

加工用原料のためのビワ果肉の急速凍結および 解凍後の褐変抑制

稗圃直史，富永由紀子

キーワード：アスコルビン酸，ブライン凍結，エタノール，塩化ナトリウム

Quick Freezing of Loquat Flesh for Materials for Processing and Inhibition of Browning after Thawing

Naofumi HIEHATA, Yukiko TOMINAGA

目次

1. 緒言
2. 材料および方法
 - 1) 凍結方法の違いによる果肉の温度変化の比較
 - 2) 凍結方法が解凍後の果肉の減量率および物性に及ぼす影響
 - 3) 塩化ナトリウムが解凍後の果肉の褐変抑制に及ぼす影響
3. 結果
 - 1) 凍結方法の違いによる果肉の温度変化の比較
 - 2) 凍結方法が解凍後の果肉の減量率および物性に及ぼす影響
 - 3) 塩化ナトリウムが解凍後の果肉の褐変抑制に及ぼす影響
4. 考察
5. 摘要
6. 引用文献

Summary

本研究は革新的技術開発・緊急展開事業（うち先導プロジェクト）「国産果実の新たな需要を喚起する育種素材の創出および加工技術の開発」によって得られたものである。

1. 緒言

ビワは初夏に供給される季節感のある果物である。産地は千葉県から近畿，四国および九州地方の西南暖地に形成されているものの、『初夏の風物詩』と言われるだけあって，主たる供給期間は施設栽培を含めても4~6月と短い。この理由としては，ビワは幼果の耐寒性や収穫期と入梅期の関係から各産地で選択できる栽培品種が1~2品種に限られていることが挙げられる。さらに，1品種の収穫期間は10日間程度と短い（中井，1997）上に，日持ち性が低く（中井，1997；佐藤，2000），貯蔵も困難なことから，消費地へ供給される期間も自ずと短くなる。以上のように，ビワ産業においては，消費者の購買機会が少ないため消費が広がりにくいことが課題となっている。

一方，総務省家計調査によると，2020年の果物加工品の家計消費支出は前年比6.9%増の3059円で，12年連続で増加しており，2000年以降では2020年が最大である。さらに，食品表示基準の改正に伴い，国内で作られた全ての加工食品に原料原産地表示を行うことが必須となること等から，今後も国産果実加工品の需要が増加すると考えられる。

以上のような背景から，ビワの消費拡大には他の果実類と同様に加工品による購買機会の創出が必須である。ビワの加工品としては，缶詰，ジャム，ゼリー，ジュースが開発，販売（佐藤，2000；Zhang・Shao，2015）されているが，他の果樹に比べて品目が多いとは言えない。

ビワの主要な加工品は缶詰である。缶詰は長期間保存が可能で，ゼリーなど他の加工品の原料にも利用できるが，加工の過程で加熱がなされているため，ビワ本来の食感や風味が損なわれている。加熱をせず，かつ，長期間保存が可能な加工方

法として冷凍による加工がある。冷凍は栄養成分の損失が非常に少なく，また，有害微生物の増殖を抑制できることから，食品の保存期間を大幅に延長できる優れた保存法である。しかし，凍結，凍結貯蔵および解凍の過程で，氷結晶の生成，成長や各種の化学反応などによって，物理的，化学的構造の変化が生じ，解凍後の品質低下を招くことが多い（安藤ら，2017）。解凍後の食品の品質を損なう主な原因は氷結晶の生成，成長であり，氷結晶の成長は主に凍結速度と最終的な凍結温度に依存する。一般に，急速凍結では食品内部の氷結晶の成長を最小限に留めることができることから，品質低下の抑制に効果的である（安藤ら，2017）。そこで，本研究では，ビワの冷凍品を缶詰に代わる周年供給可能な加工用原料とするために，凍結速度が解凍後の品質などに及ぼす影響を調査し，最適な凍結方法を検討した。

また，ビワ果実はポリフェノールを多く含む（Dingら，1999）ため，加工の過程でポリフェノールオキシダーゼにより褐変しやすい（Dingら，2002）。ビワのポリフェノールオキシダーゼは80℃，30分の加熱で失活する（牧・田代，1985）が，凍結果実は加熱しておらずポリフェノールオキシダーゼが失活していないことから，解凍後の褐変が利用上問題となる。褐変抑制には一般にアスコルビン酸が多く用いられる（村田・本間，1998；Pizzocaroら，1993；山田・遠藤，2015）が，解凍した果肉は細胞が損傷しているため，褐変が著しい。そこで，ブドウにおいて塩化ナトリウムがポリフェノールオキシダーゼの活性を阻害することが報告されている（中村ら，1993）ことから，塩化ナトリウムの褐変抑制効果も併せて検討した。

2. 材料および方法

1) 凍結方法の違いによる果肉の温度変化の比較

材料には，長崎西彼農業協同組合から購入した「茂木」の果実を供試した。果実を洗浄後，果頂部および果梗部を除去し，半割した。剥皮，除核，内果皮の除去後，真空包装するまでの間，褐変防止のため0.1%アスコルビン酸および15%ショ糖を含

む水溶液に浸漬した。ラミネートフィルム（クリロン化成株式会社製，ウルトラチューブ UT-1828）に半割果肉8片をシロップ液（15%ショ糖，0.2%アスコルビン酸，0.1%クエン酸，0.1%リンゴ酸）約40mlとともに入れ，果肉に温度センサー（安立計器株式会社製，BR-01E-1-TS1-ASP）を挿入した後，

