

‘ファースト’ 雄性不稔突然変異体 (T-4) を種子親とした軟果皮中玉 トマト F₁ 系統 (MS-II) の特性

遠矢 純子^{a)}・榊田 正治・村上 賢治
(応用植物科学コース)

Pericarp Characteristics of the F₁ Hybrid Medium-Fruited Tomato between the Male Sterile Mutant (T-4) of the Large-Fruited ‘First’ and a Small-Fruited Pure Line with Soft Pericarp

Junko Toya, Masaharu Masuda and Kenji Murakami
(Course of Applied Plant Science)

Breeding for a soft pericarp in medium-sized tomato fruit was conducted by crossing the male sterile mutant (T-4) of the large-fruited ‘First’ and a small-fruited pure line with a soft pericarp (S). Pericarp characteristics of the F₁ hybrid (named MS-II) were compared with the parents and two similar medium-fruited tomato cultivars, ‘Red ore’ and ‘Frutica’. Pericarp firmness in MS-II was lower as compared with that of both T-4 and S. Differences in pericarp firmness among MS-II, ‘Red ore’ and ‘Frutica’ were dependent on truss. In the first truss, MS-II developed fruits with a softer pericarp than ‘Red ore’, but with a firmer pericarp than ‘Frutica’. In the second and third trusses, pericarp firmness of the fruit in MS-II tended to be lower than those of the other two cultivars. The thickness of the exocarp cuticle in MS-II was lower than that in ‘Red ore’, but was no different to that in ‘Frutica’. Thus genotypic differences in pericarp firmness among MS-II, ‘Red ore’ and ‘Frutica’ seem to be derived from differences in the degree of cutin development in the epidermal perimeter. A thinner cuticle can explain pericarp softness in the fruits above the second truss in MS-II.

Key words : cuticle, fruit firmness, pericarp firmness

緒 言

近年、青果物に対する消費者ニーズが多様化しており、トマトにおいては、食味のほか、食感の良さも重要な育種目標となっている。特に、中玉品種やミニトマトでは、口当たりの良さを追求する点において果皮や果肉の硬さが問題となっており、改良が望まれている。

我々は、果皮が軟らかく食べやすい中玉 F₁ トマト品種の育成を目的として、‘ファースト’ 雄性不稔系統 (T-4) と小果固定系統 (S) の交雑により、中玉の F₁ 系統 (MS-II) を作出した。MS-II は、食べたときに果皮の抵抗感が少ないため食感が良い。

MS-II の軟果皮形質は、花粉親として用いた小果固定系統 (S) によって導入した。S は、宮崎県において採種したトマト品種の自殖種子から、果皮が軟らかく品質の良い株を選抜し、4代に渡って自殖を行い形質固定した独自の系統である。S の 1 果重は 20~30 g と非常に小さいため、大玉系統である T-4 と交配することにより F₁ の 1 果重増加を図った。種子親に用いた T-4 は、‘ファースト’ から作出された雄性不稔突然変異系統であり、温度依存性の雄性不稔を示す¹⁾。また、秋季にその稔性は回復しやすいことが分かっている²⁾。これを種子親と

した場合、2 系法での F₁ 採種が可能となる点で有用である³⁾。

本研究では、MS-II の生育および果実特性を調査するため、両親系統との比較を行うとともに、MS-II と既存の中玉 F₁ 品種 ‘レッドオーレ’ および ‘フルティカ’ についても、生育および果実特性の比較を行った。

材料と方法

1. MS-II と両親系統の特性比較 (実験 1)

2008年4月1日、MS-II および種子親 T-4、花粉親 S をバーミキュライトを充填したセルトレイに播種し、5月16日に 1/5,000 a ワグネルポット (培地量 3.0 L) に定植した。培地は市販の園芸培土とし、1ポットにつき N:P:K=5.4:2.2:4.5 (g) の緩効性肥料および 3 g の燃焼鶏ふん灰を混和した。ポットの底面から約 3 cm の位置に導入した「防根給水ひも」⁴⁾により給水を行った。各品種 5 個体とし、雨よけハウス内で栽培した。3 段果房ホルモン処理時に果房上 3 葉を残して摘心し、果房当たりの果数は最大 8 果とした。収穫は果実全体が赤

