

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 18 日現在

機関番号：32714

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17K00828

研究課題名（和文）繊維状食品添加気泡混合ゲルの物理的特性と咀嚼・嚥下機能

研究課題名（英文）Physical properties and chewing / swallowing characteristics of the gel foods contained a fibrous texture

研究代表者

高橋 智子（Takahashi, Tomoko）

神奈川工科大学・健康医療科学部・教授

研究者番号：10364861

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：ゲル化剤としてネイティブ型ジェランガムを用い、添加濃度を3段階に変え、亜酸化窒素ガスを封入することで、高齢者が食べにくい食品である根菜類ごぼう添加した繊維状食品添加気泡混合ゲルを調製した。力学的特性のひずみと応力の関係では気泡混合ゲルの初期弾性率は基本ゲルに比べ有意に小さく、また、破断点における応力も小さいものとなった。嚥下時筋電位測定の結果、気泡混合ゲルは基本ゲルに比べ、口腔における食塊形成時間、筋活動時間短く、筋活動量も小さくなる傾向を示した。以上より、ジェランガムゲルに気泡を分散させた気泡混合ゲルの嚥下食へ応用が可能になることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ゲルに気泡を分散させた気泡混合ゲルは、咀嚼・嚥下機能が低下した高齢者が食べやすくなるものとして介護食への応用が期待される。本研究では、高齢者が食べにくい食品である根菜類ごぼう添加した繊維状食品添加気泡混合ゲルの物理的特性と食べやすさについて検討した。本研究ではゲル化剤として熱不可逆性、また冷凍耐性のあるネイティブ型ジェランガムを用い、食品添加用の亜酸化窒素ガスを封入して気泡混合ゲルを調製した。その結果、気泡をゲルに混合することで物理的特性は変化し、また、口腔における食塊形成も短い時間で可能であることが示された。以上の結果より、ゲルに気泡を分散させた介護食品の開発が期待される。

研究成果の概要（英文）：I studied the addition density to three phases using native type gellan gum as a gelling agent and prepared the fiber form food addition air bubbles mixture gel which added the burdock by enclosing nitrous oxide gas. The initial coefficient of elasticity of the air bubbles mixture gel was significantly smaller than basic gel, and, also, the stress in the break point became small, too. In comparison with basic gel, the air bubbles mixture gel showed a tendency to become small at bolus formation time in the oral cavity, line activity time as a result of electromyography. It was suggested that was enabled to deglutition food of the air bubbles mixture gel which including air bubbles to gellan gum gel .

研究分野：調理科学

キーワード：気泡混合ゲル 気泡含有率 破断特性 繊維状食品添加気泡混合ゲル 嚥下時筋電位測定 食塊形成時間 筋活動時間

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

本研究では気泡(エスプーマ)をゲルに分散させることで、通常のゲル状食品とは異なる食感、物理的特性が得られることに着目した。気泡を含む食品の多くは、液体の分散媒中に気体が分散した液体状の「泡」と、固体の分散媒中に気体が分散した「固体泡」に分類されている。「泡」に分類される食品としてビール、シャンパン、メレンゲ、ホイップクリーム、抹茶などがあり、「固体泡」に分類される食品としてパン、スポンジケーキ、カステラ、マシュマロ、ムース、はんぺんなどが挙げられる。一般的に気泡を微細に分散させた食品は、気泡を含む食品の壁の弾性率が高くても容易に変形しやすく、食品自体の弾性率が低くなることで食感も変化する。また、食品は気泡の分散させることでその食感は軽く、滑らかになり、場合によってはその食品に清涼感を与え、芳香、匂いの分散を良くし、香りを強くする効果があるとされている。そのほか、気泡の気液界面に成分が濃縮され、構造を変える効果も有する。また、気泡の原料として空気を使用することが多いので、原材料費は安く、食品の物性改質剤として手軽であると言える。一般にはゲル化剤を用いた気泡混合食品として、マシュマロやババロアのようにゼラチンを用いたものや、泡雪羹、サイダー羹のように寒天を用いたものなどがある。近年、軽い食感を求める調理品が多いため、市販の卵白をゲル化剤としたエスプーマベースが冷凍食品として流通している。また、家庭でもエスプーマ調理が楽しめるように、調理器具としてのエスプーマが簡便に入手できるようになった。これらのことをうけて、ゲル状食品に気泡を分散させることで、咀嚼・嚥下機能が低下した高齢者が、歯を使わずに口蓋と舌で容易に咀嚼できる気泡混合ゲルの開発が可能になると考えた。

