

食べる機能が低下した方に適した食事調製

Nursing-care food appropriate to people with dysphasia

濟渡久美*

Kumi SAITO

With the rapidly aging population, an increase in number of the people with dysphasia has been observed. Hope has been placed on nursing-care food that takes into account the safe food form to prevent choking as well as the enjoyable factor. Based on the above, this study aimed to propose nursing-care food preparations using molecular gastronomy to make food softer while maintaining its shape, and create new food forms.

As for making it softer, we cooked beef and pork shanks as animal food and apples for a plant food at low temperature under vacuum for a long time. For a novel food form, we prepared foamy food by adding various food thickeners (gelatin, xanthan gum, and ι -carrageenan) to liquid protein sources (soy milk and milk) in espuma.

The beef and pork shanks and apples showed the properties of dysphasia food while retaining their original shapes. The soy milk and milk espuma containing thickeners were highly stable and also exhibited the properties of dysphasia food.

Molecular gastronomy is thus useful for preparing nursing-care food. In order for our findings to gain acceptance, it is necessary to adjust the temperature and time parameters for peak softening that is appropriate of each kind of food, as well as to verify food hygiene and safety.

Key words: Dysphasia, Nursing-care food, Molecular gastronomy

摂食・嚥下困難、介護食、分子調理

はじめに

我が国は、高齢化の急速な進行を背景に、食物の安全な送りこみができない摂食・嚥下困難者が増加しており¹⁾、特に高齢者は、誤嚥による肺炎や窒息で生命が脅かされる可能性が高いと考えられている²⁾。摂食・嚥下困難者の食事において、最優先させなければならないのは、誤嚥に対して安全な食品物性である、との認識が高まった³⁾。各分野で、食機能に対応して食形態の段階的構成と分類に向けた取り組みが行われ、UDF区分、えん下困難者用食品許可基準、嚥下食ピラミッド、スマイルケア食等が示された。さらに、これらの基準を統一、共通言語化したものとして嚥下調整食学会分類が示された⁴⁾。嚥下調整食学会分類を、病院・施設・在宅医療および福祉関係者が共通して利用することにより、摂食・嚥下困難者が必要な対応を、切れ目なく受けることができる体制が構築されている⁵⁾。

嚥下調整食の課題として、見た目がよくない、バリエーションに乏しい、飽きてしまう等があげられ⁶⁾、このことによる拒否感、抵抗感から食事摂取量の低下に伴う栄養状態の低下や予後の悪化が懸念される。そのため、安全性を重要視する嚥下調整食の要素に、食べる楽しみ

やおいしさの視点を加えた食事が求められており、これが介護食である。すなわち、嚥下調整食は、介護食に包括される⁷⁾。

嚥下調整食では、食品物性としてかたさ、付着性、凝集性、粘性について段階的な基準値が把握できるように示されている⁴⁾。そして、食事調製にあたっては、微視的な食品物性コントロールが必要となる。食品には調理特性があり、調理特性を理解し調製することが重要となる。求められる介護食の調製に取り組むにあたって、既存の調理法の中に、その原理およびメカニズムを確認し、それをどのようにコントロールしていくかが必要となる。限られた食品物性範囲内で、嚥下調整食に多様性をもたらし介護食を実現する一手法として、分子調理が有用であると考えた。

分子調理とは、調理に関する現象、おいしい料理の要因を分子レベルで解明する科学としての分子調理学と、新たな調理方法の開発を、分子レベルで解明された原理に基づいて行う技術としての分子調理法から構成される。両者を関係づけて進めることが、より新たな調理方法の開発には重要である⁸⁾。

そこで、分子調理法を用いて介護食の課題を解決し、

*宮城学院女子大学 食品栄養学科

新しい介護食の提案を目的に取り組んだ。「見た目がよくない」については、真空低温調理法を用いて動物性食品として食肉の牛すね肉、豚すね肉、植物性食品として果物のリンゴについて、形状を保持した状態での軟化に取り組んだ。「バリエーションに乏しい」については、エスプーマ法を用いて豆乳および牛乳に、各種増粘剤を添加し、泡沫食品を作製し、新しい食形態の提案に取り組んだ。本稿ではその概要を紹介する。

1 真空低温調理法による調製

真空調理法は「食材を調味料・調味液と一緒に真空包装し、袋ごと低温加熱する調理法」と定義されている。真空状態という閉じた系内で食材の芯温を58℃~95℃の範囲で加熱することにより通常の調理法と比較して、水溶性成分の流出が少なく食品成分の熱変化が緩慢である特徴を有し、特有のテクスチャーや風味が発現される⁹⁾。利点として、軟らかく多汁に仕上がること、ビタミンの破壊が抑制されること、少量の調味料で味が均一に浸透すること等その他、実用性が高く評価され、食事提供の場で広く普及しつつある¹⁰⁾。おいしさの向上のためには、食材の細胞構造や成分の特徴に応じた加熱温度と加熱時間すなわちTT条件が重要となる¹¹⁾。

1. 真空低温調理による動物性食品の調製¹²⁾

食肉においては、構成するタンパク質の特性により軟らかく仕上げるのが活用され、研究報告は多く挙げられているが、2日以上長時間調理の報告はほとんどない。食肉の中でもかたい部位を用いて真空低温調理を長時間実施することは、より好ましい調理条件に関するより多くの情報が得られる可能性があると考えた。そこで、真空低温調理による牛すね肉と豚すね肉への長時間加熱が及ぼす影響を整理し、介護食への応用を検討した。

(1) 方法

物理化学的特性について、牛すね肉、豚すね肉解凍後、それぞれの重量に対して1%重量の食塩を添加し、真空パック後、55、60、65、70、75℃で、1、3、5、7日間のTT条件で加熱した。調理した牛肉・豚肉を1.5 cm×1.5 cm×0.9 cm、20±2℃のものを測定試料とし、かたさ、水分含有量の測定、タンパク質の電気泳動を実施した。

官能評価について、試料は、調理温度牛すね肉65℃、豚すね肉70℃で調理時間1日を基準とし、調理時間3、5、7日間調理したものを試料とした。かたさ、多汁感、うま味、香り、脂っこさ、色、総合評価の7項目について、評点法(両極7点尺度法)で行った。

(2) 結果および考察

Fig. 1に牛すね肉、Fig. 2に豚すね肉の調理条件によるかたさ値を示す。牛すね肉について、全ての時間条件で55℃と比較して60、65、70、75℃のいずれの温度も軟らかかった。全ての温度条件で1日目から5日目までは時間経過とともに軟らかくなった。しかし、55、60、65℃で調理した場合、5日から7日にかけて、硬くなった。全ての温度条件で7日は1日と比較して軟らかかった。豚すね肉について、60、65、70、75℃の温度条件では1日から3日にかけて時間経過とともに軟らかくなった。全体的に、牛肉より豚肉は軟らかい傾向にあった。

調理肉のテクスチャーは、おもに筋原線維タンパク質のアクチン、ミオシンの変性による硬化と、結合組織タンパク質コラーゲンのゼラチン化による軟化の進行バランスで決定される¹¹⁾。タンパク質の熱変性温度帯はタンパク質によって異なり、ミオシンが40~50℃、アクチンが65~75℃、コラーゲンが55~100℃とされている¹³⁾。肉の食感ミオシンの変性による影響を比較的受けないが、アクチンが変性し始めると大きく収縮してかなり硬化し、その過程で、離水された水が排出され保水性、多

