

凍結時の糊化度がエダマメ‘味緑’と‘湯あがり娘’の物性に及ぼす影響

誌名	日本食品工学会誌 = Japan journal of food engineering
ISSN	13457942
著者名	水野,寛士 田中,仁奈 橋本,早紀 山本,達也 中野,龍平 牛島,幸一郎 久保,康隆
発行元	日本食品工学会
巻/号	16巻1号
巻号補足	
掲載ページ	p. 63-70
発行年月	2015年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



◇◇◇◇ 原著論文 ◇◇◇◇

凍結時の糊化度がエダマメ ‘味緑’ と ‘湯あがり娘’ の物性に及ぼす影響

水野寛士^{1,†}, 田中仁奈¹, 橋本早紀¹, 山本達也¹,
中野龍平², 牛島幸一郎², 久保康隆²

¹ 味の素冷凍食品株式会社

² 岡山大学大学院環境生命科学研究科

Effect of Gelatinization Degree before Freezing on the Physical Properties of Green Soybean ‘Miryoku’ and ‘Yuagari-musume’

Hiroshi MIZUNO^{1,†}, Nina TANAKA¹, Saki HASHIMOTO¹, Tatsuya YAMAMOTO¹,
Ryohei NAKANO², Kouichiro USHIJIMA², Yasutaka KUBO²

¹ Ajinomoto Frozen Foods co., inc., 1210-5, Yoshida, Oizumi-machi, Orangun, Gunma 370-0523, JAPAN

² Graduate School of Environmental and Science, Okayama University,
1-1-1, Tsushima-naka, Okayama, Okayama 700-8530, JAPAN

Effects of ratio of first and second cooking periods before and after freeze on physical characteristics in green soybeans were determined to study effects of gelatinization level before freezing, in the condition that total cooking period was set at 210 seconds. The green soybeans gelatinized to 55-83% by first cooking exhibited higher firmness and higher crispness index (CI) after both they were thawed and fully gelatinized by second cooking, compared with other gelatinization degree at first cooking. The firmness and CI of green beans frozen with gelatinization level less than 41% were relatively high after thawing but decreased severely after second cooking. The green beans gelatinized over 92% by first cooking had considerably low CI after thawing. SEM imaging confirmed that cell structure of green soybeans gelatinized to 55-83% by first cooking was more intact even after they were thawed and fully then gelatinized than that of soybeans cooked with other condition.

Keywords: gelatinization degree, frozen, physical properties, green soybean

1. 緒 言

冷凍食品の国内消費量は年々増加しており [1], 2013 年には約 275 万 t にも達する [i]. これに伴って, 冷凍野菜の輸入量は増加し, 2013 年では国内消費量の約 34% に達しており, 2013 年の冷凍野菜の品目別輸入比率では, エダマメはパレイショに次ぎ, 取扱量が 2 番目に多い [i].

キャベツ, タマネギ, ニンジンなどをはじめとする多くの野菜が年間を通じて生鮮品として購入できるようになってきたが, エダマメには端境期が存在するため, 2013 年の東京中央卸売市場でのエダマメの取扱量

をみると, 11~3 月のエダマメの取扱量は極めて少ない. しかしながら, エダマメはお酒のおつまみなどとして年間を通じて需要があり, 冷凍エダマメは私たちの食生活に欠かせない食品であるので, 端境期には冷凍品に頼ることになる.

前報で述べたように, 生鮮エダマメは収穫後, 急速に糖や遊離アミノ酸が減少し, 品質が低下する [2]. 高い品質を保って消費者へ供給するためには, 低温貯蔵 [2,3] やフィルム包材 [4,5] などの工夫が必要である. その点で, 収穫後に短時間で加熱, 凍結した冷凍エダマメの場合, 加工後の流通や貯蔵中の品質低下のリスクが低く, 安定的に収穫直後の高品質を提供できる利点がある. また, 冷凍エダマメは, 加熱済みで簡単に喫食できるという利点もあることから, 市場に広く流通している. しかし, 生鮮野菜組織は凍結すると損傷し, 品質が低下しやすい [6]. 野菜は動物性食品に比べて水

(受付 2014 年 9 月 26 日, 受理 2014 年 12 月 18 日)

〒 370-0523 群馬県邑楽郡大泉町 1210-5

〒 700-8530 岡山県岡山市津島中 1-1-1

Fax: 0276-62-7183, E-mail: hiroshi_mizuno@ajinomoto.com

分率が高く、凍結により多くの氷結晶が生成するため、細胞の損傷が大きい [6]。また、野菜組織の細胞膜は凍結、解凍により水透過性に変化し、物性に影響を与えるため [6]、とくに問題となるのが食感であり、凍結解凍後の組織軟化により、生鮮独特の良食感が失われる場合も多い。冷凍エダマメについても例外ではなく、一般に生鮮エダマメに比べて食感が劣り、とくに噛んだ際の歯切れで劣る。このようにエダマメを始めとする野菜の食感には、噛んだ際にかかる力の大きさ、つまり硬さだけでなく、噛んでいる間の力の変化、例えば脆さや粘性なども重要である [7]。

冷凍野菜の食感改善法として、いくつかの軟化防止技術が知られている。例えば、糖溶液浸漬で、氷結晶の成長を抑制する方法 [8]、カルシウム塩溶液浸漬で、細胞壁を強化してから冷凍する方法 [9] が挙げられる。これ以外にも、60℃で30分程度の予備加熱で、ペクチンメチルエステラーゼを活性化させ、細胞壁からのペクチン質の流出を抑制する方法 [10]、ならびに、冷凍前に浸透圧などで一部水分を脱水して野菜を半乾燥し、組織中の自由水を少なくして氷結晶を減少させる方法 [6] などがある。これらの技術は野菜の硬さの改善には一定の効果を示すとされているが、硬さ以外の食感特性、エダマメの場合、歯切れ向上については研究が行われていない。

