

令和 3 年 5 月 16 日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K05610

研究課題名(和文) ホウ素欠乏と蒸散抑制の複合要因がトマトの「つやなし果」発生に及ぼす影響

研究課題名(英文) Effect of combined factors of boron deficiency and inhibition of transpiration on the development of cuticle cracking in tomato fruits

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) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：トマトの「つやなし果」(マイクロクラッキング)は、果皮のクチクラ表面に微細な傷ができる生理障害で、できた傷によってクチクラの機能が部分的に阻害されるため、果皮表面からの蒸散量が増加し、合わせて病原菌が侵入しやすくなるなど、果実の日持ち性を大きく低下させる。本試験課題の研究で、培養液中のホウ素濃度を変えることにより「つやなし果」が発生したが、ホウ素欠乏はトマトの受精と種子形成を大きく阻害し、奇形果や落果も多く発生した。そこで受精と「つやなし果」との関係を調べるため、ホルモンバランスを変える摘葉処理やオーキシン処理、蜜蜂による受粉を行った結果、「つやなし果」の発生が抑制された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

トマトの「つやなし果」は果実表皮のクチクラ層に微細な亀裂が入る生理障害で、亀裂が入った果実は蒸散量が増加し、病原菌の侵入が容易となるため、日持ち性が悪く商品価値を損なう。今回の研究により、ホウ素欠乏条件下でトマトを育てると、「つやなし果」の発生が促進されることを明らかにした。しかし、ホウ素欠乏はトマトの受精や種子形成にも影響することから、摘葉、オーキシン散布、マルハナバチによる授粉といった、果実内のホルモンバランスを変える処理を行ったところ「つやなし果」の発生を抑制することができた。こうした結果は学術的のみならず、商業的な「つやなし果」対策にも対応可能な技術開発に繋がる結果である。

研究成果の概要(英文)："Tsuyanashi-ka" of tomato fruit is a micro-cracking occurred on the cuticle layer of the epidermal layer. Micro-cracked fruit increases transpiration from the fruit surface and invasion of micro-organisms, resulting in the shortening of the shelf life. In this study, I found that boron deficient condition induced micro-cracking as well as the non-fertilized fruit, suggesting that the micro-cracking of tomato fruits might be influenced by the fertilization. Therefore, defoliation, application of auxin, and pollination by honey-bees were conducted for inducing the fertilization and seed formation. As the result, these treatments effectively inhibited the occurrence of micro-cracking of tomato fruits.

研究分野：園芸学

キーワード：つやなし果 ホウ素 摘葉 オーキシン トマト マイクロクラッキング クチクラ 剛性

1. 研究開始当初の背景

トマトの「つやなし果」(マイクロクラッキング)は、果皮のクチクラ表面に微細な傷ができる生理障害で、できた傷によってクチクラの機能が部分的に阻害されるため、果皮表面からの蒸散量が増加し、合わせて病原菌が侵入しやすくなるなど、果実の日持ち性を大きく低下させる。「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。

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ベ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。

細淵ら(2013)は、「つやなし果」が冬季の温泉熱を用いた温室で発生しやすいことから、温泉水に含まれる B の過剰吸収によって発生する可能性を示唆しているが、申請者らは、B の添加濃度が高いほど「つやなし果」の発生率が低下することを明らかにした(西沢ら, 2017)。従って少なくとも B 過剰を「つやなし果」の発生要因と考えることはできない。むしろ B が欠乏するほどクチクラ量が減少したことから、B 欠乏が「つやなし果」の発生要因として考えられた。その一方で「つやなし果」の B 含量は低い傾向があるものの、「つやなし果」と同程度の B 含量でも「正常果」になる果実も多く、特に実験的に 1 果房のみを残して育てた場合には極端な B 欠乏下でも「つやなし果」は全く発生しなかった。この矛盾を解釈する手掛りとして、「つやなし果」の発生率が、下位節の果実では遅く収穫するほど高い、曇天下や高湿度下ほど高い、B 施与量を減らして遮光率を上げるほど発生頻度が高いという実験データが得られた。こうした結果から、「つやなし果」は B 欠乏単独で生じる生理障害ではなく、「B 欠乏によってクチクラ生成量が阻害された状態で、高湿度や葉による遮光により果実からの蒸散が抑制された場合、クチクラが内部膨圧に耐えられずに亀裂を生じる一方で、クチクラに亀裂が入ることで膨圧が下がるため表皮細胞にまでは亀裂が入らない」という仮説を提唱するに至った。