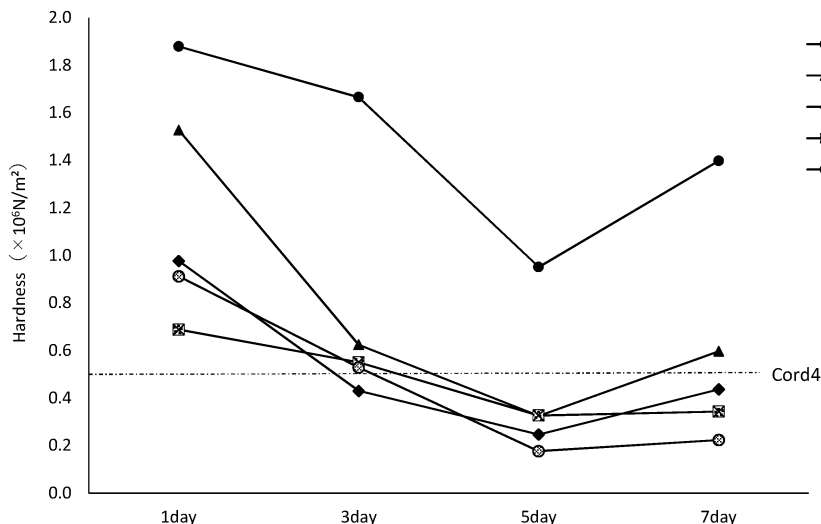


Fig. 1 Effects of the cooking conditions on hardness of the beef shanks

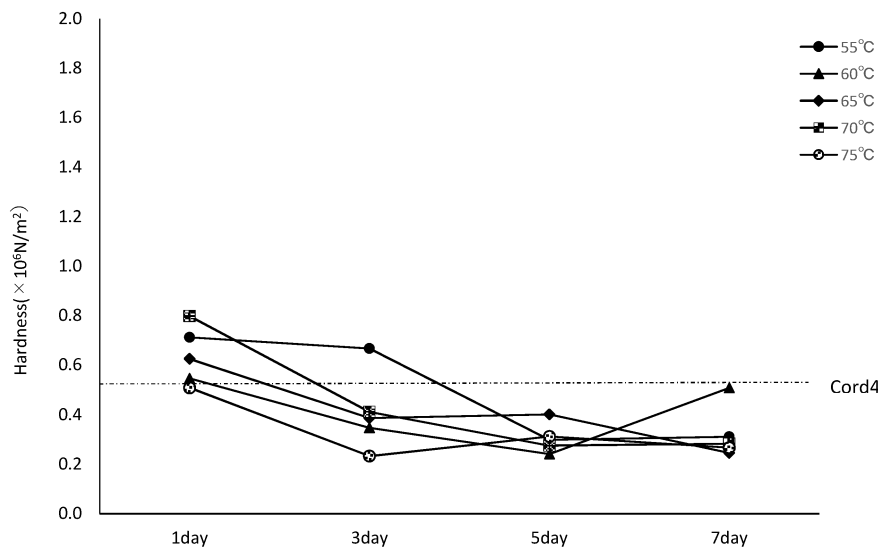


Fig. 2 Effects of the cooking conditions on hardness of the pork shanks

汁性が低下する¹⁴⁾。したがって、ミオシンの変化に関係なく、アクチンの構造を維持する温度で肉を調理すること、すなわち低温調理は、水の損失を最小限に抑え、軟らかさ、保水性、多汁性を維持するための有効な手法であるといえる。一方、コラーゲンは3重らせん構造がほぐれた後いったん収縮し、さらに加熱するとコラーゲン鎖間の結合が切れてゼラチン化が起こる。筋繊維はコラーゲンを含む結合組織に囲まれており、これらのプロセスが進行すると、繊維が緩み始め、結果として軟らかくなる¹⁵⁾。ゼラチン化は加熱温度が高いほど短時間に進行するが、変性の最低実用温度は55°Cとみなされ¹³⁾長時間を要するとされている¹³⁾¹⁵⁾。アクチンの変性温度に強く影響を受けていたと仮定すれば調理温度70°C、75°Cではかたさが増加するが、逆に低下したことは、アクチンの変性による硬化よりコラーゲンの変性による軟化の影響を強く受けたためと考えられる。加熱開始後、短時間加熱の段階では筋原繊維タンパク質変性が肉の軟化に寄与しているが、長時間加熱段階ではコラーゲンのゼラチン化が支配的に進行し、アクチンの変性温度を超えても肉の軟化が進んだと思われる。以上のことから、55°C~75°Cの低温調理におけるかたさは短時間調理では筋原繊維タンパク質変性、長時間調理ではコラーゲン変性の影響を強く受けると考えられる。

55°Cが最もかたかったのは、55°Cという低温であったことで熱が伝わりにくく、タンパク質の変性がゆっくりと進行したためと考えられる。

60°C以上の調理では牛肉、豚肉とも調理温度間に有意差は少なかった。しかし、牛肉では1日目よりも5日目で、豚肉では1日目から3日目で有意に軟らかくなった。これらの傾向は、肉の軟らかさは調理温度よりも調理時間の影響を強く受けていることを示唆している。さらに55°C、60°C、65°Cで調理された牛肉は、5日目から7日

目にかけてかたくなったことからコラーゲン変性による軟化にも限界があると考えられる。コラーゲンの変性が進むと水分が流出し肉の水保持能力は低下する¹⁵⁾。コラーゲンは時間の経過とともに徐々に変性するため、肉の水分含有量は、調理時間が長いほど減少したと考えられる。牛肉の調理温度65°Cでは、5日目まで水分含有量が減少したが7日目にかけて再吸収された。これはコラーゲン変性により生じたゼラチンが膨潤して水と結合し結着性を生じた¹³⁾可能性があると思われた。ここで、肉組織から自由水として押し出された水分が無秩序な高分子の断片によって捕捉され、組織を膨潤させる。5日間調理では、筋線維がゆるみ、構造が破壊され、測定の際、レオメーターのプランジャーに対する抵抗力が弱まった。圧縮により繊維が解け、緩く結合した分子内の水が押し出されてかたさ値の低下につながった。逆に結着性がみられた7日間の調理後、水はこれらの隙間を「埋め」、水素結合によって組織のマクロ構造を強化し、かたさ値の上昇に影響を及ぼした。この水分の損失と、多汁性の低下が肉を乾燥させ、かたさ値の低下につながったと結論づけることができる。

牛すね肉と比較して豚すね肉は、全体的にかたさが低い傾向がみられ、測定値の差が小さく試料間の有意差が少なかった。要因の一つとして、調理前の肉が牛肉の方がかたかったことがあげられる。かたさは、筋線維を束ねる結合組織である筋周膜、筋内膜の量（厚さ）と丈夫さに影響を受ける¹⁵⁾。筋周膜と筋内膜の量については、主構造物のコラーゲン線維が多いほど膜は厚くなり食肉はかたくなる。豚の筋肉と牛の筋肉では筋束の構築が異なっており、豚は筋細胞が数十本集まって筋束を形成しているが、牛は、小筋束を形成したうえで筋束を形成しているため、膜量が多くなっていると考えられる。野口らが実施した肉類のコラーゲン量測定では牛すじ肉が最

も含量が高かった (4,980 mg/g) という報告もある¹⁶⁾。膜の丈夫さについては、コラーゲン線維は、束内の分子同士が共有結合で架橋をつくると丈夫になり、食肉はかたくなる。体を支えるコラーゲン線維は個体サイズが大きい動物ほど丈夫になる¹⁵⁾ ため牛肉の方がかたい。これは牛肉が一般的に豚肉よりもかたい理由の一因となる。さらに、動物は成長にともなって筋肉コラーゲン線維含有量と架橋密度が増加する。豚は一般的に成熟前にと畜されるのに対し、牛は成熟してからと畜される事実も、牛肉の方がかたい理由となる。これらのことを考慮すると、豚肉と比較して低温長時間調理に対する牛肉は、コラーゲン含有量と架橋密度が高いことの結果であると結論づけることができる。

