

カキ果実の発育に関する研究 III

同化物質の転流ならびに蓄積について

傍島善次・石田雅士・稲葉昭次*・増井敬治

YOSHITSUGU SOBAJIMA, MASASHI ISHIDA, AKITSUGU INABA and KEIJI MASUI

Studies on the fruit development of japanese persimmon

(*Diospyros Kaki* L.) III

Translocation and accumulation of photosynthates

要旨: カキ果実の糖蓄積の機作を明らかにするため、 $^{14}\text{CO}_2$ を吸収させて、同化物質の転流形態ならびに果実への蓄積の状態を調査し、あわせてオートラジオグラフィにより、枝葉、果実への分配動向を検討した。

同化物質の果実への分配は、果実発育第1期より第3期に進むにしたがって、 ^{14}C 取り込みの割合が増加した。枝内の同化物質の転流形態はほとんどが糖であり、有機酸およびアミノ酸はきわめて少なかった。糖成分として、 $^{14}\text{CO}_2$ 同化処理1日後ではシュクロースが多く、3日後では、とくに果実発育第2期および第3期において、フラクトースの割合が多くなった。したがって、シュクロースのみがおもな転流形態ではなく、発育時期によって転流形態も相違するものと思われた。また、果実内での蓄積は糖が大部分であり、糖成分としてはグルコースおよびフラクトースがおもなものであった。しかしながら、とくに富有において果実発育第2期でシュクロースの蓄積が多くなり、発育周期によって糖成分が変化することが注目された。

オートラジオグラフィにより分配動向をみた結果、枝では皮層部で、果実では種子周辺および表皮組織に多く分布し、同化物質はおもに維管束組織を通して分配されることを認めた。

I 緒 言

筆者らは富有ならびに平核無を供試して、果実の発育にともなう糖含量の季節的变化を調査した結果、果実中の主要な糖はグルコース、フラクトースおよびシュクロースで、各糖成分の季節的变化をみると、両品種ともほぼ同じ傾向であり、開花後一時的にわずかに減少し、その後グルコースとフラクトース含量は成熟期まで漸増したが、シュクロース含量は全期間を通じてほとんど変化せず、その含量も低いものであった。しかしながら、富有ではシュクロース含量は時期により、多少増減することを報告した⁵⁾。また、中条¹⁾の報告によると、富有果実ではかなりのシュクロース含量を認めている。

これらの事実からみると、カキ果実中の各糖成分は、

品種によって相違するものか、あるいは気象条件、肥培条件などにより年次変動を生じるものか、いずれにしても果実の品質に影響する要因として重視されることである。

そこで、本報告はカキ果実中の糖含量消長の特徴を検討するために、葉の同化物質の転流形態ならびに果実の各発育期における転流・分配の状況を明らかにしようとしたものである。

II 材料と方法

実験材料は7年生富有ならびに35年生平核無を用い、2果着生の結果枝(基部に環状剥皮を行ない、果実より上部の葉を6枚とした)の葉および枝部分をポリエチレン袋で密封し、午前10時より4時間、 $^{14}\text{CO}_2$ 200 μCi を同化せしめた。処理1日後および3日後に結果

枝を採取し、直ちに葉、枝および果実にわけて新鮮重を測定後、80%エタノールで抽出し、それぞれアンバーライト IR 45および120のイオン交換樹脂に通して中性(糖)、アニオン(有機酸)およびカチオン(アミノ酸)区分に分別し、ガスフローカウンターでc. p. mを測定した。

また、枝、果実の糖および有機酸区分は、常法によりペーパークロマトグラム(Toyo No. 51を使用)で、グルコース、フラクトース、シュクローズならびにリンゴ酸、クエン酸に分離して、それぞれc. p. mを測定した。

