

平成 30 年 9 月 7 日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K07282

研究課題名(和文) トマトの生理障害「つやなし果」の発生機構の解明と選果方法の開発に関する研究

研究課題名(英文) Studies on the physiological mechanism of micro-cracking in tomato fruit and the development of its sorting method

研究代表者

西澤 隆 (NISHIZAWA, Takashi)

山形大学・農学部・教授

研究者番号：10208176

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：「つやなし果」はトマト表皮のクチクラのみに微細な亀裂が入り、光を乱反射することによって生じる生理障害である。発生要因として、UV、低温、水ストレス、ホルモン量、ホウ素(B)、カルシウム(Ca)などを検討したが、いずれも単独要因では「つやなし果」を発生させることはできなかった。一方B処理によって「つやなし果」の発生を抑制できたことから、「つやなし果」はB欠乏と気象要因を含む他の要因との複合作用によって生じる生理障害であることが示唆された。

研究成果の概要(英文)："Tsuyanashi-ka", which is also called as micro-cracking, is a physiological disorder developed on the cuticle of tomato fruit. In our experiment, factors such as UV, low temperature, plant hormones, calcium, and boron (B) etc. were testified if they could induce the development of "Tsuyanashi-ka". However, each factor did not induce the development of "Tsuyanashi-ka" when they were applied individually. On the other hand, B application effectively reduced the development of "Tsuyanashi-ka" suggesting that this physiological disorder would be induced through a combination of B-deficiency and the other factor(s) including environmental conditions.

研究分野：園芸学

キーワード：トマト つやなし果 クチクラ ホウ素 カルシウム UV 低温 マイクロクラッキング

### 1. 研究開始当初の背景

近年、北日本を始めとする各地のトマト産地で、果皮表面のつや(光沢)が失われる「つやなし果」と呼ばれる生理障害が発生するようになり、大きな問題となっている。「つやなし果」は、果皮表面にざらつきがあり、外觀が悪くなることから規格外品として扱われており、発生が多発する場合には、ハウス全体におよぶ場合もあるなど、トマト産地にとっては「つやなし果」の発生メカニズムの解明が急務の課題となっている。「つやなし果」の発生はミニトマト品種に多いが、中玉や大玉トマト品種でも発生することが知られている。また、「つやなし果」の味は正常果と変わらないが、収穫後の水分損失が多く、日持ち性が悪い特徴がある。

従来、「つやなし果」は促成栽培や抑制栽培で発生することから、低温条件下で肥大したトマト果実の果皮が硬化することにより、内部膨圧に耐えられなくなった果皮組織に微細亀裂ができることで発生する可能性が示唆された。事実、このような微細な傷は顕微鏡下でのみ観察される程小さく、肉眼で判断するのは困難である。トマトに限らず、果皮はクチクラと呼ばれる不透水性物質を分泌し、果実表面を覆うことで蒸散を抑制しているが、「つやなし果」の果皮を電子顕微鏡で観察した結果、微細な亀裂が果皮のクチクラ表面に発生すると共に、亀裂が大きくなると、クチクラ下層にある表皮細胞自体にも亀裂を生じさせていることが判った。

通常果皮組織に亀裂が入るとコルク形成層によってできるコルク細胞が充填するようになる。コルク細胞には不透水性のスペリンを含むリグニンが含まれており、壊れた果皮の強度を保つと共に、水分損失を抑制する。こうした一連の修復機能は、大きな亀裂が入ったときにはトマトでも比較的スムーズに進行するが、非常に微細な亀裂の場合やクチクラのみが障害を受けた場合は十分に機能せず、その結果水分損失量が増加して日持ち性が悪くなり、同時に光が果皮表面で乱反射することによって「つや」がないように見える可能性がある。

### 2. 研究の目的

「つやなし果」は、従来「低温期に発生する果皮表面の微細な亀裂」というような考えもあったが、申請者は盛夏期にも「つやなし果」が発生し、その症状は低温条件下で発生する「つやなし果」と同様、クチクラ表面の微細亀裂であることを見いだした。従って、「つやなし果」の発生メカニズムを解明するには、低温以外の要因も考慮しなければならない。

自然条件下で紫外線 UV-C は地表には届いていないが、収穫したトマト果皮表面に UV-C を照射すると、微細亀裂が発生するという報告がある。また、果実が夏季の強い UV-B に長時間晒されると、クチクラを含む

果皮に障害が発生するという報告があることから、UV-B によってクチクラが障害を受けると共に、高湿度条件下で蒸散が妨げられて果実の内部膨圧が高くなった場合には、低温条件下で発生する場合と同じような微細亀裂が発生する可能性は十分にある。特に夏季の温室内は、乾燥と灌水を繰り返すことでトマト果実は収縮と膨張を繰り返すことから、こうした物理的な要因が果皮やクチクラの構造や強度に影響を与えている可能性が高い。従って、こうした条件下でクチクラの化学的变化や果皮の物理的抵抗性の変化を測定できれば、「つやなし果」の発生メカニズムを解明することが期待される。

