

トマト果実着色不良の発生要因と対策方法に関する研究

鈴木 克己・佐々木 英和*・永田 雅靖**

(平成 24 年 11 月 1 日受理)

Causes and Control of Blotchy Ripening Disorder in Tomato Fruit

Katsumi Suzuki, Hidekazu Sasaki* and Masayasu Nagata**

I 緒 言

トマトを春から夏にかけて栽培すると、果実の肩の部位が黄色もしくは黄緑色に変色した着色不良果を生じることがある。症状が進んだ着色不良果の市場価値は低下する(前澤ら, 1993)。着色不良果は海外のトマト生産でも問題となっており blotchy ripening disorder や yellow shoulder disorder と呼ばれている(Sadikら, 1966; Francisら, 2000)。

トマト果実中の赤い色素であるリコペンの含量は桃熟期から急激に増加し、リコペン生合成は 12℃以下及び 32℃以上で抑制される(Dumasら, 2003)。リコペンは果実中にある主な抗酸化物質の1つでもあり、ヒトの生活習慣病のリスクを減らす機能性成分として効果が示されている(Heberら, 2012)。着色不良果の発生を低減しリコペンの含量を維持するためには、その発生要因を明らかにして、適切な対策を講じることが必要である。

着色不良果は、果実表面全体の着色程度が均一に変わるのではなく、果実上部の肩の部位に赤色部位と黄色部位が不均一に混在することが多い。しかし、これまで不均一な着色をした着色不良果の部位別のリコペン含量を示した例は少ないため、本研究では着色不良を生じた果実の部位別のリコペン含量を測定し、果実内の不均一性を調査した。

着色不良は夏の高温期だけでなく春の日射量が多い時期にも発生が見られる。栽培中の果実に直射日光が当た

る時間と果実の表面温度には正の相関が、果実の表面温度と果実中のリコペン含量には負の相関があることが示されている(Helvesら, 2007)。また、トマト果実に直射日光が当たることで、リコペン含量が低下することが報告されている(Pékら, 2011)。また、果実に当たる直射日光が着色不良を起こすかどうかを検証するとともに、対策技術として、直射日光を遮る被覆資材による果房被覆の効果について検討を行った。

果実中のリコペン含量は品種によって異なり、高リコペン性品種も育成されている(由比ら, 2009)。品種によっても着色不良果の発生は異なる可能性があるため、異なる環境条件での着色不良果発生品種間差についても検討を行った。

本研究は、新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「新規市場を創造する高リコペントマト安定生産供給システムの開発」(2007 - 2009)の一部として行われた。研究の実施に協力いただいた、野菜茶業研究所研究支援センターの河野真人氏、岩切浩文氏に深く感謝いたします。

II 材料および方法

1 着色不良果の部位別のリコペン、 β -カロテン、ルテイン含量の測定と有色体の観察(実験1)

トマト桃色系品種‘桃太郎ヨーク’(タキイ種苗)と赤色系品種‘ボンジョールノ’(トキタ種苗)を供試し、2007年5月18日に72穴セル成型トレイ(口径40

mm × 深さ 50 mm) に有機質培地 (ベストミックス, 日本ロックウール) を詰めて播種した。播種後すぐにセル成型トレイを閉鎖型苗生産システム (苗テラス, 三菱樹脂アグリドリーム) 内に移した。日長を明期 16 時間, 暗期 8 時間, 温度を明期 30°C, 暗期 25°C に設定した。播種 4 日後まで, 毎日 10 分間給水した。発芽が認められた後, 温度を明期 23°C, 暗期 17°C とし, 2 日に 1 回 10 分間給水した。播種 7 日後から, $EC1.8dS \cdot m^{-1}$ の培養液 (ハイテンポ, 三菱樹脂アグリドリーム) を給液し, システム内の CO_2 濃度が 1,000 ppm となるように液化 CO_2 を施用した。6 月 15 日に苗を武豊野菜研究拠点のガラス温室内に設置したロックウールスラブ (90cm × 20cm × 7.5cm) に定植した。1 列あたり 4 本のロックウールスラブを 2m 間隔で 3 列に並べて, それぞれの品種を 24 株ずつ 1 本仕立てで栽培した。 $EC1.0dS \cdot m^{-1}$ の培養液 (大塚 SA 処方, 大塚アグリテクノ) を点滴かん水システムにより掛け流しで供給した。6 月 23 ~ 28 日に開花し 8 月 13 日に収穫した果実の中で, 着色不良果を 3 果ずつサンプリングした。‘桃太郎ヨーク’ の果実から着色良好部位, 着色不良部位, 維管束組織を含む部位 (維管束部位), ゼリー部位を, ‘ボンジョールノ’ の果実から着色良好部位と着色不良部位を約 1cm × 1cm × 1cm の立方体に切り出し, 部位毎にまとめてコニカルチューブに入れ, 新鮮重を測定後, -35°C で保存した。

