

成熟遺伝子型の異なるトマト緑熟果実の果皮色変動予測モデル

誌名	日本食品保蔵科学会誌
ISSN	13441213
著者名	中村,宣貴 Thammawong,M. 金原,淳司 伊藤,博孝 北川,麻美子 稲熊,隆博 伊藤,康博 北澤,裕明 石川,豊 春見,隆文 椎名,武夫
発行元	日本食品保蔵科学会
巻/号	37巻2号
巻号補足	
掲載ページ	p. 61-67
発行年月	2011年3月

成熟遺伝子型の異なるトマト緑熟果実の果皮色変動予測モデル

中村 宣貴*¹・タンマウォン マナスイカン*¹・金原 淳司*²
 伊藤 博孝*²・北川麻美子*²・稲熊 隆博*²・伊藤 康博*¹
 北澤 裕明*¹・石川 豊*¹・春見 隆文*³・椎名 武夫*^{1§}

* 1 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構食品総合研究所

* 2 カゴメ株式会社総合研究所

* 3 日本大学生物資源科学部

Prediction of Pericarp Color Changes Based Upon Cumulative Ethylene Production for Several Tomato Varieties with Different Ripening Inhibitor Genotypes

NAKAMURA Nobutaka*¹, THAMMAWONG Manasikan*¹, KINBARA Junji*²
 ITO Hiroataka*², KITAGAWA Mamiko*², INAKUMATA Takahiro*², ITO Yasuhiro*¹
 KITAZAWA Hiroaki*¹, ISHIKAWA Yutaka*¹, KASUMI Takafumi*³ and SHIINA Takeo*^{1§}

* 1 National Food Research Institute, NARO, 2-1-12 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305-8642

* 2 Kagome Co., Ltd., 17 Nishitomiya, Nasushiobara, Tochigi 329-2762

* 3 College of Bioresource Sciences, Nihon University, 1866 Kameino, Fujisawa, Kanagawa 252-0880

In order to develop a pericarp color prediction model applicable to different varieties of mature green tomatoes, the CO₂ output rate, C₂H₄ production rate, and pericarp color (a* value) of four tomato varieties (Momotaro, PK331, PK353 and KGM011) were investigated during the storage of tomato at 25° C. Momotaro and PK331 are normal lines, PK353 is a *rin* (ripening inhibitor) mutant line, and KGM 011 is an F1 hybrid line between PK331 and PK353. Time course analysis revealed the significant effect of the different varieties and individual tomato samples on the monitored parameters. However, changes in the pericarp color of the different varieties of tomato, except PK353, correlated well with the cumulative ethylene production. Consequently, a mathematical model for predicting the pericarp color of each individual sample on the basis of its cumulative ethylene production was developed as a sigmoid-type function. Calculation results obtained by using the model and by considering all the data of three varieties – all the varieties other than PK353 – showed a high correlation coefficient (R² = 0.97). Therefore, there appear to be a possibility of developing a method involving the use of the model with cumulative ethylene production as a variable for predicting changes in the pericarp color of tomato fruits of all varieties.

(Received Oct. 25, 2010 ; Accepted Jan. 17, 2011)

Key words : tomato, *rin* mutant gene, ethylene production, pericarp color, prediction model

トマト, *rin*変異遺伝子, エチレン生成量, 果皮色, 予測式

トマトは主要な青果物であるだけでなく、遺伝子解析における重要なモデル作物の一つである。国際協調研究体制のもとで国際ナス科ゲノムプロジェクト (SOL) が進み¹⁾、現時点で解読されたトマトの遺伝子の約8割がweb上で公開されている²⁾。また、品種開発も活発に

行われており、日本における2009年3月31日現在における登録品種数は、果菜類の中で、いちご、りんご、ももに次いで4番目に多い³⁾。また、変異体が多く知られており、成熟に関する変異体として、*rin* (ripening inhibitor), *nor* (nonripening), *Nr* (never ripe) などが

* 1 〒305-8642 茨城県つくば市観音台2-1-12

§ Corresponding author. E-mail: shiina@affrc.go.jp

* 2 〒329-2762 栃木県那須塩原市西富山17番地

* 3 〒252-0880 神奈川県藤沢市亀井野1866

研究対象として良く用いられる^{4),5)}。

カゴメ(株)総合研究所では、高日持ち性トマトの開発を目的として、*rin*変異系統を用いた交配により、複数の*RIN/rin*遺伝子型のF1系統を育成した⁴⁾。これらのトマトは正常に成熟し、かつ日持ち性が高いという特徴を有しており、その中で品質のよい系統が‘KGM011’として2005年に品種登録されている。‘KGM011’については、リコペン含量、PG活性、エチレン生成速度など、様々な成熟に関連する項目において、通常型と*rin*変異型の中間的な特徴を示すことが報告されている^{6),7)}。