なお、オートラジオグラフィの作成には、処理1日後に採取した葉、枝および果実の一部を用い、Kriedemann⁸⁾、白石ら¹²⁾の方法に準じて、果実の中央部横断切片、葉の中央部の切片および枝を長さ2 cm程度に切断後、中央部の縦断切片を作り、これをラジオグラフィ用のフィルム上に置き、アイスストッカー内で約1カ月放置して感光させた後現像した。

¹⁴CO₂の同化処理は晴天日を選び、果実發育第1期(1973年6月17日)、第2期(同年8月14日)および第3期(同年9月28日)の3回行ない、果実發育周期に対応して調査した。

Ⅲ 結 果

アルコール可溶性区分における、同化物質の果実への分配割合は、第1表および第2表に示すとおりである。1結果枝当たりの全カウント数を100として、葉、枝および果実別に比数表示したものである。第1表で見るとおり、富有では各時期とも、処理1日後では果実のラベル割合は20~32%程度であるが、処理3日後では果実でのラベル割合が53~80%と多くなり、また果実發育第3期のほうが転流割合の高いことを認めた。他方、平核無では第2表のとおり、富有とはほぼ同様の傾向が認められた。なお、両品種ともに処理1日後では、3日後に比べて葉のラベル割合が高い結果を示したが、果実側へ経時的に転流する傾向からみると、同化物質は生成後より漸次シンク側へ転流を加速するようと思われる。また、果実發育第2期では、富有の処理3日後を除いて、枝のラベル割合が比較的多く、結果として果実のラベル割合が低い傾向を示した。

次に同化物質の転流形態をみるために、枝の糖、有機酸ならびにアミノ酸のラベル割合を調査した結果、富有では第3表に示すとおり、糖区分で圧倒的に多く、有機酸およびアミノ酸区分ではほとんど認められなかった。この傾向は、処理後の日数および果実發育期のいかなを問わず、同様の結果を示した。一方、平核無

Table 1. Distribution ratio of photosynthates in the leaf, stem and fruit (cv. Fuyu) (in the ethanol soluble fraction)

	Growing period of fruit	Leaf	Stem	Fruit
		%	%	%
1 day after treatment	Stage 1	64.0	3.5	32.5
	Stage 2	58.9	20.4	20.7
	Stage 3	65.4	4.5	30.1
3 days after treatment	Stage 1	42.1	4.9	53.0
	Stage 2	16.4	14.3	69.3
	Stage 3	18.5	1.3	80.2

Table 2. Distribution ratio of photosynthates in the leaf, stem and fruit (cv. Hiratanenashi) (in the ethanol soluble fraction)

	Growing period of fruit	Leaf	Stem	Fruit
		%	%	%
1 day after treatment	Stage 1	70.1	10.7	19.2
	Stage 2	85.9	7.0	7.1
	Stage 3	67.2	2.3	30.5
3 days after treatment	Stage 1	52.7	5.4	41.9
	Stage 2	69.3	24.4	6.3
	Stage 3	43.1	6.5	50.4

では第4表のとおり、糖のラベル割合は富有の結果とほぼ同様であった。また、各糖成分のラベル割合をみると、両品種とも概してシュクローズが高い傾向が認められた。とくに処理1日後では果実發育の時期を問わずシュクローズのラベル割合が高く、また処理3日後の第1期についても同様であった。しかしながら、処理3日後の第2期および第3期ではフラクトースのラベル割合が高まり、経時的に転流形態が変化するようにみられた。

これらの事実から、カキにおける同化物質の枝内転流形態はほとんど糖が重要な位置を占めることが明らかとなったが、果実の各發育期とも、処理直後ではシュクローズが多く、時間が経過するとともにフラクトースが多くなり、とくに果実發育第2期および第3期でこの傾向が強まることが伺われた。

次にシンク側の果実内で、糖、有機酸およびアミノ酸の蓄積割合をみた結果は、第5表および第6表に示すとおりである。すなわち、富有では第5表のとおり、圧倒的に糖区分のラベル比が高かった。これらの傾向は、処理後の日数および果実の各發育期ともに同様の傾向を示したが、果実發育第1期および第3期においては、有機酸およびアミノ酸区分でわずかなラベル割

