

令和 6 年 6 月 18 日現在

機関番号：32658

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K05568

研究課題名(和文) 果実表面の微気象学的解析に基づくトマト果実への低温耐性の付与

研究課題名(英文) Micrometeorological analysis of the fruit surface confers the chilling tolerance to tomato fruits

研究代表者

馬場 正 (BABA, Tadashi)

東京農業大学・農学部・教授

研究者番号：80277243

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)： トマト果実に低温耐性を付与して、低温障害の発生を軽減する技術開発に挑戦した。低温耐性は、収穫日に近い短期間の高温と開花後から収穫日までの長期間の光条件が関与していた。この結果を受けて、収穫後にヒートショック処理を、また栽培中に遠赤色光補光処理を行った。その結果、両処理とも低温障害指数の低下、健全果率の上昇が認められた。このように栽培中もしくは収穫後に然るべき処理を行うことで、低温に強いトマト果実を供給できる可能性が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、トマト果実の低温耐性に栽培中の温度環境、光条件が関与していることを世界で初めて示した。とくに収穫日に近い短期間の高温と、開花日から収穫前日までの長期間の強光条件が低温耐性の付与に寄与していることを明らかにした。さらにこの結果を受けて、収穫後のヒートショック処理、また栽培中の遠赤色光の補光処理が、トマト果実の低温耐性を高めることができる技術であることを実証した。両技術によってトマト果実を1か月以上貯蔵できることが明らかになったので、国内での出荷調整のみならず、高品質トマトの輸出拡大が可能となる。

研究成果の概要(英文)： The object of study was to evaluate the technology that would confer chilling tolerance to tomato fruits during cultivation or after harvest. Chilling tolerance of tomato fruits was found to be related to a short period of high temperature before harvest and light conditions from flowering to the harvest date. Based on these results, we investigated the role of heat shock treatment to the fruit after harvest and supplemental far-red LED light during cultivation. Both treatments showed a decrease in the occurrence of chilling injury and an increase in the rate of healthy fruit. This indicates the possibility of producing tomato fruits that are resistant to low temperature storage.

研究分野： 収穫後生理学

キーワード： 低温障害軽減 ヒートショック 遠赤色光補光 収穫後処理 トマト果実 低温耐性 青果物輸出 貯蔵

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) トマトは産地、作型、品種などを変えていくことで一年を通して供給されており、これまでは収穫後に貯蔵するという考え方はなかった。近年、天候不順や高齢化の進行によって計画的生産が難しくなっており、その結果生産量と価格が大きく変動し、廃棄率も高くなっている。貯蔵技術が確立できれば、ロス分の有効利用や不足時の安定供給に寄与できる。さらに近年農産物の輸出振興が進められる中、価格競争力を確保するために海上輸送が推奨されており、この場合航空利用よりも時間を要するため、長期間品質保持できる技術が求められている。このようにトマトでは貯蔵技術(目標は1か月以上)の開発という新たなニーズが高まっている。

(2) 低温環境は、収穫後青果物の品質保持に重要である。ただし、トマトを含む一部の青果物では、逆に低温がストレスとなり褐変、軟化などの「低温障害」が発生する。低温障害を回避する技術に高温(HS)処理がある。トマトでは、HS処理(38 3日)してから低温貯蔵(3 3週間)すると、低温障害が軽減できる。この事実は1990年代から知られていたが、実際にいろいろな収穫月のトマト果実に対してHS処理を行うと、その効果は安定しない。このように低温障害の発生が収穫月によって大きく異なるという事実は、栽培中の環境条件によってトマト果実の低温耐性が決まることを推測させる(大野ら、2018)。

(3) トマト果実において、栽培中の光条件と低温耐性との関係を調査した Affandi ら(2020)は、栽培中の遠赤色光 LED 補光が、収穫後の低温障害の発生を軽減できることを示した。ただしこの論文では、栽培中の遠赤色光の放射照度とトマト果実の低温耐性との関係については、実証されていない。遠赤色光の補光処理は、収穫後のトマト果実でも低温障害軽減に効果を示しており(Martínez-Zamora ら、2023)、他の波長の光よりも低温耐性の付与に効果的と考えられた。

(4) そこで本研究では、トマト果実について、栽培中の気温および放射照度を測定し、栽培中の環境条件と低温障害発生との関係を解析することとした。さらに、栽培中や収穫後の処理によって低温耐性を付与し、低温貯蔵に耐性を持つトマト果実の供給を実現しようと考えた。

### 2. 研究の目的

(1) 本研究では、トマト果実の低温障害の発生と栽培条件との関係を解析し、その結果に基づいて栽培中や収穫後に低温耐性付与処理を行った。以下の3つの実験を行い、最終的に低温貯蔵に耐性のあるトマト果実を供給することを目的とした。

(2) 低温障害の発生と栽培中の環境条件(実験1)

当年10月から翌年6月までの間トマト果実を収穫し、その後低温貯蔵して、低温障害の発生を観察した。低温障害の発生と栽培中の温度、光環境との関係を解析した。

(3) 収穫後のヒートショック(HS)処理による低温耐性の付与(実験2)

