果実の糖濃度に関する水分生理学的研究

河 鳴 実 之

果実の糖濃度に関する
水分生理学的研究

Studies on sugar concentrations in fruit as affected by the restriction of water inflow.

農業生物学専攻

昭和６３年度博士課程進学

河鰭　実之

目　次

緒言　・・・・・・　1

第１章　水の流入を機械的に抑制したキュウリおよびトマトの果実における糖濃度の変化　・・・　3

第２章　水の流入を機械的に抑制したキュウリ果実の糖濃度の経時変化とインベルターゼ活性の役割　・・・・・・　17

第３章　糖濃度の異なる系統のトマト果実において、水の流入の機械的抑制が糖濃度に与える影響　・・・・・・　36

第４章　水の流入を機械的に抑制したトマト果実の糖濃度の経時変化とデンプン含量およびインベルターゼ活性との関係　・・・　53

第５章　乾物の流入に果実表面からの蒸散が与える影響　・・・・・・　69

総合考察　・・・・・・　90

総摘要　・・・・・・　97

引用文献 ····· 103

謝辞 ····· 115

緒言

生食用の果菜や果物では、甘みは、酸味や芳香とならんで食味を決める重要な要素である。いくつかの果実では、甘みが特に重要である。トマトでは、'桃太郎'に代表される甘い品種が消費者に好まれる傾向にある。トマトの糖濃度は３～４％程度に達する（Davies & Kempton,1975b;Ho & Hewitt,1986）。また、ふつう甘みを意識されないキュウリにも、２％程度の糖が含まれ（薮内、1990）、味に影響している可能性がある。キュウリの１品種'Lemon'は、食味がよいことから家庭栽培に人気があるが、この品種は水溶性固形分含量が高いことが報告されている（Robinson,1987）。ピクルスキュウリに関しては、糖濃度が高いと、品質を著しく損なうブローターが発生しやすいことから、糖濃度に関心が持たれている（McCombs et al.,1976;McCreight et al.,1978）。

多くの園芸作物は、９０％以上の水分を含み、相当量の水を蓄積しながら生長する。生長過程において水の蓄積が速い場合には、糖の蓄積が遅れ、希釈によって糖濃度が低くなることがしばしば指摘される。例えば、モモでは収穫期前に降雨量が多いと、果実は大きくなるが甘みを失うことが経験的に知られている。トマトでは、灌水量を増やすと、果実は大きいが、糖濃度は低くなること（Rudich et al.,1977）が実験によって確かめられている。タンジェリンでは、市場出荷された果実の大きさと糖濃度との関係を調査したところ、これらの間に負の相関関係が認められた（Ketsa,1988）。このことは、果実の大きさすなわち、水の蓄積量の違いにより糖

濃度が変動することを示唆している。

組織が水を蓄積した場合、それが糖濃度に与える影響は、十分には調査されていない。水を蓄積した場合に、糖は受動的に希釈されるのか、あるいは積極的に濃度を維持または調節されるのか、明らかにされていない。水の蓄積は糖濃度を希釈させる方向に働く半面、糖が果実へ輸送されるためには、師部液として水とともに流入する必要があるので、水の流入は糖の蓄積に欠かせない。

この研究では、生長過程にあるトマト、キュウリの果実を対象とし、水の流入と関係して糖濃度がどのように決定されるのかを調べることを目的とした。

第１章　水の流入を機械的に抑制したキュウリおよびトマトの果実における糖濃度の変化

緒　言

水の流入が糖濃度に与える影響を調べる方法としては、なるべく植物体に影響しない方法により、果実への水の流入を抑制することが望ましい。トマト（Rudich et al,1977）、モモ（Li et al,1989）、リンゴ（Irving & Drost,1987）では、灌水量を減らすことによって果実生長を低下させることができる。果実重量の大部分は水から構成されるので、果実生長の低下は、水の流入が低下したことを意味する。しかし、この方法では、処理の影響が葉の光合成などの植物体全体の活性に及ぶので、処理が間接的に果実の糖濃度に影響する可能性を除くことはできない。したがって、果実への水の流入をもっと直接的に減らす方法が求められる。

組織への水の流入には、組織の体積拡大がともなう。水の流入による体積生長の理論は、Lockhartのモデル（Lockhart, 1965）に始まり、Cosgrove, Boyerらによって組織レベルのモデルに拡張された（Cosgrove,1986）。基本的には、肥大生長は、肥大組織細胞壁の伸展性など機械的性質、水の通導経路における通導抵抗、組織の浸透圧によって調節されうる（Cosgrove,1986）。これらの性質の中で、細胞壁の機械的性質は特に注目されてきた（Taiz,1984）。これを複数の細胞からなる組織で考えれば、表層組織の機械的性質が、組織全体の肥大を調節している可能性がある（Kutschera et al,

1987)。トウモロコシの子葉鞘では、伸長生長が表層組織によって機械的に抑制されること、したがって、表層組織の伸展性によって伸長生長が調節されていることが示唆されている(Kutschera et al.,1987)。また、ブドウ果実が裂果するときの小果内部の限界膨圧は、15から40気圧と高い(Considine & Kriedemann,1972)。この報告は果皮が果実の肥大を制限していることを示唆している。

以上のことから、肥大組織は、組織、特に表層組織の機械的性質を変えることによって水の流入を調節していることが推定される。そこで、この機構をシミュレートして、水の流入を抑制することを考え、表層組織の代わりにパイプをキュウリおよびトマト果実の周りに取り付けて果実肥大を抑制した。本実験では、このようにして果実生長を抑制すると糖濃度がどのように変化するかを調べた。なお、糖濃度は通常新鮮重あたりで表すが、この実験では、水の流入との関係に特に注目するため、水あたりの糖濃度で表示した。

材料と方法

実験1　キュウリ、'たちばな'を1986年2月12日に播種し、3月6日に定植した。実験は4月25日から5月18日の間に行なった。

異なる株から長さ10㎝および20㎝の果実を6果ずつ選び、それぞれ3果ずつを対照とした。10㎝の果実3果には内径16㎜、外径20㎜、長さ18㎝のアクリルパイプを縦に2分したものを取り付け、ホースバンドで固定し(第1図)

A.

B.

C.

第１図．　Ａ：キュウリ果実の肥大を、内径１６㎜または２７㎜のアクリルパイプによって抑制した。Ｂ；キュウリ果実の、果頂側半分または果柄側半分の肥大を、内径１６㎜のアクリルパイプによって抑えた。Ｃ：トマト果実の肥大を内径２７㎜または内径３８㎜のアクリルパイプによって抑制した。

、対照果の長さが２０㎝となった４日後に採取した。また２０㎝の果実３果には内径２７㎜、外径３３㎜、長さ２５㎝のアクリルパイプを同様に付け、対照果の長さが２５㎝となった３日後に採取した。

また、異なる株から長さ１０㎝の果実を６果選び、そのうち３果は果頂側に、３果は果柄側に内径１６㎜、外径２０㎜、長さ４０㎜のアクリルパイプを縦に二分したものを取り付け、ホースバンド２ケでしっかりと固定した（第１図）。これらの果実は４日後に採取した。

実験２　トマト’フローラ’をロックウールへ定植し、１／２倍のHoagland培養液を適宜与えた。開花時には、花房にトマトトーンを噴霧した。実験は５月９日から６月５日にかけて行なった。

開花から２週間後に、果実周囲長が約９㎝の果実を異なる株から１５果選んだ。そのうちの３果を直ちに採取し、３果は果実全体に内径２７㎜、長さ４㎝のアクリルパイプを縦に２分したものを取り付け、ホースバンドで固定した。この３果と無処理の３果を、その４日後に採取した。この日に残る６果のうち３果に、内径３８㎜、長さ４㎝のアクリルパイプを縦に２分したものを同様に取り付け、この３果と残りの無処理の３果を、その４～５日後に採取した。

分析　試料は－２０℃で凍結し、４～５日間凍結乾燥し、乾燥重を測定した。これを乳鉢中で粉末にし、８０％エチルアルコール中で、８０℃で１時間半抽出した。抽出液に内部標準物質としてラムノースを加え、冷却後ガラスフィルター（Whatmann GF/F）で減圧ろ過した。残渣は乾燥後、秤量し

てエタノール不溶性固形分量とした。ろ液は４０℃下でエバポレーターによりほぼ乾固させた。これを水に溶解し、上にセライトをしいたガラスフィルター（Whatmann GF/F）で減圧ろ過した。このろ液２mℓをイオン交換樹脂、Amberlite MB 3を0.8mℓ詰めたマイクロピペットチップを通過させて脱塩し、糖を高速液体クロマトグラフィーにより分析した。分離カラムは、Cosmosil 5NH_2（半井化学薬品）、移動相は、アセトニトリルと水の８０：２０混合液，流量は1.0mℓ/min、温度は３５℃で、示差屈折計（日本分析工業）により検出した。

結　果

第１表は、果実全体を処理した場合の果実新鮮重および各成分率を示す。各固形分率は水分含量あたりで算出した。果実新鮮重の増加は、内径１６mmおよび２７mmのパイプによる処理で有意に抑制された。キュウリでは、還元糖が主要な糖であり、他にスクロースが微量検出された。乾物率、エタノール不溶性固形分率、エタノール可溶性固形分率、フルクトース濃度、グルコース濃度、およびスクロース濃度は、処理果の方が有意に高かった。スクロースは、対照果では痕跡程度にしか検出されなかったが、処理果では、数倍の濃度となった。内径１６mmのパイプで処理をしたときには、内径２７mmのパイプで処理した時より、果実新鮮重が大きく抑制され、各固形分率の処理対照間の差も大きかった。

第２表は、果頂側または果柄側の部位の肥大を抑制した果実の各固形分率を示す。各固形分率は処理部の方が有意に高

第1表.　内径 16 ㎜のパイプで4日間、または内径 27 ㎜のパイプで3日間、肥大生長を抑制したキュウリ ' たちばな ' 果実の新鮮重および各固形分含量。

	16 ㎜		27 ㎜		
	対照区	処理区	対照区	処理区	処理効果[a]
果実新鮮重 (g)	81. 6	35. 1	167	121	**
乾物率 (%)	5. 66	7. 73	5. 16	6. 69	**
エタノール不溶性固形分率 (%)	2. 27	2. 86	1. 83	2. 26	*
エタノール可溶性固形分率 (%)	3. 38	4. 88	3. 34	4. 44	**
フルクトース濃度 (%)	1. 13	1. 53	0. 90	1. 43	*
グルコース濃度 (%)	1. 07	1. 48	0. 84	1. 44	*
スクロース濃度 (%)	0. 01	0. 22	0. 01	0. 07	**

a: 両処理区の平均の処理効果を分散分析した結果
*, ** はそれぞれ 5%、1% レベルで有意であることを示す。

第2表. 果頂側半分、または果柄側半分の肥大生長を、内径 16 mmのパイプで4日間抑制したキュウリ'たちばな' 果実の各固形分含量。

	果頂側処理		果柄側処理		
	対照部	処理部	対照部	処理部	処理効果[a]
乾物率 (%)	6.01	8.48	6.04	8.26	**
エタノール不溶性固形分率 (%)	2.28	3.29	2.32	3.24	**
エタノール可溶性固形分率 (%)	3.72	5.19	3.72	5.02	**
フルクトース濃度 (%)	1.31	1.81	1.13	1.95	**
グルコース濃度 (%)	1.21	1.77	1.08	1.94	**
スクロース濃度 (%)	0.02	0.25	0.03	0.20	**

a: 両処理区の平均の処理効果を分散分析した結果
*, ** はそれぞれ 5%、1% レベルで有意であることを示す。

かった。還元糖濃度は、果頂側部位より果柄側部位の方がやや高い傾向にあったが、その影響は、処理効果と比較すると小さかった。なお、内径１６㎜のパイプで処理した場合には、各固形分率の変化は、内径１６㎜のパイプで果実の一部を処理した場合と同様であった。

第３表は、トマト果実の肥大を内径２７㎜または３８㎜のパイプで抑制した場合の、果実新鮮重、および各成分率を示す。果実新鮮重は、処理果の方が有意に低く、各成分率は処理果の方が有意に高かった。

果実全体の肥大を抑制した、キュウリ果実およびトマト果実の還元糖濃度と水分量の逆数との相関を調べた。このプロットでは、果実あたりの還元糖含量が一定の場合には、原点を通って、傾きが果実あたり還元糖含量に一致する直線上にのる。キュウリ果実では（第２図）、内径１６㎜のパイプで処理した場合には、回帰直線は原点を通らず、処理によって果実あたりの還元糖含量が低く抑えられたことを示した。一方、内径２７㎜のパイプで処理をした場合には、回帰直線はほぼ原点を通り、還元糖濃度の上昇は、水分含量の低下による濃縮で説明できた。トマト果実（第３図）では２７㎜と３８㎜のいずれのパイプ処理をした区においても、正の相関関係が認められ、また回帰直線は、ほぼ原点を通った。

考　察

キュウリ、トマトのいずれでも、肥大を抑制することによって糖濃度が上昇した。キュウリで１６㎜のパイプで処理した

第3表.　内径 27 mmまたは 38 mmのパイプで4日間、肥大生長を抑制したトマト'フローラ'果実の新鮮重および各固形分含量。

		27 mm		38 mm		
	処理前	対照区	処理区	対照区	処理区	処理効果[a]
果実新鮮重（g）	11.8	31.4	24.2	66.8	56.5	**
乾物率 (%)	11.3	9.8	11.8	9.2	10.4	**
エタノール不溶性固形分率 (%)	5.30	4.69	5.66	4.15	4.97	**
エタノール可溶性固形分率 (%)	6.03	5.15	6.10	5.04	5.46	*
フルクトース濃度 (%)	1.43	1.03	1.26	1.23	1.40	*
グルコース濃度 (%)	1.05	0.78	1.08	0.91	1.15	*
スクロース濃度 (%)	0.15	0.02	0.10	0.02	0.11	**

a: 両処理区の平均の処理効果を分散分析した結果
*, ** はそれぞれ 5%、1% レベルで有意であることを示す。

第２図．　キュウリ’たちばな’果実の、還元糖濃度と果実あたり水分含量の逆数との間の相関。●、○は、それぞれ、直径１６㎜のパイプで果実肥大を抑制した場合とその対照。■、□は、それぞれ２７㎜のパイプで果実肥大を抑制した場合とその対照。

第３図．　トマト‘フローラ’果実の、還元糖濃度と果実あたり水分含量の逆数との間の相関。●、○は、それぞれ直径２７㎜のパイプで果実肥大を抑制した場合とその対照。■、□は、それぞれ３８㎜のパイプで果実肥大を抑制した場合とその対照。

場合には、果実肥大が半分以下に抑制されており（第１表）、他の場合より抑制の程度が大きかった。このときには、還元糖の蓄積も抑えられていた（第２図）。しかし、キュウリ果実を２７㎜のパイプで抑えた場合（第２図）とトマト果実の肥大を抑えた場合（第３図）には、還元糖の蓄積は抑えられず、水の蓄積が減少した分、還元糖濃度が上昇した。このことは、極端でない水の蓄積量の変化は、糖の蓄積には影響せず、それにより糖濃度が変動することを示す。

