

スイカ果実の機械的な肥大抑制が糖濃度および果肉細胞の大きさに及ぼす影響

福岡信之^{1*}・金森友里¹・増田大祐¹・清水恵美²¹ 石川県農業総合研究センター砂丘地農業試験場 929-1126 石川県かほく市² 石川農林総合事務所 924-0864 石川県白山市Effect of Mechanically Restricting of Fruit Enlargement on
Sugar Accumulation and Cell Size in WatermelonNobuyuki Fukuoka^{1*}, Yuri Kanamori¹, Daisuke Masuda¹ and Emi Shimizu²¹Sand Dune Agricultural Experimental Station, Ishikawa Agricultural Research Center, Kahokushi, Ishikawa 929-1126²Ishikawa Agricultural Office, Hakusanshi, Ishikawa 924-0864

Abstract

Watermelon fruits were enclosed within 20 cm cube boxes to mechanically restrict the enlargement and changes in sugar concentration and cell size were investigated. Covering with a cube box from 15 to 45 days after pollination significantly restricted fruit enlargement of the watermelon. This mechanical restriction of fruit enlargement resulted in decreased sucrose accumulation at the central portion of the fruits, in contrast to increased accumulation of this element at the outer portion. Cell size in the fruits also varied according to the mechanical restriction. At the central portion of the fruits, a larger number of small cells derived from vascular bundles was detected in the restricted fruits. Conversely, meristematic cells in the outer portion increased in size due to the mechanical restriction.

Key Words : cell shape, fruit shape, sugar concentration

キーワード : 果実の形状, 細胞の形状, 糖濃度

緒 言

スイカは、近年、カット販売が主体となっており、店頭では糖度表示に基づく販売が行われている。特に、糖度は果実品質を左右する主要な構成要素の一つで、消費者は果肉部と皮部の境目（以下、皮境部と記す）まで甘い果実を求めている。しかし、スイカの糖度は一般に中心部が皮境部より、胎座部が胎座間より高く、果実内で糖度が低い部位があることが知られている（Kano, 1991; Showalter, 1975）。

一方、キュウリの果実では肥大成長を機械的に抑制するとスクロース含量が増加することが知られている（Kawabata・Sakiyama, 1998）。また、Kawabataら（2002）は、トマト品種‘Brehen’s Solid Red’の果実肥大を機械的に抑制した実験でヘキソースやスクロース含量が増加することを認め、Kano（2004）は、メロンでは果実肥大の機械的な抑制によって、果肉細胞が小さくなりスクロース含量が低下することを報告している。これらのことは、果実肥大を機械的に抑制すると、果実内の細胞の大きさが変わって糖

含量が変化する可能性を示唆しているが、これまでにスイカの果実肥大を機械的に抑制した場合の細胞の大きさや糖含量の変化をみた報告はない。

そこで、本実験ではスイカの果実肥大を機械的に抑制した場合の細胞の大きさや糖含量の変化を調査し、これらの結果から果実肥大の機械的な抑制処理による高糖度スイカ生産の可能性について考察した。

材料および方法

1. 供試材料および栽培管理

品種は‘筑波の香’を用いた。2006年2月17日に石川県砂丘地農業試験場のガラス室に播種、2月28日に‘かちどき2号’に接ぎ木した。接ぎ木後34日目の4月3日に、ビニルハウス内にうね幅300 cm、株間60 cmで定植した。栽培様式はマルチ栽培（0.02 mm厚透明ポリエチレンフィルム）とし、かん水はマルチ下に設置したかん水チューブで適宜行った。親づるは4月14日に8節前後で摘心、親づるから発生した子づるは5月2日に均一な3本を残して摘除した。着果は5月16日～23日に子づるの20節前後に開花した3番花をミツバチによって交配させて行い、着果した果実は開花1週間後に形状の良いものを個体当たり1果残して摘果した。施肥は、基肥として定植7日前にくみあい