Received October 1, 2011

a) (現)兵庫県光都農林水産振興事務所

く着色した段階で行った。7月中旬に全ての個体で第1果房の収穫を終え、栽培を終了した。

調査は、地際部～第1果房着生部位までの長さ、着花節位、到花日数、花数、第1果房5果についての平均1果重、第1果房3果についての果実硬度、果皮硬度、果実糖度、糖含量、果実酸度について行った。

果実硬度および果皮硬度は、それぞれの個体の第1果房から3果を用いて、レオメーター (RUOHTECH, RT-3200ND-CW) で測定した。果実硬度は、果実を縦に2等分し、果実赤道部を果皮側からプランジャーで貫入させたときの最大抵抗値とした。1果実につき3反復測定し平均値を算出した。果皮硬度は、果実赤道部周辺の果皮を剥ぎ取って固定し、プランジャーで貫入させたときの最大抵抗値とした。なお、果皮の固定には口径15 mmのサンプル瓶のふたに10 mm程度の穴を開けたものを用いた。果皮はサンプル瓶で挟み込んで固定し、果皮側から貫入を行った。貫入試験には直径2 mmの円柱状プランジャーを用い、貫入速度は10 mm・s⁻¹とした。

果実糖度 (Brix^o) は屈折糖度計 (KEM, RA-250) により測定した。果実酸度は、果汁を0.01MのNaOHで中和滴定した後、滴定量を果汁100 mLあたりのクエン酸当量 (g・100 mL juice⁻¹) に換算して求めた。糖含量の分析については、果実を収穫後、-20℃で冷凍保存したものを試料とした。分析試料は解凍後ホモジナイザーで破碎し、遠心分離した後、上清を純水で10倍希釈したものをセルロースアセテート膜 (ADVANTEC, 13CP045AN) でろ過し、HPLCで分析した。HPLCの条件は、カラム: Shodex SC1011, 検出器: RI-2031plus (JASCO), 移動相: H₂O, カラム温度: 40℃, 流量: 1 mL・min⁻¹とした。果実糖度、果実酸度、糖含量の測定には、各個体の第1果房から3果を用いた。

2. MS-IIとF₁品種の特性比較 (実験2)

2009年8月20日、MS-IIおよび‘レッドオーレ’ (カネコ種苗), ‘フルティカ’ (タキイ種苗) を、市販の園芸培土で満たしたセルトレイに播種し、9月19日に1/5,000 aワグネルポット (培地量2.5L) に定植した。ここでは、培地は川砂とし、「防根給水ひも」栽培により1/2濃度の大塚A処方培養液を給液した。3段果房ホルモン処理時に果房上2葉を残して摘心した。果房当たりの果数は最大8果とした。供試株数は、MS-IIは4株、

‘レッドオーレ’, ‘フルティカ’ はそれぞれ5株とした。ビニールハウス内で栽培し11月上旬から加温を行い、設定温度を13℃として管理し、28℃設定で強制換気を行った。

調査は、地際部～第1果房着生部位までの茎長、着花節位、到花日数、第1果房果実の成熟日数、収量性、果実硬度、果皮硬度、外果皮におけるクチクラ層の厚さ、果実糖度、果実酸度、裂果率について行った。

果実硬度、果皮硬度の測定は2～5番果を対象として行い、各果房から1果を用いた。測定方法は実験1と同様とした。

第1果房果実の成熟日数は、第1果房3番花の開花～収穫までの日数の平均値とした。

クチクラ層の厚さは、第3果房の2～5番果を対象として、各個体から1果ずつを用いて測定した。果実赤道部の果皮を剥ぎ取って切片を作成し、光学顕微鏡下でマイクロメーターを用いて測定した。1果実につき3箇所を測定し平均値を算出した。なお、果皮組織における各部の名称についてはGroth⁵⁾の記述を参考にした。

果実糖度、果実酸度の測定には、第2果房3番果を用いた。調査は実験1と同様に行った。裂果率は全収穫果実に占める裂果果実の割合とした。

結果と考察

1. MS-IIと両親系統の特性

MS-IIと両親系統の生育特性をTable 1に示した。第1果房5果までの平均1果重は、T-4 (種子親) が223 g, MS-IIが53 g, S (花粉親) が27 gであった。果実の子室数については、T-4は多子室性を示し、Sは2子室であったのに対して、MS-IIでは3子室となるものがほとんどであった (データ略)。このことから、子室数は果実重に影響を与えると考えられ、平均1果重および子室数は、Sの有する小果因子の影響を強く受けていると考えられた。花数については、MS-IIは第1果房において両親系統よりも低い値となる傾向が見られたが、系統間に大きな差は無かった。第1果房までの茎長、着果節位、到花日数について両親系統を比較すると、T-4は第1果房までの茎長および着果節位が高く、また、到花日数は51日となりSよりも7日長かった。MS-IIの第1果房までの茎長は両親の中間値よりもややT-4に近