また、処理によって乾物率が上昇したことは、水の流入と乾物の流入が、独立に変化しうることを示した。

Coombeら（1987）は、大きさの異なるブドウ果実で、乾物および糖の流入量と水の流入量との関係を比較した。その結果、大きい果実は、果実あたりに流入する水の量だけでなく、乾物や糖の量も多いこと、また、果実へ流入する溶液の乾物濃度、還元糖濃度は果実の大きさに関係なく一定であること、を報告している。さらに、ブドウ果実の生長を機械的に抑制した場合（Coombe,1973）、糖濃度が変化しなかったと述べている（Coombe,1976）。

本実験もCoombeの実験も、水の蓄積量の異なる果実間で乾物率と糖濃度を比較しているが、結果は異なった。この違いには、木部液と師部液の流入比が関係していると考えた。ベレーゾン以降のブドウ果実では、水は主として師部から流入し、木部からは若干量の水が流出していることが報告されている（Lang & Thorpe,1989）。それに対して、キュウリ果実では、主として木部液に含まれることが報告されているＣａ（Marschner,1983）の蓄積速度と肥大生長速度との間に高い

相関があり（Engelkes et al.,1990）、かなりの量の水が木部から流入していることが推測された。また、トマトでは、開花２週間後ころには、１０％以上の水が木部から流入することが報告されている（Ho et al.,1987）。そこで、本実験の処理によって乾物率や糖濃度が高まったのは、もともとかなりあった木部液の流入が減少したためであると考えた。

還元糖の変化とは異なり、スクロース濃度は処理によって数倍に高まった。したがって、処理によって糖代謝に何らかの変化が生じた可能性がある。スクロースの加水分解酵素であるインベルターゼは、スクロース濃度の変化と関係していることが、メロン（Schaffer et al.,1987;McCollum et al.,1988;Hubbard et al.,1989）、スクロース蓄積型のトマト（Yelle et al.,1988）で知られている。糖濃度の変化に、代謝が関与しているかについては次章で検討する。

摘　要

（１）肥大生長期にあるキュウリおよびトマトの果実への水の流入を抑制するため、果実周囲にパイプ取り付けて果実肥大を３～５日間機械的に抑制した。

（２）キュウリ、トマトいずれでも、果実肥大を抑制した果実の方が乾物率、エタノール不溶性固形分率、スクロース濃度、グルコース濃度、およびフルクトース濃度が高かった。

（３）キュウリでは、果実の果柄側半分、あるいは果頂側半分の肥大を抑制した。このとき、果実全体の肥大を抑制した場合と同様に、すべての測定した成分の含量が高まった。

（４）無処理のキュウリ、トマトのいずれでもスクロースは痕跡程度にしか検出されず、主要な糖は還元糖であった。処理と対照間にみられた還元糖濃度の差は、肥大抑制が極端でない場合には、水の蓄積量の低下による希釈の低下で説明できた。

（５）スクロース濃度はキュウリ、トマトのいずれでも全糖に占める割合は小さかったが、処理果または処理部位の方が対照に比べて数倍高かった。このことは、処理後糖代謝に何らかの変化が生じたことを示唆した。

第２章　水分の流入を機械的に抑制したキュウリ果実の糖濃度の経時変化とインベルターゼの役割

緒　言

キュウリ果実は、市場出荷の大きさに達するまでの時期に急速に生長している（McCreight et al,1978;金浜･斎藤,1985）。果実長が９～２０㎝のときにＲＧＲが最も高く、気温により変動するが毎時２～６％に達する（田附･崎山,1984）。

このような急速な果実生長は、水が急速に流入していることを示す。キュウリ果実の糖濃度は２％前後（McCreight et al, 1978;薮内、1990）と低いが、これには急速な水の流入が関与している可能性がある。キュウリ果実へのＣａの蓄積速度は、肥大速度と高い相関にあり、Ｃａと水の蓄積速度の比は、木部液のＣａ濃度にほぼ一致した（Engelkes et al., 1990）。師部液には、Ｃａはほとんど含まれない（Marschner,1983）ので、この結果は、キュウリ果実では、大部分の水が木部経由で入っていることを示唆している（Engelkes et al.,1990）。したがって、水の流入を低下させると、水による希釈が抑えられて糖濃度が高まることが期待できる。

第１章の実験によって、キュウリ果実の肥大を機械的に抑制することによって、乾物率および糖濃度が上昇することが明らかとなった。還元糖濃度の変化は、水による希釈が抑えられたためと考えられたが、一方、スクロース濃度の上昇は著しく、糖代謝に何らかの変化が生じている可能性があった。

この実験では、キュウリ果実の肥大抑制が糖濃度に与える

影響をさらに詳しく調べるため、処理日数にともなう変化と、糖代謝関連酵素としてインベルターゼの活性を測定した。

材料と方法

栽培　キュウリ‘たちばな’を１９８６年９月１０日にバーミキュライトとピートモスの１：１混合土に播種した。９月１８日にロックウールキューブへ移植し、９月２６日にロックウールベッドに定植した。その後１／２倍のHoagland培養液を毎日与えた。栽培は、東京大学の温室で行ない、最低気温が１３℃を下回らないようにした。

実験１　１１月１１日に異なる株から長さ１０～１２㎝の果実を９果選び、果頂部側に内径１６㎜、外形２０㎜、長さ４㎝のアクリルパイプを縦に２分したものをつけ、ホースバンド二ヶで固定した（第１図Ｂ）。パイプが果実に接着するまで約１日かかったので、翌日に３ヶを採取し、これを処理開始時とした。そして、その２日後と４日後に３果ずつ採取した。採取後直ちに、処理をした果頂側と処理をしていない果柄側の部位から３ｇの輪切り切片をとり、液体窒素中で凍結し、－４０℃で保存した。この試料は、糖の分析とインベルターゼ活性の測定に用いた。

実験２　１２月５日から８日の間に、異なる株から長さ１０～１２㎝の果実を１６果選び、果頂側に実験１と同様にアクリルパイプを取り付け、３日後にパイプを外した。４果は直ちに採取し、１、２、３日後にそれぞれ４果ずつ採取した。採取後直ちに果実の果頂側と果柄側の部位から３ｇの輪切り

切片を取り、－２０℃で凍結保存した。この試料は糖の分析に用いた。また、輪切り切片のコピーをとり、切片の形に切り抜いて重量を測り、果実の断面積を計測した。

糖の分析　凍結保存した試料は、４～５日間凍結乾燥した後、乳鉢中で擦りつぶし、８０％エタノールで１時間半、８０℃下で抽出した。冷却後、内部標準として一定量のラムノースを加えた。十分撹拌後、１０００ｇで遠心分離した。上清から、５～１０mℓをフラスコへ移してエバポレータによりアルコールを除き、水５mℓを加えて懸濁し、懸濁液を１９５００ｇで２０分間遠心分離した。上清を少量のアンバーライトＭＢ３のカラムにすばやく通過させて脱塩し、凍結乾燥した。これをアセトニトリルと水の６：４混合液に溶かして１９５００ｇで５分間遠心分離し、上清に含まれる糖をＨＰＬＣにより分析した。分離カラムは、Ｃｏｓｍｏｓｉｌ５NH_2（半井化学薬品）、移動相はアセトニトリル：水の８：２混合液であり、示差屈折計（日本分析工業）により検出した。

インベルターゼ活性の測定　凍結保存した試料を、液体窒素とともに乳鉢へ入れ、サランネットを被せてハンマーで砕き、次に乳棒で粉末にした。少しおいて乳鉢の温度が上がってから、1.5％不溶性ポリビニルピロリドン、400ｍＭＮａＣｌ、１５ｍＭＥＤＴＡ、0.08％ジチオスレイトールを含む、ｐＨ7.5、８０ｍＭのＨＥＰＥＳ緩衝溶液を８～１５ｍℓ加え、５分間、緩やかにつぶした。抽出液を１５００ｇで５分間遠心分離し、上清１ｍℓを、ベッドボリュームが１０ｍℓのＳｅｐｈａｄｅｘＧ－２５（ファルマシア）のカラムによってゲルろ過した。ゲルは、あらかじめ１０ｍＭＨＥＰＥＳで

安定させ、試料を１０ｍＭＨＥＰＥＳによって溶出し、ボイドボリュームから0.7ｍℓを回収した。ボイドボリュームはブルーデキストラン（ファルマシア）によりあらかじめ測定した。ゲルろ過した粗酵素液７０μℓに、スクロース溶液とクエン酸－リン酸緩衝液を加えて0.5ｍℓの反応溶液とし、３０℃で１時間反応させた。反応溶液は、スクロース140ｍＭ、クエン酸14ｍＭ、$Na_2HPO_4$23ｍＭ、ｐＨ4.5とした。反応後、溶液に２００ｍＭのNa_2HPO_4を０．５ｍℓ加え、３分間沸騰水中に入れた。反応溶液中のグルコースは、酵素法（Ｆキットグルコース、ベーリンガーマンハイム）により定量した。タンパク質は、BensadoumとWinsteinらの方法（Bensadoum & Weinstein,1976）により精製したのち、Lowryらの方法（Lowry et al,1951）により定量した。標準溶液のタンパク質として牛血清アルブミンを用いた。

結　果

（１）実験１

果実生長　第４図は、パイプを付けなかった果実と、果頂側にパイプを付けた果実における、果頂側の直径の変化を示す。パイプを付けなかった果実では、果実直径はほぼ直線的に増加し、４日後には２４㎜に達した。一方、パイプを付けた果実では、直径はパイプの直径と等しい１６㎜に達した。また、果実は処理の１日後には、パイプに密着していた。

乾物　処理を開始した時点において、乾物率は果柄側の部位より果頂側の部位の方が高かった（第５図）。処理開始後、

第４図．　キュウリ〝たちばな〟果実の果頂側の直径の経時変化。
●：内径１６㎜のパイプで果実の果頂側の肥大を抑制した。○：対照。

第５図．　キュウリ‘たちばな’果実の乾物率の経時変化。

●：パイプを付けてた果頂側部位。○：パイプを付けなかった果柄側部位。縦線は標準誤差。

果頂側（処理）部位、果柄側（無処理）部位いずれの乾物率もほぼ一定に推移した（第５図）。キュウリ果実では、生育につれて乾物率が低下することが報告されているが（Davies & Kempton,1976）、この４日間の実験では、低下傾向を示したが、統計的には有意ではなかった。

糖　キュウリ果実に含まれる主要な糖はグルコースとフルクトースであり、これらの含量はほぼ等しかった。図にはこれらの総量を還元糖として示した（第６図）。処理開始時において、各糖の濃度には、果頂側（処理）部位と果柄側（無処理）部位との間に差は認められなかった（第６図）。処理部の還元糖濃度は主に初めの２日間に1.37倍に増加したが、次の２日間には1.06倍の増加にとどまった。スクロース濃度は、変動が大きかったものの、果頂側（処理）部位で４日間高まり続けた。

インベルターゼ活性　処理開始時のインベルターゼ活性は、果頂側（処理）部位の方が果柄側（無処理）部位よりも高かった。処理２日後と４日後においても、差は明白で、その間ほぼ並行した変化を示した（第７図）。

（２）実験２

３日間果頂側の肥大を抑えた後にパイプを外すと、果頂側（処理）部位と果柄側（無処理）部位は、同じ速度で断面積を拡大した（第８図）。乾物率と糖濃度（第９図）は、パイプを外した時点では、果頂側（処理）部位の方が高かったが、翌日にはこれらの差はなくなった。

この間の各成分の蓄積が明らかになるように、以下の式により、１日あたりに１㎠の果実組織に蓄積した水、乾物およ

第６図．　キュウリ ' たちばな ' 果実の還元糖濃度（●、○）およびスクロース濃度（■、□）の経時変化。黒印と白印は、それぞれ内径１６㎜のパイプによって肥大を抑制した果頂側部位とパイプを付けなかった果柄側部位を示す。縦線は標準誤差。

第7図．　キュウリ'たちばな'果実の酸性インベルターゼ活性の経時変化。●：パイプを付けた果頂側部位、○：パイプを付けなかった果柄側部位。縦線は標準誤差。

第８図．　３日間を肥大抑制したキュウリ‘たちばな’果実における、処理開放後の断面積の経時変化。●：肥大抑制をした果頂側。○：肥大抑制をしなかった果柄側。縦線は標準偏差。

第９図．　３日間肥大抑制したキュウリ‘たちばな’果実における、処理開放後の乾物率（●、○）および全糖濃度（■、□）の経時変化。黒印と白印は、それぞれ肥大抑制をした果頂側と肥大抑制をしなかった果柄側をしめす。縦線は標準偏差。

び糖の量（それぞれΔW、ΔD、ΔS）を計算した。

$$\Delta W(g) = (A_{i+1}/A_i)^{3/2} - 1$$

$$\Delta D(mg) = D_{i+1} \times (A_{i+1}/A_i)^{3/2} - D_i$$

$$\Delta S(mg) = S_{i+1} \times (A_{i+1}/A_i)^{3/2} - S_i$$

ただし、S：糖濃度（$mg/g \cdot H_2O$）、D：乾物率（$mg/g \cdot H_2O$）

A：果実断面積（cm^2）、i：日数

その結果（第４表）、果頂側（処理）部位では、初めの１日には、乾物が蓄積されたのに対し、糖は蓄積されなかった。糖は、２日目以降蓄積されるようになった。また、果実へ流入した溶液の乾物濃度は、処理開放後の日数とともに上昇した。

考　察

（１）実験１

乾物率について　この実験では、果実の果頂側に処理をして、果柄側の部位を対照として用いようとした。それは、以下の理由によった。①第１章の実験において、果頂部と果柄部に、乾物率と糖濃度に有意な差は認められなかった。②環境の影響および果実ごとの影響を統計的に除くため、一つの果実の果頂側部位と果柄側部位をペアとすることを試みた。③果柄側の部位に処理をすると、果頂側への乾物や水の移動に影響が現われる恐れがあった。

本実験の結果によると、肥大抑制開始時点において、乾物率が、果柄側の部位より処理部の方が高かった。したがって、果柄側部位を対照として用いるには、問題があった。

第4表．　内径 16 mmのパイプで果頂側の肥大を３日間抑制した後、パイプを外したキュウリ ' たちばな ' 果実の果頂側において、１日あたり１㎠の果実組織に蓄積した水、糖，乾物の量、および果実へ流入した溶液の乾物濃度。

処理開放後日数	水　（mg）	乾物　（mg）	全糖　（mg）	乾物濃度　(%)
0~1 日	632	23.7	-1.5	3.7
1~2 日	545	25.1	7.5	4.6
2~3 日	218	10.9	2.5	5.0

