

高品質で冷蔵長期保存できる高圧加工ビワコンポート

(これまでにない訴求力の高いビワ新規加工品の実用化)

食品開発支援センター	主任研究員	土 谷 大 輔
食品開発支援センター	主任研究員	中 山 久 之
食品開発支援センター	研 究 員	川 原 晶

ビワは、長崎県が全国に誇れる特産品であるが、青果の流通期間は約1か月と非常に短い。1年を通してビワを味わうために、シロップ漬、ゼリー等の加工品として販売されている。しかし、生産者の高齢化及び気象の影響により、青果に限らず加工品原料についても、ビワの確保が難しいのが現状である。このように生産量が限られた原料の中で、加工業者が利益向上を目指すためには、付加価値向上が必要である。現在、県内で多く流通しているビワの缶詰は、殺菌及び褐変抑制のために95℃の高温で加熱処理が行われており、これによって、ビワの風味・食感が損なわれている。ビワの生産体制維持が困難になりつつある昨今、高品質加工品として需要を喚起し、加工用途として生産者の意欲を刺激するような一次加工品の開発が急務である。

本研究では、ビワ本来の風味・食感を残した一次加工品を開発するため、農研機構食品研究部門を中心に研究が進められている高圧加工果実コンポートの技術の適用可能性を検討した。更に、冷蔵で1年間長期保存が可能で、開封後の褐変抑制ができる加工条件を検証し、有効性を示した。

1. 緒言

ビワは、長崎県が全国に誇れる特産品であり、長崎をイメージできる農産物の代表格である。しかし、青果の流通期間は約1か月と非常に短く、年間を通してビワを消費者に提供するために、シロップ漬、ゼリー等に加工されている。

ビワを加工品に使用するためには一次加工が必要であるが、この際、殺菌及び褐変抑制を目的として、高温での加熱処理がなされているが、ビワの繊細な風味及び独特の食感が損なわれるという品質低下の問題がある。この問題を解決するために有効と考えられる技術として、農研機構食品研究部門を中心として研究が行われた高圧加工果実コンポートがある^{[1][2]}。脱気包装した果実コンポートを100 MPa、65℃、30分間の中温中高压処理することにより、低温長期保存可能で従来の熱加工では達成できなかった生食感が残するという特徴がある。リンゴ、アンズ、カキ、ナシ、モモ等の果実で良好な果実コンポートが試作され、カキについては商品化されている^[3]。

そこで本研究では、ビワを高圧加工コンポートに処理することで、ビワ本来の風味・食感を残した一次加工品とする可能性を検証し、これまでにない訴求力の高い新規加工品の実用化を目指す。特許技術である脱気中温中高压処理(100 MPa、65℃、30分間)^[4]に加えて、農研機構が新たに開発した低コスト次世代技術

の利用可能性についても検討した。具体的には、処理圧力を5 MPaに下げ、処理時間を短縮した発明技術^[5]がコンポートの品質等に及ぼす影響について、農研機構との共同研究契約による秘密保持の下で検討した。

令和3年度は、①処理圧力の違いがコンポートの品質に及ぼす影響、②処理圧力の違いが開封後の褐変程度に及ぼす影響、③衛生試験、④調味液組成がコンポートの色調に及ぼす影響について検討し、令和4年度は、前記①～④に加え、⑤乳酸カルシウム添加がコンポートの物性に及ぼす影響について検討した。令和5年度は前記①～⑤の長期保存後の影響について検討したので報告する。

2. 処理圧力の違いがコンポートの品質に及ぼす影響

2. 1 実験方法

2. 1. 1 令和3年度

試験に供試したビワの品種は「茂木」で、次亜塩素酸ナトリウム水溶液に10分間浸漬して殺菌処理し、水道水の流水で十分洗浄したものを使用した。果実を垂直方向に1/2にカットし、外皮、種子及び薄皮を除去した後4個体ずつスパウトパウチに入れ、同重量の調味液を添加した。使用した調味液の組成は表1のとおりである。その後、(株)TOSEI社製真空包装機を用いて真空度99%で真空包装した。真空包装した試料を農研機構食品研究部門に送付し、100 MPa、5 MPaの2

