

(続紙 1)

京都大学	博士（農学）	氏名	PANITORN PREMPREE
論文題目	Inspection of Bean Sprout and Tomato Shelf-Life Using Fluorescence Characteristics (蛍光特性を利用したもやしとトマトの棚持ち検査)		
(論文内容の要旨)			
This dissertation addresses the urgent challenge of reducing postharvest food losses, particularly in perishable horticultural products such as bean sprouts and tomatoes. These crops, characterized by their high moisture content and short shelf-life, are especially prone to deterioration during distribution and storage. The aim of this study is to develop a non-destructive and rapid method for evaluating shelf-life by analyzing time-series changes in fluorescence characteristics, thereby enabling early detection of spoilage and quantification of water loss.			
Chapter 1 introduces the background and motivation for this research. Fruits and vegetables accounts for more than 40% of total food loss and waste (FLW), especially in tropical and developing regions. While both preharvest and postharvest losses are significant, postharvest losses are particularly preventable through improved storage and handling practices. In this context, shelf-life assessment has emerged as a key strategy for minimizing avoidable waste. Conventional evaluation methods such as visual inspection and microbial testing have limitations in terms of subjectivity, destructiveness, and time consumption. Optical methods, particularly fluorescence spectroscopy, have shown promise for real-time and non-invasive quality monitoring of fresh produce.			
Chapter 2 describes the construction of a fluorescence imaging system using two excitation wavelengths (308 nm and 365 nm) to capture fluorescence responses from both bean sprouts and tomatoes. The system includes preprocessing functions such as image masking, color model conversion, and intensity extraction, enabling the quantification of spatial and spectral fluorescence features relevant to freshness.			
In Chapter 3, the focus is on bean sprouts. During storage, enzymatic browning occurs in the hypocotyl region, accompanied by changes in appearance, sliminess, and off-odor. Prior to the manifestation of these sensory signs, a spectral shift in fluorescence is observed: from blue (400–450 nm) in fresh sprouts to green (450–550 nm) as spoilage progresses, due to oxidation products. This distinct shift enables early detection of spoilage. Using this phenomenon, an SVM-based classification model was developed, achieving an accuracy of 84%, outperforming models based solely on visible images (75%). These results underscore the utility of fluorescence imaging for early and objective spoilage detection, independent of human judgment.			
Chapter 4 investigates fluorescence characteristics of tomatoes at different maturity stages and harvest times. Although tomato peel exhibits low-intensity fluorescence, high-power excitation allows the detection of subtle changes. As storage progresses, the accumulation of flavonoids and lignin leads to an increase in the B-ratio (blue component) and a decrease in the L-value (lightness), both of which correlate with ripening. Furthermore, tomatoes harvested at different times of the year show significant differences in water loss and fluorescence behavior. Those grown under warmer, drier conditions exhibit lower postharvest weight loss, likely due to stress-induced physiological adaptations such as enhanced wax deposition and lignification in			

the cuticle and cell walls. These structural changes reduce transpiration and are reflected in fluorescence signals, providing a biochemical basis for estimating water retention capability.

In Chapter 5, the relationship between initial fluorescence characteristics and subsequent water loss was modeled using partial least squares regression (PLSR). Variable importance in projection (VIP) analysis identified key indices related to phenolics and lignin. The PLSR model achieved a high prediction accuracy ($R^2 = 0.81$, RPD = 4.42), indicating that postharvest weight loss can be reliably estimated from fluorescence images captured at the day of harvest. This approach offers a proactive solution for quality control, allowing logistic decisions to be made before spoilage becomes visible.

Chapter 6 integrates findings across both crops and highlights two modes of application: immediate freshness assessment and longer-term shelf-life prediction. The simplicity and speed of the system, combined with its adaptability to different crop types and excitation wavelengths, make it well-suited for use in logistics, packing facilities, and quality control stations.

Overall, this study establishes a practical framework for shelf-life monitoring based on fluorescence behavior. It offers two key contributions: (1) early detection of physiological spoilage using spectral shifts, and (2) prediction of water loss via biochemical markers. These outcomes support the development of shelf-life as a new grading criterion and offer a flexible, scalable solution for improving postharvest quality management. By enabling timely intervention and smarter inventory control, the proposed approach contributes to sustainable food supply chains and reduced produce waste.

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。

(論文審査の結果の要旨)

モヤシやトマトのような高水分野菜では、保存中の水分損失や劣化が品質低下および食品ロスの主因となっており、その棚持ちを迅速かつ非破壊的に評価する技術の確立が課題となっている。本論文は、保存中における蛍光特性の時系列変化に着目し、劣化兆候の可視化および水分保持性の推定を可能とする画像計測・解析手法の構築を目指して実施された一連の研究成果をまとめたものであり、評価すべき点は以下の通りである。

1. 蛍光特性に基づくモヤシの劣化可視化と分類モデルの構築

モヤシの保存過程において、フラボノイドに由来する青色蛍光(400–450 nm)が、酸化生成物による緑色蛍光(450–550 nm)へとスペクトルシフトする現象が確認された。この変化は褐変進行の初期段階で発生し、可視画像では捉えにくい内部劣化を高感度に検出できることが示された。取得した蛍光画像およびRGB画像を用いた分類モデルでは、Support Vector Machineにより最大84%の分類精度が得られ、従来法と比べて精度・客観性の両面で優れる劣化判定技術としての有効性が確認された。

2. トマトにおける熟度および水分保持性の蛍光応答に関する定量的評価

トマト果皮では、保存の進行に伴い青色の比率(B比)の上昇および明るさ(L値)の低下が観察され、これはフラボノイドやリグニン、カロテノイド等の蓄積と対応していた。また、異なる収穫時期に得られたトマトでは、栽培環境の違い(高温・乾燥)により果皮構造に差異が生じ、水分損失量および蛍光応答に有意な差が認められた。特に夏季栽培個体では、クチクラ層中の蠟質や細胞壁のリグニン量が増加し、蒸散抑制機構として機能していたことが示唆された。これらの違いが蛍光特性に反映されることから、蛍光画像を用いた品質保持性の評価指標としての有用性が確認された。

3. トマトの保存初期データに基づく水分損失予測モデルの構築と実装性の提示

収穫直後に取得した蛍光画像データに基づいて保存中の水分損失量を予測するPLSRモデルが構築され、 $R^2 = 0.81$ 、RPD = 4.42という高い精度が得られた。重要波長の選抜にはVIP (Variable Importance in Projection) を適用し、リグニンおよびフェノール類に関連する指標が有効であることが確認された。これにより、保存初期段階で棚持ちを可視化することが可能となり、物流判断や出荷判断を支援する即時評価手法としての実用性が示された。

以上のように、本論文は、劣化の速い青果物を対象として、保存中の蛍光応答の変化に基づく非破壊品質評価法を確立し、劣化兆候の可視化と水分損失の予測という二つの運用モデルを構築した。特に、簡便かつ短時間での測定を可能とする装置設計と画像解析手法は、対象作物や生育環境に応じた柔軟な運用を現場で実現するうえで有効であり、食品ロスの削減と青果物の品質管理の高度化にも資する重要な知見を提供するものであり、生物センシング工学、フィールドロボティクス、農業システム工学といった関連分野の発展にも寄与するところが大い。

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7年7月18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）