真空包装(東静電気株式会社製, TOSPACK V-307GII)したものを凍結サンプルとした。

凍結方法として、 -30°C に冷却したエタノール中で凍結するブライン凍結あるいは一般的な冷凍庫で -20°C で凍結する空気凍結を行い、凍結中の果肉の温度変化を記録した。なお、いずれの凍結方法にも1サンプルずつを供試し、反復なしとした。

ブライン凍結は攪拌機(東京理器機械株式会社製, STR-1)を取り付けたウォーターバス(東京理器機械株式会社製, SBC-16)にエタノールを入れ、投げ込みクーラー(東京理器機械株式会社製, ESC-50)で -30°C まで冷却し、真空包装した果肉を約30分間浸漬した。空気凍結は真空包装した果肉を -20°C 設定の冷凍庫(SHARP株式会社製, FJ-HS17X)に入れ、凍結した。

果肉温度はハンディタイプ温度計(安立計器株式会社製, HD-1100E)を用いて、ブライン凍結は10秒ごと、空気凍結は5分ごとに計測した。

2) 凍結方法が解凍後の果肉の減量率および物性に及ぼす影響

材料には、2018年には「涼峰」および「茂木」を、2019年には「なつたより」の果実を供試した。これらはいずれも長崎県農林技術開発センター果樹・茶研究部門で栽培、収穫されたものである。果実は前述と同様の前処理を行った。半割果肉8~10片の重量を計測後ラミネートフィルムに入れ、シロップ液(15%ショ糖, 0.2%アスコルビン酸, 0.1%クエン酸, 0.1%リンゴ酸)を約40ml加え、真空包装したものを凍結サンプルとした。

凍結処理は、エタノールによるブライン凍結(2018年: $-20, -30^{\circ}\text{C}$, 2019年: $-20, -30, -35^{\circ}\text{C}$)および冷凍庫(SHARP株式会社製, FJ-HS17X)による空気凍結(-20°C)を行った。なお、2018年にはメディカルフリーザー(福島工業株式会社製, FMF-038F1)による空気凍結(-40°C)も併せて行った。ブライン凍結および空気凍結は前述と同様にして行った。凍結した果肉はいずれも冷凍庫(SHARP株式会社製, FJ-HS17X)で -20°C で保存した。

凍結後90~360日の間に数回に分けて凍結果肉をアイスバケツ中で真空包装のまま氷水解凍し、以下の式から減量率を求めた。減量率=(凍結前果肉重-解凍後果肉重)/凍結前果肉重 $\times 100$ (%)。なお、解凍後の果肉重は、解凍後の果肉をシロップ液

から取り出し、野菜水切り器でシロップを除去後、キッチンペーパーで果肉表面に残ったシロップ液をふき取った後に計測した。なお、各処理区とも1回の解凍につき1サンプルずつを供試した。

2019年にはクリーブメーター(株山電製, RE2-3305C)を用いて「なつたより」の凍結180日後に解凍した果肉の物性を評価した。対照として、加工業者が試作加工した「なつたより」のコンポートも併せて供試した。各処理区8片について、弾性率(果肉にプランジャーが接触したときの弾力)、歪率20%点荷重(プランジャーが果肉厚の20%まで貫入したときの荷重)、破断歪率(破断時のプランジャー貫入率)および破断荷重(破断時の荷重)を測定した。測定サンプルは果肉を赤道部から直径11.5mmのコルクボーラーで抜き取り、厚さを約5mmに調製した。サンプル厚さ計であらかじめ試料の厚さを測定し、くさび形のプランジャー(株山電製, P-49, W13mm \times D30mm \times H25mm $\times 30^{\circ}$, 先端1mm幅平面)を1mm/秒の速度で果肉厚の80%まで貫入させた。

3) 塩化ナトリウムが解凍後の果肉の褐変抑制に及ぼす影響

材料には、長崎西彼農業協同組合から購入した「茂木」の果実を供試した。果実は前述と同様の前処理を行い、半割果肉8片を前述と同様にして真空包装し、 -30°C でブライン凍結したものを凍結サンプルとした。凍結後は冷凍庫(SHARP株式会社製, FJ-HS17X)で -20°C で保存した。

凍結サンプル(2袋)を真空包装のままアイスバケツ中で氷水解凍後、果肉切片を取り出し、褐変抑制処理として以下の4処理を行った。①前述のシロップ液に浸漬、②前述のシロップ液に0.1%塩化ナトリウム(以下、NaClとする)を添加した溶液に浸漬、③前述のシロップ液に0.2%NaClを添加した溶液に浸漬、④前述のシロップ液に0.4%NaClを添加した溶液に浸漬。各処理区には凍結サンプル(2袋)から2片ずつを割り当て、1処理区4反復とした。なお、浸漬はいずれも30分間とし、シロップ液から取り出したあとはトレーに入れて静置した。

浸漬処理直後、3時間後、5時間後および7時間後に果肉色を観察し、日本園芸植物標準色票(日本色彩研究所, 1984, 農林水産省編)により判定するとともに、分光測色計(コニカミノルタ株式会社製, CM-2500d)にて L^* , a^* および b^* 値を測定した。ま

た、NaCl が食味に影響を及ぼすか否かについて確認するために、NaCl 無添加の区と比較して NaCl を添加した 3 区の甘味、酸味および塩味について 11 名のパネラー（長崎県農林技術開発センター職員）により評価した。評価方法は大里ら(1996)に準じ、最初に基準となる NaCl 0.0%区を試食し、これと比較して NaCl を含む 3 区について、甘味、酸味お