しかし、第１章の実験の結果によると、長さが１２㎝の果実の果頂側または果柄側に処理をした場合、いずれの場合にも対照部の乾物率は５～６％、処理部の乾物率は７～８％であり、この数値は、本実験における果柄側（無処理）部位と果頂側（処理）部位の値にそれぞれ一致する。また、実験２において、処理開放後の乾物率は果頂部（処理）部位で５～６％であり、果柄側（無処理）部位と差はなかった。これらのことから、処理開始時に部位間に乾物率の差が生じていた原因は、果実全体がパイプに接触するまでの期間に、肥大生長速度が低下したためと推測した。

処理開始時以降は、乾物率は一定であった。このことは、果実がパイプに密着した後、乾物の蓄積が停止したことを示す。キュウリ果実では、同化物は果托を縦走する維管束によって輸送され、それから果実の内側へと輸送される（金浜・斎藤、1988）。パイプを取り付けた果実においても果托の維管束は縦走しているはずである。第１章の実験で、果柄側部位を処理した場合に、果頂側部位は、パイプを付けていない場合と同様に生長した。したがって、維管束を通過する水と乾物の輸送は、パイプによって阻害されていないといえる。

維管束から果実柔細胞への乾物の輸送機構に関して、水の移動と関係して十分に検討した研究は見当たらないが、比較的長距離の輸送であるので、マスフローによる可能性が高い。本実験で、処理によって乾物の蓄積が停止したのは、①乾物の果実内輸送がマスフローによっており、②水の流入の抑制によって、マスフローが停止したためであると考えた。

糖濃度の変化について　肥大抑制処理により水の流入を抑

制したところ、処理の初期には還元糖濃度がよく上昇し、後半には上昇が鈍った。この結果は、第１章の結果と同様、極端でない水の流入の抑制では、還元糖の蓄積はあまり影響を受けず、還元糖濃度が上昇することを示した。

全糖濃度は、処理開始時以後の４日間1.03%、1.46倍に上昇した。それに対して、乾物率は0.27%、1.04倍しか上昇しなかった。このとき糖以外の乾物は、0.77%減少していた。したがって、処理果では、糖の流入ではなく、乾物の一部が糖に変換したことによって糖が蓄積していた。

糖濃度の上昇が、処理後半に抑えられたのに対し、スクロース濃度は高まり続けた。スクロースは、その分解により還元糖を生成するので、スクロースの分解が抑えられたために還元糖濃度の上昇が抑えられた可能性がある。

スクロースを分解して還元糖を生成する酵素として、キュウリ果実には、インベルターゼ（Schaffer et al,1987）とスクロースシンターゼ（Gross & Pharr,1982;Schaffer et al,1987）が確認されている。トマトの花房（Russell & Morris,1982）、インゲンの茎（Morris & Arthur,1985）では、酸性インベルターゼ活性が、また種々の根菜（Ricardo,1974）、サトウキビ（Gayler & Glasziou,1972）ではアルカリ性インベルターゼ活性が、還元糖濃度との間に正の相関があることが報告されている。また、Schafferらは、キュウリとメロンを比較して、メロンにおけるスクロースの蓄積には、インベルターゼ活性の低下が関与していることを示した（Schaffer et al,1987）。テンサイ（Giaquinta,1979），カンキツ類（Kato & Kubota,1978）、サトウキビ（Hatch & Glasziou,

1963)、ニンジン(Ricardo & apRees,1970)においても、スクロースの蓄積にともないインベルターゼ活性が低下する。

本実験では、処理開始時には、果頂側(処理)部位の方が果柄側(無処理)部位より、インベルターゼ活性が高かった。この差は、パイプが果実に密着するまでの間に生じたものであるのか、あるいはもともと部位間に存在した差なのか判別することはできなかった。また、その後の4日間で、果頂側(処理)部位と果柄側(無処理)部位のインベルターゼ活性はほぼ並行に推移した。これらの結果からは、処理日数にともなうインベルターゼ活性の変化と糖濃度との関係を明らかにすることはできなかった。

次に、処理2日後と4日後の区の果実について、各果実の糖濃度の区平均値との差とインベルターゼ活性との間の相関関係を調べた。その結果、スクロース濃度の変動とインベルターゼ活性との間に負の相関関係が認められた(第10図)。このことは処理区で見られたスクロースの蓄積が、酸性インベルターゼ活性の低下によることを強く示唆している。

一方、各果実の還元糖濃度の区平均値との差とインベルターゼ活性との間には相関関係はなく、還元糖濃度の上昇にインベルターゼ活性が関与しているようにはみえなかった。

(2)実験2

肥大を抑制した後、パイプを外すと、乾物率が7.41%から5.99%へ低下し、乾物が水によって希釈された。また、流入溶液の乾物濃度は、処理後には対照より低く、その後、しだいに増加して対照に近い値となった。これらの結果は、水と

第１０図．２または４日間、肥大を抑制したキュウリ‘たちばな’果実における、各果実のスクロース濃度の区平均値からのずれとインベルターゼ活性との間の相関。

乾物の流入がある程度独立に変化しうることを示した。キュウリ果実では、Ｃａの蓄積と生長速度との関係から水は主として木部から流入していることが示唆されている（Engelkes et al.,1990）ので、処理開放後、木部から水が多量に流入し、乾物が希釈されたと考えた。

パイプを外してから１日の間に、乾物率が１／1.24に低下したのに比べて、糖濃度は１／1.73にも減少した。糖が蓄積されなかったのは、細胞壁の合成に糖が消費されるようになったためかもしれない。

摘要

（１）キュウリ果実の肥大を機械的に抑制することによって、果実組織への水の流入を抑制し、水の流入が糖濃度に与える影響を調べた。果実長が１０～１２㎝のときに果実の果頂部側をパイプで覆って、その後の肥大を抑制した。

（２）４日間の肥大抑制期間中、乾物率は一定に推移し、この間、乾物がほとんど流入しなかったことが示された。

（３）還元糖濃度は主に初めの２日間に上昇し、スクロースは４日間高まり続けた。また、還元糖は、流入ではなく他の乾物からの変換により蓄積した。

（４）２日間あるいは４日間肥大を抑制した区では、各果実のスクロース濃度の区平均値からのずれとインベルターゼ活性との間に負の有意な相関があった。このことは、処理によるスクロース濃度の上昇が、インベルターゼ活性の低下によることを強く示唆した。還元糖濃度とインベルターゼ活性と

の関係はみられなかった。

（５）３日間肥大を抑えた後にパイプを外すと、処理部は対照部と同じ速度で生長した。乾物率と糖濃度は、パイプを外した時点では、果頂側（処理）部位の方が、果柄側（無処理）部位より高かったが、翌日にはこれらの差はなくなった。処理開放後、果頂側（処理）部位では、糖はほとんど蓄積されず、また、流入した溶液の乾物濃度は、初めは果柄側（無処理）部位より低く、しだいに上昇した。

第３章　糖濃度の異なる系統のトマト果実において、水の流入の機械的抑制が糖濃度に与える影響

緒言

トマト果実の糖は主に還元糖であり、生育につれて蓄積していき、成熟時には３～４％程度に達する（Davies & Kempton,1975b;Ho & Hewitt,1986）。一般に、糖濃度が高く甘い果実の方が好まれる。そのため、トマトには、糖濃度の高い品種、糖濃度を高める栽培法が求められている。

糖濃度は、果実の糖含量と水分含量の相対的な関係で決まるので、水の蓄積を抑えることによって糖濃度が高められる可能性がある。トマトに塩ストレス（Lapushner & Frankel,1986;Martinez et al,1986;Mizrahi et al,1988;Sharaf & Hobson,1986）あるいは水ストレス（Rudich et al,1977）をかけると果実が小さくなるとともに、成熟時の全水溶性固形分（ＴＳＳ）率や糖濃度が上昇する（Lapushner & Frankel,1986;Martinez et al,1986;Mizrahi et al,1988;Sharaf & Hobson,1986）。

しかし、塩類濃度が高すぎる場合には、ＴＳＳ率や乾物率の上昇にもかかわらず還元糖濃度の上昇が抑えられる（Martinez et al,1986; Sharaf & Hobson,1986）。水ストレス下では浸透調節によって糖濃度が高まることが、ダイズの芽生え（Meyer & Boyer,1981）、コムギの葉（Munns & Weir,1981）で知られている。したがって、塩ストレスや水ストレ

スによる糖濃度の変化は、糖の希釈が抑えられたためではなく、糖代謝による反応である可能性がある。

これまでに、水ストレスに替わる方法として、カブ（河鰭・崎山）、キュウリ（第１章、第２章）、トマト（第１章）への水の流入を機械的に抑えることを試みた。その処理によってキュウリとトマトでは、糖濃度は高まった。キュウリについては、さらに第２章の実験で、経時的に糖濃度の変化を調べたところ、糖濃度の上昇には飽和傾向がみられた。また、カブでは、処理によって乾物率が高まったものの、糖濃度は一定に保たれた。

本実験では、糖濃度の異なる４系統のトマトを用いて、水の流入の抑制が、糖濃度に与える影響を調べた。

材料と方法

栽培　高糖度系統のトマト、'811L202-2'，'Breham's Solid Red'と、低糖度系統のトマト、'W024MD'，'Early Lethbridge'の計４系統を、１９８７年３月２９と３０日にロックウールキューブに播種した。その後は水道水を適宜与えて、夜間加温したガラス室で育苗し、４月２３日にロックファイバーのベッドに定植した。生育初期には、１／２倍のHoagland培養液を１日２回与え、後に１日８回に増やした。各果房の第２果と第３果を残し他の果実は除いた。開花頃に花房にトマトトーンを噴霧した。実験は５月下旬から７月上旬にかけて行ない、午前１１時頃に果実を採取した。

処理　各系統ごとに処理開始時区、処理区、対照区の３区

を作った。開花２週間後頃に、果実直径が３㎝程度にそろった果房を選び、各果房の２果のうち片方を処理果、他方を対照果とするか、あるいは両方を処理開始時区として割り当てた。処理開始時区の果実は、果実直径が約３８㎜となったところで採取した。処理果は、内径３８㎜、外径４２㎜、長さ３５㎜のアクリルパイプを縦に２分して付け、針金で固定した（第１１図）。パイプの上端と下端にはアクリル板を付け、ピンチコックで固定した（第１１図）。パイプの上下に蓋をすることによって、いずれの系統でも均一に肥大が抑制されるようにした。処理区と対照区の果実は開花５週間後に採取した。採取後直ちに、果実の赤道面から５～２０ｇの輪切り切片をとり、－２０℃で保存した。

糖の分析．凍結保存した試料は、４～５日間凍結乾燥した後、乳鉢中で擦りつぶし、８０％エタノールで１時間、ウォーターバス中で抽出した。冷却後、内部標準として５％濃度ラムノースを１㎖加えた。十分撹拌後、１０００ｇで遠心分離した。沈殿は、エタノールで２～３回洗浄した後、乾燥させて秤量し、エタノール不溶性固形分量とした。また、上清から、１０㎖をフラスコへ移してエバポレータによりアルコールを除き、水５㎖を加えて懸濁し１９５００ｇで２０分間遠心分離した。この上清をアンバーライトＭＢ３カラムにすばやく通過させて脱塩し、凍結乾燥したのち、アセトニトリルと水の６：４混合液に溶かして１９５００ｇで５分間遠心分離し、上清をＨＰＬＣにより糖を分析した。分離カラムは、Ｃｏｓｍｏｓｉｌ５NH_2（半井化学薬品）、移動相はアセトニトリル：水の８：２混合液であり、示差屈折計（日本分

第１１図.　４系統のトマト'81L1204-2'、'Breham's Solid Red'、'Early Lethbridge'および'W024MD'の果実を、内径３８mm、長さ３５mmのアクリルパイプを縦に２分して付け針金で固定し、上下にはアクリル板を付け、ピンチコック２ヶで固定した。

析工業）により検出した。

結　果

果実の生長　処理開始時の果実の新鮮重は（第１２図）、いずれの系統でも約４０ｇであった。対照区の果実の新鮮重は、'81L1204-2'と'Breham's Solid Red'では約160ｇであり、'W024MD'と'Early Lethbridge'では120ｇであった。処理区の果実新鮮重は、'Breham's Solid Red'は７０ｇであったが、その他の系統は４０ｇであった。'Breham's Solid Red'では、一部の果実がアクリルの容器を壊して肥大したため、他の系統より平均新鮮重が大きくなった。果実乾物重および１果あたりの全糖含量は、いずれの系統でも処理区では、処理開始時と有意差はなく、対照区では、処理開始時の２倍以上に高まった（第１２図）。

乾物率　対照区の乾物率は（第１３図）、いずれの系統でも処理開始時の値より低下し、高糖度系統の方が高かった。一方、処理区では（第１３図）、高糖度系統である、'81L1204-2'と'Breham's Solid Red'では、処理開始時より高くなり、低糖度系統である'Early Lethbridge'と'W024MD'では有意な変化は認められなかった。

成分濃度　（１）対照区　対照区における全糖濃度（第１３図）および還元糖濃度（第１４図）は、高糖度系統の'81L1204-2'と'Breham's Solid Red'では処理開始時よりも増加し、低糖度系統の'W024MD'と'Early Lethbridge'では、一定に推移した。また、いずれの系統でも、還元糖が主要な糖で

第１２図．　トマト４系統の果実の新鮮重、乾物重および１果あたり全糖含量に及ぼす肥大抑制の影響。□：果実直径が約３８㎜のときに採取。▨：処理をせずに開花５週間後に採取。■：開花２週間後頃に内径３８㎜のパイプで肥大を抑制し、開花５週間後に採取。
８１Ｌ：'81L1204-2'、ＢＳＲ：'Breham's Solid Red'、ＥＬ：'Early Lethbridge'、ＷＯ：'WO24MD'。ａ，ｂ，ｃ：同じ文字は、Duncan多重検定により５％レベルで有意差がないことを示す。

第１３図．　トマト４系統の果実の乾物率に及ぼす肥大抑制の影響。
８１Ｌ：'81L1204-2'、ＢＳＲ：'Breham's Solid Red'、ＥＬ：'Early Lethbridge'、ＷＯ：'WO24MD'。ａ，ｂ，ｃ：同じ文字は、Duncan多重検定により５％レベルで有意差がないことを示す。

あり、スクロースはほとんど含まれなかった（第１４図）。

対照区における乾物あたりの成分組成を比較すると（第５表）、還元糖含量は全系統で処理開始時よりも増加し、その変化量は、高糖度系統の方が大きかった。エタノール不溶性固形分（ＥＩＳ）はすべての系統で減少した。'Breham's Solid Red'だけは、ＥＩＳの減少が少なく、その代わり，糖以外のエタノール可溶性固形分（ＥＳＳ）が減少した。

