

令和 6 年 6 月 3 日現在

機関番号：10101

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K14943

研究課題名（和文）X線異物検査器によるアボカドの内部黒変の非破壊評価とカビ抑制技術の探索

研究課題名（英文）Nondestructive evaluation of internal decay of avocado by X-ray and search for inhibition of fungal growth

研究代表者

小山 健斗（Koyama, Kento）

北海道大学・農学研究院・准教授

研究者番号：60845907

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：X線画像によりアボカドの腐敗部を取り出すことができた。解析結果として、深層学習を用いた画像解析を導入することで、90%以上の腐敗果の検出を実現化し、X線により内部腐敗のパターンを明らかにすることができた。さらに、保存する湿度により腐敗の進み方が大きく異なると明らかにした。湿度が低い条件でも、味の評価は大きく変わらなかったため、低い湿度条件でアボカドを追熟させることはおいしさを保ったまま、カビ被害を抑えることになる。果物内のカビを追跡する新たな試みであり、追熟果実の保存方法の比較検討に用いる土台を構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義
どのタイミングで腐敗が発生するのかが明らかになったので、選果の現場で利用できるリアルタイムのカビ被害調査に向けて準備を進められる。今後、アボカド以外の追熟果実においても内部腐敗の進行の解明および腐敗の対策が進むことにより、果物の廃棄量が減少することが期待される。

この研究では、X線画像を使用して、アボカドの内部果実腐敗の発達を非破壊的にモニタリングし、各果実の日々の腐敗の変化を比較し、アボカド内部の腐敗の時系列データを取得した。これにより、X線画像が内部欠陥の検査だけでなく、最適な処理や保存環境の調査にも重要な役割を果たす可能性が示された。

研究成果の概要（英文）：X-ray images were used to extract the rotten parts of avocados. As a result of the analysis, by introducing image analysis using deep learning, we were able to detect more than 90% of rotten fruit and to reveal the pattern of internal decay by X-ray. Furthermore, it was revealed that the progression of rotting varied greatly depending on the humidity at which the fruit was stored. Since the taste evaluation did not change significantly under low humidity conditions, ripening avocados under low humidity conditions would reduce mold damage while preserving good taste. This is a new attempt to track mold in fruit and has established a foundation to be used in comparative studies of storage methods for ripening fruit.

研究分野：ポストハーベスト

キーワード：カビ 腐敗 アボカド 追熟

1. 研究開始当初の背景

近年、農産物の長時間・長距離輸送が増える傾向にある。それにともない、品質を保持したままでの保存日数の向上が求められている。世界的にも消費者は、加工食品、冷凍食品や冷凍野菜のみならず、食品素材そのものの食感、香りを保持した生鮮農産物を望んでいる。すなわち、農産物そのものの輸送が求められている。これまでに、輸送時の農産物の廃棄の削減を目的とし、生産・輸送・消費の過程で途切れることなく低温に保つコールドチェーンが確立されてきた。

長期間、農産物を取り扱ってきた熟練者の経験や科学的な視点に基づく専門家の知識によって農産物の保存性は向上してきた。熟練者の経験と専門家の知識を網羅するには、数年以上にわたる鍛錬が必要である。そのため、世界中で流通する農産物を各地域で適切に品質評価と管理をできる人材を育成するのは難しい。

追熟する果実であるアボカドはその栄養価、健康への利点、経済的重要性、豊かな味わいから、世界中で需要が高まっている。アボカドは、収穫後の熟成過程で物理的および生理的特性に大きな変化が見られます。これには乾物質、可溶性糖、色素、果肉の硬さの変化が含まれる。また、「ハス」品種の皮の色は熟成に伴い緑から紫/黒へ変化し、業界や消費者にとって熟度の重要な指標となっている。さらに、アボカドは熟成するにつれて真菌性の果実腐敗により感染しやすくなり、果実の品質を維持する上で大きな課題となっている。特に、茎端腐敗と体部腐敗が主なもので、それぞれ茎（花柄）と外果皮から始まる。

追熟中の適切な果実管理が必須であり、抗真菌処理、環境調整、検査などが重要だ。非破壊検査技術が複数の果物の内部障害を検出するために調査されているが、アボカドはその厚くて荒い皮のため、通常は手で検査される。しかし、この手動検査は時間がかかり、労力を要し、個人差による精度の不一致が問題となる。