条件で高圧処理を行った。高圧処理時の水温は6℃で処理時間は5分間とした。高圧処理終了後、70℃で30分間湯浴殺菌し、氷水中で冷却後、4℃の低温室内で保管した。すべての処理が完了後、長崎県工業技術センターに冷蔵便で発送し、4℃の冷蔵庫内で保管した。

2. 1. 2 令和4年度

令和4年度は、全ての製造工程を農研機構食品研究部門の設備を借用して実施した。製造工程は令和3年度と同様であるが、調味液の組成は表2のとおりとした。

2. 1. 3 令和5年度

令和5年度は令和3年度及び令和4年度に製造したコンポートについて、長期保存後の影響を調査した。

表1 調味液組成 (令和3年度)

原料・添加物名	添加割合
アンヒドロース ¹⁾	2.5 %
スクラロース	0.04 %
リンゴ酸	0.2 %
L-アスコルビン酸	0.1 %
50%フィチン酸	0.2 %
乳酸カルシウム	0.1 %

注1) 株式会社サナス製 (表2も同じ)

表2 調味液組成 (令和4年度)

原料・添加物名	添加割合
ショ糖	15.0 %
アンヒドロース	2.5 %
スクラロース	0.014 %
クエン酸	0.1 %
L-アスコルビン酸	0.2 %
50%フィチン酸	0.25 %
食塩	0.10 %
リキュール ¹⁾	1.0 %

注1) グランマルニエ

2. 2 調査項目

100 MPa 処理区、5 MPa 処理区それぞれについて、以下の項目を調査した。

- 1) pH: 果肉と調味液に分け、それぞれのpHを測定

した。なお、果肉については、ミキサーでペースト状にしたものを測定した。

- 2) 色調: コニカミノルタ (株) 製 CR-400 を用いて、果肉4個体それぞれの中央部を1箇所測定した。
- 3) 物性: (株) 山電製クリープメータ RE2-3305C を用いて、破断応力、破断歪率について定速圧縮試験を行い、クリープメータ用自動解析ソフトウェア (破断強度解析 Windows ver. 2.3 山電製) にて解析した。プランジャーは直径3 mm の円柱プランジャーを用い、測定条件は、測定歪率80%、測定速度0.5 mm/sec とした。

2. 3 結果及び考察

表1の組成で作成した調味液のpHは2.52であった。供試したビワ果肉のpHは4.78であり、調味液と果肉それぞれを同重量で製造したコンポートのpHはいずれも約4.0をわずかに超えていた。今回実施した加熱殺菌条件は、清涼飲料水の規格基準「pH4.0未満のものの殺菌にあつては、その中心部の温度を65℃で10分間加熱する方法又はこれと同等以上の効力を有する方法で行うこと」を参考に設定しているため、加熱殺菌前に果肉のpHが4.0未満になっていることが前提となる。表1の調味液組成では、調味液添加後の果肉のpHが4.0以上となったため、調味液のpHをさらに低くする必要があった。そこで、令和4年度は調味液の組成を表2に変更したところ、そのpHは2.10であり、本調味液を使用して製造したコンポートのpHは4.0未満で妥当であった。

製造直後の果肉及び調味液のpHについて、処理圧力による差はなく、いずれの処理においても調味液が果肉に含浸しpHが平衡化していた。このことから、ビワについては、100 MPa の処理は必ずしも必要なく、5 MPa 処理でも十分に果肉へ調味液を含浸させることが可能であることが示唆された。但し、今回の試験では製造、調査工程の都合上、令和3年は製造から7日後、令和4年は5日後の調査結果となっている。両処理間において、調味液の含浸程度に差がないのか、つまりpHが平衡化するまでに要する時間に差がないのかについては、更に詳細な調査が必要である。

