トマト '桃太郎' 追熟中の着色異常と収穫熟度および追熟温度との関係

前澤重禮¹・山田初男²・秋元浩一¹

¹岐阜大学農学部 501-11 岐阜市柳戸

²ホシザキ電機株式会社 470-11 豊明市栄町

Postharvest Yellowing of Tomato 'Momotaro' as a Function of Maturity and Ripening Temperature

Shigenori Maezawa¹, Hatsuo Yamada² and Koichi Akimoto¹

¹Faculty of Agriculture, Gifu University, Yanagido, Gifu 501-11

²Hoshizaki Electric Co., Ltd., Sakae, Toyoake, Aichi 470-11

Summary

Undesirable changes in color from green to yellow (abnormal coloring) on part of the surface of tomato 'Momotaro' are often observed after harvest. In this study, the effects of harvest maturity of the fruits and postharvest ripening temperature on their abnormal yellowing were investigated. Tomatoes 'Momotaro' of five kinds of maturities (indices are as follows : 5=mature green, 4=pinkish-white, 3=pink, 2=red, 1=fully ripe) were incubated at various temperature in the range of 10 °~35 °C.

1. Abnormal coloring occurred when fruits with maturity index greater than 3 were ripened at the temperatures above 25 °C and below 15 °C.

2. Flesh firmness and total soluble solids contents (TSS) of ripe fruit were not influenced by the stage of maturity at harvest or the ripening temperature.

3. There were no significant changes in sugar contents of tomato harvested at any maturity index, whereas the citric acid content tended to show a decrease; malic acid content remained nearly constant.

Our limited data indicate that the 'Momotaro' tomato under our current distribution systems should be harvested at a maturity index of 3 (pink stage) and kept at 20 °C to ripen normally.

緒 言

トマトは追熟性の強い果実の一つである。樹上完熟状態での収穫は、一般的流通過程において過熟による軟化や傷害発生の原因となりやすいため、樹上完熟よりやや早い段階で収穫し流通させることが定着している。近年、果肉が硬く熟度が進んでも変質しにくい完熟型トマトが育成され（芦澤・町田，1990），その代表的品種である '桃太郎' が市場で優勢となっている。トマト '桃太郎' の収穫熟度は、一般に果頂部から赤道部が赤桃色で、基部付近に緑色が残る状態である。しかし、消費地の市場において基部の緑色部が赤くならず濁黄色になる着色異常果がしばしば出現すること

があり、市場価格が1~2割低下するため産地において問題視されている。このような着色異常の原因については色素の発現の温度依存性が考えられるが（伊藤，1977），流通技術の対応として検討された例は少ない。そこで、本研究では現在の流通形態や消費動向にそくした流通技術開発の一環として、トマト果実 '桃太郎' の着色異常に及ぼす収穫熟度と追熟温度の影響を調べ検討した。

材料および方法

岐阜県郡上郡で栽培されたトマト '桃太郎' を収穫後、ただちに研究室に搬送して供試材料とした。収穫時の熟度は岐阜トマト選別標準規格表による着色度1~5の5段階であり、熟度1は全面着色の完熟果、熟度2, 3, 4はそれぞれ約8割, 5割, 3割着色果、熟度5が全面未着色の緑熟果である。追熟温度は10 °~35 °C

