

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 11 日現在

機関番号：32670

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20K06333

研究課題名(和文) 衝撃応答スペクトル解析の応用による青果物の蓄積疲労損傷特性のプロファイリング

研究課題名(英文) Profiling of the characteristic of cumulative fatigue damage to fresh produce by applying shock response spectrum analysis

研究代表者

北澤 裕明 (KITAZAWA, Hiroaki)

日本女子大学・家政学部・准教授

研究者番号：20455306

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、繰り返し衝撃による蓄積疲労が青果物の生理的な劣化に及ぼす影響について検証すること、および蓄積疲労によって損傷する加工食品を探索することを目的として実施した。ニラを対象とした落下および貯蔵試験により、繰り返し衝撃がニラ貯蔵中の水分減少を促進する可能性を明らかにした。また、加工食品である2種類のクッキーの割れが繰り返し衝撃に起因する蓄積疲労によって引き起こされることを実証した。以上の結果は、青果物および加工食品のための新たな品質保持設計の発展に貢献できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によって、青果物において傷や変形といった機械的な損傷のほか、水分減少を主体とする生理的な劣化に繰り返し衝撃による蓄積疲労が関与している可能性が明らかとなった。さらに、加工食品の一つであるクッキーが繰り返し衝撃により割れることを明らかにし、青果物以外にも蓄積疲労の関与による損傷が問題となっている食品が存在することを実証した。それらの成果は、包装を主体とした各食品のための新たな品質保持設計の必要性を示唆するとともに、喫緊の課題である食品ロスの削減に貢献を果たすものと期待できる。

研究成果の概要(英文)：This study was conducted based on two purposes. The one was to investigate the effect of cumulative fatigue due to repetitive shock on the physiological change of fresh produce. The other was to find processed foods which was damaged by cumulative fatigue. The results of a drop test suggested that the water loss of Chinese chive during storage was accelerated by repetitive shock. Moreover, it was demonstrated that the breakage of two kinds of cookies was obtained by cumulative fatigue caused by repetitive shock. These findings contribute to the development of new design to keep the quality of fresh and processed foods.

研究分野：農業環境工学

キーワード：蓄積疲労 繰り返し衝撃 落下試験 損傷 目視 衝撃応答スペクトル 衝撃加速度 緩衝設計

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

野菜および果物といった青果物の輸送中の減耗(ロス)は、他の農産物や加工食品と比較して著しく大きく、その低減が急務となっている。そのような減耗をもたらす要因として、荷扱い時における衝撃の繰り返し(繰り返し衝撃)が挙げられる。これまでに研究代表者らは、青果物の繰り返し衝撃による損傷が蓄積疲労によって引き起こされることを明らかにしてきた。

一方、蓄積疲労による損傷が可視できるまでの間の軽微な影響を検出し、数値化することは難しく、このことが青果物における蓄積疲労損傷の予測精度の向上における障壁となっている。そこで、対象となる青果物において可視できる損傷が発生するまでの疲労の蓄積程度を定量的に把握するための技術開発が必要であると考えられた。

2. 研究の目的

物品が衝撃を受けた際に衝撃加速度がどのように伝達されるかは、衝撃応答スペクトル(SRS)の解析により、おおまかに把握することができる。疲労の蓄積によって対象となる青果物の物性が変化するとすれば、SRS の変化を観察することで、蓄積疲労を定量化できる可能性が示唆された。そこで、本研究における当初の研究目的を SRS 解析によって青果物の蓄積疲労損傷を定量化することとしていた。

しかし、研究実施期間の途中で研究代表者の所属機関が変わり、SRS 解析を実施するための機器および装置の利用が果たせなくなったことから、研究目的をこれまでに観察されていなかった蓄積疲労による品質劣化の探索に変更することとした。また、調査対象品目についても青果物以外の通常の加工食品にまで拡張することとした。

3. 研究の方法

2で述べた目的を勘案し、本研究では蓄積疲労に関する2つの事象について検証することとした。すなわち1つ目の検証では、青果物を対象として蓄積疲労による傷や変形といった、いわゆる「損傷」以外の劣化を捉えることとし、2つ目の検証では、加工食品における蓄積疲労損傷を探索することとした。いずれも蓄積疲労をもたらす要因は繰り返し衝撃を想定した。以下にそれぞれの試験方法を示す。

(1) 繰り返し衝撃が包装されたニラの重量減少に及ぼす影響

青果物において、呼吸や蒸散が輸送振動により促進されることが知られており、繰り返し衝撃についても水分減少などの品質劣化要因となる可能性が考えられた。そこで、葉菜類の中でも比較的呼吸や蒸散が活発なニラを対象として、落下試験を行い、その後の重量減少(水分減少)について調査することとした。ポリエチレン袋に包んだ約120gのニラの束を段ボール箱で梱包し落下試験機(DTS-50、神栄テクノロジー)を用いて20cmの高さから6回落下させ、その後5~10の温度範囲で貯蔵し、2、5および7日後の重量減少率(%)を算出した。対照は、落下させない束とし、落下させたものと同様に経時的に重量減少率を調査した。反復数はいずれも4とした。