2. 研究の目的

このような背景をうけて、ゲル状食品に気泡を分散させることで、咀嚼・嚥下機能が低下した高齢者が、歯を使わずに口蓋と舌で容易に咀嚼できる介護食としての気泡混合ゲルの開発を目的とした。加えて、食べにくいとされている繊維状食品である根菜類のペースト状食品を添加した気泡混合ゲル介護食品の開発の検討を行った。気泡混合ゲル介護食品の開発には、それらの物理的特性(力学的特性、組織の状態など)と高齢者の食べやすさの関係を検討することが重要である。そこで、咀嚼・嚥下機能が低下した高齢者が食べやすい気泡混合ゲル介護食品について、その物理的特性を把握する測定方法についても検討した。また、高齢者の口蓋と舌による舌圧についても測定し、開発した気泡混合ゲルの高齢者による食べやすさの検討を行った。

3. 研究の方法

(1) 気泡混合ゲル状嚥下食品に用いるゲル化剤の選定

ゲル化剤と蒸留水を環流冷却管付き丸形フラスコに入れ、室温にて10分間膨潤、熱伝対で温度管理を行いながらマントルヒーターにより加熱後、ゲル化剤の凝固温度付近まで冷却してポンプ式泡ディスペンサーにより亜酸化窒素ガス(食添用)を封入(90で5秒間ガス封入後、ポンプ式泡ディスペンサーを10秒間上下攪拌行う)後、型に流し入れ0氷水により30分間冷却、10恒温器60分間保存し凝固させたものを試料とした。選択したゲル化剤は、一般的にババロアなどのゲル化剤として用いられるゼラチン(凝固温度3~14)、ゼラチンより凝固温度が高い寒天(凝固温度約40)、ネイティブ型ジェランガム(凝固温度60~70)について、調製後の気泡混合の安定状態を比較検討した。その結果、ゲル化剤としてネイティブ型ジェランガムをゲル化剤として用いることとした。ネイティブ型ジェランガムは溶解温度80、凝固温度は最も高く60~70、融解温度70~80の多糖類である。また、ネイティブ型ジェランガムは保存による力学的特性の変化が少なく、離しょう水の発生も少ないことが報告されている。加えて、ネイティブ型ジェランガムの冷凍解凍耐性が優れてい

ることも報告されている。蒸留水に膨潤後 95～100 で加熱、品温 90 でポンプ式泡ディスペンサーにより気泡を封入した。冷却凝固させ試料となった状態でも、気泡の分散は均一となり、ゲル部分との分離は認められなかった。しかし、ネイティブ型ジェランガム添加濃度 0.7%(w/w)以上では、膨潤加熱後の溶液の粘度が高くなりすぎ、気泡の分散が均一な状態にならないことより、本研究ではネイティブ型ジェランガムの添加濃度を 0.4、0.5、0.6%(w/w)で検討した。同時に気泡を混合させていないネイティブ型ジェランガムの添加濃度 0.4、0.5、0.6%(w/w)のゲルを基本ゲルとして対称試料とした。

