

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 20 日現在

機関番号：11101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26450359

研究課題名(和文)非破壊的分光計測による野菜の硬度・糖度・機能性成分の見える化

研究課題名(英文)visualization of firmness, soluble solids content and functional ingredients of vegetables by non-destructive spectroscopic measurement

研究代表者

張 樹槐 (zhang, shuhuai)

弘前大学・農学生命科学部・教授

研究者番号：90261429

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：消費者の野菜などの内部品質に関する強い関心及び要望に応えるだけでなく、品質向上のための生産管理技術の確立のためにも、本研究は、それらの内部品質にかかわる硬度、糖度、機能性成分の見える化について、分光計測による非破壊的な評価方法を確立することを目的に行った。  
その結果、以下のような基礎知見を得た。ハイパースペクトルカメラによる分光計測データを基に、非破壊的に野菜等(ニンジン、アスパラガス、タマネギ、リンゴ)の硬度や機能性成分(粗繊維、カロテン、リコピン、アントシアニン)などを推定することの可能性が示唆され、その分布の見える化については、更なる精度向上のための検討が必要であることを確認した。

研究成果の概要(英文)：In order to respond to consumers' strong interest and demand for higher internal quality of vegetables, as well as to develop the effective production management systems for improving the quality of vegetables, this research attempted to establish a non-destructive assessment approach for visualizing the firmness, soluble solids content and functional ingredients of vegetables by spectroscopic measurement. The results indicated that the spectroscopic measurement obtained by a hyperspectral camera system could be utilized to non-destructively estimate the firmness and various functional ingredients (crude fiber, carotene, lycopene and anthocyanin) of vegetables (carrot, asparagus, onion, apple, etc.). However, further improved estimation accuracy would be necessary for visualizing the distribution of these internal quality parameters.

研究分野：農業機械学

キーワード：非破壊計測 機能性成分 見える化 野菜 分光計測

### 1. 研究開始当初の背景

平成 21 年度野菜等健康食生活協議会がまとめた「野菜のおいしさ検討部会報告書」(特定非営利活動法人野菜と文化のフォーラム, 平成 22 年 3 月)では, 高まる消費者のおいしさに対する期待に答えるため, 種々な研究成果から以下のように提言されている。

- 1) スイカについては, 糖度の測定法等を統一できれば甘さの表示を店舗毎に統一できることが期待される。
- 2) ホウレンソウについても糖度測定値に基づき, 甘味の強いホウレンソウを差別化できるものと期待される。
- 3) ニンジンについては, ジューシーで軟らかいものが生食には好まれた。軟らかさについては, 数万円の果実硬度計があれば数値化可能と期待できるので, 簡易な物性評価法の確立が待たれる。
- 4) キュウリについては天候の影響を強く受けるため, 毎日同じ品質の果実を入手することは難しい。その品質管理には血糖センサーを用いて果実中のブドウ糖を測定し, 設定値以上であることを確認する必要がある。

これらの提言からもわかるように, 低迷している野菜の消費を刺激するために, 消費者の食味などの内部品質に関する要望に応えるだけでなく, 品質向上のための生産管理技術の確立のためにも, 野菜の重量や大きさなどの外観だけでなく, 硬度や糖度, 機能性成分などの内部品質をも非破壊的に計測できる技術の確立が大いに期待されている。

### 2. 研究の目的

上述した背景に加え, 近年の分光計測や情報技術の著しい進展に伴い, リンゴやミカンなどの果実だけでなく, メロンやスイカなど野菜の外部と内部品質までも非破壊的に計測して, そのデータを基に品質別に自動分類できる機械が広く普及しつつある。しかし, それ以外の多くの野菜, 例えばニンジン, キュウリ, ナス, アスパラガス, オクラやインゲンなどは, 食味の良い商品とともにその機能性も消費者に大いに期待されているにも関わらず, 現在重量や大きさによるランク付けを実施しているのみである。

本研究は, 申請者が行ってきた分光計測による果実内部品質の評価技術に関する基礎研究のいくつかの知見を基に, 野菜の内部品質にかかわる硬度, 糖度, 機能性成分の見える化について, 分光計測による非破壊的な評価方法を確立することを目的とした。

### 3. 研究の方法

#### 1) ニンジンやアスパラガスの硬度測定について

各種実験材料の硬度測定は, ピンゲージ治具(2)をもつ荷重・変位出力付き測定ユニット F-S Master を用いた。

1 測定サンプルにつき 2 ヶ所ずつ計測し,

ピンゲージがそれらの表皮を貫通するまでの荷重の推移を測定し, 力の最大値の平均値を硬度として算出した。なお貫入スピードは 120mm/min に設定した。

#### 2) 粗繊維の分析方法

アスパラガスの粗繊維分析は, 「粗繊維定量装置 CF-8」を使用し, ろ過法によって定量を行った。ろ過法による定量は, 1 サンプルにつき 1g で行った。

#### 3) ルチン含有量の分析方法

アスパラガスのルチン含有量分析には, HPLC 法(高速クロマトグラフィー)を用いて定量を行った。1 サンプルにつき 200mg 使用して分析を行った。

#### 4) 分光データの取得

分光計測は, ハイパースペクトルカメラ ImSpector V10 を使用した。ハイパースペクトルカメラは, リモートセンシングなどの分野で, 物体から反射された光のスペクトルを計測できる装置である。本実験では, 硬度などの計測予定部位について, 波長域 350 ~ 1,005nm, 間隔 5nm で計測保存した。

