

## 2本仕立て1果どり立体栽培スイカの果実肥大期における 根への<sup>13</sup>C-光合成産物の分配

渡 辺 慎 一

農業・生物系特定産業技術研究機構野菜茶業研究所

**要 旨** : 2本仕立て1果どりの立体栽培スイカにおいて, 果実肥大期の光合成産物のソース・シンク関係を<sup>13</sup>Cトレーサー法で調査した. 根への<sup>13</sup>C-光合成産物の分配は果実肥大期間を通して無着果する上の葉から行われていたことから, 2本仕立て1果どり栽培では, 果実肥大期の根の活性維持の役割は主として無着果するが担っているものと考えられた. よって, 果実肥大後期の光合成産物の供給不足による根の活性低下が原因と考えられる生理的急性萎ちょう防止のためには, 着果するよりも無着果するの葉面積の確保や受光量の増大をはかる方がより効果が高いと考えられる.

**キーワード** : 果実肥大期, <sup>13</sup>C-光合成産物, スイカ, 分配, 立体栽培

Distribution of <sup>13</sup>C-photosynthates to roots during fruit development period in vertically trained watermelon plants with two vines and one fruit : Shin-ichi WATANABE (*National Institute of Vegetable and Tea Science*)

**Abstract** : Source-Sink relationship of photosynthates in vertically trained watermelon plants with two vines and one fruit was investigated by a <sup>13</sup>C-tracer method during fruit development period. <sup>13</sup>C-photosynthates were distributed to roots by leaves on a non-fruiting vine, but not on a fruiting one. Therefore, the non-fruiting vine would maintain root activity by supplying of photosynthates to roots. To prevent a physiologically acute wilting at latter period in fruit development, which should be caused by a lowering of root activity, it is suggested that increase of leaf area and/or light interception of the non-fruiting vine is more effective than that of the fruiting one in the vertically trained watermelon plants with two vines and one fruit.

**Keyword** : <sup>13</sup>C-photosynthates, distribution, fruit development period, vertical training, watermelon.

### 1. はじめに

通常スイカは地ばい栽培されるが, つるの整枝, 誘引, 交配, 収穫などの作業をしゃがんだ姿勢で行うため, 足腰に大きな負担がかかる. また, 重い果実の収穫には多くの労力を要することもあり, 野菜の中では重労働感の強い作物となっている. このようなスイカ生産の軽作業化を図るためには作業姿勢の改善が不可欠であることから, スイカのつるをメロンのように上方に誘引する立体栽培に関する研究を進めている (第1図). これまで, 立体栽培スイカの果実の大きさは株当たりの葉面積や総受光量, 光合成量と密接な関係があることを明らかにした (渡邊ら, 2001b; Watanabe et al., 2003).

スイカでは果実肥大後期に曇雨天等が続いた後に晴れた場合や, 果実肥大後期の側枝の摘除などにより, 病害によるものではなく生理的な要因が原因とされる急性萎ちょうが起こる場合があり, 果実糖度の低下など商品果の生産上問

題となっている (第2図). この原因としては, 果実肥大後期の曇雨天による根への光合成産物の供給不足や, 側枝の摘除による根の老化などによる根の活性低下が考えられている (近藤, 1978; 高橋ら, 1982). しかし, 果実肥大期間中に植物体のどの位置の葉が根への光合成産物供給の役割を担っているのかは明らかでない. そこで, 生理的萎ちょう症防止に有効な整枝管理法を考える際の一助とするため, スイカ立体栽培における果実肥大期の光合成産物のソース・シンク関係について調査した.