収穫後のトマト果実に対して38 3日のHS処理(温風処理)を行った。収穫後処理によって低温耐性が付与できるかを検証した。

(4) 栽培中の補光処理による低温耐性の付与(実験3)

栽培中に遠赤色光 LED による補光処理を行った。栽培法の工夫によって低温耐性のある果実が生産できるかを検証した。

### 3. 研究の方法

(1) 実験1

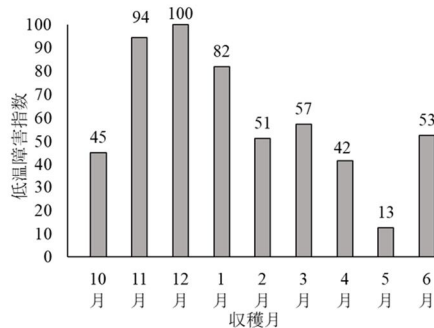
実験は2020-2021年シーズンに実施した。神奈川県農業技術センター(神奈川県平塚市)ガラス温室内で栽培したトマト「TY みそら 86」(台木「スパイク」)を、1か月に1度催色期に収穫し、速やかに東京農業大学(神奈川県厚木市)へ低温宅配便で輸送した。到着後一晩13℃で保管した後3℃で3週間貯蔵し、その後20℃下に移し追熟させた。完熟に到達した果実について順次低温障害の発生を調査した。低温障害は、着色不良、果汁漏出、軟化、水浸状の発生面積から「低温障害指数」を算出して評価した。栽培中の環境条件として、果実表面温度、気温および放射照度を測定し、低温障害指数との関係を解析した。果実表面温度は、非接触温度センサを各果房段位に設置し果実赤道部で測定した。気温は生長点付近の高さで測定した。放射照度は320~1100nmについては温室棟屋外で、UV-B(280~315nm)およびUV-C(220~280nm)については温室内の誘引線上部で、それぞれ所定のプローブを用いて測定した。温度、放射照度とも、開花日、果実肥大初期および収穫15、10、5日前から収穫前日までの期間の平均値を算出した。

(2) 実験2

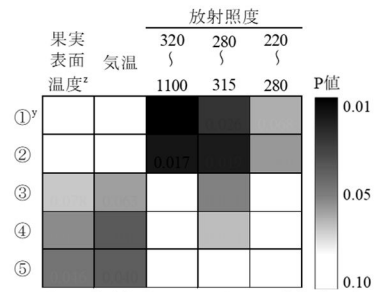
実験は2021-2022年と2022-2023年シーズンに実施した。材料は実験1と同様に収穫・輸送した。低温貯蔵前に約半数の果実に対して38 3日のHS処理を行った。HS処理を行わずにすぐに低温貯蔵した果実を対照区とした。貯蔵は3℃で2週間とし、その後20℃で2週間追熟させた。追熟中順次低温障害指数を算出した。またHS処理効果の異なった果実を対象に、収穫直後のサンプルについて、老化の一指標であるマロンジアルデヒド(MDA)含量をチオバルビツール酸反応性物質アッセイ法で測定した。

(3) 実験3

実験は2022-2023年と2023-2024年シーズンに実施した。材料は実験1、2と同様に収穫・輸送した。栽培中の遠赤色光補光がトマト果実の低温耐性と関係があるとされることから、遠赤色光補光区(700~



第1図 収穫月が異なる果実における低温障害指数



第2図 低温障害指数と栽培中の環境条件の相関関係

<sup>2</sup> 欠測値は気温で代替

<sup>1)</sup> ①開花日, ②果実肥大初期, ③収穫15日前, ④収穫10日前,

⑤収穫5日前から, それぞれ収穫前日までの期間

800 nm)を設けて栽培を行った。補光は遠赤色光 LED ランプを用いて、毎日4時00分から22時00分にかけて16時間行った。栽培期間中の放射照度を測定するとともに、遠赤色光補光が、低温障害の発生に及ぼす影響を調査した。貯蔵・追熟条件は実験2と同様とし、追熟中順次低温障害指数を算出した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 実験1

2020-2021年において月別に収穫して果実の低温障害の発生をみたところ、11~1月に収穫した果実では低温障害の発生が著しかった(第1図)。1月以降は発生が低下したが、6月にふたたび増加した。低温耐性と栽培条件との関係をみたところ、収穫日に近い短期間の高温と開花日から収穫前日までの長期間の強光条件が低温耐性付与に寄与していることが示された(第2図)。このように低温寡照条件で栽培された果実では低温障害が発生しやすいことがわかった。なお果実表面温度は気温に比べて数低い値を示したが、推移の傾向は一致していた。この結果を受けて、低温障害軽減技術として、収穫後に短期間高温に当てるHS処理(実験2)と、栽培中の長期間にわたる補光処理(実験3)を試みることにした。補光処理については、遠赤色光LEDによる補光区を設けて栽培を行った。

