

花蕾が落ちにくく食感が低下しない冷凍ブロッコリーの開発

Development of Frozen Broccoli with Flower Buds that Do Not Easily Fall Off and Retain Texture

中野陽*・本多美恵**・吉田大一郎***・谷岡晃和****・小谷幸敏*****

Hiroshi Nakano, Mie Honda, Dai-ichiro Yoshida, Akikazu Tanioka and Yukitoshi Kodani

*食品開発研究所 食品安全・品質技術グループ、**食品開発研究所 発酵・機能性食品グループ、
電子・有機素材研究所 電子システムグループ、*電子・有機素材研究所 有機材料グループ、
*****食品開発研究所 現 鳥取県農山漁村発イノベーションサポートセンター

高品質な冷凍ブロッコリーを得るため、ブランチング済みのブロッコリー小房のブライン凍結による急速凍結を試みた。その結果、ブライン凍結による冷凍ブロッコリーは振動を与えても花蕾が落ちにくく、また物性測定の結果、エアブラスト凍結のものと比較して食感が優れていることが示唆され、既存の冷凍ブロッコリーの課題を克服することができた。

To obtain high-quality frozen broccoli, small blanched broccoli florets were flash-frozen by brine freezing. Consequently, the flower buds of broccoli frozen by brine freezing do not fall off easily, even when shaken. The results of the physical property measurements suggested that the texture was superior to that of air-blast frozen broccoli, thus overcoming the problems of existing frozen broccoli.

1 はじめに

ブロッコリーは鳥取県を代表する農産物の一つであり、特に県西部では「甘味が強く、エグ味が少ない」、「エラー品が少ない」など特長を有したブロッコリーを「大山ブロッコリー®」として地域団体商標登録（平成24年）や地理的表示保護制度（GI）（平成30年）を鳥取県西部農業協同組合が取得し、ブランド化を図っている。鳥取県内では、5月～6月に収穫される初夏どりと、10月下旬～3月に収穫される秋冬どりが出荷されているが、ブランド戦略として、現在出荷できていない時期にも供給したいとの要望があり、青果物としての周年供給は困難であることから、冷凍ブロッコリーとして供給が検討されている。

一方、海外産を中心に冷凍ブロッコリーは広く出回っているが、既存の冷凍ブロッコリーは、食感が低く評価される傾向にあり、個体によっては筋っぽいなものもある。また、花蕾の先端が細かいブロッコリーは凍結すると非常に脆くなり、輸送などの振動

を与えると、花蕾の先端が落下し、見栄えを損ねるなど商品価値の低下を招く。そのため、一般的には冷凍したブロッコリーに薄い氷の被膜を形成するグレーズ処理を行い花蕾の脱落を保護する方法が用いられているが、薄い皮膜では効果は限定的であり、皮膜を厚くすると解凍後のドリップが多く、水っぽくなるなどの課題を有している。

当センターでは、既存の冷凍ブロッコリーとの差別化を図るため、ブロッコリーの健康成分の損失が最小限に抑える加工条件を検討し、ブランチング条件についてスチームブランチングの方がウォーターブランチングより成分の損失に優位性を有していることを報告した¹⁾。今回は、高品質冷凍ブロッコリーの開発を目的に、約-30℃に冷却したアルコールブライン液に食品を浸漬することで急速に凍結することができるブライン凍結を用いる方法について検討したので報告する。なお、本研究の成果は既に特許出願済みである²⁾。

2. 実験方法

2.1 供試材料

本報告で用いた原料ブロッコリーは、米子市内青果市場および西伯郡大山町集荷場で購入したもの、または、鳥取県園芸試験場より提供されたものを用いた。

2.2 冷凍ブロッコリーの試作

冷凍ブロッコリーの製造工程の概略図を図1に示した。ブランチング方法は、既報によりスチームブランチングを用いることとし、95℃、150秒の条件で行った¹⁾。エアブラスト凍結の場合、ブランチングして冷却したブロッコリー小房を凍結し、グレーズ処理した後バラの状態で包装した。ブライン凍結の場合、ブロッコリーを真空包装してから凍結した。

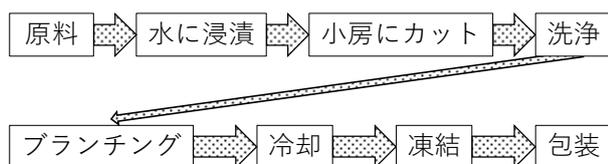


図1 冷凍ブロッコリー製造工程

2.3 包材の物性測定

ブライン凍結に用いる包材について物性測定を行った。測定は製法の異なる3種の包材についてJIS Z 1702に準じて、引張試験にて行った。試験片は包材の長さ方向を縦方向、幅方向を横方向として、ダンベル型に型抜き採取し、オートグラフ（株）島津製作所 AGX-100kNV）を用いて引張試験を行った。J試験速度は、300mm/minで行い、伸びはビデオ式伸び計により測定した。

2.4 ブロッコリーの最大氷結晶生成帯通過時間の測定

ブランチング済みのブロッコリー小房の茎部に針状のセンサーを取り付け、ブロッコリー凍結時の温度変化をコンパクトサーモロガー（安立計器（株）AM-2002K）にて測定した。

