

令和 6 年 6 月 11 日現在

機関番号：11201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K05843

研究課題名（和文）生鮮青果物の新たな過冷却保存法の確立：長期品質保持・環境負荷低減を目指して

研究課題名（英文）Development of a novel supercooled storage method for fresh fruit and vegetables considering long-term storage and environmental impact

研究代表者

小出 章二 (Koide, Shoji)

岩手大学・農学部・教授

研究者番号：70292175

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、生鮮青果物の新たな過冷却保存法の確立を目的としたものである。得られた知見は以下の通りである。試料サイズ（質量）が大きいと生残率は有意に減少した。カットリンゴを過冷却保存（-5℃：10日）した試料の一般生菌数は、コントロール区（5℃：10日）と比較して有意に低い値となった。一方でMA包装したカットリンゴを過冷却保存（-5℃：7日）した試料の一般生菌数は、他の実験区（0℃：7日；5℃：7日）と比較し有意な差が得られなかった。成熟モモ果実のLCA解析を行った結果、保存流通時の食品ロス抑制が生産段階の環境負荷削減に大きく貢献できることを数値化した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、生鮮青果物の新たな過冷却保存法の確立に関して、長期品質保持および環境負荷低減の観点から行ったものである。成果のなかでも、カット青果物の過冷却保存後の一般生菌数が保存前と比較して減少傾向であった結果は、今後損傷菌の有無を考慮する必要があるものの、食品冷凍業界において初めての知見であり、過冷却保存が世界のフードロス解消の一助となり得る技術であることを示すものである。本結果は、水産物や畜産物などの生鮮食品の氷点下での微生物制御・品質制御の研究に資する知見を与え、食品冷凍技術の進歩の礎になると考える。

研究成果の概要（英文）：The purpose this study was to establish a novel supercooled storage method for fresh fruits and vegetables. The results are as follows: (1) The survival rate decreased significantly with increasing sample size (weight). (2) It was found that microbial population of fresh-cut apples subjected to supercooled storage (-5℃：10 d) was significantly lower than that of the control storage (5℃：10 d). (3) There was no significant difference in microbial population among MA packaged fresh-cut apples subjected to supercooled storage (-5℃：7 d), and subjected to 0℃ storage and 5℃ storage for 7 d. (4) The LCA analysis of mature peach fruit showed that the suppression of food loss during storage and distribution is capable of reducing environmental impact significantly at the production stage.

研究分野：生鮮食品保存科学

キーワード：過冷却保存 青果物 環境負荷軽減 生菌数 鮮度保持 生残率 凍結点 過冷却点

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

青果物を可能な限り低温で保存することが可能となれば、生化学反応速度および微生物増殖速度は限りなくゼロに近づくため、鮮度や品質を保ったまま長期間の保存が可能となる。近年、私たちは挑戦的萌芽研究(16K15010)の成果をもとに青果物やカット野菜・果実の氷点下保存(-5°C)の研究を行い、フィルム包装したカット青果物を長期間過冷却保存できることを示した(小出ら, 2019; Koide ら, 2019; Koide ら, 2020)。その後、申請者はフィルム包装した青果物が過冷却状態において品質が保持され、微生物の不活性化が見られる新たな知見を得た。今後、青果物の過冷却保存の研究を、科学的知見に裏付けされたものとし、その学理構築を可能とするためには、以下を明確にする必要があった。

(1) 温度やサイズ(質量)が凍結点や生残率に与える影響: 青果物の過冷却保存において凍結点・生残率(過冷却状態を保った試料数/全試料数)の把握は必須であり、それらは測定法や冷却速度、過冷却温度等の影響を受ける。しかし以上について測定した例は見あたらなかった。

(2) 過冷却温度での微生物の不活性化について: 微生物は過冷却状態において膜の流動性低下により不活性化すると報告(Moussa ら, 2008)があるが、過冷却保存における生菌数変化に関する情報は皆無であった。