食品成分表によるとエダマメは重量100 gあたり炭水化物を8.8 g含み、この含量は一般的な野菜に比べて多い [11]。エダマメはデンプンを多く含む野菜であるので、食感に影響する要素として糊化度に注目した。そこで本研究では、冷凍時の糊化度がエダマメの物性に及ぼす影響を、市販されている一般的な品種である‘味緑’と‘湯あがり娘’を用いて調査し、冷凍エダマメの食感品質の向上について検討した。

2. 実験

2.1 材料

2011年に群馬県沼田市で栽培したエダマメ‘味緑’と前橋市で栽培したエダマメ‘湯あがり娘’を供試した。

Table 1 Processing method of the sample.

	Sample No.						
	1	2	3	4	5	6	7
1st heating	30 s	60 s	90 s	120 s	150 s	180 s	210 s
Cooling	2 minutes 50 seconds at 10℃ water						
Freezing	-30℃ freezer						
Thawing	10 minutes at 20℃ water						
	Evaluation 1						
2nd heating	180 s	150 s	120 s	90 s	60 s	30 s	
Cooling	2 minutes 50 seconds at 10℃ water						
	Evaluation 2						

2.2 加工方法

エダマメをもぎ莢の状態、30倍重量の98℃の湯で30, 60, 90, 120, 150, 180, 210秒加熱した（1次加熱）。10℃の冷水で2分50秒間冷却した後、エダマメをアルミ製のトレーに乗せて、-30℃に設定した冷凍庫（HC-120, エスベック㈱）に入れ、凍結した。このようにして、冷凍する前の加熱時間の異なる検体7種類を作成した。加熱時間の短いものから順に番号をつけ検体1~7とした。1時間後、冷凍エダマメを冷凍庫から取り出し、20℃の流水で10分間解凍した後、一部を分取し水分率、糊化度、物性の測定、および組織観察を行った（評価1）。次に、検体1~6を98℃の湯でそれぞれ180, 150, 120, 90, 60, 30秒加熱した（2次加熱）。すなわち、加熱時間はいずれの検体も合計210秒である。10℃の冷水で2分50秒間冷却した後、評価1と同様の分析を行った（評価2）。比較対象としてもぎ莢の状態、30倍重量の98℃の湯で210秒加熱した未凍結エダマメも作成し、評価1, 2と同様の分析を行った。

2.3 水分率の測定

莢から種皮を含む子実を取り出して細断し、加熱乾燥法（105℃, 12時間）で水分率を測定した。測定は5回行った。

2.4 物性の測定

テクスチャアナライザー（TA-XT plus, 英弘精機㈱）を用いて、エダマメを喫食した際に感じる物性として、硬さ、粘り、歯切れの測定を行った。莢から種皮を含む子実を取り出し、薄皮を剥き半割にし、直径35 mm円柱プランジャでTest speed 2.0 mm/s, Strain 100%, Post test speed 10.0 mm/sで圧縮した。圧縮時の最大荷重を硬さとした。x軸に時間、y軸に荷重（圧縮方向を正とする）をとった時、圧縮後プランジャを引き上げる際に荷重-時間曲線に観測される負の面積を算出し、これを粘りを反映した付着性の指標とした [12]。また、圧縮中の荷重を1秒間200点の速度で取りこみ、各データポイントにおける荷重を2次微分し、得られた絶対値の総和Crispness Index (CI)を歯切れの測定値とした [13]。任意の時間tにおける2次微分値 D_{2t} の計算は、時間tでの力を F_t とし、その0.005秒前および0.005秒後の力をそれぞれ F_{t-1} , F_{t+1} とすれば、 $D_{2t} = 2F_t - (F_{t-1} + F_{t+1})$ とした。2次微分値 D_{2t} の絶対値を、1秒間分合計したものをCIとした。測定は15回行った。

2.5 糊化度の測定

莢から種皮を含む子実を取り出し、薄皮を剥き、10倍重量の99%エタノールを加えホモゲナイズした後、濾過により固形分を回収した。これを再度繰り返した後、固形分にあセトンを加え攪拌、濾過し、固形分を

減圧乾燥させ脱水粉末試料を得た [14]. これを β -アミラーゼ-プルラーゼ法 (BAP 法) [14] を用いて、デンプンの糊化度を測定した. デンプンを分解する酵素は, β -アミラーゼ (シグマケミカル社), プルラーゼ (㈱林原生物化学研究所) を使用し, 還元糖を定量する試薬としてソモギ銅液およびネルソン液 (和光純薬工業㈱) を使用した. 吸光度測定は, UV-VIS 分光光度計 (U-3900, ㈱日立ハイテクノロジーズ) を用いて行った. 測定は 5 回行った.

2.6 組織の SEM 観察

莢から種皮を含む子実を取り出し, カッターナイフで切断した. 低真空分析走査電子顕微鏡 (JSM-6060LA, 日本電子㈱) を用い, 加速電圧 15 kV, 低真空モード, 倍率 300 倍の条件で断面の微細構造を観察した.