Table 3. Translocation pattern of photosynthates in the stem (cv. Fuyu)
(in the ethanol soluble fraction)

	Growing period of fruit	Glucose	Fructose	Sucrose	Malic acid	Citric acid	Amino acid
1 day after treatment	Stage 1	22.4%	30.0%	46.9%	0 %	0 %	0.7%
	Stage 2	29.5	29.9	40.0	0	0	0.6
	Stage 3	28.0	35.5	36.2	0	0	0.3
3 days after treatment	Stage 1	20.5	33.0	46.3	0	0	0.2
	Stage 2	33.4	29.0	37.1	0.1	0.1	0.3
	Stage 3	27.3	49.5	22.4	0	0	0.8

Table 4. Translocation pattern of photosynthates in the stem (cv. Hiratanenashi)
(in the ethanol soluble fraction)

	Growing period of fruit	Glucose	Fructose	Sucrose	Malic acid	Citric acid	Amino acid
1 day after treatment	Stage 1	10.1%	22.6%	66.2%	0.5%	0 %	0.6%
	Stage 2	28.4	29.3	38.3	1.3	2.1	0.6
	Stage 3	16.4	29.3	53.0	0.3	0	1.0
3 days after treatment	Stage 1	11.6	24.1	61.6	1.6	0.4	0.7
	Stage 2	29.2	51.1	18.0	0.6	0.1	1.0
	Stage 3	32.8	40.5	23.9	0	0	2.8

Table 5. Accumulation of photosynthates in the Fuyu fruit
(in the ethanol soluble fraction)

	Growing period of fruit	Glucose	Fructose	Sucrose	Malic acid	Citric acid	Amino acid
1 day after treatment	Stage 1	38.0%	45.0%	16.0%	0.3%	0.3%	0.4%
	Stage 2	38.0	18.4	43.2	0	0	0.4
	Stage 3	43.2	47.0	8.5	0	0	1.3
3 days after treatment	Stage 1	42.0	50.2	6.8	0.5	0.2	0.3
	Stage 2	29.5	25.9	44.3	0	0	0.3
	Stage 3	34.5	36.3	28.4	0.7	0	0.1

Table 6. Accumulation of photosynthates in the Hiratanenashi fruit
(in the ethanol soluble fraction)

	Growing period of fruit	Glucose	Fructose	Sucrose	Malic acid	Citric acid	Amino acid
1 day after treatment	Stage 1	43.4%	32.8%	20.1%	3.0%	0.5%	0.2%
	Stage 2	79.0	10.0	11.0	0	0	0
	Stage 3	52.8	41.4	5.2	0.3	0	0.3
3 days after treatment	Stage 1	27.8	59.6	9.0	2.7	0.6	0.3
	Stage 2	20.2	42.2	37.6	0	0	0
	Stage 3	50.7	28.7	18.1	0.7	0	1.8

