

令和 5 年 6 月 14 日現在

機関番号：32658

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K15522

研究課題名（和文）完熟リンゴ果実の組織内ガス濃度測定による内部褐変発生機構の解明

研究課題名（英文）Elucidating mechanisms of internal browning in fully ripe apple fruits by measurements of gas condition in tissue

研究代表者

吉田 実花（YOSHIDA, Mika）

東京農業大学・農学部・助教

研究者番号：50825403

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：リンゴでは長期貯蔵後に内部褐変が発生する可能性がある。内部褐変は酸化反応により生じることから、その反応には組織内の酸素濃度も強く影響していると考えられる。しかし、現在販売されている各種機器では、組織内酸素濃度の実測は難しい。そこで、今までにない測定システムを利用した光学式酸素センサーを改造し、センサーを果実に突き刺して実測できる装置を製作した。組織内ガス測定装置およびガス透過性測定装置を作成したことで、これまで調べることができなかったリンゴ果実における組織内ガスおよびガス透過性の測定に成功した。貯蔵初期の酸素透過性が貯蔵6か月後の褐変発生の難易に関与している可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

リンゴの内部褐変の発生メカニズムには収穫日、貯蔵条件などが関与しているが、未だ不明な点が多く、その研究においては半年を超える長期貯蔵試験が必要であった。しかし、本研究で新たに作成したガス透過性測定装置を使用したことで、貯蔵開始直後の果実サンプルの酸素透過性と内部褐変発生の間に関係が認められた。本研究では、果実のガス透過性を調査することで、貯蔵後の褐変発生を予測できる可能性を見出した。本研究の成果は、内部褐変発生のメカニズム解明と、予測・抑制技術の開発に貢献するものとする。

研究成果の概要（英文）：Internal browning may occur in apples after long-term storage. Since internal browning is caused by an oxidation reaction, the oxygen concentration in the tissue is also thought to have a strong influence on the reaction. However, it has been difficult to measure the actual oxygen concentration in tissues with the various instruments currently available. Therefore, an attempt was made to create a new measurement device by modifying an optical oxygen sensor using an unprecedented measurement system.

By creating a device for measuring gas in tissue and gas permeability, we succeeded in measuring gas in tissue and gas permeability in apple fruit, which had not been possible to examine before. It was suggested that oxygen permeability in the early stages of storage may play a role in the occurrence of browning after 6 months of storage.

研究分野：青果物の収穫後生理

キーワード：内部褐変 リンゴ 収穫日 貯蔵温度 組織内ガス ガス透過性 エチレン

## 1. 研究開始当初の背景

リンゴは一般的に低温に強く、貯蔵の際は凍結しない温度域の低温下におくことが有効とされてきた。また、リンゴの成熟・老化には、植物ホルモンのエチレンが大きく関与しており、近年は低温管理に加えて、エチレン作用阻害剤である1-メチルシクロプロペン(以下、1-MCP)の処理による品質保持が図られている。しかし、長期貯蔵後のリンゴ‘ふじ’果実では、生理障害として果実内部の一部が褐色に変色する「内部褐変」が発生する場合がある。リンゴ流通では、春先頃から小売店販売時の内部褐変発生が問題となっている。また、完熟果実では、特にその割合が高くなる。

貯蔵後の内部褐変に関する研究は国内外で行われているが、内部褐変の発生は品種、収穫年、産地、部位などによる差異が大きく、メカニズムの解明には至っていなかった。

褐変発生のメカニズム解明においては、褐変が発生する果実を用意する必要がある。しかし、リンゴの内部褐変発生は収穫年によるばらつきが大きく、これまでは内部褐変が発生しない年もあった。申請者は、国内の研究においてあまり行われてこなかった、低温貯蔵後に20に置く「棚もち試験」を行い、リンゴの内部褐変発生率を正確に評価した。また、内部褐変の分類方法には様々なものが混在していたが、果心、果心線、果肉といった発生部位に着目した分類を行った。その結果、収穫適期の1週間前に収穫した果実では果心褐変の発生が、1週間後に収穫した果実では果肉褐変の発生が多いことが明らかとなった。また、適期収穫果では、果心褐変および果心線褐変は1-MCP処理によりほぼ完全に抑制された。一方で果肉褐変は、0以下で貯蔵すると1-MCP処理により助長された。このことから、果心褐変の発生は収穫時期の早晚と1-MCP処理の有無で、果肉褐変の発生は収穫時期の早晚と貯蔵温度の差異で、発生率の高い条件と低い条件を設定することが可能になった。

内部褐変の発生は酸化反応により生じることから、その反応には組織内酸素濃度も強く影響していると考えられる。しかし、現在販売されている各種機器では、組織内酸素濃度の実測は難しい。そこで、今までにない測定システムを利用した光化学式酸素センサーを改造し、センサーに突き刺しをすることで組織内酸素濃度を実測し、さらに、リンゴサンプル片のガス透過性を測定するための装置を作成することにより、果心および果肉における褐変発生のメカニズムを明らかにできると考えた。

## 2. 研究の目的

内部褐変の発生において、収穫時期、貯蔵温度・期間、1-MCP処理の有無など関与する要因は多く、最適貯蔵条件の実証には250kg規模での数年間にわたる貯蔵実験が必要となる。完熟‘ふじ’をモデルに、内部褐変の発生と組織内酸素濃度との関係を明らかにすることを目的とした。‘ふじ’以外の品種においても、少数果実の組織内酸素濃度を測定するだけで、その品種の長期貯蔵特性のスクリーニングや、最適貯蔵温度の推定に利用できる技術の開発を目指した。

