

令和 4 年 6 月 13 日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K06025

研究課題名（和文）高温期のトマト肥大不良果発生における温度反応特性の解析

研究課題名（英文）Temperature response and gene expression analysis of tomato fruit development under high temperature condition

研究代表者

長菅 香織（Nagasuga, Kaori）

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・野菜花き研究部門・グループ長補佐

研究者番号：30370612

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）：トマト夏秋期生産における収量低下の原因のひとつとして肥大不良果の発生が考えられる。そこで、高温下の果実肥大特性の解明および関連遺伝子の高発現条件の特定を行い、回避技術の開発に役立てることを目的とした。本現象に深く関与すると考えられる未発達花の発生が減少する温度条件を明らかにした。また、独自に選定した本現象と密接に関連する遺伝子の高発現条件（発生温度、遭遇時間）を国内9品種で特定した。また、6品種においてこの高発現を抑制する低温挿入条件を明らかにした。この結果を応用することにより肥大不良果発生を軽減する温度制御方法の開発に繋がると考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高温下におけるトマトの肥大不良果発生に関しては1960年代に詳細研究が行われているものの、現在の品種および施設環境に見合う技術開発のためには明らかにすべき課題が残されていた。本研究では、近年の国内主力品種について形態的解析により高温下における果実肥大特性を明らかにし、また、独自に選定した関連遺伝子の発現解析により肥大不良果の発生条件および発生回避条件を特定した。遺伝子発現解析を利用した発生条件の特定は他に例を見ない新たな知見である。また、本成果は肥大不良果発生を回避するための新たな温度制御技術の開発に繋がるものであり、夏秋期のトマト収量増加が見込まれるため社会的意義も大きいと考える。

研究成果の概要（英文）：High temperatures during summer-to-autumn tomato production decrease the yield of September and October. One of the reasons is considered fruit development inhibited by high temperature. The purposes of this study were to clarify the mechanism of fruit development under high temperature condition and determine the high expression condition of genes correlated with this phenomenon, and the results will contribute to technique development of minimizing this phenomenon. Temperature condition of decreasing occurrence of undeveloped flowers related to this phenomenon considerably. High expression conditions of genes correlated with this phenomenon, limited temperatures and periods on occurrence of this phenomenon, were determined in nine Japanese varieties. Low temperature conditions decreasing high gene expression were detected in six varieties. These results will be useful in developing technique of decreasing undeveloped fruits under high temperature.

研究分野：野菜栽培生理学

キーワード：トマト 高温 果実肥大 遺伝子発現 環境制御

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

国内のトマト夏秋期生産においては9~11月の出荷量が減少し、周年安定生産の妨げとなっている。この原因のひとつとして、高温による肥大不良果の発生が関与していると考えられる。周年にわたる高品質多収安定生産を実現するためには、夏秋期の肥大不良果発生における対策技術の開発が不可欠である。温度条件とトマトの果実肥大に関する報告は多いが、ほとんどは国内の夏期施設生産で想定される過酷な高温条件に比べて冷涼な温度域での検討であり、高温障害である50g前後の小果等、国内の生産現場において問題となる現象については知見が少ない。国内においては1960年代に‘福寿2号’の小果発生に関する詳細解析が報告されているが、この60年で品種は大きく変遷している。従って、トマト夏秋期生産での肥大不良果発生を回避する技術開発のためには、近年の国内品種における高温による肥大不良果発生機構について未解明な部分が残されている。

### 2. 研究の目的

これまでに近年のトマト国内主力品種について肥大不良果の発生には開花から着果までの期間における高温が大きく影響することを明らかにした。その過程で、過酷な高温下では受粉後に果実肥大せずに長期間果房に残る未発達花が多発し、着果以降の果実肥大日数が顕著に短くなり小果発生に至ると考えられた。従って肥大不良果の発生要因の解明には、果実発達初期の温度と経時的な果実発達との関係を明らかにすることが重要であると考えられた。一方、肥大不良果の発生には子房壁および胚珠の発達抑制が深く関与し、これらの組織で特異的に高温発現する高温応答性および細胞周期関連遺伝子を独自に選定した。これらの遺伝子の高温発現に連動して収穫果実重は減少したため、選定した遺伝子の発現変動と肥大不良果発生は密接に関わっていると考えられた。従って、選定した遺伝子が高温発現する高温条件を明らかにすることにより、肥大不良果発生要因となる高温遭遇条件の特定に繋がると考えられる。