1993年1月7日 受理。

本研究の一部は文部省科学研究費（課題番号 02304018）の助成により行われた。

まで 5℃ 間隔の 6 区を設定した。供試果実数は各実験区ごとに 10 個とした。果実は各収穫熟度ごとに出荷用段ボール箱（縦 295 mm, 横 420 mm, 高さ 80 mm）に入れ、各温度に設定した恒温器（日立製作所製, CR-41）の中に静置した。追熟中は毎日外観評価と果皮色測定を行い、熟度が完熟着色度である 1 になった時点、あるいは着色異常が著しくなった時点で実験を終了し、その時点（追熟完了時）の果皮色、硬度、屈折計示度、有機酸含量を測定し、さらに食味検査を実施した。果皮色は色差直読デジタル測色色差計（日本電色工業製, 503 DE）によってハンター表色系の L, a, b 値を求め、色相変化の指標として a/b 値であらわした（岩田, 1977）。硬度は果実硬度計（直径 10 mm の半球型貫入部, 木屋製作所製）を用いて果実赤道部を果皮上から貫入して測定した。磨砕した果実を吸引ろ過し、得られた果汁について、手持ち屈折計（エルマ光学製）により屈折計示度を測定した。糖および有機酸分析は各収穫熟度の収穫直後および 20℃ 実験区について追熟完了時に行った。糖含量は屈折計用試料と同じ果汁について、高速イオン交換クロマトグラフィー（島津製作所製 LC-6 A, カラム: 内径 8 mm, 長さ 500 mm, 樹脂: LiChrosorb-NH₂, 検出器: 示差屈折計 Shodex RI SE-11, 試料量 20 μl）により各糖の溶出パターンのピーク面積から算出した（長谷, 1982）。有機酸含量も同試料について、細管式等速電気泳動法（島津製作所データ処理装置付きキャピラリー等速電気泳動装置 IP-3 A, キャピラリー泳動管: 外径 2 mm, 内径 0.7 mm, 電位勾配検出器, 試料量 2 μl）により、泳動ゾーン分析チャートの各微分ピーク間距離から算出した（Beckers・Everaerts, 1972）。食味検査はトマトを 1/8 にカットしてゼリー部を含む果肉部について、研究室の 4 人の学生による 5 点評価法を実施した。食味項目は 5 段階で評価し、甘味、酸味、香りについては 1=なし, 3=普通, 5=強い、硬さについては 1=硬い, 3=普通, 5=軟らかい、食味総合については 1=悪い, 3=普通, 5=良いとし、各項目とも 3 を商品価値限界とした。

結 果

トマトの緑熟果は成熟過程において、まず果頂部から赤色に着色し、最後に基部の緑色が赤色となり完熟果となる。未熟果で収穫したトマト「桃太郎」においては収穫時に残る緑色が赤色にならずに濁黄色になる着色異常が観察されることがある。本稿では、緑色が濁黄色になる着色異常を黄変、そしてその果実を黄果と呼ぶことにした。

呼ぶことにした。

1. 着色異常の発生状況

各実験区における追熟中の外観評価の結果（黄果発生状況）を第 1 図に示した。黄果発生は収穫熟度 3 以上の未熟果で追熟温度が 20℃ 以外の温度区においてのみ確認された。発生時期は追熟温度に依存し、25℃ 以上の温度区では収穫後 1~2 日、15℃ 以下の温度区では収穫後 2~5 日であり、低温ほど遅れる傾向がみられた。いったん黄変した果実を本来黄変しない温度条件（20℃）に移したところ、完全に正常な果色になることはなかったが黄変部は若干赤色になった。

2. 果皮色

a/b 値の経日変化を第 2 図に示した。a/b 値はすべての温度区において増加傾向を示した。a/b 値の増加程度は 25℃ 区が最も大きく、25℃ から離れた温度区は小さくなった。

収穫熟度 3 の果実を 2 日間 30℃ で追熟させ、3 日後に温度を 20℃ に変えた実験区と終始 20℃ で追熟させた実験区についての a, b 値それぞれの変化を第 3 図に示した。黄変しなかった温度一定区では、追熟時間と共に a 値は増加し b 値は減少した。一方、30℃ 区で黄変した果実では追熟時間と共に a 値は増加したが b 値も増加した。しかし、黄変果の追熟温度を 20℃ に下げると、a 値は増加し続けたが、b 値は正常果と同様減少する傾向を示した。これは上述の外観果色変化を裏付ける結果である。