（２）処理区　高糖度系統の'Breham's Solid Red'と低糖度系統の'Early Lethbridge'の２系統では、処理によって全糖濃度（第１３図）と還元糖濃度（第１４図）が大きく上昇し、高糖度系統の'81L1204-2'と低糖度系統の'W024MD'の２系統ではわずかに上昇しただけであった。スクロース濃度（第１４図）はこれとは逆の傾向を示し、還元糖濃度がよく高まった２系統ではほとんど高まらず、還元糖濃度があまり高まらなかった２系統では、スクロース濃度がよく高まった。

乾物あたりの成分組成を比較すると（第５表）、処理によって全系統で還元糖含量が増加したが、増加量の大きい系統と小さい系統があった。'Breham's Solid Red'と'Early Lethbridge'の２系統では、還元糖含量が大きく増加した。'Breham's Solid Red'では、ＥＩＳと糖以外のＥＳＳが減少し、'Early Lethbridge'ではＥＩＳの減少が大きかった。一方、'81L1204-2'と'W024MD'の２系統では、還元糖含量はほとんど増加しなかった。これらの系統では、処理後、ＥＩＳが減少し、糖以外のＥＳＳが増加した。

第１４図．　トマト４系統の果実の糖濃度に及ぼす肥大抑制の影響。□：果実直径が約３８mmのときに採取。▨：処理をせずに開花５週間後に採取。■：開花２週間後頃に内径３８mmのパイプで肥大を抑制し、開花５週間後に採取。８１Ｌ：'81L1204-2'、ＢＳＲ：'Breham's Solid Red'、ＥＬ：'Early Lethbridge'、ＷＯ：'WO24MD'。ａ，ｂ，ｃ：同じ文字は、Duncan多重検定により５％レベルで有意差がないことを示す。

第5表.　トマト果実の乾物あたりに含まれるエタノール不溶性固形分（ＥＩＳ）、糖以外のエタノール可溶性固形分（ＥＳＳ－ＴＳ）、全糖（ＴＳ）の割合（％）。

	処理開始時	肥大抑制		対照	
'81L1204-2'					
ＥＩＳ	47.0	29.6	(－17.4)	34.8	(－12.2)
ＥＳＳ－ＴＳ	32.4	42.0	(＋ 9.6)	32.9	(＋ 0.5)
ＴＳ	20.6	28.4	(＋ 7.8)	32.3	(＋11.7)
'Breham's Solid Red'					
ＥＩＳ	39.3	24.4	(－14.9)	35.6	(－ 3.7)
ＥＳＳ－ＴＳ	32.3	26.3	(－ 6.0)	22.7	(－ 9.6)
ＴＳ	26.8	49.3	(＋22.5)	41.7	(＋14.9)
'Early Lethbridge'					
ＥＩＳ	49.9	28.5	(－21.4)	39.2	(－10.7)
ＥＳＳ－ＴＳ	23.2	30.1	(＋ 6.9)	26.5	(＋ 3.3)
ＴＳ	26.9	41.4	(＋14.5)	34.3	(＋ 7.4)
'W024MD'					
ＥＩＳ	41.8	24.2	(－17.6)	29.2	(－12.6)
ＥＳＳ－ＴＳ	31.0	43.4	(＋12.4)	34.1	(＋ 3.1)
ＴＳ	27.2	32.4	(＋ 5.2)	36.6	(＋ 9.4)

考　察

糖濃度の変化について　果実の肥大を機械的に抑制して、果実による水の流入を抑制したところ、'Breham's Solid Red'と'Early Lethbridge'では糖濃度が大きく上昇し、'81L1204-2'と'WO24MD'では上昇が小さかった。このことは、４系統いずれにおいても、水の流入量により糖濃度が変動すること、また、その変動幅が系統により異なることを示した。

糖濃度の高まった系統と、乾物率の高まった系統は一致せず、また、糖濃度のよく高まった系統は、乾物あたりの糖含量がよく高まっていた。このことは、４系統の処理区でみられた糖濃度の上昇は、糖の流入によるのではなく、果実内における糖生成が系統間で異なったことを示した。したがって、糖濃度があまり高まらなかった系統では、糖濃度の上昇が代謝により緩和された可能性がある。

全乾物のうち、どの成分が糖濃度の変化に関係するのかを明らかにするため、乾物あたりの各成分含量の増減をみた（第５表）。まず、ＥＩＳ含量は、いずれの系統においても減少した。ＥＩＳには、構造炭水化物のほかデンプンが含まれる。トマトの発育初期の果実にはデンプンが含まれ（Davies & Cocking,1965; Dinar & Stevens,1981; Ehret & Ho,1986; Walker & Thornley,1977）、成熟に近づくにつれて還元糖へ分解される（Davies & Cocking,1965）。また、デンプンが糖濃度の調節を行なうことは、リンゴで提案されている（Berüter,1989）。しかし、糖含量の増加とＥＩＳ含量の減少との間には相関はなかった（第１５図）。糖以外のＥＳＳ

第１５図．　乾物あたりで表示したエタノール不溶性固形分（ＥＩＳ）含量の処理開始後の変化量と、全糖（ＴＳ）含量の処理開始後の変化量との間の相関。■：'81L1204-2'、□：'Breham's Solid Red'、●：'Early Lethbridge'、○：'W024MD'。

第１６図．　乾物あたりで表示した糖以外のエタノール可溶性固形分（ＥＳＳ－ＴＳ）含量の処理開始後の変化量と、全糖（ＴＳ）含量の処理開始後の変化量との間の相関。■：'81L1204-2'、□：'Breham's Solid Red'、●：'Early Lethbridge'、○：'W024MD'。

含量は、'Breham's Solid Red'において減少し、他の区では増加した。したがって、糖以外のＥＳＳの一部が糖に変換したのではない。しかし、その変化量と糖含量の変化量との間に負の相関関係があった（第１６図）。糖以外のＥＳＳには、有機酸のほかに少糖類が含まれる。

以上の結果は、次のように説明できる。①肥大抑制処理をした果実では、ＥＩＳに含まれるデンプンが、ＥＳＳに含まれる少糖類へ分解された。②糖濃度が高まった系統では、少糖類からさらに糖まで分解され、糖濃度が高まらなかった系統では、少糖から糖へあまり分解されなかった。

少糖類の一種である重合度の低いフラクタンは、コムギ穎果への同化物の流入の変動を緩衝する作用のあることが知られている（Kühbauch & Thome,1989）。また、フラクタン（Darbyshire & Henry,1978）およびフラクタン以外のスクロシルオリゴ糖（Keller,1989）が、糖の一時的貯蔵形態として浸透調節に役立っていることが提案されている。これと同様に、トマト果実においても、糖濃度が、ＥＩＳに含まれる非構造炭水化物の分解物である少糖類によって調節されているのかもしれない。しかし、トマト果実においては、糖濃度の調節に関与する少糖類については、これまで報告がない。

還元糖濃度が処理によってあまり高まらない系統では、スクロース濃度が高いという結果を得た。第２章では、キュウリ果実における肥大抑制処理に伴うスクロース濃度の上昇は、インベルターゼ活性の低下によることが示された。したがって、トマト果実の場合にも、同様にスクロース濃度が高まった系統では、インベルターゼ活性が低い可能性がある。また、

この実験系では、乾物の流入はほとんどなかったので、スクロースの蓄積は、デンプンの分解によると考えられる。低温下に置いたジャガイモ（Isherwood,1973）やチューリップの球根で（Davies & Kempton,1975a）は、デンプンの分解によってスクロースが生成されることが知られている。

また、'81L1204-2'と'W024MD'で還元糖濃度があまり高まらなかったのは、インベルターゼ活性が低下したためなのかもしれない。還元糖濃度が高まらなかった系統では、スクロース濃度が高いという結果を得た。これは、スクロースの加水分解が抑制されたことにより、還元糖濃度が高まらなかった可能性を示唆する。しかし、第２章のキュウリを用いた実験では、インベルターゼ活性と還元糖濃度との間に正の相関は認められていない。

乾物率の変化について

果実のような末端器官では、水は果実の肥大量と水の流出量に相当する量しか流入しないはずである。処理をした果実では、果実表面からの蒸散がパイプによって遮られているので、蒸散による水の流出はない。よって、肥大抑制処理をした果実では、ほとんど水の流入がなかったといえる。本実験において、肥大抑制をした果実の乾物率および果実乾物重がほとんど上昇しなかったことは、乾物の流入には、相当量の水の流入が必要なことを示している。このことは、トマトでは、９０％以上の水が師部経由で流入するという報告（Ho et al.,1987）を裏付けている。

乾物率の変化は小さかったものの、糖濃度の高い系統には、肥大が抑制された状態で乾物率が上昇するという特徴があっ

た。処理をした果実では、果実肥大がないし、また果実表面からの蒸散もない。このような条件下では、果実から植物体への水の逆流がなければ、乾物率は上昇しないはずである。ブドウでは、果実からの木部経由の水の逆流があることが報告されている（Lang & Thorpe,1989）。通常の状態のトマト果実では、果柄よりも果実の方が水ポテンシャルが低いことから水の逆流はないという報告もある（Lee et al,1989）。しかし、パイプ処理によって果実の膨圧が上昇して水ポテンシャルが高まり、水ポテンシャルの逆勾配が生じた可能性は大きい。

また、乾物率は、高糖度系統の果実でのみ処理によって高まり、対照区においては、高糖度系統の方が乾物率が高かった。これは、高糖度系統の果実では、シンク活性が高いためであると考えられる。Hewittら（1982）は、ＴＳＳ含量の異なるトマト果実で、葉から果実への^{14}Ｃの分配を調べ、ＴＳＳ含量の高い系統は、シンク活性が高いという測定結果を得ている。トマトでは転流速度を決める要因として、シンクのスクロース濃度が提案されている（Hewitt & Garvey,1987;Ho,1979; Walker & Thornley,1977）。転流速度がソースシンク間のスクロース濃度勾配に比例することは、トマト（Walker & Ho,1977b）のほかトウゴマ（Milburn,1974）で観察されている。しかし、本実験では、処理区において、スクロース濃度の低い系統と乾物率の増加した系統は一致せず、この考えを支持しなかった。

摘要

（１）果実の肥大を機械的に抑制する方法を用い、水の流入が果実の糖濃度へ与える影響を糖濃度の異なる４系統のトマトで調べた。すべての系統で、肥大が均一に抑制されるように果実を大きさの一定のアクリル容器で完全に抑えた。

（２）処理前の果実新鮮重は、いずれの系統でも約４０ｇであった。対照区の果実新鮮重が１２０～１６０ｇであったのに対し、処理区の果実新鮮重は、４０～７０ｇであった。

（３）乾物率は、高糖度系統の方が高かった。処理後の乾物率は、高糖度系統のトマト果実では高まり、低糖度系統のトマト果実では一定であった。

（４）高糖度系統と低糖度系統のいずれにも、処理により還元糖濃度がよく高まった系統と、あまり高まらなかった系統があった。還元糖濃度の高まらなかった系統は、いずれもスクロース濃度が高かった。

（５）還元糖濃度の高まった系統と、乾物率が高まった系統とは一致せず、還元糖の濃度上昇の系統間差は、糖の流入量の違いではなく、生成量の違いによった。

（６）還元糖濃度は、糖以外のエタノール可溶性成分の乾物あたり含量との間に負の相関があり、この成分から還元糖への変換段階によって還元糖濃度の変化に、系統間差が現われた可能性があった。

第４章　水の流入を機械的に抑制したトマト果実の糖濃度の経時変化とデンプン含量およびインベルターゼ活性との関係

緒　言

第３章の実験で、糖濃度の異なる４系統のトマトで果実の肥大生長を約２週間抑制したところ、処理によって還元糖濃度がよく高まる系統とあまり高まらない系統があった。この違いは、処理後における糖の流入量の違いによるのではなく、果実内における糖の生成量の違いによるものであった。

還元糖濃度とインベルターゼ活性の間に正の相関がトマト花房で（Russell & Morris,1982）、また、還元糖含量とデンプン含量との間に負の相関がトマト果実で（Davies & Cocking,1965）報告されている。本実験では、肥大抑制による糖濃度の上昇が、どのような反応によるのかを明らかにするため、インベルターゼ活性の変化およびデンプン含量の変化を、経時的に調べようとした。

経時的な処理効果を調べるには、短期間の肥大抑制が必要となる。トマト果実の肥大は、キュウリと比べると遅く、これまでの方法では、果実がパイプに密着するまでに時間がかかった。そのため、肥大抑制が開始される日を特定することができなかった。そこで、パイプを付ける際に、パイプと果実の間の空間をガラスビーズで埋め、処理開始と同時に、肥大が抑制されるように方法を改良した。

材料と方法

栽培　２系統のトマト'81L1202-2'，'Breham's Solid Red'を１９８８年４月１５日にロックウールキューブに播種した。その後は水道水を適宜与えて、夜間加温したガラス室で育苗し、５月３日にロックファイバーのベッドに定植した。１／２倍のHoagland培養液を生育初期には１日１回与え、後に１日５回に増やした。各果房の第２果と第３果を残し他の果実は除いた。開花期頃の花房にトマトトーンを噴霧した。

処理　開花１２日後に、果実直径が３０～３５㎜の果実を選び、植物体に付けたまま、内径３８㎜、外径４２㎜、長さ３５㎜のアクリルパイプの下端にアクリル板で蓋をした容器に入れた。容器と果実との間の隙間を直径２㎜のガラスビーズで満たし、パイプの上端にアクリル板を付けて密閉し大型のピンチコックで固定した（第１７図）。この処理によってその後の肥大生長を抑制した。これらは、処理開始後１、３、５日後に採取し、また対照として同様に選んだ果実を当日と１、３、５日後に採取した。採取後、赤道面で輪切りにした切片を取って液体窒素中で粉砕した。一部は糖分析に用い、一部はインベルターゼ活性の測定に用いた。

糖の分析．液体窒素で粉末にした試料を約１ｇ遠沈管に入れ、秤量後４～５日間凍結乾燥した。乾燥重を測定した後に、８０％エタノールを約５ｍℓと炭酸カルシウムを少量加え、冷却管を挿して１時間８０℃で抽出した。冷却後、内部標準として１０％ラクトースを１００μℓ加えて十分撹拌し、２０００ｒｐｍで遠心分離した。沈殿は、エタノールで２～３

第１７図．　処理後の肥大生長をすみやかに抑制するために採用した方法の模式図

回洗浄した後、デンプンの定量に用いた。上清は、フラスコへ移してエバポレータによりアルコールを除き、水１mℓとジクロロメタン０．２mℓを加えて撹拌し、水層を１．５mℓ遠沈管に移してから再びジクロロメタンを０．１mℓ加えて撹拌した。これを１９５００gで２０分間遠心分離した。上清はアンバーライトＭＢ３のカラムにすばやく通過させて脱塩し、２～４倍量のアセトニトリルを加えてＨＰＬＣにより糖を分析した。分離カラムは、Cosmosil５NH_2（半井化学薬品）、移動相はアセトニトリル：水の８：２混合液であり、示差屈折計（日本分析工業）により検出した。

