

1. 背景と目的

りんごは日本で広く食されている食品であり、貯蔵により味、香り、「硬さ」が変化する。りんごに限らず、食品におけるおいしさは化学的性質である味や香りだけでなく、物理的性質である食感や「硬さ」も重要であると言われている¹⁾。しかし現在、食感や硬さを計測する手法は、計測に破壊的操作を有することや時間を要するなど様々な問題を抱えている。

そこで、果実の硬さを非破壊・迅速に計測する手法として、レーザー散乱に注目した。レーザー散乱は非破壊的に試料の微細構造や硬さを推定する光学的手法である。レーザー散乱はりんご果実の微細構造に影響を受けることが明らかになっており²⁾、同様に硬さが果実の微細構造の影響を受けることも明らかになっている³⁾。これらを踏まえ、レーザー散乱から硬さを推定できるのではないかと考えた。

本研究では、貯蔵中におけるレーザー散乱と硬さの関係について調査し、レーザー散乱を用いたりんご果実の硬さ推定モデルを作成することを目的とする。

2. 材料と方法

材料

外的損傷がない「さんふじ」をスーパーマーケットにて購入した。微細構造の違いを明確にするために、恒温機で25℃、7週間貯蔵し、りんごを1週間ごと測定した。また、購入日のりんごも測定した。それぞれの測定では5個のりんごを用いた。

レーザー散乱計測と画像解析

レーザー散乱の測定箇所として、りんごの最大外周から等間隔で選出した4点を選んだ。各点に可視光レーザー(635 nm)を照射し、その様子を CCD カメラ(Orca R2、浜松ホトニクス)で撮影した。また、散乱の挙動を詳細に撮影するため、カメラの露光時間を1 ms から 3162 ms で、8通りに設定した。

各露光時間で取得した画像から照射範囲内の輝度値を求め、得られた輝度値に露光時間の逆数を乗ずることで、各露光時間の輝度値を規格化した後に、その輝度値の平均値を求めた。最終的に、照射点からの距離と平均輝度値の分布の関係を示す輝度プロファイルを作成した。

硬さ測定

硬さ測定は、レーザー散乱の際に記した4点に対して、果実硬度計(KM-5型、(株)藤原製作所)を用いて、各照射点付近を9回測定し、その平均値を硬さの代表値とした。

硬さ推定モデル構築

輝度プロファイルから近似曲線の係数、輝度の変化率を取得し、それを説明変数、硬さを目的変数とした重回帰分析を行った。

3. 結果と考察

貯蔵期間が増えるにつれ、硬さは低下していった。7週間貯蔵サンプルは硬さのばらつきが大きく、その原因として、表面にしわが発生したことが考えられる。しわはりんご表面にまばらに発生しており、しわが発生した部位の硬さは同サンプル平均値よりも低下していた。有意差検定(Tukey、有意水準 1%)の結果、3週間貯蔵と4週間貯蔵の硬さには有意差が見られなかったものの、その他の区間では有意差が見られた。

0 から 6 週間貯蔵の試料を用いた硬さ推定モデル(6週間モデル)、および7週間目の試料も加えたモデル(7週間モデル)を比較した結果、7週間モデルでは精度が低下することがわかった。7週間モデルの精度が6週間モデルよりも低下した原因も上述の通り、サンプルに発生したしわだと考えられる。実際に7週間目のりんごの撮影画像を確認したところ、いくつかの画像にしわが鮮明に表れており、しわがレーザー散乱計測と硬さ計測へ影響を及ぼした可能性が示唆された。

また、6週間、7週間モデルそれぞれの実測値と推定値の相関係数は 0.7~0.8、誤差平均(RMSE)は 0.8~1.2(N)であった。この誤差平均は人間の口腔感覚で判別できる差よりも小さいと考えられ⁴⁾、レーザー散乱を用いることによって高い精度でりんごの硬さを推定できることが示された。

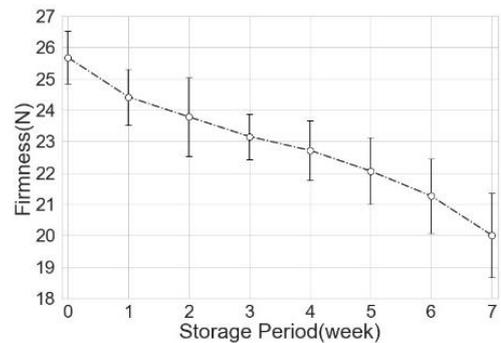


図1. 硬さの比較(各区間で n=180)

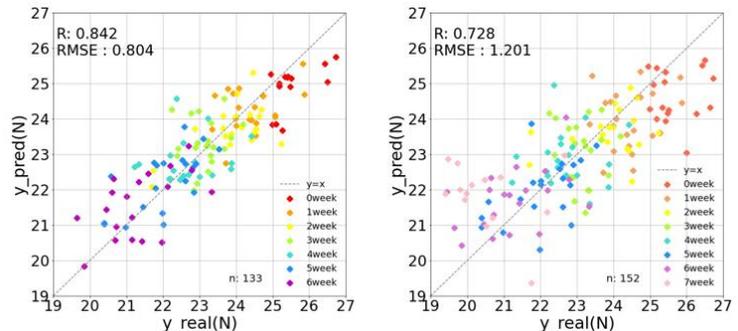


図2. 硬さ推定の精度

左図：6週間貯蔵までのサンプルで作成したモデル

(6週間モデル)の実測値と予測値

右図：7週間貯蔵までのサンプルで作成したモデル

(7週間モデル)の実測値と予測値

4. 参考文献

- 1) K.Kamiyama(2009)“テクスチャー解析によるおいしさの評価”
- 2) Zi Wang et al. (2020) “Microstructure affects light scattering in apple”
- 3) T.Nishizu (2020) “音響による食品物性評価法”
- 4) N.Masumoto et al. (2018) “Crispness Index(CI)と最大荷重によるカキ果肉部の物性評価”