穂に用いた場合(第2図A, B, C)に比較して, 台木の影響が強く現れ, 光合成速度の差が大きくなった。T/SとT/Tの光合成速度は低い値であり, T/Sでは, 他の組合せに比較して早い段階で光合成速度が低下する特徴が見られた(第2図D)。これに対して紅赤を接穂に使用した場合では, 組合せ間で光合成速度には有意差が無く, 台木品種の影響が小さかった(第2図C)。

第2図に示した各組合せごとの光合成速度の測定値(4個体を対象に定期的に10回測定した値, 40点の平均値)を第5表に示した。最高値($10.95 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$)はK/Kで得られた。多収性品種のコガネセンガンを台木に使用すると光合成速度が高く

Fig. 3. Relationship between root weight production and photosynthetic rate in the single leaf grafts. See Fig. 1 for the symbols of scion/stock combination.

なることは前述と同様であり, 接穂にいずれの品種を用いても光合成速度には有意差はなく, コガネセンガン台木植物の平均値は $10.75 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ であった。本品種を接穂とした場合も高い光合成速度(平均値 $10.41 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$)が認められた。紅赤を接穂に用いると光合成速度(平均値 $10.55 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$)

Fig. 4. Change in petiole weight and petiole weight ratio with graft combination. Petiole weight ratio is a percentage of petiole weight to whole plant weight. See Fig. 1 for the symbols of scion/stock combination.

Table 5. Photosynthetic rates in the single leaf grafts.

Stock cv.	Net photosynthetic rate ($\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$)				
	Scion cv.				
	K	S	B	T	Mean
Koganesengan (K)	10.95	10.77 ^{ns}	10.73 ^{ns}	10.56 ^{ns}	10.75 ^a
Siroyutaka (S)	10.72 ^{ns}	9.81 [*]	10.45 ^{ns}	8.04 ^{**}	9.76 ^b
Beniaka (B)	9.76 ^{**}	8.91 ^{**}	10.50 ^{ns}	9.26 ^{**}	9.61 ^b
Tsurunasigenji (T)	10.20 [*]	9.53 [*]	10.51 ^{ns}	8.36 ^{**}	9.65 ^b
Mean	10.41 ^A	9.76 ^B	10.55 ^A	9.06 ^C	9.94

Mean values followed by the same letter are not significantly different at 5% level. Values followed by ns, * and ** are not significantly different, significantly different at 5% and 1% levels to the photosynthetic rate ($10.95 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$) of K/K graft, respectively.

は上昇したが、台木に用いると低い値(平均値 $9.61 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$)となった。光合成速度が最も低くなる組合せは T/S ($8.04 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$) であり、次いで、T/T ($8.36 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$) であった。

光合成速度と根の乾物生産

第3図に、根重と光合成速度との関係を示した。K/K や B/K のように根重が増加する組合せでは光合成速度は高い値であり、T/T や T/S のように根重が低くなる組合せの光合成速度は低い値であった。一葉挿し植物では光合成は1枚の個葉で行われるため光合成速度と光合成生産物の主たる蓄積部である根の乾物重量とが正の直線的相関関係にあると予測されたが、そのような関係が認められたのは光合成速度、根重の両者が低い値の範囲内に限られた。

葉柄部における物質の蓄積

第4図(A, B)に全接木組合せにおける葉柄重を示した。葉柄長は接木処理時には全組合せとも10 cmに揃えたが、その後伸長して全組合せの葉柄長は 16.20 ± 0.47 cm となった。接木と台木品種の組合せによって葉柄重に差が認められた。第4図Aは、台木を同一の品種とし、接穂に異なる品種を組み合わせた場合の個体の葉柄重と葉柄重比である。コガネセンガン上台木にした組合せでは葉柄重($0.250 \sim 0.290$ g/pl)と葉柄重比(6.3%~8.6%)ともに小さかった。これに対して、蔓無源氏上台木にした組合せでは葉柄重が増加した。特に、K/Tでは葉柄重(0.775 g/pl)の増加が顕著であり、葉柄重比は24.6%であった。また、シロユタカ上台木にしたT/Sでも葉柄重(0.793 g/pl)が増加し、葉柄重比は30.6%に達した。