デンプンの定量　エタノール不溶性の沈殿に水を５mℓ加えて１時間煮沸し、５分間超音波処理をした後、２Ｍ、ｐＨ４．５の酢酸緩衝液を０．５mℓ、２０mgのアミログルコシダーゼを加え、３０℃下に２時間置いた。これを５０mℓに定容して、酵素法（Ｆ－キット、ベーリンガーマンハイム山ノ内）によりグルコースを定量した。

インベルターゼ活性　凍結保存した試料を、液体窒素とともに乳鉢へ入れ、サランネットを被せてハンマーで砕き、次に乳棒で粉末にした。少しおいて乳鉢の温度が上がってから、５００mMＮａＣｌ、０．１％ジチオスレイトールを含む、ｐＨ７．５、１００mMのＨＥＰＥＳ緩衝溶液を８～１５mℓ加え、５分間、緩やかにつぶした。抽出液を３０００ｒｐｍで５分間遠心分離し、上清１mℓを、ベッドボリュームが１０mℓのＳｅｐｈａｄｅｘＧ－２５（ファルマシア）のカラムによってゲルろ過した。ゲルは、あらかじめｐＨ７．０，１０mＭＨＥＰＥＳで安定させ、試料を１０mＭＨＥＰＥＳ

によって溶出し、ボイドボリュームから１ｍℓを回収した。ボイドボリュームはブルーデキストラン（ファルマシア）によりあらかじめ測定した。バイアルに、ゲルろ過した粗酵素液２０μℓ、１Ｍスクロース６０μℓ、ｐＨ４．５の０．１Ｍ酢酸緩衝液３２０μℓを入れ、３０℃においた。３０分後、溶液に１ＭのNa_2CO_3を０．５ｍℓ加え、３分間沸騰水中に入れた。この溶液中のグルコースを、酵素法（Ｆキットグルコース、ベーリンガーマンハイム）により定量した。タンパク質は、BensadoumとWinsteinらの方法（Bensadoum & Winstein,1976）により精製したのち、Lowryらの方法（Lowry et al,1951）により定量した。標準溶液のタンパク質として牛血清アルブミンを用いた。

結　果

果実の生長　処理開始時の果実は直径が3～3.5cmであった。５日後には対照の果実の直径は４～５cmになり、処理をした果実の直径は一定に保たれた。

乾物率　処理果の果実の乾物率（第１８図）は、'Breham's Solid Red'では初めの３日間、'81L1204-2'では、初めの１日は、増加傾向にあったが、有意ではなかった。それ以降は、乾物率は一定であった。一方、対照果の乾物率（第１８図）は、日数と共に低下する傾向があり、そのため対照果と処理果を比較すると、処理果の方が乾物率が有意に高くなった。

糖とデンプン　対照果の還元糖濃度（第１９図）、スクロ

第１８図．　果実肥大を抑制したトマト２系統、'81L1204-2'および'Breham's Solid Red'の果実の乾物率の経時変化。

第１９図．　果実肥大を抑制したトマト２系統、'81L1204-2'および'Breham's Solid Red'の果実の糖濃度の経時変化。

－ス濃度（第１９図）およびデンプン濃度（第２０図）は、実験期間中一定であった。処理果の還元糖濃度は、'Breham's Solid Red'では処理開始３日後より、'81L1204-2'では処理開始後１日目より、有意に高まった。また、'Breham's Solid Red'では処理日数とともに還元糖濃度が高まったのに対し、'81L1204-2'では処理１日目以降は濃度が一定であった。処理果のスクロース濃度は、'Breham's Solid Red'では、処理３日目以降、対照果より高くなったが、'81L1204-2'では、処理と対照の間に差が認められなかった。処理果のデンプン濃度は、'Breham's Solid Red'ではほぼ一定であったのに対して、'81L1204-2'では、処理日数とともに増加した。

対照区における乾物あたりの含量を比較すると、糖含量（第２１図）は'Breham's Solid Red'の方が若干高く、デンプン含量（第２２図）には差がなかった。'Breham's Solid Red'の処理果では、乾物あたり糖含量が３０．４％から４１．９％に増加し、デンプン含量はほぼ一定であった。一方、'81L1204-2'の処理果では、乾物あたりの糖含量は、初めの１日で２５．１％から３０．５％に増加したがその後の４日間は一定に推移し、デンプン含量は処理期間中増加し続けた。

インベルターゼ活性　１～５日間処理した果実のインベルターゼ活性の平均を、処理区と対照区で比較した結果を第２３図に示す。インベルターゼ活性は'Breham's Solid Red'の処理区が最も高かったが、他の区との差は５％レベルでは、有意ではなかった。次に全区を合わせて還元糖濃度とインベルターゼとの相関関係を調べた。第２４図は、'Breham's Solid Red'の処理区における結果を示す。この図では、還元糖濃

第２０図．　果実肥大を抑制したトマト２系統、'81L1204-2'および'Breham's Solid Red'の果実のデンプン濃度の経時変化。

第２１図．　果実肥大を抑制したトマト２系統、'81L1204-2'および'Breham's Solid Red'の果実の乾物あたりの全糖含量の経時変化。

第２２図．　果実肥大を抑制したトマト２系統、'81L1204-2'および'Breham's Solid Red'の果実の乾物あたりのデンプン含量の経時変化。

第２３図．　果実肥大を１～５日間抑制したトマト２系統、'81L1204-2'および'Breham's Solid Red'の果実の平均インベルターゼ活性。

第２４図．肥大生長を抑制したトマト'Breham's Solid Red'果実における、インベルターゼ活性と還元糖濃度との相関。

度については区の効果を除くために、それぞれの測定値から各区の平均値を引いた補正値を用いてプロットした。還元糖濃度の変動とインベルターゼ活性との間に正の有意な相関が認められた。

考　察

乾物率の変化について　肥大抑制を開始して以降、いずれの系統でも、有意な乾物率の増加は認められなかった。この結果は、キュウリの肥大を抑制したときの結果（第２章）と一致した。

第３章の実験では、'Breham's Solid Red'と'81L1204-2'では、肥大抑制によって乾物率が高まった。しかし、本実験では、有意な上昇は認められなかった。その違いは、処理期間の長さによると考えた。第３章の実験では、約２週間肥大を抑制した。それに対し、本実験では、５日間の変化を追っている。

肥大抑制によって乾物率が高まらなかったこと、すなわち、乾物の流入が無視できるほどであったことは、トマト果実において、乾物の流入には、相当量の水の流入が必要なことを示した。

糖濃度の変化について　還元糖濃度は、'Breham's Solid Red'の処理区ではよく高まり、'81L1204-2'ではあまり高まらないという結果が得られた。これは第３章の実験の結果と一致した。さらにこの差が、'Breham's Solid Red'では還元糖濃度が上がり続けるのに対し、'81L1204-2'では還元糖濃度

の上昇が処理開始１日後より抑えられるという違いによるものであることがさらに明かとなった。

'Breham's Solid Red'では、処理によって還元糖濃度が高まったのに対し、デンプン含量は低下した。また逆に、'81L1204-2'では、処理によって還元糖濃度が高まらなかったのに対し、デンプン含量は増加した。このことは、'81L1204-2'では、デンプンの生成によって還元糖濃度の増加が抑えられ、'Breham's Solid Red'では、デンプンが生成されなかったために還元糖濃度が上昇したことを示唆する。トマトでは、デンプンは一時的な貯蔵形態と考えられ（Davies & Cocking,1965）、成熟に全水溶性固形分を多く含む品種ほど、発育初期にデンプンを多く含むこと（Dinar & Stevens,1981）が報告されている。

'Breham's Solid Red'では、５％レベルでは有意でなかったが、処理区の方がインベルターゼ活性が高い傾向にあった。それに対して、'81L1204-2'では、処理区と対照区でインベルターゼ活性が等しかった。さらに、'Breham's Solid Red'では、区内における還元糖濃度の変動は、インベルターゼ活性と正の相関があった。以上のことから、'Breham's Solid Red'では、インベルターゼ活性が、高い値に維持されたために還元糖の蓄積が続いた可能性がある。

しかし、デンプンと還元糖との間の分配が、インベルターゼ活性によって調節されるのかについては、不明である。デンプンと還元糖の中間体がスクロースであれば、インベルターゼ活性によってこれらの分配を調節することが可能である。ジャガイモでは、デンプンから糖が生成することが確認され

(Isherwood,1973)、還元糖生成の中間体がスクロースであることが提案された(Pollock & apRees,1975)。一方で、ジャガイモの還元糖濃度は、インベルターゼ活性と相関がないという報告もある(Morrell & apRees,1986)。

摘　要

(1)　肥大抑制によって、還元糖濃度の高まる系統('Breham's Solid Red')と高まらない系統('81L1204-2')を材料とし、肥大抑制にともなう糖濃度の経時的変化を調べた。

(2)　乾物率は、いずれの系統でもほとんど高まらず、乾物の流入には、水の流入が必要であることを示した。

(3)　'Breham's Solid Red'では、処理期間中還元糖濃度が高まり続けた。それに対し'81L1204-2'では、初めの1日は還元糖濃度が高まったが、それ以降は一定であった。

(4)　'Breham's Solid Red'では、デンプン含量が一定であり、逆に'81L1204-2'では、デンプン含量が上昇した。

(5)　インベルターゼ活性は、'Breham's Solid Red'では処理区の方が高い傾向にあり、'81L1204-2'では、差がなかった。また、'Breham's Solid Red'では、処理区内における還元糖濃度のばらつきとインベルターゼ活性との間に正の相関があった。

(6)　'Breham's Solid Red'でみられた肥大抑制にともなう還元糖濃度の上昇には、デンプンの蓄積がなかったこと、インベルターゼ活性が高かったことが関係している可能性があった。

第５章　乾物の流入に果実表面からの蒸散が与える影響

緒　言

これまでの実験で、キュウリ果実（第２章）やトマト果実（第４章）の肥大を完全に抑制したところ、処理開始直後には乾物率が増加したものの、それ以降、乾物率はほぼ一定に維持された。このことは、肥大抑制処理によって、乾物の流入が抑えられたことを示す。

乾物は師部を通って、果実へ流入する。乾物の師部中の移動は、マスフローによるので、果実に乾物が流入するためには、師部液として水が流入する必要がある。ブドウ（Lang & Thorpe,1989）、トマト（Ho et al,1987）、マメ（Sharkey & Pate,1976）、リンゴ（Lang,1990）では、果実へ流入する水の大部分が師部経由であることが報告されている。また、果柄部にはアポプラスティックな連絡が少ないことが、コムギ穎果（Cook and Oparka,1983）、ベレゾーン以降のブドウ果実（During et al,1987;Findley et al,1987）、成熟期のトマト果実（Lee,1989）で報告されている。このことは、木部経由で流入する水の占める割合が少ないことを示す。

大部分の水が師部経由で流入する場合には、水の流入を抑制すると、師部液の流入が抑制され、乾物の流入も抑えられることが予想される。このことから、これまでの実験において、肥大抑制によって乾物の蓄積が無視できるほどに低下したのは、この処理によって篩管液の流入が物理的に抑えられ

たためであると考えた。

そこで、逆に、水の吸収を促すことによって乾物の流入を促進できるのではないかと考えた。水の流入を促進するには、果実肥大を促進する方法の他に、蒸散により果実からの水の流出を促す方法がある。

蒸散が転流を促すことは、提案されてはいるものの、実験により実証されてはいない。本実験では、果実表面からの蒸散が乾物の流入を促進することを、実験により確かめることを目的とした。また、それにともなう乾物率の上昇が、糖濃度、デンプン濃度、その他の乾物率に与える影響を調べた。

材料と方法

栽培　挿し木繁殖した、２系統のトマト'8111202-2'，'Breham's Solid Red'を用いた。苗は、ロックウールベッドに定植して、１／２倍の大塚培養液Ａ、Ｂを１日１回与えた。各果房の第２果と第３果を残し他の果実は除いた。開花期頃の花房にトマトトーンを噴霧した。実験は１９８９年の６月から７月にかけて行なった。

実験　この実験では、肥大生長を完全に抑制した果実を用いた。そのような果実では、乾物率の増加を調べることにより、果実乾物重の増加を調べるよりはるかに少ない誤差で乾物の流入を知ることができる。また、この実験系では、果実肥大による水の流入がないため、水の流入が蒸散により駆動されていることが明らかである。

開花１３～１４日後に、果実新鮮重が２０ｇ程度の果実を

選び、植物体に付けたままアクリル製の容器に入れた。この容器と果実の間の隙間にガラスビースを入れ、容器の上端にアクリル製の蓋を金具で固定した。この処理によってその後の果実肥大を完全に抑制した（第２５図）。さらに、ガラスビースの埋まった空間に、２５℃で水蒸気飽和させた空気（湿潤区）、またはシリカゲルで乾燥させた空気（乾燥区）を流した。果実を入れた容器は、周囲に２５℃の水を循環させて温度を一定にした。また、同様に選んだ果実の一部は採取し、残りは対照として、処理をした果実とともに一週間後に採取した。

採取した果実は、切片にして凍結乾燥した。乾燥後、乳鉢と乳棒で粉末にし、炭素、糖およびデンプンの含量を測定した。'81L1204-2'については、凍結乾燥する前に一部切片を取り、果実組織の水ポテンシャルを露点法により測定し（HR 33TおよびC-52、Wescor社）、凍結、解凍後、同様に露点法により浸透ポテンシャルを測定した。水ポテンシャルと浸透ポテンシャルの差により膨圧を計算した。

炭素の分析　粉末にした乾燥試料を約０．１ｇを秤量し、炭素含量をＣＮコーダー（柳本製作所、ＭＴ－５００型）により測定した。標準物質として馬尿酸を用いた。

糖の分析　粉末にした乾燥試料を約０．１ｇ遠沈管に入れ、秤量後、８０％エタノールを約５ｍℓと炭酸カルシウムを少量加え、管口に冷却管を付けて８０℃で１時間抽出した。冷却後、内部標準として１０％ラクトースを１００μℓ加えて十分撹拌し、１０００ｇで遠心分離した。沈殿は、８０％エタノールで２～３回洗浄した後、デンプンの分析に用いた。

第２５図．　果実の肥大を抑制しつつ、果実表面からの蒸散を促進あるいは抑制するために採用した方法の模式図

上清は、フラスコへ移してエバポレータにより乾固し、水１mℓとジクロロメタン０．２mℓを加えて撹拌しながら溶解した。その後、水層を１．５mℓ遠沈管に移し、再びジクロロメタンを０．１mℓ加えて撹拌した。これを１９５００gで２０分間遠心分離した。上清をアンバーライトＭＢ３のカラムにすばやく通過させて脱塩し、２～４倍量のアセトニトリルを加えてＨＰＬＣにより糖を分析した。分離カラムは、Cosmosil５NH_2（半井化学薬品）、移動相はアセトニトリルと水の８：２混合液であり、示差屈折計（日本分析工業）により検出した。