4℃の冷蔵庫で8、15、30か月間それぞれ保存した後のpHは、100 MPa、5 MPaともに貯蔵期間が長くなる程低下する傾向にあった。

色調については、コンポートに加工することにより L^* 、 a^* 、 b^* ともに生果実より低くなる傾向にあったが、処理圧力の違いによる明確な差は認められなかった。また、8、15、30 か月間保存後の ΔE は、1.2~3.4 であり、製造直後と比較してやや色調は変化しているものの、肉眼による調査では実用的に問題のない範囲であり、処理圧力の違いによる差も認められなかった。

ビワの生果実及び製造したコンポートの果肉について物性を調査した結果については、製造直後のコンポートの破断応力は、生果実とほぼ同等の値を示した。市販のビワ缶詰についても物性を調査したところ、果肉が柔らかすぎて明確な破断点が認められず、最大荷重も $0.7 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ 前後と低い値であった。このことから、今回の条件で製造したコンポートについて、製造直後の食感は缶詰に比較して明らかに生果実に近い食感であると言えた。しかし、製造8か月後及び15か月後の調査において、破断応力が製造直後より高くなっており、官能評価においてもややしゃきしゃきとした食感であった。この要因として、果肉の硬度維持を目的として調味液に添加した乳酸カルシウムの影響が考えられる。カルシウム添加による組織硬化は様々な果実でその効果が認められており、組織内の低エステルペクチン酸またはペクチン酸と Ca^{2+} とが分子内／分子間反応をすることにより、組織全体が緊密になるためとされている^[6]。調味液の乳酸カルシウム濃度が果肉の物性に及ぼす影響について調査し、調味液への添加の必要性及び適正な濃度について検討が必要である。乳酸カルシウム濃度が果肉の物性に及ぼす影響については、「6. 乳酸カルシウム添加がコンポートの物性に及ぼす影響」で後述する。

破断歪率については、コンポートに加工することにより高くなる傾向にあったが、貯蔵期間中の変化はほとんど認められなかった。

以上より、処理圧力の違いによる pH、色調及び物性の差は認められなかったことから、処理圧力は 5 MPa で十分であることが示唆された。

3. 処理圧力の違いが開封後の褐変程度に及ぼす影響

3. 1 実験方法

2. 1 と同様の手順で製造した試料を用いて、デザート等のトッピングとして利用する場面を想定し、開封後の褐変程度を経時的に調査した。100 MPa 処理区、5 MPa 処理区それぞれの試料を開封し、調味液を除去した状態でアルミ製トレイに置いたものにラップ

をかけ乾燥しないようにした後、4℃の冷蔵庫及び25℃設定の室内に静置し、経時的に色調を調査した。

3. 2 調査項目

令和3年度は、コニカミノルタ（株）製 CR-400 を使用し、果肉の中央部を1か所測定した。令和3年度の調査方法では、部分的な褐変が数値として反映されない可能性があったため、令和4年度は褐変が認められるかどうかを目視にて判断した。

3. 3 結果及び考察

表1の調味液組成で令和3年度に製造したコンポートを製造直後に開封した後の L^* 、 a^* 、 b^* 、 ΔE の推移を図1に示した。開封後、25℃の室内に静置した場合は、時間の経過に伴い L^* 、 b^* が大幅に低下し、 a^* はやや増加する傾向にあった。この傾向は、製造直後、製造15か月後及び製造30か月後と同様であり、処理圧力の違いによる明確な差は認められなかった。 ΔE はいずれの処理区ともに開封2時間後までは小さく、肉眼による調査においても褐変は認められなかったが、開封3時間後より増加し始め、肉眼による調査においても褐変が認められた。つまり、 ΔE が2.0を超えると肉眼による調査においても褐変が認識された。製造15か月後、製造30か月後の調査において、開封後4℃の冷蔵庫内に静置した場合、 L^* 及び b^* の低下が有意に抑制された。肉眼による調査においては、開封8時間後の試料について部分的な褐変を確認した。令和3年度の試験に用いた調味液組成では、開封後、褐変するまでの時間が短く、調味液組成の検討が必要であり、本件については「5. 調味液組成がコンポートの色調に及ぼす影響」で後述することとする。