2004年5月11日受付

\*連絡先 〒470-2351 愛知県知多郡武豊町字南中根 40-1 野菜茶業研究所 果業研究部 栽培システム研究室  
Fax: 0569-73-4744 E-mail: shimwa@affrc.go.jp



第1図 スイカの立体栽培



第2図 果実肥大後期にみられる萎ちよう症

## 2. 光合成産物の分配の調査方法

本試験では、光合成産物の分配を調べるために<sup>13</sup>C-トレーサー法を用いた。<sup>13</sup>C-トレーサー法とは、<sup>13</sup>C という通常の炭素 (<sup>12</sup>C) よりも質量が大きい炭素をトレーサー (追跡子) として用いる方法である。<sup>13</sup>C は自然状態でも<sup>12</sup>C のおよそ百分の一の比率で植物体内に存在しているが、<sup>13</sup>C で標識された二酸化炭素を植物に与えて光合成を行わせることにより、光合成産物が分配された部位では<sup>13</sup>C の存在比率 (濃度) が高まる。この<sup>13</sup>C 濃度の上昇分とその部位の炭素の量から各部位に転流した<sup>13</sup>C の総量を求めることにより、植物体各部位への光合成産物の分配割合を調べることができる。<sup>13</sup>C は放射能を出さない安定同位体であるため屋外での使用も可能であり、実際の栽培条件に近い状態での光合成産物の分配について比較的容易に調べることができる。

本試験で行った<sup>13</sup>CO<sub>2</sub> 同化処理の様子を第3図に示す。各同化部位につき3枚の葉に処理を行った。3枚の葉を透明なポリ袋でそれぞれ覆って密閉し、<sup>13</sup>C で標識された炭酸バリウム (Ba<sup>13</sup>CO<sub>3</sub>) に塩酸を添加して発生させた<sup>13</sup>CO<sub>2</sub> を三角フラスコからビニールチューブを用いて各袋内に導入し、光合成によって各葉に<sup>13</sup>C を

取り込ませた。そして所定の日数後に植物体を部位別に採取して、70~80℃で果実は2週間程度、その他の部位は数日間乾燥した。乾燥試料は微粉碎し、赤外分光法 (JASCO EX-130 <sup>13</sup>CO<sub>2</sub> アナライザー) で試料中の<sup>13</sup>C 存在比を測定した (Okano et al., 1983)。各部位中の<sup>13</sup>C 存在量は、植物組織の全炭素含有率を40%と仮定して、次式のように計算した。

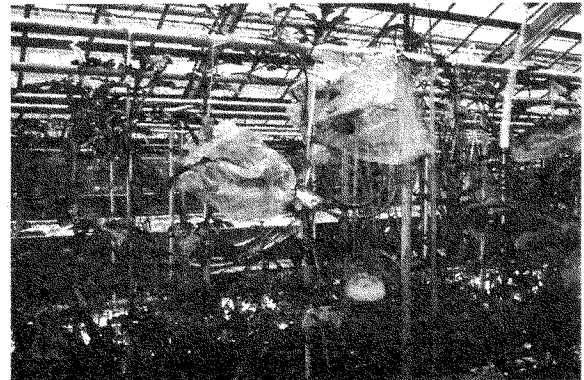
$$^{13}\text{C 存在量} = \text{乾物重} \times \text{全炭素含有率} \times ^{13}\text{C 存在比}$$

そして、以下の式により同化葉から各部位への<sup>13</sup>C 分配率を算出した。

$$^{13}\text{C 分配率}(\%) = \frac{\text{各部位の } ^{13}\text{C 存在量}}{\text{同化葉を除く総 } ^{13}\text{C 存在量}} \times 100$$

すなわち分配率とは、処理葉の光合成によって取り込まれ、他の部位に転流された<sup>13</sup>Cのうち、どのくらいの<sup>13</sup>C が各部位に送られているかを割合で示したものである。