凍結保存したトマト試料に含まれるクロロフィルとカロテノイド色素は, 満田らの方法 (満田ら, 2002) を一部改変して, 酸化防止剤として 1% ブチルヒドロキソトルエン (BHT) を含むアセトンにより繰り返し抽出し, 100mL に定容した。抽出液の遠心分離後の上清に含まれる色素は, 永田らの方法 (永田ら, 2007) を一部改良して, 高速液体クロマトグラフィー [Shimadzu LC-10A, Tosoh TSKgel ODS-120T (250mm × 4.6mm ID), メタノール 1.0mL/min, Shimadzu SPD-M10A フォトダイオードアレイ検出器 250-750nm] で分析した。クロロフィル a, クロロフィル b, リコペン, β -カロテン, ルテインの同定・定量は, 各標品 (和光純薬) とリテンションタイムおよび可視吸収スペクトルの比較により行った。メタノールは, 和光純薬製の特級品を用いた。

電子顕微鏡観察用に同じ果実から切り出した組織を, 3% グルタルアルデヒドと 1% パラホルムアルデヒドをリン酸緩衝液で pH7.2 に調整した固定液で 5 時間固定し, 洗浄後, 4°C の 1% オスミウム酸で 2 時間固定し, エタノールシリーズ (30% ~ 100%) で脱水, 組織内のエ

タノールをプロピレンオキサイドに置換した後, エポキシ樹脂に包埋した。ウルトラミクロトーム (Reichert Supernova) で超薄切片を作成し, 酢酸ウラニルと鉛染色液 (片山化学) で電子染色した後, 透過型電子顕微鏡 (日本電子 JEOL JEM-1200EX II) で観察した。

2 切り込みを入れたアルミホイルによる果実被覆が着色不良発生に及ぼす影響 (実験 2)

着色不良部位は果実上部で観察された。そこで, 果実に当たる直射日光の影響を調べるため, アルミホイルを果実の上部を被覆するように取り付け, 直射日光が当たるように切り込みを入れ, その後, 着色不良となるかどうか観察を行った (図-1)。

試験に使用したガラス温室は, 3 区画 (1 区画は 7.5 m × 7.5 m) に仕切られており, 中央の 1 区画で根域制限養液栽培システム (鈴木ら, 2011; Suzuki ら, 2011) による二次育苗を, 両側の 2 区画で NFT システムによる 3 段栽培を行った。

‘桃太郎ヨーク’ を 2008 年 4 月 16 日に播種し, 実験 1 と同様に閉鎖型苗生産システムを利用し一次育苗を行った。

5 月 14 日にガラス温室内に苗を移動し, 根域制限養液栽培システムで二次育苗を行った。葉菜用の NFT システム (ナッパランド, 三菱樹脂アグリドリーム) を

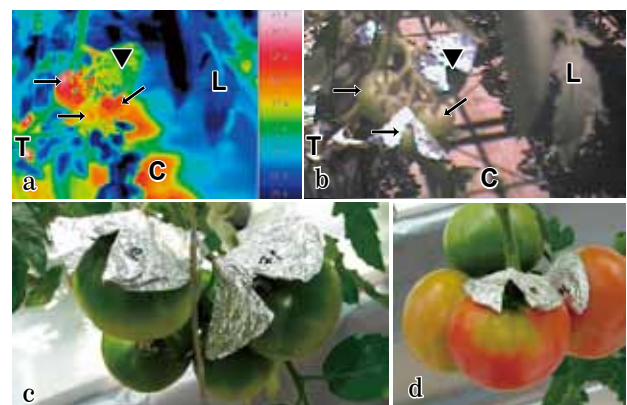


図-1 アルミホイルで被覆した果実の様子と熱画像
a ~ c: 2008 年 6 月 13 日撮影, d: 2008 年 7 月 7 日撮影
a: トマトの果房周辺の熱画像, b: a と同じ位置で熱画像装置により撮影された可視画像, c: 果実をアルミホイルで被覆し一部に切れ込みを入れた様子, d: c と同じ果房の成熟時の様子
→: 果実に直射日光が当たった部位, ▼: アルミホイル被覆で陰になっている部位, C: 直射日光が当たったコンクリート地面, L: 直射日光が当たった葉, T: 直射日光が当たった誘引具