官能評価の結果、牛すね肉、豚すね肉とも、かたさ、多汁性、脂っこさ、香り間に強い相互関係を示唆しており、軟らかいものが、高く評価された。

牛肉、豚肉ともに65~75℃の調理温度で嚙下調整食コード4に対応するUDF区分「容易にかめる」および「歯ぐきでつぶせる」かたさとして応用できるTT条件があった。調理時間のコントロールにより嚙下調整食の物性基準を満たし、「形状を維持したまま軟化する介護食の調製」に応用できることが示唆された。その際、肉種や部位などに応じた軟化のピークに適応した温度×時間条件で調理することが重要である。

2. 真空低温調理による植物性食品の調製¹⁷⁾

我が国において、リンゴは、健康保持・増進に寄与すると広く認識され¹⁸⁾、いる。一方で、剥くのが面倒である、咀嚼力が低い人にとってはかたく摂取しにくいとも言われており、消費ニーズに合致した加工法が望まれている¹⁹⁾。真空調理によるリンゴコンポート調製の研究報告は複数あるが、調理条件は95℃30分程度のTT条件がほとんどであり、75℃2時間より低温長時間の報告は見当たらない。果実類の軟化は、細胞間の接着維持の役割をしているペクチン質と、細胞の形や強度に関するセルロース、ヘミセルロースの量的、質的な変化による²⁰⁾。果実類の真空調理温度はセルロースが破壊される温度帯の90~95℃が適切であるとされ²¹⁾ リンゴコンポートについてはこの温度帯での報告がほとんどである。真空加熱調理によるかたさの仕上がりには、細胞膜中層部のほぼ全体を占めているペクチン質が分解および溶解することで細胞間の結合が失われ軟化する機序が重要である。また、リンゴは、いも類、根菜類、果実類で見られる55~70℃の温度帯でのペクチンメチルエステラーゼ (PME) による組織硬化が起こらない²²⁾。以上のことから、リンゴコンポートの真空調理は低温域からの軟化が予測された。そこで、既報の調理温度と時間帯を拡大し、真空調理したリンゴの温度時間条件による影響を整理することは、期待する様々な仕上がりのニーズに適した最適条件

の設定を可能にし、マニュアル化の一助となると思われる。以上のことをふまえ、真空低温調理によるリンゴへの長時間加熱が及ぼす影響を整理し、介護食への応用を検討した。

(1) 方法

物理化学的特性について、リンゴを洗浄殺菌後、剥皮、くし形に8等分して芯を除き、30%濃度で、リンゴに対して50%重量シロップとともに真空パックに入れ、真空処理を行った。60、70、80、90℃、1時間、12時間、24時間、48時間のTT条件で加熱調理した。厚さ1.2cmの扇形に成形し、20±2℃のものを試料とし、かたさ、色調、糖度、pHを測定した。官能評価は、物性測定の結果より、時間による物性変化が顕著に認められた調理温度条件70℃のものを用いた。調理時間1時間を基準とし、かたさ、甘さ、酸味、香り、色、総合評価の6項目について7段階評点法で実施した。

(2) 結果および考察

調理条件によるかたさの測定結果をFig. 3に示す。12時間までは温度が高いほど軟らかい傾向がみられた。80℃以上では、ある一定のかたさになるとそれ以上、かたさ値は低下せず、90℃では12時間以降は上昇した。リンゴの加熱による軟化はペクチンの分解の進行が強く関与する。しかし、限界があり、軟らかさの限度に達した後は、拡散作用によりリンゴから水分が流出し体積が減少したため凝縮した状態になり、測定結果としてかたさ値が増加したのではないかと推察された。70℃は時間経過とともにかたさ値の低下がみられた。リンゴの物性変化に依存する温度は70℃であり、長時間調理に有効な温度条件ではないかと考えられる。

ペクチン質の分解に影響を及ぼす因子として、加熱温度の他、pH、塩類等があげられている。ペクチン質は中性・アルカリ性ではβ-脱離、酸性では加水分解される²²⁾。リンゴはリンゴ酸等の影響で全ての試料がpH4未満と酸性であったことから、ペクチン質が加水分解により軟化したと思われる。

調理条件による明度L値の測定結果をFig. 4に示す。L値(明度)について、70℃以上で時間経過とともに低下する傾向がみられた。L値と同様のことが外観から観察された。色調は調理時間温度条件の影響を強く受け、時間経過、温度の上昇に伴って褐変が進行すると考えられる。褐変の原因として、ポリフェノールオキシダーゼ (PPO) による酵素的褐変と、カルボニル基を有する化合物とアミノ基を有する化合物との成分間反応によりメラノイジンが形成される非酵素的褐変メイラード反応がある。加熱によりアスコルビン酸の消失と、PPOの失活が起きた場合は、メイラード反応による褐変が考えられるが、緩やかな加熱であること、PPOの失活温度は60℃~70℃程度²³⁾、果物の種類によって異なる²⁴⁾ など様々な説があることから、単一の反応だけではないと推

