

氏名(本籍)	乙部和紀(北海道)
学位の種類	博士(農学)
学位記番号	博乙第1,217号
学位授与年月日	平成8年9月30日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
審査研究科	農学研究科
学位論文題目	微小振動法に基づく食品の非破壊的力学特性評価法に関する研究
主査	筑波大学教授 農学博士 前川孝昭
副査	筑波大学教授 農学博士 富田文一郎
副査	筑波大学教授 農学博士 日下部功
副査	筑波大学助教授 農学博士 木村俊範

論文の内容の要旨

近年、生活の質的向上や輸入食品の増加にともない、食品の多様化と高品質化が求められてきている。本論文は、食品の品質の向上並びに生産の効率化を目的とした非破壊的品質評価法の確立を試みたものである。なかでも主食である米、あるいは軟弱なイチゴやセイヨウナシなどについては、食味や貯蔵などの観点から力学特性に基づく非破壊的評価法の確立が待たれていた。本論文は食品の力学特性に関わる品質を非破壊的に評価するための手法ならびに装置の開発を目的とした研究である。

1. 食品の力学特性測定法に関する整理と分類

非破壊的力学特性を評価する方法として必要な測定条件に関する検討を行い、微小な振動を測定対象物に付加して微弱な応答を捉える「微小振動法」に基づく計測手法が有効であることを知った。また、微小振動法を振動形態の面から「単一振動法」と「複合振動法」に分類可能であることを見だし、測定対象物に応じて両者を使い分けることを提案した。米については単一振動法、青果物については複合振動法を適用し、力学特性の非破壊的評価法の検討を行った。

2. 米の力学的特性と品質

従来の測定法では破壊現象を観察しているために非線形性が現われ、十分な精度や再現性を得ることが難しかった。そこで、食品用動的粘弾性測定器が単一振動法に基づいた非破壊測定を可能にしている点に着目し、本測定器により各種の粳米について米飯粒の動的ズリ粘弾性を調査した結果、米飯の動的ズリ弾性率 (G')、動的ズリ損失 (G'') は変動率27%以内、損失正接 ($\tan \delta$) は6%以内で測定可能であることを見出した。

精米ならびに炊飯条件による米飯の動的粘弾性の変化の検討においては同時に、同一精米飼料から抽出した米澱粉の流動学的特性ならびに澱粉ゲルの動的粘弾性を調べ、米飯との対応を検討した。これらの比較から、米飯粒の動的粘弾性には澱粉ゲルが大きく寄与していることが明らかとなった。

3. 動的粘弾性パラメータの品質指標としての有効性

官能検査に供した米飯を用いて動的粘弾性測定を行い、従来の実験法を改善して両者の相関関係を検討し、 $\tan \delta$ と官能評価項目の「粘り」との間に0.8以上、 G' と「かたさ」との間に0.7以上の相関が観察された。これらの結果から、食品用動的粘弾性測定器の測定値は、官能評価値とは相関が高く、再現性の高い力学特性の評価指標を得ることが示された。果皮の柔らかい青果物は果肉の力学特性変化が果皮部にも反映されると仮定し、微

小変位・力の計測技術を応用して青果物表面の力学特性を高精度で測定する装置を試作した。本装置により、0.1N以下の接触力で振動子を測定対象物に点接触させ、最大振幅約4 μ mの重畳正弦波状変位を加えたときに生じる力学的な応答特性が測定可能である。この応答特性を、変位と力を入出力とした伝達関数で表して測定対象の力学特性とした。

力センサ部と測定対象物の粘弾性モデルからなる力学系の伝達関数の解析から、測定対象物のバネ定数によって決まる周波数 (f_m) において振幅が最小となることが見いだされた。このバネ定数が測定対象物の硬さを表すと仮定して、 f_m と他の計測法により得られた指標との対応を調べ、硬さの異なるシリコンゴム製モデル試料を作製して動的弾性率 (E'') と f_m を比較し、両者の間に対数的な関係のあることを見いだした。この結果から、トマトとイチゴを5 $^{\circ}$ Cと15 $^{\circ}$ Cで貯蔵した場合の硬化を調べた。成形した試料の圧縮試験によって得られた変位-荷重曲線から求めた勾配 (w/d) と f_m を比較したところ、 f_m と w/d の間に高い相関のあることが明らかとなった。

4. セイヨウナシの追熟に伴う果肉の力学特性変化のモニタリング

セイヨウナシは、追熟の状態によって品質（食味）が大きく異なり、肉質は重要な食味特性であることから果肉の力学特性を非破壊的に測定する手法を検討した。実験にはラ・フランスとシルバーベルの2品種を用い、これらを10 $^{\circ}$ Cで追熟させて果重減少、果肉硬度、糖含量の変化を破壊試験で求めた。同時に、システムにより得られた f_m を非破壊的な果肉の硬さを指標として、果肉硬度との比較を行った。その結果、ラ・フランスでは果肉硬度と f_m に明確な相関は見られなかったが、シルバーベルでは花柱部の f_m と果肉硬度との間に良い相関が見られたことから、シルバーベルでは f_m が果肉硬度の非破壊的な指標として有効であることが示された。

以上の実験結果から、米飯などの成形可能な試料では単一振動法に基づいた測定法が再現性に優れ、官能との相関の高い力学特性指標を得た。また、柔らかい青果物に対しては、複合振動法の応用により、非破壊的に果実内部の力学特性を推定することが可能であることを示した。

審査の結果の要旨

本論文は、食品の力学特性に関わる品質を非破壊的に評価するための手法とその装置の開発を目的とした研究である。食品の力学特性に関わる品質について、いまだ非破壊的な評価法は確立されていない。申請者は、微小な振動を測定対象物に与えた微弱な負荷に対して微弱な応答を捉える微小振動法を振動形態の面から「単一振動法」と「複合振動法」に分け、前者は形状が既知の試料に対して有用であることに対し、後者は形状因子に対して左右されない測定が可能であることを確認した。特に、米については単一振動法を、柔らかい青果物については複合振動法が適用できることを知った。

これらの実験結果から、米飯などの成形可能な試料では単一振動法に基づいた測定法は再現性に優れ、官能試験の結果との相関が高かった。また、柔らかい青果物に対しては、重畳正弦波状変位を与える複合振動法を応用して果実表面の力学特性を高精度で測定することにより、これらの青果の品質を非破壊的に評価する手法を見出したことは高く評価できる。これらの一連の研究成果は、食品の非破壊的評価手法の開発に新たな道を開いたものと考えられ、食品工学および農業工学に寄与するものである。

よって、著者は博士（農学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。