2. 研究の目的

本研究では、X線異物検査器を熟練者の経験、文献データを専門家の知識に見立て、アボカドの内部黒変の検出と保存性の向上を目指す研究に着手する。また、アボカドの果実熟成中におけるカビの成長を抑制する最適な環境条件を決定することを目指した。これを達成するために、温度と湿度の組み合わせを通じて、果実の日々の腐敗の発展を非破壊的に観察し、X線画像を使用して各果実のカビによる損傷の重症度を特定した。このアプローチにより、果実の外部と内部の特性との関連性を観察し、皮の色の変化が果実検査のタイミングの指標として機能を検討した。

3. 研究の方法

本研究では、X線画像からアボカドの病害進行過程を可視化し、保存中の環境条件が病害進行におよぼす影響を定量的に評価する。具体的には以下の3つの研究小課題に分けて研究を進める。

(1) X線画像を用いた機械学習によるアボカド内部の黒変の自動判定

画像解析と機械学習によりアボカドの内部黒変を自動で判別する技術を開発した。具体的には、422個のアボカドを毎日X線検査機で測定した(図1)。アボカドの外観も計測し、アボカド内部の変化を時系列で取り出した。外観の色との比較をして、アボカドがどの色のときに腐敗の発生が始まるのかを検査した。

(2) 追熟過程における内部黒変レベルの定量化

追熟過程のアボカドの内部黒変の経時変化を明らかにする。カビ対策をどの段階でたてるかを考慮する有益な情報となる。実験1で用いたデータを解析に用いた。

(3) 文献データと機械学習によるアボカドの最適保存方法の探索、実地試験

追熟が必要な農産物の保存性向上を目的とした文献データを対象として、機械学習によりアボカドの最適な保存条件を見つける。アボカドの内部黒変の広がりを抑えられる条件の追熟、保存方法を実験により検討する。カビが発生しやすい条件が高湿度であることから、湿度を4段階設定して、実験を行った。カビに感染したアボカドを効率よく供試するために、茎端部にカビを接種してアボカドにカビを感染させた。

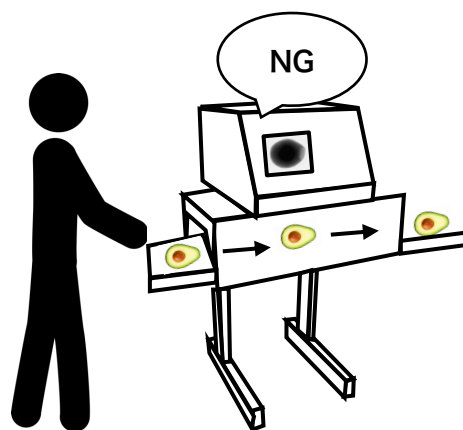


図1 X線異物検査器による黒変検出のイメージ図

4. 研究成果

図2のように、X線画像によりアボカドの腐敗部を取り出すことができた。解析結果として、深層学習を用いた画像解析を導入することで、90%以上の腐敗果の検出を実現化し、X線により内部腐敗のパターンを明らかにすることができた。さらに、保存する湿度により腐敗の進み方が大きく異なると明らかにした。湿度が低い条件でも、味の評価は大きく変わらなかったため、低い湿度条件でアボカドを追熟させることはおいしさを保ったまま、カビ被害を抑えることになる。

果物内のカビを追跡する新たな試みであり、追熟果実の保存方法の比較検討に用いる土台を構築した。どのタイミングで腐敗が発生するのが明らかになったので、選果の現場で利用できるリアルタイムのカビ被害調査に向けて準備を進める。今後、アボカド以外の追熟果実においても内部腐敗の進行の解明および腐敗の対策が進むことにより、果物の廃棄量が減少することが期待される。

X線画像は、農産物の内部品質を検査するための有効な方法だ。この研究では、X線画像を使用して、アボカドの内部果実腐敗の発達を非破壊的にモニタリングし、各果実の日々の腐敗の変化を比較し、アボカド内部の腐敗の時系列データを取得した。これにより、X線画像が内部欠陥の検査だけでなく、最適な処理や保存環境の調査にも重要な役割を果たす可能性が示された。

X線画像を用いた機械学習によるアボカド内部の黒変の自動判定し論文として国際雑誌に2報公表した。追熟過程における内部黒変レベルの定量化を実施し、論文を準備している。温湿度を変化させて、保存条件の探索を行い、作成論文を準備している。