農産物一般に関して、流通時の物理的損傷を低減し、高品質な状態で消費者に供給するためには、流通過程における外観、硬さなどの変動を予測し、利用時の品質が最高となるような条件の解明が重要である。従来、トマト果実は追熟開始時期がばらつくことから、緑熟(Mature Green, MG)果の追熟変動予測モデルの作成は困難であると報告されている⁸⁾。一方、トマト果実の果実硬度および果皮色に関する精度のよいモデルが作成されている^{9),10)}、その予測式のパラメータには生物学的な年齢(個々の果実において、一定の熟度に至るまでの時間)が導入されており、追熟開始時期の予測を回避している。また、式の性質上、個体差を表現することは不可能である。筆者らは、既報¹¹⁾において、トマト果実‘桃太郎’の追熟特性を詳細に検討し、積算エチレン生成量を用いることで、MG果の追熟中の果皮色、果実硬度の変化を予測できることを示した。トマト果実の追熟過程における品質変動を予測することができれば、流通耐性の高い品種の選抜や高品質トマトの流通技術の開発が期待できる。しかし、この手法が‘桃太郎’以外の品種に適用できるかどうかについては不明である。

そこで、本研究では、‘桃太郎’、‘KGM011’および‘KGM011’の親品種(母系:‘PK331’、父系:‘PK353’)を対象として、二酸化炭素排出速度、エチレン生成速度および果皮のa*値(赤さの指標)の変動について詳細な解析を行った。また、それぞれの品種において、積算エチレン生成量を用いたa*値変動予測式を作成・評価した。さらに、異なる成熟遺伝子をもつトマト品種にも適用可能なa*値変動予測式について検討した。

実験方法

1. 供試材料

(1) 品種 実験には、‘PK331’、‘PK353’、‘KGM011’および‘桃太郎’の4品種を用いた。

‘PK331’は、カゴメ(株)所有の育成系統に通常遺伝子型(*RIN/RIN*)のマスター2号を交配して得た通常遺伝子型の選抜系統である。

‘PK353’は、*rin*遺伝子をホモ(*rin/rin*)でもつカリフォルニア大学所有のLA3012に、カゴメ(株)所有の育成系統を交配して得た変異型(*rin/rin*)の育成品種である。LA3012と同様に*rin*変異遺伝子をホモでもつため、

着色、軟化が進行しないことが特徴である。

‘KGM011’は、‘PK331’を母系、‘PK353’を父系にもつ交雑品種であり、*rin*遺伝子をヘテロ(*RIN/rin*)でもつ。品種特性としては、正常に成熟し、かつ日持ちがよいことが報告されている^{5)~7)}。

(2) 供試材料 供試材料には、栃木県那須塩原市内のカゴメ(株)総合研究所で温室栽培されたMG果を用いた。実験前日に大きさ、形のそろったMG果を収穫し、茨城県つくば市の食品総合研究所まで乗用車で輸送後(輸送時間約3h)、設定温度25℃の恒温庫内で12~18時間保管し、品温調整を行った。庫内湿度はなりゆきであるが、保蔵中は段ボール箱にポリエチレンフィルムをかけ、水分の蒸散を極力抑える対策を行った。なお、MG果はMG1-MG4まで分類することが可能である¹²⁾。本実験の供試材料は既報¹¹⁾と同様に目視および質量による選別のみを行い、開花後日数などによる詳細な熟度調整は行わなかったが、本実験で入手したトマト果実の中からランダムに個体を選び、収穫直後にその内部を収穫直後に観察したところ、すべての果実がMG3(子室組織がゼリー状かつ緑色)に分類された。保蔵実験に用いた果実もMG3と同様な成熟程度であったと考えられる。また、品種特性を評価するため、桃熟果(Pink, P果)、完熟果(Red, R果)も同様に供した。実験に供した‘PK331’、‘PK353’、‘KGM011’および‘桃太郎’の平均質量は、それぞれ134.2±8.6、133.6±11.2、122.4±5.2および93.0±8.6gであった(±以下は標準偏差)。