なお本実験では、呼吸による<sup>13</sup>C 損失は考慮外とした。



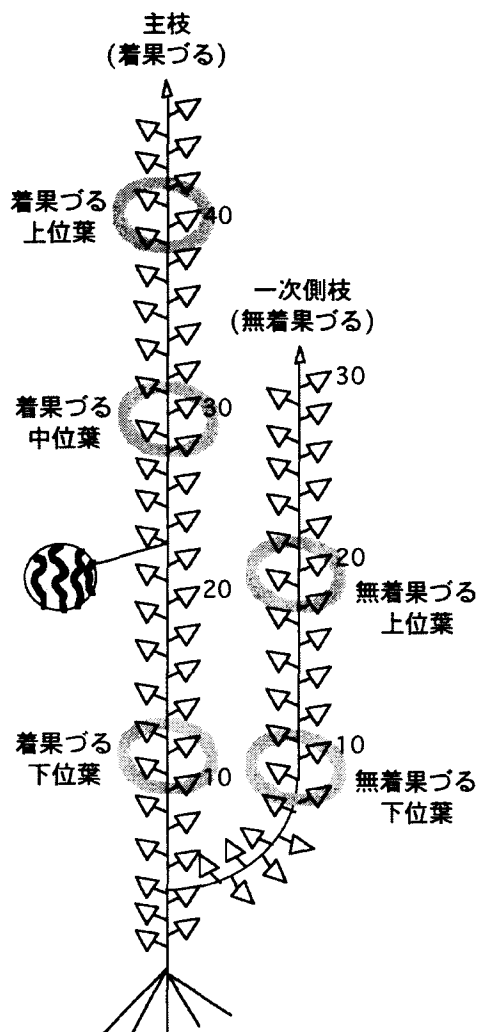
第3図 <sup>13</sup>CO<sub>2</sub> 同化処理の様子

## 3. 試験1: 2本仕立て1果どり (無摘心) の果実肥大中期の光合成産物の分配

### (1) 試験方法

1997年9月に、ユウガオ台木に接木したスイカ苗 (品種: 早生天竜) を、湛液水耕装置に定植した。栽培はガラス温室内で行った。仕立て法は主枝と主枝の基部から発生する一次側枝の2本仕立てとし、その他の側枝は除去した。摘心は行わなかった。1個体につき1果を主枝の第20節前後に着果させた。果実肥大中期の10月16~17日 (交配18~21日後) に、主枝の第39~41葉 (着果する上位葉)、第28~30葉 (着果する中位葉)、第10~12葉 (着果する下位葉)、一次側枝の第18~20葉 (無着果する上位葉)、第8~10葉 (無着果する下位葉) に<sup>13</sup>CO<sub>2</sub> を与えて取り込ませた (第4図)。なお、用いた品種のこの作型での収穫期は交配約45

日後であった。<sup>13</sup>C<sub>2</sub> 処理終了 26 時間後に植物体を部位別に採取して、処理葉の光合成産物の植物体各部位への分配を調べた。



第4図 <sup>13</sup>C<sub>2</sub> 同化葉の位置関係 (試験1)

(2) 結果

各位置の葉の光合成産物の植物体各部位への分配率を第1表に示す。根への光合成産物の供給は無着果づる(一次側枝)の葉から行われ、着果づる(主枝)からはほとんど行われていなかった。植物体のどの位置の葉においても、光合成産物の80%以上は果実へ分配されていた。つるの先端部へは、近隣の葉、すなわち同じつるの上位葉から主に光合成産物が供給されていた。

以上のことから、2本仕立て1果どりの場合、立体栽培スイカの果実肥大中期では、根の活性維持のための無着果づるの重要性が示された。また、つるや葉位にかかわらず光合成産物の大部分が果実へ集中していることが明らかとなった。

第1表 2本仕立て1果どり(無摘心)立体栽培スイカにおける果実肥大中期の<sup>13</sup>C-光合成産物の分配率(%) (試験1)

部位		同化部位 <sup>2</sup>				
		着果づる		無着果づる		
		上位葉	中位葉	下位葉	上位葉	下位葉
着果づる	展開部 <sup>1</sup>	4.9	2.3	0.0	0.0	0.2
	上位茎葉 <sup>3</sup>	0.9	0.5	0.1	0.0	0.0
	下位茎葉 <sup>3</sup>	2.3	0.8	0.3	0.3	0.4
無着果づる	展開部 <sup>1</sup>	0.0	0.0	0.0	5.8	0.0
	上位茎葉 <sup>3</sup>	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0
	下位茎葉 <sup>3</sup>	0.0	0.1	0.0	1.9	8.1
果実		91.8	96.3	99.4	82.9	88.8
茎基部		0.0	0.0	0.0	0.4	0.3
根		0.2	0.0	0.2	7.4	2.2

