

令和 5 年 5 月 15 日現在

機関番号：14101

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H03106

研究課題名（和文）青果物流通の負荷・品質マルチトラッキングによる流通環境の最適化

研究課題名（英文）Optimization of transportation based on multi-tracking of transportation load and fruit quality

研究代表者

福島 崇志（Fukushima, Takashi）

三重大学・生物資源学研究所・准教授

研究者番号：00452227

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、青果物流通工程における負荷情報と品質情報を多面的に整理し、品質低下の数理統計的評価を実施することで、負荷と品質の関係を調査した。まずは、流通工程において発生する衝撃を対象に把握すべき負荷特徴量を明らかにした。続いて、負荷に伴う青果物品質の変化をリアルタイムで計測するシステムを構築し、衝撃や振動に対する代謝促進を確認した。最後に、負荷に対する青果物の品質維持に関して、統計モデルを適用し、品質保持期間の推定に有効な解析方法を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

全世界で生産される農産物のうち、30%以上が流通過程で障害を受け、消費されことなく廃棄されている。特に、生鮮青果物は易変性であるため、流通過程での鮮度・品質低下を如何にして抑えるかが重要となる。本研究成果は、流通中のロスが発生するメカニズム解明に貢献し、今後の流通改善のための知見を提供する。

研究成果の概要（英文）：In this study, the relationship between load and quality was investigated by summarizing several quality information against transportation load in the fruit and vegetable transportation process, and by a mathematical and statistical evaluation of quality degradation. First, the data feature of transportation load for evaluation of the shock in the transportation process were clarified. Then, a measurement system for changes of fruit quality in real time in response to load was constructed, and metabolic acceleration in response to shocks and vibrations was confirmed. Finally, a statistical model was applied to the maintenance of fruit and vegetable quality against transportation load, and analysis method was proposed for estimating the quality shelf life.

研究分野：農業情報学

キーワード：青果物流通 負荷情報 トラッキング 衝撃加速度 生存時間解析

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 全世界で生産される農産物のうち、30%以上が流通過程で障害を受け、消費されことなく廃棄されている。こうしたポストハーベストロス、直接的な経済的損失ばかりでなく環境にも負荷を与えている。SDGs においても「飢餓をゼロに (#2)」、「つくる責任つかう責任 (#12)」に掲げられている問題でもある。特に、生鮮青果物は易変性であるため、流通過程での鮮度・品質低下を如何にして抑えるかが、ポストハーベスト工学研究の重要テーマの一つである。

(2) 青果物は振動・衝撃など物理的負荷に加え、輸送時間や温度、ガス濃度などの生理的負荷など流通環境の影響を受けやすく、代謝の抑制・促進により、その価値を維持・低下させてしまう。そのため、青果物自身が受ける負荷特性や品質変化をオンサイトで継続して把握することで、品質劣化につながる原因を明らかにする必要がある。しかしながら、青果物流通に関する既往の研究では、輸送中の振動・温湿度のトラッキング情報に対して、品質情報は輸送前(収穫時)と輸送後の2点における評価のみであり、輸送中の品質変遷を正確に把握した報告はない。加えて、農林水産物の輸出促進や EC 市場・宅配事業の急速な拡大により、ロット規模、輸送時間、輸送機器や梱包資材等その方法は多様化しており、複雑な負荷情報 vs 品質変遷の関係を、実験室での再現試験で明らかにすることは困難である。

(3) 現状、購買動機として10年以上も鮮度が最も重視されている。鮮度は普遍的指標が模索され続けているが、近年では鮮度劣化の先駆的現象として、脂質過酸化やイオン漏出などの細胞膜の物理化学的特性が有力な指標候補として提案され、分光学的手法による非破壊計測技術の研究も進展しているものの、未だ現場利用できる段階にはない。

負荷情報にも直接的損傷を与える衝撃や回転などの物理的負荷と、代謝を促進させ栄養成分を損耗する温度や振動などの生理的負荷がある。それら負荷情報に対して、流通工程では、これまで時間的隔たりのある低解像度な品質データのみであったため、どの負荷が直接または蓄積し、いつ・どの程度、品質を低下させるのか、そのメカニズムの解明が不十分であった。また、青果物の品質は流通工程に入ってくる段階で不揃いであり、初期値の異なる対象に流通負荷がどのように影響するのかを統一的に考えることは極めて困難である。流通工程における青果物の価値を評価するためには、複雑な青果物品質特性を多次元で捉え、その変遷要因を明確化する必要がある。