Table 1 Growth characteristics of MS-II and parental lines

Line	No. of flowers per truss			Average fruit weight (g)	Stem length under the 1st truss (cm)	No. of leaves under the 1st truss	Days to flowering
	1st	2nd	3rd				
T-4	27.4±8.2 ^a	13.0±3.3	9.4±1.0	223.4±15.2	39.5±2.6	9.4±0.8	51.2±0.6
MS-II	9.6±0.8	16.6±2.6	14.6±1.9	53.2±5.6	33.4±1.3	7.0±0.0	45.4±0.2
S	22.0±0.6	14.6±1.5	18.0±4.4	27.1±0.9	23.6±0.7	6.0±0.0	44.4±0.2

^aStandard error.

Table 2 Fruit characteristics of MS-II and parental lines

Line	Brix (%)	Sugar contents (mg · mL juice ⁻¹)		Titratable acidity (g · 100 mL juice ⁻¹)
		Glucose	Fructose	
T-4	5.3 ± 0.1 ^a	16.7 ± 0.3	16.9 ± 0.6	0.55 ± 0.04
MS-II	5.7 ± 0.1	16.4 ± 0.7	18.1 ± 0.6	0.44 ± 0.02
S	6.6 ± 0.1	21.2 ± 0.3	20.7 ± 0.4	0.46 ± 0.02

^aStandard error.

Table 3 Growth and fruit characteristics of MS-II and two cultivars

Line/cultivar	Stem length under the 1st truss (cm)	No. of leaves under the 1st truss	Days to flowering	Days to ripening ^a	Total yield ^b (kg · plant ⁻¹)	Percentage of cracked fruit	Brix (%)	Titratable acidity (g · 100mL juice ⁻¹)
MS-II	52.4 ± 1.2 ^c	9.0 ± 0.0	41.0 ± 0.6	56.5 ± 0.6	1.9	7.5	6.5 ± 0.4	0.45 ± 0.04
Red ore	45.7 ± 1.6	8.2 ± 0.2	38.8 ± 0.5	51.2 ± 1.5	1.4	10.8	6.8 ± 0.3	0.38 ± 0.02
Frutica	46.3 ± 1.3	7.4 ± 0.2	37.2 ± 0.4	47.6 ± 0.7	1.5	0.0	6.1 ± 0.2	0.40 ± 0.02

^aDays to ripening from flowering.

^bTotal fruit weight was taken from 1st to 3rd truss. No. of fruits per truss was restricted to 8.

^cStandard error.

かった一方、着果節位はT-4よりも低くSよりもやや高かった。MS-IIの到花日数は、T-4よりも短くSよりも1日長かったことから、到花日数には着果節位の影響が強く表れると考えられた。

果実糖度 (Brix°) はT-4が5.3, MS-IIが5.7, Sが6.6となり (Table 2), MS-IIは両親系統の中間値よりもT-4に近く, Sよりも低い値となった。グルコース含量, フラクトース含量についても同様に, MS-IIは両親の中間値よりもT-4に近く, Sよりも低かった (Table 2)。果実酸度 (g · 100 mL juice⁻¹) は, T-4が0.55と最も高かった (Table 2)。MS-IIとSの果実酸度に差は無く, それぞれ0.44, 0.46となった。

MS-IIと両親系統の果実硬度, 果皮硬度をFig. 1に示した。MS-IIの果実硬度は花粉親である軟果皮Sと同等となり, 果皮硬度についてはSよりもやや低い値となることが明らかとなった。

