

機械学習を用いた鮮度計測に向けたレタスのマルチ分光センシング

Multi-spectroscopic sensing of lettuce for freshness measurement using machine learning

亀岡 孝治 塚原 茜 亀岡 慎一 伊藤 良栄 橋本 篤
Takaharu Kameoka Akane Tsukahara Shinichi Kameoka Ryoei Ito Atsushi Hashimoto

三重大学大学院生物資源学研究科
Graduate School of Bioresources, Mie University

Many conventional freshness (quality) measurement methods are separation analysis, and there are a number of problems such as extremely time-consuming measurement etc. in this analysis. Therefore, in this study, attention was focused on elements and organic matter, and tried to quantify the process of degradation of lettuce. Furthermore, from the surface color and moisture measurement, the relationship between freshness (deterioration) evaluation by appearance quality and objective evaluation is grasped and data set and evaluation method for freshness evaluation leading to machine learning in the future were studied. As a result, it became clear that there is a relationship between surface color and internal quality. It is suggested that freshness of lettuce can be quantified and predicted using only surface color information if accumulating experimental data and constructing a relationship between color change and internal quality using machine learning and depth learning.

1. はじめに

従来の鮮度・品質計測手法の多くは分離分析であり、計測に非常に時間が掛かる等の問題点が多数存在した。そこで、本研究では元素と有機物に着目し、レタスの劣化過程の定量を試みた。さらに表面色彩と水分計測から、外観品質による鮮度(劣化)評価と客観的評価の関係性を把握し、将来的に機械学習に繋がる鮮度評価のためのデータセットと評価方法を検討した。

2. 実験試料, 実験装置および方法

2.1 実験試料

実験には、2017年12月5日に淡路島で収穫されたレタス(ベルデ7)24個体を用いた。本研究では10個体使用し、残り実験条件の検討などのための予備実験に用いた。レタスの平均重量は333.1g、標準偏差は41.9gである。

2.2 実験装置および方法

レタス8個体を用い、2種類の保蔵実験を行った。まず、レタス1個体の連続保蔵実験、2つ目は毎日レタスを解体して結球内部の元素と有機物を計測する段ボール箱保蔵実験である。

(a) 連続保蔵実験

レタスの連続保蔵実験のための連続保蔵実験装置を試作した(図2)。保蔵容器の両側部に撮影用高性能LEDライト、上部に一眼レフレックスカメラ(Canon社製EOS Kiss X3)を取り付けた。保蔵容器の上部蓋に撮像用の透明ガラスを取り付け、側面と底面には照明光を拡散させるためのケント紙を貼り付けた。また容器内部に電子天秤を組み込み、天秤上の結球レタス中心部に照明が当たる位置に保蔵容器を設置した。また、全体を暗幕で覆い外部からの光を遮断した。保蔵容器内の温湿度はペルチェ素子、飽和塩法(MgCl₂)を用いて25°C、33%に制御し、劣化を加速させる実験を行った。さらに電子天秤・一眼レフカメラ・温湿度計をラズベリーパイに接続し、自作したデータ取得プログラムを用いて自動計測した。画像撮像は1時間毎とし、撮

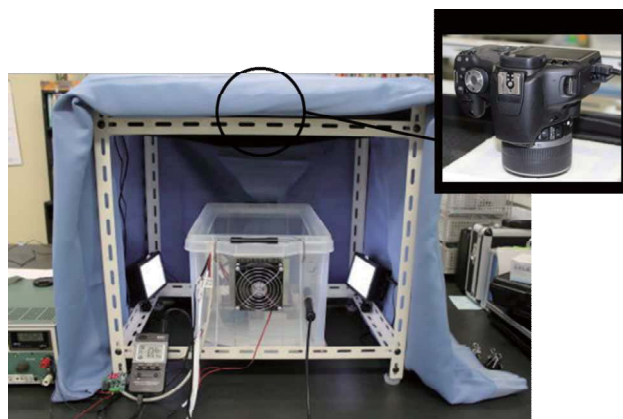


図1 連続自動計測保蔵容器

像15分前に照明を点灯し15分後消灯するよう設定した。

(b) 段ボール箱保蔵によるレタスの解体実験

飽和塩法を用いて相対湿度を33%に制御した段ボール箱9箱にレタスを1個体ずつ入れ、これらを25°C設定にインキュベータに保存し、7日間毎日1個体の解体実験を行った。蛍光X線分析装置(OLYMPUS社製DELTA Premium)を垂直に設置し、各葉3点で元素計測を行った(Kameoka 2017)。また、赤外分光分析には赤外分光光度計(PerkinElmer社製Superspectrum two)とATRアクセサリ(以下FTIR/ATR法)を用いレタス葉の中赤外分光スペクトル取得のための最適荷重の検討を行った。

