

(続紙 1)

京都大学	博士（農学）	氏名	Md. Abdul Momin
論文題目	Fluorescence Imaging for Defect Inspection of Citrus Fruits (カンキツ果実欠陥検査のための蛍光イメージング)		
(論文内容の要旨) 現在、カンキツ果実の選別施設等においてはマシンビジョンを用いて色、形状、寸法、外観検査が行われると同時に、近赤外分光システムを用いて糖度等の内部品質を評価している。しかしながら、それらの検査システムの解像度および色分解能の性能では、早期の腐敗、枝やハサミ等による微小な果皮のキズ、輸送中の振動等による損傷を正確に検出することは困難である。また、それらの損傷が原因で新たな腐敗が発生することも知られている。腐敗が貯蔵している果実中で発生すると、その損傷果実だけでなく他の果実にまで影響を及ぼすため、その原因となる果実を早期に除去する必要があるが、それらの損傷部位は健全な果皮と同系統の色を呈していること、通常のカメラの解像度以下の寸法であること等の理由により、現在用いられている検査方法以上に精度の高い検出方法が望まれている。 一方、種々のカンキツ果皮には蛍光物質が含まれており、この蛍光物質の反応を検出すれば、通常のカラ画像では困難な腐敗や微小なキズも果皮の色やテクスチャー等によらず検出可能となることがある。そこで、カンキツ果実の蛍光物質を特定し、その特徴を調査すると同時に、それらの物質の特性及び腐敗やキズの検出可能性を検討する一連の実験を行った。本研究はそれらの成果を取りまとめたもので、5章から成る。 第1章では、現在のカンキツ果実選別システムの現状ならびに検査システムと本研究を着想するに至った動機を述べている。特に、現在の選別システムの問題点としてマシンビジョンや近赤外分光システムでも早期の腐敗ならびに貯蔵中や流通中の腐敗発生原因の一つである微小なキズを検出するのは困難であることを挙げている。その解決方法として、過去の文献より蛍光反応を利用することを提唱し、カンキツ果皮に含有されている蛍光物質の特性を調査した上で、最適なマシンビジョンシステムの構築を提唱している。 第2章では、16種類のカンキツ果実を対象とし、果皮から抽出された蛍光物質の励起波長と発光波長を明らかにした。それによると、いくつか発見されたカンキツ果皮の蛍光物質の中で蛍光画像を得るために最も重要なものは、励起波長 375nm 前後、発光波長 540nm 前後のフラボン系の物質 (heptamethoxyflavone) である。実際に枝のとげ等で損傷した果皮の穴を想定し、針で微小な穴を 16 種類のカンキツ果実赤道部に付与し、波長 375nm の紫外 LED とカラーカメラから構成されるマシンビジョンシステムで画像入力を行った。その結果、その蛍光物質を果皮に有する多くの果実は、損傷部位を識別するのに十分な蛍光画像が得られることを確認した。しかし、カンキツ果実の中には蛍光物質をほとんど含まないものもあること、含んでいても非常に弱い蛍光反応にとどまるものもあったことより、16 種類の果実をその蛍光強度によって3つのグループに分類した。 ここで、蛍光強度が高い果実はアマナツ、デコポン、ブンタン等、中程度の果実はサンボウカン、キヨミ、スイートスプリング、温州ミカン、イヨカン、ネーブル、ハッサク、セトカ等、低い果実はレモン、ユズ、ハルミ、ポンカン等で、キンカンは蛍			

光物質を含まない果実であるとした。また、この蛍光物質の蛍光強度に関しては、高いものが低いものの4倍から10倍の相対輝度が得られることを示した。

第3章では、実際の温州ミカンの選果場で上記と同様のマシンビジョンシステムを用い、蛍光画像によって仕分けられた果実を入念に観察した結果が述べられている。蛍光反応により選別された果実(320個)は、①生育中に生じたと考えられる果皮のスリキズや収穫時のハサミによるキズ、②枝やハサミの先端による穴、③収穫時に果実を引っ張った時に生じたと推測される果柄部周辺の果皮の損傷、④果実輸送時にコンテナ等で他の損傷果実と接触し、損傷果皮からの果皮汁や薄果皮が付着した健全果実、⑤黄緑色に変色した部位(その原因は未解明であるが、生理的原因、異常な成熟環境、害虫被害、日射量不足などが考えられる。)、⑥輸送中の浮皮部位の損傷、および数は少ないが⑦農薬あるいは展着剤が果皮に残留したものに分類された。そのうち、①～③の微小なキズの果実の割合は抽出した果実全体の22%、④が15%、⑤が42%、⑥が21%という結果であった。さらに、それらの果実を常温で保存して追跡調査をした結果より、それらの果実のほとんどは1、2週間で腐敗する可能性が高いと結論した。