よび塩味について、1:とても弱い、2:弱い、3:やや弱い、4:同程度、5:やや強い、6:強い、7:とても強い、の 7 段階でそれぞれ評価した。試食サンプルは半割した果肉を 3 分割したものとし、試食は各区 1 サンプルずつとした。なお、NaCl を含む 3 区の試食の順番はランダムとし、また、パネラーには各区のサンプル特性は開示せずに行った。

3. 結果

1) 凍結方法の違いによる果肉の温度変化の比較

ビワ果肉を -30°C まで冷却したエタノール中でブライン凍結すると、氷結晶が生成、成長し、細胞を損傷しやすい最大氷結晶生成帯 ($-1\sim-5^{\circ}\text{C}$) を約 90 秒で通過し、凍結開始後約 30 分で所定の温度まで冷却でき、極めて短時間で凍結が可能であった (図 1)。一方、通常の冷凍庫で凍結 (以

下、空気凍結) では、約 -2°C までは比較的早く温度が降下したが、その後は降下が緩慢になり、最大氷結晶生成帯の通過に約 3 時間かかった。また、所定の -20°C には 10 時間後ようやく到達し、凍結にかなりの長時間を要した。

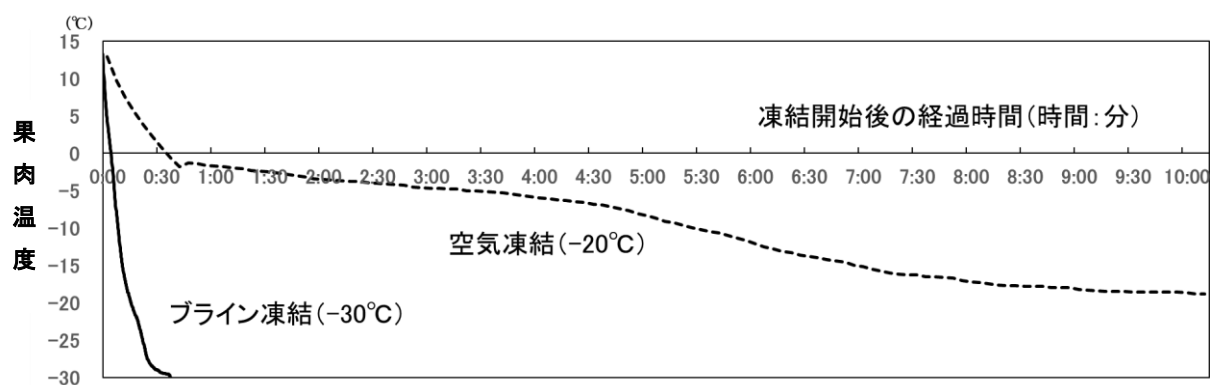


図1 ブライン凍結 (-30°C) および空気凍結 (-20°C) における果肉温度の変化

2) 凍結方法が解凍後の果肉の減量率および物性に及ぼす影響

凍結果肉解凍後の減量率について、品種ごとに凍結後日数と凍結方法を要因とする 2 元配置分散分析を行ったところ、いずれの品種においても凍結方法による差は有意であったが、凍結後日数の影響は認められなかった (表 1~3)。そこで、各凍結方法の差を検討するため、各調査日を反復として多重検定を行った。ブライン凍結では、「涼峰」で 17~20%、「茂木」で 12~16%、「なつたより」で 5~13%であった。一方、空気凍結では、「涼峰」で 22~39%、「茂木」で 18~33%、「なつたより」で 23~28%であり、ブライン凍結よりも有意に高かった。また、「涼峰」および「茂木」では空気凍

結間でも凍結温度による差が認められ、 -40°C の方が -20°C よりも有意に低かった。一方、ブライン凍結間では凍結温度が低いほど減量率が低い傾向が認められたが、その差は有意なものではなかった。

2019 年の「なつたより」において、解凍した果肉の物性をクリープメーターで測定したところ、空気凍結は、弾性率および歪率 20%点荷重がかなり小さく、かつ、破断歪率が大きいため歯ごたえやかみ切っている感覚がほとんどない物性であった (表 4, 図 2)。それに対して、ブライン凍結ではいずれの温度においても、弾性率および歪率 20%点荷重が空気凍結よりも有意に大きく、かつ、破断歪率が小さいことから歯ごたえがあり、かみ切っている感覚がある物性であった。コンポートとの比

加工用原料のためのビワ果肉の急速凍結および解凍後の褐変抑制

較では、弾性率に差はなかったが、歪率 20%点荷重は-20℃を除いて有意に大きかった。また、破断荷重は通常凍結の方がブライン凍結よりも大きかった。凍結方法による解凍後の物性の違いは外観

的にも認められた(写真 1)。すなわち、ブライン凍結では半割した果肉の半球状の形状が保たれるのに対し、空気凍結では果肉の軟化が著しいため、半球状の形状が保たれず、平面的な形状になった。

表1 ビワ凍結果肉の解凍後の減量率^z(%, 品種:涼峰)

凍結方法		凍結後日数					平均
		90日後	120日後	180日後	280日後	360日後	
ブライン	-30℃	19.0	18.0	17.4	16.8	18.4	17.9 c ^y
	-20℃	18.5	20.0	19.2	17.1	18.8	18.7 c
空気	-40℃	26.7	21.5	30.0	27.3	28.7	26.8 b
	-20℃	29.3	33.2	39.2	32.9	34.9	33.9 a
分散分析 ^x		凍結方法			***		
		凍結後日数			N.S.		