次に、第4図Bを見ると、コガネセンガンあるいは紅赤を接穂にした場合では、台木組合せに伴う葉柄重の変化がほぼ同様の傾向であり、両品種にコガネセンガン、シロユタカ、紅赤および蔓無源氏上台木として組合せると、この順に葉柄重が増加した。また、蔓無源氏を接穂とした場合、T/KとT/Bの葉柄重が特に低い値となった。

考 察

接木効果の解析法について

シンク・ソース関係が生産に果たす役割を明確にするには、両者の相互作用を除去した形、すなわち、シンクに対してソースが、また、ソースに対してシンクが制御要因とならない条件で得られる本来の能力を把握し、これを基礎にして接木組合せに伴う能

力の変化を把握することが望ましい。しかし、シンクとソースとを切り放して、両者の能力を実験的に捉えることは極めて困難である。

このため、シンク能とソース能をできるだけ正しく評価するための工夫がなされている。一葉挿し植物を利用することも一つの方法であり、ソース側を限定した条件下で、シンク能の評価やシンクとソースの相互関係の解析に用いられる。また、Harm^{2,3)}およびLi¹⁰⁾は、接木組合せが生産に及ぼす影響について数学的手法による解析を試みている。彼らの解析法は、YatesとCochran²⁰⁾が考案した回帰解析法を応用したものであり、種々の品種に対する接穂品種あるいは台木品種のソースあるいはシンクとしての平均的な影響力を回帰係数値として捉えることができる。シンクやソースの一般的な能力を明らかにする場合には有効な手法と考えられる。

本研究では、ダイアレル交雑法における一般組合せ能力および特定組合せ能力の考え方を参考に¹⁵⁾、4品種を接穂と台木として正逆に接木した場合の根の乾物生産に対する品種組合せの効果を一般組合せ効果と特定組合せ効果の二つに区分し、解析を試みた。

ここでは、接木による組合せ効果を各接木植物の根重値と全接木植物の根重平均値の差とした。接穂品種と台木品種の両者が、ソースあるいはシンクとして、接木植物体の物質生産系の中でいかなる組合せ効果を発揮するかその機構の実態は不明である。そこで、(4)式に示したように、はじめに接穂効果と台木効果の相加平均値を一般組合せ効果として求めた。接木植物に接穂と台木の特性が1/2ずつ加わるとし、これを組合せ効果の基本とすることは妥当であると考えられる。しかし、組合せ効果は相加効果のみで説明できないため、組合せ効果と一般組合せ効果の差を相加効果以外の効果(特定組合せ効果)とした。

ここで示した解析法は単純なモデルを基礎にしたものであるが、乾物生産に及ぼす接穂や台木の効果あるいは両者を組み合わせた場合に生じる効果を分割、統合して解析できる。各品種系統の接穂(ソース)と台木(シンク)としての能力の相対的評価が可能である。

品種のシンク能およびソース能特性

台木効果はコガネセンガンで高く(第3表)、本品種はいずれの品種と組み合わせても優れたシンク能を発揮し、Nakataniら¹³⁾の結果と一致した。また、

本品種は、接穂効果も高くソース能も優れていた。コガネセンガン同志を接木すると、根重は全組合せ中で最大 ($R_{K/K}=4.345\text{ g/f}$) となった。これは本品種の優れたシンク能とソース能の両者に由来するものと考えられる。これに対して、蔓無源氏では、台木効果と接穂効果の両者とも低い値であった。コガネセンガンは多収性品種、また、蔓無源氏は低収性品種として知られているが、両者の接穂効果と台木効果には明瞭な差が認められ、これが両品種の収量性に強く関わっているものと考えられる。

根部以外、葉柄部にも乾物重の増加がみられ、葉柄重や葉柄重比は接穂、台木品種の組合せによって変化した(第4図)。蔓無源氏を台木にすると葉柄重および葉柄重比が増大した。根部の光合成生産物に対する蓄積容量が小さい場合、頂、腋芽の生長や葉身の拡大等の代替シンクが無い一葉挿し植物では葉柄に光合成生産物が蓄積するものと考えられる。接木植物では、塊根重と地上部重とが反比例の関係にあることが報告されており⁴⁻⁷⁾、根部のシンク能が低いと地上部が繁茂する。圃場栽培では蔓無源氏は、地上部生長が旺盛な品種である。