(2) 繊維状食品である根菜類としてのごぼうを添加した気泡混合ゲルの調製

ごぼうペーストは冷凍ごぼう(水分 88.0%)を使用した。冷凍ごぼうの重量に対し、4.0%のスクロース、1.0%の塩化ナトリウム、蒸留水とともに専用袋に充填し、AUTO VACUUM PACKER (TOSPACK V-221 : TOSEI DENKI)により真空度 600mmHg で 15 秒間脱気を行い真空包装した。真空包装したものを 95 の恒温水槽中 60 分間、加熱を行った。加熱後、高速ミキサー(VITA PREP3)にて回転速度 1,200rpm、攪拌時間 10 秒間で均一ペースト状まで粉碎したものをごぼうペーストとした。ネイティブ型ジェランガムゾルにごぼうペーストを重量比 1 : 1 で混合し、ポンプ式泡ディスペンサーにより亜酸化窒素ガス(食添用)を封入(90 で 5 秒間ガス封入後、ポンプ式泡ディスペンサーを 10 秒間上下攪拌行う)後、型に流し入れ 0 氷水により 30 分間冷却、10 恒温器 60 分間保存し凝固させたものを試料とした。

(3) 測定方法

1) 気泡分散状態の顕微鏡観察

3 段階のジェランガムゲル濃度で調製した気泡混合ゲルの中心部より厚さ 0.5mm の切片を切り出し、測定用試料とした。光学顕微鏡(MT5310L,メイジテクノ(株))を用い 40 倍で、気泡の分散状態を観察した。

2) 気泡混合ゲルの気泡含有率の測定

気泡含有率は以下の式より算出した。

$$\text{気泡含有率(\%)} = \left(1 - \frac{\text{気泡混合ゲルの密度}}{\text{基本ゲルの密度}}\right) \times 100$$

3) 破断特性の測定

基本ゲル、および気泡混合ゲルともに円柱状(直径 30mm × 高さ 15mm)試料を、ガラスリングよりとりだしたものを測定試料とした。クリープメータ(レオナー RE3305B, (株)山電)を用いて、直径 40mm のアクリル樹脂製円盤型プランジャーを使用し、圧縮速度 1.0mm/sec、圧縮率 90.0%で測定を行った。

4) テクスチャー特性の測定

基本ゲル、気泡混合ゲル試料のテクスチャー特性測定は、消費者庁、特別用途食品の表示許可等について、えん下困難者用食品の試験方法、硬さ、付着性および凝集性の方法に準じ、貫入測定を行った。

5) 広がり係数(リング法)

測定には、内径 30mm、高さ 15mm、ガラス部分の厚さ 2.5mm のガラスリングを用いた。リング法は前報 1)2)と同様に測定した。すなわち、ガラス板にセットしたリングの容量に合わせて、すり切りで試料を充填した後、リングを上方向に取り除き、試料が一定時間に広がった直径 r、および高さ h を測定することで、試料の広がりやすさを客観的に測定する方法である。

6) 若年者による嚥下時筋電位測定

嚙下筋電位測定はパワーラプシステム 4/25T (ADInstruments.com) を用いた。舌骨上筋群の皮膚表面に 10mm 直径の双極表面銀電極を電極間距離 20mm で粘付し、粘付した舌骨上筋群 (顎二腹筋) の電極より、嚙下時筋電位を得た。

7) 高齢者による舌圧測定

舌圧測定器 (株式会社ジェイ・エム・エス) により、特別養護老人ホーム入居者 80 ~ 97 歳の被験者の最大舌圧を測定した。

4. 研究成果

(1) 気泡混合ゲルの気泡分散状態、および外観

3段階のネイティブジェランガム添加濃度で調製した気泡混合ゲルについて、亜酸化窒素ガス気泡の分散状態を図 1 の上段に示した。気泡の形状は球形ではないことがわかる。また、成形に用いたガラスリング除去後気泡混合ゲル試料の外観を図 1 の下段に示した。