利用した。上面の発砲スチロールパネルに穴を開けた。パネルの穴にちょうどはまる外径の塩ビ管で防根透水シートを挟み、底面に付くように抑え固定することで小容量の育苗セルを形成し、苗の根域を制限した。1×1.2mのパネルを備えた栽培ベッドに80株ずつ植えた。苗は底面の防根透水シートを通して培養液を吸収した。EC1.8 dS・m⁻¹の培養液（ハイテンポ、三菱樹脂アグリドリーム）を栽培ベッドの底面を流れタンク（50 L）と循環するように供給した（鈴木ら、2011；Suzukiら、2011）。

NFT栽培のため、緩やかな勾配をつけた長さ4 m、幅0.2 m、深さ0.2 mのベッドを、1.6 m間隔で、ガラス温室の1区画あたり4本設置した。5月28日、ガラス温室の2区画に設置したNFTシステムのベッドに、二次育苗を行った苗を20 cm間隔で定植し、2条に振り分け誘引した。EC1.0 dS・m⁻¹の培養液（大塚SA処方、大塚アグリテクノ）を循環しているNFTシステムに供給した。

第1花房の第1花の開花開始日は5月30日、第2花房の第1花の開花開始日は6月6日であった。6月13日に第1果房の果実（各区画40個）を、7月4日に第2果房の果実（各区画20個）をアルミホイルで被覆し切り込みを入れた（図-1b,c）。第1果房の果実を7月8～22日、第2果房の果実を7月18日～8月5日に収穫した。収穫果実のアルミホイルで被覆した部位および切れ込み部位について、赤く着色良好であるか、黄色もしくは黄緑色の着色不良であるかを調査し、2つの区画の第1、第2果房における着色不良の割合を算出した。

また、アルミホイルの取り付け作業終了後、6月13日11～12時に熱画像装置（TH9100、NEC三栄）を使用し、アルミホイルで被覆した果実周辺の植物体や資材の表面温度を測定した。

3 果房被覆処理が着色不良に及ぼす影響（実験3）

実験2より、果実をアルミホイルで被覆し直射日光を避けることで、着色不良率が減少すると考えられたため、トマトの果房を被覆資材で被覆し効果を検証した。アルミホイルで遮光した場合、遮光したところの通気が悪く、一部の果実では裂果に伴うカビの発生などが見られたため、被覆資材はポリエステルスパンボンド不織布製資材（ユニチカスーパーラプシート20507FXZ、遮光率50～53%）を使用した。

‘桃太郎ヨーク’を実験1、2と同様に1次育苗（4週間）と2次育苗（2週間）を行った。その後、ガラス温

室の1区画内のNFTシステムに、1作目は2009年2月19日、2作目は3月17日、3作目は1作目が終了した後の区画に6月8日に定植した。それぞれの作で温室内の区画に設置した4本のベッドの外側の2ベッドを用いて、株間20cmで20株ずつ定植した。その後、2条に振り分けベッドあたり2列とした。

それぞれの作の第2果房の果実の直径が5cm程度に肥大した後、1作目は4月2、8日、2作目は4月15、22日、3作目は6月22日に、各列3株について、上部から直射日光が当たらないよう第2果房全体を覆うように被覆した。果実を4月27日～5月25日（1作目）、5月22日～6月23日（2作目）、7月21日～8月10日（3作目）に収穫した。各列の無被覆の果実と被覆資材により果房被覆した果実（それぞれ6～18個）について、着色良好果数と着色不良果数を調査し、着色不良果率を算出した。

4 栽培環境が着色不良果発生に及ぼす影響の品種間差（実験4）

‘桃太郎ヨーク’、‘ボンジョールノ’、赤色系の心止まり性品種‘にたきこま’（渡辺採種場）、赤色系品種‘とまと中間母本農10号’（東北農業研究センター）を実験3と同様に1次育苗（4週間）と2次育苗（2週間）を行い、NFT栽培を行った。ガラス温室内の1区画に設置した4本のベッドの内側の2ベッドを用いて、実験3より栽植密度が高い株間10cmで栽培した。1作目は‘桃太郎ヨーク’を20本、‘にたきこま’と‘とまと中間母本農10号’を10本ずつ、2～4作目は各品種10本ずつ定植した。1作目は2009年2月19日、2作目は3月17日、3作目は1作目終了後の区画に6月8日、4作目は2作目終了後の区画に7月14日に定植した。

それぞれの作の各品種の全収穫果実数、着色不良果数を調査し、着色不良果率を算出した。また、生育期間中の温室内の日平均気温を通風筒の中に入れた温湿度センサー（Vaisala社）で測定し、ロガー（CR23X、Campbell Scientific社）で記録した。日射量と日照時間は屋外に設置された野菜茶業研究所武豊野菜研究拠点の気象観測装置（CMH-100、英弘精機）のデータを用いた。