トマトの果実硬度の遺伝様式については, 決まった見解が得られておらず, 一優性遺伝子により支配されており果実の軟らかい形質が優性であるとする報告⁶⁾や, 量的形質であり果実の硬い方に傾くとする報告⁷⁾がある。吉川ら⁸⁾は, トマトの果実硬度の遺伝特性を調査するため, 6品種・系統間で作出した13組合せのF₁について, その果実硬度をFirm-O-Meterを用いて一定荷重下における果実の変形程度として求めたところ, F₁の果実硬度は中間値に近いが, または, 種子親, 花粉親に関係なく果実の軟らかい交配親側に傾くかに分けられた。また, 貫入試験によって求めた果皮の硬さについては, F₁は中間値となるもの, 果皮の硬い交配親に傾くもの, 果皮の軟らかい交配親に傾くものなど, その交配組合せによって異なると報告した。本研究でのT-4とSの交

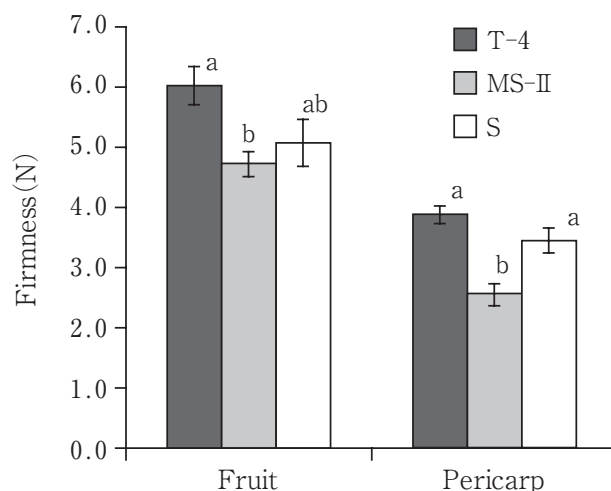


Fig. 1 Fruit and pericarp firmness of MS-II and parental lines. Different letters indicate statistically significant at 5% level by Tukey's test. Vertical bars indicate standard error.

配組合せにおいては, F₁ (MS-II) の果実硬度は軟らかいS側に傾き, 果皮硬度は両親系統よりも低い値となると言える。

果実硬度には多くの構造的要因が関連しているが, 特に果皮強度, 果肉硬度, 果肉率の影響が大きく, それらの値が高いほど果実硬度は高い値となる⁹⁾。また, この影響の大きさは品種や系統によって異なり一様ではない。本研究では, MS-IIの果実硬度がT-4よりも低くSと同等となったが, これにはMS-IIの果皮硬度が両親系統よりも低い値となることが影響していると考えられ

た。

2. MS-IIと既存の中玉F₁品種の特性

MS-IIと2品種の生育・果実特性をTable 3に示した。第3果房までの株当たり収量はMS-IIが1.9 kg, ‘レッドオーレ’が1.4 kg, ‘フルティカ’が1.5 kgとなり, MS-IIは2品種よりも高い値となった。花数に差は無かった(データ略)。MS-IIの第1果房までの茎長は52 cm, 着果節位は9節となり, 2品種よりも高い値となった。また, MS-IIの到花日数, 果実の成熟日数についても同様に, 両品種よりも大きい値となった。本実験では, MS-IIの第1果房における収穫開始は, ‘レッドオーレ’よりも8日, ‘フルティカ’よりも13日遅くなったが, これはMS-IIの着花節位ならびに到花日数, 果実の成熟日数が2品種よりも高い値となるためと考えられた。

果実糖度(Brix°)については, MS-IIは6.5となり, ‘レッドオーレ’よりも低い値となったが, 有意差は無かった。また, MS-IIは‘フルティカ’よりも高かった。なお, いずれの系統・品種についても上位果房ほど果実糖度は高まる傾向が見られた(データ略)。MS-IIの果実酸度($g \cdot 100 mL \text{ juice}^{-1}$)は0.45となり, 両品種よりも高かった。

MS-IIと2品種の果実硬度をFig. 2に示した。MS-IIの果実硬度について, ‘レッドオーレ’および‘フルティカ’と比較したところ, 第1果房においては品種間に差は無かったが, 第2および第3果房では, MS-IIは‘レッドオーレ’よりも低く, ‘フルティカ’と同等となった。また, MS-IIの果実硬度は, 上位果房ほど両品種