3. 結 果

3.1 糊化度の変化

‘味緑’ と ‘湯あがり娘’ を各条件で加熱, 凍結, 解凍した際の子実の糊化度の変化を Fig. 1 に示す. 両品種とも, 1 次加熱 30 秒後, 凍結, 解凍した際の糊化度

は 30~40% の低い値を示した. 加熱時間が長くなるに伴い糊化度は上昇し, 1 次加熱 210 秒で 98% 以上の高い糊化度となった. 同一加熱時間では ‘味緑’ に比べて ‘湯あがり娘’ の方が, 糊化度が低かった. また, 1 次加熱 30~180 秒の完全糊化していない子実は, 加熱時間が合計 210 秒になるように 2 次加熱することで 95% 以上の高い糊化度になることが確認された. 合計 210 秒加熱された検体は, 凍結, 未凍結に関わらず同等の糊化度を示し, 凍結は糊化度に大きな影響を与えないことが確認された.

3.2 水分率の変化

‘味緑’ と ‘湯あがり娘’ を各条件で加熱, 凍結, 解凍した際の子実の水分率の変化を Fig. 2 に示す. 両品種とも, 1 次加熱時間によって, 若干水分率に違いがみられた. ただし, 平均値の差が大きい検体 1 と 7 について t 検定を行ったが, ‘味緑’ でも ($t=2.68$, $df=4$, ns), ‘湯あがり娘’ でも ($t=0.84$, $df=4$, ns) 有意な差はなかった. 1 次加熱時間 30~180 秒の子実を加熱時間が合計 210 秒になるように 2 次加熱すると, 低水分率の検体ほど吸水が進行し, ‘味緑’ の水分率はいずれの検体も 76~78%, ‘湯あがり娘’ の水分率はいずれの

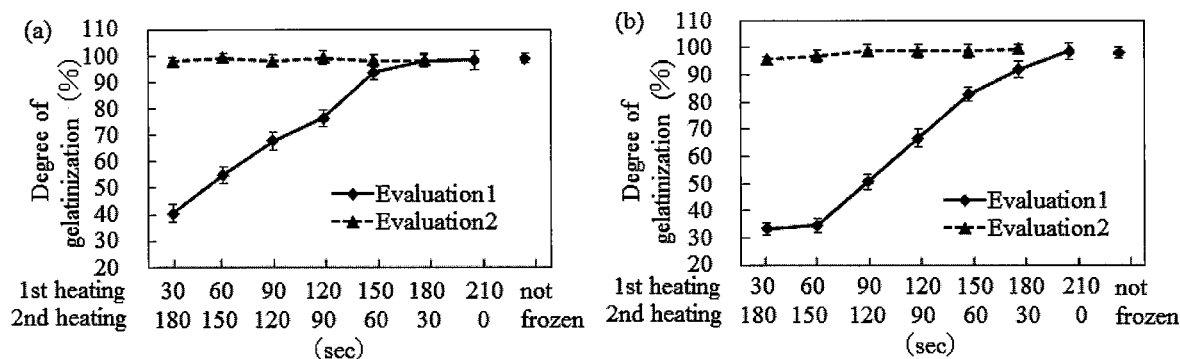


Fig. 1 Gelatinization degree of grain of (a) ‘miryoku’ and (b) ‘yuagari-musume’. Evaluation 1; Quality after 1st heating, freezing and running water thawing. Evaluation 2; Quality when heated secondary, after Evaluation 1. Date are means $\pm$ SE ($n=5$)

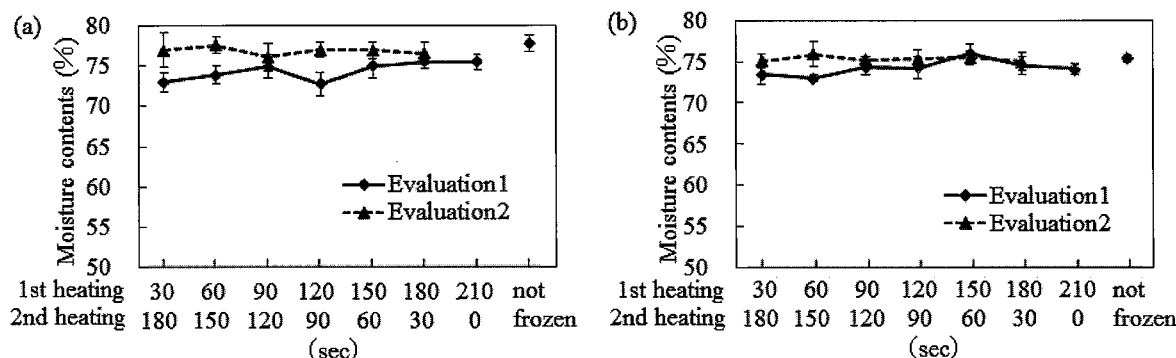


Fig. 2 Moisture contents of grain of (a) ‘miryoku’ and (b) ‘yuagari-musume’. Evaluation 1; Quality after primary heating, freezing and running water thawing. Evaluation 2; Quality when heated secondary, after Evaluation 1. Date are means $\pm$ SE ($n=5$)

検体でも 75~76% となり, 検体間での水分率の差は小さくなった. 合計 210 秒加熱された検体は, 凍結, 未凍結に関わらず同等の水分率を示し, 凍結は水分率に大きな影響を与えないことが確認された.