III 結 果

1 着色不良果の部位別のリコペン、β-カロテン、ルテイン含量の測定と有色体の観察

夏季に栽培したトマトでは、肩の部位が均一に赤色に

ならず赤色と黄色や黄緑色が混ざったような着色不良果が多く見られた。そのような着色不良果の部位別のリコペン含量を測定したところ、‘桃太郎ヨーク’の着色不良果の着色不良部位では、同じ果実の着色良好部位に比べてリコペン含量が低く β -カロテン、ルテインが多かった(図-2)。維管束部位ではリコペンが少なく、ゼリー部位では β -カロテンが多かった。‘ボンジョールノ’では、‘桃太郎ヨーク’に比べて、着色良好部位のリコペン含量が高かったが、着色不良部位では同様にリコペン含量は低かった。 β -カロテン、ルテイン含量は、着色の程度にかかわらず、‘桃太郎ヨーク’に比べて低かった。なお、両品種のいずれの部位でもクロロフィルは検出されなかった。

‘桃太郎ヨーク’の着色良好部位の表皮細胞の内側の柔細胞内の有色体では、リコペン体と呼ばれる波状の構造が観察された(図-3, L)。リコペン体の占める割合は着色良好部位の細胞の有色体で大きく、着色不良部位では小さかった。また内部には複数のデンプン粒が観察され(図-3, S)、それは着色不良部位で多く、着色良好部位では少なかった。

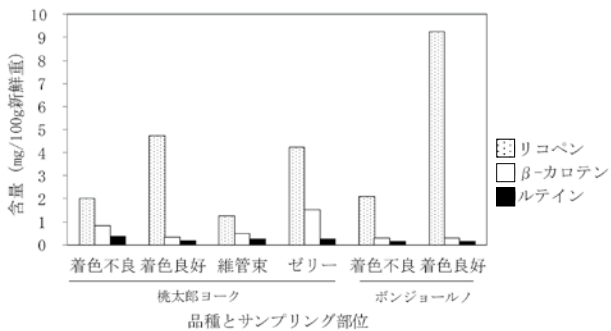


図-2 着色不良果の異なる部位のリコペン、 β -カロテン、ルテイン含量

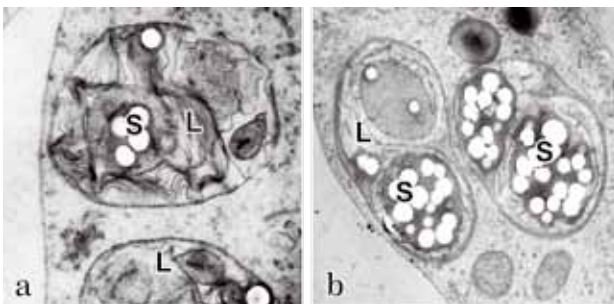


図-3 着色良好部位(a)と着色不良部位(b)の有色体
L: リコペン体, S: デンプン粒

2 切り込みを入れたアルミホイルによる果実被覆が着色不良発生に及ぼす影響

晴天日の11時頃に熱画像装置で表面温度を測定したところ、直射日光が当たっている果実部位(図-1, a,b, \rightarrow)は35°C程度であり、アルミホイルで被覆された部位(図-1, a,b, \blacktriangledown)に比べて表面温度は4°C程度高かった。直射日光が当たっている葉(図-1, a,b, L)の表面温度は、陰になった果実部位よりもさらに2°C程度低かった。植物体以外の直接日光が当たっている誘引器具(図-1, a,b, T)や、温室のコンクリート地面(図-1, a,b, C)などの温度は35°C以上になっていた。

アルミホイルを取り付けた果実が成熟した時、アルミホイルの切れ込みと同じ形をした着色不良部位が観察された(図-1, c,d)。着色不良部位の面積は、アルミホイルの切れ込み部位の面積より広がった。

成熟後の収穫果実について、アルミホイルで被覆した部位と切れ込み部位の着色不良割合を調査した結果、アルミホイルで被覆された部位の着色不良割合は切れ込み部位のそれより有意に減少した(図-4)。

3 果房被覆処理が着色不良に及ぼす影響

1作目と2作目では無被覆の果実の着色不良果率が約8割となり、3作目では約2割となった。着色不良果率が高い場合には、果房被覆処理により着色不良果の割合は有意に減少した(図-5)。しかし、無被覆での着色不良果の発生が少ないときには、果房被覆処理による着色不良果抑制の効果はあまり見られなかった。