デンプンの分析　８０％エタノール不溶性の沈殿に水を５mℓ加えて１時間煮沸し、５分間超音波処理をした後、２M、pH４．５の酢酸緩衝液を０．５mℓ、グルコアミラーゼ（NAGASE）を２００GUN加え、３０℃下に２時間置いた。これを５０mℓに定容して、酵素法（F－キット、ベーリンガーマンハイム山ノ内）によりグルコースを定量した。

結　果

果実重　処理開始時の果実新鮮重（第２６図）は、いずれの系統の果実でも約２０gであった。肥大を抑制した果実の新鮮重は、乾燥区、湿潤区いずれにおいても約２０gであった。対照区果実の新鮮重は、'Breham's Solid Red'では６０g、'81L1204-2'では５０gであった。

乾物率および炭素含量　水あたりで算出した果実乾物率（第２７図）および炭素含量（第２８図）は、いずれの系統で

第２６図．　肥大を抑制し、周囲に乾燥空気または湿潤空気を流した２系統のトマト、'Breham's Solid Red'および'81L1204-2'の果実の新鮮重。ａ，ｂ，ｃ：同じ文字は、Duncan多重検定により５％レベルで有意差がないことを示す。

ONSET:処理開始時、 CONT:対照、 MOIST:湿潤区、 DRY:乾燥区

第２７図．　肥大を抑制したトマト、'Breham's Solid Red'、'81L1204-2'果実において、周囲に流した乾燥空気または湿潤空気が果実の乾物率に与える影響。ａ，ｂ，ｃ：同じ文字は、Duncan多重検定により５％レベルで有意差がないことを示す。

ONSET:処理開始時、 CONT:対照、 MOIST:湿潤区、 DRY:乾燥区

第２８図．　肥大を抑制したトマト、'Breham's Solid Red'、'81L1204-2'果実において、周囲に流した乾燥空気または湿潤空気が果実の水あたり炭素含量に与える影響。ａ，ｂ，ｃ：同じ文字は、Duncan多重検定により５％レベルで有意差がないことを示す。

ONSET:処理開始時、 CONT:対照、 MOIST:湿潤区、 DRY:乾燥区

も湿潤区では処理開始時より高い傾向にあったが有意差はなく、乾燥区では、処理開始時より有意に高まった。湿潤区より乾燥区の方が、乾物率および炭素含量が高く、'Breham's Solid Red'ではその差が有意であった。対照区は、乾物率および炭素含量が他の区より低かった。

糖濃度およびデンプン濃度　還元糖濃度（第２９図）は、'Breham's Solid Red'では、処理開始時、乾燥区、湿潤区の間に差がみられず、'81L1204-2' では、処理開始時より、乾燥区、湿潤区の方が高かった。スクロース濃度（第３０図）は、'Breham's Solid Red'では、乾燥区の方が処理開始時より高く、湿潤区は処理開始時との間に差がみられなかった。'81L1204-2'では、各区の間に有意差は認められなかった。デンプン濃度（第３１図）は、'Breham's Solid Red'では、各区の間に有意差は認められず、'81L1204-2'では、湿潤区の方が処理開始時より低かった。

水分生理　果実の水ポテンシャルは、処理開始時より湿潤区の方が低く、また湿潤区より乾燥区の方が低かった（第３２図）。浸透ポテンシャルは湿潤区と乾燥区の間に差はなく、これらの区はいずれも処理開始時より高かった。膨圧は、乾燥区の方が湿潤区より高かった。

考　察

Münchの圧流説によると、師管液は、シンクやソースの師部における浸透平衡によって生じる、圧力勾配を駆動力として流れるので、シンクの水ポテンシャルは転流速度に影響す

第２９図．　肥大を抑制したトマト、'Breham's Solid Red'、'81L1204-2'果実において、周囲に流した乾燥空気または湿潤空気が果実の還元糖濃度に与える影響。ａ，ｂ，ｃ：同じ文字は、Duncan多重検定により５％レベルで有意差がないことを示す。

ONSET:処理開始時、 CONT:対照、 MOIST:湿潤区、 DRY:乾燥区

第３０図．　肥大を抑制したトマト、'Breham's Solid Red'、'81L 1204-2'果実において、周囲に流した乾燥空気または湿潤空気が果実のスクロース濃度に与える影響。ａ，ｂ，ｃ：同じ文字は、Duncan多重検定により５％レベルで有意差がないことを示す。

ONSET:処理開始時、 CONT:対照、 MOIST:湿潤区、 DRY:乾燥区

第３１図．　肥大を抑制したトマト、'Breham's Solid Red'、'81L1204-2'果実において、周囲に流した乾燥空気または湿潤空気が果実のデンプン濃度に与える影響。ａ，ｂ，ｃ：同じ文字は、Duncan多重検定により５％レベルで有意差がないことを示す。

ONSET:処理開始時、 CONT:対照、 MOIST:湿潤区、 DRY:乾燥区

第３２図．　肥大を抑制したトマト、'81L1204-2'果実において、周囲に流した乾燥空気または湿潤空気が果実の膨圧（■）、水ポテンシャル（□）、および浸透圧（■と□の合計）に与える影響。
縦線は、標準誤差。
ONSET:処理開始時、 CONT:対照、 MOIST:湿潤区、 DRY:乾燥区

る。Langらは、光合成産物の転流速度が、水ポテンシャル勾配に比例して変化することを、モデルを用いて指摘し（Lang et al,1986）、さらに、インゲンの根では、水ポテンシャルが低下すると転流速度が増加することを示している（Lang & Thorpe,1986）。果実表面からの蒸散は、果実内の水ポテンシャルを低下させるので、転流を促進する可能性がある。しかし、蒸散による転流の促進は、傍証により示唆されてはいるが、実験により確かめた報告は見当たらない。Swansonら（1976）は、インゲンのシンク葉に光を照射すると蒸散が活発になると同時に、転流速度が高まることを、また、Pickardら（1979）は、ヨルガオの植物体を乾燥空気にさらすと、地下部への転流が減ることを報告している。また、果実を空気にさらして試験管培養すると、通常の果実と同様に肥大することがトマトで報告されている（Geelen et al,1987; Varga et al,1988）。

本実験で用いた肥大を抑制した果実では、水の蓄積による成分の希釈はないため、乾物が流入するとその流入量に比例して乾物率が上昇する。湿潤区より乾燥区の方が乾物率および炭素含量が高かったことは、乾燥区果実の方に多くの乾物が流入したことを示す。これは、果実表面からの蒸散が、乾物および炭素化合物の流入を促進すること示す、初めての実験結果である。

果実のＴＳＳ含量は、果実の品質に影響するため、ＴＳＳ含量の高い品種の研究がなされている（Hewitt & Garvey,1987; Hewitt et al,1987）。これらの研究のうちいくつかは、果実による光合成産物の取り込みを増すことによりＴＳＳ含

量を増加させることを考えている。ＴＳＳ含量の異なる系統のトマトを比較すると、ＴＳＳ含量の高い系統ほど、シンク活性が高いことが報告されている（Hewitt et al,1982）。シンク活性が高いことは、果実重の増加には役立つが、糖を始めとするＴＳＳの濃度を高めるかについては不明である。

この実験において、'Breham's Solid Red'では、果実表面からの蒸散を促進することによって、炭素同化物の流入が増した。しかし、炭素含量の増加にも関わらず、糖濃度はほとんど影響を受けなかった。このことは、光合成産物の転流を促進しても必ずしも糖濃度は高まらないことを示す。

乾物の流入によってどの成分の含量が増加したのかを明らかにするため、各成分の水あたり含量の処理開始時との差を、乾燥区と湿潤区について第３３図に示した。'Breham's Solid Red'では、乾燥区と湿潤区のいずれの区でも、糖とデンプンの濃度はほとんど変わらず、その他の乾物含量が増加した。一方、'81L1204-2'では、糖濃度が増加、デンプン濃度は低下し、その他の乾物含量は変わらなかった。また、乾物率と各成分含量との相関（第３４図～第３７図）を、乾燥区と処理区について調べたところ、'Breham's Solid Red'では、乾物率は、糖濃度とは相関がなく、デンプンおよびその他の乾物の含量と正の相関関係にあった。ただし、乾物率が著しく高かった１点を除くと、全糖濃度と乾物率との間に正の相関があり、糖とデンプンを除く乾物とは相関がなかった。この１点では、糖の流入による糖濃度の上昇が飽和していた可能性がある。'81L1204-2'では、糖濃度およびデンプン濃度と相関があり、その他の乾物とは相関がなかった。以上の結果

第３３図．　肥大を抑制したトマト、'Breham's Solid Red'、'81L 1204-2'果実において、周囲に流した乾燥空気または湿潤空気が、処理開始後の糖濃度、デンプン濃度およびその他乾物の水あたり含量の変化量に与える影響。

第３４図．　トマト'Breham's Solid Red'果実における乾物率と、糖濃度またはデンプン濃度との間の相関。

第３５図．　トマト'Breham's Solid Red'果実における乾物率と、糖デンプン以外の乾物の水あたり含量との間の相関。

第３６図．　トマト'81L1204-2'果実における乾物率と、糖濃度またはデンプン濃度との間の相関。

第３７図．　トマト'81L1204-2'果実における乾物率と、
糖デンプン以外の乾物の水あたり含量との間の相関。

は、流入した乾物は、一部は糖として、一部はデンプンとして蓄積したことを示した。

摘　要

（１）　肥大生長を抑制する実験系を用いて、果実の表面からの蒸散が、炭素同化物のの転流を促進するかどうかを２系統のトマト（'Breham's Solid Red'、'81L1204-2'）で調べた。

（２）　果実はアクリル製の容器に入れ、果実と容器との間の隙間にガラスビースで埋めて果実肥大を完全に抑制した。さらに、ガラスビースの埋まった空間に、２５℃で水蒸気飽和させた空気、またはシリカゲルで乾燥させた空気を流した。果実を入れた容器は、２５℃に調節した。

（３）　乾燥空気を流した場合、処理開始時より炭素含有率が高まり、湿潤空気を流した場合には、処理開始時と有意差はなかった。'Breham's Solid Red'では、乾燥空気を流した方が、湿潤空気を送った場合より炭素含有率が有意に高かった。

（４）　肥大を抑制した果実では、水の蓄積による成分の希釈はないので、炭素同化物の流入量に比例して、水あたり炭素含量が上昇する。本実験の結果は、果実表面からの蒸散が、炭素同化物の転流を促進することを、初めて実験的に示した。

（５）流入した乾物は、'Breham's Solid Red'では、主に、糖やデンプン以外の乾物として蓄積し、'81L1204-2'では、主に、糖として蓄積された。

総合考察

肥大生長過程にある果実では、糖の蓄積とともに、多量の水を蓄積している。これら果実の糖濃度は、生化学的な濃度調節反応だけで決定されるのではなく、果実への水の蓄積速度と糖の蓄積速度との相対的な関係に依存して、比較的広い濃度範囲のなかを変動している可能性がある。

第１章から第４章の実験では、果実肥大を機械的に抑制することによって水の流入を抑制し、それが糖濃度に与える影響を調べた。また、第５章の実験では、光合成産物である糖の流入を果実表面からの蒸散を促進することによって増加させ、それが糖濃度に与える影響を調べた。

１．水の流入量の低下が、果実の糖濃度に与える影響

第１章の実験で、キュウリ果実およびトマト果実の肥大を抑制して水の流入を低下させた場合、いずれの果実でも全糖濃度が高まった。４系統のトマト果実を用いて、水の流入を抑制した場合（第３章）には、系統により程度が異なったものの、すべての系統で全糖濃度が高まった。これらの結果は、水の流入量により糖濃度が変動することを示した。

また、水の流入量の変化にともなう糖濃度の変化が、代謝によって緩和されたことを示唆する結果も得られた。キュウリ果実（第２章）では、肥大抑制処理の継続によって、還元糖濃度の増加はしだいに緩やかになり、それとともにスクロースが蓄積した。４系統のトマト果実を比較した場合（第３章）には、処理によって還元糖濃度がよく高まった系統では、

スクロース濃度が低く、還元糖濃度があまり高まらなかった系統ではスクロース濃度が高かった。これらの結果は、還元糖濃度の上昇が、スクロースの蓄積をともなう代謝によって、制限された可能性を示した。キュウリでは、酸性インベルターゼ活性とスクロース濃度との間に負の有意な相関があり、スクロースの蓄積が、インベルターゼ活性の低下によることを示唆した。トマトでは、処理によって還元糖濃度が高まらなかった系統では、デンプンの蓄積が進み、還元糖濃度が高まった系統では、デンプンは蓄積せず一定であった（第４章）。この結果は、デンプンの蓄積によって還元糖濃度の上昇が緩和されたことを示唆した。

２．肥大抑制処理をした果実における糖の蓄積について

第１章で、キュウリとトマト果実の肥大を抑制したときには、乾物率と糖濃度が同程度に高まり、この結果からは、糖の流入が相対的に増えて糖濃度が高まったようにみえた。しかし、キュウリ（第２章）について、乾物率と糖濃度の経時変化をみたところ、糖濃度が処理後４日間にわたって高まったのに対し、乾物率は処理直後には高まったものの、以降は一定に保たれた。また、トマトの２系統、'Breham's Solid Red'と'Early Lethbridge'（第３章）では、処理による乾物率の上昇以上に糖濃度が高まった。これらの結果は、糖濃度の上昇には、糖の流入以外の反応が関与していることを示す。

通常の状態の果実では、転流糖は、まずスクロースとして果実に取り込まれ、次に還元糖として蓄積されることが、トマトの果実で報告されている（Walker & Ho,1977a; Walker

t al,1978)。しかし、このような流入以外によっても糖が供給される場合もある。成熟期のトマト果実では、デンプンの分解によって還元糖が生成される(Davies & Cocking,1965)。また、多くの果実は成熟前に収穫しても、貯蔵期間中に糖を蓄積して甘みを増す。ピクルスキュウリでは、醗酵によって少糖が生成され蓄積する(Handley et al,1983)。肥大生長過程にある細胞では、新しい細胞壁が細胞の内側に合成されると同時に細胞の外側の細胞壁が分解され、細胞壁の拡大が維持される。このような細胞壁の分解は、糖類の供給源となりうる。本実験のトマトの場合、エタノール不溶性固形分が少糖類、単糖に分解して、糖が生成された可能性があった(第3章)。エタノール不溶性固形分には、デンプンや細胞壁多糖が含まれる。肥大抑制処理をした果実でみられた糖の生成が、通常の果実内で生じる反応と同一のものであるのかは、この研究の範囲では、不明である。

3.糖の流入量の増加が、果実の糖濃度に与える影響

トマト果実において、果実の肥大を完全に抑制した状態で、果実の周囲に乾燥空気または湿潤空気を流し、果実表面からの蒸散が光合成産物の流入に与える影響を調べた。この肥大を完全に抑制した果実では、水あたり炭素含量の増加は、炭素化合物の流入を表す。用いた2系統において、乾燥空気によって蒸散を促した果実の方が水あたり炭素含量が高い傾向にあり、1系統では差が有意であった。このことは、果実表面からの蒸散が光合成産物の流入を促進することを示した。トマトでは、光合成産物はスクロースとして果実へ流入し、

