

(続紙 1)

京都大学	博士（農学）	氏名	MUHARFIZA
論文題目	Citrus Fruits Quality Monitoring During Growth and Storage Period Using Fluorescence Spectroscopy (蛍光分光法を用いた生育中および貯蔵中カンキツ果実の品質モニタリング)		
(論文内容の要旨) 爽快な香りを持ち、ビタミンCを多く含むカンキツは、中国、ブラジル、アメリカ、メキシコなどで多く生産され、世界的な市場的価値を有している果実である。カロテノイドやリモネンなど様々な成分の機能性が研究されており、産業界においても価値の高い農産物の一つである。日本では最も一般的な果実として知られており、約90%は青果物として消費されている。収穫後の選果時には、近赤外分光法や画像処理を使い、外観だけでなく糖度や酸度、内部品質等の非破壊検査が行われている。しかし、これらには高価な分光器を利用する必要があるため、より安価で簡便な品質評価技術が求められてきた。近年では、分光器が不要となる蛍光画像の技術が実用化され、収穫バサミ等の先端で果皮に生じた微小傷由来の腐敗果抑制に貢献している。 通常、カンキツは非クライマクテリック果実なので、収穫後に追熟しないとされている。そのため、ウンシュウミカン収穫後、選果を経てすぐに出荷されるが、イヨカンは収穫後に貯蔵し、色や酸度の調整を経てから市場に出荷される。つまり、ウンシュウミカンに対しては果樹上での成長期における果実の品質評価技術が、イヨカンには収穫後の品質評価技術が求められている。そこで本研究では、これらの問題を安価に解決する技術の開発のため、果皮の蛍光物質に着目し、カンキツの生育および貯蔵期間中、どの物質の蛍光強度が変化するかを調査し、蛍光技術の品質評価への応用可能性について検討した。 本論文は6章で構成され、第1章で研究背景や先行研究について整理した後、研究目的が述べられている。第2章では本研究で用いた愛媛産のカンキツ果実について説明した後、研究で使用した蛍光分光光度計やカラーおよび蛍光画像計測装置の仕様、可溶性固形物（SS）や酸度の測定条件が述べられている。 第3章では6月から12月までのウンシュウミカン（宮川早生）の生育期間中に、果樹上方の太陽光のよく当たる場所から毎月25個の果実を採取し、果皮および果肉部の蛍光物質、SS、酸度の経時変化を計測した。その結果、宮川早生にはクロロフィルa（励起波長(Ex.)410 nm/ 蛍光波長(Em.)675 nm）、クロロフィルb（Ex.460 nm/Em.650 nm）、2種類のポリメトキシフラボン（Ex.260&370 nm/Em.540 nm）、クマリン（Ex.330 nm/Em.400 nm）、トリプトファンに近い物質（Ex.260 nm/Em.330 nm）の蛍光反応が観察された。熟度の指標として、SSと酸度の比（SS／酸度）と蛍光強度について調べたところ、トリプトファンとクロロフィルaの対数比と線形の関係があり、決定係数R^2は0.95であった。一方、2種類のポリメトキシフラボン同士の比の対数値との関係では決定係数R^2が0.82となった。この結果を受け、今後これらの蛍光物質の非破壊計測が可能になると、生育中のSS／酸度の推定が期待できると結論づけている。 第4章では、イヨカン（宮内伊予柑）の果皮に含まれる蛍光物質について貯蔵時の経時変化を計測した。10～15℃、湿度80～90%での環境で、収穫後の果実を14日間貯蔵後、外観の同様な27個のサンプルを選別した。その後80日間の貯蔵中、10日毎に3個サンプリングし、可視画像および365 nmで励起した蛍光画像を取得した。続いて、果皮断面のクチクラ層の顕微鏡画像を観察後、果皮を細かく粉碎してクロロフォルムで抽出し、蛍光計測を行った。果肉部の内部品質も計測したところ、SSでは大きな変化はなく、酸度が若干減少する傾向が見られた。抽出液の蛍光計測からは、ポリメトキシフラボン由来の蛍光反応が2種類（Ex.260&370 nm /Em.540 nm）、トリプトフ			