3.3 最大荷重の変化

‘味緑’と‘湯あがり娘’を各条件で加熱, 凍結, 解凍した際の子実の最大荷重の変化を Fig. 3 に示す. 両品種とも, 1 次加熱時間が長くなるに伴い, 凍結, 解凍後の最大荷重が低下する傾向がみられた. これら子実を, 加熱時間が合計 210 秒になるように 2 次加熱すると, ‘味緑’の検体 3, 4, ‘湯あがり娘’の検体 3 は最大荷重があまり低下せず, 他検体に比べてやや高い値となった. 検体 1, 2 は 1 次加熱後の最大荷重は高いが, 2 次加熱により大きく低下した. ‘味緑’の検体 5, 6, ‘湯あがり娘’の検体 4~6 は, 1 次加熱後の荷重は低い, 2 次加熱による低下率は小さかった. 合計 210 秒加熱された検体を比べると, 凍結検体は未凍結検体に比べて最大荷重が低く, 凍結により最大荷重が低下することが確認された.

3.4 付着性の変化

両品種を各条件で加熱, 凍結, 解凍した際の子実の付着性の変化を Fig. 4 に示す. 両品種とも, 1 次加熱時間が長くなるに伴い, 凍結, 解凍後の付着性が上昇する傾向がみられた. ‘味緑’は 1 次加熱 90 秒, ‘湯あがり娘’は 1 次加熱 120 秒から大きく上昇した. ただし, ‘味緑’の検体 3 と 6 の間で t 検定を行ったが, 有意な差はみられず ($t=0.55$, $df=14$, ns), 1 次加熱 90~180 秒の間では付着性の変化がみられなくなった. これら子実を, 加熱時間が合計 210 秒になるように 2 次加熱すると, 両品種の検体 1, 2 と ‘湯あがり娘’の検体 3 で付着性が上昇した. しかし, それ以外の検体は, 2 次加熱により付着性は維持, または減少した. 合計 210 秒加熱された検体を比べると, 凍結検体は未凍結検体に比べて付着性が高く, 凍結により付着性が上昇することが確認された.

3.5 Crispness Index の変化

両品種を各条件で加熱, 凍結, 解凍した際の子実の CI の変化を Fig. 5 に示す. 両品種とも, 1 次加熱時間が短い方が, 凍結, 解凍後の CI が高い傾向が確認され

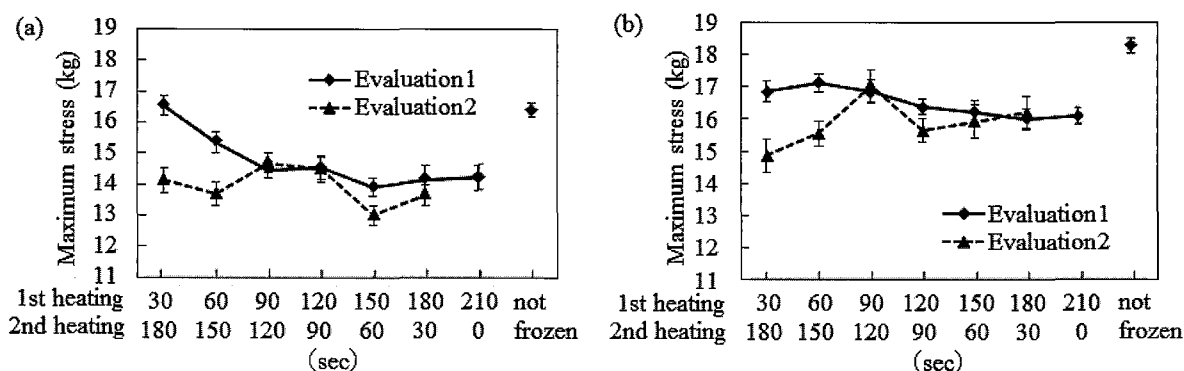


Fig. 3 Maximum stress of grain of (a) ‘miryoku’ and (b) ‘yuagari-musume’. Evaluation 1; Quality after primary heating, freezing and running water thawing. Evaluation 2; Quality when heated secondary, after Evaluation 1. Data are means $\pm$ SE ($n=15$)

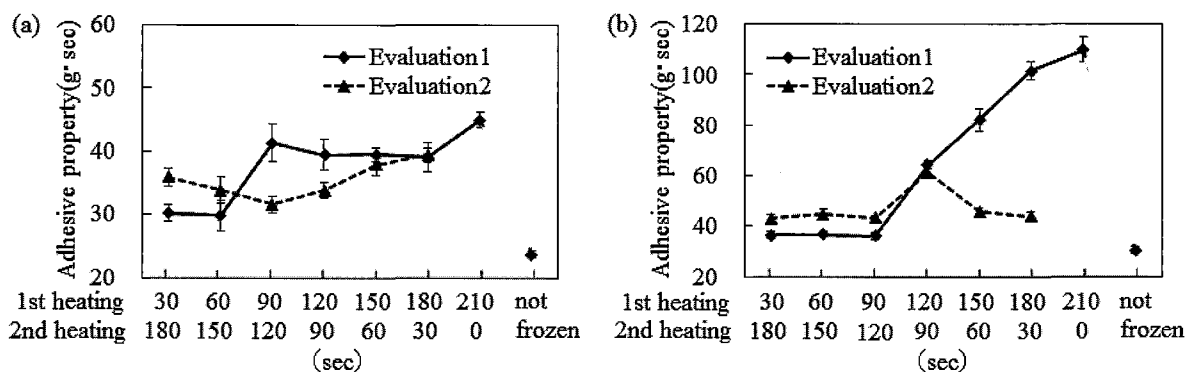


Fig. 4 Adhesive property of grain of (a) ‘miryoku’ and (b) ‘yuagari-musume’. Evaluation 1; Quality after primary heating, freezing and running water thawing. Evaluation 2; Quality when heated secondary, after Evaluation 1. Data are means $\pm$ SE ($n=15$)