<sup>2</sup> 第4図参照。

<sup>1</sup> <sup>13</sup>C<sub>2</sub> 同化時に未展開だったつるの先端部。

<sup>3</sup> 同化葉着生するでは同化葉と先端部間の茎葉。同化葉無着生するでは展開部をのぞくつるの上半分の茎葉。

<sup>4</sup> 同化葉着生するでは同化葉より下部の茎葉。同化葉無着生するではつるの下半分の茎葉。

(渡邊ら, 2000 より改変)

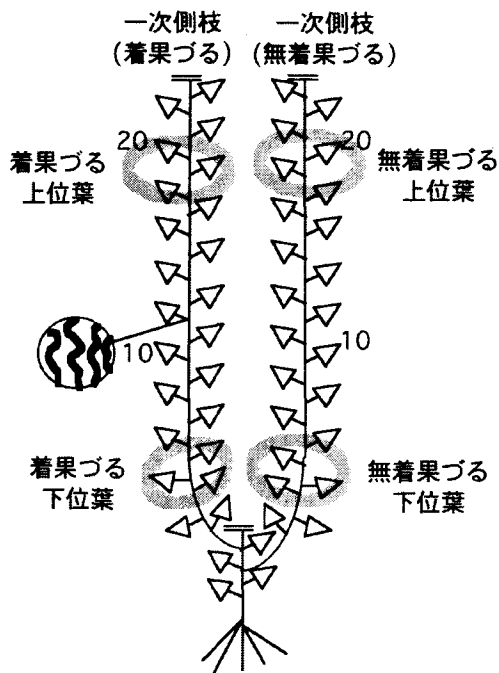
4. 試験2: 2本仕立て1果どり(摘心)の果実肥大各時期における光合成産物の分配

試験1では、果実肥大中期にしか調査を行わなかったため、果実肥大期間を通した各位置の葉の根への光合成産物供給の貢献度を明らかにするには不十分であった。また、試験1では摘心を行わなかったが、スイカの立体栽培では通常摘心を行う。そこで、2本仕立て1果どりの摘心栽培における様々な位置の葉が、果実肥大期間を通してどのように根への光合成産物供給へ寄与しているのかを明らかにするために、本試験を行った。

(1) 試験方法

スイカ品種‘縞王マックス RE’の自根苗を、1999年4月に保水シート耕方式の養液栽培装置に定植した。栽培はガラス温室で行った。仕立て法は一次側枝2本仕立てとし、その他の側枝は除去した。1個体につき1果をいずれかの一次側枝の第10~13節に着果させた。2本の一次側枝はいずれも第23節で摘心した。果実肥大初期の5月29日(交配6~8日後)、果実肥大中期の6月10日(交配21~22日後)、果実肥大終期の6月28日(交配38~41日後)に、着果づるの第18~20葉(着果づる上位葉)、第3~5葉(着果づる下位葉)、無着果づるの第18~20葉(無着果づる上位葉)、第3~5葉(無着果づる下位葉)にそれぞれ<sup>13</sup>C<sub>2</sub>を与えて取り込ませた(第5図)。なお、用いた品種のこの作型での収穫期は交配約45日後であつ

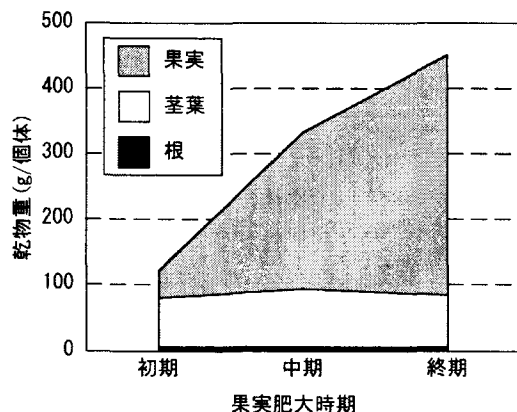
た。<sup>13</sup>C<sub>2</sub> 処理終了約 48 時間後に、植物体を部位別に採取して、処理葉の光合成産物の植物体各部位への分配を調べた。