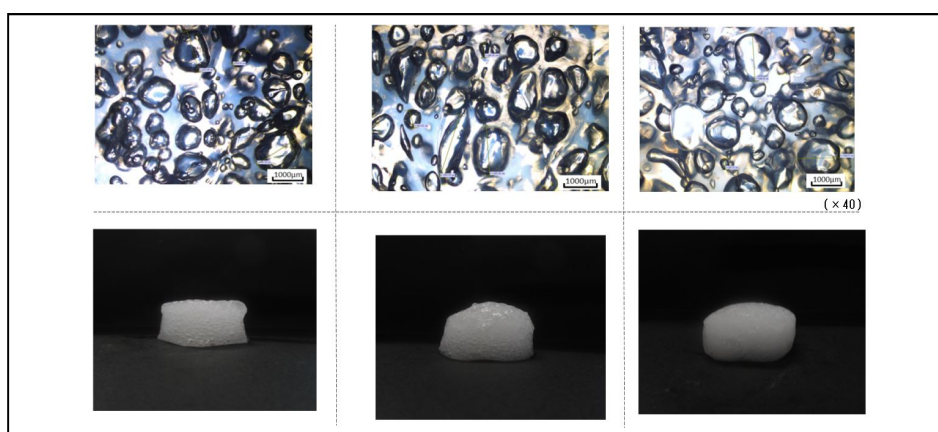


図 1 試料の外観、および気泡の分散状態

(2) ゲル試料の密度、気泡混合ゲル試料の気泡含有率

ごぼうペーストを添加した気泡混合ゲルは、いずれの添加濃度においても気泡混合ゲルは基本ゲルに比べ、密度が有意に小さくなった。また、気泡混合ゲルの密度は、ゲル濃度が最も高いジェランガム添加濃度 0.6% (w/w) が最も小さいものとなった。気泡含有率は 0.4%気泡混合ゲルで $13.8 \pm 3.3\%$ 、0.5%気泡混合ゲルで $15.7 \pm 5.8\%$ 、0.6%気泡混合ゲルで $21.5 \pm 5.4\%$ となった。

(3) 破断特性

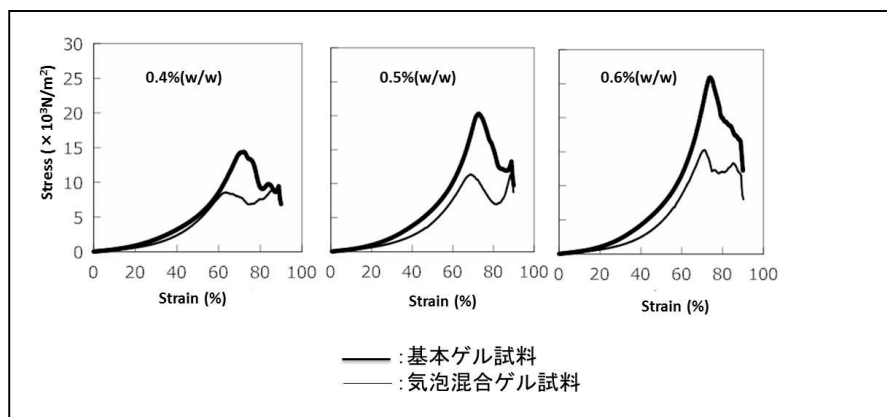


図 2 破断特性より得られたひずみ - 応力曲線

ごぼうペーストを添加した基本ゲル試料と気泡混合ゲル試料のひずみ - 応力曲線をネイティブジェランガム添加濃度別に図2に示した。気泡混合ゲルの破断点は、ごぼうを添加することにより、添加する前の気泡混合ゲルに比べ明確になり、また、破断応力は大きくなった。しかし、ごぼうを添加しても破断応力は気泡を混合することで基本ゲルに比べて小さく、すなわち軟らかくなった。