追熟温度及び追熟日数から a/b 値の変化を予測するため重回帰分析を行い、次の式を得た。

$$Y = -0.0366 d^2 + 0.4654 d + 0.7260 i$$

$$-0.0254 t + 0.2517$$

$$Y = a/b \text{ 値}, d = \text{経過日数 (日)}$$

$$i = \text{収穫直後の } a/b \text{ 値}$$

$$t = 25^\circ\text{C} \text{ と追熟温度の温度差 } (^\circ\text{C})$$

$$\text{重相関係数} = 0.9376, \text{ 寄与率} = 87.4\%$$

3. 硬度、屈折計示度

収穫直後の硬度は収穫熟度に依存し、熟度 1 の果実は 2.6 kg, 熟度 5 の果実は 3.1 kg で未熟な果実ほど硬度は高かった。しかし、追熟後の硬度は収穫熟度と追熟温度に関係なくほぼすべての実験区で 2.1~2.8 kg となり、収穫直後の値より小さくなり、追熟による硬度の低下が観察された。

収穫直後の屈折計示度は、熟度による差は認められず 5.2~5.5 であった。収穫熟度や追熟温度が違っても追熟後の屈折計示度に大きな差は観察されなかった。

Fig. 1. Changes in surface color of tomato 'Momotaro'.

Maturity was estimated on the basis of the Selection Standard for Tomato Fruits, which was established in Gifu Prefecture. 5 : mature green, 4 : turning, 3 : pink, 2 : red, 1 : fully ripe.

xx : surface parts noticeably yellow, x : parts of tomato appearing yellow, ~~~~ : portions of tomato clearly becoming yellow, ----- : tomato ripened at each ripening temperature and then transferred to 20 °C, ◎ : tomatoes were ripened completely, and ○ : the tomato remained green.

4. 糖および有機酸含量

収穫直後と 20 °C で追熟後の糖含量, 有機酸含量を第 1 表に示した. 糖については, 収穫直後のトマトには果糖とブドウ糖がほぼ同程度の比率で含まれていて, 収穫熟度とは関係なく全糖値は 2.6~3.0% の範囲であった. また追熟後には糖含量は多少増減したが, 収穫熟度の違いによる傾向は見られなかった.

収穫直後のクエン酸およびリンゴ酸含量を比較すると, 圧倒的にクエン酸が多かった (比率は約 10:1). また収穫直後は, 未熟な果実ほど両酸含有量が高い傾向を示した. 追熟により両酸含量は減少したが, 追熟

後の両酸含量には収穫熟度にかかわらずほとんど差は認められなかった. すなわち, 追熟により未熟な果実ほど有機酸含量が減少したことになる.

5. 食 味

収穫直後と追熟後の食味総合評価の結果を第 4 図に示した. 収穫直後の食味総合評価は, 熟度 1 の果実が最も高く, 熟度 5 の果実は酸味が強く歯ざわりが硬いため評価が低かった. 追熟後の総合評価は各温度とも収穫熟度に依存するような変化は認められなかった. 一方, 各熟度において, 追熟温度の効果をみると, 熟度 1 の果実は 30 °C 区が, 熟度 2 の果実は 25 °C 区が,

熟度3と5の果実は20℃区が、熟度4の果実は15℃区の評価が最も高く、20℃前後の評価が高くなる傾向がみられた。

食味評価における各成分間関係を相関行列でまとめ第2表に示した。甘味(A)と硬さ評価(D)は食味総合評価(E)と正に相関を示したが、クエン酸とリンゴ酸の合計であらわした有機酸含量(H)は食味総合評価(E)と負の相関を示した。また、酸味(B)と有機酸(H)の間には正の相関が認められたが、甘味(A)は屈折計示度(G)と有意な相関を示さなかった。

Fig. 2. Changes in a/b values of 'Momotaro' fruit at maturity 5 ripened at various temperatures. Tomatoes with maturity 5 (mature green) were used. Ripening temperatures were 10 °C (▽), 15 °C (○), 20 °C (○), 25 °C (△), 30 °C (□) and 35 °C (●).