2006年11月30日 受付。2007年2月28日 受理。

* Corresponding author. E-mail: n-fuku@pref.ishikawa.lg.jp

サンフルーツ化成 (N : 9%, P_2O_5 : 8%, K_2O : 9%) $80\text{ kg} \cdot 10\text{ a}^{-1}$ とくみあい磷硝安加里 S604 (N : 16%, P_2O_5 : 10%, K_2O : 14%) $10\text{ kg} \cdot 10\text{ a}^{-1}$ を施用し, 追肥として開花直前の 5 月 12 日にサンフルーツ化成を $40\text{ kg} \cdot 10\text{ a}^{-1}$ 施用した。また, その他の管理は慣行法にならって行った。

2. 処理方法

果実肥大の機械的な抑制処理は, 一辺 20 cm の木製の立方体を用いて行った (第 1 図 A)。処理区として, 開花後 15 日目の最大直径 18 cm 前後の果実をこの容器に入れ, 20, 25, 30 日間機械的な肥大抑制を行う 3 区と (以下, 15–35, 15–40, 15–45 日区と記す), 容器に入れない無処理の対照区の計 4 区を設けた。各区 6–9 個体とし, いずれの区も開花後 45 日目に収穫した。

3. 調査内容

収穫した果実について, 果重, 果実肥大の機械的抑制程度, 果肉硬度, 糖含量および果肉細胞の大きさについて調査した。果実肥大の機械的抑制程度は, 果実の形状を第 2 図のように 4 階級に分類して行った。第 1 図 B に果肉硬度,

糖含量および果肉細胞の大きさの調査部位を示す。果肉硬度は, 果実赤道位置から上部を 1 cm 厚で輪切りにした後, レオメーター (不動工業社製 J 型, プランジャー直径 3 mm 円筒, 貫入速度 $6\text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$) を用いて中心部の破断応力を測定した。糖含量の測定部位は, 上記切片の中心部, 胎座間, 皮境部とし (第 1 図 B), 果汁を採取して分析時まで -30°C で貯蔵した。その後, 分析時に果汁を 100°C で 5 分間加熱処理し, 遠心分離後, 10 倍に希釈した上澄み液をメンブランフィルター ($0.45\text{ }\mu\text{m}$) で濾過し, 高速液体クロマトグラフィー (島津製作所 LXC-10ADvp) でスクロース, グルコース, フルクトース含量を測定した。果肉細胞の大きさは, 果実赤道部から下部を 1 cm 厚で輪切りにしたものをを用いて測定した。中心部と皮境部の切片を FAA で固定後, エチルアルコールシリーズで脱水してパラフィンケーキを作成し, ロータリーマイクロームで $15\text{ }\mu\text{m}$ の切片を作成した。組織の染色はヘマトキシンとエオシンの 2 重染色とし, 顕微鏡写真を撮影後, 顕微鏡下で 5 mm 四方となる範囲の画像をスキャナー (EOSON GT-9300UF) で取り

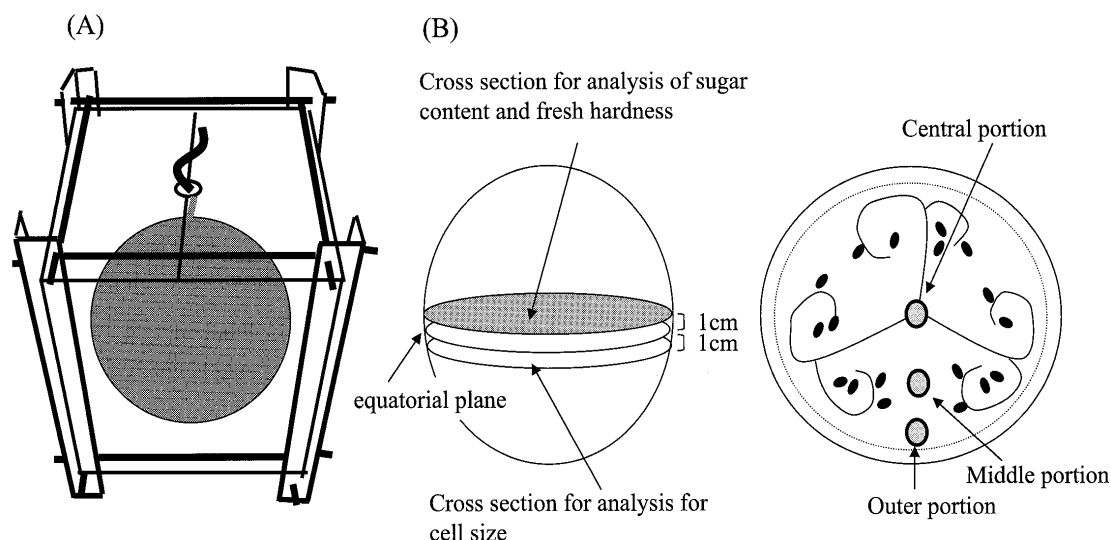


Fig. 1 Illustration of the method for mechanical restriction of fruit enlargement (A) and the sampling sites for analysis of sugar content, fresh hardness and cell size (B).