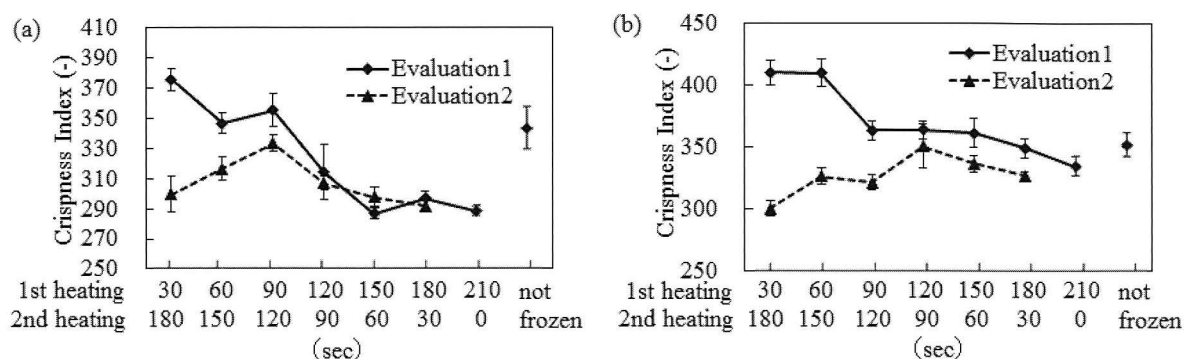


Fig. 5 CI of grain of (a) 'miriyoku' and (b) 'yuagari-musume'. Evaluation 1; Quality after primary heating, freezing and running water thawing. Evaluation 2; Quality when heated secondary, after Evaluation 1. Data are means $\pm$ SE($n=15$)

た。'味緑'は1次加熱120秒、'湯あがり娘'は1次加熱90秒で大きく低下した。これら子実を、加熱時間が合計210秒になるように2次加熱すると、'味緑'の検体3と4、'湯あがり娘'の検体4はCIがほとんど低下せず、他検体に比べて高くなった。検体1、2は1次加熱後のCIが高いが、2次加熱により大きく低下した。'味緑'の検体5、6は、1次加熱後のCIは低い、2次加熱による低下はほとんどみられなかった。'湯あがり娘'の検体3、5、6は検体1、2と検体4の中間の減少率であった。合計210秒加熱された検体を比べると、凍結検体は未凍結検体に比べてCIが低く、凍結によりCIが低下することが確認された。

3.6 子実の微細構造

両品種を各条件で加熱、凍結、解凍した際の子実の微細構造をFig. 6に示す。両品種とも検体3（1次加熱90秒後、凍結、解凍し、2次加熱を120秒行ったエダマメ）において、細胞壁に囲まれた細胞が整列している構造が観察された。検体1（1次加熱30秒後、凍結、解凍し、2次加熱を180秒行ったエダマメ）では、細胞が楕円形に変形している様子が認められた。検体6（1次加熱180秒後、凍結、解凍し、2次加熱を30秒行ったエダマメ）では、細胞構造が観察できなかった。

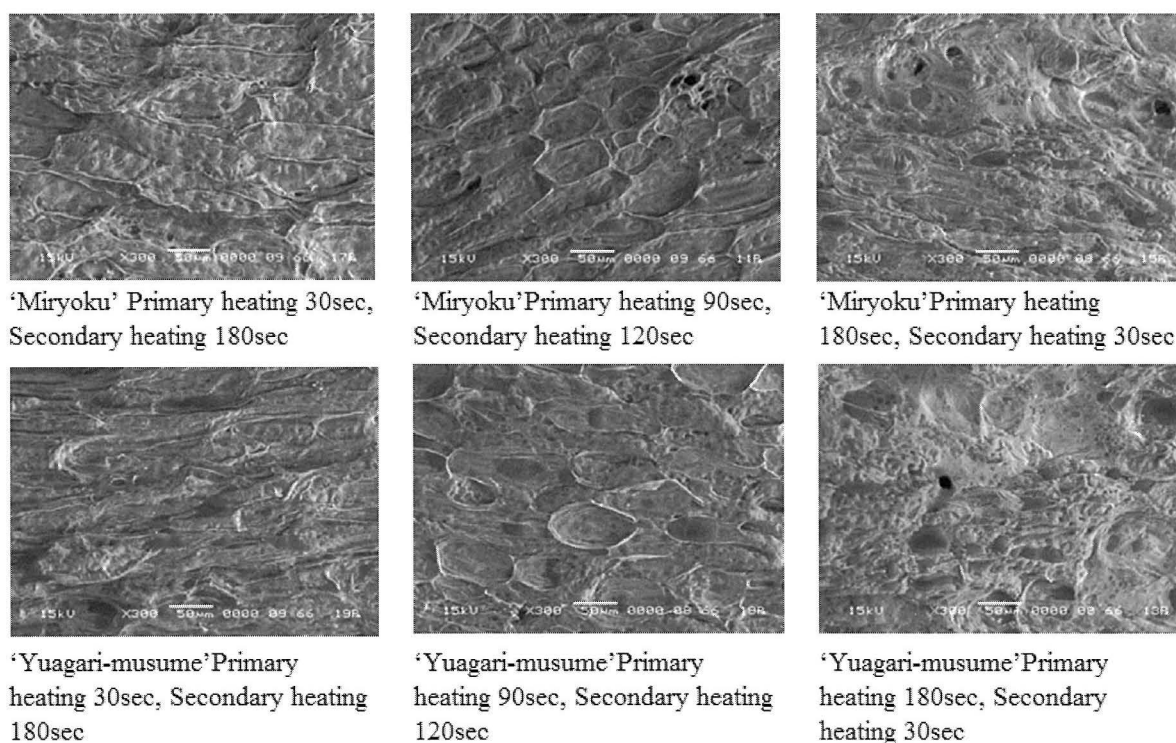


Fig. 6 Microstructure of grain of 'miriyoku' and 'yuagari-musume' after primary heating, freezing, running water thawing and secondary heating. Bar in the figure shows the 50 μ m.