^z 逆正弦変換後、統計的解析を行った。

^y 縦の異なる文字間にはTukey-Kramer検定の5%レベルで有意差あり。

^x 凍結方法および凍結後日数を要因とする2元配置分散分析(繰り返しなし)における有意性。N.S.および***はそれぞれ有意差なしおよび0.1%レベルで有意。

表2 ビワ凍結果肉の解凍後の減量率^z(%, 品種:茂木)

凍結方法		凍結後日数				平均
		90日後	180日後	300日後	360日後	
ブライン	-30℃	13.7	11.9	13.1	12.1	12.7 c ^y
	-20℃	15.4	11.6	16.0	13.6	14.1 c
空気	-40℃	21.5	23.8	21.8	18.1	21.3 b
	-20℃	33.2	24.6	28.4	26.2	28.1 a
分散分析 ^x		凍結方法			***	
		凍結後日数			N.S.	

^z 逆正弦変換後、統計的解析を行った。

^y 縦の異なる文字間にはTukey-Kramer検定の5%レベルで有意差あり。

^x 凍結方法および凍結後日数を要因とする2元配置分散分析(繰り返しなし)における有意性。N.S.および***はそれぞれ有意差なしおよび0.1%レベルで有意。

表3 ビワ凍結果肉の解凍後の減量率^z(%, 品種:なつたより)

凍結方法		凍結後日数				平均
		120日後	150日後	180日後	210日後	
ブライン	-35℃	8.4	7.3	8.4	4.5	7.1 b ^y
	-30℃	8.3	9.4	9.9	8.1	8.9 b
	-20℃	8.8	12.7	10.9	9.5	10.5 b
空気	-20℃	28.3	23.8	26.8	22.8	25.4 a
分散分析 ^x		凍結方法			***	
		凍結後日数			N.S.	

^z 逆正弦変換後、統計的解析を行った。

^y 縦の異なる文字間にはTukey-Kramer検定の5%レベルで有意差あり。

^x 凍結方法および凍結後日数を要因とする2元配置分散分析(繰り返しなし)における有意性。N.S.および***はそれぞれ有意差なしおよび0.1%レベルで有意。

表4 ビワ凍結果肉の解冻後の物性(品種: なつたより)

凍結方法	弾性率 (MPa)	歪率20%点荷重 (N)	破断歪率 ^z (%)	破断荷重 (N)
ブライン	-35℃	1.38 a ^y	0.48 a	35.1 bc
	-30℃	1.28 a	0.53 a	45.0 b
	-20℃	1.23 a	0.40 ab	36.8 bc
空気	-20℃	0.57 b	0.14 c	60.4 a
対照 (コンポート)		1.27 a	0.33 b	24.8 c

^z 逆正弦変換後, 統計的解析を行った.

^y 縦の異なる文字間にはTukey-Kramer検定の5%レベルで有意差あり.

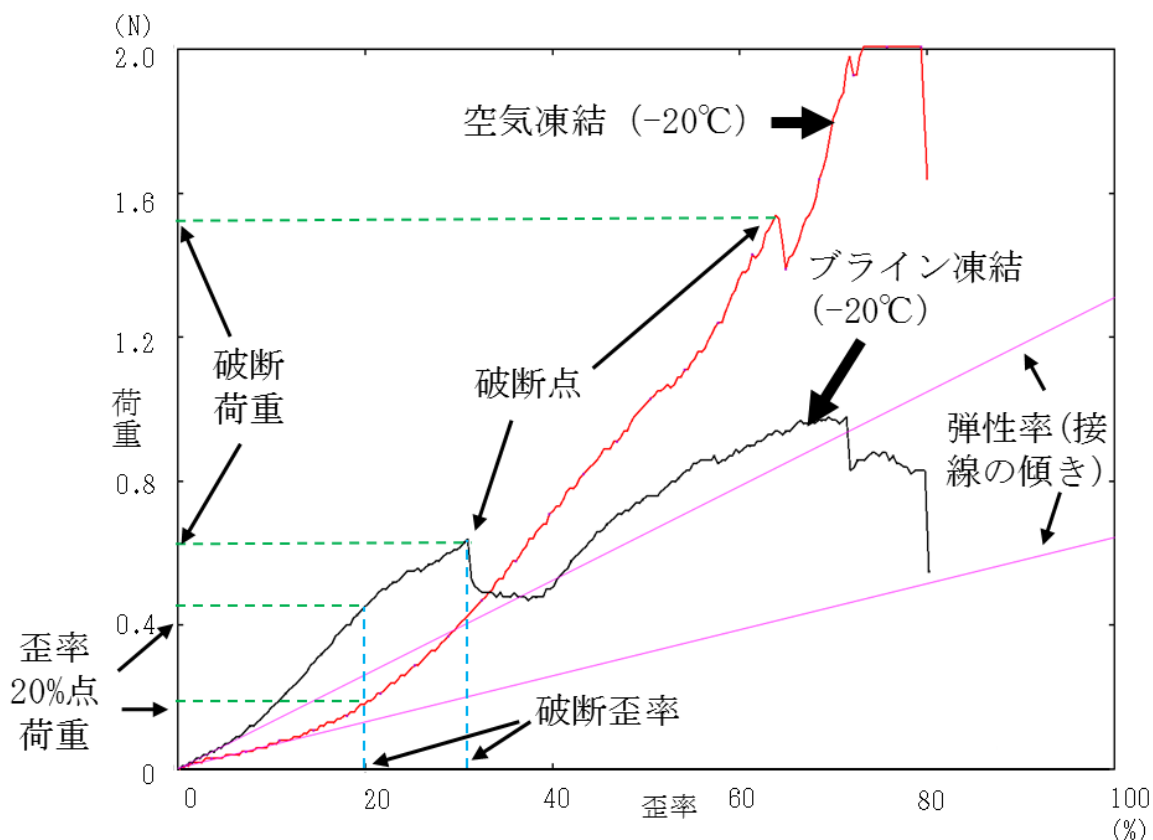


図2 ブライン凍結および空気凍結における荷重 - 歪曲線のイメージ
各凍結における平均的な歪 - 曲線を抜粋して示した.



