

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

申請者氏名 山本 恭輔

本研究「画像解析と機械学習によるトマトの自動生育診断および高速フェノタイピングに関する研究」は、通常の栽培条件下にあるトマトについて、高速な生育診断・作物表現型評価手法の確立を目的に実施されたものである。

近年、我が国の農業では、環境保全や栽培技術の高度化といった観点から、精密農業への関心が高まってきた。精密農業において基盤となるのは、圃場における作物の生育状態の空間的・時間的ばらつきを効率的に把握する技術である。また、そのための技術は遺伝子解析の高速化と低コスト化が進む一方で、表現型解析に関する技術の発展が立ち遅れている育種分野においてもその需要が高まりつつある。そのため、高速フェノタイピングに関する研究開発が急速に活発化し、中でも、表現型の多くが目視による評価がなされていることから、それを代替する画像解析の応用が幅広く進みつつある。しかし、これまでに開発されてきた画像による高速フェノタイピングの技術の多くは特別な実験環境での利用を条件としており、実圃場での利用は想定されていない。実圃場では光条件の変化や不均一性などにより、画像から対象作物の表現型に関する情報を抽出することは容易ではない。そのため、実圃場における画像による高速フェノタイピング技術の開発は大きな課題の 1 つとして未だ残されている。

本研究の目的は、実圃場で撮影された作物画像から生育状態に関わる情報を抽出するための画像解析技術を開発し、精密農業や育種の効率化に向けて実用化の可能性を見出すことにある。対象作物には、品質が重要視され精密な管理が求められるトマトを用いる。トマトに関する多様な評価形質の中から、栽培ステージを生育初期、着果期以降、収穫後の 3 つに分け、各生育ステージにおいて計測対象とする形質を、育種開発、生育診断などにおいて重要とされる形質の中から選抜し、それらの計測を自動化するための技術を開発するとともに、それらの技術のトマトの他の形質や他の作物への応用性について考察する。

第 1 章では、育種面と栽培面の 2 つの観点から見た研究背景について述べ、本研究の目的を明確にした。第 2 章では、トマトの生育初期における重要な生育指標である本葉の節間距離に着目し、栽培施設内で撮影した生育初期の樹体画像から本葉の節間距離を推定するための解析手法を開発した。開発手法は節検出、節位推定、節間距離推定の 3 段階の処理によって構成される。節検出処理では、画像特徴量の機械学習によって画像の分割条件を決定するため、異なる個体に適用する場合でも画像輝度の閾値の調整を要さなかった。また、一般物体認識手法を適用することで誤検出が削除され、節検出の結果が大幅に改善された。検出節の節位推定には **Affinity Propagation** というクラスタリング手法を採用したため、最終的な節数が異なる個体を解析する場合でもパラメータの調整を要さなかった。以上の結果を用いることで、節間距離についても高精度で推定可能であることが確認され

た。また、時系列画像の連続的な解析を可能にすることで、時系列上での新たな形質評価への道を示すことができた。

第 3 章では、果菜類における最も重要な形質の 1 つとしてあげられる着果数の自動計測を目的とし、栽培施設内で撮影した着果期以降の樹体画像から果実を検出するための解析手法を開発した。第 2 章と同様、開発手法では、機械学習によって生成された分類モデルを元に画像の分割条件を決定するため、作物の状態が異なる複数の樹体画像から果実検出を行う際にも画像輝度の閾値調整を要さなかった。また、熟果、未熟果に加えて、外観特徴上の問題から可視画像解析による検出が難しいとされてきた幼果についても高精度で検出できた。栽培ベッドのパノラマ画像の解析結果では、開発手法によって栽培ベッド内の着果数分布を的確に把握できることが確認された。

第 4 章では、収穫後のトマト果実の外観特徴を定量評価するための画像解析技術を開発した。開発技術によって、果実の外観特徴を低次元の特徴量で表現することができた。さらに、得られた特徴量を用いることで、品種間の外観特徴上の関係性を定量的に把握することができた。

第 5 章では、本研究で生育ステージ別に開発した手法について、トマトに関する幅広い形質調査項目の中で位置づけるとともに、それら手法の他の形質評価へ幅広く応用できることを考察した。また、残された形質についても高速な評価方法について精査し、将来のトマトにおける総合的な生育診断や高速フェノタイピングを展望するとともに、他の作物への応用性についても考察した。

以上のように本研究は、トマトを対象作物に、これまで困難であった圃場での表現型計測について異なる生育ステージ別に、幼植物の節間長の自動測定、幼果も含む果実数の高精度推定、収穫果実の外観品質の定量的評価に関する新たな手法開発を行い、トマトの総合的な生育診断や高速フェノタイピングへの道筋を示したものである。研究の手法も、最新の機械学習技術などを巧妙に取り込みながら、独自の技術として組み上げた点も評価できる。

これらの研究成果は、学術上応用上寄与するところが少なくない。よって、審査委員一同は本論文が博士（農学）の学位論文として価値あるものと認めた。