これに対して、コガネセンガンを台木に使用すると、葉柄重や葉柄重比は低く(第4図A)、根重比が高くなり(第1表)、コガネセンガンのシンク能が高いことが裏付けられる。

次に、一般組合せ効果および特定組合せ効果を検討する。一般組合せ効果と特定組合せ効果との間には正の相関関係が示された(第1図)。台木効果と接穂効果の双方が高い品種を組み合わせると、一般組合せ効果は高い値となり、特定組合せ効果も多くの場合これと平行して高い値となった。しかし、T/BやT/Sは回帰直線の傾向から外れる組合せであり、特定の品種の組合せでは乾物生産が特異的に変化する現象が認められた。

T/Sでは、一般組合せ効果に対して特定組合せ効果が特に低い(第4表、第1図)。シロユタカを台木とする他の組合せの根重生産は高い値であったが、T/Sのみ低くなった(第2表)。また、この組合せの葉柄重や葉柄重比は特に高い値であった(第4図A)。このようにT/Sでは特異的にシンク能が低下し、葉柄部に光合成生産物が蓄積したのと考えられる。これはシロユタカのシンク能が基本的に低いだけでなく、この組合せではシロユタカのシンクが不活性化するものと推測される。蔓無源氏はシロユタカの育成親に使用されており¹⁶⁾、遺伝的には近

縁であるが、この組合せには接木不和合成が存在する可能性があり、それが特定組合せ効果の低下として示されたものと考えられる。

これとは逆にT/Bでは一般組合せ効果は低いが特定組合せ効果が高く(第4表、第1図)、また、葉柄重が有意に低い値となった(第4図)。この組合せでは根のシンク能が上昇したため、葉柄部の物質蓄積量が減少したものと考えられる。

接木植物の光合成速度は時間の経過にともなって低下する現象を示したが、接木組合せ間の差は明確であり、接木と台木の組合せ効果が光合成速度に反映した(第2図、第5表)。また、光合成速度と根重との間には有意な正の相関関係が認められた(第3図)。一葉挿し植物では1つの葉に光合成作用の場が限定されているため、個葉の光合成速度は乾物蓄積量と高い正の相関関係にあるものと考えられる。しかし、光合成速度の増加には上限が見られ、上限域に含まれる組合せでは、シンク能が十分高いため、ソースは制御されることなく個葉の最大光合成能力を発揮できる条件下にあったものと考えられる。

光合成速度が上限に達した組合せの間でも根重生産に差が見られたが(第3図)、これは光合成の持続時間が関与しているものと考えられる。著者らは、気孔開度特性が品種によって異なることを観察している¹⁾。本実験では、光合成測定時間帯は気孔開度が大きく、光合成速度が高い午前9時から午後1時の間であった。午後から夕方にかけて気孔開度の差が接木組合せ間で大きくなることが予測され、光合成速度と光合成時間の積が根重生産に反映したのと考えられる。

先に、T/Sではシロユタカのシンク能が低下するものとしたが、この組合せでは光合成速度の平均値が全組合せの中で最も低いこと(第5表)や光合成速度が比較的早期に低下し始めること(第2図D)などもシンク能の低下に起因する現象と考えられる。

カンショの個葉光合成速度は葉肉抵抗に支配されることが知られており、一葉挿し植物の場合も同様の結果が報告されている^{11,13)}。葉肉抵抗の増加や光合成速度低下の原因の一つは葉緑体内のデンプン蓄積にあるとされている¹³⁾。本実験の結果では、蔓無源氏を台木とする植物体やT/Sでは葉柄部の乾物蓄積量が増加した(第4図)。ここでは、葉内のデンプン含量の分析を行っていないが、葉柄重の増加や葉が肥厚する現象が認められることなどから、根部(シ