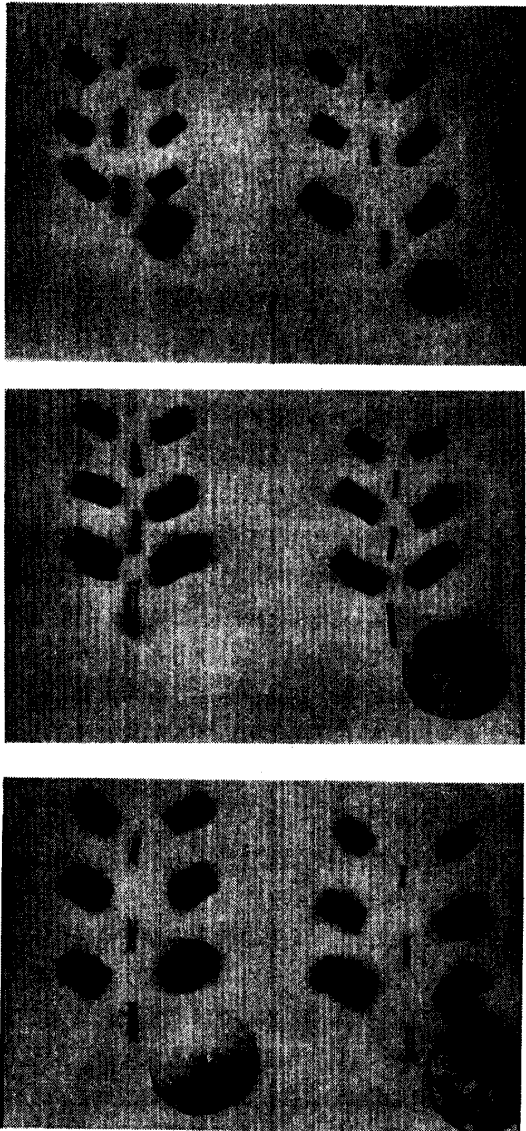


Fig. 1. Autoradiograph in the bearing shoot of Kaki.
(1 day after treated with $^{14}\text{CO}_2$)
Upper: Stage 1 of fruit growth,
Middle: Stage 2 of fruit growth,
Lower: Stage 3 of fruit growth.
Left: cv. Hiratanenashi, Light: cv. Fuyu.

合が認められた。また、第6表に示すとおり平核無でも富有とほとんど同様な傾向を示した。

各糖成分についてみると、両品種とも概してグルコース、フラクトースのラベル割合が高く、シュクロースは少ない傾向であった。しかしながら、平核無の第2期を除いて、処理1日後および3日後ともに、果実発育第2期でシュクロースのラベル割合が高いことが注目された。

次に、オートラジオグラフィにより、果実の各発育期別に、葉、枝および果実内への分布をみた結果は、

第1図に示すとおり、処理1日後の結果では、葉内では各発育期とも全体に分布する。枝では皮層部での分布が多く、とくに第2期および第3期でこの傾向が明らかであった。果実では第1期では全面に、第2期では種子周辺(富有)および表皮組織に多く分布し、第3期では全体に分布はするが、とくに表皮組織に多く分布した。ただし、平核無では第2期でとくに分布が少なかったが、その理由は明らかではない。

IV 考 察

カキ果実は、開花期より7月下旬ころまで急速に肥大する果実発育第1期、8月上旬より下旬ころまでその生長が比較的緩慢な第2期および9月上旬より再び肥大をはじめて成熟にいたる第3期に区分される発育型を示し、いわゆるダブルシグモイド曲線を描く。これらの果実発育育周に対して、品質上重要な影響をもつ糖の蓄積について、その季節的变化を調査した結果、果実発育第1期中期より第3期にかけて漸次糖の含量が増大し、ブドウ、モモなどのように成熟期に糖が急増する種類とは明らかに相違することを報告した⁵⁾。その際、糖としてはグルコース、フラクトースが多いが、シュクロースは少ないものの、品種によっては多少増減することを示すものもあり¹⁾、糖の集積機作を明らかにすることは果実の発育生理の上からも重要な点であると考えられる。

元来、葉で合成された同化物質が果実側へ転流・蓄積される現象は明らかどころであるが、同化物質の結果枝内での分布をみると、 $^{14}\text{CO}_2$ 施用の1日後では、葉で60%程度、果実で30%程度のラベル比を示すが、3日後ではこの傾向が逆転し、かつまた果実間では、果実発育第1期より第3期のほうがラベル比が高まる傾向が認められた。

果樹の種類により、あるいは果実の発育期によって、程度の差こそあれ同様な事実のあることは、リンゴ^{2), 3)}、ウンシュウミカン⁷⁾、ブドウ^{9), 10)}などでも認められており、カキの場合も同様に、果実の発育期が進むほどシンクとしての働きが強まるようである。