4. 考 察

‘味緑’と‘湯あがり娘’の子実を98℃の湯で30秒1次加熱し、凍結・解凍した際の糊化度を確認すると、30~40%であったが、1次加熱時間が長くなるに伴い、糊化度は上昇した。食用の限界とされる糊化度についてはコメにおいて研究されており、概ね70%以上と報告されている[15]。エダマメにおいて、糊化度70%を超えるためには120~150秒の加熱が必要であった。両品種とも、加熱が一度中断され、その後に凍結されても、合計210秒になるように解凍後に2次加熱することで、未凍結検体と同等の糊化度98%前後まで上昇した。エダマメのゆで時間は短い場合では180秒程度と報告されている[16]。本研究において、180秒加熱したエダマメの糊化度は90%以上の高い値を示し、食用限界の糊化度を十分上回るため、喫食可能であると考えられ、先行研究の結果を糊化度で確認することができた。品種を比較すると、同一加熱時間でも‘味緑’に比べて‘湯あがり娘’の方が糊化度が低く、調理に長い時間が必要であることが確認された。また、‘味緑’より‘湯あがり娘’の方が凍結解凍後の最大荷重が高い結果となったことから、‘湯あがり娘’は組織構造が強固であると考えられた。コメにおいて強固な構造をもつタンパク質が細胞周辺に存在すると、デンプンを必要以上に膨潤させない働きがあることが示されている[17]。エダマメについてもコメと同様に、細胞組織が強固であるほどデンプンが自由に膨潤し難く、同じ加熱時間でも糊化度が低くなったと推測された。

1次加熱時間が長くなるに伴い、水分率が上昇する傾向がみられた。デンプンが糊化、膨潤する際に、水分を必要として吸水が発生したことが原因と推測された。コメは糊化する際に水分率が約45%増加するが[18]、これに比べるとエダマメの水分率上昇は小さかった。食品成分表によると、コメの水分率が15%であるのに対し、エダマメの水分率は71%と高い[11]。両品種とも、加熱を一度中断しても、合計210秒になるように2次加熱すると、1次加熱時間に関わらず、いずれの検体も‘味緑’は約77%、‘湯あがり娘’は約75%と同等の水分率となった。十分な糊化に必要な水分率は30%以上と言われており[19]、もともとエダマメは十分高い水分率であるため、加熱糊化に伴う吸水はあまり必要としなかったと考えられた。これは糊化度と類似の傾向であり、1次加熱を中断し、間に凍結処理を行っても、糊化度がほぼ同一となるよう2次加熱を行うことで、ほぼ同一の水分率が得られることを確認された。また、‘味緑’と‘湯あがり娘’で水分率に大きな差はみられなかった。

1次加熱時間が長くなるに伴い、凍結、解凍後の最大荷重は低下した。加熱に伴い、ペクチン質が分解し、

低分子化、可溶化したことによる細胞間の接着力の低下[20]、デンプンの糊化、膨潤が関与すると考えられた。一方で、1次加熱時間が長くなるに伴い、付着性は上昇した。‘味緑’、‘湯あがり娘’のいずれでも糊化度50%を超えると急激に付着性が高くなった。デンプンが糊化したことにより、粘りが生じたためと推測された。CIは加熱時間が長くなるに従い低下した。これは、最大荷重での結果と同様にペクチンの影響が大きいと推測され、ペクチンが失われると野菜の張りが低下するといわれている[20]。エダマメの場合も同様で、加熱に伴い歯切れが低下したと考えられた。

これら様々な糊化度で凍結、解凍されたエダマメを、合計210秒になるように2次加熱すると、得られる物性は検体間で異なった。‘味緑’は糊化度55~76%、‘湯あがり娘’は糊化度67~83%で凍結したエダマメは、2次加熱を行ってもCIの大きな低下がみられず、他に比べて高い値を示した。‘味緑’の糊化度41%以下、‘湯あがり娘’の糊化度51%以下で凍結したエダマメは、2次加熱によりCIが大きく低下した。‘味緑’の糊化度94%以上、‘湯あがり娘’の糊化度92%以上で凍結したエダマメは、2次加熱による低下は小さかった。しかし、1次加熱、凍結、解凍後のCIが低いため、2次加熱後の値は低かった。最大荷重については‘味緑’は糊化度68~76%、‘湯あがり娘’は糊化度51%で凍結したエダマメにおいて、2次加熱により低下し難い結果が得られた。CIと同様に半分程度糊化させて凍結したエダマメは、解凍後の荷重値が高く、2次加熱による変化も小さいことから、他に比べて高い値を示す結果となった。付着性については、両品種ともに糊化度60%以下で凍結したエダマメは、2次加熱により値が向上した。糊化が進行することにより粘りが付与されたことが原因と考えられた。糊化度60%以上で凍結したものは、2次加熱により付着性が低下した。ボイル加熱により、糊化したデンプンが水中に流出した可能性が推測された。合計210秒加熱された2次加熱後の付着性を比較すると、‘味緑’は糊化度98%で凍結した検体6、‘湯あがり娘’は糊化度67%で凍結した検体4が高い値を示した。