(3) MA 包装の効果: Stonehouse と Evans は MA 包装が氷点下で冷蔵魚の微生物制御に有効であることを紹介した。従って、青果物をフィルム包装させて過冷却保存における生菌数の抑制を検討するなら、その MA 包装効果についても検討する必要があった。

(4) LCA 手法: 食品ロス率をパラメータとしてライフサイクルにおける環境負荷の影響を記すとロス率が5~10%程度のところで相対 LCI が最小となるとされる。このことは環境負荷を最小とするには、ある程度の食品ロスは容認できることを示唆する。よって過冷却保存においても生残率を100%としなくても、環境負荷の低減は可能である。そのためには、生産から流通の段階において、どの工程がホットスポットとなるのかを解明する必要があった。

2. 研究の目的

私たちはこれまで生鮮カット青果物を-5°Cで過冷却状態で保持する「過冷却保存」の研究を進めてきた。本研究は、青果物を過冷却保存すると、0°C以上の温度帯と比較して大幅に呼吸速度が減少し、品質も保持され、一般生菌数も大きく抑制されるのでは、と着想した。本研究では、カット青果物の過冷却保存と、それによる品質保持効果、生菌数変化を測定するとともに、MA 包装と過冷却保存の相乗効果についても検討することを目的とする。更に、青果物の流通・保存時の環境負荷を検討し、どのプロセスがホットスポットとなるかを検討し、地球環境に優しく高品質で長期保存するための知見を見出すのも目的である。

2. 研究の方法

(1) 温度やサイズが凍結点や生残率に与える影響

サイズの異なるカットタマネギをモデル材料(0.5 g 試料, 10 g 試料)とした。試料の中央に T 型熱電対を差し込み、瓶に入れ、各過冷却保存条件(4, -6, -8, -10°C; 24h)における試料温度の継時変化を測定した。試料の凍結に伴う潜熱放出前後の温度から凍結点と過冷却点を求め、潜熱放出が見られなかった試料を生残しているものとした。

(2) 過冷却温度での微生物の不活性化について

リング・フジをモデル材料とした。16等分の櫛型(約10g)に成形した後、OPPフィルムでヒートシールし密閉し、これをPP容器に並べて蓋をし、-5°Cに設定したインキュベータ内に静置して10日間保存した(以下、SC)。コントロール区としてSCと同一果実から形成した試料を5°Cのインキュベータ内で10日間保存した(以下、C)。保存前および保存後4、7、10日目に試料に対して以下の測定を行った。測定項目は、理化学的特性(試料の目減り、色彩色度、硬度、Brix 糖度、pH)、電気インピーダンス特性、食味試験(測定10日後)、一般生菌数とした。なお本研究では、カット野菜としてカットキュウリの過冷却測定(-2°C, 12日)、カットニンジン(-2°C, 12日)の過冷却保存もを行い、上記 ~ の測定を行った。

(3) MA 包装の効果

カットリング・ジョナゴールドをモデル材料とした。Modified atmosphere(MA)となるよう試料をピンおよび密閉プラスチック容器に入れ、-5、0、5°Cに設定したインキュベータ内で7日間保存した。測定項目は、呼吸量およびエチレン生成量、一般生菌数、品質評価とした。

(4) LCA 手法

モモ果実をモデル材料とし、その保存・流通における LCA 評価に必要なシステムバウンダリを設定するとともに、解析で用いる電力などの1次データ情報を収集した。その後、システムバウンダリを基に、実験により決定した最適な包装材料や温度保存に関する環境負荷・コストを解析し、ホットスポットを明確化し、環境負荷・コスト面から各保存条件を明らかにした。