(2) 繰り返し衝撃によるクッキーの損傷発生

繰り返し衝撃によってもたらされる蓄積疲労により損傷する加工食品を探索することを目的とし、輸送中の損傷(割れ)による品質低下が問題となっているものの、これまで応力や単発の衝撃による損傷のみが知られているクッキーを調査対象とした。市販の2種類のクッキー(タイプAおよびB、いずれも同一会社の製品)を対象として、まず1回の落下で損傷する高さを探索し(それぞれN=3)、その後、それ以下の高さからの落下を繰り返すことによって、衝撃の繰り返し回数と割れ発生との関係を解析した。その際、クッキーが2つ以上に分裂した場合に割れ発生と判定した。落下は手動で行い、落下面はABS樹脂でコーティングされた木製テーブルとした。A、Bいずれのクッキーにおいても繰り返し落下による評価での反復数は5とした。

さらに、5cm~45cmまでの範囲における10cm刻み計5つの高さから加速度センサー(G-TAG Shock View type GT-200、神栄テクノロジー)を梱包したダミーサンプルを落下させ(N=4)、落下高さや衝撃加速度との関係を数式化した。そして、この数式を用いて衝撃加速度と割れ発生までの回数について解析した。

4. 研究成果

(1) 繰り返し衝撃が包装されたニラの重量減少に及ぼす影響

まず、いずれにおいても葉の折れや潰れなど、目視できる損傷は確認できなかった。貯蔵開始から2日後、5日後および7日後の重量減少率は、落下させない束(対照)では、それぞれ0.9、1.3および1.7%であったのに対し、20cmの高さから6回落下させた束では、それぞれ2.8、3.3および3.7%となり、繰り返し衝撃がニラにおける蒸発散を促進させることが明らかとなった。

また、各調査日における重量減少率の差は約2~3倍程度であったが(図1)、特に2日後にお

ける差が最も大きい傾向となった。これは落下による繰り返し衝撃の影響が、直後で最も大きいことを示唆するものといえる。以上のことから、ニラにおける水分減少が目視できる損傷をとまなわな程度度の繰り返し衝撃によって促進されることが明らかとなった。

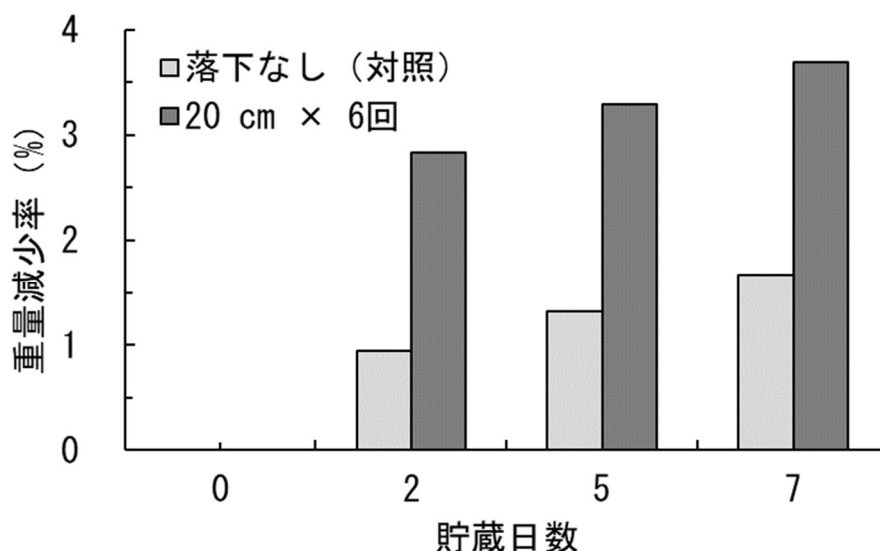


図1．繰り返し落下によるニラの重量減少の促進 (N = 4)
百分率のためエラーバーは省略

(2) 繰り返し衝撃によるクッキーの損傷発生

A、Bいずれのクッキーにおいても、50 cm ~ 60 cm の高さから落下させた場合、1 回で損傷することが明らかとなった (データ省略)。そこで、繰り返し衝撃を印加するための落下高さを 15 cm、20 cm、25 cm、30 cm、35 cm、40 cm および 45 cm の 7 段階に設定し、衝撃の繰り返し回数と割れ発生との関係について評価した。その結果、15 cm および 20 cm からの落下に対する衝撃の繰り返し回数について、A と B とでは異なる傾向がみられたものの、いずれのクッキーにおいても繰り返し衝撃により割れが発生すること、および落下高さが大きくなるにつれて、割れをもたらず回数が少なくなることが明らかとなった (表 1)。

表 1. クッキーにおける落下高さ (cm) と割れ発生までの落下回数との関係

タイプ	落下高さ (cm)						
	15	20	25	30	35	40	45
A	11.4 ± 8.2 ²	8.4 ± 7.1	5.0 ± 2.4	2.4 ± 1.1	2.6 ± 0.9	1.8 ± 0.4	1.8 ± 1.1
B	56.2 ± 45.1	15.5 ± 13.7	6.5 ± 3.7	3.5 ± 1.8	3.4 ± 2.5	2.9 ± 2.5	2.3 ± 1.0