2次加熱後の加熱時間は、いずれのエダマメも合計210秒のため、熱力価は同じであり、ペクチン質の分解など加熱に伴う反応もほとんど同程度進行したと推測された。上述したように、糊化度と水分率も検体間で大きな差はなく、物性が異なる原因はこれ以外にあると考えられた。検体間で異なるのは凍結時の糊化度であり、これが物性に影響を与えたと推測された。デンプンは、アミロペクチンが結晶性のミセル構造を取り、アミロースがミセルの間隙に非結晶状態で整然と配列した構造である[21]。未糊化のデンプンは非常に密な結晶構造を持ち、常温においては水に浸漬しても緩む

ことはない。よって、糊化度が低い状態で凍結すると、デンプンが強固な結晶構造のため壊れにくく、水が内部まで入り込んでいないため氷結晶による損傷を受けにくい。結果として組織が比較的保持され、2次加熱によりほぼ完全糊化しても、CIや硬さが高い値になると推測された。SEMによる観察において、50~70%の半糊化状態で凍結した後、加熱によりほぼ完全糊化されたエダマメは細胞構造が保持されていることが確認された。一方、90%以上の高い糊化度で凍結した後、加熱によりほぼ完全糊化されたエダマメは最も細胞損傷が大きかった。上述したように、糊化度が高いデンプンは結晶構造が壊れ、水が内部まで入り込んだ状態である。つまり、凍結により、無数の氷結晶が内部まで生成し、細胞が破壊されたと考えられた。

糊化とはデンプンを水と加熱することで、デンプンの分子間結合が切断され、規則性を失い、保水して膨潤し、糊状になることである。つまり、糊化度が異なると自由水と結合水の割合が変化する。また、結合水は自由水に比べて凍結し難いといわれている[22]。つまり、凍結時の糊化度が低すぎると、自由水の割合が高いために氷結晶が多くなり、細胞が損傷し、2次加熱によりほぼ完全糊化した状態ではCIや硬さが大きく低下し、低い値となったと推測された。また、通常、冷凍野菜製造の際には、生鮮野菜をブランチングといわれる加熱処理を行った後、凍結を行う。ブランチングの一番の目的は野菜に含まれるペルオキシダーゼなどの酵素を失活させて保存性を付与させることであるが、野菜の細胞壁や維管束などの組織を適度に軟化させ凍結膨張に耐えやすくする効果があるといわれている[23]。したがって、低い糊化度で凍結したエダマメをほぼ完全糊化した際にCIや硬さが低かった原因として、1次加熱が弱すぎたことで組織に適度な柔軟性が付与されず、凍結時の氷結晶による損傷が大きかった可能性が考えられた。

糊化度50~83%で凍結し、2次加熱により糊化度98%にしたエダマメの最大荷重とCIは、他糊化度で凍結したエダマメよりも、未凍結エダマメに近い値を示した。付着性については、‘味緑’は半糊化状態で凍結したエダマメは未凍結に近い値を示した。ただし、‘湯あがり娘’では未凍結との差が広がった。

このように、半糊化状態で凍結することで、氷結晶による損傷を抑え、エダマメ本来の食感を比較的保持できることが確認された。しかし、半糊化状態で凍結したエダマメは、解凍しただけでは糊化度が低いため、消費者はそのまま食することができず、加熱調理してから喫食することが好ましいと考えられる。よって、糊化度50~83%の半糊化の状態で冷凍したエダマメを、消費者が流水解凍し、ボイル加熱により糊化度90~100%に調理する製品を設計することで、生鮮に近い物

性をもつ良食感の冷凍エダマメを提供できると考えられた。

5. 結 論

凍結時の糊化度がエダマメの物性に及ぼす影響を、‘味緑’と‘湯あがり娘’を用いて調査し、以下の知見を得た。

糊化度55~83%で凍結したエダマメは、解凍後の荷重、CIがともに高かった。2次加熱により約98%まで糊化させても、荷重、CIは大きく低下しなかった。糊化度41%以下、または92%以上で凍結後、約98%まで糊化させたエダマメに比べて高い値を示した。

糊化度41%以下で凍結したエダマメは、解凍後の荷重、CIがともに、糊化度55~83%で凍結したエダマメより高い値を示した。しかし、2次加熱により約98%まで糊化させると、荷重、CIは大きく低下した。

糊化度92%以上で凍結したエダマメは、解凍後の荷重、CIがともに糊化度83%以下で凍結したエダマメより低い値を示した。また、追加加熱により約98%まで糊化させても、荷重、CIは大きく低下しなかった。

SEMによる観察においても、糊化度55~83%で凍結した後、約98%まで糊化されたエダマメは他に比べて細胞構造が保持されていることが確認された。

引 用 文 献

- 1) T. Ito; Action process of Chinese frozen vegetables (Chugoku reitouyasai no torikumi keii ni tsuite), J. Pesticide Sci., **35**, 66-72 (2010).
- 2) H. Mizuno, S. Hashimoto, N. Tanaka, T. Yamamoto, R. Nakano, K. Ushijima, Y. Kubo; "Effect of storage temperature and configuration on postharvest quality of the green soybean" (in Japanese). J. Japan. Soc. Hort. Sci., **14**, (2015)
- 3) Y. Shono; "Study on preserving the quality of green soybeans" (in Japanese). J. Home Econ. Jan., **38**, 1057-1062 (1987).
- 4) K. Akimoto, S. Kuroda; "Quality of green soybeans packaged in perforated PE/PP film" (in Japanese). J. Japan. Soc. Hort. Sci., **50**, 100-107 (1981).
- 5) Y. Sato, M. Arisaka; Method to maintain the freshness of the green soybean (Edamame no sendo hozihou), Rept. Food Res. Inst. Niigata Pref., **35**, 7-12 (2001).
- 6) H. Ando, M. Watanabe, S. Oshita, T. Suzuki; "Effect on osmotic dehydrofreezing on fresh vegetable tissue" (in Japanese). Food preservation science, **34**, 261-266 (2008).
- 7) I. Igarashi, Y. Sakata; "Development of a firm-fruit cucumber (*Cucumis sativus* L.), 'Kyuri Chuukanbohon Nou 4'" (in Japanese). Bull. National Res. Inst. Veg. Tea, **6**, 59-63 (2007).