2. 保蔵条件

トマト果実は、トマトの輸送に用いられるパルプモールドトレイを敷いた段ボール箱に果実を詰め、ポリエチレンフィルムを被せた状態で保蔵した。呼吸およびエチレン生成速度測定用の果実は、測定前のハンドリングによる物理的な刺激が測定結果に及ぼす影響¹³⁾を避けるため、後述の測定用チャンバ内に入れた状態で保蔵した。保蔵温度は設定温度25℃とし、予備実験により設定温度と庫内温度および12h静置後の果実品温との差が0.5℃以内であることを確認した。保蔵期間は、果実が完全に着色し、その後のa*値の変動が十分小さくなるまでの期間として、最大27日間とした。

3. 測定項目

各トマト品種の追熟特性を評価するため、MG果を用いて二酸化炭素排出速度、エチレン生成速度、果皮色について、経時変化を測定した。

4. 測定方法

(1) 二酸化炭素排出速度、エチレン生成速度 試料果実を、恒温庫内に設置したアクリル製のチャンバに密閉し、ガスタイトシリンジでチャンバ内ガスを1ml採取し、密閉直後、1h後および2h後のガス濃度を測定した。なお、品種の特性評価時には5個のサンプルを容積約3ℓのチャンバに、果実個々の追熟特性評価時には果実を容積約1ℓのチャンバに入れて、それぞれ測定し

た。また、チャンバの密閉性については、事前に漏れのチェックを行い、問題ないレベルであることを確認した。二酸化炭素の分析にはガスクロマトグラフ（島津製作所製，GC-6 A，カラムは島津製作所製，ZY-1）を用い，キャリアガスはヘリウム（流量60ml・min⁻¹），検出器はTCD，カラム温度およびINJ/DET温度はそれぞれ70，80℃とした。エチレンの分析にはガスクロマトグラフ（島津製作所製，GC-8 A，カラムは島津製作所製，Porapaq N）を用い，キャリアガスはヘリウム（流量40 ml・min⁻¹），燃焼ガスは水素，検出器はFID，カラム温度およびINJ/DET温度はそれぞれ140，160℃とした。測定は，密閉直後および2 h後に行い，測定終了後に果実個々の質量および体積（水置換法）を測定した。そして，既報¹¹と同様に，容器内のガス濃度変化，空隙体積および質量から，（1）式を用いて呼吸速度，（2）式を用いてエチレン生成速度を，それぞれ算出した。

$$Q_c = \frac{\Delta C_c \times (V_0 - V) \times \rho_c \times T_0}{10^2 \times T \times M \times t} \dots\dots\dots (1)$$

$$Q_E = \frac{\Delta C_E \times (V_0 - V) \times \rho_E \times T_0}{10^2 \times T \times M \times t} \times 10^3 \dots\dots\dots (2)$$

ここで，Q_c：二酸化炭素排出速度（mg・kg⁻¹・h⁻¹），Q_E：エチレン生成速度（μg・kg⁻¹・h⁻¹），ΔC：ガス濃度差（%），V₀：チャンバ容積（ℓ），V：果実体積（ℓ），ρ：ガスの密度（g・ℓ⁻¹），T：測定温度（K），T₀：273.15（K），M：サンプル質量（kg）である（添え字のCは二酸化炭素，Eはエチレンを表す）。

（2）果皮色 トマト果実の着色の指標として，L*a*b*表色系におけるa*値を用いた。果実赤道部の2か所について測定を行い，その平均値を果実の色の代表値とした。経時変化を測定するサンプルについては，測定箇所をマーキングし，常に同じ位置を測定した。測定には積分球式分光測色計（スガ試験機製，MSC-1 S-2 D）を用いた。

（3）追熟予測モデルの作成，評価 トマト果実の追熟にかかわる遺伝子発現の誘導，活性化においては，エチレンが重要な役割を果たす^{14,15}。また，既報¹¹において，呼吸速度，エチレン生成速度，保蔵日数と着色の関係について検討した結果，積算エチレン生成量が果皮色（a*値）と最も高い相関を示した。そこで，積算エチレン生成量を独立変数とし，下記のシグモイド型曲線で表されるトマト果実のa*値の予測式を作成した。

$$A = \frac{a}{1 + e^{(b \cdot x)}} + c \dots\dots\dots (3)$$

ここで，A：a*値（-），x：積算エチレン生成量（μg），a，b，c：最小二乗法により算出される定数である。積算エチレン生成量を変数とする（3）式を用いてa*値を予測し，実測値と予測値の決定係数および標準偏差を求めた。また，品種ごとの予測式を作成するとともに，PK 353を除く3品種の測定データを用いた統一的な予測式の作成を試みた。