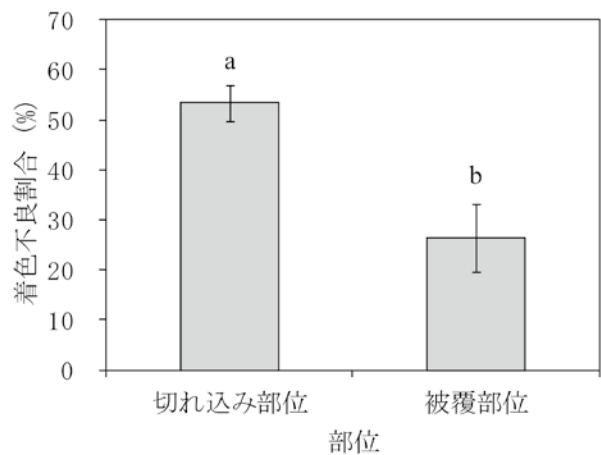


図-4 アルミホイルで被覆した果実の切れ込み部位と被覆部位の着色不良割合
誤差線は標準誤差を示す(n=4)
異なるアルファベットはt検定により5%水準で有意差があることを表す

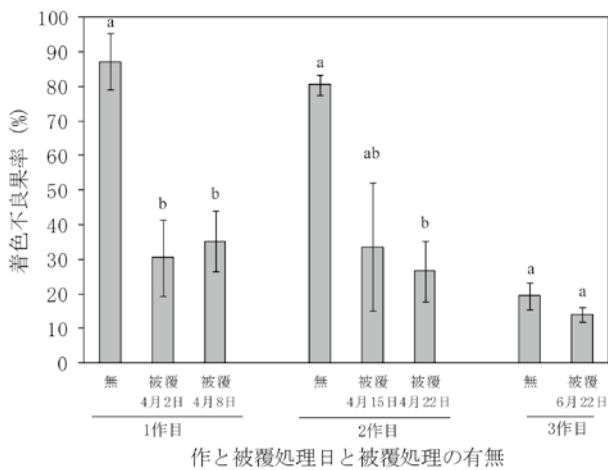


図-5 無被覆の果実（無）と被覆資材により果房を被覆した果実（被覆）の着色不良果率
誤差線は標準誤差を示す (n=4)
同一作内で、異なるアルファベットは5%水準で有意差があることを表す
1,2作目は Tukey 法、3作目は t 検定による

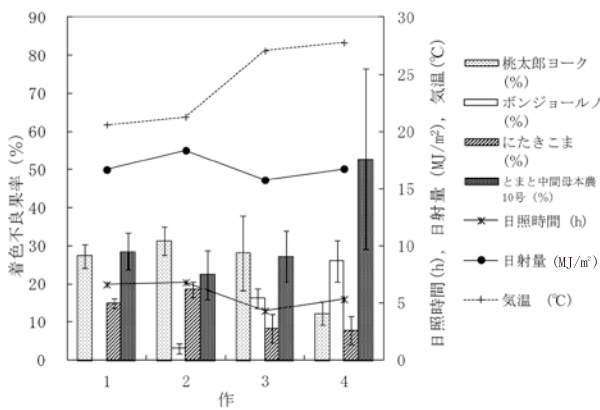


図-6 1～4作目の1日あたりの日照時間、日射量、気温の平均と各品種の着色不良果率
定植日：第1作（2009年2月19日）、第2作（3月17日）、第3作（6月8日）、第4作（7月14日）
誤差線は標準誤差を示す (n=4)

4 栽培環境が着色不良果発生に及ぼす影響の品種間差

播種時期を変えた1～4作目では栽培環境が異なり、1,2作目は3,4作目比べて日射量が多く、平均気温は低かった(図-6)。逆に、3,4作目では日射量は少なく、平均気温が高かった。異なる品種の着色不良果の発生割合を調査した結果、‘桃太郎ヨーク’では1,2,3作は同程度であり、4作目は低かった。‘ボンジョールノ’では2～4作目の作が進むに従い増加した。‘にたきこま’では1,2作目で高く、3,4作目は低くなった。‘とまと中

間母本農10号’では1作目と3作目は同程度であり、2作目はやや低く、4作目は高かった。

IV 考 察

1 着色不良の発生要因と果実内部のリコペン含量

トマト果実の赤い色素であるリコペンの生合成は、12℃以下及び32℃以上で影響を受け(Dumasら, 2003)、夏季に栽培された果実中のリコペン含量は通常期に栽培された果実に比べて約3割低下することが報告されている(Toorら, 2006)。本研究の結果では、着色不良果の着色不良部位のリコペン含量が低いことが示され、果実組織中のリコペン含量の低下が着色不良果発生の要因と思われた。組織学的研究から、肩の黄化(yellow shoulder)は、内部の白い組織(internal white tissue)を伴うことが報告され(Sadikら, 1966)、その部位の細胞は着色良好部位の細胞に比べて小型化することが報告されている(Francisら, 2000)。本研究での内部の有色体の観察では、着色良好部位に比べて着色不良部位では、リコペン体が小さく、反対にデンプン粒が多く観察された。果実に当たる直射日光およびそれに伴う温度の上昇は、リコペンの生合成のみならず、果実中の細胞の発達、葉緑素から有色体への変化、有色体中のリコペン体の形成にも影響を与え、着色不良を起こしていると思われた。

