［ 別 紙 ２ ］

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

申請者氏名　郭　威

本研究「Studies on high-throughput phenotyping by use of time series crop images taken under natural environments（自然環境下で撮影した作物時系列画像を用いた高速フェノタイピングに関する研究）」は野外における高速な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。

気候変動による異常気象の多発や限られた土地や水資源のもと、食料を安定的に増産し確保するには、革新的な品種開発と栽培技術の高度化が必須である。近年のゲノム解析の革新的な高速化により、さまざまな植物ゲノム配列情報が解明されてきた。しかし、表現型解析については、多くの場合、破壊的で人力に依存し、研究開発のボトルネックとなっている。そのような中、画像による非破壊の表現型評価の高速化が期待されてきた。既に、オーストラリアや欧州を中心に、各種画像を利用した作物の表現型解析高速化の試みが大規模に展開されつつあるが、多くは環境が管理された室内のみで利用できるものに限られている。農業分野における植物表現型解析では、実際の圃場で栽培された作物を対象に、環境との交互作用も含む応答を評価する必要があり、室内環境用の既存手法では、光環境などが複雑な野外では適応できない場合が多い。一方、野外で高頻度の時系列作物画像や環境情報を容易に収集できるモニタリング機器類の発達は著しく、時系列画像を評価することで、時間変化に伴う作物の形質変化を評価できることへの期待も高まっている。そこで本研究では、モニタリン機器と画像解析技術を組み合わせ、野外でも使える低コストで高速なフェノタイピング技術の開発を行い、効率的な育種はもとより、作物生育状況のタイムリーな把握による生産現場での最適な栽培支援に資することを目的としている。なお、本研究では目視評価の代替と高速化や、システムの低コスト化を目指す観点から RGB 画像を評価対象としている。

まず、従来手法では十分に解決できていない自然環境下で撮影された圃場画像からの植物領域分割手法について、DTSM（decision tree based segmentation model）を提案した。DTSM は、非線形決定木を利用して機械学習し、画素単位の高次元色情報から植物領域を抽出するもので、コムギを対象に高い精度で領域分割ができることを示した。とくに強光下で陰影が強い場合や鏡面反射がある場合などには、既存手法に比べ極めて良い精度を達成するともに、全時系列画像に対して同じモデルが一挙に適用できるという高い優位性も示した。

つぎに、DTSM の応用性を検証するために、水稲などの野外時系列画像に適用し植被率の推定や葉数計測などを試み、水稲時系列画像では実用レベルの極めて高い精度で植被率を推定できることを示した。また、風速情報と合わせることで推定誤差を減少できること、学習画像の選択を調整することで推定精度をさらに向上できること、水稲生育初期の出葉

数を自動推定できることも示した。さらに、雑草や藻などが繁茂する水稲圃場でも、従来の DTSM と空間情報を組み合わせることで作物領域だけを的確に抽出できることも示唆した。

最後に、水稲の表現型計測において最も重要な指標のひとつである開花期を時系列画像から自動検出する手法を提案した。これまで誰も実現し得なかった挑戦であるが、近年研究が急速に進んでいる一般物体認識技術を応用し、空間特徴量の一つである SIFT 特徴量と SVM を利用して開花の自動認識をおこなった。認識を行う画像単位サイズや学習画像数など最適化を図ったところ、実際に目視で計測した開花穂数と、認識された開花領域数の相関が高く、1 日の中の開花ピークや全開花期間での開花盛期などが良く推定できることが示された。また、累積の開花領域数から、専門家が目視で判定した出穂期も精度良く推定できることや、気象条件により、開花が午後になるような場合も的確に認識でき、開花調査や出穂調査に十分実用化できることを示した。

以上のように本研究は、これまで困難であった自然光下での植物領域の分割手法を確立した上で、植被率などが時系列画像から精度良く推定できること、自動化が困難であった開花調査を完全自動化できることなどを示し、今後の野外における高速表現形計測実現にむけた端緒を切り開いたパイオニア的研究として高く評価できる。なお、作物分割プログラムを利用者インタフェース付きで開発し、希望者へ配付する準備をするなど、高速フェノタイピング分野の発展に貢献しようとしている点も高く評価できる。

このように、研究成果は、極めてオリジナリティの高いものであり、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のあるものと認めた。