## 3. 研究の方法

内部褐変は酸化反応により生じることから、その反応には組織内の酸素濃度も強く影響していると考えられる。しかし、現在販売されている各種機器では、組織内酸素濃度の実測は難しい。そこで、今までにない測定システムを利用した光学式酸素センサーを改造し、センサーを果実に突き刺して実測できる装置を製作した。その装置を用いて、貯蔵中の果実内の組織内酸素濃度を測定した。

また、ガス透過性測定装置を作成し、貯蔵中の果実から切り出した組織切片の酸素透過性を調査した。また、ガス透過性の温度依存性を評価するため、本測定装置を異なる温度下に置いて測定を行った。

内部褐変は、活性酸素種の蓄積による生体膜の過酸化の結果、細胞内で局在しているポリフェノールとポリフェノール酸化酵素が反応することで発生する。そこで、各条件下での貯蔵中の果実の果心および果肉のサンプルについて、生体膜の過酸化指標であるマロンジアルデヒド(MDA)含量を測定した。

## 4. 研究成果

まず、組織内ガス濃度測定装置と、ガス透過性測定装置を作成した(図1)。

今回使用した光学式酸素センサ

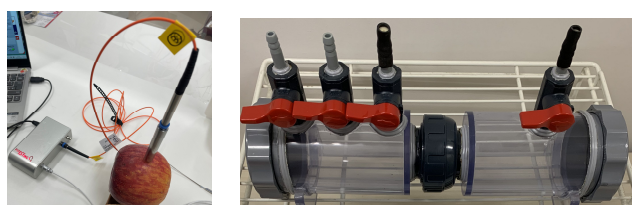


図1 作成した組織内ガス濃度測定装置(左)およびガス透過性測定装置(右)

ーはフィルム内酸素などの測定を想定して設計されているもので、リンゴのような硬いサンプルへの突き刺しに対応していないため、ステンレスプランジャーを設計し特注で作成したものをセットすることで、組織内ガス濃度の測定が可能にした。また、ガス透過性測定装置も気密性を高めたアクリル製容器にコック、ゴムチューブ、セプタムを取り付けられるように設計し、特注にて作成した。これにより、果実内酸素濃度の測定と、果実サンプルのガス濃度透過測定が可能になった。なお、測定方法の検討の結果、果心サンプルのガス透過性の測定は採取位置によるばらつきが大きくなりやすいことから、果皮直下の果肉サンプルでのみ行った。また、組織内ガスの測定は、データの安定性を考慮して、果皮から深さ 3.5cm の部分を測定することとした。

続いて、完熟リンゴ‘ふじ’果実を暦日により判断した収穫適期および前後 1 週間（11 月 15 日、22 日、29 日）の計 3 回収穫し、0 および 1 で貯蔵した。各温度、半数の果実には貯蔵前に 1-MCP 処理を施した。貯蔵中 2 か月に一度、一部の果実を取り出し、MDA 含量と組織内ガス濃度および組織のガス透過性を測定した。さらに、6 か月貯蔵後に棚もち試験を行い、内部褐変の発生を部位別に評価した。

棚もち試験後の内部褐変をみると、果心褐変および果心線褐変は貯蔵温度および収穫時期に関わらず、1-MCP 処理により抑制された。果肉褐変発生の傾向は例年よりやや不明瞭であったが、1 1-MCP 処理果および収穫が遅い果実で増加する傾向が認められた。また、組織内酸素濃度および MDA 含量においては、各部位の内部褐変発生との関連性は見いだせなかった。

酸素透過性の温度依存性を調査するため、1 下に静置した果実と、1 から 20 下へ移して 24 時間経過した果実のガス透過性を調査したが、果実温度による酸素透過性の差異は認められなかった。また、適期までに収穫した果実の 6 か月貯蔵後の酸素透過性は、1 で貯蔵した 1-MCP 処理果で低い傾向がみられたが、褐変発生との関連性は見いだせなかった。

貯蔵 6 か月後に果肉褐変発生率が高かった貯蔵条件では、貯蔵初期の酸素透過性が低い可能性が示された。しかし、同一温度条件下でも果実間差異が大きいことから、今後さらに供試果数を増やした調査が必要と考えられる。また、‘シナノスイート’、‘紅玉’、‘秋映’、‘陽光’、‘ぐんま名月’、‘北斗’、‘シナノゴールド’に関しても、貯蔵 1 か月未満の果実で同様の調査を行ったが、品種による明瞭な差異は確認できなかった。

本研究では貯蔵初期の果肉の酸素透過性と棚もち後の内部褐変発生との間に負の相関が見いだされた。これにより、貯蔵初期の果実を抜き取って酸素透過性を測定することで長期貯蔵後の褐変発生を予測できる可能性が示唆され、褐変発生予測の技術開発に向けた知見を得ることができた。本研究において、果肉の酸素透過性と組織内酸素濃度の関連性については見出すことができなかったため、測定技術に関しては改善の余地があると考えられる。また、果心褐変および果心線褐変の発生は 1-MCP 処理果で抑制されることから、エチレンの関与も示唆されている。内部褐変の発生メカニズムを解明するためには、酸素以外のガスに関する組織内濃度と内部褐変発生の関連性についても調査を行う必要があると考えられる。

このように、組織内ガス測定装置およびガス透過性測定装置を作成したことで、これまで調べることができなかったリンゴ果実における組織内ガスおよびガス透過性の測定に成功した。貯蔵初期の酸素透過性が貯蔵 6 か月後の褐変発生の難易に関与している可能性が示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔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
---------	---------