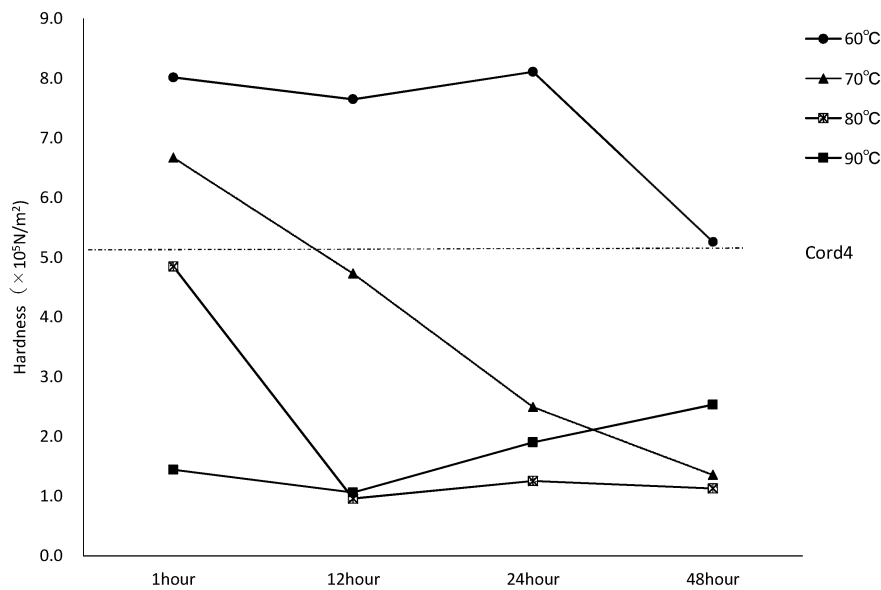


Fig. 3 Effects of the cooking conditions on hardness of the apple compotes

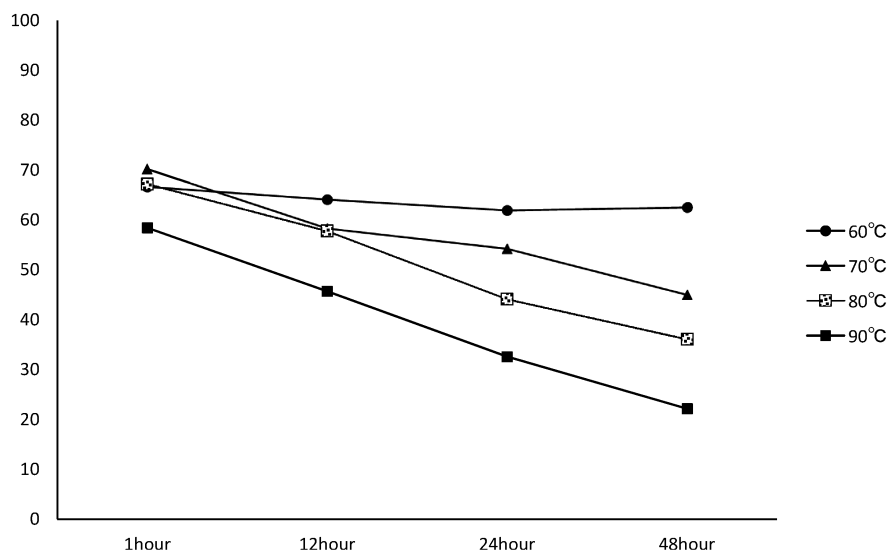


Fig. 4 Effects of the cooking conditions on color of the apple compotes (L Value: brightness)

測される。徐々に加熱した初期の褐変化ではPPOによる酵素的褐変の影響が大きく、長時間加熱による経時的な褐変化は、メイラード反応による影響が大きかったのではないかと考えられる。各調理条件における変化が酵素的褐変か、非酵素的褐変か、もしくはその両方の反応かということに関しては更なる検討が必要である。温度設定が、細胞の形や強度に関するセルロースの破壊開始温度 92°C以下であったことと、食材を攪拌しない真空包装での調理であったことから煮崩れしない仕上がりになった。

官能評価結果から、リンゴコンポートのかたさがあり色が明るいもの、すなわち短時間調理のものが好まれる傾向にあると考えられた。

一方で、リンゴの真空調理において、かたさと色の反

応機構が異なることから加熱時間・温度条件によりそれぞれの反応速度が異なることを利用して、長時間加熱することによって、かたさと色をコントロールできるとわかった。調理条件によるかたさと色調の関係をまとめたものを Fig. 5 に示す。60°C調理では色は明るく、かたさはかたいものに仕上がりと、70°C調理では色はやや明るく、かたさは軟らかいものからかたいものまで幅広く作ることができ、80°Cではかたさは比較的軟らかく色は明るいものから暗いものまで幅広く作ることができ、90°Cでは色は比較的暗く、軟らかいものを作ることができると考えられ、仕上がりのニーズに適した調製法のマニュアル化ができる可能性がある。

70~90°Cの調理温度で嚥下調整食コード4に対応するUDF区分「容易にかめる」および「歯ぐきでつぶせる」

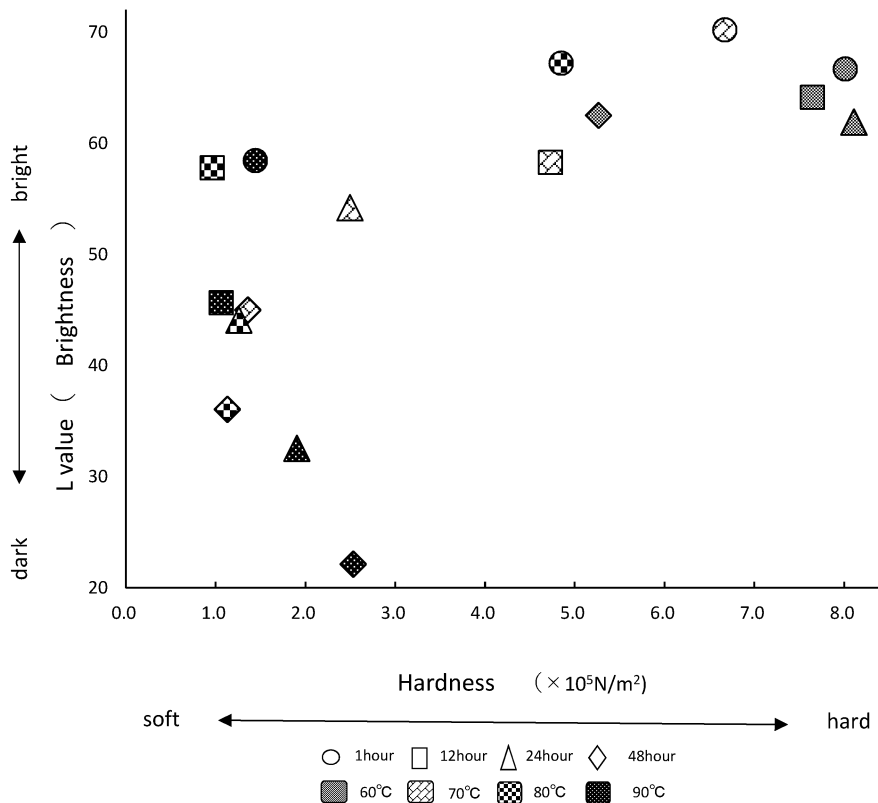


Fig. 5 Effects of the cooking conditions on hardness and color of the apple compotes¹⁷⁾

かたさとして応用できるTT条件があった。調理時間のコントロールにより嚥下調整食の物性基準を満たし、「形状を維持したまま軟化する介護食の調製」に応用できることが示唆された。その際、時間経過に伴い明度が低下した。リングの長時間真空調理は、温度×時間条件調整により異なるかたさおよび色に仕上げることができるため、目的に応じて効果的に調製する手段として有用であると考えられる。

II エスプーマ調製²⁵⁾

「エスプーマ」とは、二酸化炭素 (CO_2) や亜酸化窒素 (N_2O) を使用し、食材を泡沫状にした料理、またその調理法、分子調理の革命的な器具であり、スペイン語で泡を意味している²⁶⁾。専用のボトルに食品を入れ、高圧でガスを注入し、ボトルをふると、食品とガスが混ざり、レバーを引くとノズルを通して発泡しながら泡沫を絞り出すことができる。この際、ガスは膨張するが、食材の凝固成分も一緒に膨張するため膨らむと考えられている²⁶⁾。二酸化炭素は、食品中で炭酸が発生し、シュワシュワとした食感に加え、わずかな酸味や苦味が食品へ付与する。カートリッジの形で一般家庭向けに販売されている²⁷⁾。亜酸化窒素で作ったエスプーマは食材のもとの風味に大きな影響を与えないが、二酸化炭素よりも水へ溶解しづらいため泡沫の安定性がやや劣る。亜酸化窒素は、諸外国では古くからクリームが発泡剤用の食

品添加物として認められており、広く利用されてきた。日本では2005年に食品添加物として認められた。使用許可を受けた飲食店などで利用することができ、家庭は使用が難しく、個人がエスプーマを利用できる範囲は狭いのが現状である。

1. 増粘剤添加によるエスプーマ調製

多くの食品のエスプーマは気泡の消滅が短時間に進行するため、エスプーマの調製および提供において、泡沫の安定が大きな課題である。溶液の粘性を高め、水を保持できる機能を有する物質を加えることにより、泡沫の安定性を向上できる可能性がある²⁸⁾。エスプーマは、嚥下調整食に応用できると考えられており²⁹⁾、泡沫ゲル、泡状米粥、泡状パン粥、泡状納豆、牛乳および発酵乳の調製等の報告がある。しかし、市販のテクスチャー改良剤に用いられている増粘剤添加によるエスプーマの報告は見当たらない。泡沫の安定性が高く嚥下調整食に適した物性を有したエスプーマの調製方法を検討することにより新しい食形態の嚥下調整食になり得ると考える。そこで、エスプーマへの増粘剤添加による物理的特性および官能特性に及ぼす影響を整理し、介護食への応用を検討した。