表2の調味液組成で製造したコンポートについて開封後の褐変を目視で調査した結果、開封後25℃の室内に静置した場合、令和3年度の調味液組成では、開封3時間後には褐変が認められたのに対し、令和4年度の調味液組成では、100 MPa、5 MPa いずれの処理においても、開封5時間後まで褐変は認められなかった。また、4℃の冷蔵庫内に静置した場合は、開封24時間後まで褐変が認められなかった。なお、開封後25℃の室内に静置した場合、100 MPa 処理と比較して、5 MPa 処理の方がやや褐変しにくい結果となった。製造15か月後に開封した後においても製造直後に開封した結果と同様の結果となった。

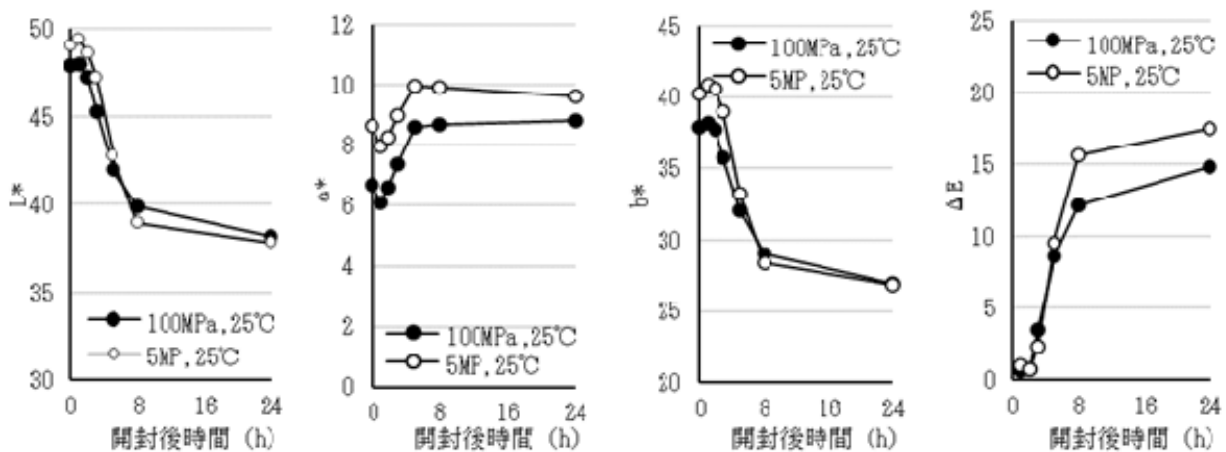


図1 コンポート（令和3年度製造）開封後のL*、a*、b*、ΔEの推移（製造直後）

4. 衛生試験

4. 1 実験方法及び調査項目

「2. 1」と同様の手順で製造した試料のうち5 MPa 処理したもののみを、果肉、調味液ともにストマック袋に入れ、ストマッカーで1分間果肉を粉砕、均質化したものを試料原液とした。その試料原液及び適宜段階希釈した液 100 μ L を一般生菌用、大腸菌群用、カビ用、酵母用それぞれの培地に塗抹し、一般生菌及び大腸菌群用培地は 35℃ 恒温器内に、カビ及び酵母用培地は 25℃ 恒温器内に静置した。併せて、芽胞菌を調査するために、試料原液を 65℃ で 30 分湯浴殺菌したものを一般生菌用培地に 100 μ L 塗抹し、35℃ 恒温器内に静置した。大腸菌群は塗抹 24 時間後、一般生菌は 48 時間後、カビ、酵母、芽胞菌は 8 日後まで適宜コロニー数を調査した。なお、使用した培地は以下のとおりである。