写真1 解冻後の果肉の形状 (品種: 涼峰)

左: ブライン凍結 (-30℃), 右: 空気凍結 (-20℃)

3) 塩化ナトリウムが解凍後の果肉の褐変抑制に及ぼす影響

NaCl を含まない区は3時間後には開封直後の色とは異なる1607濃橙～1608褐となり、明らかな褐変が認められ、さらに、5時間後には1608褐となり完全に褐変した(表5)。一方、NaCl 0.1および0.2%区は3時間後では1606橙～1607濃橙となり、若干褐変したが食品として利用可能な軽度の褐変程度であった(写真2)。NaCl 0.4%区は5時間後でも1606橙～1607濃橙で、利用可能な軽度の褐変にとどまった。

L*およびb*値については、NaCl 0.0%区は3時間後には大きく低下し、他の3区に比べて有意に低くなった(図3)。5時間後以降もいずれの処理区でも数値は低下し、b*値の3時間後を除いて0.0

%区および0.4%区の差のみが有意と認められた。全体を通して、0.0%区の値が最も低く、0.4%が最も高く、0.1および0.2%区はおおむね両者の中間であった。一方、a*値については、L*およびb*値に比べて変化は小さかったが、NaClの濃度が高いほど低下が有意に抑制される傾向である点は同様であった。

NaClを含む3区の甘味、酸味および塩味について、NaClを含まない区と11名のパネラーによる食味評価で比較したところ、甘味ではNaClを含む3区は0.0%区よりも甘味が強いと評価される傾向があり、0.1および0.2%区ではその差は有意であった(表5)。一方、酸味および塩味については、いずれの区でもほとんど差は認められなかった。

表5 NaClがブライン凍結果肉の解凍後の果肉色および食味に及ぼす影響(品種:茂木)

NaCl濃度	果肉色				食味評価 ^z		
	直後	3時間後	5時間後	7時間後	甘味	酸味	塩味
0.0%	1606橙	1607濃橙～1608褐	1608褐	1608褐	4.0 b ^y	4.0 a	4.0 a
0.1%	1606橙	1606橙～1607濃橙	1607濃橙～1608褐	1608褐	4.6 a	3.9 a	3.9 a
0.2%	1606橙	1606橙～1607濃橙	1607濃橙～1608褐	1607濃橙～1608褐	4.8 a	3.6 a	4.3 a
0.4%	1606橙	1606橙	1606橙～1607濃橙	1607濃橙	4.3 ab	4.1 a	4.2 a

^z 食味評価はNaCl 0.0%の果肉と比較して、1(とても弱い)～4(同程度)～7(とても強い)の7段階で評価。

^y 縦の異なる文字間にはSteel-Dwass検定の5%レベルで有意差あり。

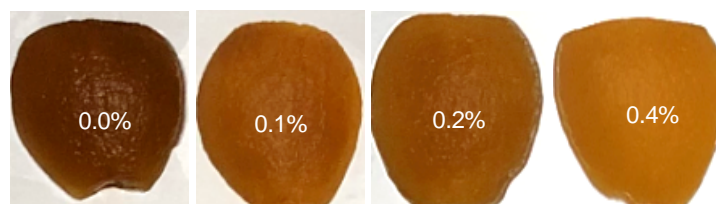


写真2 NaClがブライン凍結果肉の解凍後の果肉色の变化に及ぼす影響(浸漬3時間後)

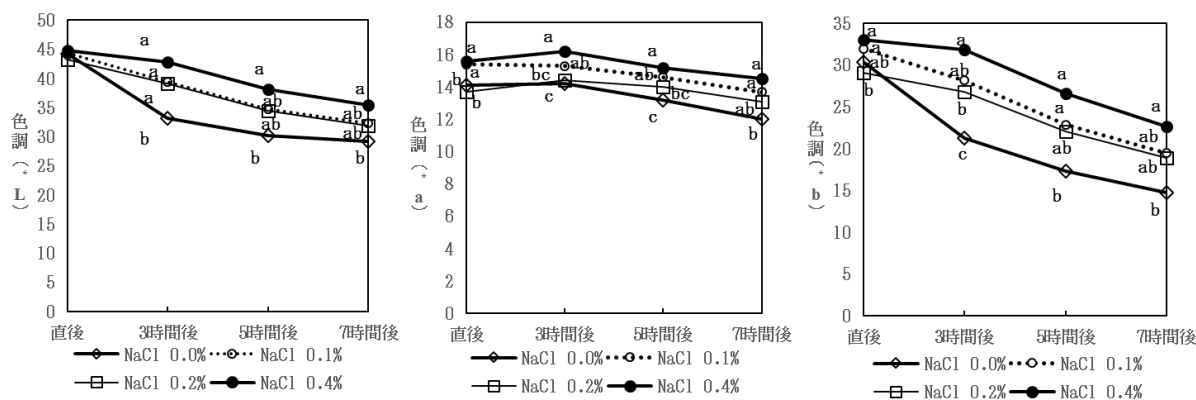


図3 NaClがブライン凍結果肉の解凍後の色調の変化に及ぼす影響

左: L* (明度), 中央: a* (赤色の強さ), 右: b* (黄色の強さ)