結果および考察

1. トマト品種の熟度特性

異なる熟度（MG果，P果およびR果）で収穫した各トマト品種の二酸化炭素排出速度をFig.1に示す。'PK 353' 以外の3品種は，P果において呼吸速度が高い，いわゆるクライマクテリック型の呼吸特性を示した。一方，'PK353' は，熟度の違いによる呼吸速度の差異は小さかった。

エチレン生成速度の測定結果をFig.2に示す。エチレン生成速度を品種間で比較すると，呼吸速度の結果と同様であったが，品種間および熟度による差がより顕著であった。すなわち，'KGM011' のエチレン生成速度は 'PK331' および '桃太郎' のその3分の1程度であり，'PK353' では，いずれの熟度でもエチレン

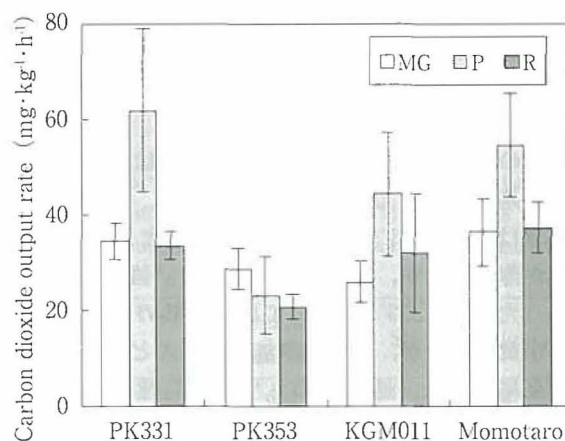


Fig. 1 Comparison of the carbon dioxide output rate of tomatoes (cultivars PK 331, PK 353, KGM 011 and Momotaro) harvested at the mature green (MG), pink (P), and red (R) stages and stored at 25°C

Data are given in the form mean±S.D. (n=5)

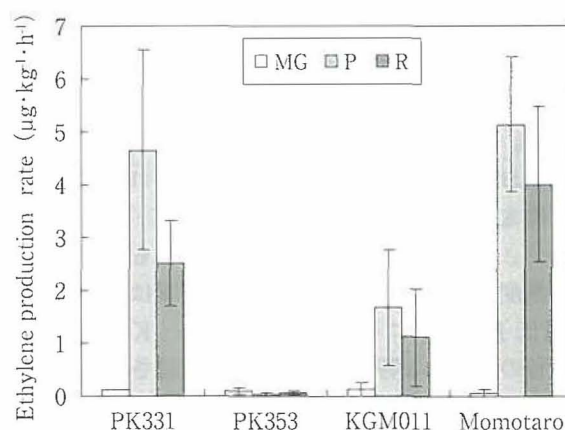


Fig. 2 Comparison of the ethylene production rate of tomatoes (cultivars PK 331, PK 353, KGM 011 and Momotaro) harvested at the mature green (MG), pink (P), and red (R) stages and stored at 25°C

Data are given in the form mean±S.D. (n=5)

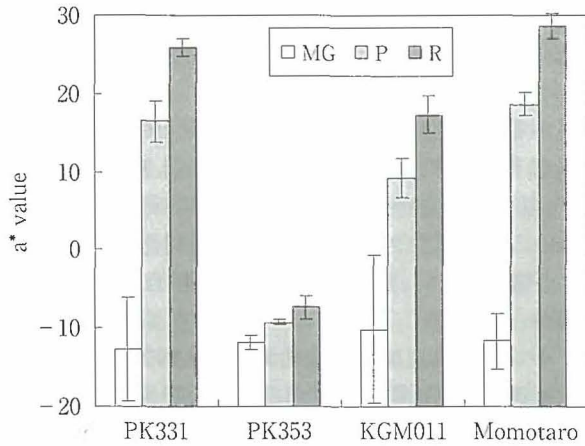


Fig. 3 Comparison of the a^* value among tomatoes (cultivars PK331, PK353, KGM011 and Momotaro) harvested at the mature green (MG), pink (P), and red (R) stages and stored at 25°C