- 1) 一般生菌、芽胞菌：標準寒天培地（日水製薬）
- 2) 大腸菌群：デスオキシコレート培地（栄研化学）
- 3) カビ：クロラムフェニコール添加ポテトデキストロース培地（日水製薬）
- 4) 酵母：クロラムフェニコール、プロピオン酸ナトリウム添加 Difco TM YM Broth 培地（ナカライ）

4. 2 結果及び考察

令和3年度製造直後、製造 15 か月後、製造 30 か月後及び令和4年度製造直後、製造 15 か月後いずれの調査においても、一般生菌、大腸菌群、カビ、酵母、芽胞菌いずれも検出限界以下であった。

5. 調味液組成がコンポートの色調に及ぼす影響

5. 1 実験方法及び調査項目

アンヒドロースに含まれる 1,5-アンヒドロ-D-フルクトースには、食品の褐変を抑制する効果が期待できる^[7]。そこで、令和3年度はアンヒドロースの割合を 0.0%、1.0%、2.5%、5.0%の4水準設け、それぞれの調味液を用いて、「2. 1」と同様の手順で試料を製造した。高圧処理は 5 MPa とした。なお、アンヒドロースは砂糖の 30%の甘味度である^[8]ことから、アンヒドロースの添加割合増加による甘味度増加分をスクラロース（甘味度 600）の量を減らすことにより甘味度が一定となるよう調整した。

A～Dの調味液それぞれで製造した試料を、製造9日後及び15か月後、30か月後に開封し、調味液を除去した状態でアルミ製トレイに置き、25℃設定の室内に静置し、経時的に色調を調査した。15か月後及び30か月後の調査では25℃に加え、4℃設定の冷蔵庫内静置についても色調を調査した。色調の測定にはコニカミノルタ（株）製CR-400を使用し、果肉の中央部を1か所測定した。あわせて、ビワ生果実の剥皮後の色調変化も同様の条件下で調査した。

令和4年度は、アンヒドロースの割合を 0.0%、2.5%、5.0%の3水準とし、これに加えて、食塩を 0.0%、0.1%の2水準、50%フィチン酸の割合を 0.0%、0.25%、0.5%の3水準設け、それぞれを組合せた 18 種類の調味液を用いて「2. 1」と同様の手順で試料を製造した。但し、供試品種は「長崎早生」を用い、高圧処理は未実施とした。それぞれの調味液の甘味度／酸度については、0.50 となるようスクラロースの量を調整した。

製造6日後に試料を開封し、調味液を除去した状態でアルミ製トレイに置いたものを4℃設定の冷蔵庫内及び25℃設定の室内に静置し、褐変が認められるかどうかを目視にて判断した。

5. 2 結果及び考察

生果実は、剥皮直後からL*値の低下、a*値及びb*値の増加が認められ、b*は5時間後までほぼ変化しなかったものの、 ΔE は開封1時間後にすでに4.6となり、肉眼でも褐変を認めた。つまり、スイーツ等のトッピングにビワを用いる場合は、生果実の利用は困難であることが示されると同時に、褐変しにくい状態に加工したコンポート等の一次加工品を利用することの有用性が示された。

コンポートに加工する際の調味液にアンヒドロースを添加することにより、L*値の低下、a*値の増加、b*値の低下はいずれも抑制され、その効果はアンヒドロースの濃度が高い程顕著であった。「3. 3」で述べたとおり、肉眼で褐変を認識できる ΔE を2.0とするならば、アンヒドロースを加えていない調味液では1時間未満で褐変が認められるのに対し、アンヒドロースを1.0%、2.5%添加した場合は2時間、5.0%添加した場合は5時間まで褐変を抑制することができた。

製造15か月後に同様の調査を行った。製造9日後の調査結果と同様に、アンヒドロースを加えていない場合は1時間以内に褐変が認められ、アンヒドロースの濃度を高くする程褐変が抑制されたが、アンヒドロースを5.0%添加した場合においても5時間後には褐変が認められた。