(1) 方法

物理的特性の測定は、食材として、良質のタンパク質供給源であり、均質な液状であることから豆乳および牛

Table 1 Physical properties of the soymilk N₂O espuma by adding thickener²⁵⁾

sample	no thickener		gelatin		xanthan gum		ι-carrageenan				
	concentration		0.5%	1.0%	2.0%	0.1%	0.2%	0.4%	0.05%	0.10%	0.20%
density (g/ml)	0.28±0.02		0.30±0.01	0.32±0.00	0.36±0.20**	0.34±0.00*	0.42±0.01***	0.50±0.03***	0.33±0.00	0.51±0.06***	0.33±0.02
hardness (N/m ²)	114.8±3.1		145.6±6.8*	155.8±7.2***	221.4±22.7***	205.0±17.6***	168.0±12.8***	242.2±13.0***	139.6±6.1	262.0±7.3**	454.8±77.8***
adhesiveness(J/m ³)	21.8±6.6		71.2±8.2***	76.6±7.5***	111.2±18.3***	116.2±11.9***	100.8±7.3***	154.8±13.5***	69.4±6.1	140.2±14.2***	260.8±83.2***
cohesiveness	0.65±0.17		0.65±0.17*	0.65±0.07*	0.85±0.11**	0.69±0.04***	0.81±0.11***	0.82±0.05***	0.59±0.09*	0.69±0.08***	0.74±0.02***
criteria for acceptability of foods			NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	III

Mean ± standard deviation NA: Not applicable

(n=5 density n=3)

* Symbols indicate significance of difference compared with no thickener

** p < 0.05

*** p < 0.001

**** p < 0.0001

Table 2 Physical properties of the milk N₂O espuma by adding thickener²⁵⁾

sample	no thickener		gelatin		xanthan gum		ι-carrageenan				
	concentration		0.5%	1.0%	2.0%	0.1%	0.2%	0.4%	0.05%	0.10%	0.20%
density (g/cm ³)	0.32±0.01		0.28±0.00***	0.37±0.01***	0.41±0.01***	0.34±0.00**	0.42±0.01***	0.49±0.02***	0.35±0.01	0.44±0.01	0.58±0.10**
hardness (N/m ²)	96.7±8.0		142.6±11.4	134.4±13.0	459.0±46.2***	103.6±5.2	142.8±9.3***	205.6±13.8***	115.5±4.1	196.8±11.9***	253.4±25.4***
adhesiveness(J/m ³)	40.0±5.6		61.0±9.1	55.4±12.6	233.0±18.2***	46.0±5.4	68.4±17.4*	108.8±14.7***	53.8±5.6	106.6±9.9***	151.0±16.9***
cohesiveness	0.73±0.18		0.78±0.05	0.56±0.09	0.84±0.03	0.79±0.10	0.60±0.21	0.61±0.08	0.91±0.09	0.63±0.02	0.73±0.05
criteria for acceptability of foods			NA	NA	III	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Mean ± standard deviation NA: Not applicable

(n=5 density n=3)

* Symbols indicate significance of difference compared with no thickener

** p < 0.05

*** p < 0.001

**** p < 0.0001

乳を、封入ガスとして N_2O 、 CO_2 を、増粘剤としてゼラチン、キサンタンガム、 ι -カラギーナンをそれぞれ用いた。豆乳または牛乳に、増粘剤を添加し、完全溶解させ、ボトルに充填可能な流動状態にした。エスプーマ泡沫は、エスプーマアドバンスディスペンサーに泡沫作製用に調製した豆乳または牛乳を入れ、 CO_2 、 N_2O をそれぞれ充填し、ボトルを上下に10回振った。20℃で3時間静置後、ノズルを取り付け、抽出し試料とした。エスプーマ泡沫と比較するための攪拌泡沫は、泡沫作製用に調製した豆乳をスタンドオートミキサーを用いて、180±10 rpm、20±2℃で1分間攪拌し、試料とした。密度（起泡性）、分離液量割合（安定性）、pH、粘度、かたさ、付着性、凝集性を測定した。

官能評価は、基準試料を豆乳攪拌泡沫とし、増粘剤無

添加の豆乳 N_2O エスプーマ、豆乳 CO_2 エスプーマ、0.2% ι -カラギーナン添加の豆乳 N_2O エスプーマの3種類とした。飲み込みやすさ、べたつきやすさ、香り、甘味、苦味、総合評価について、評点法（両極5点尺度法）で若年層と高年層の2つの年齢層で実施した。

(2) 結果および考察

物理的特性について、豆乳、牛乳ともに、各増粘剤添加により粘度が上昇した。Table 1 に豆乳 N_2O エスプーマ、Table 2 に牛乳 N_2O エスプーマの増粘剤添加による密度（起泡性）、テクスチャー特性の結果を示す。密度が低いほど、起泡性は高いことを示している。豆乳 N_2O エスプーマおよび牛乳 N_2O エスプーマともに増粘剤添加濃度が高いほど密度が高い傾向が見られ、起泡性が低かった。濃度が高いほど粘度が上昇し、ガスが入りにく