ハイパースペクトルカメラの制御や分光反射率の収集は, 分光画像解析プログラム Inspector Spectrum Analyzer を用いて, データを処理, 保存した。

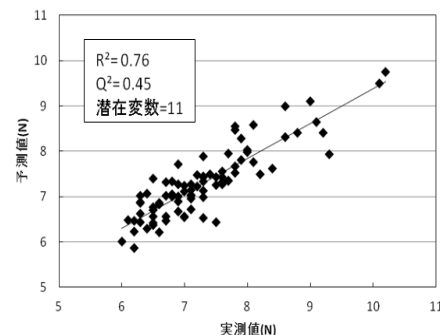
#### 5) データ解析方法

データ分析は, 無料統計ソフト R の PLS 回帰パッケージで行った。PLS 回帰分析は, 強い共線性がみられ, 説明変数の数が多いときに, 予測モデルを構築するための優れた方法の 1 つである。本実験では, 分光計測データを説明変数, ニンジンやアスパラガス硬度などを目的変数として分析を行った。

### 4. 研究成果

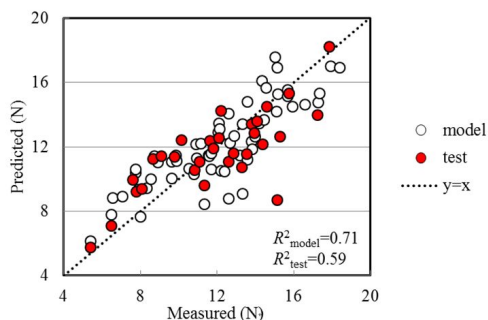
#### 1) アスパラガス若茎の硬度の非破壊的予測結果

下図は, 分光データと硬度との PLS 回帰分析の結果である。横軸は貫入抵抗に基づく硬度の実測値で, 縦軸は PLS 予測モデルによる予測値を示している。なお予測モデルを構築した際の潜在変数は, RMSEP の計算結果から 4 個とした。この図から, 予測モデルの精度を表す  $R^2$  値が 0.76 で, その予測性を表す  $Q^2$  値が 0.45 となったことから, アスパラガスの分光反射情報とその機械的硬度との間に強い関連性があり, 構築した PLS 回帰予測モデルによる硬度予測が可能であると考えた。



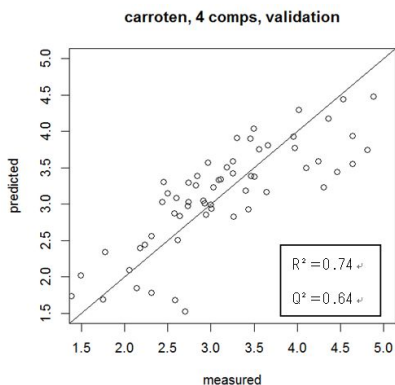
## 2) ニンジン硬度の非破壊的予測結果

下図は、分光データとニンジンの硬度について PLS 回帰分析して得た結果である。横軸は貫入抵抗の最大値に基づく硬度の実測値で、縦軸は PLS 予測モデルによる予測値を示している。なお予測モデルを構築した際の潜在変数は、クロスバリデーションによる RMSEP の計算結果から 2 個とした。この図から、学習データでの  $R^2_{\text{model}}$  が 0.71 で、テストデータでの  $R^2_{\text{test}}$  が 0.59 となった。以上の結果から、ニンジンの分光反射情報とその硬度との間に強い関連性があり、PLS 回帰予測モデルによる硬度予測が可能であると考えた。

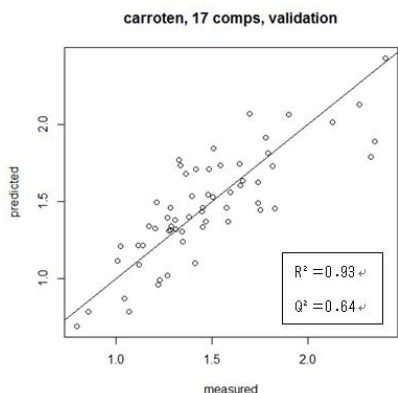


## 3) ニンジンのカロテン含有量の非破壊的予測結果

下図は、PLS 分析で作成した分光データによる総カロテン含有量の予測モデルである。総カロテンの予測モデルの精度を表す  $R^2$  値が 0.74、モデルの予測性を表す  $Q^2$  値が 0.64 となり、総カロテンの実測値と予測値との相関性が高いことが確認できた。