そこで、本研究では、(1)夏期高温下におけるトマト国内品種の経時的な果実発達と果実発達初期の気温との関係を解析し果実肥大特性を解明する、(2)既に選定している肥大不良果発生関連遺伝子の発現変動を、高温遭遇パターンと温度域を組み合わせた多様な高温条件下において明らかにする、(3)果実肥大特性と関連遺伝子発現変動との整合性から肥大不良果発生要因となる高温遭遇条件を特定し、温度制御すべき果実発達段階や適正な温度条件の提示に繋げ、夏秋期の肥大不良果発生回避技術の開発に役立てることを目的とした。

### 3. 研究の方法

#### (1) 夏秋期気温変動下における国内トマト品種の果実肥大特性の解明

トマト品種‘桃太郎8’、‘CF桃太郎ヨーク’、‘CF桃太郎はるか’、‘CF桃太郎ファイト’、‘りんか409’、‘麗容’、‘麗夏’、‘冠美’、‘鈴玉’を温室内の気温変動下において養液栽培した。6月定植で、気温なりゆきの高温区および細霧冷房を行う対照区を設け、高温下における国内品種の果実肥大特性を明らかにするため、気温条件と経時的な果実肥大程度、果実肥大および成熟速度、未発達花発生との関係を比較解析した。

#### (2) 多様な温度条件が肥大不良果発生関連遺伝子の発現変動に及ぼす影響の解明

トマト品種‘CF桃太郎ヨーク’、‘CF桃太郎ファイト’、‘麗夏’、‘りんか409’、‘冠美’、‘大型福寿’について、第1花房の最大4花を開花時に除雄後、冷涼下で採取した正常花粉により開花時に授粉した。授粉後にインキュベータ内における高温遭遇日数、1日当たりの高温遭遇時間、高温遭遇パターン等を組み合わせた条件下で発達初期の子房を採取し、既に選定している2種類の肥大不良果発生関連遺伝子の発現量をリアルタイムPCRにより測定した。内在性コントロール遺伝子の発現量に対する関連遺伝子の発現量の相対値を処理区間で比較解析し、関連遺伝子が高温発現する高温遭遇条件を明らかにした。この条件下では肥大不良果発生が増加すると考えられるため、以上の手法を繰り返し肥大不良果発生要因となる高温遭遇条件を検討した。

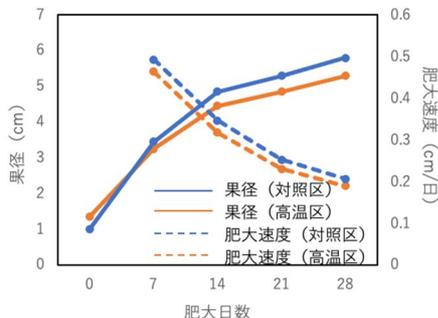
#### (3) 肥大不良果発生を回避するための適正条件の解明

肥大不良果発生関連遺伝子については高温遭遇中の短時間の高温回避により発現量が低下することが見出され、本現象を軽減できる可能性が考えられた。そこで、(2)の供試品種について(2)で特定した肥大不良果発生要因となる高温遭遇条件における効果的な高温回避時間を検討した。また、‘CF桃太郎ヨーク’、‘CF桃太郎はるか’、‘麗夏’、‘りんか409’について、本現象を軽減できると想定される温度制御条件を再現した温室内で栽培検証し、肥大不良果発生回避条件の特定を進めた。

