

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：82111

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K12884

研究課題名（和文）摂食・嚥下機能が低下した高齢者に向けたゲル状栄養送達システムの開発

研究課題名（英文）Development of a gel nutrition delivery system for the elderly with impaired eating and/or swallowing functions

研究代表者

王 政 (WANG, Zheng)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・野菜花き研究部門・研究員

研究者番号：10617947

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：多糖類ゲルは、増粘効果がある一方で、3次元網目構造を持ち、高い保水率、広範囲の粘度調整、適度な弾性を有するため、嚥下補助食品の材料としても注目されている。本研究では、誤嚥防止のため、ゲル化する技術に注目し、摂食・嚥下機能を低下した高齢者向けの、新規機能性成分送達システムの開発を目指した。脂溶性の機能性成分を内包するエマルジョンを一定な条件下でゲル化することで、エマルジョンゲルを安定的に作製できた。また、作製したエマルジョンゲルの物理化学的特性と保存安定性および消化特性について評価することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、エマルジョンをゲル化することで、消化酵素とエマルジョンの接触を防ぎ、加水分解由来する遊離脂肪酸の放出を遅延させる効果が確認された。これにより、ゲル化剤を調整することでゲルに包括されているエマルジョン粒子の放出量、すなわち、エマルジョンに内包する脂溶性の機能性成分の放出量を制御できることが示唆された。本研究の成果は、機能性成分の放出量を制御する新たな食品の開発に資する有益な知見を提供できるため、産業面での貢献が期待できる。

研究成果の概要（英文）：The polysaccharide gel has a three-dimensional network structure, a high-water retention rate, a wide range of viscosity adjustment and moderate elasticity, hence it is considered suitable as a material for swallowing supplement foods. This study aimed to develop a new functional ingredient delivery system for the elderly with impaired eating and swallowing functions. An agar-based oil in water emulsion gels loaded lipophilic functional components was prepared. The emulsion gel was evaluated for physicochemical properties, storage stability and digestion properties.

研究分野：食品工学、食生活学

キーワード：エマルジョン ゲル 乳化 ケルセチン 保存安定性

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

加齢や疾病による摂食・嚥下機能の低下から、食物を飲み込む際に誤って食物が気管から肺に到達してしまい、いわゆる誤嚥を起こしやすくなる高齢者が増えている。また、摂食・嚥下機能の低下は、脱水や低栄養と密接な関わりがあることも報告されている(引用文献)。近年、咀嚼・嚥下機能が低下した状況においても、安全かつ美味しく食べられる食品の研究・開発が進んでいる。特に古くから食用として利用されているゲル(多糖類やタンパク質類)等は、増粘効果がある一方で、3次元網目構造を持ち、高い保水率、広範囲の粘度調整、適度な弾性を有し、また食品にとろみ等をつけることで、流動速度を制御でき、むせることを少なくさせる効果があることから、嚥下補助食品の材料としても注目されている。消費者庁による嚥下困難者向けの食品規格では、硬さ(柔らかい)、付着性(くっつきにくさ)、そして凝集性(まとまりがある)はテクスチャーであると定められている。この規格に沿って、さまざまな嚥下困難者向けの食品が開発されている。

食品に含まれる栄養素(タンパク質、脂肪、炭水化物、無機質、ビタミン等)と機能性成分(抗酸化、抗ガン、免疫力の向上等に効果がある成分)は水溶性と脂溶性を有する。水溶性成分は容易に吸収されるに対して、脂溶性成分は膜透過性が悪く、生体利用性が低い。これまで市販された液体栄養剤や、ゲル化剤・とろみ剤を添加した栄養剤には、三大栄養素に加えビタミン、ミネラル、微量元素が配合されているが、その多くは水溶性の成分であり、健康に良い脂溶性の機能性成分の利用は未だ進んでいない。