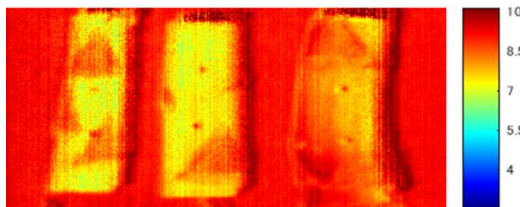


カロテンについては、下図のように  $R^2$  値が 0.93、 $Q^2$  値が 0.64 となり、実測値と予測値との間、より高い相関があることが確認できた。



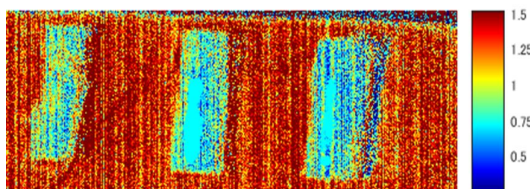
## 4) アスパラガス若茎硬度の可視化

下図は、分光データと硬度を基に重回帰分析を行い、硬度分布の可視化を可能とする波長を二つ選択し、その結果を図示したものである。この結果から、硬度の違いを確認でき、硬度分布の可視化の可能性が示唆された。



## 5) アスパラガス若茎のルチン含有量の可視化

下図は、硬度分布の可視化と同じ手法でルチン含有量を図示したものである。この結果から、ルチン含有量の違いを硬度のように精度よく表現できなかった。これについて、ルチンの分析や分光データの計測、データ解析方法などについてさらに検討する必要がある。



## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 2 件)

1) Xujun Ye, Shyota Ishioka, Shuhuai Zhang: Estimation of the degree of red coloration in flesh of a red-fleshed apple cultivar 'Kurenai no Yume' with a UV-Vis-NIR interactance device, *Postharvest Biology and Technology*, Volume 124, Pages 128-136, February 2017, 査読有

2) Xujun Ye, Yue Shi and Shuhuai Zhang: Non-Destructive Prediction of Hardness and Carotenoid Content of Carrots Using Hyperspectral Imaging, *Agricultural Research Updates*, Volume 12, Chapter 3, 57-70, ISBN: 978-1-63483-967-9, Nova Science Publishers, 2015, 査読有

〔学会発表〕(計 7 件)

1) 杉中 悟, 叶 旭君, 張 樹槐: 分光反射情報によるタマネギのピルビン酸値の予測, 平成 28 年度農業食料工学会東北支部大会研究発表会要旨集, 48~49, 北里大学(千和田市), 2016/8/25~26

2) Xujun Ye, Tomoki Izawa, Shuhuai Zhang:

Development of an Android Application for Determination of Lycopene Content in Tomato Fruit, International Symposium on Machinery and Mechatronics for Agricultural and Biosystems Engineering (ISMAB 2016), 23-25 May 2016, Niigata, Japan

3) 張 樹槐, 石 玥, 叶 旭君: 分光計測に基づくニンジン内部品質の非破壊的推定に関する研究, 農業環境工学関連5学会2015年合同大会(CDROM), 岩手大学(盛岡市), 2015/9/14~18

4) 岡本泰宏, 叶 旭君, 張 樹槐: 分光反射情報によるアスパラガスの硬度の非破壊的予測に関する研究, 平成27年度農業食料工学会東北支部大会研究発表会要旨集, 25~26, 秋田県立大学(秋田市), 2015/8/20~21  
5) Xujun Ye, Yue Shi, Ming Sun, Shuhuai Zhang: Non-destructive Prediction of Hardness of Carrots using Hyperspectral Imaging, No.2014-0870, 18th World Congress of CIGR, 16-19 September 2014, Beijing, China

6) 石 玥, 叶 旭君, 張 樹槐: 分光反射情報によるニンジン内部品質の非破壊的予測に関する研究, 平成26年度農業食料工学会東北支部大会研究発表会要旨集, 27~28, 山形テルサ(山形市), 2014/8/21~22

7) 張 樹槐, 佐藤 大和, 前田 智雄, 叶 旭君: アスパラガス若茎の硬度の非破壊的予測に関する研究, 第73回農業食料工学会年次大会講演要旨, 256, 琉球大学(那覇市), 2014/5/16~19

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

取得状況(計0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年月日:  
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

張 樹槐 (ZHANG Shuhuai)  
弘前大学・農学生命科学部・教授  
研究者番号: 90261429

### (2) 研究分担者

前田智雄 (MAEDA Tomoo)  
弘前大学・農学生命科学部・准教授  
研究者番号: 90530478

### (3) 連携研究者

叶 旭君 (YE Xujun)  
弘前大学・農学生命科学部・准教授  
研究者番号: 10708168