(4) テクスチャー特性

硬さは、いずれのネイティブジェランガム添加濃度においても、気泡混合ゲルが基本ゲルに比べ、有意に軟らかいことが認められた。ネイティブジェランガム添加濃度が増加するに従い、基本ゲル、気泡混合ゲルともに硬くなることが示された。硬さと同様に、いずれのネイティブジェランガム添加濃度においても、気泡混合ゲルが基本ゲルに比べ、付着性は小さい傾向を示した。また、ネイティブジェランガム添加濃度が増加するに従い、基本ゲル、気泡混合ゲルともに、付着性は増加傾向を示した。いずれのネイティブジェランガム添加濃度においても、凝集性は気泡混合ゲルが基本ゲルに比べて、大きい傾向を示した。ネイティブジェランガム添加濃度 0.4%(w/w)、0.5% (w/w)、0.6% (w/w) 気泡混合ゲルのテクスチャー特性は、特別用途食品えん下困難者用食品規格基準許可基準（硬さ： $1.0 \times 10^3 \sim 1.5 \times 10^4 \text{N/m}^2$ 、付着性： $1.0 \times 10^3 \text{J/m}^3$ 以下、凝集性：0.2~0.9）の範囲であることが示された。

(5) 広がり係数

試料の高さは気泡を混合することで高くなり、また、広がり係数は、気泡を混合することで有意に小さくなった。

(6) 嚥下時筋電位測定

嚥下時筋電位測定より嚥下特性を得た。気泡混合ゲルは基本ゲルに比べ、食塊形成時間、すなわち摂食開始から嚥下開始までの時間が有意に短いことが認められた。このことは、気泡混合ゲルは口中に試料を取り込み嚥下開始までの間、口腔内で食塊形成しやすく、まとめやすいということを示している。気泡混合ゲルの特長である破断応力が小さく、すなわち軟らかく、凝集性が大きく、広がりにくいという力学的特性が影響しているものと推測する。

(7) 高齢者の最大舌圧

最大舌圧は舌と口蓋でどの程度の最大応力で食べ物を押しつぶすことが可能かを推測する測定である。若年者群の最大舌圧の平均は $(3.23 \pm 1.04) \times 10^4 \text{N/m}^2$ 、健常高齢者群の最大舌圧の平均は $(2.71 \pm 0.56) \times 10^4 \text{N/m}^2$ である。本研究の測定結果では、5名の被験者中2名が $5 \sim 10 \times 10^3 \text{N/m}^2$ であった。

(8) まとめ

本研究で得られた結果より、ネイティブ型ジェランガム気泡混合ゲルを嚥下食として応用できることが示された。保存による力学的特性（破断特性など）の変化が少なく、離しょう水の出現も少なく、また、冷凍解凍耐性が優れているというネイティブ型ジェランガムゲルの特長を活かした気泡混合ゲルが、介護の現場で活用可能と考える。

引用文献

- 1) 栄養学雑誌, 66(4), 189-194, (2008), 山根真希, 濱千代善規, 飛田昌男, 増田邦子, 高橋智子, 大越ひろ: 市販介護食品のペースト状食品における同心円法による簡易物性測定法の検討
- 2) 栄養学雑誌, 65(3), 113-122, (2007), 高橋智子, 大須賀彰子, 川野亜紀, 大越ひろ: リング法を用いた粘稠液状食品の簡便な物性評価の有効性-機器測定による物性評価との関係-

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 高橋智子 中川裕子
2. 発表標題 気泡混合ゲルの物理的特性と嚥下特性
3. 学会等名 日本調理科学会2019年度大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋智子 中川裕子
2. 発表標題 気泡混合ゲルの物理的特性の検討と介護食への応用
3. 学会等名 第67回レオロジー討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋智子
2. 発表標題 気泡混合ゲルの物理的特性と食べやすさ
3. 学会等名 日本調理科学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋智子
2. 発表標題 卵白含泡ゲル状食品の物理的特性と食べやすさの検討
3. 学会等名 日本調理科学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋智子
2. 発表標題 ごぼう添加気泡混合ゲルの嚥下食への応用
3. 学会等名 日本摂食嚥下リハビリテーション学会
4. 発表年 2021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
研究分担者	中川 裕子 (岩崎裕子) (Nakagawa Yuko) (60511194)	実践女子大学・生活科学部・准教授 (32618)	

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
---------	---------