縦の異なる文字間には Tukey-Kramer 検定の5%レベルで有意差あり。

4. 考察

食品の保存方法には乾燥、塩蔵、発酵、冷凍などがある。これらの中で、冷凍は最も近年になって発達した保存方法であるが、食品の保存期間を大幅に延長することができる優れた保存法で、イチゴやモモなどの果実類においても行われている(稗田, 1975)。しかし、凍結、凍結貯蔵および解凍の過程で、氷結晶の生成や化学反応などによって、物理的、化学的構造が変化するため、解凍後の品質劣化をいかに抑えるかが大きな課題である。凍結時には対象物内の水分が凍結し、氷結晶が生成される。この時、冷却速度が大きい急速凍結では、氷結晶の大きさが小さいが、冷却速度が小さい空気凍結などの緩慢凍結では、最大氷結晶生成帯(-1~-5°C)の通過に長時間を要することから氷結晶が大きく成長し(宮脇, 1995; 大塚・酒井, 1967)、その結果、細胞に大きな損傷を与える。その悪影響をできるだけ少なくするために、一般に急速凍結が推奨されている。

急速凍結には、冷気を送風して凍結するエアブラスト(Royら, 2001)、不凍液に浸漬して凍結するブライン、冷却した金属板に挟む、あるいは、ドライアイスに接触させて凍結する接触式(鄧・上田, 1993; 森本・Md. Islam, 2012)、液体窒素による凍結(岩田・緒方, 1976; 金子ら, 1988; Royら, 2001)などがあるが、本研究では、大掛かりな機材が不要で比較的簡易なエタノールによるブライン凍結を検討した。

エタノールによる急速凍結の凍結速度は非常に速く、液体窒素や-60°Cの対流式フリーザーによる急速凍結(Royら, 2001)同様に果肉温度は直線的に降下し、過冷却点は検出できなかった。一方、空気凍結では最大氷結晶生成帯の通過に3時間かかるなど、その差は歴然としていた。また、Royら(2001)の緩慢凍結と同様に、過冷却点が検出できた。流動液体の熱伝達率は静止空気の約80倍(鈴木, 2013)であり、冷却エタノールによる急速凍結は品質の高い加工用ピワ果肉の製造に有効であると思われた。

凍結果肉の解凍後の減量率は、エタノールによるブライン凍結の方が空気凍結に比べて供試した3品種のいずれでも小さかった。この結果は、他の報告(Fuchigamiら, 1995a; 金子ら, 1988; 森本

・Md. Islam, 2012; 玉井ら, 2015)と同様であった。その原因は、ニンジンで報告されている(Royら, 2001)ようにブライン凍結では凍結速度が早いいため、細胞組織の損傷が空気凍結に比べて少なく、細胞からのドリップの滲出が少なかったためであると考えられる。

減量率と同様に、果肉の物性においてもブライン凍結の優位性が認められた。すなわち、ニンジン(Fuchigamiら, 1995b; Royら, 2001)やイチゴ(金子ら, 1988; Van Buggenhoutら, 2006)などで報告されているように、ブライン凍結は凍結速度が早く細胞組織の損傷が軽度のため、緩慢凍結である空気凍結に比べて果肉の軟化が抑制された結果、歯ごたえがあり、かみ切りやすい物性となったのであろう。

本研究において、凍結果肉は加熱していないため、ポリフェノールオキシダーゼが失活していない。ピワにおいても他の植物と同様にポリフェノールオキシダーゼは葉緑体に、また、ポリフェノールは液胞にそれぞれ別々に局在する(Zhang・Shao, 2015)ため、無傷の生果では褐変しない。しかし、凍結により細胞が損傷すると局在していた両者が接触するため解凍後は著しく褐変し、利用上問題となる。一般に褐変抑制によく用いられるアスコルビン酸は還元剤であり、ポリフェノールオキシダーゼの酸化作用でポリフェノールから生じたキノンをアスコルビン酸が還元することで褐変が抑えられるが、アスコルビン酸がキノンによって酸化されつくすとキノンが集積するため褐変を抑えられない(中林・鶴飼, 1963)。そこで、ポリフェノールオキシダーゼの活性中心の銅に塩素イオンが配位することで酵素活性を阻害するNaClの褐変抑制効果(村田・本間, 1998)を検討した。本研究では、アスコルビン酸およびNaClの溶液に解凍後の果肉を浸漬することで褐変が抑制できた。モモにおいてもアスコルビン酸とNaClの混合溶液においてその相乗効果により褐変が抑制されている(中林・鶴飼, 1963)。また、NaClの添加により、ピワ果肉の食味に悪影響を及ぼすことがないか確認したところ、NaClを0.1あるいは0.2%添加することで甘味が有意に強くなることが認められた。内田ら(2013)はショ糖15%溶液に

NaCl を 0.1 あるいは 0.2% 添加したものは無添加および 0.3% 添加したものよりも甘味を強く感じることを報告しており、このことは本研究の結果と概ね一致する。NaCl 添加により甘味が強く感じられても食味に悪影響を及ぼすものではないことから、0.1~0.4% であれば NaCl の添加は利用上問題ないと思われた。