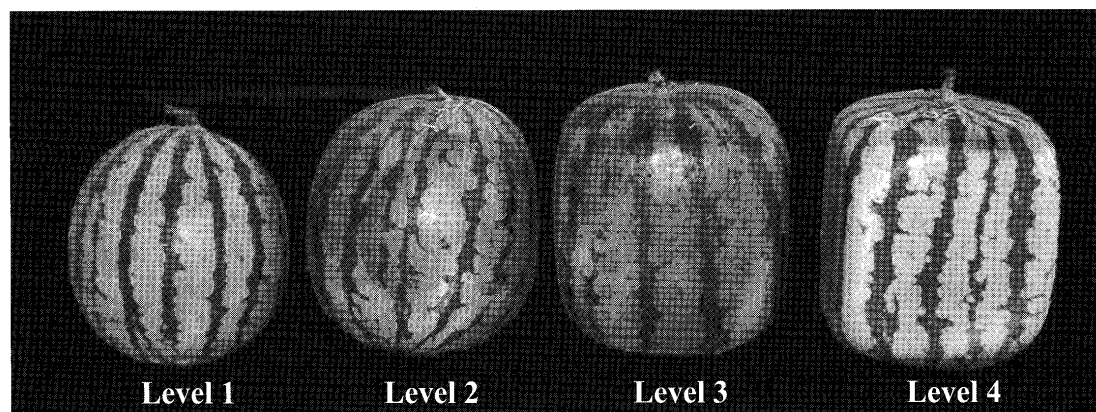


Fig. 2 Degree of mechanical restriction of fruit enlargement. Fruit shape was classified by visual inspection into the following four types; not square (level 1), slightly square (level 2), moderately square (level 3), severely square (level 4).

込み、画像解析ソフト (NIH Image program) を用いて細胞の大きさを解析した。

結 果

果実の大きさは、果実肥大の機械的な抑制期間が長い区ほど小さく、収穫時の果重は対照区に比べて 15-35 日区で 91%, 15-40 日区で 84%, 15-45 日区で 74% となった (第 3 図)。果実肥大の抑制程度は抑制期間が長いほど小さくなり、15-35 日区、15-40 日区の形状は level 3、15-45 日区では 67% の果実が level 4 となった (第 4 図)。果実の糖含量は、いずれの処理区も中心部で胎座間や皮境部より高

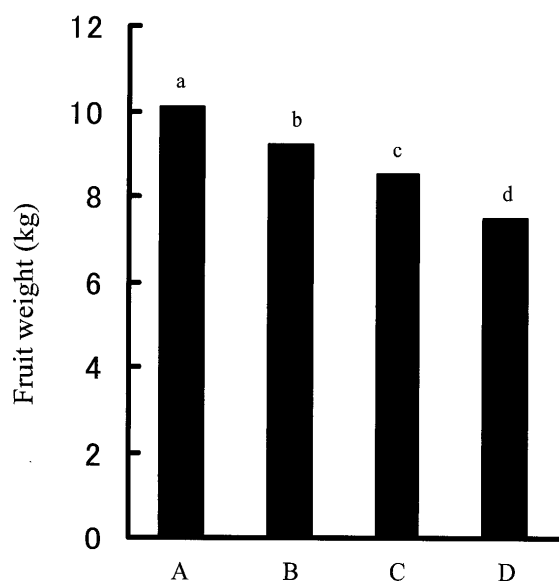


Fig. 3 Effects of mechanical restriction of fruit enlargement on fresh weight at the harvest time. A: control; B: 15-35 day treatment; C: 15-40 day treatment; D: 15-45 day treatment. Means with the same letter at the top of the column are not significantly different at the 5% level (Duncan's multiple range test).