ファンに近い物質の蛍光 (Ex.260 nm/Em.330 nm) も観察された。それらの蛍光ピークに着目し、経時変化をモニタリングしたところ、ポリメトキシフラボン同士の比は、40日目以降に緩やかな増加傾向を示した。一方、トリプトファンに近い物質の蛍光ピークは実験開始から徐々に弱まる傾向が見られた。果皮の蛍光画像においては最初蛍光強度が低くほぼ均一であったが、貯蔵40日以降は明るい黄色の面積が増えた。この変化のタイミングは酸度の減少時期と一致することから、この時期に果実品質が変化していると考察した。一方、各蛍光物質の強度とSSや酸度との相関を決定係数 R^2 で調べたところ、トリプトファンに近い物質の対数値とSSは0.68、ポリメトキシフラボン同士の比の対数値と酸度は0.55、ポリメトキシフラボン同士の比とSS/酸度は0.69、ポリメトキシフラボン同士の比の対数値の逆数とSS/酸度は0.74であった。以上の結果から、先の蛍光画像で黄色くなる要因は、ポリメトキシフラボン同士の比の増加と因果関係があると予想され、蛍光画像から内部品質変化を推定できる可能性があるとは結論づけている。

第5章では同じイヨカンを対象に、貯蔵時の相対湿度と人工光の照射が蛍光物質やSSおよび酸度に与える影響について探索した。貯蔵環境として、温度5～10℃、湿度40～50%および80～90%の条件下で蛍光灯照射区と無照射区を設定し、果皮の蛍光物質およびSS/酸度の推移を80日間計測した。その結果、SS/酸度は高湿度環境下で若干高い傾向が、ポリメトキシフラボン同士の比の蛍光強度は30日目から光照射区で増加する傾向が見られた。ポリメトキシフラボンは、人工光下での応答性が高いというこれまでの先行研究が今回の結果を裏付けていると考察している。

第6章は各章の総括をすると共に、果皮の蛍光物質が果実の品質を指し示し、貯蔵期間中の品質評価技術にもなり得ることを述べ、貯蔵庫、輸送時、小売店等でのモニタリング技術への応用可能性を提案して締めくくっている。

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)

本研究は2品種のカンキツ果実を対象に、果樹上での生育期間中と貯蔵期間中の果皮および果肉に含まれる蛍光物質の強度の経時変化について示したものである。その期間中、食味の指標として知られている可溶性固形物(SS)、酸度と蛍光強度の変化との関係を探索することで、果皮の蛍光計測による内部品質の推定を目指しており、評価できる点は以下の通りである。

1. 未熟期から完熟期の6ヶ月間にわたり、樹上のウンシュウミカン(宮川早生)の果皮および果肉に含まれる蛍光物質を探索し、クロロフィルaおよびb、2種類のポリメトキシフラボン、クマリン、トリプトファンに近い物質が含まれていることを明らかにした。さらに、SS/酸度との関係について調べたところ、果皮内のトリプトファンとクロロフィルaの比等との間に強い相関があることを見出し、果肉の内部品質評価の可能性を明らかにした。
2. 収穫後80日間の貯蔵期間中に、イヨカン(宮内伊予柑)の果皮に含まれる物質の蛍光強度の経時変化を計測し、内部品質と果皮内のトリプトファンに近い物質、ポリメトキシフラボン同士の比との関係性を明らかにした。さらに、365 nm励起の蛍光画像からは貯蔵40日を境に果皮の蛍光が明るい黄色に変化することを見出し、内部品質との関係を示唆した。
3. イヨカンの貯蔵期間中に、SS/酸度は高湿度環境下では若干高くなり、ポリメトキシフラボン同士の蛍光強度比は光照射区で30日目から増加する傾向があることを確認した。

以上のように、本論文は果皮の蛍光物質の増減が内部品質の推定に利用できる可能性を示しており、蛍光画像計測は近赤外分光法による非破壊計測よりも安価で簡便なシステムで表層の微小な欠陥や付着物等も検出可能である利点を踏まえると、今後のポストハーベスト分野のみならず、農産物の情報化に関して大きな貢献が期待される。この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多い。

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30年10月12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)