第4章では、第2章で蛍光反応が弱いと分類された果実のうち、特にレモンとユズに対して、欠陥果実の検出を蛍光画像で行うために、異なる蛍光物質の抽出を試みた。その蛍光物質の特定を行ったところ、いずれの果皮にも320nmから330nm程度の励起波長(ピーク波長327nm)で380nmから400nm(ピーク波長390nm)の蛍光波長を有する蛍光物質が発見された。それはクマリン系の物質で、レモン果皮のものは5-7-dimethoxycoumarinと5-geranyloxy-7-methoxycoumarin、ユズ果皮のものは5-geranyloxcoumarinであると推定した。

それらの蛍光反応をとらえるため、主としてUV-A領域に照射強度を有するブラックライトとカラーカメラでマシンビジョンシステムを構築し、レモンとユズの損傷果実の画像を入力したところ、第2章で述べた蛍光強度の強い果実ほどは輝度が高くないものの、画像処理により損傷部位の特定を行うことが可能であった。これより、照明をUV-Bの領域で高い照射強度を有するものに、またカメラを紫外領域にも感度を有するものに変更することによって、レモンやユズに関してはフラボン系の蛍光反応を利用した画像よりも果皮の損傷部位を検出できる可能性を示唆した。

第5章では、実用化されている温州ミカンだけでなく、他の果実においても実際の選果場等で蛍光画像を用いた欠陥果実の検出をするための方策が述べられている。より高品質な蛍光画像を得るには、果皮に生じるハレーションの除去、マルチスペクトルカメラの利用、クマリン系の蛍光物質の反応を利用した画像検査のためにUV-B光源を用いること等が論じられている。また、今回調査していない他のカンキツ果実等についても蛍光物質の特定を行い、多くの果実の蛍光物質の特性に関わるデータベースの構築を行うこと等を示唆すると同時に、本論文の内容を総括している。

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)

現在、カンキツ果実の選別施設においてはマシンビジョンを用いて色、形状、寸法、外観検査が行われると同時に、近赤外分光法を用いて糖度等の内部品質を評価している。しかし、腐敗、枝やハサミ等による微小な果皮のキズ、輸送中の振動等による損傷をそれらの評価システムで正確に検出することは困難であること、また貯蔵中に腐敗の原因となることより、微小な損傷も検出することが切望されている。本論文では、種々のカンキツ果皮に蛍光物質が含まれていることを利用して、通常のカラ画像では困難な腐敗や微小な損傷を蛍光画像により検出する方法について可能性を検討したものであり、評価すべき点は以下の通りである。

1. これまで一部のカンキツ果実のみの報告にとどまっていた蛍光物質について、16 種類のカンキツ果実に共通する主要な蛍光物質をフラボン系の物質と特定し、その物質が 16 種類の果皮において反応を示す強度を 3 種類に分類した。これにより、カンキツ果実の蛍光画像を取得するためのマシンビジョンシステムを構築することが容易になった。
2. フラボン系の物質の蛍光反応が弱い果実であるレモンやユズの果皮より、クマリン系の物質を抽出し、その励起波長と発光波長を明らかにした。レモンやユズにおいてはこの物質の方がフラボン系の物質よりも蛍光反応が強いことを示し、画像処理を行うことでそれらの果実の損傷を識別した。
3. 実際の温州ミカンの選果場で蛍光画像により仕分けられた果実を、茎葉やハサミによる損傷、枝やハサミの先端による穴、果柄部周辺の果皮の損傷、損傷果皮からの果皮汁や薄果皮の付着した健全果実、黄緑色に変色した部位、浮皮部位の損傷、農薬あるいは展着剤が果皮に残留した果実の 7 種類に分類した。さらに、それらの果実を常温で追跡調査をしたところ、それらは 1, 2 週間後に腐敗する可能性が高いという知見を得た。

以上のように、本論文はカンキツ果皮の腐敗や微小な損傷を蛍光画像で検査するため、種々のカンキツ果実についてその蛍光物質の特徴、蛍光強度を明らかにしたものであり、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のみならず、果実や野菜等の農産物の非破壊検査法の開発にも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、平成 25 年 2 月 8 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。

注) Webでの即日公開を希望しない場合は、以下に公開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