本研究において、エタノールによるブライン凍結により、空気凍結や加熱加工品であるコンポートに比べて食感が優れることが明らかになったが、生果に比べると食感が劣ることは否めない。ニンジンでは 60~70℃ の予備加熱後に急速凍結すると、熱湯でブランピング後に凍結したものに比べて解凍後の硬さが維持できることが報告されている (Fuchigami ら, 1995b)。我々も 70℃ の加熱により、非加熱や 80~90℃ 加熱よりも果肉が硬くなることを確認しているため、軟化抑制のための凍結前の予備加熱を試す必要がある。また、イチゴではペクチンメチルエステルゼおよびカルシウムを浸透させたのちに急速凍結することで果肉の硬さを維持できており (Van Buggenhout ら, 2006)、ビワにおいてもカルシウム材利用を検討する余地がある。

凍結に代わる新たな加工技術として、中高压処理 (100MPa) および中温処理 (65℃) による中温中高压殺菌により、生果に近い食感を維持しながら、

なおかつ、4℃ で 1 年以上保存可能なコンポートの製造法がリンゴ、セイヨウナシ、モモ等で開発されており (中浦, 2017; 山本ら, 2017)、ビワにおいても本技術の応用は可能と考えられる。

一方、解凍後の褐変については、アスコルビン酸および NaCl を混合したシロップ液に浸漬することで褐変抑制が可能であったが、その効果は 3~5 時間程度と短時間であった。一般に、ポリフェノールオキシダーゼの活性は pH の影響を強く受け (村田・本間, 1998)、牧・田代 (1985) はビワのポリフェノールオキシダーゼは pH4~6 で最も安定しており、強酸性および強塩基性下では活性が著しく低下すると報告している。本試験で用いたシロップ液は曾根原 (1983) に準じてショ糖のほかアスコルビン酸、クエン酸、リンゴ酸を添加しているが、これらの組成を検討し、pH の調整により更なる褐変抑制を検討する必要がある。ただし、ビワのポリフェノールオキシダーゼの至適 pH は品種によって異なる (Zhang・Shao, 2015) ことに留意する必要がある。さらに、リンゴ (Murata ら, 1993)、ウメ (松本ら, 2009)、セイヨウナシ (古田ら, 1990) ではポリフェノールオキシダーゼは果皮に多く存在することが報告されているため、ビワにおいても果皮のみを加熱するブランピングを行うことで酵素活性を抑制できる可能性があり、今後の検討が必要である。

5. 摘要

- 1) ビワの加工用原料を周年供給することでビワの消費拡大を図るため、ビワ果肉を凍結する際の冷却速度が解凍後の果肉品質に及ぼす影響を調査するとともに、塩化ナトリウムの解凍後の褐変抑制効果を調査した。
- 2) シロップ液とともに真空包装したビワ果肉を凍結する場合、-30℃ に冷却したエタノール中でブライン凍結すると、最大氷結晶生成帯を約 90 秒で通過し、凍結開始の約 30 分後には所定の温度に到達し、-20℃ 設定の冷凍庫による空気凍結に比べて極めて短時間での凍結が可能であった。
- 3) -35~-20℃ に冷却したエタノール中でブライン凍結したビワ果肉は -40~-20℃ で空気凍結した

- ビワ果肉に比べて、解凍後の減量率が有意に低かった。また、ブライン凍結果肉は空気凍結果肉に比べて弾性率および歪率 20% 点荷重が大きく、かつ、破断歪率が小さかったことから、歯ごたえがあり、かみ切りやすい物性であることが明らかになった。これらの原因は、ブライン凍結は急速凍結のため、氷結晶による細胞の損傷が軽度であったことが考えられる。
- 4) ブライン凍結したビワ果肉を解凍後、塩化ナトリウム 0.1~0.4% を含むシロップ液に 30 分間浸漬することで、食味に悪影響を与えることなく褐変を 3~5 時間抑制することが可能であった。

