

令和 4 年 6 月 17 日現在

機関番号：82111

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2021

課題番号：20K22606

研究課題名(和文)ペクチンの構造特性とその改変操作による高品質冷凍野菜の新規加工技術

研究課題名(英文) Analysis and modification of pectin structure towards production of high quality frozen vegetables.

研究代表者

西田 菜美子(Nishida, Namiko)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・食品研究部門・研究員

研究者番号：60885028

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：食品の中でも野菜類は凍結・解凍後の組織軟化が著しく、現在の技術ではその改善が困難である。一方で、同じ野菜品目でも品種などによって冷凍後の品質に差があるが、その差を生み出すメカニズムは明らかになっていない。本研究では、組織の強度維持に関わるペクチンに着目し、品目・品種による差異と冷凍適性との関係を明らかにすることを目的とした。さらに、低温加熱処理によるペクチン構造の改変が、凍結後の氷結晶形態および力学特性に及ぼす影響を調べた。その結果、ペクチン構造の差異は氷結晶の形成のされ方に違いを及ぼさないが、凍結解凍後の力学特性には影響することが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究から、品種ごとにペクチン構造は異なり、組織強度にも違いがあることが推察されたが、氷結晶の形態に大きな違いは見られなかった。さらに、人為的なペクチン構造の改変は、凍結時の氷結晶の形態に大きく影響せず、凍結による損傷は避けられないと考えられる。しかし、凍結前後のペクチン組成には凍結解凍後の力学特性と相関があった。つまり、凍結前に強固な組織構造を持つことが、凍結解凍後の組織強度を高く維持するために必要であり、そのような品種が冷凍加工用品種として適切であると考えられる。これらの知見は冷凍加工用品種選定・育成において有用である。

研究成果の概要(英文)：Vegetables are more susceptible to freeze damage than other foods, resulting in serious texture losses after freeze-thawing. It is thought that the cultivars or harvesting methods could contribute to the quality of frozen-thawed vegetables, however, the reason why these factors lead to quality difference is unclear. The objective of this study is to elucidate the relationship between the vegetable qualities after freeze-thawing and cultivar, mainly focused on the structure of pectin which maintain the strength of the vegetable tissues. In addition, the effect of the pectin structure modification by low-temperature blanching on formation of ice crystals and mechanical properties after thawing were investigated. In the results, the differences of pectin structure between cultivars or pretreatment conditions did not affect the formation of ice crystals, however it correlated with mechanical properties of frozen-thawed vegetables.

研究分野：農業環境工学および農業情報工学関連

キーワード：冷凍野菜 ペクチン 氷結晶 低温加熱

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年、その利便性から家庭用・業務用の冷凍野菜の需要が高まっている。野菜類を冷凍すると、組織内にくいつもの氷結晶が形成され、周囲の水を取り込みながら成長する。この過程において氷結晶が物理的に組織に損傷を与えることで著しい組織軟化を生じ、結果として解凍後の食感の悪化を招く。一方で、同じ野菜品目でも品種あるいは生育段階によって冷凍後の品質に差がある。これは、組織構造、成分組成、水分量の違い等の複合的な要因が関与すると考えられているが、その発生機序は十分に明らかにされていない。

そこで、本研究では細胞同士を結着する役割を担い、組織構造の強度維持に関わっている、ペクチンに着目した。野菜品目、生育条件、成熟度などにより細胞構造、ペクチンの分子量やエステル化度、中性糖の種類や含量・分布は異なることが知られており、これらの要因は氷結晶の形態に影響を与え、さらに解凍後の組織の力学特性に関与している可能性がある。さらに野菜を60℃程度の低温で加熱すると、ペクチン構造が変化し、組織硬化が起こることが知られている。

### 2. 研究の目的

(1) 細胞壁を構成するペクチンの構造に着目し、品目・品種による差異と冷凍適性との関係を明らかにする。

(2) 低温加熱によるペクチン構造の改変によって、解凍後の組織軟化を軽減できるかを検証する。

### 3. 研究の方法

(1) ペクチン構造に着目した、冷凍適性の品目・品種間差

複数の品目、品種について凍結前後のペクチン組成と力学特性を調べ、組織構造観察を行った。ペクチンはアルコール不溶性固形物(AIS)を得た後に、水溶性画分、キレート可溶性画分、酸可溶性画分にそれぞれ分画し、カルバゾール法によってペクチン含量を測定した。沸騰水でのブランチング後に-30℃での急速冷凍を行い、30℃での解凍を行った。凍結前後の力学特性は、ブランチング後と凍結解凍後にそれぞれ圧縮試験を行った。組織構造観察はFAA(Formalin-Acetic acid-Alcohol)で固定後、親水性メタクリレート樹脂で包埋し、連続切片を作成した。切片は0.5%サフラン水溶液で染色し、光学顕微鏡で観察した。