2.5 冷凍ブロッコリーの花蕾落下防止の評価

ブライン凍結したブロッコリー小房を観察すると比較的締まった形状をしているため（図2）、冷凍ブロッコリー課題の一つである耐振動性の問題をクリアできるのではないかと考え、振動試験を行った。



図2 冷凍ブロッコリーの形状

凍結したブロッコリー小房（約200g）を入れた三方袋を段ボール箱に入れ、大変位タイプ振動試験機（株）IMV J230/SA3M）を用いて包装貨物-振動試験方法 JIS Z 0232:2020に基づき表1に示した試験条件で、-20℃、90分間縦方向に振動を与えた。試験終了後、袋からブロッコリーを取り出し、袋の中に残っている花蕾落下の状態を観察した。

表1 冷凍ブロッコリーの振動試験の条件

| 振動数 f (Hz) | レベル ($(\text{m/s}^2)^2/\text{Hz}$) | 傾斜 (db/oct) |
|--------------------|---|----------------|
| $f=2$ | 0.048 | — |
| $2 < f < 4$ | — | 13.75 |
| $4 \leq f \leq 18$ | 1.154 | — |
| $18 < f < 40$ | — | -9.34 |
| $f=40$ | 0.096 | — |
| $40 < f < 200$ | — | -1.29 |
| $f=200$ | 0.048 | — |

2.6 冷凍ブロッコリーの物性測定

冷凍ブロッコリーの食感評価として、クリープメータ（株）山電 RE2-33005S）による物性試験で評価した。冷凍ブロッコリーを流水解凍（30℃、1時間）し、茎の部分を縦に半分に切断し、切断面を下にして繊維の垂直方向にプランジャー（ナイフカッター 幅56mm 反刃）を当てて、プランジャーに

かかる荷重を測定した。測定条件は、200N のロードセルを用い、測定速度は 1mm/s で行い、歯ごたえに起因する、破断荷重、もろさ荷重、弾性率と筋っぽさに起因する歪率 100%荷重（試料厚みに対して 100%プランジャーを押し込んだ時の荷重）を読み取った。

3. 結果と考察

3.1 ブロッコリー小房の包装方法の検討

ブロッコリーをブライン凍結で凍結する際、ブライン液との接触を防ぐために、ブロッコリーの包装が不可欠である。我々は当初、ブロッコリー小房を一般的な真空包装用包材であるドライラミネート製法の包材を用いて真空包装すると、花蕾が圧縮変形して商品価値を下げってしまうと考え、柔軟性を有したポリエチレン製（PE）規格袋にブロッコリー小房を入れて袋の上部を開放したままブライン液に浸漬した。ブライン液の水圧により袋の中の空気が追い出され、ほぼ真空包装と同等の状態になると考えていたが、官能試験を行った結果、エアブラスト凍結で試作したものと評価が変わらなかった。この原因について、ブロッコリー小房がバルク状態だったことと、空気が十分抜けきっていないことが考えられたため、凍結時の品温を測定した。

その結果、最大氷結晶生成帯と呼ばれる 0°Cから-5°Cの温度帯の通過時間が、想定より長いことが確認された（表 2）。PE 規格袋の上部を開放した試験区では 11 分、エアブラスト凍結試験区が 8 分 50 秒であった。冷却効率を考慮し、PE 規格袋を用いたまま真空包装した試験区では、3 分 50 秒と大幅に短縮することが分かったが、PE 規格袋は柔らかすぎたため作業性に課題を残した。使用する包材を検討した結果、適度な柔軟性を有した共押出製法や溶融ラミネート製法の包材が冷凍ブロッコリーの真空包装に適していることが分かり、個包装の凍結時の温度変化を測定したところ、最大氷結晶生成帯の通過時間は 2 分 10 秒と速やかに凍結することが可能であることが分かった。

表 2 凍結方法および包装形態の違いによる最大氷結晶生成帯通過時間の変化*

| 包装形態 | 凍結方法 | 最大氷結晶生成帯通過時間 |
|-------------|----------|--------------|
| 上部開放（PE規格袋） | ブライン凍結 | 11 分 0 秒 |
| 真空包装（PE規格袋） | ブライン凍結 | 3 分 50 秒 |
| 真空包装（真空包装用） | ブライン凍結 | 2 分 10 秒 |
| 無包装 | エアブラスト凍結 | 8 分 50 秒 |

*：凍結条件は-30°Cに設定

ブロッコリーを真空包装しようとするすると圧縮変形してしまうドライラミネート製法の包材と圧縮変形せずに真空包装が可能な共押出製法および溶融ラミネート製法のフィルム伸び率を表 3 に示した。ブロッコリー小房を圧縮変形せずに真空包装するためには、今回、実験に供した包材では、縦方向約 110%以上、横方向約 90%以上の伸び率であれば可能であった。圧縮変形しやすい試料を真空包装する際、スキンパック包装があるが、新たな設備導入が必要である。本報告では、既存の真空包装機でもブランディング済みブロッコリー小房を圧縮変形せずに真空包装が可能であることを示した。