もっとも、本実験ではアルコール可溶性区分についての論議であって、不溶性区分へのラベル比も含めて考えることが必要であろう。しかし、松井ら⁹⁾のブドウにおける実験では、アルコール可溶性区分は不溶性区分よりもはるかに多くラベルされており、むしろ時間を経過するにつれて不溶性区分が多少増加することを認めている。このことは、可溶性区分の物質は移動およびその後の利用に便宜が多く、分配後に細胞構成成分あるいは貯蔵物質として、不溶性物質へ転換する

ものと考えられる。したがって、一応同化物質の転流・分配をみるのに、アルコール可溶性区分に限っても、その概要を知るのにはほぼ差支えがないものと考えられよう。

ここで注目される点は、果実発育第2期において、概して果実のラベル割合が低下し、枝内の割合が高まることである。本来、同化物質は器官の発育ならびに充実に対応して供給されるものであるとすれば、恰もカキの場合では、果実の生長停滞期であり、また枝では花芽分化直後であって、これら器官の発育周期に適合して、分配が行なわれるように考えられ、同化物質分配の基本を示すもののようにみられて興味ある点であった。

なお、同様な結果はブドウ¹¹⁾でも報告されており、第2期における果実内生理作用が異なることも考えられよう。また、ウンシュウミカン⁶⁾で、土壤水分の過不足によって、果実への転流割合が変化することも報告されており、いずれにしても果実の内的・外的条件によって影響をうけるのかも知れない。これらの詳細については今後の検討を要するところである。

次に、同化物質の枝内の転流形態をみたところ、そのほとんどが糖であって、有機酸およびアミノ酸はきわめてわずかであった。また糖成分では、果実発育第1期および処理1日後でシュクロースがかなりの比重を占めるが、第2期および第3期において処理3日後でフラクトース、グルコースがかなり高まり、シュクロースが減少する結果となった。これらの点からみると、カキにおける枝内転流物質のおもなものは糖であり、かつ処理直後および果実発育第1期では、明らかにシュクロースが中心となるが、第2期以降処理後の時間を経過すると、フラクトースおよびグルコースの比重が高まるようで、常にシュクロースのみでの転流とは限らないことが明らかとなった。

従来、果樹における同化物質の転流形態は、大部分がシュクロースであるといわれているが、リンゴ⁹⁾、モモ¹⁰⁾ではソルビトールであろうとの報告がみられる。しかしながら、松井ら¹¹⁾のブドウ調査ではシュクロースのみによって転流することに疑問をあげ、果実の発育期によって、フラクトース、グルコースあるいは一部有機酸での転流があることを報告している。

これらの結果からみると、現在果樹における同化物質の転流形態の主要なものは、糖が大部分を占めることは間違いないとしても、果樹の種類あるいは発育期によって、おもな糖成分が変化するように思われる。この点は果実の品質に関連するものとして、それぞれの機作を明らかにすることは今後の重要な課題である。

う。

次に、果実内の糖、有機酸およびアミノ酸の蓄積割合については、その大部分が糖区分で占められ、有機酸およびアミノ酸では少なかった。糖成分ではグルコースおよびフラクトースがいずれもかなりの割合を占めた。しかし、第2期ではシュクロースのラベル割合が大きくなり、富有ではこれが明らかであった。

富有では通常温暖で、比較的降雨の少ない年には、果実のシュクロース含量がかなり認められるようで、これが良品質と関連があるように考えられているが、第2期は果実生長の一時的停滞期および種子の充実期に当たり、これら果実の内的生理作用が影響して、その後の糖成分の蓄積が異なるのかも知れない。

この点で、ブドウ¹⁰⁾は果実発育第2期が胚生長のもっとも盛んな時期に当たり、この時期の種子で¹⁴Cのラベル割合が高く、果肉と種子との競合が行なわれるものと推定されているが、このような結果からみると、平核無より富有で第2期のシュクロース割合が高いのは、カキの有種子品種においても同様な現象が起こり、このように糖成分の蓄積割合に変化がみられることが考えられよう。