Data are given in the form mean \pm S.D. ($n = 5$)

はほぼ検出限界以下の濃度であった。

a^* 値の測定結果をFig. 3に示す。 a^* 値は、成熟の進行に伴い増加した。目視による観察では、'KGM011'の果皮色は、'PK331'および'桃太郎'と比較して若干赤味が薄かったが、赤色の指標である a^* 値の傾向も同様であった。'PK353'については、成熟の進行により果皮色が黄化したが、 a^* 値の増加はほとんどみられなかった。東尾ら¹⁶⁾は、通常型のトマト5品種について、 a^* 値の変動に及ぼす品種の影響は小さいことを報告しているが、本研究で用いた遺伝子型の異なる品種に関しては、 a^* 値の変動パターンは品種ごとに大きく異なった。

以上の結果より、今回供試した4品種のトマト果実の追熟に伴う呼吸速度、エチレン生成速度、 a^* 値の変動特性は、遺伝子型により大きく異なることが明らかとなった。KITAGAWAら⁵⁾は、リコペン合成に関連する酵素であるPSY、エチレン生成に関わる酵素であるACS2およびACO1の活性について検討し、'KGM011'では、'PK331'と比較してこれらの酵素活性が低下すること、そして'PK353'ではほとんど活性がないことを報告している。本研究において測定した呼吸速度、エチレン生成速度および a^* 値の熟度間の差は、いずれも'PK331' \equiv '桃太郎' > 'KGM011' > 'PK353'であった。すなわち、*rin*遺伝子をホモ (*rin/rin*) でもつ'PK353'では熟度が呼吸特性、 a^* 値に及ぼす影響は非常に小さく、*rin*遺伝子をヘテロ (*Rin/rin*) でもつ'KGM011'は、親品種の中間的な特性を示すことが確認された。

ところで、収穫直後のMG果、P果およびR果と、MG果の追熟によりP果およびR果となった果実との間で、二酸化炭素排出速度、エチレン生成速度および a^* 値には明確な差はみられなかった(データ省略)。すなわち、今回の測定に用いた果実においては、樹上における成熟と保蔵中における追熟との差は小さいと考えられた。

2. 積算エチレン生成量による a^* 値の予測

(1) 積算エチレン生成量と a^* 値との関係 個別のMG果のエチレン生成速度および a^* 値の変動の経時変化をFig. 4, Fig. 5に、積算エチレン生成量と a^* 値の関係をFig. 6に示す('桃太郎'のデータは、'PK331'と類似

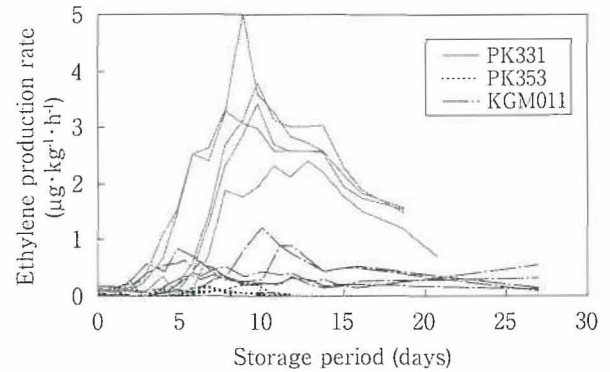


Fig. 4 Changes in the ethylene production rate of five individual tomatoes (cultivars PK331, PK353 and KGM011) harvested at the mature green stage and stored at 25°C

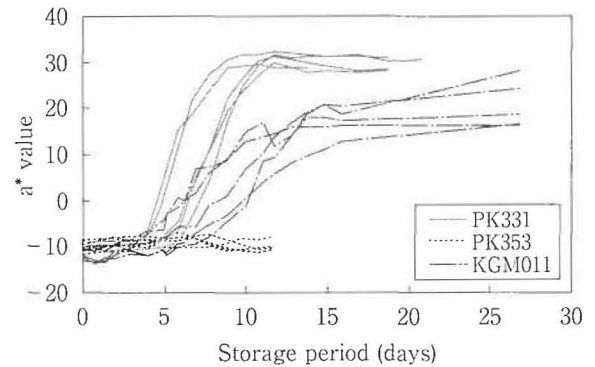


Fig. 5 Changes in the a^* value of five individual tomatoes (cultivars PK331, PK353 and KGM011) harvested at the mature green stage and stored at 25°C