ンク)への光合成生産物の移動が制限されて葉緑体内にデンプンが蓄積し、これが原因の一つとなって光合成速度が低下したものと推察される。

塊根の形成や肥大には植物ホルモンの関与が指摘されており^{9,11,14,17}、塊根形成にはサイトカイニンが、また、塊根肥大にはアブシジン酸が関与する可能性が大きいことが報告されている¹⁴。シンク能には根部におけるデンプン合成に関連する酵素の活性が関与するものと考えられる。著者らは、カンショ根部におけるデンプン合成系に関与する主要酵素の中で、ADP グルコースピロホスホリラーゼ (ADP-GPPase) やスターチシンターゼ (STS) の活性は、コガネセンガンで高く、蔓無源氏で低いことを確認している¹⁹。これらはここで検討してきた品種間の台木効果あるいは接穂と台木の組合せ効果を生理学的に解明する上での重要な手がかりになるものと考えられる。特に、T/S や T/B のように根重生産や光合成速度に特異的傾向が認められた組合せ(第4表, 第1図)を対象にデンプン合成関連酵素の量や活性特性について解明することに関心が持たれる。

引用文献

1. 縣 和一・箱山 晋 1991. サツマイモの光合成速度および葉面積生産速度の品種間差並びに品種育成過程における変化. 九大農芸誌 46: 23-31.
2. Hahn, S.K. 1977. A quantitative approach to source potentials and sink capacities among reciprocal grafts of sweet potato varieties. Crop Sci. 17: 559-562.
3. ——— 1982. Screening sweet potato for source potential. Euphytica 31: 13-18.
4. 北條良夫・朴 正潤 1971. *Ipomoea* 属野生種および栽培種間の接木植物における物質生産. 農技研報 D 22: 145-164.
5. ———・村田孝雄・吉田智彦 1971. 甘しょ接木植物における塊根の発育. 農技研報 D 22: 165-191.
6. ———・加藤真次郎 1973. *Ipomoea* 属近縁野生植物における物質生産. 農技研報 D 24: 35-60.
7. ———・加藤真次郎 1976. *Ipomoea* 属接木植物における source と sink との相互関係. 日作紀 45: 117-123.
8. 加藤真次郎・北條良夫 1972. *Ipomoea* 属近縁野生種および栽培種間の接木植物における ¹⁴C-光合成産物の転流. 日作紀 41: 496-501.
9. 幸田泰則・小柳敦史・中谷 誠・渡辺 泰 1985. 乾物生産能が異なるカンショ2品種の内生サイトカイニンの比較. 日作紀 54 (別2): 220-221.
10. Li, L. and C.H. Kao 1990. Variation of sweet potatoes with respect to source potentials and sink capacities. Euphytica 47: 131-138.
11. McDavid, C.R. and S. Alamu 1980. The effect of growth regulators on tuber initiation and growth in rooted leaves of two sweet potato cultivars. Ann. Bot. 45: 363-364.
12. Nakatani, M., A. Oyanagi and Y. Watanabe 1988. Tuber sink potential in sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam.). I. Development of tuber sink potential influencing the source activity. Jpn. J. Crop Sci. 57: 535-543.
13. ———, M., M. Komeichi and Y. Watanabe 1988. Tuber sink potential in sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam.). II. Estimation of tuber sink potential of cultivars using single leaf grafts. Jpn. J. Crop Sci. 57: 544-552.
14. 中谷 誠・古明知道孝 1989. サツマイモならびに近縁野生種の生育に伴う地下部の IAA, ZR, ABA 含量の変化. 日作紀 58 (別2): 211-212.
15. 中村直彦 1953. 組合せ能力の推定. 育種 3: 23-28.
16. 坂本 敏・丸峯正吉・井出義人・山川 理・久木村久・吉田智彦・田淵尚一 1987. カンショ品種“シロユタカ”について. 九州農試報告 24: 279-305.
17. Spence, J.A. and E.C. Humphries 1972. Effect of moisture supply, root temperature and growth regulators on photosynthesis of isolated rooted leaves of sweet potato (*Ipomoea batatas*). Ann. Bot. 36: 115-121.
18. 津野幸人・藤瀬一馬 1965. 甘藷の乾物生産に関する作物学的研究. 農技研報 D13: 1-131.
19. 彌富通男・中村保典・窪田文武・縣 和一 1991. カンショ個葉の光合成速度支配要因の解明に関する研究. 第11報 乾物生産, 塊根肥大及び関連酵素活性の品種間差. 日作紀 60 (別2): 193-194.
20. Yates, F. and W.G. Cochran 1938. The analysis of groups of experiments. J. Agric. Sci. 28: 556-580.