(4) 直接的な損傷を与える物理的負荷、代謝促進による栄養成分を損耗する生理的負荷が、対象青果物の外観や力学特性さらには内容成分の変化としてどのように表れるか、負荷情報 vs 品質情報のデータを体系化する必要がある。しかしながら、それら負荷と品質の因果関係の把握のみでは、輸送技術の早期改善は望めない。そのため、流通工程における負荷・品質トラッキングのイベントヒストリーに輸送機器や梱包資材などの輸送条件をパラメータとして加えることで、青果物品質低下の遷移確率や生存時間を評価する際に、その輸送条件のパラメータスタディにより、青果物流通における管理技術の高度化を支援できる。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、青果物品質を保持する流通工程管理のソリューションを提供するため、青果物流通工程における負荷情報と品質情報の経時的多次元化されたデータを基に、品質低下の数理統計的評価により流通管理技術の最適化手法の構築を目的とする。

3. 研究の方法

(1) まず、流通負荷情報を正確に把握し、かつ記録するデータ量を抑えるために、負荷として記録すべきデータ特徴量を明らかにした。図1に示すように、衝撃落下試験によって得られた衝撃加速度波形データから、力学的な特性を考慮し、5つの衝撃加速度データ形式(最大衝撃加速度値、平均衝撃加速度値、衝撃時間、衝撃波形の積分値、衝撃波形の微分値)を取得した。また、落下後の果実品質として、果肉硬度を計測した。衝撃に伴う果実硬度の変化を回帰する上で重要な特徴量を探索した。解析方法には、統計的仮説検定や情報量基準、正則化などによって、目的変数の回帰に不要な特徴量(説明変数)を除外する変数選択手法として、ES-LiR(全状態探索法)およびLASSO回帰を使用した。

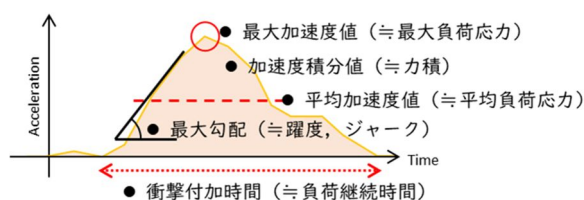


図1 衝撃加速度特徴量の例

(2) 青果物流通工程における品質変遷モニタリングについては、オンサイトでの品質変遷を計測することが、振動や衝撃に暴露される複雑な環境では、センサ群が精度を保つことは困難であ

ったため、落下衝撃後の経時的变化を多角的に捉えるシステムを試作した。さらに、落下衝撃後の品質の変遷や、振動負荷時におけるリアルタイムの呼吸計測など、品質変遷を経時的に把握できるシステムを構築した。本システムでは、通気法による呼吸計測法（青果物を入れたチャンパーに気体を流入、流出させ、チャンパーを境界とする二酸化炭素量の収支から呼吸速度を計測する方法）を採用し、図2のように構成した。計測チャンパーの前には、流入空気の湿度調整、CO₂除去、ならびに温度調節を行い、条件を安定した。振動試験では、加振振動数を20 Hzに固定し、振動加速度値5 Gと10 Gに設定し、振動前後ならびに振動中の呼吸速度を比較した。

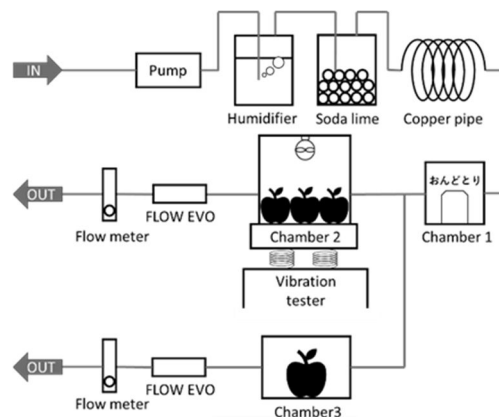


図2 リアルタイム呼吸計測システム

(3) 流通負荷を受けた青果物の品質保持期間推定

のために、負荷や品質のデータセットを利用した統計モデルによる評価が可能か検証した。振動を付加したリンゴを対象に、対照区、振動区における生存時間解析を実施した。生存時間解析とは、明確な起点から特定のイベントが起こるまでの時間という形のデータに対して、イベント発生に影響を与える要因を解析する統計手法である。イベントとは任意の事象を指し、研究目的に応じて定義が存在する。本研究では葉物野菜が5%以上の水分損失により商品価値の低下が起こるとの報告を参考に、明確な起点を最初の計測時点、イベントを5%以上の質量損失を起こした時点（質量比95）とした。なお、質量計測は24時間間隔で行い、初期質量に対する比（質量比、%）で算出した。