3. 実験結果および考察

3.1 連続保蔵実験

レタスの水分変化は、保蔵開始から7時間までは恒率減少、7~78時間で減率減少、78時間以降では再び恒率減少的減少となったため、これをレタスの劣化特性曲線とした。

保蔵6日間1時間置きに撮像した合計143枚のレタス連続画像解析をOpenCVを用いてレタス表面画像の色彩変化を取得した。色相は減少傾向、彩度は増加してから減少傾向、明度は増加傾向であり、各時間における色彩ヒストグラムの標準偏差

連絡先: 亀岡孝治, 三重大学大学院生物資源学研究科,
〒514-8507 三重県津市栗真町屋町 1577,
Tel. 059-231-92468, E-mail: kameoka@mie-u.ac.jp

は保蔵時間が経過するにつれ減少し一定値へ収束する傾向が認められた。色相値では、保蔵開始から 25 時間と 123 時間で変化直線の傾きが変化した。彩度値は 88 時間まで増加、89~132 時間で減少、133~139 時間で一定値をとるといふ変化傾向が認められた。明度は、69 時間と 132 時間で変化直線の傾きが変化した。レタス表面の色彩変化傾向が変わる時間を把握することで、レタスの劣化段階を予測できる可能性が示された。

また、色相分布は正規分布で近似でき、平均値は減少しつつ分布の最大値が大きくなる傾向が認められた。彩度分布は γ 分布で近似でき平均値が増加したのちに減少する傾向が認められた。これらの結果から、色相、彩度分布は各分布のパラメータを用いてレタスの劣化段階を推定できる可能性が示唆された。

3.2 段ボール箱保蔵によるレタスの解体実験

保蔵 6 日間の内部の葉の水分計測、元素計測、さらに有機物計測を行った。レタスの水分減少は主に外葉 1, 2 枚と芯から始まり、内部水分は保蔵中はほぼ変化しないということが示された。

次にレタスの多量元素である K, Ca, P の変化傾向を確認した。レタス体内で元素の生成・損失が生じないことから保蔵に伴う各元素の増加は、レタス組織劣化に伴う元素のバランス変化、または、水分損失に伴う葉の収縮により元素が濃縮され、蛍光 X 線視野内に計測可能な元素数が増加することが原因であ