表 3 包材の物性測定の結果

| 製法 | 伸び率* | | 真空包装 |
|----------|------|-----|------|
| | 縦方向 | 横方向 | |
| ドライラミネート | 100 | 50 | 不可 |
| 溶融ラミネート | 110 | 90 | 可 |
| 共押出 | 360 | 380 | 可 |

*：試験方法はJIS Z 1702に準ずる 試験速度：300mm/min

3.2 冷凍ブロッコリーの花蕾落下防止

振動試験の結果を図 3 に示した。エアブラスト凍結の冷凍ブロッコリーは花蕾の落下が顕著であったのに対し、ブライン凍結の冷凍ブロッコリーは花蕾の落下がほとんどみられなかった。

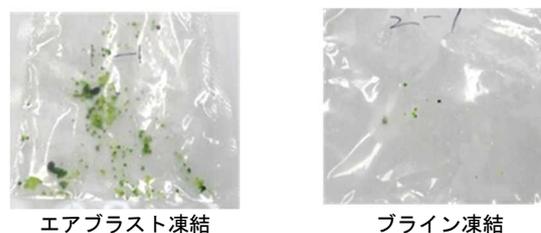


図 3 振動試験後の花蕾の落下状況

花蕾の落下抑制の原因はブライン凍結によるものなのか、凍結前に真空包装したことによるものなのかを調べるために、追加で、凍結方法を変えたブロッコリーの振動試験を行った。その結果、真空包装をせずにエアブラスト凍結を行った試料のみ花蕾の落下がみられたことから、花蕾の落下抑制は真空包装によるものと示唆された（表4）。

表4 凍結方法を変えたブロッコリーの振動試験の結果

| 凍結方法 | 温度 (°C) | 真空包装 | 花蕾脱落* |
|----------|---------|------|-------|
| ブライン凍結 | -30 | あり | - |
| エアブラスト凍結 | -30 | あり | - |
| 緩慢凍結 | -20 | あり | - |
| 緩慢凍結 | -40 | あり | - |
| エアブラスト凍結 | -30 | なし | + |

* +: 花蕾脱落あり -: 花蕾脱落なし

3.3 冷凍ブロッコリーの食感

冷凍ブロッコリーの物性測定の結果を表5に示した。一般的な急速凍結法であるエアブラスト凍結の冷凍ブロッコリーと比較してブライン凍結の冷凍ブロッコリーは、破断荷重、もろさ荷重、弾性率が高く歯ごたえが良好で、歪率100%荷重は低く、筋っぽくないことが示唆された。物性試験の様子を観察するとブライン凍結の冷凍ブロッコリーは、茎の表皮から破断する傾向にあるのに対し、エアブラスト凍結の冷凍ブロッコリーは茎内部から潰れていく傾向であった。このことは、エアブラスト凍結の冷凍ブロッコリーは、凍結時に茎内部組織が損傷を受けているのに対し、ブライン凍結は、凍結時間が短いため、凍結時に茎内部組織の損傷が少ないことを示唆している。

表5 凍結方法の異なる冷凍ブロッコリー茎部の物性値

| 凍結方法 | 破断荷重 (N) | もろさ荷重 (N) | 弾性率 (MPa) | 歪率100%荷重 (N) |
|----------|----------|-----------|-----------|--------------|
| ブライン凍結 | 47.2 | 31.3 | 22.5 | 22.1 |
| エアブラスト凍結 | 36.6 | 10.6 | 14.5 | 30.5 |

* n=10

4. おわりに

- (1) 高品質冷凍ブロッコリーを開発するために、ブランチング済みのブロッコリー小房のブライン凍結による急速凍結を検討した。
- (2) 包材の物性がタテ方向約110%以上、ヨコ方向約90%以上の伸び率の包材であればブロッコリー小房を圧縮変形することなしに真空包装することが可能であることが分かった。
- (3) 上記物性の包材を用いて真空包装し、ブライン凍結を行うことで、最大氷結晶成長帯通過時間が約2分と非常に短時間で通過することを実現した。
- (4) (3)に示す条件でブライン凍結した冷凍ブロッコリーの振動試験を行った結果、花蕾の落下が少ないことが分かり、また、物性試験を行った結果、一般的な急速凍結法であるエアブラスト凍結と比較して、食感に優れていることが示唆された。
- (5) 以上の結果より、既存の冷凍ブロッコリーの課題が克服された新たな冷凍ブロッコリーを製造できる知見が得られたため、県内企業に技術移転を進めている。

謝辞

本研究を行うにあたり、原料供給にご協力いただいた鳥取県園芸試験場 米村室長、浅尾研究員、また、ブロッコリーの物性測定について有意義な助言を賜った(株)山電の渡辺洋一様に厚く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 梅林志浩; 鳥取県産業技術センター研究報告, 24, p.31-33(2021).
- 2) 中野陽、小谷幸敏; 花蕾が落ちにくく食感が低下しない冷凍ブロッコリーの製造方法および冷凍ブロッコリー, 特願 2022-179902 (2022).