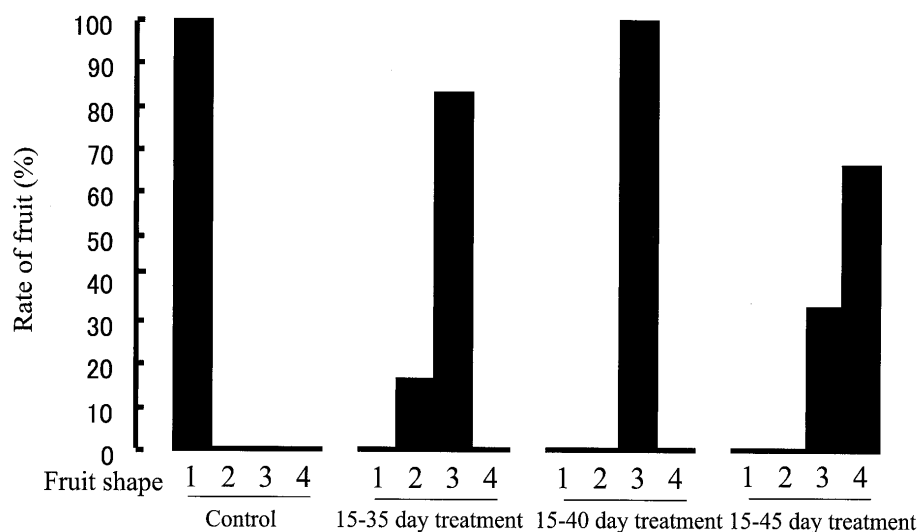


Fig. 4 Effect of mechanical restriction of fruit enlargement on fruit shape at harvest. Fruit shape was classified by visual inspection as shown in Fig. 2.

かった (第 5 図)。果実肥大の機械的な抑制による糖含量の変化は、特にスクロースで認められた。処理区間では、果実肥大の抑制期間が長かった 15-40 日および 15-45 日区で他の区に比べて中心部や胎座間のスクロース含量が低く、皮境部のスクロース含量が高かった。果肉硬度の値は中心部、胎座間、皮境部のいずれも果実肥大の抑制期間が長い区ほど高かった (データ省略)。果肉細胞を組織学的に観察した結果、15-45 日区の中心部では維管束に由来する小型柔細胞が多く認められたのに対し、対照区の中心部ではこの維管束由来の柔細胞の発達は極わずかであった (第 6 図上段)。一方、15-45 日区の皮境部の柔細胞は、対照区と比べて細長の形状となった (第 6 図下段)。細胞の最大直径や面積の平均値は、中心部では対照区が 15-45 日区より大きく、皮境部では逆に 15-45 日区が対照区より大きかった (第 7 図)。

考 察

スイカでは葉で合成された同化産物が主としてスクロースの形態で果実に移行すること (Kano, 1991)、スクロースの果実への集積は成熟期以降に種子が多数存在する胎座部から始まることが知られている (Showalter, 1975)。Kano (1991) は果実赤道面の糖含量の変化を経時的に調査し、果実肥大期は主としてグルコースとフルクトースが集積するが、成熟期ではスクロースの集積が主体となることを報告している。さらに、部位別ではスクロース含量は着果後 40 日目では中心部よりやや外側部で高く、50 日目になると中心部が急速に増加して両者の間に差がなくなること、また、皮境部ではスクロースの集積が緩慢であることも認めている。本実験においても、収穫期のスイカ果実の主要な糖はスクロースであったが、スクロース含量は中心部が胎座間や皮境部より高く、果実内で濃度勾配があることが認められた。メロン果実の糖の果肉細胞への移動には