### 4. 研究成果

#### (1) 夏秋期気温変動下における国内トマト品種の果実肥大特性の解明

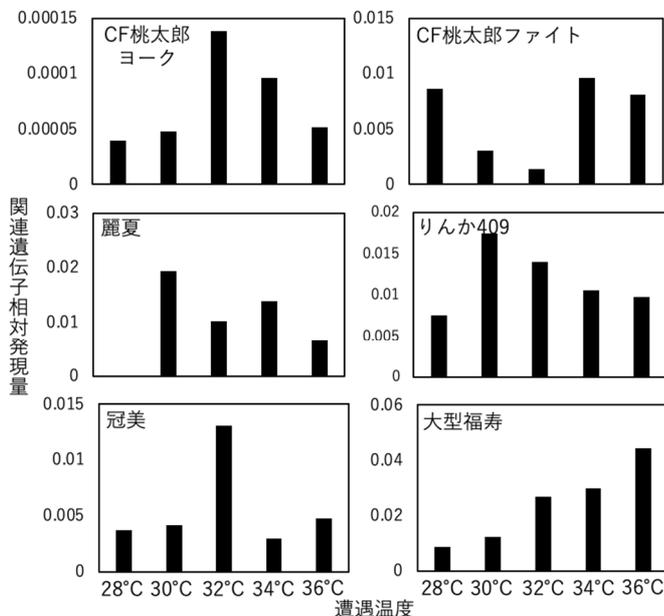
いずれの品種も高温区では対照区に比べて果重および種子数は減少し、開花から果実肥大開始までの日数は増加した。8月11日に着果が認められた果実について催色が始まった9月8日までの果径推移を調査した。この期間の高温区の日平均気温は29.7、対照区では29.5と大きな差はなかった。期間中の日最高気温平均は高温区で35.5、対照区で34.6と約1の差があった。果実肥大速度は‘鈴玉’において高温区で減少し、果実成熟速度は‘りんか409’、‘麗夏’、‘鈴玉’において高温区で増加した(第1図)。他の品種では高温の影響は判然としなかった。品種により異なるが、開花から果実肥大開始までが9日以上の場合、100g以下の肥大不良果となる傾向がみられ、この期間の日平均気温は27.9であった。また、同期間が38日以上の場合には単為結果を示し40g以下となる傾向がみられ、この期間の日平均気温は28.5であった。細霧冷房により8品種において肥大不良は軽減され、細霧時間における気温は気温なりゆき区で32、細霧冷房で30.2であった。以上より、品種により違いはあるが、概ね日平均気温を28以下、日中気温を30以下に保つことにより、開花から果実肥大開始までの期間、すなわち未発達花として果房に残る期間は短縮され、肥大不良果の発生は軽減されることが考えられた。



第1図 高温が‘鈴玉’の果実肥大に及ぼす影響

(2) 多様な温度条件が肥大不良果発生関連遺伝子の発現変動に及ぼす影響の解明

関連遺伝子の発現が高まる温度は品種により異なり、‘麗夏’、‘りんか409’で30、‘CF桃太郎ヨーク’、‘冠美’、‘大型福寿’で32、‘CF桃太郎ファイト’で34であった(第1図、第1表)。関連遺伝子の高発現条件では肥大不良果が発生すると考えられるため、これらの温度を発生温度とした。それぞれの発生温度における関連遺伝子の発現は、品種により2~6時間の遭遇で高まった。これより短い時間内では肥大不良果は発生しないと考えられるため、品種ごとに1~4時間を遭遇限界時間とした(第1表)。



第2図 1日あたり6時間の遭遇温度がトマト6品種の肥大不良果発生関連遺伝子発現に及ぼす影響

(3) 肥大不良果発生を回避するための適正条件の解明

(2)で使用したいずれの品種においても、発生温度への遭遇時間中に28の高温回避時間を挿入することにより関連遺伝子の発現低下が概ね認められ、そのために要する時間は限界時間に比べて短い場合から長い場合まで品種により異なった(第3図、第1表)。