第5図 <sup>13</sup>C<sub>2</sub> 同化葉の位置関係 (試験2)

(2) 結果

果実肥大期間中の植物体の乾物重の推移を第6図に示す。時間の経過にともない植物体全体の乾物重は増加した。茎葉および根の乾物重は果実肥大期間を通してほとんど変化しなかった。よって、果実肥大期間中の植物体全体の乾物重の増加は、果実乾物重の増加によるものであった。



第6図 2本仕立て1果どり摘心栽培における果実肥大各時期の立体栽培スイカの部位別乾物重 (試験2)。4個体の平均値。初期、受粉6~8日後; 中期、受粉21~22日後; 終期、受粉38~41日後。

果実肥大各時期における各位置の葉の光合成産物の根および果実への分配率を第2表に示す。いずれの時期においても、根への光合成産物の供給は、無着果づるの葉から行われ、着果づるの葉からは行われなかった。また、いずれの時期においても、着果づる、無着果づるの葉とも、光合成産物の大部分 (<sup>13</sup>C 分配率で 89%以上) は果実へ分配されていた。果実肥大初期では、摘心直後でするの先端2、3枚の葉が展開中であつたこともあり、着果づる、無着果づるとも、上位葉からするの先端部分へ光合成産物が若干分配されていた。これらの葉が十分に展開した果実肥大中期および終期ではこのような分配はみられなかった (データ略)。

第2表 2本仕立て1果どり (摘心) 立体栽培スイカにおける果実肥大各時期の果実および根への<sup>13</sup>C-光合成産物の分配率 (%) (試験2)

同化部位 <sup>z</sup>	同化時期 <sup>y</sup>	分配率 (%)	
		果実	根
着果づる 上位葉	初期	90.0	0.0
	中期	99.4	0.0
	終期	98.4	0.0
着果づる 下位葉	初期	97.6	0.0
	中期	99.1	0.0
	終期	95.0	0.0
無着果づる 上位葉	初期	90.3	3.2
	中期	97.2	1.5
	終期	94.4	2.5
無着果づる 下位葉	初期	89.0	7.2
	中期	96.4	2.6
	終期	89.6	4.9

<sup>z</sup> 第5図参照。

<sup>y</sup> 初期: 交配6-8日後。中期: 交配21-22日後。終期: 交配38-41日後。

(渡邊ら 2001a より改変)

以上の結果から、2本仕立て1果どりの立体栽培スイカでは、根への光合成産物の供給は、果実肥大期間を通して無着果づるの葉から行われることが明らかとなった。また、立体栽培スイカではつる上の着果の有無や葉位、あるいは果実発育ステージにかかわらず、光合成産物の大部分が果実へ分配されることが明らかとなった。

## 5. まとめ

本試験で用いた  $^{13}\text{C}_2$  の同化手法は非常に簡便であり、ごく簡易な装置で実際の栽培環境下の葉に  $^{13}\text{C}$  で標識された二酸化炭素を取り込ませることができる (岡野ら, 2001)。反面、同化袋内の  $\text{CO}_2$  濃度、同化時の光強度や温度の厳密な制御はできないため、 $^{13}\text{C}$  固定量や  $^{13}\text{C}$  存在比の厳密な比較を行う必要がある試験には適さない。しかし、植物体内における光合成産物の分配パターンは、固定量の影響を比較的受けにくいとされている (Okano et al., 1984)。また、本法では光合成産物のうち呼吸によって消費された量については評価できないが、トマトにおいて、全シンクに蓄積された光合成産物の量に対するシンク間の相対的な分配率は、呼吸量を加えた分配量と同様の傾向を示すことが報告されている (Shishido et al., 1989, 宍戸・熊倉, 1994)。そして、光合成産物のソース・シンク関係の解析のための簡便法としては、シンクへの蓄積量のみからの分配率の算出も容認できるとされている (Shishido et al., 1989)。よって、上述の制約を理解した上で用いれば、本試験で用いた簡便な  $^{13}\text{C}_2$  の同化法は、果菜類の整枝法の研究等を行う上で、実際の栽培条件に近い形で光合成産物のソース・シンク関係を解析する方法として有用であるといえる。