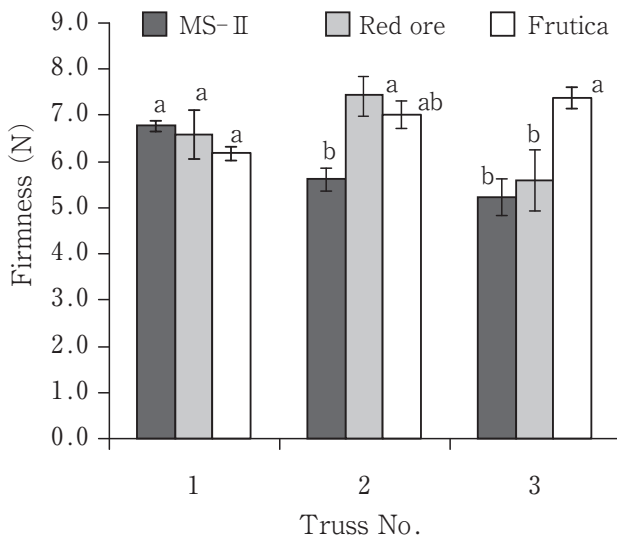


Fig. 2 Fruit firmness of MS-II and two cultivars
Different letters indicate statistically significant at 5% level by Tukey's test.
Vertical bars indicate standard error.

よりも低い値となる傾向を示した。MS-IIの果皮硬度については, 第1果房では‘レッドオーレ’よりも低く, ‘フルティカ’よりも高かったが, 第2果房では, ‘レッドオーレ’よりも低く, ‘フルティカ’と同等となった(Fig. 3)。第3果房では, MS-IIは2品種と差が無かった。MS-IIの果皮硬度は, 上位果房ほど両品種よりも低い値となる傾向を示したものの, 品種内での果実ごとの変動が大きく, 有意差は認められなかった。この理由としては, 果皮を果肉から均一に剥ぎ取る過程で誤差が生じたことが考えられた。特に‘レッドオーレ’で果皮が剥ぎ取りにくく, 測定値のばらつきが大きかった。より正確に果皮硬度を測定することができれば, 品種間の差は明確になると考えられた。

MS-IIと‘レッドオーレ’の果皮断面の顕微鏡写真をFig. 4に示した。トマトの外果皮は1層の表皮細胞とその内側にある3~4層の厚角細胞から成り, クチクラ層は表皮細胞の外側全体を覆っているだけではなく, 表皮細胞間や表皮細胞と厚角細胞が接する面の細胞壁にも見られる⁵⁾。これはクチクラ層を構成するクチンやワックスが果実の成熟に伴って果皮組織の内部に集積したものであり¹⁰⁾, くさびのような形状をしており“ペグ”と呼ばれる¹¹⁾。“ペグ”の大きさは, ‘レッドオーレ’で最も大きく, MS-IIは‘フルティカ’よりもやや小さいことが目視で観察されたため, MS-IIの外果皮においてクチンやワックスが表皮細胞間に集積している程度は, 2品種よりも低いのではないかと考えられた。また, 果皮表層からの“ペグ”の長さをクチクラ層の厚さとし, Fig. 5にMS-IIと2品種のクチクラの厚さを示した。MS-II

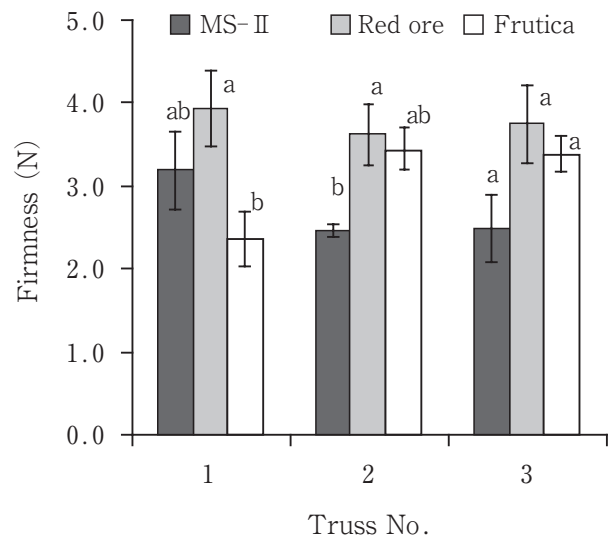


Fig. 3 Pericarp firmness of MS-II and two cultivars
Different letters indicate statistically significant at 5% level by Tukey's test.
Vertical bars indicate standard error.