エマルションは脂溶性の機能性成分を送達するシステムとして知られている。その内包成分の徐放特性や機能発現特性の制御が容易になる等の特徴を有しているため、食品機能性成分や薬物送達システムの開発に多く使われている。先行研究では、脂溶性の機能性成分であるβ-カロテンを予め油脂に溶解させ、種々の食用乳化剤と一定条件で混合させた後、乳化技術によりエマルション化させることで、普段、水にほとんど溶けないβ-カロテンの溶解度を引き上げる一方、生体利用性も向上させることができた(引用文献)。但し、液体のため、摂食・嚥下の機能が低下した高齢者による誤嚥を引き起こす懸念がある。

こうした課題に対して、研究代表者は誤嚥防止のため、ゲル化する技術に着目し、水溶性の栄養素と脂溶性の機能性成分の双方を持つゲル状送達システムの開発ができれば、従来の水分や栄養素の補給に加え、健康に良い機能性成分の摂取も可能になるとの考えに至った。

2. 研究の目的

本研究は、誤嚥防止のため、ゲル化する技術に着目し、摂食・嚥下障害を有する高齢者を想定した水溶性栄養素と脂溶性の機能性成分の双方を包括できるゲル状送達システムの開発を目的とした。具体的には、

- (1) 本研究に適する脂溶性の機能性成分を内包するエマルションの作製方法を構築する。
- (2) ゲル状送達システムを安定的に作製できる条件を検討する。
- (3) ゲルに包括する機能性成分の保存安定性を評価する。
- (4) 作製されたゲルの物性および消化吸収特性を解析する。

3. 研究の方法

(1) 脂溶性の機能性成分を内包するエマルションの作製

ケルセチンを精製大豆油に溶解させ、分散相として用い、異なる食品用乳化剤であるポリグリセリン脂肪酸エステルの水溶液を連続相として用いた。攪拌による予備乳化後、高圧乳化機で異なる圧力により、各種粒子径のエマルションを作製した。その後、粒子径の測定をはじめとする各種評価からエマルションの作製特性を検討し、本申請課題に適する脂溶性の機能性成分を内包するエマルションの作製法を構築した。

(2) エマルションのゲル化とその特性評価

ゲル化剤として寒天水溶液を用いた。上記(1)で作製したケルセチンを内包するエマルションと一定の温度・割合で混合させて、ゾル状(液体のまま)のものが得られる。その後、冷却処理によってエマルションゲルの作製を行った。ここで、ゲル化前後のエマルションの安定性および、作製後のエマルションゲルの物性をそれぞれ、市販粒度分布計と食品物性試験機器を用いて評価した。また、内包されているケルセチンの保存安定性について4週間に渡って定量分析を行った。

(3) エマルションゲルの消化特性の評価

以上により作製したエマルションゲルに対する消化吸収の特性を主に消化酵素の添加により胃腸の消化環境を模倣する *in vitro* 胃腸消化モデルを用いて評価した。ここで、咀嚼機能を模倣するため、作製したエマルションゲルを2 mm-5 mm程度(嚥下時のサイズ)に破碎させる。その後、胃液と小腸液でそれぞれを処理させ、遊離脂肪酸の放出量などについて定量解析を行った。

4. 研究成果

(1) 脂溶性の機能性成分を内包するエマルションの作製

予備乳化法と高圧乳化法の併用により、ゲル状送達システムの基盤となる脂溶性の機能性成

分を内包するエマルションの作製方法を構築できた。ここで、乳化剤の種類と圧力の制御により、200 nm ~ 1000 nm 程度のエマルションが安定的に作製できた。各種食用乳化剤によるエマルションの粒子径は大きな差が見られなかった。処理圧力や種々の乳化剤水溶液の濃度ならびに分散相と連続相の割合をエマルションの粒子径に影響を与えることがわかった。