6. 引用文献

- 安藤泰雅・根井大介・河野晋治・鍋谷浩志. 2017. 食品の冷凍および解凍に関する技術開発の現状と今後の課題. 日本食品科学工学会誌. 64(8) : 391-428
- 鄧 紅・上田悦範. 1993. 凍結方法, 凍結貯蔵温度が冷凍イチゴの風味とエステル含量に及ぼす影響. 園芸学会雑誌. 62(3) : 633-639
- Ding, C-K., K. Chachin, Y. Ueda, Y. Imahori and H. Kurooka. 1999. Effects of high CO₂ concentration on browning injury and phenolic metabolism in loquat fruits. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 68(2) : 275-282
- Ding, C-K., K. Chachin., Y. Ueda and C. Y. Wang. 2002. Inhibition of loquat enzymatic browning by sulfhydryl compounds. *Food Chemistry* 76:213-218
- Fuchigami, M., N. Hyakumoto and K. Miyazaki. 1995a. Programmed freezing affects texture, pectic composition and electron microscopic structures of carrots. *J. Food Sci.* 60(1):137-141
- Fuchigami, M., K. Miyazaki and N. Hyakumoto. 1995b. Frozen carrots texture and pectic components as affected by low-temperature-blanching and quick freezing. *J. Food Sci.* 60(1):132-136
- 古田道夫・浅野 聡・今井誠一. 1990. フィルム包装による西洋ナシの表皮褐変防止. 包装研究. 11(1) : 1-9
- 稗田福二. 1975. 冷凍食品の解凍について その1. 冷凍果実・冷凍野菜の解凍. コールドチェーン研究. 1(4) : 26-34
- 岩田 隆・緒方邦安. 1976. ナツミカン果実の凍結による苦味の増大について. 園芸学会雑誌. 45(2) : 187-191
- 金子勝芳・橋詰和宗・小沢百合子・増田亮一. 1988. イチゴの凍結および凍結貯蔵中における品質変化. 食品総合研究所研究報告. 52 : 18-24
- 牧 善輔・田代 操. 1985. 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(理学・生活科学). 36 (B 系列) : 1-5
- 松本通夫・小谷幸敏・秋田幸一・清家 裕・加藤愛・景山拓一. 2009. ウメ凍結果実の加熱解凍による褐変抑制技術とその応用. 鳥取県産業技術センター研究報告. 12 : 20-24
- 宮脇長人. 1995. 食品凍結における氷結晶構造の解析・制御とその食品加工への応用. 日本食品科学工学会誌. 42(3) : 210-217
- 森本哲夫・Md. Parvez Islam. 2012. アルミニウム材の利用および熱ストレス, トレハロース処理による青果物の急速冷凍法. 植物環境工学. 24(3) : 185-192
- 村田容常・本間清一. 1998. ポリフェノールオキシダーゼと褐変制御—最新の研究動向—. 日本食品科学工学会誌. 45(3) : 177-185
- Murata, M. C., Kurokami, S. Homma and C. Matsubashi. 1993. Immunochemical and immunohistochemical study of apple chlorogenic acid oxidase. *J. Agric. Food Chem.* 41(9):1385-1390
- 中林敏郎・鶴飼暢雄. 酸化酵素による桃果肉のかっ変現象. 1963. 日本食品工業学会誌. 10(6) : 211-216
- 中井滋郎. 1997. びわ 房州ビワを中心とした栽培法. 株式会社とみうら. p1-227
- 中村和夫・黒沢 尋・天野義文. 1993. 甲州種ブドウのポリフェノールオキシダーゼ活性に及ぼす塩化ナトリウム濃度と pH の影響. 山梨大学醗酵研究所研究報告. 28 : 37-43
- 中浦嘉子. 2017. 中温中高压加工した果実コンポート. 食品と容器. 58(8) : 460-466
- 大里久美・川村富輝・浜地勇次. 1996. 水稲の良食味品種における食味官能試験の精度. 福岡県農業総合試験場研究報告. 15 : 5-7
- 大塚宏二・酒井 昭. 1967. 急速冷却した植物細胞内にできる氷の電子顕微鏡的研究. 低温科学. 生物篇. 25 : 21-28
- Pizzocaro, F., D. Torreggiani and G. Gilardi. 1993. Inhibition of apple polyphenol oxidase (PPO) by ascorbic acid, citric acid and sodium chloride. *J. Food Proc. Preserv.* 17:21-30
- Roy, S. S., T. A. Taylor and H. L. Kramer. 2001.

- Textural and ultrastructural changes in carrot tissue as affected by blanching and freezing. *J. Food Science*. 66(1):176-180
- 佐藤義彦. 2000. 食品加工総覧素材編第 11 巻果樹・樹木, きのこと. ビワ. 農山漁村文化協会. p465-468
- 曾根原直子. 1983. ビン詰ビワ果肉の色調安定性について. *家政学雑誌*. 34(3) : 148-152
- 鈴木 徹. 2013. 生食のおいしさとリスク (一色賢司編). 鮮度保持技術 (冷凍・冷蔵). 株式会社エヌ・ティー・エス. p487-502
- 玉井敬久・福田直大・永田洋子. 2015. 冷凍「せとか」の苦味と果汁溶出の軽減. 愛媛県産業技術研究所研究報告. 53 : 24-29
- 内田あゆみ・高木菜央・堀切理恵子・松江美穂・内山裕美子・大森正司. 2013. 塩味と甘味の対比効果に関する研究. 大妻女子大学家政系研究紀要. 49 : 71-76
- Van Buggenhout, S., I. Messagie, V. Maes, T. Duvetter, A. Van Loey and M. Hendrickx. 2006. Minimizing texture loss of frozen strawberries: effect of infusion with pectinmethylesterase and calcium combined with different freezing conditions and effect of subsequent storage/thawing conditions. *Eur. Food Res. Technol.* 223(3):395-404
- 山田美里・遠藤昌幸. 2015. 西洋ナシ「ラ・フランス」の冷凍果実加工品原料に適した褐変抑制処理. *東北農業研究*. 68 : 111-112
- 山本和貴・三輪章志・有手友嗣・南出恵美・深井洋一・竹内正彦・山崎慎也. 2017. 食品に対する脱気・加熱・高圧処理方法. 特許公開 2017-79729
- Zhang, X. and X. Shao. 2015. Characterisation of polyphenol oxidase and peroxidase and the role in browning of loquat fruit. *Czech J. Food Sci.*, 33(2):109-117

Summary

To provide frozen fruit for processing year-round, loquat (*Eriobotrya japonica* [Thunb.] Lindl.) is sometimes frozen. To improve the quality of thawed fruit, we studied the effects of freezing rate and inhibition of browning by sodium chloride. Vacuum-packed loquat flesh with syrup was frozen by immersion in an ethanol bath cooled to -30°C . Samples passed the phase of maximum ice crystal formation in 90 s, and reached the preset temperature within 30 min. In thawed loquat flesh, the rate of drip after freezing in cooled ethanol was significantly lower than for fruit frozen in air. The elastic modulus and the force at plunger penetration to 20% of the thickness were higher and the rate of rupture strain was significantly lower for immersion-frozen flesh than for air-frozen flesh. The immersion-frozen flesh had a firmer texture and was easier to bite apart, compared with air-frozen flesh. These effects are likely related to the small amount of cell damage attributable to ice crystal formation in the immersion-frozen flesh. Dipping thawed immersion-frozen loquat flesh in a sodium chloride solution (0.1–0.4 %) for 30 min inhibited browning for 3–5 h, without affecting palatability.