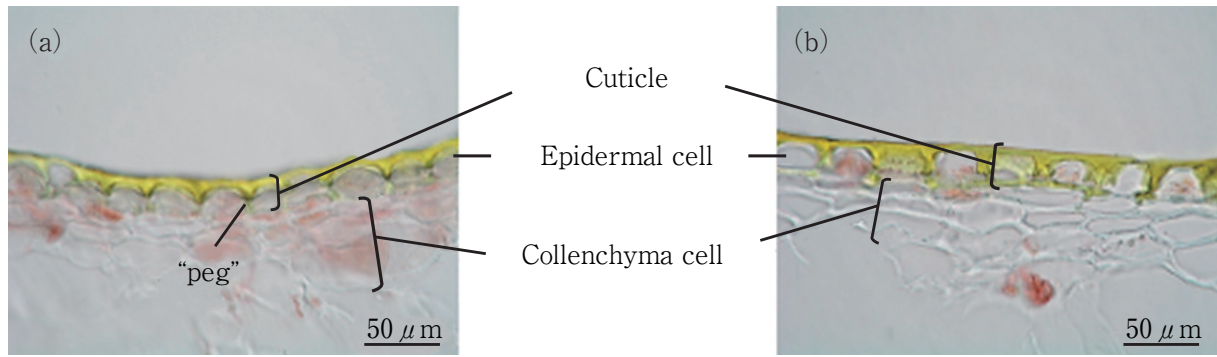


Fig. 4 Photomicrograph of epidermis in MS-II and 'Red ore'
(a) MS-II, (b) 'Red ore'

IIは'レッドオーレ'よりも低い値となり、'フルティカ'と同等であった。

外果皮におけるクチクラ層の発達程度が果皮の硬度に及ぼす影響についてはほとんど知られていないものの、Allendeら¹²⁾は、トマトの外果皮において、クチクラ層を構成するクチンやワックスがより多く集積していることが観察された品種で、果実の貫入抵抗値が高いことを報告している。本研究においても、MS-IIの果皮硬度が2品種よりも低い傾向を示すのは、MS-IIの外果皮にクチンやワックスが集積している程度が2品種よりも低いためではないかと考えられた。

MS-IIの裂果率は'レッドオーレ'よりも低かった (Table 3)。また、裂果の様相については、MS-IIでは亀裂が果実の基部から始まり、1~2 cm程度の長さに留まるものがほとんどであったのに対して、'レッドオーレ'では、基部から果頂部にかけて大きな亀裂が多数見られた。果皮の引っ張り強さや伸び率の両方、またはそのいずれかが高いトマト品種では、裂果が起こりにくいとされていることから^{13,14)}、MS-IIの果皮の伸び率は'レッドオーレ'よりも高いのではないかと考えられた。また、'フルティカ'では裂果の発生が見られなかったため、MS-IIは'フルティカ'よりも果皮の伸び率が低い可能性がある。

以上の結果から、軟果皮Sを花粉親として作出した中玉F₁系統MS-IIの果実硬度はSと同等であり、果皮硬度についてはSよりも低い値となることが明らかとなった。また、MS-IIの果実硬度および果皮硬度は、中玉のF₁品種'レッドオーレ'、'フルティカ'よりも低い値となる傾向が示された。MS-IIの果皮硬度が2品種と比較して低くなる傾向を示したが、これにはMS-IIの外果皮におけるクチンやワックスの集積程度が2品種よりも低く、クチクラ層の発達程度が低いことが関係していると考えられた。

要 約

薄果皮柔の中玉トマト品種育成を目的とし、'ファース

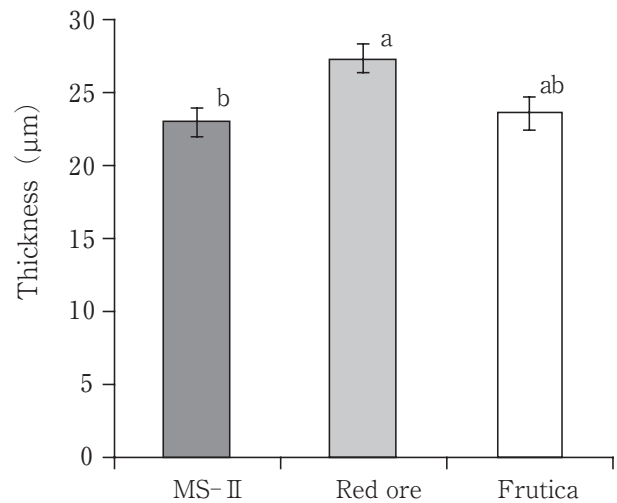


Fig. 5 Cuticle thickness of MS-II and two cultivars
Different letters indicate statistically significant at 5% level by Tukey's test.
Vertical bars indicate standard error.