コンポートをスイーツ等のトッピングに用いる場合、冷蔵条件で陳列、販売されることが多いことから、4℃の冷蔵庫内に静置した場合の調査を行った。アンヒドロースを加えていない場合は、25℃静置と同様に1時間以内に褐変が認められたが、アンヒドロースを添加した場合、同一濃度では4℃静置の方が明らかに褐変が抑制され、1.0%、2.5%添加した場合は5時間、5.0%添加した場合は8時間まで褐変が抑制された。製造30か月後に同様の調査を行った場合においても、製造15か月後の結果と同様となった。

褐変には酵素作用によるものと、酵素作用によらない化学反応によるものとに大別され、ビワの褐変は前者によるものである。果実組織中に存在するポリフェノール類がポリフェノールオキシダーゼ（以下PPOと略）と接触し、酸化されて褐変しやすいキノン類を生

ずる。PPOの耐熱性は植物の種類により異なり、ビワのPPOについては60℃、30分の熱処理でもほとんど失活しないとされている^[9]。熱によりPPO活性を失活させようとする、「2. 3」で述べたとおり缶詰のように果肉が著しく軟化してしまうため、殺菌のみを目的とした必要最小限の加熱で抑えるためには、調味液の組成により褐変を抑える必要がある。今回供試したアンヒドロースに含まれる1,5-アンヒドロ-D-フルクトースには、小麦粉から抽出したチロシナーゼの阻害、市販アボカドペーストの着色減少等、食品の褐変抑制効果が期待できるとの報告がある^[5]。アンヒドロースの添加は、ビワの褐変抑制に対し一定の褐変抑制効果が認められたが、それだけでは限界があるため、フィチン酸、食塩等、他の酵素的褐変阻害剤との併用における濃度効果について、更に検討する必要がある。

そこで、令和4年度はアンヒドロースに加え、キレート効果を有する食塩及びフィチン酸の添加がコンポートの褐変抑制に及ぼす影響を調査した。まず、アンヒドロースの濃度と開封後の褐変程度を見てみると、令和3年度製造の結果と同様にアンヒドロース濃度が高い程褐変抑制効果が高かった。次に、食塩を0.1%添加した場合、アンヒドロース、フィチン酸の濃度に拘らず、食塩無添加のものと比較して2時間以上褐変が抑制された。これは、食塩の塩化物イオンがPPOの活性中心である銅イオンに配位し、酵素反応を阻害したためと考えられる^[10]。フィチン酸についても、食塩と同じくキレート効果による褐変抑制効果が報告されている^[11]。本試験においてもフィチン酸の濃度が高くなる程、褐変抑制効果が高くなった。以上より、調味液中のアンヒドロース、食塩、フィチン酸の添加およびその濃度が開封後の褐変程度に及ぼす影響は非常に大きく、食塩を0.1%添加したうえでアンヒドロースを2.5%以上、フィチン酸を0.25%以上添加することで、4℃冷蔵条件下では48時間以上褐変を抑制することが可能であった。

6. 乳酸カルシウム添加がコンポートの物性に及ぼす影響

6. 1 実験方法及び調査項目

「2. 3」で述べたとおり、カルシウム添加による組織硬化は、様々な果実でその効果が認められている。そこで、乳酸カルシウム濃度が果肉硬度に及ぼす影響を調査するために、調味液の乳酸カルシウム濃度を、0%、0.025%、0.05%、0.075%、0.1%の5水準

設定し、それぞれの調味液を用いて、「2. 1. 2」と同様の手順で製造した。乳酸カルシウム以外の原料・添加物の割合は表2と同様とした。各試料について、製造7日後及び6か月後、12か月後、15か月後に(株)山電製クリープメータRE2-3305Cを用いて、破断応力、破断歪率について定速圧縮試験を行い、クリープメータ用自動解析ソフトウェア(破断強度解析 Windows ver. 2.3 山電製)にて解析した。プランジャーは直径3 mmの円柱プランジャーを用い、測定条件は、測定歪率80%、測定速度0.5 mm/secとした。