2. 研究の目的

本研究の目的は、B 欠乏と環境の複合要因が「つやなし果」の発生要因であるという仮説に基づき研究することにある。現在「つやなし果」は全国的に問題となっている一方で日本での研究は殆ど行われていない。また、従来トマト果実の亀裂発生は、単一要因として考えられてきたが、少なくとも栽培現場で生じている障害は「複合要因」の可能性が高い。

3. 研究の方法

養液栽培と土耕栽培両方を試みた。微量養素であるホウ素は常に土壤中に若干量が含まれることから、効率的なホウ素欠乏条件を導き出すには養液栽培が必須条件となる。一方、栽培現場では「つやなし果」が土耕栽培でも頻発することから、一定量のホウ素を含む土壤中で「つやなし果」が発生した場合でも養液栽培と同じ結果が得られるかを検証する必要がある。

大玉トマトとミニトマトを供試し、開花期以降にホウ素を欠乏させることで、その後の果実の発育と「つやなし果」の発生割合を調査した。加えて、剥皮したクチクラを供試し、クチクラの主要成分であるワックス、クチン、炭水化物の解析を行った。

4. 研究成果

本試験課題の研究により、クチクラの量と「つやなし果」の発生との間には必ずしも正の相関が認められなかった。一方、培養液中のホウ素濃度を変えることにより「つやなし果」の発症程度が変わることを明らかにした。そこで、トマト「麗容」ホウ素過剰下で養液栽培した場合の「つやなし果」の発生状況を調べたところ、ホウ素施用時期に拘わらず「つやなし果」が発生することはなかった。一方、ホウ素欠乏条件下で養液栽培を行った場合、開花期ないし開花前期からホウ素を欠乏させた場合には、「つやなし果」が発生したが、栽培初期からのホウ素欠乏はトマトの受精と種子形成を大きく阻害し、奇形果や落果も多く発生した。そこで受精と「つやなし果」との関係を探るため、ミニトマト「千果」を供試し、ホルモンバランスを変える摘葉処理を行った。その結果、強度の摘葉処理を行うことにより単為結果を阻害し、種子形成を促した果実では「つやなし果」の発生が大きく抑制された。こうした結果は、ホウ素欠乏の直接的影響と言うよりはむしろ受精の有無が「つやなし果」の発生に影響する可能性を示唆している。強度の摘葉処理による種子形成は、オーキシンの合成を促進する。そこで合成オーキシンである「トマトーン」処理を行うと、高濃度で処理するほど「つやなし果」の発生が抑制された。また、マルハナバチを用いて受精させた場合にも「つやなし果」の発生が抑制された。表皮のクチクラ成分を調べると、摘葉やホルモン処理によりクチクラ合成が阻害され、クチクラの剛性が弱まることから、「つやなし果」を抑制する要因であると考えられた。