ト'花粉非崩壊型雄性不稔系統 (T-4) を種子親、果皮の軟らかい小果固定系統 (S) を花粉親とするF₁雑種 (MS-II) の特性について、両親系統および既存の中玉F₁品種'レッドオーレ'、'フルティカ'のそれと比較した。両親系統と比較したところ、MS-IIの果実硬度は花粉親である軟果皮Sと同等となり、果皮硬度はSよりも低い値となった。3段階摘心栽培において、MS-IIの果実硬度は第1段階では2品種と差は無かったが、上位果房ほど両品種よりも低くなる傾向を示した。果皮硬度は、第1果房では'レッドオーレ'よりも低く、'フルティカ'よりも高かったが、上位果房ほど両品種よりも低い値となる傾向を示した。MS-IIの外果皮におけるクチクラ厚を測定したところ、'フルティカ'と同等となり、'レッドオーレ'よりも低かった。また、MS-IIのクチクラ層の発達程度が2品種よりも低いことが観察され、MS-IIの果皮硬度が2品種よりも低い傾向を示すのは、外果皮

におけるクチクラ層の発達程度が低いためと推測された。

引用文献

- 1) Masuda, M., Y. Ma, K. Uchida, K. Kato and S. G. Agong: Restoration of male-sterility in seasonally dependent male-sterile mutant tomato, *Lycopersicon esculentum* cv. First. J. Japan. Soc. Hort. Sci., **69**, 557-562 (2000)
- 2) Masuda, M., K. Kato, K. Murakami, H. Nakamura, C. O. Ojiewo and P. W. Masinde : Partial fertility restoration as affected by night temperature in a season-dependent male-sterile mutant tomato, *Lycopersicon esculentum* Mill. J. Japan. Soc. Hort. Sci., **76**, 41-46 (2007)
- 3) Masuda, M., C. O. Ojiewo, M. Nagai, K. Murakami, P. W. Masinde and W. Yu : Simulating hybrid-seed contamination risk with selfed seeds from residual fertility in a male-sterile T-4 mutant tomato, *Solanum lycopersicum* L. J. Japan. Soc. Hort. Sci., **79**, 34-39 (2010)
- 4) 梶田正治 : 「防根給水ひも」によるトマトの新規栽培手法. 農及園, **83**, 20-25 (2008)
- 5) Groth, B. H. A. : Structure of tomato skins. N. J. Agr. Exp. Sta. Bull., **228**, 3-20 (1910)
- 6) El-Sayed, M. H. K. : Inheritance of tomato fruit firmness. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., **89**, 523-527 (1965)
- 7) Lambeth, V. N. and P. Byrne : Inheritance of pericarp firmness in tomato. TGC Report, **30**, p. 25 (1980)
- 8) 吉川宏昭・上村昭二・伊藤喜三男 : トマト一代雑種の果実の堅さ. 野菜試報B, **4**, 1-14 (1982)
- 9) 上村昭二・吉川宏昭・伊藤喜三男 : トマト果実の堅さ性に関する育種学的研究. 園試研報C, **8**, 13-25 (1982)
- 10) Dominguez, E., G. López-Casado, J. Cuartero and A. Heredia : Development of fruit cuticle in cherry tomato (*Solanum lycopersicum*). Functional Plant Biology, **35**, 403-411 (2008)
- 11) Wilson L. A. and C. Sterling: Studies on the cuticle of tomato fruit I. Fine structure of the cuticle. Zeitschr. Pflanzenphysiol., **77**, 359-371 (1976)
- 12) Allende, A., M. Desmet, E. Vanstreels, B. E. Verlinden and B. M. Nicola : Micromechanical and geometrical properties of tomato skin related to differences in puncture injury susceptibility. Postharvest Biol. Technol., **34**, 131-141 (2004)
- 13) Voisey, P. W., L. H. Lyall and M. Kloek : Tomato skin strength-its measurement and relation to cracking. J. Amer. Soc. Hort. Sci., **95**, 485-488 (1970)
- 14) 上村昭二・吉川宏昭・伊藤喜三男 : トマトの裂果に関する研究. 園試報C, **7**, 73-138 (1973)