本研究で‘桃太郎ヨーク’の果実上部をアルミホイルで被覆し直射日光が当たるように一部に切り込みを入れたところ、切れ込み部位では被覆部位より着色不良割合が多かったことから、着色不良は果実に直射日光が当たることが原因の一つであると考えられた。Pékら(2011)は、直射日光が当たった果実の表面温度は、群葉で被覆された果実に比べて、7～9.3℃高くなり、内部のリコペン含量は有意に低下し、逆にポリフェノールとアスコルビン酸は増加することを報告している。本研究でも、熱画像装置による表面温度の測定で、直射日光が当たった果実ではリコペン生合成が抑制される32℃を超え、被覆した果実よりも高温になっていた。直射日光が当たり果実の温度が高くなり、リコペン合成が影響を受け、着色不良になった可能性が示唆される。被覆をした部位でも着色不良が生じたが、光や温度など様々な環境要因が影響したと思われた。

なお、実験4の結果から、栽培環境が異なる場合の着色不良果の発生の傾向は、品種により異なっていた。よって、品種によって着色不良発生に関与する環境要因

も異なることが示唆された。品種による着色不良の発現はグリーンショルダーの発生のしやすさも関与している可能性がある。グリーンショルダーなどの着色不良は、生理的にはふたつの事象に分割できる。ひとつは、高温によるクロロフィル分解の遅延と、もうひとつは、高温によるリコペン合成の抑制である。Lurieら(1996)は、高温(38℃)によるトマト果実の成熟抑制は、HSP17等のヒートショックプロテイン(HSP)の生合成が関与していることを明らかにしている。グリーンショルダーが発生している部位では、HSP遺伝子の発現が誘導される温度以上になり、タンパク質合成が、HSPの合成に大きく傾くことによって、クロロフィルの分解等、果実の成熟に関わるタンパク質の合成が相対的に低下しているものと推察される。また、Hamauzuら(1998)は、トマト果実を20℃から35℃の異なる温度で貯蔵した場合、温度が高いほどリコペン含量は低くなるが、 β -カロテン含量は30℃付近が極大になることを報告している。グリーンショルダーが残存し、その後の追熟で緑色が抜け、さらに黄色から赤色に着色する経時的な変化は、当該部位に与えられた高温によるダメージを反映しているものと考えられる。ダメージが軽微な場合には、緑色の残存も一過的となるが、ダメージが大きい場合には、緑色が長く残り、黄色から赤色への変化も大幅に遅れるものと考えられる。品種による着色不良果の発生程度は、これらクロロフィル分解、リコペン合成、 β -カロテン合成等の遺伝的背景とともに、それらの温度感受性、温度反応性等の環境要因に対する反応の違いを反映しているものと考えられる。

2 着色不良果抑制とリコペン含量増加技術

本研究で、トマト果房を被覆資材で被覆したところ、日射量が多く着色不良果の発生が多い場合では、着色不良果抑制に効果的であった。よって、直射日光が主要因で起きていると考えられる肩の部位に不均一に黄色部位が生じるような着色不良には、トマト果実へ日光が直接当たらないようにすることが対策として有効であると思われる。果樹などでは、害虫予防などのために行われている袋かけが対策として有効であると考えられるが、大変労力がかかると予想される。日照時間が長く日射が強い時期のトマト栽培では、果実をなるべく葉の陰になるように整枝することが着色不良果対策には有効であると思われる。

高温による着色不良を抑制するためには、夏季の高温を抑制する暑熱対策が必要である。施設園芸での暑熱対

策として、細霧冷房、ヒートポンプ、換気率の向上、強制換気、赤外線吸収フィルムの利用、根域冷却など様々な技術が提案されている(鈴木ら, 2008)。着色不良やリコペン含量との関連を調査した報告として、高温期の施設トマトにおいて外気導入式強制換気法を使用したハウスでは対照ハウスに比べてリコペン含量が高いことが示されている(井出ら, 2007)。