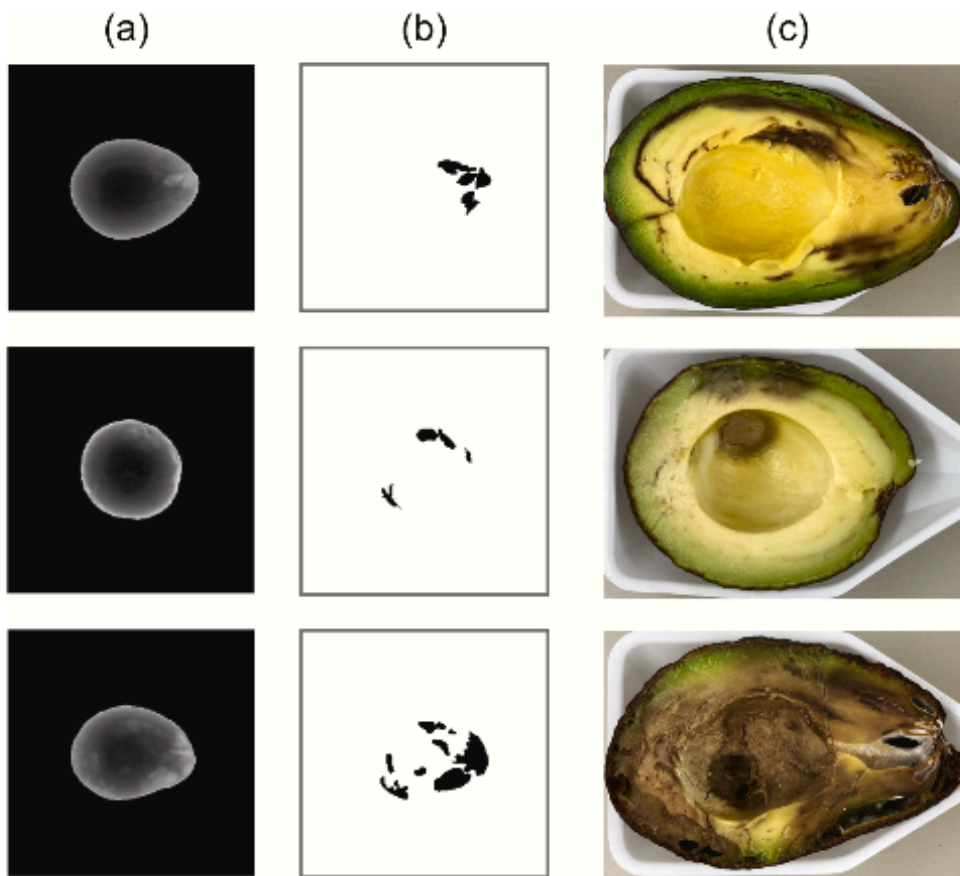


図2 X線画像のアノテーションと内部果実の腐敗症状の例。1行目は茎端部の腐敗、2行目は側面部の腐敗、3行目は茎端部と側面部が腐敗しているサンプル。(a) 背景を除いたアボカドのX線画像。(b) 腐敗領域をラベル付した領域。黒と白の領域はそれぞれ「腐敗」領域と「ラベルなし」領域を表す。(c) アボカドの切断面のRGB画像。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Matsui Takahiro, Kamata Tatsuki, Koseki Shige, Koyama Kento	4. 巻 192
2. 論文標題 Development of automatic detection model for stem-end rots of 'Hass' avocado fruit using X-ray imaging and image processing	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Postharvest Biology and Technology	6. 最初と最後の頁 111996 ~ 111996
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.postharvbio.2022.111996	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件／うち国際学会 2件）

1. 発表者名 松井貴大、安部星、小関成樹、小山健斗
2. 発表標題 X線画像によるアボカドの内部障害の自動検出手法の開発
3. 学会等名 Fooma JAPAN 2022 アカデミックプラザ
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takahiro Matsui, Shige Koseki, Kento Koyama
2. 発表標題 Development of automatic detection model for stem-end rots of 'Hass' avocado fruits using X-ray imaging
3. 学会等名 Annual international meeting ammerican society of agricultural and biological engineering (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takahiro Matsui, Shige Koseki, and Kento Koyama.
2. 発表標題 Development of automatic detection model for stem- end rots of 'Hass' avocado fruits using X-ray imaging
3. 学会等名 Annual International Meeting, American Society of Agricultural and Biological Engineering (国際学会)
4. 発表年 2022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
---------	---------