(2) 低温加熱が凍結解凍後の力学特性、及び組織構造に及ぼす影響

ダイコンを用いて、60℃に設定したウォーターバスでの低温加熱を行った。パーオキシダーゼ(POD)は耐熱性が高く、ブランチングの指標としてよく使われる酵素であるため、低温加熱後のPOD活性を測定し、酵素失活に最適なブランチング時間を推定した。ペクチン含量測定、力学特性、及び親水性メタクリレート樹脂を用いた組織構造観察は(1)と同様の方法により行った。さらに、走査型電子顕微鏡を用いた組織構造観察及び、電気インピーダンス法による細胞膜損傷度の評価を行った。

### 4. 研究成果

(1) ペクチン構造に着目した、冷凍適性の品目・品種間差

ダイコン5品種(上部・中部・下部)及び、キャベツ5品種の凍結前後について、ペクチン含量測定、力学特性、組織構造観察を行った。ダイコンの圧縮試験により得られた最大応力は、その値が大きくなるにつれて、その時のひずみも大きくなる傾向があった。また、凍結解凍操作を行うと、最大応力は凍結前と比べて小さくなるが、ひずみは大きくなる傾向が見られた。さらに、ダイコン、キャベツにおいて凍結解凍後の力学特性とペクチン組成には相関関係が見られた。しかしながら、組織構造観察結果から凍結解凍後の試料には、氷結晶の痕跡とみられる構造が観察されたが、その形や大きさに品種間での差は見られなかった。

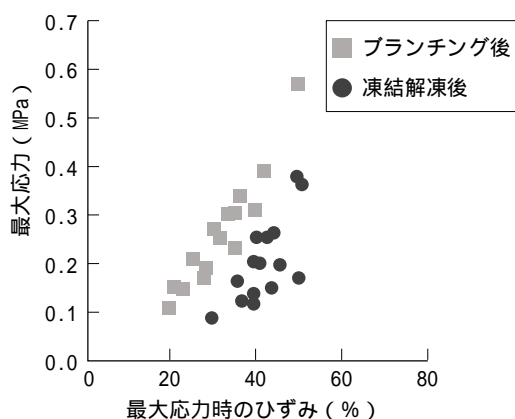


図1 ダイコンの最大応力とひずみの関係

以上から、ペクチン組成は品種ごとに異なり、組織の強度はそれぞれ異なると考えられるが、その強度の違いが氷結晶の形態に及ぼす影響

は小さく、凍結による損傷度に品種間で大きな違いはないことが推察された。つまり、組織強度に関わらず、凍結によって組織は一樣に損傷を受けるため、凍結前の組織強度が高いことが、凍結解凍後の組織強度維持に必要であり、そのような品種が冷凍加工用として適切であると考えられる。

## (2) 低温加熱が凍結解凍後の力学特性、及び組織構造に及ぼす影響

最適なブランチング条件を決めるため、POD活性を測定したところ、60℃で120分の加熱を行っても、生鮮時と比べて約90%のPOD活性が残存していることが分かった。PODの失活には60℃の加熱の有無に関わらず、沸騰水で4分の加熱が必要であることが分かった。

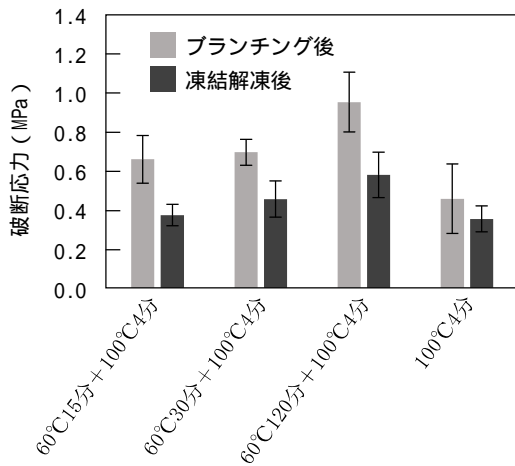


図2 低温加熱がダイコンの破断応力に及ぼす影響

ン含量が同程度であるのに対して、沸騰水で4分加熱した試料の水溶性ペクチン含量はそれらの約4倍に増加していた。水溶性ペクチンは野菜や果物の軟化に関係しており、硬さとは負の相関があることが知られている。これらの結果から、沸騰水で4分加熱した試料では、ペクチンの分解によって細胞同士の結着が弱くなっているのに対して、60℃120分の加熱を経た試料では、ペクチン構造が改変されているため、その後に沸騰水での加熱を行っても、ペクチンの分解が起きにくくなったと考えられた。このペクチン組成の変化による細胞同士の結着度の変化が、凍結解凍後の破断応力に影響していることが示唆された。