次に還元糖として蓄積するので（Walker & Ho,1977a;Walker et al.,1978）、蒸散処理によって得られた炭素含量の異なる果実は、糖の流入量が異なるはずである。これらの果実を比較することによって、糖の流入が糖濃度に与える影響を調べた。

'Breham's Solid Red'では、乾物率と糖濃度との間に相関がなく、また、乾物の増加のほとんどが、糖、デンプン以外の乾物として蓄積し、この成分の含量と乾物率との間に正の相関が認められた。このことは、流入した糖が、糖、デンプン以外の乾物として蓄積したことを示した。ただし、乾物率の上昇が極端であった一点を除くと、糖濃度と乾物率との間に正の相関があり、流入した糖があまり多くない場合には、糖として蓄積された可能性もあった。一方、'81L1204-2'では、乾物率と糖濃度との間に正の相関があり、乾物の増加分のほとんどが糖として蓄積した。このことは、この系統では、糖の流入によって糖濃度が変動することを示した。

また、両系統において、乾物率とデンプン濃度との間に正の有意な相関があり、糖の流入による糖の蓄積が、デンプンの蓄積によって緩和されたことを示唆した。

4．乾物の流入と水の流入との関係について

キュウリおよびトマトの'フローラ'、'81L1204-2'、'Breham's Solid Red'の果実では、肥大抑制処理によって乾物率が高まり、水と乾物の流入比が変化したことを示した。また、キュウリ果実で肥大抑制処理の開放後に、処理部位へ流入した溶液の乾物濃度は、初めは低く、しだいに増加した。これ

らのことは、乾物の流入と水の流入は、ある程度独立であることを示す。

一方、肥大を完全に抑えた場合には、乾物率の上昇は、処理開始直後に限られ、キュウリ果実では、実験期間中、乾物率は一定であり（第２章）、トマト、'81L1204-2'、では、処理１日後以降、乾物率は一定であった。すなわち、水の流入を停止させることによって乾物の転流がほとんど停止した。この結果は、乾物の流入が水の流入に依存していることを示す。

以上のような、乾物の流入と水の流入との独立性と依存性は、師管液と導管液の関係により説明できる。乾物は、師管液のマスフローにより果実へ流入するため、乾物の流入には、水の流入を維持することが必要である。一方、水は師管液のほか導管液としても流入するため、導管液の流入割合により、乾物と水の流入比は変化する。トマトやブドウの果実では、生育にしたがって乾物濃度が高まるが、それが師管液と導管液の流入比の変化によることが示唆されている（During et al,1987;Lee,1989）。また、塩類ストレスにともなうトマト果実の乾物率上昇は、師管液の濃度が高まるためであることも示唆されている（Ho et al,1987）。

乾物の流入が、師部液のマスフローによるという立場で考えると、果実への乾物と水の流入比の変化には制限が加わる。すなわち、果実へ流入する溶液の濃度は、師管液の濃度と、師管液と導管液の流入比によって決まることになる。事実、本実験において、水の流入量を対照の半分以下に低下させても、乾物率は１～２％しか増加しなかった。

5．乾物率の変動要因について

同化物転流の制御に関して、シンク器官が重要であることが認識されてきている（Gifford & Evans, 1981）。しかし、同化物の濃度の制御に関しては、シンク器官が重要であるとは限らない。

果実の乾物率は、乾物と水の流入比に大きく影響を受けるはずである。特に果実へ流入する大部分の水が師部経由である場合には、乾物と水の流入比はほとんど師管液の濃度で決まるため、果実自身による乾物と水の流入比を調節することは難しい。実際、トマト、ブドウ、リンゴ、インゲンの果実では、大部分の水が師管経由で流入することが報告されいる。

果実に蓄積する水と乾物の総量、すなわち果実重は、土壌の水分状態の他、葉果比（Ferree & Cahoon,1987;Greene & Autio,1989;Kaps,1989）、断根（Schupp & Ferree,1988）、環状はく皮（Roper et al,1987）、樹内における果実の位置（Cohen,1988）など様々な要因によって変化し、場合によっては、成分濃度も変化する。これらの要因のうち、植物体には影響せず、果実だけに影響する要因は、樹内における果実の位置である。タンジェリンでは、樹冠の外側、上部、南側にある果実ほど大きいが、全水溶性固形分濃度は変わらなかった（Cohen,1988）。また、ブドウで大きさの異なる果実を比較したところ、果実に流入する溶液の乾物濃度は一定であった（Coombe et al,1987）。さらに、ブドウの実験では、摘葉して葉果比を下げると、すべての大きさの果実で流入溶液の乾物濃度が低下した。また、HewittとGarvey（1987）は、

全水溶性固形分濃度（ＴＳＳ濃度）の異なる系統のトマトを比較し、ＴＳＳ濃度を決める要因を調べた。その結果、ＴＳＳ濃度は、葉果比と高い相関関係にあることが明かとなった。このように、果実の乾物率は、果実自身の要因によっては変動しにくいようにみえる。

一方、本研究の結果は、果実側の要因によっても、乾物率が変動することを示した。乾物と水の流入比は、肥大抑制処理や処理の開放により変化した。また、乾物と水の流入比だけでなく、果実からの水の蒸散も乾物率に影響する。果実表面からの蒸散を促進することによって乾物の蓄積が促進された。

総摘要

生食用の果菜や果物では、甘みは食味を決める重要な要素であり、作物によっては、甘い品種が消費者に特に好まれる傾向にある。そのため、糖濃度を高める遺伝的、あるいは生理的研究が多くなされている。それにもかかわらず、糖濃度の決定機構は、尚ほとんど解明されていない。

多くの園芸作物は、９０％以上の水分を含み、相当量の水を吸収しながら生長するという特質を持つ。したがって、果実の糖濃度は、生化学的な濃度調節反応だけで決定されるのではなく、果実への水の蓄積速度と糖の蓄積速度との相対的な関係に依存して、比較的広い濃度範囲の中を変動している可能性がある。この研究は、果実への水の流入が果実の糖濃度に与える影響を明らかにすることを目的とした。

現在、最も受け入れられている考え方によると、果実への水の流入は、果実と植物体間の水ポテンシャル勾配によって駆動されている。そのため、水の流入量は、次の三つの要因によって決まる。①糖などの浸透性物質の蓄積は、果実の浸透圧を上げて、水の吸収を促進する。②果実組織の機械的な強度は、膨圧を高めることによって、水の吸収を阻害する。③植物体の水ポテンシャルは、その高低により水の吸収を変化させる。

水の流入を低下させる実験手法としては、水と糖の供給源である植物体側にはなるべく影響を与えない方法が望ましい。この研究では、果皮が果実の肥大生長を制限する機構をシミュレートして、機械的に果実の肥大を抑制することにより水の

流入を抑えることを試みた。

１．水の流入を機械的に抑制したキュウリおよびトマトの果実における糖濃度の変化

キュウリおよびトマト果実の周りにアクリルパイプを付けて、果実の肥大を３～４日間抑制した。いずれの果実でも、肥大を抑制した果実の方が、乾物率、エタノール不溶性固形分率、エタノール可溶性固形分率、フルクトース濃度、グルコース濃度、およびスクロース濃度が高かった。

還元糖濃度の上昇の程度は、水の流入量の低下によってほぼ説明できた。このことは、水の蓄積量の変化は、還元糖の蓄積にはほとんど影響せず、それにより還元糖濃度が変動することを示す。キュウリ、トマトのいずれにおいても、対照の果実には、スクロースは痕跡程度にしか含まれず、全糖濃度にはほとんど影響しなかった。しかし、スクロース濃度は、処理果の方が数倍高く、処理によって糖代謝に何らかの変化が生じたことを示唆した。

２．水の流入を機械的に抑制したキュウリ果実の糖濃度の経時変化とインベルターゼ活性の役割

先の実験において、キュウリ果実の肥大を機械的に抑制して水の流入を低下させたところ、還元糖濃度が高まった。この現象をさらに詳しく調べるため、処理効果を経時的に調べ、糖代謝関連酵素としてインベルターゼ活性を測定した。この実験では、果実の一部にパイプを付け、パイプに果実が接着した日を処理開始時とし、その２日後および４日後に採取し

た。

４日間の肥大抑制期間中、乾物率は一定に推移し、この間、果実へ乾物がほとんど流入しなかったことを示した。還元糖濃度は、初めの２日間に上昇し、スクロースは４日間高まり続けた。還元糖濃度の上昇は、乾物率の上昇が伴わなかったので、糖の流入によるのではなく、果実内での還元糖の生成によった。インベルターゼ活性は、スクロース濃度との間に負の相関を有し、スクロース濃度の上昇が、インベルターゼ活性の低下によることが示唆された。

３．糖濃度の異なる系統のトマト果実において、水の流入の機械的抑制が糖濃度に与える影響

水の流入が糖濃度に与える影響を、異なる品種で比較するため、糖濃度の異なる４系統のトマトを材料に用いた。この実験では、すべての系統で肥大が均一に抑制されるよう、大きさが一定のアクリル製の容器に果実を入れて、その肥大を抑制した。

乾物率は、高糖度系統では処理以後わずかに高まり、低糖度系統では、処理前と同じであった。糖濃度については、処理によって還元糖が高まる系統と高まらない系統があった。還元糖濃度が高まった系統はスクロース濃度が低く、還元糖濃度が高まらなかった系統はスクロース濃度が高まった。また、処理によって還元糖濃度の高まった系統と、乾物率の高まった系統は一致せず、還元糖濃度の上昇の系統間差は、糖の流入量の差ではなく、糖の果実内生成量の差によった。還元糖濃度は、糖以外のエタノール可溶性固形分の乾物あたり

含量との間に負の相関があり、この成分から還元糖への変換段階によって、還元糖濃度の変化に系統間差が現われた可能性があった。

4．水の流入を機械的に抑制したトマト果実の糖濃度の経時変化と、デンプン含量およびインベルターゼ活性との関係

先の実験で、4系統のトマト果実への水の流入を抑制したところ、還元糖濃度がよく高まる系統とあまり高まらない系統があった。この違いは、処理後における糖の流入量の違いによるのではなく、果実内における糖の生成量の違いによるものであった。この実験では、水の流入抑制の効果が異なった2系統のトマト、'Breham's Solid Red'と'81L1204-2'を用い、糖濃度、デンプン含量およびインベルターゼ活性の経時変化を調べた。

乾物率は、両系統とも処理期間中、ほぼ一定であり、乾物の流入には、水の流入が必要であることを示した。還元糖濃度は、'Breham's Solid Red'では、処理期間中高まり続け、'81L1204-2'では、ほぼ一定であった。'Breham's Solid Red'では、デンプン濃度が一定であり、一方、'81L1204-2'では、デンプン濃度が増加した。したがって、'81L1204-2'では、デンプンの蓄積により還元糖の蓄積が抑えられた可能性があった。インベルターゼ活性は、還元糖濃度との間に明瞭な関係はなかった。

5．乾物の流入に果実表面からの蒸散が与える影響。

以上の実験において、乾物の流入を抑制すると、抑制の初

期には乾物率が高まるが、処理を継続すると乾物率が増加しなかった。このことは、果実への乾物の流入には水の流入が必要不可欠であることを示す。これは、果実へ流入する大部分の水が、師部経由で流入しているためであると考えた。さらに、逆に、水の吸収を促すことによって乾物の流入を促進できると予想した。この実験では、果実表面からの蒸散が乾物の流入に与える影響を調べた。

材料として、２系統のトマト果実を用い、果実の肥大を抑制しつつ蒸散を促進することを考えた。果実はアクリル製の容器に入れ、果実と容器との間の隙間にガラスビーズで埋めて果実肥大を完全に抑制した。さらに、ガラスビーズの埋まった空間に、２５℃で水蒸気飽和させた空気、またはシリカゲルで乾燥させた空気を流した。果実を入れた容器は、２５℃に調節した。

乾燥空気、湿潤空気のいずれを流した場合も、処理前より乾物率が高まった。乾燥空気を送った方が、湿潤空気を送った場合より乾物率が高く、１系統では差が有意であった。また、炭素含量についても同様の結果を得た。

肥大を抑制した果実では、水の蓄積による成分の希釈はない。したがって、乾物率の上昇は、乾物の流入を表す。湿潤区より乾燥区の方が乾物率がより高まるという結果は、果実表面からの蒸散が、乾物および炭素同化物の流入を促進することを証明する、初めての実験結果である。

以上をまとめると、本研究により以下の結果を得た。①キュウリおよびトマトの果実へ水の流入を機械的な方法で抑制し

たところ、還元糖濃度が高まった。このことは、水の流入量により糖濃度が変動することを示した。②キュウリでは処理の継続により還元糖濃度の上昇が鈍くなり、トマトの２系統では処理による還元糖濃度の上昇が小さかった。これらの果実では、スクロースあるいはデンプンが蓄積していた。このことは、糖濃度の変動が、果実内の代謝によって緩和されることを示唆した。③水の流入を完全抑制すると、乾物の流入が抑制された。④果実表面からの蒸散によって、乾物の流入が促進された。

引用文献

Bensadoum, A. and D. Weinstein. 1976. Assey of proteins in the presence of interfering materials. Anal. Biochem. 70:241-251.

Berüter, J. 1989. Carbohydrate partitioning and changes in water relations of grownig apple fruit. J. Plant Physiol. 135:583-587.

Cohen, E. 1988. The chemical composition and sensory flavour quality of 'Mineola' tangerines. I. Effects of fruit size and within-tree position. J. Hort. Sci. 63:175-178.

Considine, J. A. and P. E. Kriedemann. 1972. Fruit splitting in grapes: Determination of the critical turgor pressure. Aust. J. Agric. Res. 23:17-24.

Cook, H. and K. J. Oparka. 1983. Movement of fluorescein into isolated caryopses of wheat and barley. Plant. Cell Environ. 6:239-242.

Coombe, B. G. 1973. The regulation of set and development of the grape berry. Acta Hort. 34:261-273.

Coombe, B. G. 1976. The development of fleshy fruits. Ann. Rev. Plant Physiol. 27:207-228.

Coombe, B. G., M. Bovio, and A. Schneider. 1987. Solute accumulation by grape pericarp cells. V. Relationship to berry size and the effects of defoliation. J. Exp. Bot. 38:1789-1798.

Cosgrove, D. 1986. Biophysical control of plant

cell growth. Ann. Rev. Plant Physiol. 37:377-405.

Darbyshire, B. and R. J. Henry. 1978. The distributuin of fructans in onions. New Phytol. 81: 29-34.

Davies, J. N. and E. C. Cocking. 1965. Changes in carbohydrates, proteins and nucleic acids during cellular development in tomato fruit locule tissue. Planta 67:242-253.

Davies, J. N. and R. J. Kempton. 1975a. Carbohydrate cahnges in tulip bulbs during storage and forcing. Acta Hort. 47:353-363.