6. 2 結果及び考察

製造7日後及び製造6か月後、12か月後、15か月後のいずれの時期においても、乳酸カルシウム濃度が高くなる程破断応力が高くなった。また、製造7日後に比較して6か月後の方が破断応力が高くなっていた。乳酸カルシウムの添加は、果肉の硬度を維持することが目的であるが、ビワ生果実の破断応力は $1.5 \sim 1.7 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ 程度であり、今回の調査結果から乳酸カルシウムの添加は不要であると考えられた。

7. 結言

本研究では、長崎県を代表する特産品であるビワを高圧加工コンポートに処理することで、ビワ本来の風味・食感を残した一次加工品を開発するために、①処理圧力の違いがコンポートの品質に及ぼす影響、②処理圧力の違いが開封後の褐変程度に及ぼす影響、③衛生試験、④調味液組成がコンポートの色調に及ぼす影響、⑤乳酸カルシウム添加がコンポートの物性に及ぼす影響について検討を行った。

製造直後及び製造8か月後、15か月後、30か月後の調査において、100 MPa処理と5 MPa処理でコンポートの色調、物性、開封後の褐変程度に有意な差はなかった。高圧処理直後におけるコンポートの破断応力は生果実と近い値を示し、市販の缶詰よりも明らかに生果実に近い食感であった。但し、長期冷蔵保存した場合、生果実よりも果肉が硬くなる傾向にあった。調味液に乳酸カルシウムを添加することで、その濃度依存的に果肉が硬くなるが、長期保存した場合、乳酸カルシウム無添加でも果肉が硬くなる傾向にあり、このことから調味液への乳酸カルシウムの添加は不要であると考えられた。

衛生試験については、製造30か月後まで一般生菌、大腸菌群、カビ、酵母、芽胞菌いずれも検出限界以下であった。

開封後の褐変については、調味液に食塩を0.1%添加したうえでアンヒドロースを2.5%以上かつ50%フィチン酸を0.25%以上添加することにより、25℃条件下で5時間以上、4℃条件下で48時間以上褐変を抑制することが可能であった。

以上のことにより、ビワの風味・食感を残しつつ、冷蔵で1年間の長期保存が可能かつ開封後も褐変を抑制できる加工技術を開発することができた。

参考文献

- [1] 中浦：中温中高压加工した果実コンポート、食品と容器 Vol. 58, 460-466 (2017).
- [2] 山本：食品高压加工における基礎及び応用に関する研究、日本食品工学会誌, Vol. 21, No. 1, 11-23 (2020).
- [3] 生食感を活かし長期冷蔵保存可能なカキ加工品(コンポート)の商品化、岐阜県農業技術センターニュース, No. 47 (2021).
- [4] 食品に対する脱気・加熱・高压処理方法, 特許第6818390号 (2021年1月5日)
- [5] 調味液含浸加工食品を製造する方法, 特開2025-69660 (P2025-69660A) (2025年5月1日)
- [6] 真部正敏：果実組織の硬度とペクチン質、日本食品工業学会誌, Vol. 28, No. 12, 653-659 (1981).
- [7] 安部ら：機能性糖質1, 5-アンヒドロ-D-フルクトースによるチロシナーゼの阻害と食品褐変への応用、日本食品科学工学会誌, Vol. 69, No. 1, 9-15 (2022).
- [8] https://www.kenko-media.com/food_devlp/archives/4114, Accessed 2024.
- [9] 牧ら：びわ果実ポリフェノールオキシダーゼの性質、京都府立大学学術報告, 第36号, B系列 1-5 (1985).
- [10] 村田ら：ポリフェノールオキシダーゼと褐変制御、日本食品科学工学会誌, Vol. 45, No. 3, 177-185 (1998).
- [11] 神山紀子：食用大麦の加熱後褐変とポリフェノール成分に関する研究、作物研究所研究報告, Vol. 12, 15-67 (2011).