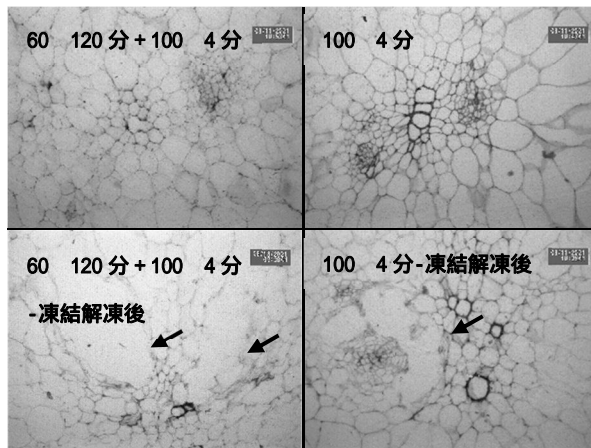


図3 凍結解凍後に見られる氷結晶の痕跡

と考えられたため、生鮮試料、ブランチング後試料、凍結解凍後試料において、電気インピーダンス法を用いた細胞膜損傷度の評価を行った。算出した細胞膜容量はブランチング操作により、生鮮時より減少していた。凍結解凍後試料では、ブランチングの有無に関わらず、細胞膜容量が算出できない程度に細胞膜が損傷していた。

以上の結果から、60℃での低温加熱によるペクチン構造の改変が氷結晶の形成に及ぼす影響は小さいと考えられ、凍結解凍操作によって細胞膜は大きく損傷し、弾性的な性質は失われることが分かった。しかしながら、ペクチン構造の改変によって、細胞同士の結着度が上がるため、凍結解凍後も破断応力は維持でき、組織軟化は抑制できた。

## (3) まとめ

品種間で氷結晶の形態に明確な違いは見られず、凍結による損傷は同様であり、人為的にペクチン構造を改変したとしても、氷結晶の形成のされ方に与える影響は小さいことが明らかになった。氷結晶が組織に与える損傷は野菜の弾性的な性質を失わせ、生鮮時の食感とは異なるもの

次に、60℃で15分、30分、120分の加熱後に沸騰水で4分の加熱を行うと、60℃での加熱時間が長くなるのに応じて、凍結解凍後の破断応力も増加することが分かった。その結果、沸騰水で4分加熱した試料と比較して、60℃120分の加熱後に沸騰水で4分加熱した試料では、凍結解凍後の破断応力が有意に高くなることが分かった。

細胞同士の結着度を観察するため、凍結解凍後の試料において、走査型電子顕微鏡による組織構造観察を行ったところ、沸騰水で4分加熱した試料の割断面では、細胞内が見えず、袋状の構造になっている様子が観察できた。一方で、生鮮試料、及び60℃120分の加熱後に沸騰水で4分加熱した試料では、細胞内が見え、細胞が割れている様子が観察できた。さらに、生鮮試料、及び60℃120分の加熱後に沸騰水で4分加熱した試料では水溶性ペクチン

氷結晶による損傷を観察するため、凍結前後において親水性メタクリレート樹脂を用いて組織構造観察を行った。その結果、60℃120分の加熱の有無に関わらず、凍結解凍した試料すべてに氷結晶の痕跡が観察された。また、氷結晶が形成される部位や、氷結晶の大きさ、数などに低温加熱の有無による差異は見られなかった。したがって、低温加熱によるペクチン構造の改変が氷結晶の形成に及ぼす影響は少ないと考えられた。

圧縮試験から得られた初期弾性率は生鮮時には高い値を示すが、凍結解凍操作を行うと、ブランチングの有無に関わらず、値が著しく減少した。このことは氷結晶が組織に与える損傷によって、ダイコンの弾性的な性質が失われたことを示している

になることが推察された。しかしながら、品種固有のペクチン組成は、凍結解凍後の力学特性に影響するため、凍結前の組織強度が高い品種が冷凍加工用品種として適切であると考えられる。また、ペクチン構造の改変は、凍結前の組織強度を高めることができるため、凍結解凍後も高い破断応力を維持できることが明らかになった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 西田菜美子, 安藤泰雅, 小原隆由, 高橋徳, 佐々木英和, 橋本朋子, チョテイカ・ピリヤラッタナサク
2. 発表標題 ダイコンのブランチング条件が冷凍後の品質に及ぼす影響
3. 学会等名 第68回大会日本食品科学工学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西田菜美子, 安藤泰雅
2. 発表標題 低温ブランチングによる冷凍ダイコンの組織軟化抑制
3. 学会等名 日本食品科学工学会 令和4年度関東支部大会
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
---------	---------