4. 研究成果

(1) 温度やサイズが凍結点や生残率に与える影響

測定に用いた試料(0.5g 試料と10g 試料)の凍結点と過冷却点を示す(表1)。試料の凍結点と過冷却点はサイズ(質量)の影響を有意に受けることが明らかとなった。結果から、試料サイズが小さいほど過冷却温度が低くなること、また過冷却状態の解消時の温度が低いほど潜熱放出に伴う試料の凍結点は、冷熱源としての試料(温度・体積)の影響により低くなることが示唆された。ここで凍結点サイズ(質量)により異なることは、試料の均一性・均質性を考慮すると妥当な測定法とは言い難い。オズモメータにより得られるモル質量濃度からファントホッフの式を用いて算出された凍結点は -0.8°C であったことから、おそらくこの温度を凍結点と考えるべきであろう。

次に、過冷却温度ごとの生残率のデータをワイブル分布関数に当てはめて得られた結果を示す(図1)。試料サイズが大きく保存温度が低いと生残率が減少することが示された。更に、試料の過冷却保存時の過冷却解消率の経時変化を Kaplan-Meier plot (図2) すると指数関数的に増加すること、過冷却解消率は試料サイズ(質量)が小さいと有意に減少することを明らかとした。

(2) 過冷却温度での微生物の不活性化について

‘フジ’の凍結点は $-3.9\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 、過冷却点は -7.3°C ~ -9.4°C の範囲に正規分布した。また過冷却保存(-5°C :10日間)後の試料の生残率は95%と高い値を呈した。次に、理化学的特性の経時変化は、SCの目減りおよび色彩変化はCよりも抑制され、硬度、Brix 糖度、および pH は SC と C との間にほとんど変化が見られなかった。10日保存後の試料の食味試験を行った結果、「色」、「甘味」、「総合」の3項目においてSCがCと比較して有意に高い得点となった。

図3には過冷却保存中の一般生菌数の経時変化を示す。これを見るとコントロール区では10日間で一般生菌数が増加したが過冷却保存区では減少傾向となり、保存10日目では、過冷却保存区一般生菌数はコントロール区と比較して有意に低い値となった。一般生菌数は、カット青果物の腐敗や日持ちを決定づける指標であるため、保存中の一般生菌数の減少傾向は、加熱処理が現実的でない青果物・カット青果物の日持ち延長に効果的となる。更に本研究では、カット野菜としてカットキュウリ(-2°C ,12日)とカットニンジン(-2°C ,12日)の過冷却保存後の一般生菌数、大腸菌群数、シュドモナス属数の計測も行ったが、いずれも保存0日目とくらべ、菌数の減少がみられた。これまで Moussa ら(2008)は過冷却された溶液中の微生物の膜は流動性の低下により不活性化することを報告しているが、実際はどの程度非致命的損傷菌として生残する可能性があるかを今後検証する必要があると考えられる。

(3) MA 包装の効果について

今回、MA 包装した‘ジョナゴールド’を過冷却保存し、保存後の一般生菌数を0 貯蔵試料および 5°C 貯蔵試料と比較検討した。いずれも生鮮試料の一般生菌数と比較して10倍以上増加することがなく、各実験区間に有意な差もなかったが、この結果が、温度によるものか、温度に伴うMA効果の違い(酸素・二酸化炭素濃度の変化)によるものかについて明確な結果を得ることができなかった。なお本研究では呼吸量やエチレン生成量も測定した結果、SC 試料の呼吸量は 5°C で保存した比較して1/4、エチレン生成量は1/13に減ることが示された。

(4) LCA 手法

成熟したモモ果実の保存・流通に伴う環境負荷のLCA解析を行い、モデル式の開発を行った。その結果、追熟モモの保存流通時の食品ロス抑制が、生産段階の環境負荷削減に大きく貢献できることを数値化した。

表1 熱電対で計測したサイズの異なる

カットマメネギの凍結点と過冷却点

	0.5g試料[$^{\circ}\text{C}$]	10g試料[$^{\circ}\text{C}$]
凍結点	-2.99 ± 0.38^a	-2.34 ± 0.35^b
過冷却点	-9.84 ± 0.30^a	-6.88 ± 0.48^b