考 察

本研究では、種々の収穫熟度のトマト'桃太郎'について追熟過程における着色異常(黄果発生)に及ぼす収穫熟度と追熟温度の影響を調べた。

黄果発生は、収穫熟度3以上の未熟な果実において、また追熟温度20℃を除くすべての温度区において観察された。その発生時期は熟度には依存せず温度に依存し、低温ほど遅れる傾向を示した。トマト果実の果色には、リコピン、β-カロチン、キサントフィルなどの色素が関与し、果肉と果皮ではカロチン-リコピン比が異なると考えられるが、本研究では市場取引に

Fig. 3. Changes in a and b values of tomato 'Momotaro' harvested at maturity index 3 (pink stage) and ripened for; A: at 20 °C for 4 days, B: at 30 °C for 3 days and at 20 °C for 2 days. Numbers adjacent to the symbols represent the days after harvest.

Table 1. Total sugar and organic acid contents of tomato 'Momotaro' harvested at different maturity indices and ripened at 20°C for 4 to 5 days.

Maturity ²	At harvest			After ripening		
	Total sugars (%)	Citric acid (%)	Malic acid (%)	Total sugars (%)	Citric acid (%)	Malic acid (%)
5	2.84	0.83	0.07	3.05	0.52	0.03
4	3.05	0.73	0.06	2.83	0.66	0.04
3	2.63	0.71	0.07	3.19	0.61	0.05
2	2.80	0.63	0.05	2.25	0.63	0.04
1	2.62	0.64	0.05	—	—	—

² Maturity is estimated on the basis of the Selection Standard for Tomato Fruits, which was established in Gifu Prefecture.

5: mature green, 4: pinkish-white (turning), 3: pink, 2: red, 1: fully ripe.

大きく関与する表面色に着目して果皮色を測定した。リコピンの生成は 18℃～24℃ という狭い温度領域で最適であるのに対し (Duggar, 1913; 伊藤, 1977; Went ら, 1942), β -カロチン, キサントフィルの生成は温度の影響を強く受けないことが報告されている (Sink ら, 1974)。さらに高橋・中山 (1962) は, リ

コピン合成の最適温度は 20℃ 前後で, それより高くても低くても合成が抑制されることを報告している。これらのことから, 本研究で 20℃ 区以外で黄果発生がみられたのはリコピンの生成量が少なかったためと推定できる。つまり, リコピン生成の低下が黄変の原因の一つではないかと考えられる。一方, 低温ほど黄

Fig. 4. Overall evaluation for taste of tomato 'Momotaro'. A : harvested at maturity index 1 to 5, and B : after ripening at various temperatures. In each block, the maturity scale from 1 to 5 goes from left to right. The numbers 1 to 5 on the vertical axis represent the estimated level of overall evaluation for tomato taste; 1 =bad, 5=good. The vertical bars are the confidence limits at 95%.

Table 2. Correlation matrix on qualities of tomato 'Momotaro'. Capital letters represent components estimated and measured for texture and taste of tomato fruits. Decimal points of *r* values are omitted.

	A	B	C	D	E	F	G	H
Estimations of tastes								
A		-59	49	56	77	39	24 ⁿ	-67
B			-25 ⁿ	-48	-35 ⁿ	-07 ⁿ	07 ⁿ	68
C				46	42	-18 ⁿ	-08 ⁿ	-36 ⁿ
D					77	04 ⁿ	-16 ⁿ	-59
E						28 ⁿ	15 ⁿ	-53
Measured values								
F							56	-39
G								07 ⁿ
H								

A: sweetness, B: sourness, C: aroma, D: flesh firmness, E: Overall evaluation, F: total sugar content as determined by LC, G: total soluble solids contents as measured with a refractometer, and H: total organic acid contents (citric + malic acids). The coefficient of correlation, *r*, with super-script 'n' is not significant at the 5% level. Each component of taste and texture was estimated by five-point evaluation method (for details, see text).