本研究で、品種により、着色不良果発生率に差異がみられた。よって、日射量が多い時期や高温期にも安定して着色する品種を開発することも重要と思われる。高温期の着色抑制は、遺伝子型により差異があることが報告されており(城島, 1994)、色素の形成能力が高く蓄積量が多い品種ほど高温着色性が優れていることが示されている(城島ら, 1994)。トマトの遺伝子 *dg*, *hp-1*, *hp-2*, *hp-3* などがカロテノイド含量増加に関与し、高リコペン品種の開発への利用が期待されている(Ramirez-Rosalesら, 2004; Galpazら, 2008; 由比ら, 2009)。

トマトは収穫した後も着色が進むため、流通過程における対策も有効である。その対策としては着色が始まる前の早期に収穫し、リコペンの蓄積に適温である20℃で果実を保存し、着色させることが提案されている(永田, 2009)。また、'桃太郎'は流通中の品質、食味変化を考慮し、着色不良果の発生を軽減させるには、約5割着色した果実を収穫し約20℃で流通させることが望ましいとされている(前澤ら, 1993)。

この他、土壌水分(松添ら, 1998)、EC(Kubotaら, 2006)、カリウム肥料(Taberら, 2008)などの耕種的な要因も果実のリコペン含量に影響することが報告されている。接ぎ木によりリコペン含量が増加することも示されている(Nievesら, 2004)。よって、適切な土壌水分、ECの設定、カリ肥料の管理や、適切な台木との接ぎ木も着色不良対策として有効であると考えられる。

以上、果実のリコペン含量を高め着色不良果発生を抑制するためには、果実への直射日光照射の回避、暑熱対策技術の利用、流通過程における対策、耕種的対策を組み合わせ、総合的な対策をとることが有効であると思われる。

V 摘 要

果実の肩が黄色く変色した着色むらを伴った着色不良果の発生要因と、抑制技術について検討した。着色不良を生じた果実の着色不良部位のリコペン含量は着色良好部位のそれに比べ低かった。着色不良部位の有色体では、

着色良好部位に比べて、リコペン体が小さく、反対にデンプン粒が多く観察された。果実をアルミホイルで被覆し一部に直射日光が当たるように切り込みを入れたところ、切れ込み部位における着色不良割合は被覆部位より高かった。熱画像装置による表面温度の測定では、直射日光が当たった果実では、被覆した果実よりも高温になっていた。以上のことから、直射日光による高温は、有色体の発達を阻害し、リコペン含量を低下させ、着色不良を引き起こすと考えられた。栽培環境が着色不良果の発生に及ぼす影響は、品種により傾向が異なることが示唆された。日射量が多く着色不良果の発生が多い場合、トマト果房を被覆資材で被覆することが着色不良果低減に効果的であった。