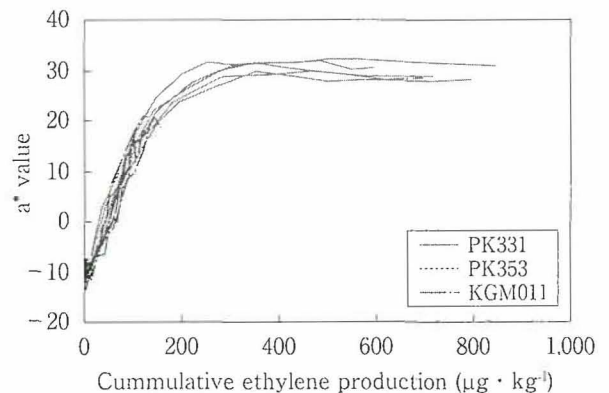


Fig. 6 Relationship between the a^* value and the cumulative ethylene production of individual tomatoes (cultivars PK331, PK353 and KGM011) harvested at the mature green stage and stored at 25°C (five fruits for each variety)

であるため省略)。なお、'PK353' については、測定項目の経時変化がほとんど認められなかったため、14日間で測定を終了した。

'PK331' は、'KGM011' と比較して、エチレン生成速度が明らかに大きかった。また、a*値の増加が早く、最終的なa*値の値も大きかった。これらの結果は、Fig.2およびFig.3で示された各熟度におけるトマト品種特性の傾向と同様であり、追熟特性が品種により大きく異なることが確認された。一方、追熟特性が大きく異なるにもかかわらず、積算エチレン生成量とa*値との関係は、いずれのトマト品種においても同様であった。すなわち、既報¹¹⁾で報告した積算エチレン生成量を指標としたa*値の変動予測は、品種が異なっても適用できる可能性が示された。

(2) a*値の予測式の評価 Table 1に、品種ごとのデータもしくは'PK353'を除く3品種全部のデータを用いて作成したa*値の予測式の定数(a, b, c)および計算値と実測値の決定係数、標準誤差を示す。'PK

353' 以外の3品種については、高い決定係数が得られた。'PK353' については、相関は全くみられなかった。これは、'PK353' では、エチレン生成量が検出限界以下で、しかもa*値がほぼ一定であったことに起因する。一方、'PK353' を除く3品種のデータを用いて作成した予測式(統一予測式)は、品種ごとに作成した予測式と同様に、高い決定係数が得られた(決定係数:0.97)。これは、遺伝子型が異なるトマト品種にも適用可能な汎用追熟予測式が作成可能であることを強く示唆している。一方、それぞれの品種における測定値と統一予測式による予測値を比較すると(Fig.7)、'桃太郎'では実測値>予測値、'KGM011'では実測値<予測値となる傾向があった。積算エチレン生成量とa*値との関係には、若干の品種間差が存在する可能性がある。また、前述のとおり、'KGM011'におけるa*値の最終到達点は、'桃太郎'および'PK331'より低かった。そのため、長期保蔵時には、保蔵後期において'KGM011'のa*値の実測値と予測値にずれが生じることとなる。実用性を考えた

Table 1 Evaluation of the feasibility of prediction models for the pericarp color (a* value) for four varieties PK331, PK353, KGM011 and Momotaro denote the prediction models for the different varieties, and UM denotes a unified model. a, b, and c are constant parameters of the sigmoid-type function with cumulative ethylene production as a variable(n=5).

	a	b	c	Determination coefficient	Standard deviation
PK331	83.065	-0.014	-52.922	0.988	1.914
PK353	88.887	0.003	-53.249	0.061	1.490
KGM011	81.213	-0.015	-53.532	0.960	2.394
Momotaro	82.683	-0.020	-51.743	0.991	1.746
UM*	84.360	-0.014	-53.640	0.973	2.766