果発生が遅れ緑色が保持されたのは、低温では果実の代謝機能が抑制され葉緑素の分解が遅れた結果であると考えられる。また、黄変した果実を 20℃ 環境下に移すと、果色が若干赤くなり b 値が減少したのはリコピンの生成量が増大したためと推察することができ、黄変に対して温度制御が有効であることを示唆している。また、この現象は 35℃ に貯蔵したトマト果実を適温状態に移すとリコピンが急激に発現したと報告している高橋・中山 (1962) の報告と一致する結果であった。

本研究で求めた糖および有機酸の成分組成は、'桃太郎' 以外の品種 (稲葉ら, 1980; 中村ら, 1986; 大久保・前沢, 1966) と類似する結果であった。また、有機酸含量を収穫直後 (樹上成熟果) と追熟後 (追熟果) で比較すると、収穫直後の未熟な果実ほど多くなっているが、追熟後は収穫熟度による差が認められなかった。これは、未熟な果実ほど追熟期間が長くなり、酸が呼吸基質として消費され減少したためと考えることができる。これに対して糖含量及び屈折計示度は、収穫直後と追熟後に差は認められなかったため、追熟中の品質変化を知るには糖含量よりも有機酸含量の変化を指標とすることが適当であると思われる。

本研究で用いた '桃太郎' の食味評価は、同一追熟温度では樹上完熟果 (熟度 1) が最も高くなっており、樹上完熟トマトの食味は一般的に追熟トマトよりも良好であるとした報告 (Bisogni・Arambruster, 1976; 万豆・水戸, 1966; 大久保・前沢, 1965) と一致した。一般にトマト果実において、糖および有機酸含量が高いと食味は良好であるとされている (Kader ら, 1977; Stevens ら, 1979)。本研究でも食味総合と甘味評価の間に相関性が認められ甘味の強い果実ほど食味が良いという結果になった。しかし、食味および甘味総合評価に対して糖含量は有意な相関性を示さなかったが、これは官能検査では実験で求められる糖含量の差を識別できないことに起因するのであろう。一方、食味総合と硬さの間には有意な相関が認められ、トマトを口にしたときの歯ざわりが食味に大きな影響を与えていると見なすことができる。この歯ざわり具合を定量的に示すと考えられる硬度は、低温ほど高い傾向がみられたため、食味評価を向上させる点でも追熟温度には細心の注意を払う必要があることがわかった。一般に熟度は果皮色と硬度によって評価されることが多いが、本実験での両者の関係、すなわち果皮色 a/b 値と硬度の相関係数は 0.93 となり高い相関が認められ

た。

トマトの品質判定には果色と味が主要な要素になるとされている (大竹, 1990)。本研究により、この両者は収穫熟度と追熟温度の影響を強く受けることが明らかにされ、さらに赤色着色にはリコピン生成が深く関与し、良好な着色状態を達成されるためには収穫後の追熟温度をリコピン生成の最適温度である 20℃ 前後に設定することが重要であることがわかった。高温下では黄果の発生が著しく、味が劣るため、30℃ 以上の追熟環境は避けなければならない。逆に 15℃ 以下では、果実の着色を遅らすことはできるが、流通期間が長くなると果色評価および食味評価の低下が避けられず、適当な時期に 20℃ に移すことが必要と考えられる。

トマト '桃太郎' は熟しても比較的果皮が硬いとされるものの流通期間が長ければ過熟になってしまう。そのため、流通中の過熟を軽減しかつ黄果発生を避けるには、少し未熟な熟度 3 の果実を収穫するのがよいと思われる。

摘 要

トマト果実の流通技術システムの開発の一環として、完熟型トマト '桃太郎' を用いて収穫後における着色異常 (黄変) や品質に及ぼす収穫熟度と追熟温度の影響を検討した。

1. 収穫後 6 段階の温度条件 (15℃~35℃) で追熟させたところ、黄変は収穫熟度 3 以上の未熟果を 25℃ 以上および 15℃ 以下で追熟した区で観察された。