4. 研究成果

(1) ES-LiRの解析により構築されたウェイトダイアグラムの結果を図3に示す。結果より、予測精度の高い全ての回帰モデルで最大衝撃加速度値が適用された。つまり、衝撃加速度データにおいて、最大加速度値が青果物品質を説明する重要な特徴量と評価できる。本研究では、レオロジーを用いて加速度特徴量として最大加速度値が選択された理論的根拠も考察し、本解析結果の妥当性も示している。

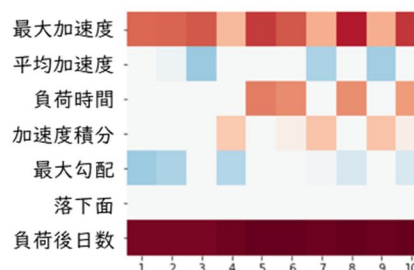


図3 変数選択法の解析結果

(2) 振動前のミカンの呼吸速度は20~30 CO₂ ml/kg/hrとなり、既往の研究も同様の呼吸量計測がされており、本システムの妥当性が示された。振動開始後すぐに、呼吸速度は、30-35 CO₂ ml/kg/hrに上昇し、振動による影響も確認された。さらに振動除荷後は、振動前に比べて約1.3倍程度の呼吸量を持続した。試験終了までにこの呼吸量が落ちることはなかった。以上のように、複雑な負荷に対する青果物の生理応答について評価可能となった。

(3) 振動の有無で作成した生存率曲線を図4に示す。生存時間中央値（以下MST、生存率50%時）は、振動区で1日早まり、有意差も認められた。振動と周囲環境がイベント発生に影響を及ぼすことが認められ、青果物劣化に対して生存時間解析の適用が有効であることが示された。

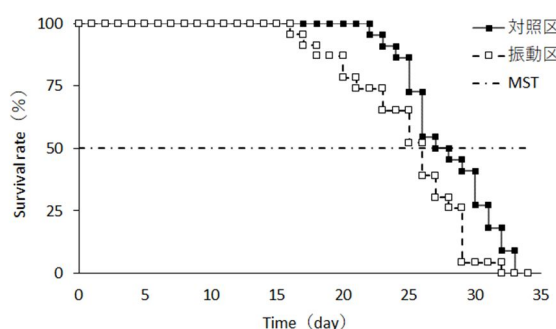


図4 生存時間解析の結果

(4) これまで、衝撃加速度を対象に取得すべき負荷データ特徴量を明らかにし、また、品質モニタリングに関しても、一部計画変更を余儀なくされたが、負荷と代謝促進をリアルタイムで計測するシステムを構築し、負荷による青果物の代謝促進をリアルタイムで捉えることができた。加えて、最終年度には予定通り、青果物の品質低下についての統計モデルを適用した解析を実施し、負荷を受けた青果物の生存時間推定の可能性を示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 野田拓哉, 今井陽大, 金岡駿弥, 滝沢憲治, 福島崇志
2. 発表標題 Fruit Sensorによる実輸送の衝撃計測
3. 学会等名 関西農業食料工学会第147回例会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 今井陽大, 金岡駿弥, 野田拓哉, 松尾拓実, 滝沢憲治, 福島崇志
2. 発表標題 輸送振動負荷を与えた果実の生存時間分析
3. 学会等名 関西農業食料工学会第147回例会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 金岡駿弥, 野田拓哉, 今井陽大, 滝沢憲治, 福島崇志
2. 発表標題 ひずみゲージを用いた果実への静圧荷重測定
3. 学会等名 関西農業食料工学会第147回例会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 福島崇志, 江口翔馬, 村井穂, 吉村和己, 滝沢憲治
2. 発表標題 青果物の流通負荷トラッキングのための衝撃加速度特徴量
3. 学会等名 農業情報学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小沢直輝, 佐野真子, 松尾拓実, 吉村和己, 滝沢憲治, 福島崇志
2. 発表標題 青果物流通における衝撃加速度トラッキングのための特徴量エンジニアリング
3. 学会等名 関西農業食料工学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐野真子, 小沢直輝, 松尾拓実, 吉村和己, 滝沢憲治, 福島崇志
2. 発表標題 青果物流通における環境負荷モニタリングデバイスの開発 - 青果物品質に影響を及ぼす落下衝撃加速度 -
3. 学会等名 関西農業食料工学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松尾拓実, 佐野真子, 小沢直輝, 吉村和己, 滝沢憲治, 福島崇志
2. 発表標題 青果物のマルチ品質モニタリングケースの試作
3. 学会等名 関西農業食料工学会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	黒木 信一郎 (Kuroki Shinichiro) (00420505)	神戸大学・農学研究科・准教授 (14501)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	中野 浩平 (Nakano Kohei) (20303513)	岐阜大学・大学院連合農学研究科・教授 (13701)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関