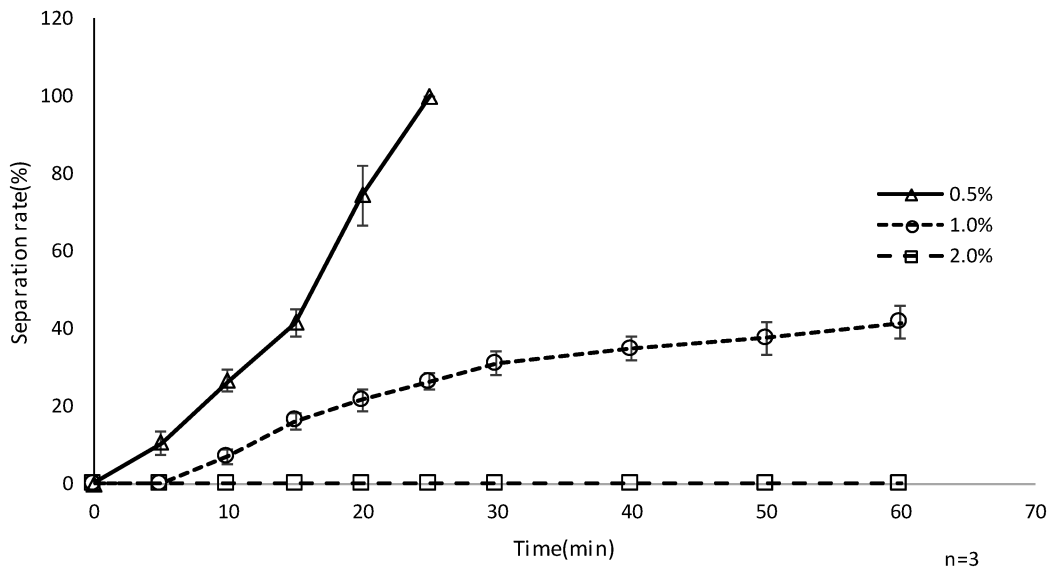


Fig. 6-1 Separation rate of the soymilk N_2O espuma by adding getatin²⁵⁾

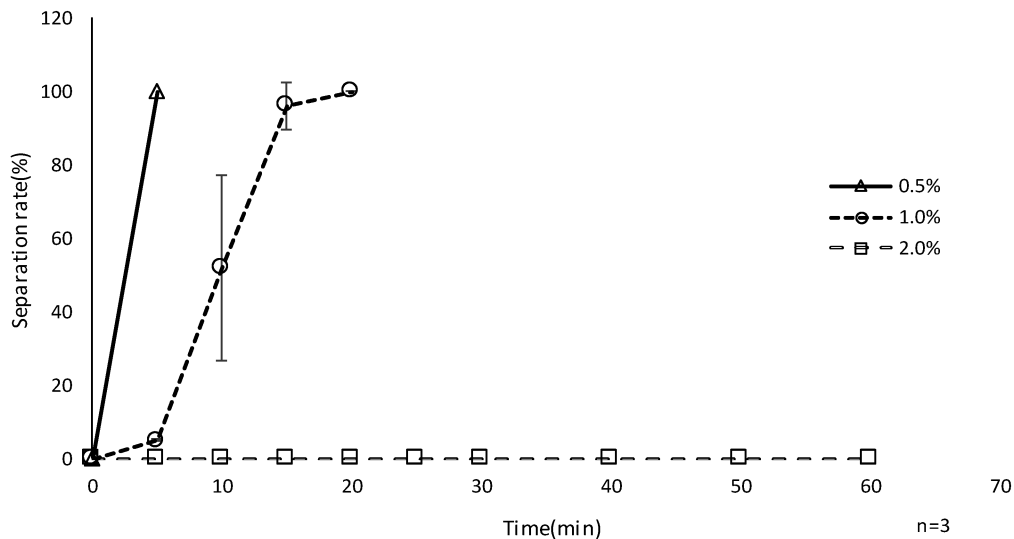


Fig. 6-2 Separation rate of the milk N_2O espuma by adding getatin²⁵⁾

くなるためだと考えられる。泡沫の形状は、密度が高いほど起泡性が低くもっちりとした泡沫となり、密度が低いほど起泡性が高くふわふわとした泡沫となった。起泡性は安定性と異なり高い方がよいと評価できるわけではなく、好みや食べやすさなど求められている理想的な泡沫を形成するために、安定性と組み合わせて増粘剤の種類や濃度をコントロールすることが重要であるといえる。豆乳 N₂O エスプーマ、牛乳 N₂O エスプーマともに増粘剤の添加濃度が高いほど、かたさ、付着性が上昇する傾向がみられた。

分離液量割合（安定性）の経時変化について、ゼラチン添加を Fig. 6-1（豆乳）、Fig. 6-2（牛乳）に、キサンタンガム添加を Fig. 7-1（豆乳）、Fig. 7-2（牛乳）に、 ι -カラギーナン添加を Fig. 8-1（豆乳）、Fig. 8-2（牛乳）にそれぞれの結果を示す。分離液量割合が少ないほ

ど安定性が高く、分離液量が0のときは分離が起こっていない安定な泡沫であることを示す。豆乳 N₂O エスプーマおよび牛乳 N₂O エスプーマともに、全ての増粘剤で濃度が高いほど分離液量割合の増加が緩やかとなる傾向がみられ、泡沫の安定性が向上した。

ゼラチン添加について、2.0%添加で豆乳 N₂O エスプーマ、牛乳 N₂O エスプーマとも 60 分間経過後も液体分離が見られず安定性が高かった。ほとんど液体が分離する時間を比較すると、豆乳エスプーマの方が安定性が高い傾向にあった。

キサンタンガム添加について、豆乳 N₂O エスプーマ、牛乳 N₂O エスプーマ間で同様な傾向がみられた。0.4% 添加の豆乳 N₂O エスプーマ、牛乳 N₂O エスプーマともに 60 分間経過後も液体分離がみられなかった。0.1% 添加では豆乳 N₂O エスプーマ、牛乳 N₂O エスプーマとも