- 8) R. Nakagawa, N. Kitamura, D. Yasokawa, T. Ikeda, K. Nagashima; "Development of a freezing technology for the preservation of vegetables" (in Japanese). Bull. Hokkaido Food Pro. Res. Cent., **3**, 59-63 (1998).
- 9) S. Tamura, C. Kawamura, T. Senda, M. Fuchigami; "Effects of various salts on the softening of cooked Japanese radish roots and on the fine structure of the parenchyma cell wall after cooking" (in Japanese). J. Home Econ. Jan., **44**, 633-641 (1993).
- 10) S. Tamura; "Histological study on foods" (in Japanese). J. Home Econ. Jan., **45**, 773-781 (1994).
- 11) Y. Kagawa; "Standard tables of food composition in Japan. Fifth revised and enlarged edition (Gotei zouho syokuhin seibunhyou)", Kagawa Nutrition University Publishing Division, Tokyo, Japan, 2011, pp.46-47.
- 12) H. Okadome, H. Toyoshima, M. Suto, I. Ando, K. Numaguchi, N. Horisue, K. Ohtsubo; "Palatability evaluation for Japonica rice grains based on multiple physical measurements of individual cooked rice grain" (in Japanese). J. Japan. Soc. Food Sci. Technol., **45**, 398-407 (1998).
- 13) H. Horie, H. Ito, K. Ippoushi, K. Azuma, I. Igarashi; "Evaluation of the physical quality of the mesocarp of cucumber fruit" (in Japanese). Hort. Res. Japan, **3**, 425-428 (2004).
- 14) A. Matsunaga, K. Kainuma; "Studies on the retrogradation of starchy foods (Part 1) retrogradation of cooked rice" (in Japanese). J. Home Econ., **32**, 653-659 (1981).
- 15) S. Ayabe; Comparison of the cooking characteristics of Japonica rice and Indica rice (Indica mai to Japonica mai no Cyoritokusei no hikaku), J. Cook. Sci. Jpn., **41**, 283-288 (2008).
- 16) N. Miyake, K. Sakai, A. Igarashi, E. Suzuki, T. Kurata; "Effect of boiling on the contents of taste compounds and vitamin C in edamame (vegetable soybeans)" (in Japanese). J. Cook. Sci. Jpn., **40**, 189-192 (2007).
- 17) H. Kuwada, A. Teramoto, Y. Jibu, M. Tabuchi, M. Fuchigami; "Texture and fine structure of cooked brown rice" (in Japanese). J. Cook. Sci. Jpn., **44**, 137-144 (2011).
- 18) M. Kasai; "The visualization and quantification of water distribution in rice grains during cooking" (in Japanese). J. Japan. Soc. Food Sci. Technol., **58**, 506-510 (2011).
- 19) Syokuhin kagaku binran hensyu iinkai; " (Syokuhin kagaku binran)", kyoritsu publishing, Tokyo, Japan, 1978, p.241.
- 20) M. Fuchigami; Effects of heating on the quality of vegetables pectin (Yasai no kanetsu to pectin sitsu), J. Cook. Sci. Jpn., **40**, 1-9 (2007).
- 21) Y. Miura; "Thermal analysis on gelatinization and retrogradation of starch" (in Japanese). Bull. Hiroshima Jogakuin Univ., **53**, 79-87 (2003).
- 22) M. Takada, A. Tanigome, J. Takahashi, F. Nakazawa; "Thermal analysis of freezable water in raw and gelatinized starch-water systems" (in Japanese). J. Japan. Soc. Food Technol., **59**, 56-62 (2012).
- 23) Y. Kumagaya, Y. Yamada, T. Kojima; "Frozen food production handbook (Reitou syokuhin seizou handbook)", Kourin, Tokyo, Japan, 1994, pp.142-143.

引用 URL

- i) www.reishokukyo.or.jp/25sokuhousiryoku (Jul. 22, 2014)

要 旨

エダマメを凍結すると細胞が損傷し、食感品質が低下する。デンプンを多く含むため、食感に影響する要素として糊化度に注目し、凍結時の糊化度が物性に及ぼす影響を、‘味緑’と‘湯あがり娘’を用いて調査した。

加熱時間を変えて糊化度の異なるエダマメを数種類作成し、凍結した。流水解凍した後、再度加熱し、ほぼ完全に糊化させた。物性を測定した結果、凍結時の糊化度の影響を受けて検体間で異なる値を示した。糊化度 55~83% で凍結したエダマメは、解凍後の荷重、CI 値が高く、ほぼ完全に糊化させても値は大きく低下せず、他糊化度で凍結したもの比べて高い値を示した。しかし、糊化度 41% 以下で凍結したエダマメは、解凍後高い荷重、CI 値を示すが、加熱によりほぼ完全に糊化されることで値が大きく低下した。また、糊化度 92% 以上で凍結したエダマメは、解凍後の時点で低い荷重、CI 値を示し、ほぼ完全糊化の加熱により値が若干低下した。