UM*: Unified model without PK353

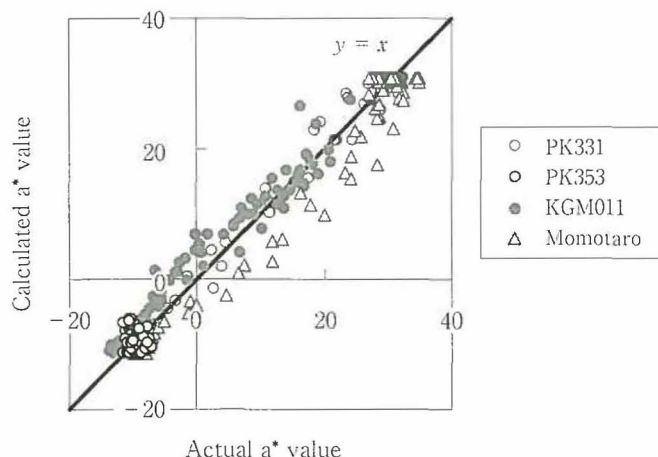


Fig. 7 Relationship between the actual a* value and the calculated a* value for four varieties of tomatoes (cultivars PK331, PK353, KGM011 and Momotaro) harvested at the mature green stage and stored at 25°C

The model used for predicting the pericarp color (a* value) was a sigmoid-type function based on the cumulative ethylene production (n=5)

場合、完熟以降の a^* 値の予測の必要性は低いと考えられる。一方、より高精度の予測を行うためには、品種ごとの a^* 値の最終到達点をパラメータとして内包する予測式の開発が必要と考えられる。

ところで、追熟によるエチレン生成および a^* 値の増加がみられない‘PK353’については、本研究で検討した予測式は適用できない。‘PK353’と同様な成熟特性を示す品種の追熟特性の予測式を作成するためには、エチレン生成量および a^* 値以外を指標としたモデルを検討する必要があるだろう。例えば、トマト果実の果皮色変化は、リコペン含量変化およびクロロフィル含量変化の二つの現象で表現できる¹⁰⁾。‘PK353’の成熟による黄化は、緑色素であるクロロフィルの無色成分への分解¹⁷⁾が一因と考えられる。すなわち、クロロフィル含量の予測手法を開発することで、‘PK353’のようにエチレン、リコペンともに生産しない品種の果皮色予測モデルを作成することができると思われる。

(3) 今後の検討 以上より、積算エチレン生成量を独立変数としたトマトMG果の a^* 値変動予測式は、正常に成熟する品種であれば、成熟遺伝子型が異なる品種についても適用できる可能性が示された。この手法を用いることで、様々なトマト品種について、消費時の果皮色を基準とする外観品質と流通期間を考慮した収穫時期決定が容易になると期待できる。

筆者らは、‘桃太郎’トマトのMG果について、積算エチレン生成量を用いて果実硬度を予測することが可能であることを報告している¹¹⁾。積算エチレン生成量による果実硬度予測が多くのトマト品種に適用可能であれば、積算エチレン生成量、果皮色、果実硬度に関するデータを取得することで、トマト新規品種の果実硬度予測モデルを作成することが可能となる。果実硬度予測値を輸送耐性の指標に用いることで、物理的損傷発生が少ない低コスト流通システムを簡便に設計することが可能になるだろう。今後は、様々なトマト品種について、着色、果実硬度変動などの成熟特性の予測手法に関する知見を蓄積していくことが期待される。これらの知見を利用することで、最適収穫時期の決定、緩衝包装設計を行うための具体的な手順について検討することが可能となる。さらに、この一連の手法を他の追熟性青果物へ適用することで、青果物の高品質、低コスト物流システムの構築が可能になると考えられる。

要 約

本研究では、正常に成熟する‘PK331’、正常に成熟しない rin 変異系統である‘PK353’、そのF1品種である‘KGM011’（いずれもカゴメ(株)所有の育成品種）および‘桃太郎’を対象として、呼吸速度、エチレン生成速度および a^* 値について詳細に解析した。また、トマト果実の最適流通システム構築のための基礎的知見を得ることを目的として、各トマト品種の緑熟果について、

積算エチレン生成量を用いた追熟予測式を作成・評価した。その結果、以下の知見を得た。

- ① ‘PK331’、‘桃太郎’の緑熟果は、追熟中に典型的なクライマクテリック型の呼吸速度、エチレン生成速度変動を示した。また、エチレン生成の上昇とともに急激に a^* 値が上昇した。
- ② ‘PK353’の緑熟果においては、保蔵中に呼吸速度、 a^* 値の変動はほとんどみられなかった。また、エチレン生成量は検出限界以下であった。
- ③ ‘KGM011’は、呼吸速度、エチレン生成速度、 a^* 値のいずれにおいても、親品種（‘PK331’、‘PK353’）の中間的な特性を示した。
- ④ 個別果実の積算エチレン生成量と a^* 値との関係から、品種ごとにシグモイド型の a^* 値の予測式を作成・評価した。その結果、‘PK331’、‘PK353’、‘KGM011’および‘桃太郎’における計算値と実測値との決定係数は、それぞれ0.99、0.06、0.96および0.99であった。
- ⑤ ④と同様な手法により‘PK353’を除く3品種すべてのデータを用いた a^* 値の予測式を作成した。その結果、計算値と実測値との決定係数は、0.97であった。