※異なる英小文字間にt検定による有意差あり($p < 0.01$)
0.5g 試料はn=30, 10g試料はn=36

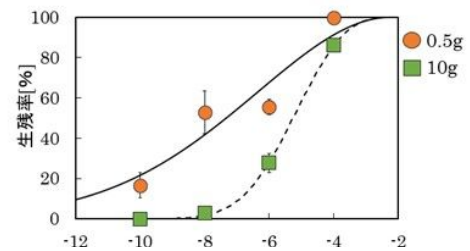


図1 過冷却保存後のサイズの異なる
カットマメネギの生残率

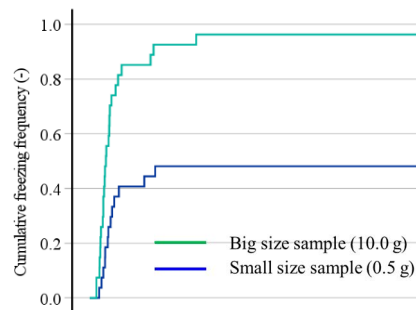


図2 過冷却保存におけるサイズの異なる
カットマメネギの過冷却解消率
(Koide, et al., 2022)

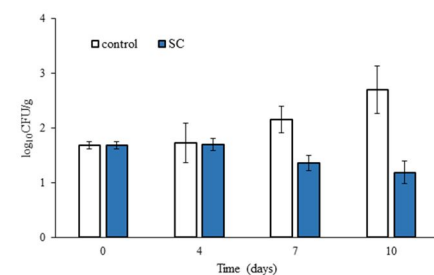


図3 カットリングの過冷却保存後の一般
生菌数の変化(Osuga, Koide, et al., 2021)

<参考文献>

- 小出章二, 大須賀 玲, 折笠貴寛, 上村松生 (2019). 過冷却保存されたカットホウレンソウの電氣的, 生理学的評価, 日本食品科学工学会誌, 66(9): 335-340.
- Koide, S., Kumada, R., Hayakawa, K., Kawakami, I., Orikasa, T., Katahira, M., Uemura, M. (2019). Survival of Cut Cabbage subjected to Subzero Temperatures, *Acta Horticulturae*, 1256, 329-334.
- Koide, S., Yoneyama, A., Orikasa, T., Uemura, M. (2020). Assessing the supercooling of fresh-cut onions at -5°C using electrical impedance analysis, *Food Quality and Safety*, 4 : 55–58.
- Stonehouse, G. G., & Evans, J. A. (2015). The use of supercooling for fresh foods: A review, *Journal of Food Engineering*, 148, 74-79.
- Moussa, M., Dumont, F., Perrier-Cornet, J.- M., & Gervais, P. (2008). Cell inactivation and membrane damage after long-term treatments at sub-zero temperature in the supercooled and frozen states, *Biotechnology and Bioengineering*, 101, 1245-1255.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Sasaki Yuma, Orikasa Takahiro, Shinozaki Rina, Nakamura Nobutaka, Hayashi Kiyotada, Yasaka Yoshihito, Makino Naoki, Shobatake Koichi, Koide Shoji, Shiina Takeo	4. 巻 36
2. 論文標題 Ideal packaging for ripened peaches determined through modeling the relationship between food loss reduction and life cycle environmental impacts	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Packaging Technology and Science	6. 最初と最後の頁 253 ~ 263
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pts.2708	査読の有無 有
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 -
1. 著者名 Koide Shoji, Ito Taiga, Osuga Rei, Orikasa Takahiro	4. 巻 10
2. 論文標題 Assessment of cumulative freezing frequency of supercooled fresh-cut onion: Effects of sample size, supercooling temperature, and supercooled storage time	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Agriculture and Food Research	6. 最初と最後の頁 100440 ~ 100440
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jafr.2022.100440	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 門脇和佳奈, 小出章二, 大須賀 玲, 折笠貴寛	4. 巻 69
2. 論文標題 カットしたニホンナシの - 6 での過冷却保存	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 農業食料工学会東北支部報	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Osuga Rei, Koide Shoji, Abe Yukino, Orikasa Takahiro, Uemura Matsuo	4. 巻 68
2. 論文標題 Effect of Supercooled Storage on Maintaining the Quality of Fresh-cut Pear	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi	6. 最初と最後の頁 455 ~ 463
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3136/nskkk.68.455	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 小出章二、大須賀 玲、折笠貴寛、上村松生	4. 巻 6(2)
2. 論文標題 食品ロス削減を過冷却保存技術でチャレンジする	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 アグリバイオ	6. 最初と最後の頁 147-149
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -

1. 著者名 Sugisawa Ryunosuke、Orikasa Takahiro、Koide Shoji	4. 巻 30(3)
2. 論文標題 Changes in microbial population and physicochemical properties of fresh-cut cucumbers subjected to near-freezing temperature at ?2	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Food Science and Technology Research	6. 最初と最後の頁 323-330
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3136/fstr.fstr-d-23-00210	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計9件(うち招待講演 0件/うち国際学会 1件)

1. 発表者名 杉澤龍之介、大須賀 玲、折笠貴寛、小出章二
2. 発表標題 過冷却保存がカットリンゴ‘ジョナゴールド’の鮮度保持に与える影響
3. 学会等名 第80回農業食料工学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大須賀玲、小出章二、山田美和、折笠貴寛、上村松生
2. 発表標題 過冷却保存がカットキャベツの微生物学的品質および理化学的特性に与える影響
3. 学会等名 第80回農業食料工学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ryunosuke Sugisawa, Shoji Koide, Rei Osuga, Takahiro Orikasa
2. 発表標題 Effect of supercooled storage on maintaining the freshness of fresh-cut Jonagold apples
3. 学会等名 The XX CIGR World Congress (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大須賀 玲、小出章二、安倍侑野、折笠貴寛、上村松生
2. 発表標題 -5 の過冷却保存はカット西洋ナシ‘ラ・フランス’の品質を保つのか？
3. 学会等名 日本食品保蔵科学会第70回(オンライン東京)大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大須賀 玲、小出章二、折笠貴寛、上村松生
2. 発表標題 カットリンゴの10日間過冷却保存
3. 学会等名 第79回農業食料工学会年次大会(オンライン)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐々木勇麻、折笠貴寛、中村宣貴、林清忠、八坂慶仁、牧野直樹、正畠宏一、小出章二、椎名武夫
2. 発表標題 モモ輸送時における「損傷発生と環境負荷の関係」のモデル化と最適包装条件の検討
3. 学会等名 第79回農業食料工学会年次大会(オンライン)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 杉澤龍之介, 星野七海, 滝村恋奈, 折笠貴寛, 小出章二
2. 発表標題 過冷却保存が微生物数およびカットキュウリの理化学的特性にもたらす影響
3. 学会等名 農業食料工学会東北支部令和5年度支部大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 杉澤龍之介, 小出章二, 折笠貴寛
2. 発表標題 過冷却保存によるカット青果物の腐敗抑制効果
3. 学会等名 日本食品科学工学会第70回記念大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 杉澤龍之介, 小出章二, 折笠貴寛
2. 発表標題 過冷却保存がカットキュウリの腐敗抑制および品質保持に与える影響
3. 学会等名 農業環境工学関連学会2023年合同大会(つくば)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 小出章二	4. 発行年 2024年
2. 出版社 エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 10
3. 書名 食品ロス削減に向けたロングライフ化技術	

〔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
研究 分 担 者	折笠 貴寛 (Orikasa Takahiro) (30466007)	岩手大学・農学部・准教授 (11201)	

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