このように、果実における種子形成は、「つやなし果」の原因を解明する上で、重要な要

因であると考えられる。一方、「つやなし果」の発生は季節的な影響や果房の中の果実の位置によって大きく変わり、過度な高温や低温が続く場合には発症しやすく、果房の中でも先端ほど発症が多いという特徴があることが分かった。こうした特徴が果実の種子形成との程度関連しているのかはまだ不明な点が多いが、ミニトマトのような1果房に多数の果実を着生する品種の場合、通常用いられるトマトトーン(合成オーキシン)処理は、一定数の花が開花した時点で実施されており、その時点ではまだ先端の花は開花していないことが多い。また、高温期には果実の肥大速度が速く、細胞も大きくなることが多い。逆に低温期には果実肥大速度は遅くなるが果実には一定の膨圧が長期間かかり続けることになる。こうした季節的な要因がどの程度「つやなし果」の発症に影響するかについては十分に解明できている訳ではなく、推論の域を出ない部分も多い。夏季には温度が上昇することから、果実は過剰な蒸散を抑制するためクチクラ合成が促進され、結果としてクチクラは厚くなる。逆に秋季は気温が低下し、温室を閉める時間が長くなる結果、湿度が上昇するためクチクラ合成は抑制され、結果としてクチクラは薄くなる。しかし、「つやなし果」が周年で発生することを考えると、単純なクチクラの厚さは「つやなし果」の発症程度には影響しないと予想される。クチクラの成分比で比較した場合でも、季節的な変化は余りない。一方で、同じ処理を行った果房内でも、「つやなし果」が発生した果実のクチクラは、正常果に比べると細胞が大きく、かつクチクラが厚くなる傾向がある。

一般的に言えば、クチクラが厚いほど膨圧に対する力学的耐性は増すと考えられることから、こうした結果は一見すると矛盾する。顕微鏡観察を行うと、「つやなし果」が発生した果実では、クチクラの亀裂はほぼ全て細胞の中央で生じ、ミドルメラでは起こらない(図1)。トマト果実の場合、表皮細胞が完全に切れてしまう裂果がミドルメラで生じることと比べると、根本的に異なる現象であり、

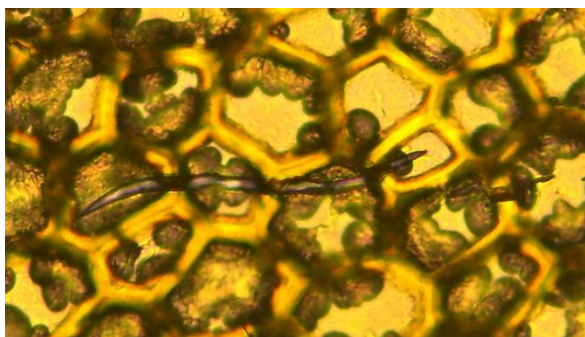


図1 「つやなし果」の亀裂の特徴

裂果とマイクロクラッキングの大きな違いでもある。クチクラは表皮細胞上に均一に分布している訳ではなく、ミドルメラ部分ではクチクラの沈着が生じるため厚く、細胞の中央部では細胞の肥大に伴ってクチクラが左右に引っ張られるため、最も薄くなる。したがって、実際にクチクラが切れる部分の厚さと「つやなし果」の発症との関係についてより詳細な観察と解析が必要である。さらに、若い果実のクチクラはクチンの発達未熟であり、弾性力に富んでいるが、果実が着色期を向かえる頃になると、クチンにフェノールが入り込むなどにより、徐々に弾性力を失い、逆に剛性力が増す。クチクラに十分な剛性があれば恐らく「つやなし果」は発症しないが、膨圧が大きく、また細胞が大きくなり、クチクラの合成力を超える力が加われば、クチクラには不可逆的な亀裂が生じることになり、そうした亀裂はクチ

クラが最も薄いカ所で生じることは容易に予想される。こうした点を解明するには、クチンの化学的な性質と力学的な性質を共に解明する必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Marietta Gonroudobou and Takashi Nishizawa
2. 発表標題 Boron deficiency enhances microcracking of immature tomato fruit
3. 学会等名 UGAS international symposium -Thai-Japan Agricultural Science- (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤政憲・西沢 隆・山崎紀子
2. 発表標題 陰イオン吸着資材の土壌混和が野菜類の生育と養分吸収に及ぼす影響
3. 学会等名 園芸学会令和2年度春季大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

山形大学農学部野菜園芸学研究室 http://www.tr.yamagata-u.ac.jp/~nisizawa/

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------