以上の結果より、トマト品種の追熟特性は、成熟にかかわる遺伝子型により大きく異なること、‘PK353’以外の正常に成熟する品種については、積算エチレン生成量を独立変数として、異なる成熟遺伝子型のトマト品種にも適用可能な a^* 値変動の予測式の作成が可能であることが示された。

謝 辞 本研究の一部は生研センターイノベーション創出事業の助成を受けたものである。

文 献

- 1) WATANABE, S., *et al.* : Ethylmethanesulfonate (EMS) mutagenesis of *Solanum lycopersicum* cv. Micro-Tom for large-scale mutant screens. *Plant Biotechnol.*, **24**, 33~38 (2007)
- 2) Tomato SBM & Marker Database (<http://www.kazusa.or.jp/tomato/> H22.9.28確認)
- 3) 農林水産省：品種登録ホームページ。(<http://www.hinsyu.maff.go.jp/kensaku/ranking.html>, H22.5.26確認)
- 4) DEAN, D., *et al.* : Polygalacturonase Gene Expression in Rutgers, *rin*, *nor*, and *Nr* Tomato Fruits. *Plant Physiol.*, **85**, 502~507 (1987)
- 5) 伊藤康博：トマトの成熟変異遺伝子の利用による日持ち性の改善と低アレルゲン化について、*食糧*, **45**, 91~106 (2007)
- 6) KITAGAWA, M., *et al.* : Characterization of tomato fruit ripening and analysis of gene expression in

- F1 hybrids of the ripening inhibitor (*rin*) mutant. *Physiol. Plant.*, **123**, 331~338 (2005)
- 7) KITAGAWA, M., *et al.* : Ethylene Biosynthesis Regulation in Tomato Fruit from the F1 Hybrid of the ripening inhibitor (*rin*) Mutant. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **70** (7), 1769~1772 (2006)
- 8) TIJSKENS, L.M.M. and EVELO, R.G. : Modelling colour of tomatoes during postharvest storage. *Postharvest Biol. Technol.*, **4**, 85~88 (1994)
- 9) HERTOEG, M. L. A. T. M., *et al.* : The impact of biological variation on postharvest behaviour of tomato fruit. *Postharvest Biol. Technol.*, **34**, 271~284 (2004)
- 10) SCHOUTEN, R. E., *et al.* : Modelling quality attributes of truss tomatoes: Linking colour and firmness maturity. *Postharvest Biol. Technol.*, **45**, 298~306 (2007)
- 11) 中村宣貴ら：トマト‘桃太郎’緑熟果実の追熟過程における果皮色および果実硬度変化の積算エチレン生成量による予測, 日食保蔵誌, **36**(2), 67~74 (2010)
- 12) MITCHAM, J. ELIZABETH, K. C. and GROSS, T. J. Ng.: Tomato Fruit Cell Wall Synthesis during Development and Senescence. *Plant Physiol.*, **89**, 477~481 (1989)
- 13) TATSUKI, M. and MORI, H. : Rapid and transient expression of 1-amino-cyclopropane-1-carboxylate synthase isogenes by touch and wound stimuli in tomato. *Plant Cell Physiol.*, **40**, 709~715 (1999)
- 14) ALEXANDER, L. and Grierson, D. : Ethylene biosynthesis and action in tomato: a model for climacteric fruit ripening. *J. Exp. Bot.*, **53**, 2039~2055 (2002)
- 15) 立木美保：エチレンによる果実の成熟・老化制御機構, 果樹研報, **6**, 11~22 (2007)
- 16) 東尾久雄・岡田邦彦・亀野 貞：トマト果実の熟度区分判定のための簡易測色法, 四国農研報, **55**, 1~9 (1992)
- 17) MATILE, P., HÖRTENSTEINER, S. and THOMAS, H. : Chlorophyll degradation. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, **50**, 67~95 (1999)
- (平成22年10月25日受付, 平成23年1月17日受理)
-