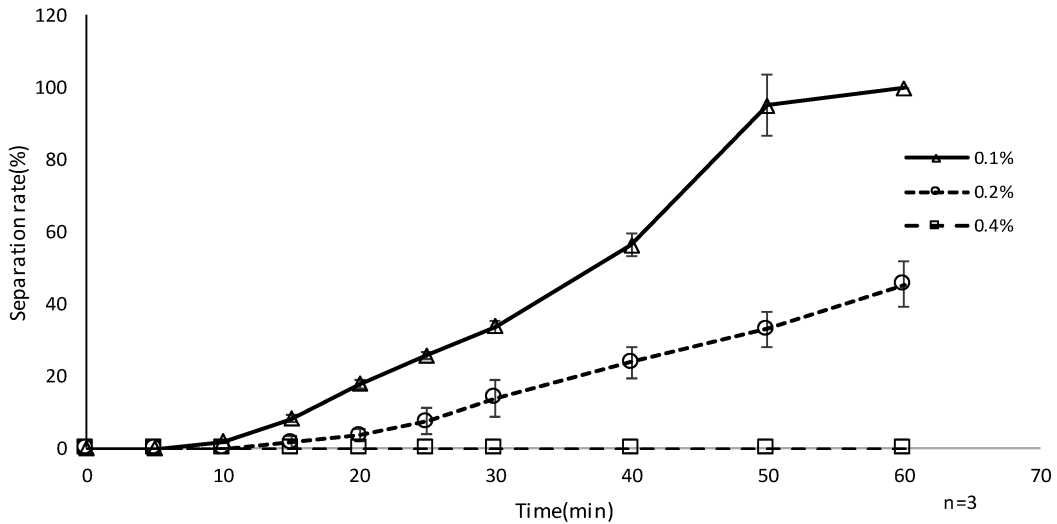


Fig. 7-1 Separation rate of the soymilk N₂O espuma by adding xanthan²⁵⁾

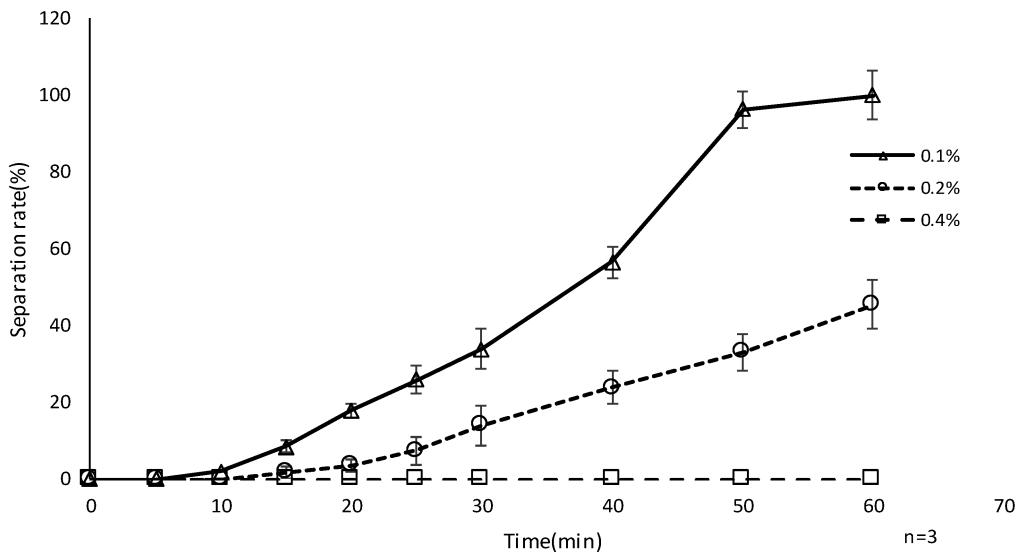


Fig. 7-2 Separation rate of the milk N₂O espuma by adding xanthan²⁵⁾

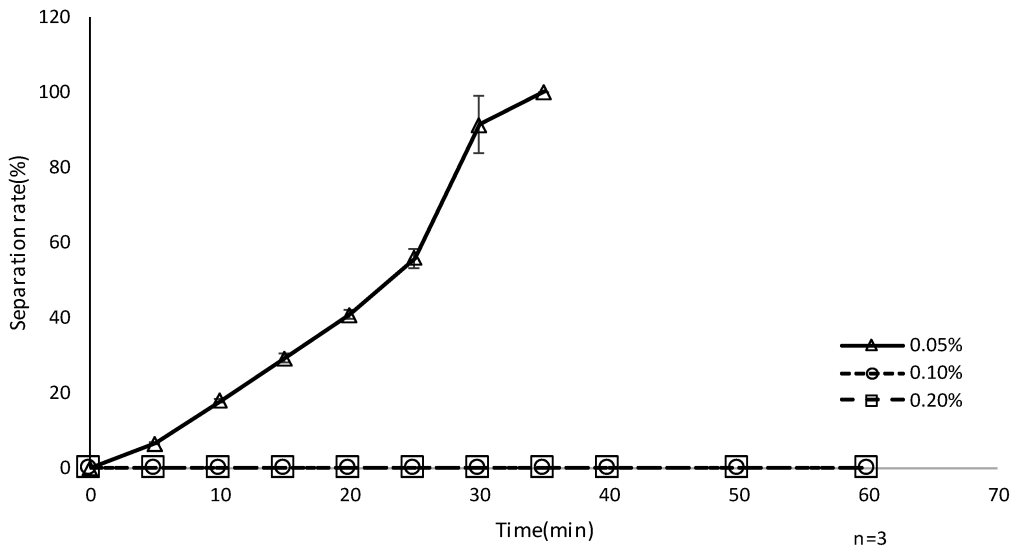


Fig. 8-1 Separation rate of the soy milk N₂O espuma by adding κ-carrageenan²⁵⁾

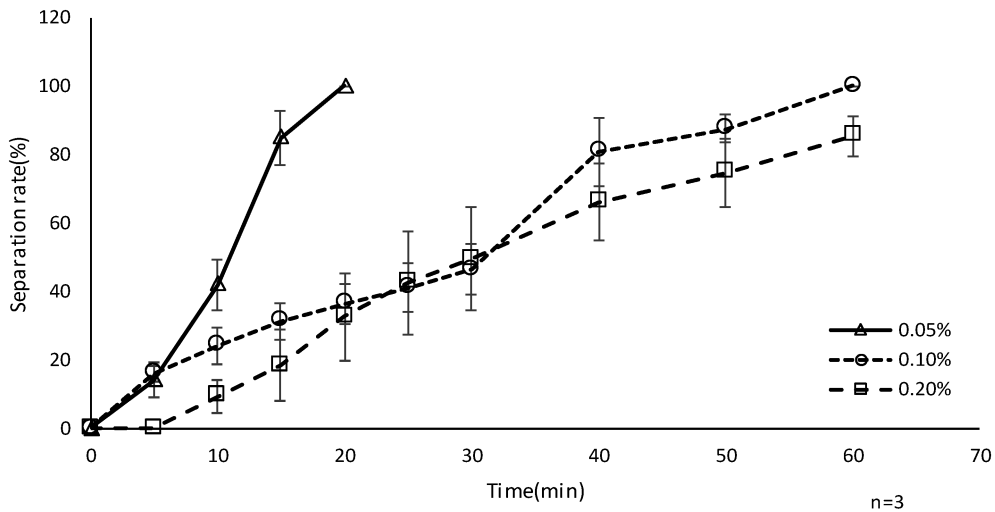


Fig. 8-2 Separation rate of the milk N₂O espuma by adding κ-carrageenan²⁵⁾

に5分後から分離が開始し50分後にどちらもほとんど液体が分離した。キサンタンガムは、主鎖に対する側鎖の割合が大きく、マイナス荷電の多い長い側鎖が主鎖を包み固い棒状の剛直構造をなし³⁰⁾、その分子同士が会合して形成した擬ゲル化状態のネットワーク中に水を保持できる空間をもつ³⁰⁾。キサンタンガムを添加したエスプーマでは、添加濃度の増加に伴いネットワークが密になることで保水性が高くなり、試料の成分特性および物性よりも添加濃度による影響を強く受けると考えられる。

κ-カラギーナン添加について、0.1および0.2%添加の豆乳 N₂O エスプーマは60分間経過後も液体分離が見られず、安定性が高かった。しかし、牛乳 N₂O エスプーマ0.05%添加で20分後、0.1%添加で60分後、0.2%添加で70分後（図に示していない）にほぼ全ての液体分離した。カラギーナンの特異的な特徴の一つにタンパク質

との反応があり、基本構造の硫酸基が反応に関わっていると推定されている³⁰⁾。特にκ-カラギーナンは3、6-アノヒドロ α-D-ガラクトース基のC-2位部に硫酸基があるため、非常に保水性が高く離水の少ない弾力のあるゲルを形成する。このことより、豆乳は牛乳と比較してκ-カラギーナンと反応できるタンパク質を多く有していたため低濃度でもタンパク質と反応しゲル化した可能性がある。κ-カラギーナン添加による泡の安定性について、豆乳 N₂O エスプーマでは高い効果が見られたが、牛乳 N₂O エスプーマでは低いことがわかった。

官能評価の結果若年層では、豆乳攪拌泡沫を基準とした場合、豆乳 CO₂ エスプーマと比較して豆乳 N₂O エスプーマおよび0.2%κ-カラギーナン添加豆乳 N₂O エスプーマの方が飲み込みやすく、甘いと識別され、総合評価が高かった。N₂Oガスは甘さを呈すると言われており³¹⁾、それを支持する結果が得られた。苦味は豆乳 CO₂

エスプーマが豆乳 N₂O エスプーマおよび 0.2% L-カラギーナン添加豆乳 N₂O エスプーマと比較して有意に苦いと識別され総合評価が低かった。苦味については CO₂ の豆乳への溶存や pH が低下したことが影響したと考えられる。その影響で豆乳 CO₂ エスプーマは味の抑制効果により甘味を感じにくくなったのではないかと考えられる。今回の濃度で増粘剤を添加した付着性 200~300 J/m³ 程度のものが好まれる傾向があることがわかった。

高年層では、飲み込みやすさ、苦味は若年層と似た傾向がみられた。若年層と高年層で同様な結果が得られたため、嚥下困難者の嗜好においても参考になるのではないかと考えられる。

本研究では豆乳および牛乳を実験試料に用いたが、食品成分と増粘剤成分の組み合わせ、および増粘剤の濃度により反応が異なり、最適な増粘剤の種類や濃度が食品によって異なることが示唆された。60 分間以上泡沫から溶液が分離せず、安定性が高いゼラチン添加牛乳 N₂O エスプーマ、L-カラギーナン添加豆乳 N₂O エスプーマで、嚥下調整食コード 2「口腔内の簡単な操作で食塊状となるもの」に応用できることが示唆され、護食の新しい食形態として期待される。その際、増粘剤の種類や濃度条件を調整することが重要である。

おわりに

既存の分子調理法を用いて、新しい介護食の提案にむけた取り組みを紹介した。真空低温調理では形状保持のままの軟化、エスプーマでは新しい食形態としての可能性が新たな知見として得られた。今後の展望と課題について、下記に述べる。