引用文献

- Dumas, Y., M. Dadomo, G.D. Lucca and P. Grolier (2003) : Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes. *J. Sci. Food Agr.* **83**, 369-382.
- Francis, D.M., S.A. Barringer and R.E. Whitmoyer (2000) : Ultrastructural characterization of yellow shoulder disorder in a uniform ripening tomato genotype. *J. Amer. Hort. Sci.*, **35**, 1114-1117.
- Galpaz, N., Q. Wang, N. Menda, D. Zamir and J. Hirschberg (2008) : Abscisic acid deficiency in the tomato mutant high-pigment 3 leading to increased plastid number and higher fruit lycopene content. *Plant J.*, **53**, 717-730.
- Hamazu, Y., K. Chachin, Y. Ueda (1998) : Effect of postharvest storage temperature on the conversion of 14C-mevalonic acid to carotenenes in tomato fruit. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.*, **67**, 549-555.
- Heber, D. and Q-Y. Lu (2012) : Overview of Mechanisms of Action of Lycopene. *Exp. Biol. Med.*, **227**, 920-923.
- Helves, L., A. Lugasi and Z. Pék (2007) : Effect of natural light on surface temperature and lycopene content of vine ripened tomato fruit. *Can. J. Plant Sci.*, **87**, 927-929.
- 井手治・森山友幸・龍勝利・奥幸一郎 (2007) : 高温期の施設栽培における外気導入式強制換気法がトマトの生育、収量およびリコペン含量に及ぼす影響。福岡県農総試研報, **26**, 51-55.
- 城島十三夫 (1994) : 種々の遺伝子型トマト系統のカロテン色素の形成と着色特性。園学雑, **63**, 109-114.
- 城島十三夫・松添直隆 (1994) : 露地・ハウス栽培の桃色および赤色系トマト品種の果実の肥大・着色特性と高温期における色素の形成。園学雑, **63**, 581-588.
- Kubota, C., C. A. Thomson, M. Wu and J. Javanmardi (2006) : Controlled environments for production of value-added food crops with high phytochemical concentrations: Lycopene in tomato as an example. *HortScience*, **41**, 522-525.
- Lurie, S., A. Handros, E. Fallik, R. Shapira (1996) : Reversible Inhibition of Tomato Fruit Gene Expression at High Temperature (Effects on Tomato Fruit Ripening). *Plant Physiol.*, **110**, 1207-1214.
- 満田幸恵・新本洋士・小堀真珠子・津志田藤二郎 (2002) : 高速液体クロマトグラフィーによる野菜のカロテノイドおよびクロフィルの同時分析, 日本食品科学工学会誌, **49**, 500-506.
- 前澤重禮・山田初男・秋元浩一 (1993) : 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. 園学雑, **62**, 647-653.
- 松添直隆・園師一文・城島十三夫 (1998) : 土壌水分制限が赤・桃および黄色型ミニトマトの着色とカロチン形成に与える影響. 園学雑, **67**, 600-606.
- 永田雅靖・野口裕司・伊藤秀和・今西俊介・杉山慶太 (2007) : 普通種ニンジンと金時ニンジンの α -、 β -カロテンおよびリコペンの簡易分別定量法, 日本食品科学工学会誌, **54**, 351-355.
- 永田雅靖 (2009) : トマトの色づきと温度, 農耕と園芸, **64**(9), 51-52.
- Nieves, F-G., M. Vicente, C. Antonio. and C. Micaela (2004) : Fruit quality of grafted tomato plants grown under saline conditions. *J. Hort. Sci. Biotech.*, **79**, 995-1001.
- Pék, Z., P. Szuvandzsiev, A. Nemenyi, L. Helyes and A. Lugasi (2011) : The effect of natural light on changes in antioxidant content and color parameters of vine-ripened tomato (*solanum lycopersicum* L.) fruits. *HortScience*, **46**, 583-585.
- Ramirez-Rosales, G., M. Bennett, M. McDonald and D. Francis (2004) : Effect of fruit development on the germination and vigor of high lycopene tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) seeds. *Seed Sci. Tech.*, **32**, 775-783.
- Sadik, S. and P.A. Minges (1966) : Symptoms and histology of tomato fruits affected by blotchy ripening. *J. Amer. Hort. Sci.*, **88**, 532-543.
- 鈴木克己・河崎靖 (2008) : 日本型トマト多収生産に向けた研究開発のマイルストーン (3) - 夏季高温の克服と、冬季の効率的な暖房による周年安定生産に向けた取組み -。農及園, **83**, 417-424.
- 鈴木克己・水上宏二・土屋和・安場健一郎・中野有加・高市益行 (2011) : トマト低段密植栽培の二次育苗における徒長抑制と果実収量について。園学研, **10**, 183-189.
- Suzuki, K., K. Yasuba, M. Takaichi, T. Takahashi and T. Hoshi (2011) : Effect of the supplemental lighting on the growth of young plants in second nursery in tomato. *Acta Hort.*, **907**, 269-276.
- Taber, H., P. Perkins-Veazie, S. Lil, W. White, S. Rodermel and Y. Xu. (2008) : Enhancement of tomato fruit lycopene by potassium is cultivar dependent. *HortScience*, **43**, 159-165.
- Toor, R.K., G.P. Savage and C.E. Lister (2006) : Seasonal variations in the antioxidant composition of greenhouse grown tomatoes. *J. Food Comp. Analysis*, **19**, 1-10.
- 由比進・石井孝典・藤野雅丈・矢ノ口幸夫・片岡園・石内傳治・内海敏子・松永啓・沖村誠・川頭洋一 (2009) : 高リコペン性の支柱栽培用「とまと中間母本農 10 号」の育成とその特性。育種学研究, **11**, 95-99.

Causes and Control of Blotchy Ripening Disorder in Tomato Fruit

Katsumi Suzuki, Hidekazu Sasaki^{*}, Masayasu Nagata^{**}

Summary

We examined factors involved in the cause and control of blotchy ripening disorder of tomato. Lycopene content was higher in red sectors than in yellow sectors of tomatoes with blotchy ripening disorder. Chromoplasts in the yellow sectors had smaller lycopene bodies and more starch grains than those in the red sectors. We shaded fruits with aluminum foil and then made a cut in the foil, allowing direct sunlight to hit surface of the fruit. The incidence of blotchy ripening disorder was higher on the exposed portions than on the covered portions. Thermography revealed that the surface temperatures of fruits exposed to direct irradiation were higher than those of fruits covered with aluminum foil. The high temperatures induced by direct sunlight therefore likely affect the development of plastids, reduce the lycopene content, and cause yellowing. The incidence of blotchy ripening disorder differed among culture environments and cultivars. It was reduced by covering tomato trusses with agricultural materials to interrupt direct sunlight.