本試験の結果から、2本仕立て1果どりの場合、根の呼吸等に必要なたんぱく質供給の役割は、着果していないつるに着生している葉が担っていることが明らかとなった。また、立体栽培スイカでは果実肥大期を通して果実が光合成産物の主要なシンクになっており、つるや葉位にかかわらず光合成産物の大部分が果実へ集中することも明らかとなった。このような、果実が光合成産物の圧倒的なシンクになっているというスイカの特性により、果実肥大後期の曇雨天など光合成量が減少する条件下では、根への光合成産物の供給が不十分となって根の活性が低下し、生理的な急性萎ちょうの原因となることが考えられた。本試験の結果に基づいて考えると、生理的急性萎ちょう防止のためには、着果するよりも無着果するの葉面積の確保や受光量の増大をはかる方が、より効果が高いものと考えられる。本試験はスイカの立体栽培を対

象として行ったものであるが、得られた結果は地ばい栽培されたスイカについても適用できると思われる。

## 引用文献

- 近藤雄次 1978. スイカの萎ちょう発症の原因と防止対策. 農及園 53:1399-1406.
- Okano, K., Ito, O., Kokubun, N., Totsuka, T. 1983. Determination of  $^{13}\text{C}$  in plant materials by infrared absorption spectrometry using a simple calibration method. Soil Sci. Plant Nutr. 29:369-374.
- Okano, K., Ito, O., Takeba, G., Shimizu, A., Totsuka, T. 1984. Alteration of  $^{13}\text{C}$ -assimilate partitioning in plants of *Phaseolus vulgaris* exposed to ozone. New Phytol. 97:155-163.
- 岡野邦夫, 坂本有加, 渡邊慎一 2001. 一段栽培トマトにおける  $^{13}\text{C}$ -光合成産物の Source-Sink 関係. 野菜茶試研報 16:351-361.
- Shishido, Y., Seyama, N., Imada, S., Hori, Y 1989. Carbon budget in tomato plants as affected by night temperature evaluated by steady state feeding with  $^{14}\text{CO}_2$ . Ann. Bot. 63:357-367.
- 宍戸良洋, 熊倉裕史 1994. トマトにおける光合成・蒸散, 光合成の転流・分配および根の呼吸に及ぼす培地温の影響. 園学雑 63:81-89.
- 高橋英生, 白木巳歳, 川越 仁, 岡田 大, 竹前彬, 福川利玄, 野間 史, 津田安敬, 内田好則, 江藤忠育, 細山田芳博 1982. つぎ木スイカの萎ちょう症防止対策に関する研究. 宮崎総農試研報 16:1-35.
- 渡邊慎一, 坂本有加, 岡野邦夫 2000. 立体栽培スイカの果実肥大期における  $^{13}\text{C}$ -光合成産物の分配. 園学雑 69(別2):347.
- 渡邊慎一, 坂本有加, 岡野邦夫 2001a. スイカの果実肥大各時期における  $^{13}\text{C}$ -光合成産物の根への分配. 根の研究 10:73.
- 渡邊慎一, 中野有加, 岡野邦夫 2001b. スイカの立体および地ばい栽培における総葉面積と果実重の関係. 園学雑 70:725-732.
- Watanabe, S., Nakano, Y., Okano, K. 2003. Effect of planting density on fruit size, light-interception and photosynthetic production of vertically trained watermelon [*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. et Nakai] plants. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 72:497-503.