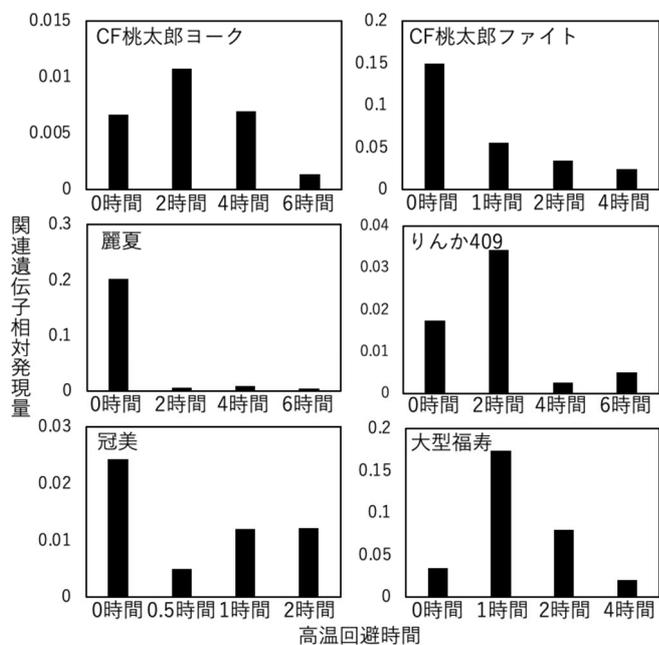
‘CF桃太郎ヨーク’、‘CF桃太郎はるか’、‘麗夏’、‘りんか409’において、この温度制御条件により夏期高温期の温室栽培を行ったところ、いずれの品種も果重および種子数は増加する傾向が認められた。また、果実肥大開始までの日数はこの温度制御条件によりいずれの品種も減少し、肥大開始から催色までの日数は‘CF桃太郎ヨーク’において増加した。温室内で8月下旬に採取した子房における関連遺伝子の発現はいずれの品種もこの温度制御条件により低下した。

第1表 関連遺伝子の発現変動に基づいて特定されたトマト6品種の発生温度、遭遇限界時間および高温回避時間

| 品種名       | 発生温度 | 遭遇限界時間 | 高温回避時間 |
|-----------|------|--------|--------|
| CF桃太郎ヨーク  | 32°C | 4時間    | 6時間    |
| CF桃太郎ファイト | 34°C | 2時間    | 1時間    |
| 麗夏        | 30°C | 4時間    | 2時間    |
| りんか409    | 30°C | 4時間    | 4時間    |
| 冠美        | 32°C | 1時間    | 0.5時間  |
| 大型福寿      | 32°C | 2時間    | 4時間    |

従って、肥大不良果発生温度への遭遇が発生の限界時間を超える前に高温回避時間を挿入することにより関連遺伝子の高発現は抑制されたため、多くの品種でこの方法により肥大不良果発生を軽減できる可能性が示唆された。また、発生温度、限界時間および高温回避時間は品種に

より異なるが、関連遺伝子を指標とした発現解析により設定できると考えられる。



第3図 発生温度遭遇中の高温回避時間がトマト6品種の肥大不良果発生関連遺伝子の発現に及ぼす影響

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 0件）

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>長菅香織、上野広樹、山崎敬亮                  |
| 2. 発表標題<br>遺伝子発現解析を利用したトマト高温肥大不良果発生回避条件の検討 |
| 3. 学会等名<br>令和3年度園芸学会秋季大会                   |
| 4. 発表年<br>2021年                            |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>長菅香織、上野広樹                     |
| 2. 発表標題<br>遺伝子発現に基づいた短時間冷房がトマト果実肥大に及ぼす影響 |
| 3. 学会等名<br>令和3年度園芸学会東海支部大会研究発表会          |
| 4. 発表年<br>2021年                          |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号) | 所属研究機関・部局・職<br>(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 |
|---------|---------|
|---------|---------|