そこで、本研究では、環境条件と果皮の強度の変化の関係に重点を置き、併せてクチクラの構造や蒸散抑制効果を調べることによって、「つやなし果」の発生メカニズムを解明することを目的の一つとした。

さらに、現在「つやなし果」の発生メカニズムが不明なため、防止対策技術は、メカニズムが解明されてからの課題となる。むしろ現状では、適切な選果技術を開発することの方が産業上重要である。「つやなし果」が果皮表面に出来る微細な亀裂であることが明らかになったが、目視や色では「つやなし果」を判別することが困難であるため、新たな方法を開発する必要がある。そこで本研究では、レーザー変異計などを用いた非接触診断方法が可能かどうかを検討した。

### 3. 研究の方法

実験 1 ミニトマトにおける「つやなし果」の形態的および生理的特徴

ビニルハウス内で慣行栽培し、赤熟期に達したミニトマト「キャロルパッション」、「ロソナポリタン」、「サンチェリーピュア」、「千果」を2015年9月29日に収穫し、実体顕微鏡を用いて「つやなし果」の発生程度を調べた。「つやなし果」は、クチクラの一方方向のみ亀裂があるが、亀裂同士に連絡がないものを「弱」、亀裂同士に連絡があるものを「強」とした。果実の一部は15%RH75%に保ったチェンパ内で4日間貯蔵し、重量変化から水分減少率を求めた。また、表皮のSEM画像を用いて表皮細胞の面積を測定した。

実験 2 果房冷却、乾燥およびUV照射が「つやなし果」の発生に及ぼす影響

25Lのポットで栽培したミニトマト「ミニキャロル」を使用した。環境ストレス処理は、果実直径が約10mm(細胞肥大期)の幼果に対して18~6時の12時間果房のみを10℃に冷却(果房冷却区)、果皮に皺が入るまで乾燥させた後灌水(水ストレス区)、20W UV-A+B 蛍光灯(UV-A 1.4 mW/cm<sup>2</sup>, UV-B 400 μW/cm<sup>2</sup>)を6~18時まで12時間照射(UV区)の3処理区を設け、無処理(対照区)と比較した。

各処理は6月28日から3週間行った。果実を収穫後、SEMを用いて「つやなし果」の発生程度と形態を調査した。

### 実験3 株冷却および乾燥が「つやなし果」の発生に及ぼす影響

1/5000 a のワグネルポットで第1果房のみを着果させたトマト「麗容」および「桃太郎ファイト」を使用した。開花期にトマトトン処理を行い、果実直径が約5mm（細胞分裂期）および約20mm（細胞肥大期）に達した時点で、18~8時の14時間株全体を10の冷蔵庫内で冷却（株冷却区）、果実に皺が入るまで乾燥させた後灌水（水ストレス区）の2処理区を設け、無処理（対照区）と比較した。各処理は、細胞分裂期が7月1~31日、細胞肥大期が6月1~30日のそれぞれ1ヶ月間行った。果実を収穫後、「つやなし果」の発生程度を調査した。

### 実験4 「つやなし果」の非破壊測定とホウ素が「つやなし果」発生に及ぼす影響

「つやなし果」の傷の3次元構造を、可視光レーザー顕微鏡を用いて調べた。また、ミニトマト「千果」を用い養液栽培を行い、培養液にホウ素を加える+B区、ホウ素を除く培養液で育てる-B区および対照区の3処理区を設けて、ホウ素処理が「つやなし果」発生に及ぼす影響を調べた。

## 4. 研究成果

### 実験1

「つやなし果」全体の発生率は「ロソナポリタン」が88%と最も高く、以下「サンチェリーピュア」(52%)、「千果」(43%)で、「キャロルパッション」(20%)の発生率が最も低くなった(第1表)。「つやなし果」全体の発生率が高い「ロソナポリタン」は、発生程度「強」に分類される果実の割合も65%と高い傾向を示したが、発生程度「強」と「弱」の比(強/弱比)は発生率が最も低い「キャロルパッション」が約4と最も高い値を示した。いずれの品種とも、4日間の貯蔵期間中「つやなし果」発生程度「強」の果実の水分減少率が最も大きく、10~16%に達したが、発生率が最も高い「ロソナポリタン」における水分減少率が最も低くなった。「ロソナポリタン」や「千果」では、「つやなし果」の表皮面積が正常果に比べ大きくなる傾向が認められたことから(第2表)、果実肥大

第1表 ミニトマト各品種に発生した「つやなし果」の発生率と貯蔵期間中における水分減少率

品種	調査果数	発生率(%)			強/弱比	水分減少率(%)			
		正常	弱	強		正常	弱	強	
キャロルパッション	51	20.4	3.9	15.7	19.6	4.02	2.29	4.74	12.79
千果	47	57.4	25.5	17.0	42.5	0.67	3.25	7.20	15.53
サンチェリーピュア	60	48.3	22.2	22.2	51.6	1.21	3.48	6.60	13.59
ロソナポリタン	51	11.0	22.5	64.7	22.2	2.75	2.57	5.89	10.82