真空低温調理では、真空調理法のメリットを理解しつつ、病院、施設の導入率が低いのは衛生的な懸念の影響が大きく、科学的根拠をもった管理基準を設けて食品衛生管理をすることが強く求められている³²⁾。真空調理法の衛生管理に関する検討に取り組み、データを蓄積することが、不安感を軽減し普及の一助になると思われる。いっぽうで、今回得た調理条件で、真空パックと比較して低コストのポリエチレン袋等を使用して、食材の軟化および衛生上の安全が確認できれば、災害時や調理担当者の負担軽減に応用できるのではないかと考えた。

エスプーマについて、これまでの研究は、食事時間を通して安定した物性を優先したが、今後は、エネルギー・たんぱく質密度を高める工夫に取り組みたい。例えば、食味に影響を及ぼしにくい中鎖脂肪酸やマルトデキストリン等を添加して、その影響を検討すること等である。

本稿は、宮城学院女子大学生生活環境科学研究所 2022 年度第 1 回公開研究会で講演した内容をまとめたものである。

参考文献

- 1) 独立行政法人国立長寿医療研究センター：平成 23 年度老人保健事業推進費等補助金老人保健健康増進等事業摂食嚥下障害に係る調査研究事業報告書 (2012)
- 2) Lindroos, E., Saarel, R., Suominen, M., Muurinen, S., Soini, H., Kautiainen, H., Pitkälä, K. Burden of Oral Symptoms and Its Associations With Nutrition, Well-Being, and Survival Among Nursing Home Residents, *J Am Med Dir Assoc*, Vol.20(5), 537-543 (2019)
- 3) Sungsinchai, S., Niamnuay, C., Wattanapan, P., Charoenchaitrakool, M., Devahastin, S. Texture Modification Technologies and Their Opportunities for the Production of Dysphagia Foods: *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. Vol.18(6), 1898-1912 doi.org/10.1111/1541-4337.12495 (2019)
- 4) 日本摂食嚥下リハビリテーション学会嚥下調整食委員会：日本摂食嚥下リハビリテーション学会嚥下調整食分類 2021. *日本摂食・嚥下リハビリテーション学会誌*. Vol.25(2), 135-149 (2021)
- 5) 宮崎純一、中川幸恵、藤井文子、原 純也、渡辺啓子、石川祐一：医療栄養情報提供書発行の有用性について. *日本栄養士会雑誌*. Vol.60(6), 27-35 (2017)
- 6) 農林水産省：これからの介護食品をめぐる論点 (2013)
- 7) 大越ひろ：ユニバーサルデザインフード 介護食の現状と課題. *食品工業* Vol.30(1), 20-26 (2009)
- 8) 石川伸一：分子調理学のすすめ. *日本家政学会誌*. Vol.70(10), 692-695 (2019)
- 9) Renna, M., Gonnella, M., Giannino, D., Santamaria, P. Quality evaluation of cook-chilled chicory stems (*Cichorium intybus*L., Catalogna group) by conventional and sousvide cooking methods. *Journal of Science of Food and Agriculture*. Vol.94(4), 656-665 (2013)
- 10) 村上和保、門出清香、表 彩子、佐藤佑子、竹森真由美、立道洋子、和田貴臣、三好真理：真空調理過程におけるセレウス菌の消長. *日本家政学会誌*. Vol.57(12), 793-798 (2006)
- 11) 石渡奈緒美、福岡美香、為後彰宏、酒井 昇：真空調理法に基づく畜肉加熱処理時のタンパク質変性分布および微生物挙動の予測：日本食品工学会誌. Vol.14(1), 19-28 (2013)
- 12) Saito, K., Yoshinari, M., Ishikawa, S. Effects of low-temperature long-time sous-vide cooking on the physicochemical and sensory characteristics of beef and pork shank. *Journal of Culinary Science & Tech-*

- nology. DOI:10.1080/15428052.2020.1821859 (2020)
- 13) Baldwin, D. Sous vide cooking: A review. *International Journal of Gastronomy and Food Science*. Vol.1, 15-30 (2012)
- 14) 福岡美香、酒井 昇：加熱調理の最適化を目指した物性変化の予測. *計測と制御*. Vol.54(5), 356-360 (2015)
- 15) 沖谷明敏. 肉の科学. 朝倉書店、(2000)
- 16) 野口知里、小林身哉、小山洋一：20代から50代日本人女性における食事由来コラーゲン推定摂取量の特徴. *栄養学雑誌*. Vol.70(2), 120-128 (2012)
- 17) 濟渡久美、吉成愛未、石川伸一：低温長時間処理が真空調理したリンゴの物理化学および官能特性に及ぼす影響. *日本食生活学会誌*. Vol.31(3), 123-130 (2020)
- 18) 西谷真人、赤染陽子、神田智正：りんごポリフェノール「アップルフェノン」の生活習慣病に対する有用性. *日本補完代替医療学会誌*. Vol.6(2), 69-74 (2009)
- 19) 農林水産省：果樹をめぐる現状 (平成30年9月) <http://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/fruits/attach/pdf/index-57.pdf> (2019.3.29 参照)
- 20) 真部正敏：果実組織の硬度とペクチン質. *日本食品工業学会誌*. Vol.28(12), 653-659 (1981)
- 21) 神田知子：スチームコンベクションオープン調理と真空調理の野菜の煮物の品質について. *日本調理科学会誌*. Vol.47(4), 230-232 (2014)
- 22) 香西みどり：野菜の食味と加熱. *日本食生活学会誌*. Vol.17(2), 100-104 (2006)
- 23) 村田容常、本間清一：ポリフェノールオキシダーゼと褐変制御. *日本食品科学工学会誌*. Vol.45(3), 177-185 (1998)
- 24) 村田容常：フェノール類と食品の品質に関する化学的・生化学的研究—生物活性、分析法、酵素的褐変—. *日本食品科学工学会誌*. Vol.48(1), 1-7 (2001)
- 25) 濟渡久美、長谷川莉子、桑原 明、石川伸一：豆乳および牛乳エスプーマへの増粘剤添加が物理的特性および官能特性に及ぼす影響. *日本家政学会誌*. Vol.73(2), 67-78 (2022)
- 26) オーレ・G・モウリットセン、クラフス・ストルベク：“食品中の泡”. *食感をめぐるサイエンス*. 石川伸一編. 化学同人、180-184 (2019)
- 27) 湯浅正洋：ガスを用いて泡立てる分子調理法「エスプーマ」—新しい泡料理の可能性—. *分子調理研究会誌*. Vol.2, 3-4 (2018)
- 28) Li, X., de Vries, R. Interfacial stabilization using complexes of plant proteins and polysaccharides, *Curr. Opin. Food Sci.* Vol.21, 51-56 (2018)
- 29) 藤間紀明、山村千絵：エスプーマ調理器で泡状に加工した納豆の咀嚼・嚥下特性. *日本咀嚼学会雑誌*. Vol.22, 113-121 (2012)
- 30) 國崎直道、佐野征男：海藻由来の食品多糖類、微生物産生食品多糖類. 食品多糖類—乳化・増粘・ゲル化の知識—. 國崎直道、佐野征男編. ㈱幸書房、94-113, 141-153 (2005)
- 31) Nagele, P., Duma, A., Kopec, M., Anne, M., Gebara, A. M., Parsoei, A., Walker, M., Janski, A., Panagopoulos, N. V., Cristancho, P., Miller, P. J., Zorumski, F. C., Conway, R. C. Nitrous oxide for treatment-resistant major depression: A proof-of-concept trial. *Biol. Psychiatry*, Vol.78, 10-18 (2015)