Davies, J. N. and R. J. Kempton. 1975b. Changes in the individual sugars of tomato fruit during ripening. J. Sci. Fd. Agric. 26:1103-1110.

Davies, J. N. and R. J. Kempton. 1976. Some changes in the composition of the fruit of the glasshouse cucumber (*Cucumis sativus)* during growth, maturation and senescence. J. Sci. Fd. Agric. 27:413-418.

Dinar, M. and M. A. Stevens. 1981. The relationship between starch accumulation and soluble solids content of tomato fruits. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 106: 415-418.

During, H., A. Lang, and F. Oggionni. 1987. Patterns of water flow in Riesling berries in relation to developmental changes in their xylem morphology. Vitis 26:123-131.

Ehret D. L. and L. C. Ho. 1986. The effects of salinity on dry matter partitioning and fruit

growth in tomatoes grown in nutrient film culture. J. Hort. Sci. 61:361-367.

Engelkes, C. A., I. Widders, and H. Price. 1990. Ontogenetic changes in calcium concentration and content in pickling cucumber fruit as influenced by genotype and environment. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 115:555-558.

Ferree, D. C. and G. A. Cahoon. 1987. Influence of leaf to fruit ratios and nutrient sprays on fruiting, mineral elements, and carbohydrates of apple trees. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 112:445-449.

Findlay, N., K. J. Oliver, N. Nii., and B. G. Coombe. 1987. Solute accumulation by grape pericarp cells. Ⅳ Perfusion of pericarp apoplast via the pedicel and evidence for xylem malfunction in ripening berries. J. Exp. Bot. 38:668-679.

Gayler, K. R. and K. T. Glasziou. 1972. Physiological function of acid and neutral invertases in growth and sugar storage in sugar cane. Plant Physiol. 27:25-31.

Geelen, T. A. M., A. Varga, and J. Bruinsma. 1987. Cell division and elongation in the exocarp of tomato fruits grown in systems in vitro and on the vine. J. Plant Physiol. 130:343-349.

Giaquinta, R. T. 1979. Sucrose translocation and storage in the sugar beet. Plant Physiol. 63:828-832.

Gifford, R. M. and L. T. Evans. 1981. Photosynthesis, carbon partitioning, and yield. Ann. Rev. Plant

Physiol. 32:485-509.

Greene, D. W. and W. R. Autio. 1989. Evaluation of benzyladenine as a chemical thinner on 'McIntosh' apples. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 114:68-73.

Gross, K. C. and D. M. Pharr. 1982. Cucumber fruit sucrose synthase isozymes. Phytochem. 21:1241-1244.

Handley, L. W., D. M. Pharr, and R. F. McFeeters. 1983. Carbohydrate changes during maturation of cucumber fruit: Implications for sugar metabolism and transport. Plant Physiol. 72:498-502.

Hatch, M. D. and K. T. Glasziou. 1963. Sugar accumulation cycle in sugar cane. II. Relationship of invertase activity to sugar content & growth rate in storage tissue of plants grown in controlled environments. Plant Physiol. 38:344-348.

Hewitt, J. D., N. S. Blaker, S. E. Damon, and A. B. Bennett. 1987. The UCD processing tomato breeding program. Acta Hort. 200:83-89.

Hewitt, J. D. and T. C. Garvey. 1987. Wild sources of high soluble solids in tomato. p. 45-54. In Plant Biology, vol. Tomato Biotechnology (eds. D. J. Nevins and R. A. Jones). Alan R. Liss, Inc. New YorK.

Hewitt, J. D., M. Dinar, and M. A. Stevens. 1982. Sink strength of fruits of two tomato genotypes differing in total fruit solids content. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 107:896-900.

Ho, L. C. 1979. Regulation of assimilate

translocation between leaves and fruits in the tomato. Ann. Bot. 43:437-448.

Ho, L. C., R. I. Grange, and A. J. Picken. 1987. An analysis of the accumulation of water and dry matter in tomato fruit. Plant, Cell & Environ. 10: 157-162.

Ho, L. C. and J. D. Hewitt. 1986. Fruit development. p. 201-239. In The Tomato Crop (eds. J. G. Atherton and J. Rudich. Chapman and Hall. New York.

Hubbard, N. L., S. C. Huber, and D. M. Pharr. 1989. Sucrose phosphate synthase and acid invertase as determinants of sucrose concentration in developing muskmelon (*Cucumis melo* L.) fruits. Plant Physiol. 91:1527-1534.

Irving, D. E. and J. H. Drost. 1987. Effects of water deficit on vegetative growth, fruit growth and fruit quality in Cox's Orange Pippin apple. J. Hort. Sci. 62:427-432.

Isherwood, F. A. 1973. Starch-sugar interconversion in *Solanum tuberosum*. Phytochem. 12:2579-2591.

金浜耕基・斎藤隆．１９８５．キュウリの子房と果実における曲がり果の発生と回復．園学雑．54:357-363.

金浜耕基・斎藤隆．１９８８．キュウリの主茎と果実における^{14}C－光合成乾物の転流経路．園学雑．57:215-221.

Kaps, M. L. 1989. Berry thinning and cluster thinning influence vegetative growth, yield, fruit composition, and net photosynthesis of 'Seyval blanc' grapes. J Amer. Soc. Hort. Sci. 114:20-24.

Kato, T. and S. Kubota. 1978. Properties of invertases in sugar storage tissues of citrus fruit and changes in their activities during maturation. Physiol. Plant. 42:67-72.

河鰭実之・崎山亮三．機械的に肥大を抑制したカブ肥大根の糖濃度について．園学雑．投稿中．

Keller, F. 1989. Biochemistry and physiology of non-fructan sucrosyl-oligosaccharides and sugar alcohols in higher plants. J. Plant Physiol. 134:141-147.

Ketsa, S. 1988. Effects of fruit size on juice content and chemical composition of tangerine. J. Hort. Sci. 63:171-174.

Kühbauch and U. Thóme. 1989. Non strucural carbohydrates of wheat stems as influenced by sink-source manipulations. J. Plant. Physiol. 134:243-250.

Kutschera, U., R. Bergfeld, and P. Schopfer. 1987. Cooperation of epidermis and inner tissues in auxin-mediated growth of maiz coleoptiles. Planta 170:168-180.

Lang, A. 1990. Xylem, phloem and transpiration flows in developing apple fruits. J. Exp. Bot. 41: 645-651.

Lang, A. and M. R. Thorpe. 1986. Water potential, translocation and assimilate partitioning. J. Exp. Bot. 37:495-503.

Lang, A. and M. R. Thorpe. 1989. Xylem, phloem and transpiration flows in a grape: Application of a

technique for measuring the volume of attached fruits to high resolution using Archimedes' Principle. 1989. J. Exp. Bot. 40:1069-1078.

Lang, A., M. R. Thorpe, and W. R. Edwards. 1986. Plant water potential and translocation. p. 193-194. In Phloem transport (eds. J. Cronshaw, W. J. Lucas, and R. T. Giaquinta). Alan R. Liss, Inc, New York.

Lapushner, D. and R. Frankel. 1986. Tomato cultivar response to water and salt stress. Acta Hort. 190: 247-252.

Lee, D. R. 1989. Vasculature of the abscission zone of tomato fruit: Implications for transport. Can. J. Bot. 67:1898-1902.

Lee, D. R., M. A. Dixon, and R. W. Johnson. 1988. Simultaneous measurements of tomato fruit and stem water potentials using in situ stem hygrometers. Can. J. Bot. 67:2352-2355.

Leigh, R. A., T. apRees, W. A. Fuller, and J. Banfield. 1979. The location of acid invertase activity and sucrose in the vacuoles of storage roots of beetroot (*Beta vulgaris*). Biochem. J. 178:539-547.

Li, S. H., J. G. Huguet, P. G. Schoch and P. Orlando. 1989. Response of peach tree growth and cropping to soil water deficit at various phenological stages of fruit development. J. Hort. Sci. 64:541-552.

Lockhart, J. A. 1965. An analysis of irreversible plant cell elongation. J. Theoret. Biol. 8:264-275.

Lowry, O. H., N. J. Rosebrough, A. L. Farr, and R. J.

Randall. 1951. Protein measurement with the Folin phenol reagent. J. Biol. Chem. 193:265-275.

Marschner, H. 1983. General introduction to the mineral nutrition of plants. p. 5-60. In Encyclopedi of Plant Physiology. New series, Volume 15A(eds. A. Läuchli and R. L. Bieleskli). Splinger-Verlag, New York.

Martinez, V., A. Cerda, and F. G. Fernandez. 1987. Salt tolerance of four tomato hybrids. Plant and Soil 97:233-242.

McCombs, C. L., H. N. Sox, and R. L. Lower. 1976. Sugar and dry matter content of cucumber fruits. HortSci. 11:245-247.

McCollum, T. G., D. J. Huber, and D. J. Cantliffe. 1988. Soluble sugar accmulation and activity of related enzymes during muskmelon fruit development. J. Amer. Sci. Hort. Sci. 113:399-403.

McCreight, J. D., R. L. Lower, and D. M. Pharr. 1978. Measurement and variation of sugar concentration of pickling cucumber. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 103:145-147.

Meyer, R. F. and J. S. Boyer. 1981. Osmoregulation, solute distribution, and growth in soybean seedlings having low water potentials. Planta 151: 482-489.

Milburn, J. A. 1974. Phloem transport in *Ricinus* : Concentration gradients between source and sink. Planta 117:303-319.

Mizrahi, Y., E. Taleisnik, V. Kagen-Zur, Y. Zohar, R. Offenbach, E. Matan, and R. Golan. 1988. A saline irrigation regime for improving tomato fruit quality without reducing yield. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 113:202-205.

Morrell, S. and T. apRees. 1986. Control of the hexose content of potato tubers. Phytochem. 25: 1073-1076.

Morris, D. A. and E. D. Arthur. 1985. Invertase activity, carbohydrate metabolism and cell expansion in the stem of *Phaseolus vulgaris* L. J. Exp. Bot. 36:623-633.

Munns, R. and R. Weir. 1981. Contribution of sugars to osmotic adjustment in elongating and expanded zones of wheat leaves during moderate water deficits at two light levels. Aust. J. Plant Physiol. 8:93-105.

Pickard, W. F., P. E. H. Minchin, and J. H. Troughton. 1979. Real time studies of carbon-11 translocation in moonflower. III. Further experiments on the effects of a nitrogen atmospher, water stress, and chilling; and a qualitative theory of stem translocation. J. Exp. Bot. 30:307-318.

Pollock, C. J. and T. apRees. 1975. Activities of enzymes of sugar metabolism in cold-stored tubers of *Solanum tuberosum*. Phytochem. 14:613-617

Ricardo, C. P. P. 1974. Alkaline β-fructo-

furanosidases of tuberous roots : Possible physiological function. Planta 118:333-343.

Ricardo, C. P. P. and T. apRees. 1970. Invertase activity during the development of carrot roots. Phytochem. 9:239-247.

Robinson, R. W. 1987. Genetic variation in soluble solids of cucumber fruit. Cucurbit Genetics Cooperative 10:9

Roper, T. R., W. H. Loescher, J. Keller, and C. R. Rom. 1987. Sources of photosynthate for fruit growth in 'Bing' sweet cherry. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 112: 808-812.

Rudich, J., D. Kalmar, C. Geizenberg, and S. Harel. 1977. Low water tensions in defined growth stages of processing tomato plants and their effects on yield and quality. J. Hort. Sci. 52:391-399.

Russell, C. R. and D. A. Morris. 1982. Invertase activity, soluble carbohydrates and inflorescence development in the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Ann. Bot. 49:89-98.

Schaffer, A. A., A. Aloni, and E. Fogelman. 1987. Sucrose metabolism and accumulation in developing fruit of *Cucumis*. Phytochem. 26:1883-1887.

Scharkey, R. J. and J. S. Pate. 1976. Translocation from leaves to fruits of a legume, "studied by phloem bleed technique: Diurnal changes and effects of continuous darkeness. Planta 128:63-72.

Schupp, J. R. and D. C. Ferree. 1988. Effects of root prunning at four levels of severity on growth and yield of 'Melrose'/M. 26. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 113:194-198.

Sharaf, A. R. and G. E. Hobson. 1986. Effect of salinity of the yield and quality of normal and non-ripening mutant tomatoes. Acta Hort. 190:175-181.

Swanson, C. A., J. Hoddinott, and J. W. Sij. 1976. The effect of selected sink leaf parameters on translocation rates. p. 347-356. In Transport and transfer processees in plants (eds. I. F. Wardlaw and J. B. Passioura). Academic Press, New York.

Taiz, L. 1984. Plant cell expansion : Regulation of cell wall mechanical properties. Ann. Rev. Plant Physiol. 35:585-657.

田附明夫・崎山亮三．１９８４．着果状態におけるキュウリ果実の体積推定と生長解析．園学雑．53:30-37.

Varga, A. T. A. M. Geelen, and J. Bruinsma. 1988. Development of tomato fruits in several in vitro culture systems as compared with their growth on the vine. Isr. J. Bot. 37:217-226.

Walker, A. J. and L. C. Ho. 1977a. Carbon translocation in the tomato : Carbon import and fruit growth. Ann. Bot. 41:813-823.

Walker, A. J. and L. C. Ho. 1977b. Carbon translocation in the tomato : Effects of fruit temperature on carbon metabolism and the rate of translocation. Ann. Bot. 41:825-832.

Walker, A. J., L. C. Ho, and D. A. Baker. 1978. Carbon translocation in the tomato : Pathways of carbon metabolism in the fruit. Ann. Bot. 42:901-909.

Walker, A. J. and J. H. M. Thornley. 1977. The tomato fruit: Import, growth, respiration and carbon metabolism at different fruit sizes and temperatures. Ann. Bot. 41:977-985.

Yelle, S., J. D. Hewitt, N. L. Robinson, S. Damon, and A. B. Bennett. 1988. Sink metabolism in tomato fruit. III. Analysis of carbohydrate assimilation in a wild species. Plant Physiol. 87:737-740.

薮内聡子．１９８８．キュウリ果実糖濃度の品種間差に関する研究．修士論文

謝辞

本研究は、東京大学教授崎山亮三先生のご指導のもとに行なわれたものであります。ここに厚くお礼申し上げます。また、本研究の遂行に際して、多大なご助言、ご助力を頂いた杉山信男助教授、西沢隆助手をはじめとする園芸学第一講座の皆さん、三浦周行氏（野茶試久留米支場）、田附明夫氏（大阪府立大）に深く感謝致します。最後に、本研究で用いたトマト種子を分譲下さった望月龍也（農林水産技術会議）、石内伝次（果樹試盛岡支場）の両氏に謝意を表します。

inches
cm
Kodak Color Control Patches
© Kodak, 2007 TM: Kodak
Blue
Cyan
Green
Yellow
Red
Magenta
White
3/Color
Black
Kodak Gray Scale
C
Y
M
© Kodak, 2007 TM: Kodak
A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19