「つやなし果」の各症状は第1図に示した。水分減少率は貯蔵4日後の果実の重量の変化から推定した。

品種	表皮細胞面積 (µm <sup>2</sup> )			ミニトマト各品種における「つやなし果」の表皮細胞面積
	正常	弱	強	
千果	219412b	396427a	420445a	
サンチェリーピュア	310444a	414444a	302449a	
ロソナポリタン	440444b	504455b	780460a	

異なるアルファベットはTukey検定で有意差があることを示す(n=45区)。

期に急激な細胞肥大が生じると表皮面積当りのクチクラ量が減少するため、果実の膨圧に耐えられずにクチクラの構造が破壊されることによって亀裂が発生するものと考えられた。

### 実験2

果房冷却区のみ一部の果実でクチクラに亀裂が発生する果実が認められたが、その他の処理区では認められなかった(第3表)。しかし、冷却区でもその発生率は30%に留まり、多くの果実は正常であった。

第3表 環境ストレス処理がミニトマト「ミニキャロル」の「つやなし果」発生に及ぼす影響(実験1)

処理区*	対照区*	果房冷却区*	UV-A+B区	水ストレス区
果実				
クチクラ				
亀裂発生率(%)	0	30	0	0

\*各処理は果実直径が約10mmに達した時点から3週間行った。

\*対照区の湿度は約60%であった。

\*果房冷却は夜間のみ12時間、UV-A+B処理は昼間のみ12時間行った。

### 実験3

細胞分裂期に環境ストレス処理を行った場合、「麗容」、「桃太郎ファイト」とも対照区の亀裂発生率が最も高くなった(第4表)。

第4表 果実の細胞分裂期および細胞肥大期に与えた環境ストレス処理がトマト「麗容」および「桃太郎ファイト」の「つやなし果」発生に及ぼす影響(実験2)

処理区*	細胞分裂期		細胞肥大期	
	麗容	桃太郎ファイト	麗容	桃太郎ファイト
対照区†	20.0	13.3	20.0	6.7
株冷却区*	4.0	4.0	0	26.7
水ストレス区	0	0	0	0

\*果実直径が約5mm(細胞分裂期)および20mm(細胞肥大期)に達した時点から1ヶ月間行った。

†対照区の湿度は細胞分裂期、細胞肥大期とも約70%であった。80%以下

\*株冷却区は、夜間のみ12時間、株全体を冷蔵庫内で冷却した。

株冷却区では両品種とも4%であり、水ストレス区では両品種とも0%であった。

細胞肥大期に各処理を行った場合、対照区の「麗容」は20%に亀裂が発生したが、「桃太郎ファイト」では6.7%に留まった。株冷却区では「桃太郎ファイト」で26.7%であったが、「麗容」では0%であった。また、水ストレス区は両品種とも0%であった。

実験2で夜間に果房を冷却した場合のみ一部の果実でクチクラに亀裂が発生したが、商業栽培においては「つやなし果」は夏季にも認められており、低温のみが主要な発生要因であるとは考え難い。一方、実験3で株全体を冷却した場合には、細胞肥大期の「桃太郎ファイト」のみ26.7%に発生が見られた以外は顕著な発生は認められなかった。実験2で夜間に果房を冷却した際に、果房内の湿度は平均80%であったのに対し、実験3で株全体を冷却した場合の湿度は約40%であったこと(データ未掲載)、対照区の湿度は実験2が約60%、実験3が約70%であったことを考えると、果皮表面が高湿度に保たれることが

「つやなし果」の主要因として作用している可能性がある。

#### 実験4

可視光レーザーを使用することにより、三次元的に「つやなし果」の形状を把握し、この原理を用いることによって非破壊的に「つやなし果」を選別できる可能性が示唆された(データ未掲載)。

また、ホウ素濃度が高い場合には「つやなし果」の発生が遅れたことから、「つやなし果」の発生にはホウ素欠乏が要因の一つと考えられた。しかし、「つやなし果」と正常果との間でホウ素濃度に大きな違いが無い場合も多いことから、「つやなし果」はホウ素欠乏に加えて、高湿度による蒸散阻害など、複合要因によって生じている可能性が示唆された(データ未掲載)。これらの結果については、現在公表の準備を進めている。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 3 件)

西沢 隆・池田健太郎. 2015. ネットメロンおよびノーネットメロンにおける周皮組織の発達が果皮の亀裂からの水分損失に及ぼす影響. 園学研 14 別 2, '15[野菜]. 169.

西沢 隆・金子暁夫・後藤 楓. 2016. 環境条件がトマトにおける「つやなし果」の発生に及ぼす影響. 園学要旨 H28 東北支部. 33-34.

西沢 隆・金子暁夫・後藤 楓. 2017. ミントマトにおける「つやなし果」の形態的および生理的特徴. 園学研 16 別 1, '17[野菜]. 102.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：

取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等  
<http://www.tr.yamagata-u.ac.jp/~nisizawa/>

#### 6. 研究組織

(1)研究代表者  
西澤 隆(NISHIZAWA, Takashi)  
山形大学農学部 (教授)  
研究者番号：10208176

(2)研究分担者  
( 0 )

研究者番号：

(3)連携研究者  
( 0 )

研究者番号：

(4)研究協力者  
( 0 )