

( 続紙 1 )

京都大学	博士 ( 農 学 )	氏名	竹本 哲行
論文題目	蛍光特性を利用した精密農業実現のための甘長トウガラシ果実同定技術の開発		
(論文内容の要旨)			
<p>収益性の高い軽量果菜類であるピーマン・トウガラシの生産地では、人口減少や高齢化に伴い、就農者は漸減している。このような状況下で安定して高品質生産を維持するには、ほ場中の果実の位置情報と選別時の等階級情報を紐づけし、ほ場にフィードバックして株管理の行えるような精密農業に期待が寄せられている。これまでに果実表面の網目や縞模様、皮目などの斑点密度を識別情報として活用する研究はメロン、スイカ、青リンゴ等で行われているが、露地や白色光源下で果実表面のテクスチャーの違いを目視で識別できるほど大きな特徴を有する品目は少ない。本研究では、果実にタグやラベルを付与することなく果実を同定するバイオメトリックな手法の開発を目的とし、ピーマン・トウガラシ果実において自家蛍光に基づく365 nmの近紫外光源下で発光する固有の斑紋の特性評価を行ったものである。</p> <p>本論文は5章から構成されており、第1章ではピーマン・トウガラシ栽培において、生産現場の現状と課題について言及し、果実同定技術の必要性について述べた後、本研究の目的を記している。</p> <p>第2章では甘長トウガラシにおいて、生育中の日射条件が近紫外光照射下での青色自家蛍光に及ぼす影響について検証した。温室栽培する甘長トウガラシに対し、遮光資材を1枚展張した強日射区および遮光資材を2枚展張して日射量を約半分にした弱日射区を設けた結果、強日射区では果実の蛍光強度が低くなることを見出した。また、果実表皮中のクチクラを分光学的に特徴付けることで、強日射区では、UV-B吸収色素(～300 nmに吸収ピーク)の蓄積と、それに伴う表皮厚さの伸長を確認した。同時に、成り行きの日射条件では青色自家蛍光が大きく変化することを示した。これは、同一温室内であっても日射強度が一樣でないことを反映しており、果実表面の青色自家蛍光の濃淡(蛍光斑紋)が複雑な環境条件下で生じていることを裏付けるものである。これより、この蛍光斑紋が個体の同定に活用できる可能性が示唆された。</p> <p>第3章では蛍光斑紋の特徴を明らかにするため顕微鏡画像を撮影し、その画像から蛍光斑紋は(1)表皮のめくれ、(2)マイクロクラック、(3)硬化したマイクロクラック、(4)部分的に肥厚したクチクラ層、(5)花殻で遮光された部位の5つに分類できることを明らかにした。分類種別ごとに出現頻度を集計したところ、虫や花殻に覆われた表面など外部環境に関連した特徴と考えられる(1)、(5)は全体の5%程度であり、果実の生長に伴い発生したと考えられる(2)、(3)、(4)は全体の93.6%を占めた。これは自家蛍光で可視化できる斑紋は果実表皮の物理的様態の違いによるもので、その多くが内因的に生じることを示唆しており、果実に固有な特徴としてバイオメトリック認証に活用できると考えられた。加えて、果実の形や寸法の異なるピーマン・トウガラシ12品種において近紫外励起の蛍光斑紋が認められることも確認し、この現象がピーマン・トウガラシ類全般に広く活用できる可能性についても示すことができた。</p> <p>第4章では、蛍光斑紋を活用した果実同定の可能性について検討した。その識別率検証のため、白色と近紫外2種類のLED光源を用い、収穫直前の温室内で果実当たり</p>			

2側面、収穫後の選果機を想定した室内で 4側面の画像入力を行い、近紫外LEDによる蛍光画像の青色成分の斑紋パターンの比較から同一個体を選別するアルゴリズムを構築した。特徴量の抽出方法として、SURF、FAST、BRISK、ORB、BRIEF、KAZE Featuresを比較検討した結果、KAZE Featuresが甘長トウガラシ果実の蛍光による斑紋パターンを表現するのに最も適していることが明らかとなり、収穫前後のマッチング成功率は81.3%に達した。

第5章では、自家蛍光反応に基づくピーマン・トウガラシ果実の近紫外励起による斑紋の特性について得られた知見を総括するとともに、生産現場におけるモニタリング画像の実現性と品質評価への応用可能性が言及されている。

注) 論文内容の要旨と論文審査の結果の要旨は1頁を38字×36行で作成し、合わせて、3,000字を標準とすること。

論文内容の要旨を英語で記入する場合は、400～1,100 wordsで作成し  
審査結果の要旨は日本語500～2,000字程度で作成すること。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

我が国におけるピーマンやトウガラシは、中山間地での小規模経営が中心であることから従来の大規模な効率重視の機械化アプローチには適さないため、新しい栽培管理作業の軽労化が強く求められていた。本論文は、ほ場における生産物の位置情報と等階級情報を紐づけし、ほ場にフィードバックして株管理を行う精密農業の実現を目指したもので、特に甘長トウガラシ果実を対象に蛍光特性を調査し、同定技術の開発を行っている。評価すべき点は以下のとおりである。

1. 栽培期間における日射強度の不均一性は、果実の表皮厚さの分布を生み出し、この結果生じる蛍光斑紋（青色自家蛍光の分布）を利用することで、果実の同定ができる可能性を見出した。
2. 果皮表面に見られる様々な自家蛍光の発生要因を系統的に整理し、その90%以上が甘長トウガラシ果実の生長に伴い発生したものと結論付け、蛍光斑紋が果実に固有な特徴としてバイオメトリック認証に活用できるとともに、その利用はピーマン・トウガラシ類全般に広く適用できることを明らかにした。
3. 最近広く使われている365 nmの紫外LED光源を活用し、トウガラシ果実の蛍光斑紋を活用して同定する手法を検討した結果、収穫前の1果2側面と収穫後の1果4側面を画像照合することで、マッチング成功率81.3%を達成した。

以上のように、本研究は甘長トウガラシの生体防御機構である表皮の光学特性を利用したバイオメトリック認証技術の開発を推進した。この技術を用いたほ場のマップ化や選別技術との融合は、精密農業を牽引し他の作物にも役立つことが期待されることから生物センシング工学、フィールドロボティクス、農業システム工学の発展に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお、令和6年2月13日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。

また、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

注) 論文内容の要旨、審査の結果の要旨及び学位論文は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。

ただし、特許申請、雑誌掲載等の関係により、要旨を学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降（学位授与日から3ヶ月以内）