

令和 6 年 6 月 27 日現在

機関番号：82111

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2022～2023

課題番号：22K20607

研究課題名（和文）トマト果実生長速度を活用した催色期と果実生長曲線の高精度推定

研究課題名（英文）Highly Accurate Estimation of Breaker Stage and Fruit Growth Curve Using Tomato Fruit Growth Rate

研究代表者

高橋 正明（MASAAKI, TAKAHASHI）

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農業ロボティクス研究センター・主任研究員

研究者番号：70555549

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：トマト果実成熟の判断指標となる開花後日積算温度や果実成長のパラメーターには、過去の知見を基にした数値が用いられてきたが、個々の果実に起こる現象を直接数値化し、変数として活用することで、より正確に収穫時1果重や催色時期の予測等を行う手法を開発した。研究の結果、開花後日平均積算温度500、または、800までの果径の経時データを説明変数、収穫時1果重を目的変数として学習させて収穫時1果重を推定するモデルを作成することができた。また、モデルを用いて果実肥大初期に果実成長が小さいと推定される果房についてのみ摘果を実施した。その結果、摘果により出荷規格の割合を制御することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、主にトマト果実の収穫時におけるサイズを収穫2週間以上前に高精度に予測する技術を開発した。本技術を活用することで、生産者と販売側は出荷前に必要な調整を行いやすくなる。その結果、生産者側はトマトの販売単価を上げることができて収益性を高められ、販売側は販売計画を早期に立てることができる。また、規格外のトマトは商品として扱われないが、出荷時の果実サイズの割合を早期に生産者が知ることができれば、果実を摘む等して、規格外のトマトの割合を減らすことができる。

研究成果の概要（英文）：The parameters of fruit growth and temperature at the time of post-flowering accumulation, which are indices for judging tomato fruit maturity, have been based on numerical values obtained from past knowledge. However, the current situation is that there is a large variation among fruits. Therefore, we developed a method for more accurately predicting fruit weight at harvest and breaker stage by directly quantifying the phenomena occurring in individual fruits and using them as variables. As a result of this research, we were able to create a model for estimating fruit weight at harvest by learning data on fruit diameter over time up to an average integrated temperature of 500 °C or 800 °C after flowering as an explanatory variable and fruit weight at harvest as an objective variable. Using the model, we harvested only the bunches with small fruit growth estimated in the early stage of fruit development. As a result, it was possible to control the fruits shipping size.

研究分野：施設園芸

キーワード：トマト 果実 肥大 センシング 成長曲線

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

大玉品種のトマト果実は、着花、開花、果実成長、着色開始(催色期)成熟のステージを経て収穫に至り、開花後から有効積算温度約 1200 程度で収穫されることが知られている。しかし、果実の個体間差や気象動向により予測とズレが生じ、着色開始のトリガーも未解明のため、開花日を知ることだけでは催色期、収穫期を高精度に予測できない。また、果実成長に関しては、トマトは生育中期の肥大速度が顕著で、有効積算温度に対して S 字肥大曲線を辿るが、果実毎に初期や最大の成長速度にバラつきが生じ、1 果重は成長が終わるまで推定できない。現在は、標準的な果実成長モデルを用いて収量予測に関わるシミュレーションやシンク・ソースバランスの可視化に関わる研究が行われており、これらを高精度化するために、生体計測データを経時的に取得しながら、生体情報を変数として活用した研究を進める必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、果実成長速度を示すトマト果径を経時データとして取得する手法を確立すると共に、果実成熟や成長を判断する指標の一つとした。そして本指標を用いることで、収穫時のトマト 1 果重を予測するための手法を開発することが研究の目的である。また、本手法を用いた新たな栽培管理手法の提案が行えないかの検討も行った。

3. 研究の方法

(1) 耕種概要

トマトは当研究所内のパイプハウス(5.4m×10.8m)で栽培した。2022 年度は、8 月 16 日にトマトを定植し、翌 4 月 21 日まで栽培を行った。栽培したトマト品種は、'CF 桃太郎ヨーク'、'ザイダ'、'アドベンチャー'であった。2023 年度は、8 月 24 日に定植し、翌 4 月 25 日まで栽培を行った。品種は、'富丸ムーチョ'であった。栽培培地としてヤシガラ培地を用い、栽植密度は 3.75 株/m²であった。果実は 1 果房、4 果以内になるように摘果した。

(2) トマト果径データの収集

トマト果径データとして、栽培期間中のトマト開花後日積算温度における果実径(長径、短径)を、ノギスを用いて経時的に計測した。また、画像から果径データを取得することを検討し、トマト株の横から高さ 50cm ごとにカメラを 3 台設置し、それらをスライドさせながら、畝全体の画像を取得した。長さの指標となる QR コードも設置し、画像からトマト果実の果径を取得した。

(3) 出荷時 1 果重予測モデルの作成およびモデル精度評価

様々な成熟段階の果実を収穫し、果実径、1 果重のデータ収集し、果実径から 1 果重を推定する式を各品種で作成した。それらを用い、開花後日積算温度毎の 1 果重を果径から推定した。果径は最低 1 週間に 1 度は取得し、推定 1 果重の近似曲線を作成し、開花後日積算温度 200 から 100 ずつの値幅で各果実の 1 果重の予測値を得た。それら予測 1 果重の経時データを説明変数、収穫時の 1 果重データを目的変数とするデータセットを作成した。データのうち、8 割を訓練用データセットとし、2 割のデータをテスト用データとした。1 果重の予測は、自動機械学習(AutoML)ライブラリの PyCaret(ver3.20)を用いた。1 果重予測モデルは、Ridge Regression、Extra Tree Regression、eXtreme Gradient Boosting の 3 手法により生成し、テスト用のデータを用いて各モデルの平均絶対パーセント誤差(MAPE)を評価した。