次に、¹⁴Cの葉、枝および果実内への分布動向を解明するためオートラジオグラフィにより調査した結果、処理1日後において、果実の各発育期とも葉では全面に、枝では皮層部に多く分布した。果実では各時期とも全面に分布するが、第2期では種子周辺および表皮組織に、第3期では表皮組織に分布が多い。同化物質のおもな転流組織から考えて、枝内の皮層部の分布が多いのは当然であり、また果実内でも生理作用の高い部分へ維管束を通して集積されるようである。

白石ら¹²⁾は十万温州を用いて、オートラジオグラフィにより放射性物質の分布を調査した結果、枝では維管束組織を中心に、また果実では維管束組織およびその周辺を通して果皮部へ分布することを報告しているが、カキにおける当実験の結果と、ほぼその結果は一致した。ただし、平核無の第2期における果実では、分布が少なかったが、これらの原因は明らかにすることができなかった。恐らくその取り扱いに欠ける点があったのかも知れない。

従来、放射性物質を用いて、果実への分布動向を知るためのオートラジオグラフィの研究は比較的少なく、また試料作成法およびその取り扱いになお不詳な点が多い^{2), 8), 12)}。今後これら問題点の解明とあいまって、カキ果実への分配動向をさらに検討する予定である。

引用文献

- 1) 中条利明 (1970):香川大農学報, **21(48)**: 14.
- 2) Hale, C. R. and R. J. Weaver (1962):Hilgardia. **33(3)**: 89.
- 3) Hansen, P. (1967): Phys. Planta., **20**: 382.
- 4) —— (1969): ——, **22**: 186.
- 5) 稲葉昭次・傍島善次・石田雅士 (1971):京府大学報, 農, **23**: 24.
- 6) 門屋一臣 (1973):園学雑, **42(3)**: 210.
- 7) —— (") : ——, **42(3)**: 215.
- 8) Kriedemann, P. E. (1968):Aust. J. Agric. Res., **19**: 775.
- 9) 松井弘之・中川昌一・今井克太 (1971):園芸学会春季大会研究発表要旨: 56.
- 10) —— (1973): ——; 148.
- 11) —— (1973): ——秋季大会——; 40.
- 12) 白石義行・黒井伊作 (1967): ——春季大会——; 54.
- 13) 傍島善次・石田雅士・稲葉昭次 (1970): ——; 96.

Summary

To clarify the mechanism of sugar accumulation in Kaki fruit, the present paper was carried out to examine how the photosynthates translocate and distribute from leaves to fruit during the fruit development by the treatment with $^{14}\text{CO}_2$ assimilation, how the ^{14}C distribute from leaves to stem and fruits by using autoradiographic techniques.

The results of this works are as follows.

The distribution of ^{14}C labelled photosynthates in Kaki fruits was more increased on the third stage than the first stage of fruit growth. The translocation pattern of photosynthates of stem in ethanol soluble fraction was mainly sugars, and distribution rate of ^{14}C among the these sugars was high in sucrose on I day after treatment with

$^{14}\text{CO}_2$ assimilation, but the distribution rate after 3 days was higher in fructose, especially on the stage 2 and 3 of fruit growth.

The ^{14}C incorporated in the fruits was mostly found in sugars, especially in glucose and fructose, but the fruit of stage 2 was greater in sucrose.

As these facts, it was cleared that the translocation pattern and distribution of photosynthates were influenced by the stages of fruit growth and the internal conditions of fruits. While, the distribution of ^{14}C was mainly found in the cortical layer of stem and in the epidermal layer of fruit and the environs of seeds. It was indicated that the ^{14}C labelled photosynthates were carried through the vascular bundles from leaves to fruits.