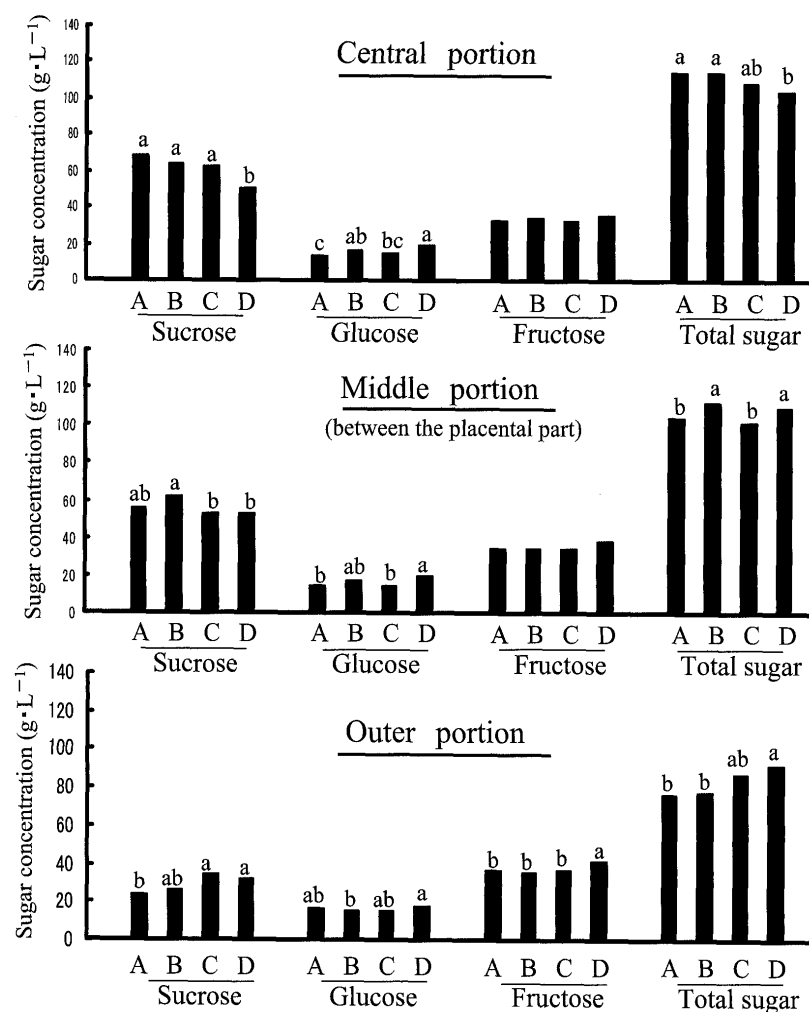


Fig. 5 Effects of mechanical restriction of fruit enlargement on sugar concentration at harvest. A: control; B: 15–35 day treatment; C: 15–40 day treatment; D: 15–45 day treatment. Means with the same letter at the top of the column are not significantly different at the 5% level (Duncan's multiple range test).

担体輸送と拡散輸送があり、成熟果では拡散輸送が主体となる (Ofsu-Anim ら, 1998). 石上・松浦 (1993) は、収穫期のメロン果実ではスクロース含量は維管束が密集する隔壁内部で維管束密度の低い隔壁中間部より高く、その後に隔壁部からの同化産物の水平移動によって隔壁中間部の糖度が上昇することを指摘している。これらのことより、スイカ果実のスクロースは維管束の終点でSink能の高い種子部 (胎座部) から集積が始まり、成熟に伴う維管束の消失によって集積部位が中心部に移行、胎座間や皮境部へはこれらの部位からの拡散的な移動により集積し、このため含量は中心部で高く、胎座間や皮境部で低いものと考えられた。

本実験では果実肥大を機械的に抑制した場合の部位別の糖含量を調査したが、スクロース含量は果実肥大を抑制した場合でも中心部が胎座間や皮境部より高かった。しかし、果実内のスクロースの濃度勾配は肥大抑制によって小さくなることが認められ、スクロース含量は開花後 15 日目より 30 日間果実肥大を抑制した区で無処理区に比べて中心部で低く、皮境部で高かった。Kawabata ら (2002) は、トマト品種 'Brehen's Solid Red' の果実肥大を機械的に抑制した

実験で、抑制処理 3 日目からヘキソースやスクロース含量が増加することを認め、この原因として果実内への水の流入量の低下が関与していることを指摘している。また、メロンでは果実肥大の機械的な抑制によってスクロース含量が低下し、グルコースやフルクトース含量が増加することが知られている (Kano, 2004)。これらのことは、果実肥大を機械的に抑制すると糖組成が変化するが、この変化は植物種によって異なることを示唆している。今回のスイカでの結果では、果実肥大の機械的な抑制による糖組成の変化は果実の部位により異なり、中心部ではスクロース含量が低下し、皮境部では増加する結果となった。