4. 研究成果

(1) トマト果径データの取得について

ノギスを用いてトマトの果径(長径、短径)を計測し、トマトを楕円球とみため、1 果重を推定した。また、推定 1 果重と収穫時 1 果重を比較した(図 1)。得られた係数(1.003)を利用し、果径から経時的に 1 果重を推定することとした。また、図 2 のように QR コードをほ場内の果房近くに設置し、移動カメラで画像を取得し、果径の自動計測を試みた。

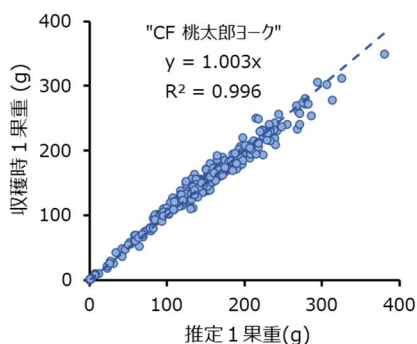


図 1 推定 1 果重と収穫時 1 果重の比較



図 2 画像解析による果径の自動取得

その結果、果実の果径（長径）の取得を行うことはできた。一方で、その果実の果房段とともに果径を記録するところには至らなかった。一日に数度の計測を行うことによるトラッキングや果房段数が画像から読み取るための目印が必要であると考えられた。今後も果房段数の認識のための研究を進め、果房段における果径情報の取得を達成したい。

(2) 経時果径データによる収穫時1果重予測

開花後日積算温度ごとの果径データを経時的に取得するとともに、それらデータを活用して収穫時1果重を予測するためのモデルを図3の手順で作成した。まず、果径データを経時的に取得し、果径データから1果重の推定値を得る。その後、回帰曲線を作成し、開花後日積算温度200以上で100ごとの推定1果重データを取得し、収穫1果重データと合わせてデータセットを作成し、予測モデルを生成する。また、予測に用いる開花後日積算温度の温度域は、予測用途により使い分けられるようにした。例えば、開花後200～500のデータを用いる場合は、摘果等の栽培管理に利用できるようにし、開花後200～800のデータを用いる場合は予測の精度を重視し、出荷先との調整に活用できるようにした。

○データ解析の流れ



予測に用いる開花後日積算温度	速報性	予測精度	備考
200～500℃	高い	低い	栽培管理の方針決定
200～800℃	低い	高い	出荷先との調整

図3 開花後日積算温度ごとの推定果重データを用いた収穫時1果重予測の流れ

予測モデルの精度は MAPE で評価した。開花後日積算温度 200 から 500 で予測した場合、Ridge Regression、Extra Tree Regression、eXtreme Gradient Boosting の3手法で大きく精度に差はなく、Ridge Regression の精度が高い傾向にあった。‘CF 桃太郎ヨーク’、‘ザイダ’、‘アドベンチャー’のそれぞれの品種の開花後積算温度 200 から 500 のデータセットを Ridge Regression で1果重予測した際の MAPE は、0.170、0.104、0.156 であった。開花後日積算温度 200 から 800 のデータセットで予測した場合の MAPE は、0.110、0.076、0.094 であった。‘ザイダ’、‘アドベンチャー’、‘CF 桃太郎ヨーク’、の順に精度は高く、その精度の差は品種の収穫時1果重のバラつきに起因しており、バラつきが少ない品種程予測精度が高かった。

(3) 収穫時1果重予測を活用した栽培管理手法の検討

収穫時1果重予測を群落や施設全体で活用することで、栽培管理にどのように利用できるかを検討した。2022年度で作成した1果重予測モデルを2023年度の栽培に活用した。‘富丸ムーチョ’の1果実重が一番近いのが‘CF 桃太郎ヨーク’であったため、‘CF 桃太郎ヨーク’で作成した予測モデルを活用した。開花後積算温度 200 から 500 の1果重の予測値（同果房の30果）から、収穫時の出荷規格割合を算出した。そして、規格外品の目安となる100g未満の果実割合が25%を超えると予測された際、1果房が3果以内になるように摘果処理を行った。摘果処理を行った果房のトマトおよび行っていない果房の収量調査を行い、摘果作業が果実に与える影響を調査した。その結果、摘果作業により収穫後の出荷規格の割合は変化し、さらに、摘果していない果実への影響も見られた。摘果を行うことによる収量減の影響もあるため、今後、経営シミュレーションも含めて管理手法の方法を精査していく必要があると考えられた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 高橋正明・河崎靖・内藤裕貴・イウンソク・吉鴻一
2. 発表標題 トマト果実径の経時測定データを用いた収穫時1果重予測技術の開発
3. 学会等名 園芸学会 令和6年度春季大会
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 果菜情報予測方法及び果菜情報予測プログラム	発明者 高橋正明、河崎靖、 内藤裕貴、イウンソク	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2023-121857	出願年 2023年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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