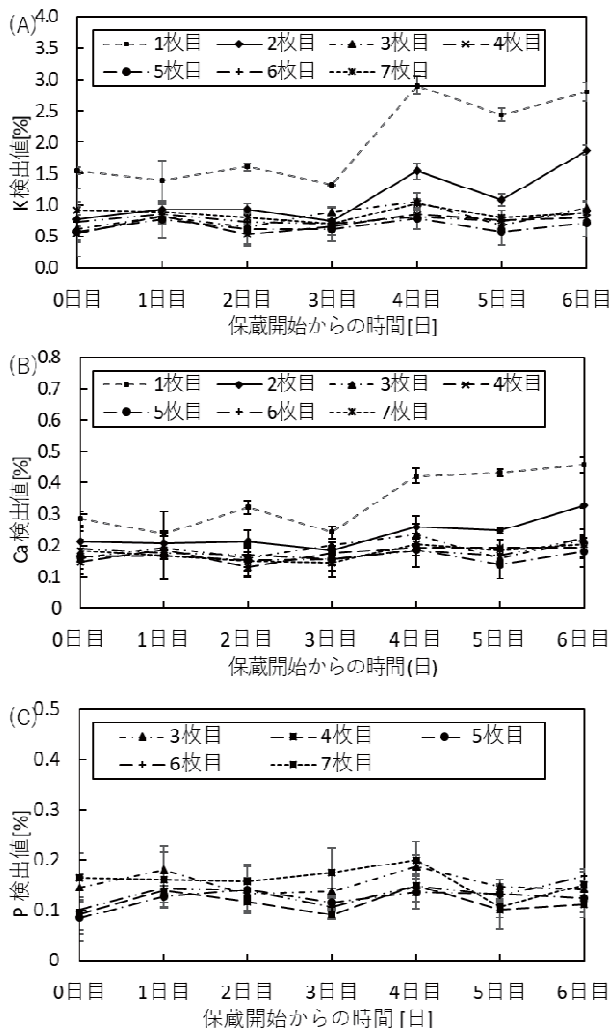


図2 蛍光 X 線元素計測結果
(A)K (B)Ca (C)P

ると考えられる。図 2 に各葉 1 枚目~7 枚目の K, Ca, P の保蔵に伴う変化を示す。外葉 1, 2 枚目で K, Ca は、水分が大きく変化した時間 3 日目と 4 日目の間で急激に増加した。P は Ca, K とは異なる挙動を示した。もし、レタス組織が変化せず、単に水分が減少するだけであれば、すべての元素は同じ傾向で増加すると考えられるが各元素は別々の変化傾向をとる。これは、レタス組織内で元素バランスが崩れてきており、レタスの何等かの劣化を示していると考えられる。

有機物の劣化をとらえるため、FT-IR/ATR 法を用いて赤外分光スペクトルを取得した。植物の葉表面の被覆層と細胞壁で数 μm であり、ATR 法によるしみ込み深さも数 μm であることから今回のスペクトル情報はこれらの情報であると考え、ワックス、セルロース、ペクチンの 3 成分に着目した。ワックスとセルロースとして波数 2924cm^{-1} 、ペクチンとして波数 1736cm^{-1} 、セルロースのみの波数として 1636cm^{-1} に着目した。しかし、6 各日間のばらつきが大きく劣化による特徴的な変化は確認できなかった。

4. おわりに

レタス結球の水分変化と色彩変化情報にダンボール実験で得られた、保蔵 1 日目から 7 日目までのレタスの内部情報を組み合わせることで、レタス結球の外部情報と内部情報を用いてレタス劣化過程を複合的に考察した。今回得られた水分変化曲線をベースに色彩変化、内部の多量元素として K, Ca, P のバランスの変化で大きな変化が認められた時間を総合的に表現したレタスの鮮度変化を図 3 に示した。

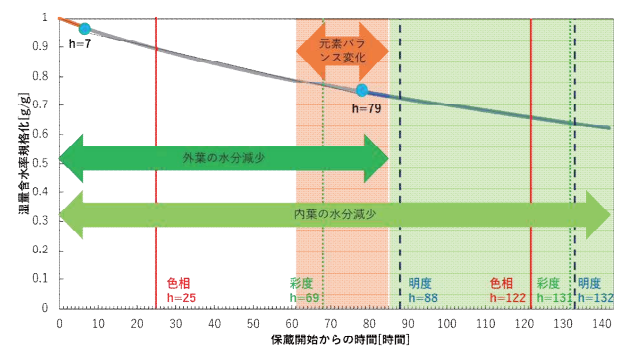


図3 レタスの鮮度変化

このレタス表面色彩変化と外葉と内葉の水分変化、加えて外葉と内葉の元素バランスの変化を具体的に整理する。葉の劣化に伴い外葉と内葉の元素バランスの変化が生じると考えると、劣化は 61 時間から 79 時間で生じていると考えられる。そこで、61 時間より前に生じる大きな変化点として、25 時間での色相値の変化点があげられる。また、外葉水分変化が恒率になる 79 時間より前の 69 時間に彩度値の変化点が現れていることが分かる。このように、表面色彩から外葉の水分と品質の予測ができる可能性が示唆された。さらに、第 2 段階目の変化 79 時間以降でも 5 点の色相、彩度、明度の変化点が認められたため、実験データを蓄積し機械学習・深層学習を用いて色彩の変化点と内部品質の関係性などの解析を行うことで、表面の色彩情報だけを用いてレタスの鮮度を定量・予測できる可能性が示された。

参考文献

[Kameoka 2017] Kameoka, S. et al.: A Wireless Sensor Network for Growth Environment Measurement and Multi-Band Optical Sensing to Diagnose Tree Vigor. Sensors, 2017.