##### (2) 実験2

催色期に収穫した果実に対して低温貯蔵前にHS処理を行い、HS処理を行わない果実を対照区として低温障害の発生を比較した。その結果、2021-2022年は年内収穫果に限ってHS処理に低温障害軽減効果が認められた。HS処理効果の異なる果実の特性を明らかにするため、収穫時点でのMDA含量を測定したが有意差は認められなかった。一方2022-2023年はHS処理に安定的な低温障害軽減効果は認められなかった。2022-2023年は栽培中低温寡照傾向が著しい年であり、対照区の果実は収穫月によらず激しく低温障害が発生した。このようにHS処理は、低温寡照の著しくない条件で栽培された果実、すなわち低温耐性のある程度有する果実に限って低温障害の軽減効果が認められることが示された。なおHS処理は貯蔵温度によらず着色遅延効果があり、常温貯蔵でも着色の進行を抑える効果があった。このことは、HS処理が貯蔵性延長技術として利用できることを示しており、低温障害の軽減よりも着色進行の抑制の方がより安定した効果が得られることもわかった。

##### (3) 実験3

冬期の低温寡照月における遠赤色光補光によって低温耐性が付与できるかを検討した。補光強度は、遠赤色光放射照度が低くなる冬期(1~3月)と比較的高い夏期(5~6月)を比較して、冬期でも夏期並みの放射照度となるように設定した。両シーズンとも遠赤色光補光を行った果実で、低温障害指数の低下、健全果率の上昇が認められた収穫月があった。HS処理と同様補光による低温障害の軽減効果が認められた月は、低温障害の発生がある程度低い月に限られており、低温障害の発生が著しい月では補光を行っても低温耐性を付与することができなかった。ただし収穫後のHS処理よりも安定的に低温障害軽減効果が認められることが分かった。このように栽培中の遠赤色光の補光によって、低温に強いトマト果実を生産できる可能性が示された。

#### < 引用文献 >

大野雅彦、吉田実花、馬場正、山口正己、戸田奈津実、緑川磨、谷口雅巳、山下彩夏、宮下留美子、日野明寛、異なる収穫月のトマト果実に対する低温障害軽減のための高温処理条件の検討、園芸学研究17(別2)、2018、350

Affandi, F. Y., J. C. Verdonk, T. Ouzounis, Y. Ji, E. J. Woltering and R. E. Schouten, Far-red light during cultivation induces postharvest cold tolerance in tomato fruit, Postharvest Biology and Technology, 2020, 111019

Martínez-Zamora, L., N. Castillejo and F. Artes-Hernandez, Effect of postharvest visible spectrum LED lighting on quality and bioactive compounds of tomatoes during shelf life, LWT-Food Science and Technology, 2023, 114420

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 吉田実花・梅島芙美・今井祥子・馬場正・山口正己	4. 巻 67
2. 論文標題 長野県産リンゴ果実における抗酸化能の品種間差異と収穫日および貯蔵による変化	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 東京農業大学農学集報	6. 最初と最後の頁 154-159
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 吉田実花・西尾麻衣子・岩崎真友佳・神田菜乃子・馬場 正・兼田朋子	4. 巻 49
2. 論文標題 サツマイモ「高系14号」「なると金時」の輸出に向けた高糖化および障害抑制技術	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本食品保蔵科学会誌	6. 最初と最後の頁 87-94
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 兼田朋子・中村宣貴・安永円理子・志水基修・馬場正・福田文夫・中野龍平	4. 巻 47
2. 論文標題 イチゴの東南アジア向け海上輸出実現に向けた輸送環境および包装による品質保持効果	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本食品保蔵科学会誌	6. 最初と最後の頁 221-231
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 吉田実花・安藤明日美・小泉明嗣・馬場正
2. 発表標題 収穫月の異なるトマト果実における栽培中の環境条件と収穫後の低温障害発生の関係
3. 学会等名 園芸学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小泉明嗣・高田敦之
2. 発表標題 トマト果実の成熟に伴う果皮色の变化と有効積算温度の関係
3. 学会等名 園芸学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 柳炫至・吉田実花・馬場正
2. 発表標題 収穫後のモモ果実における低温耐性と低温障害軽減のための高温処理
3. 学会等名 園芸学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小泉明嗣・高田敦之
2. 発表標題 群落内外の相対光量に基づく摘葉がトマトの糖度に及ぼす影響
3. 学会等名 園芸学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 奥津ちひろ・吉田実花・馬場正
2. 発表標題 カットパイナップルのActive MA包装による品質保持
3. 学会等名 農産物流通技術研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉田実花・久保克己・村野恋・馬場正
2. 発表標題 Active MA包装によるカットリンゴの品質保持
3. 学会等名 園芸学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 兼田朋子・中村宣貴・椎名武夫・馬場正
2. 発表標題 東南アジア向け海上輸送および現地貯蔵期間中の「なると金時」の品質保持技術
3. 学会等名 日本食品保蔵科学会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究 分担者	吉田 実花  (YOSHIDA Mika)  (50825403)	東京農業大学・農学部・助教   (32658)	
研究 分担者	小泉 明嗣  (KOIZUMI Aki tsugu)  (90522897)	神奈川県農業技術センター・生産技術部・主任研究員   (82722)	

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
---------	---------