2. 追熟後の硬度および屈折計示度は収穫熟度および追熟温度にかかわりなく、同程度の硬度および屈折計示度を示した。

3. 追熟による糖含量の変動は小さく、収穫熟度による差も小さかった。一方、追熟によるクエン酸含量は減少傾向を示したが、リンゴ酸含量はほぼ一定のままであった。

以上の結果から、トマト '桃太郎' 流通中の品質・食味変化を考慮し、かつ黄果発生を軽減するには、熟度 3 の果実を収穫し約 20℃ で流通させることが望ましいことがわかった。

引用文献

- 芦澤正和・町田 裕. 1990. 野菜・果実の種類と市場性. p. 20-65. 安井秀夫編. 青果物流通入門. 技報堂, 東京.
- Beckers, J. L. and F. M. Everaerts. 1972. Iso-tachophoresis : The qualitative separation of

- anion. J. Chromatogr. 69 : 165-179.
- Bisogni, C. A. and G. Arambruster. 1976. Quality comparisons of room ripened and field ripened tomato fruits. J. Food Sci. 41 : 333-338.
- Duggar, B. M. 1913. Lycopersicon, the red pigment of the tomato, and the effect of conditions upon its development. Wash. Univ. Studies 1. part 1 : 22-45.
- 長谷 幸. 1982. 高速液体クロマトグラフィーによる糖類の分析法. p. 221-228. 日本食品工業学会・食品分析法編集委員会編. 食品分析法. 光琳書房, 東京.
- 万豆剛一・水戸喜平. 1966. トマトの収穫後の温度と着色品質. 農及園. 41 : 87-88.
- 稲葉昭次・山本努・伊東卓爾・中村怜之輔. 1980. トマト樹上成熟果実及び追熟果実の成熟様相と食味の比較. 園学雑. 49 : 132-138.
- 伊藤三郎. 1977. 青果物の食品化学的特性. p. 12-33. 緒方邦安編. 青果保蔵汎論. 建帛社, 東京.
- 岩田 隆. 1977. 青果物の品質測定. p. 286-289. 緒方邦安編. 青果保蔵汎論. 建帛社, 東京.
- Kader, A. A., M. A. Stevens, M. Albright, L. L. Moris and M. Algazi. 1977. Effect of fruit ripeness when picked on flavor and composition in fresh market tomatoes. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 103 : 6-13.
- 中村怜之輔・稲葉昭次・伊東卓爾・今永 孝. 1986. 振動によるトマトとナシ果実の有機酸含量の変化. 園学雑. 55 : 99-103.
- 大久保増太郎・前沢辰雄. 1965. 青果物の鮮度保持に関する研究. (第2報). 長距離輸送トマトの追熟におよぼす温度, 採取熟度およびポリエチレン包装の影響. 千葉農試研報. 6 : 181-190.
- 大久保増太郎・前沢辰雄. 1966. 青果物の鮮度保持に関する研究. (第3報). トマトの追熟におよぼすポリエチレンおよびビニールフィルム包装の影響. 園学雑. 35 : 277-283.
- 大竹良知. 1990. トマトの品質と消費者の嗜好. 園学東海支部シンポ資料. 園芸学会東海支部. 36 : 32-35.
- Sink, K. C., Jr., R. C. Herner, and L. L. Knowlton. 1974. Chlorophyll and carotenoids of the rin tomato mutant. Can. J. Bot. 52 : 1657-1660.
- Stevens, M. A., A. A. Kader, and M. Albright. 1979. Potential for increasing tomato flavor via increased sugar and acid content. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 104 : 40-42.
- 高橋敏秋・中山昌明. 1962. トマト果実の着色に関する研究. (第8報). 色素含量に及ぼす貯蔵温度の影響. 園学雑. 31 : 325-328.
- Went, F. W., A. L. Le Rosen and L. Zechmeister. 1942. Effect of external factors on tomato pigment as studied by chromatographic methods. Plant Physiol. 17 : 91-100.