太磨ら (2002) は、スイカ果実の発育過程を経時的に調査し、スクロースの集積と果肉細胞の大きさとの間に密接な関係があることを認め、Kano (2004) はメロンの果実肥大を機械的に抑制すると果肉細胞が小さくなりスクロースの集積が抑えられることを報告している。本実験においても、果実肥大を機械的に抑えた 15–45 日区は無処理区に比べ、柔細胞の大きさが中心部で小さく、皮境部で大きくなり、細胞の大きさとスクロースの集積との間に密接な関係

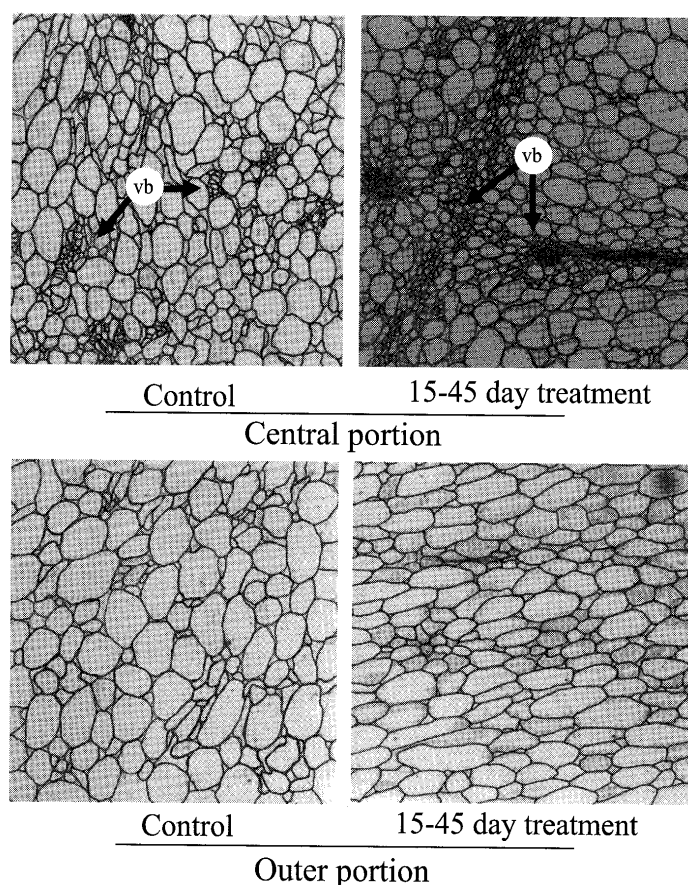


Fig. 6 Differences in cell shape and size of fruit with or without mechanical restriction of fruit enlargement. vb in figure indicates vascular bundle.

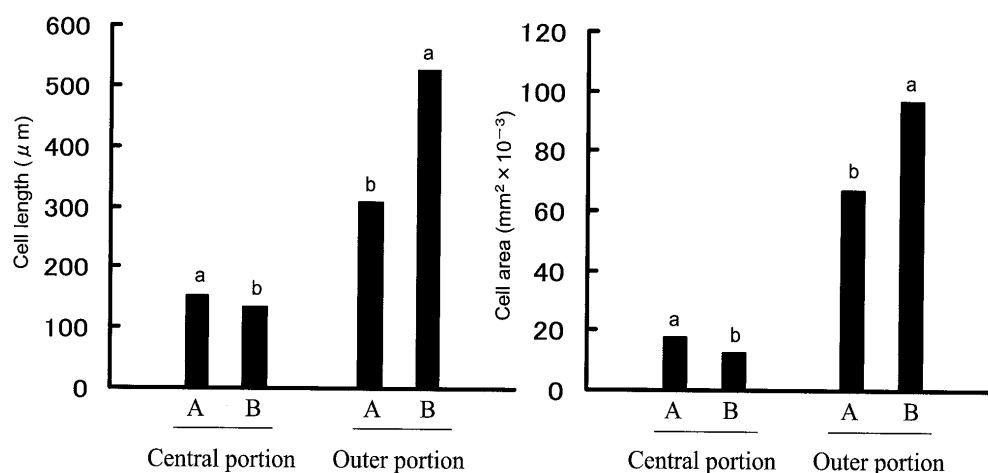


Fig. 7 Effects of mechanical restriction of fruit enlargement on cell size at harvest. A: control; B: 15-45 day treatment. Means with the same letter at the top of the column are not significantly different at the 5% level (Duncan's multiple range test).