(2) エマルションのゲル化とその特性評価

エマルションゲルを安定的に作製できる方法を構築できた。エマルションをゲル化する時に、エマルションの粒子径やエマルションを作製時に用いた乳化剤の種類等を作製後のエマルションゲルのゲル強度に影響を与えることが分かった。乳化剤の重合度の増大および小さい粒子径のエマルションを作製後のエマルションゲルのゲル強度増大に促進する傾向があった。

脂溶性の機能性成分を内包するエマルションならびにエマルションゲルの保存安定性について検討を行った。前年度に構築したエマルションおよびエマルションゲルの作製方法に従って、試料を作製した。ここで、連続相として3種類の食品用乳化剤の水溶液を用いた。機能性成分のモデルとしてケルセチンを用いた。高圧乳化装置を用いて異なる圧力により計9種類のエマルションを作製でき、その後、それぞれをゲル化させ、実質18種類の試料を作製した。4 と 25 の2つの条件で保存安定性を検討し、それぞれを28日に渡って評価を行った。エマルションの場合は、両方の保存温度において、保存28日後、ケルセチンの濃度が若干減少したが、4 保存の場合に比べると、25 の場合は、試料の上に薄い油層が確認できた。すなわち、25 においてエマルション自体の安定性がやや劣ると示唆された。これに対して、エマルションゲルの場合、保存28日後、ゲルの重さや強度などの変化がほとんどなく、より高い安定性を示された。一方、25 保存の場合、保存14日後、カビが生えてしまい、28日の時点でケルセチンの含量をかなり減らしてしまっており、今後、防菌対策をしっかりと取る必要があると示唆された。

(3) エマルションゲルの消化特性の評価

これまで作製したエマルションゲルの消化特性について、主に胃腸消化酵素の添加と pH の制御により胃腸の消化環境を模倣する *in vitro* 胃腸消化モデルを用いて検討した。*in vitro* 胃腸消化処理後、各種エマルションゲルからリリースしたエマルションの粒度分布は乳化剤の種類に依存することが分かった。また、それぞれの乳化剤による安定化したエマルションに内包した油滴からの遊離脂肪酸の放出量は、エマルションゲルよりほぼ2倍多いことがわかった。ここで、胃に油滴を消化する酵素が含まれないことから、胃消化のステップでは、遊離脂肪酸の放出が見られなかった。一方、小腸消化のステップでは、遊離脂肪酸の放出量が乳化剤の種類に影響を受けるとわかった。すなわち、ゲル化することで、消化酵素と、油滴の接触を妨げる効果があると示唆された。摂食後、機能性成分などは混合ミセルの形で小腸上皮細胞を通過し吸収されることが知られている。すなわち、混合ミセルへの機能性成分の取り込み状況が吸収に大きく関与すると考えられる。ここで、各種のエマルションとエマルションゲルを作製し、その内包する機能性成分のミセルへの取込率について検討した結果、ミセルへの取込率が用いた乳化剤の種類に影響を受けるとわかった。また、小さいサイズのエマルションがより高いミセル取込率が得られると示唆された。

< 引用文献 >

Rofes, L., *et al.*, Diagnosis and management of oropharyngeal dysphagia and its nutritional and respiratory complications in the elderly. *Gastroenterol Res. Pract.*, doi: 10.1155/2011/818979, 2011.

Wang P., *et al.*, Preliminary study into the factors modulating β -carotene micelle formation in dispersions using an *in vitro* digestion model. *Food Hydrocol.*, 26, 427, 2012.

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 王 政、小林 功、Marcos A. Neves、植村 邦彦、上田 浩史、中嶋 光敏
2. 発表標題 エマルション寒天ゲルの作製と物理的特性評価
3. 学会等名 日本食品工学会 第19回（2018年度）年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 王 政、小林 功、植村 邦彦、上田 浩史
2. 発表標題 エマルション寒天ゲル中の乳化剤種類が <i>in vitro</i> 胃腸消化特性に及ぼす影響
3. 学会等名 日本食品工学会 第20回（2019年度）年次大会
4. 発表年 2019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