²平均 ± 標準偏差 (N = 5)

また、加速度センサーを用いて解析した落下高さや衝撃加速度の関係より、各高さからの落下時に想定される衝撃加速度は、低いほうから順に、584.2、746.5、902.8、1054.5、1202.5、1347.4 および 1489.6 m s^{-2} と算出された。そこで、これらの加速度と割れ発生までの回数について、解析すると、それらの関係は A、B いずれにおいても S-N 曲線であらわすことができ (図 2)、いずれの割れの発生も蓄積疲労損傷とみなすことができた。

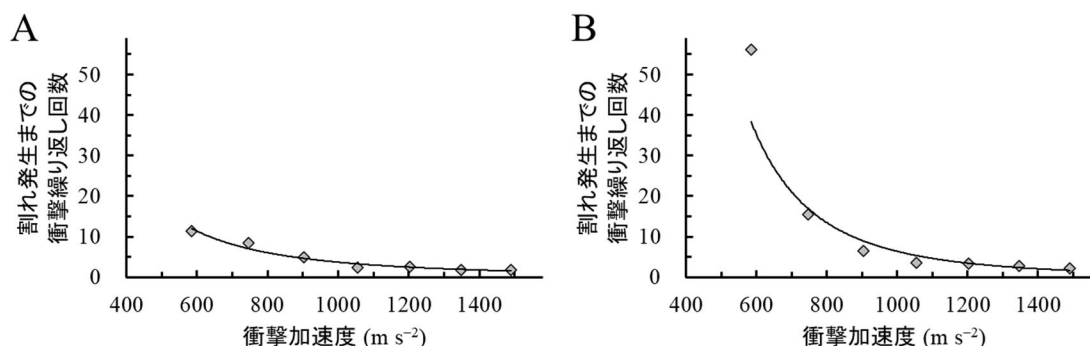


図 2 . 落下衝撃の加速度と割れ発生までの衝撃繰り返し回数との関係 (N = 5)

(3) まとめ

(1)においては、繰り返し衝撃がニラ貯蔵中の水分減少を促進する可能性を見出した。これまで青果物における蓄積疲労損傷に関しては、傷や変形および分解など、目視できる機械的損傷のみについて議論されてきたが、本研究結果は、目視できる損傷を与えない程度の繰り返し衝撃が、生理的な劣化の一因となる可能性を示唆するものである。包装の一次機能である保護性には、生理的な劣化と機械的な損傷の双方を防止する役割が含まれているものの、これまでそれらに対する設計は別々に考慮されてきた。しかし、本研究は双方の設計を融合した新たな品質保持設計の展開を切り開く発端となる成果である。

(2)においては、クッキーが繰り返し衝撃に起因する蓄積疲労損傷によって割れることを実証した。従来、クッキーは応力や単発の衝撃により損傷することが知られており、割れを防止するための緩衝包装設計では、それらの要因が想定されてきた。しかし、本研究は繰り返し衝撃を勘案した新たな緩衝包装設計の必要性を示唆するものであり、割れを防止するための包装設計を飛躍的に発展させる成果である。

以上の結果は、実流通中における繰り返し衝撃に起因する食品の劣化を防止し、喫緊の課題である食品ロスの削減に貢献を果たすものと期待できる。

<引用文献>

北澤裕明、石川豊、路飛、胡耀華、中村宣貴、椎名武夫、イチゴ輸送中の衝撃解析と損傷発生予測、園芸学研究、9、2010、221-227.

Nakanishi, Y., N. Nakamura, N. Hasegawa, H. Inamori, Y. Ogawa, H. Kitazawa, Evaluation and estimation of damage to tree-ripened 'Irwin' mangos from repetitive shock during transportation, Tropical Agriculture and Development, 59, 2015, 112-117.

池田浩暢、尾崎加奈、宮城一菜、茨木俊行、小島孝之、太田英明、保存姿勢および輸送振動がブロッコリー (*Brassica oleracea italica*) の呼吸速度、成分含量および品質に及ぼす影響、日本食品保蔵科学会誌、33、2007、3-8.

Saleem, Q., Mechanical and fracture properties for predicting cracking in semi-sweet biscuits, International Journal of Food Science and Technology, 40, 2005, 361-367.

Kitazawa, H., S. Akashi, N. Hasegawa, M. Nagata, Proposal for an efficient packaging system for preventing shock-induced berry drop in grapes during transportation and handling, Food Preservation Science, 43, 2017, 23-28.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 北澤裕明
2. 発表標題 食品ロス削減における包装の役割と今後の展開
3. 学会等名 食品品質保持技術研究会 総会・第1回講演会（招待講演）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 北澤裕明
2. 発表標題 輸送包装研究の生活科学への展開
3. 学会等名 輸送包装研究発表会2024（招待講演）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Hiroaki Kitazawa
2. 発表標題 Basic functions of packaging and reduction of food loss
3. 学会等名 MFU Reinventing University Network Meeting 2024（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2024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
---------------------------	-----------------------	----

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			
タイ	Mae Fah Luang University			
中国	Shandong University of Technology			