が認められた。15-45 日区の中心部の小型細胞は維管束に由来するものであったことから、機械的な果実の肥大抑制による糖組成の変化には維管束の消長が関与している可能性がある。著者らは、別の実験で幼果を一辺 10 cm の容器に入れて極端な肥大抑制を行うと、糖度の上昇や果肉の着色が果実中央部より皮境部で先行してみられ、中央部は未熟な状態のまま残ることを観察している（未発表）。前述のように、スイカ果実への糖の集積は、維管束の終点である

胎座部から始まり、成熟に伴う維管束の消失によって中心部に移行することから、果実肥大の機械的な抑制による中心部のスクロース含量の低下は、維管束の消失遅延による中心部へのスクロースの分配量の低下が原因で、皮境部でスクロース含量が高まったのは、維管束の消失遅延によって胎座部へのスクロースの供給が持続された結果、周辺細胞へのスクロースの拡散的移行量が増大し、周辺細胞の糖濃度が上昇して細胞の肥大成長とこの細胞へのスクロース

の集積が促進されたためではないかと考えられた。

本実験によって、果実肥大の機械的な抑制処理は果実内糖度分布にむらのない品質の安定したスイカの生産に有効となる可能性が示唆された。一方、果実肥大の機械的な抑制が糖組成に及ぼす影響は、果実肥大の抑制強度や抑制期間、栽培様式などによって変わるものと考えられ、今後は高糖度スイカ生産のためのこれらの条件設定が必要と考える。

摘 要

スイカの果実肥大を機械的に抑制し、果実の糖含量や果肉細胞の大きさを調査した。一辺 20 cm の立方体の容器にスイカ果実を開花後 15 日目から 30 日間入れて肥大抑制を行うと、果実中心部ではスクロース含量が低下し、皮境部ではスクロース含量が増加した。この果実の果肉細胞を観察したところ、中心部では維管束が発達し果肉細胞は小さかったが、皮境部では果肉細胞は大きかった。

以上より、果実肥大の機械的な抑制処理を行うと、果実中心部の維管束が成熟期まで維持され、皮境部へ持続的にスクロースが供給されるため、果皮周辺部では細胞の肥大成長とこの細胞へのスクロースの集積が促進されるものと考えられた。

引用文献

石上 清・松浦英之. 1993. 温室メロン果実の糖度分布と

部位別糖類組成. 静岡農試研報. 37: 33–40.

Kano, Y. 1991. Changes of sugar kind and its content in the fruit of watermelon during its development and after harvest. Environ. Control Biol. 29: 159–166.

Kano, Y. 2004. Effects of mechanical restriction of fruit enlargement on cell size and sucrose accumulation in melon fruits (*Cucumis melo* L.). Acta Hort. 662: 369–372.

Kawabata, S. and R. Sakiyama. 1998. Effects of mechanically restricting enlargement of cucumber fruits on water and dry matter accumulation. J. Japan Soc. Hort. Sci. 67: 507–514.

Kawabata, S., S. H. Han and R. Sakiyama. 2002. Effect of mechanically restricting tomato fruit enlargement on the partitioning of soluble sugars. J. Japan Soc. Hort. Sci. 71: 480–484.

Ofsu-Anim, J., Y. Kanayama and S. Yamaki. 1998. Changes in sugar uptake by excised discs and its stimulation by abscisic and indoleacetic acids during melon fruit development. J. Japan Soc. Hort. Sci. 67: 170–175.

Showalter, R. K. 1975. Sampling watermelons for soluble solids. State Hort. 88: 272–276.

太磨恵美・宮村智佳子・加納恭卓. 2002. スイカ果実の発育に伴う果肉細胞、糖集積および果肉着色の変化. 平成 14 年度園芸学会北陸支部要旨. 平 14: 55.