

## 単分散O/Wエマルション-ジェランガムゲルの圧縮及び官能特性に対する油滴の影響

合谷祥一・藤田（梶）朋子・山野善正\*

## Effect of Oil droplets on the Compressive and Sensory Properties of Monodispersed O/W Emulsion-Gellan Gum Gel

Shoichi GOHTANI, Tomoko KAJI-FUJITA and Yoshimasa YAMANO\*\*

## Abstract

Effects of oil content, oil droplet size and  $\text{Ca}^{2+}$  concentration on the compressive gel strength, and sensory evaluation of hardness and oiliness for monodispersed O/W emulsion gellan gum gel were investigated. The monodispersed emulsion which was made up by water, 1% (w/v) emulsifier (polyglycerine fatty acid) and corn oil was prepared by membrane emulsification. Both the stability of the monodispersed emulsion during preparation of the emulsion gellan gum sol and the uniformity of oil droplet distribution in the emulsion gel were confirmed. The compressive strength of the emulsion gels decreased with an increase in oil volume fraction. It is considered that the oil droplets behave as inactive filler in the emulsion gellan gum gel. The compressive strength of the emulsion gel was decreased with an increase in oil droplet size. However, the decreased ratio of compressive strength became small with an increase in droplet size. The larger the oil volume fraction and the  $\text{Ca}^{2+}$  concentration, the clearer the effect of oil droplet on the gel strength was. The sample containing smaller oil droplets was harder than that with larger oil droplets by the sensory test of paired comparison, while the increasing oil droplet size tended to increase oiliness.

**Key words:** monodispersed emulsion, emulsion gel, gellan gum, compressive properties, sensory properties.

## 緒 言

プリンなどの油脂含有食品のモデルとして、筆者らはこれまで、単分散な油滴を含有する寒天ゲルの破断特性や官能特性に対する油滴径と含有油脂量の影響について調べ、単分散な油滴はゲルの調製中に壊れずゲル中に均一に分散していること、全圧縮破断試験によるゲル強度はゲル中の油脂含有量及び油滴径の増大により低下するが、粒径の増加に対してはほぼ直線的に低下すること、貫入試験によるゲル強度は油滴径の影響を受けないこと、また官能的には、大きい油滴を含むゲルは小さい油滴を含むゲルよりも柔らかく、また脂っこく感じられることを報告した<sup>(1-3)</sup>。これらのなかでレオロジー的特性は、油滴とゲル構造の相互作用によって影響され、ゲル基材によって、油滴含有ゲルの破断特性や官能性の発

現は異なることが予想される。一方、ジェランガムは食品用ゲル基材として近年注目されている、*Pseudomonas elodea*由来の多糖類で、グルコース、ラムノース及びグルクロン酸からなる酸性多糖であり<sup>(4,5)</sup>、カチオンの存在によりゲル化し、一価より二価のイオンで、低濃度において強いゲルを形成する<sup>(6-8)</sup>等、中性多糖で主に水素結合でゲル化する寒天と異なる性質を示す。そのレオロジー的特性については、いくつかの研究報告がある<sup>(9-12)</sup>が、油滴の影響を見たものは見あたらない。

そこで、既に報告した寒天<sup>(1)</sup>とは異なるゲル基材としてジェランガムを用い、本研究では、油滴含有ゲルの破断特性や官能特性に対する油滴径と含有油脂量の影響について調べ、寒天ゲルと比較した。

\* (社)おいしさの科学研究所 香川県高松市林町

\*\* Institute of OISHISA Science Hayashi-cho, Takamatsu, Japan

## 実験方法

### 1. 試料

水はMilli-Q Labo (日本ミリポア株)によりイオン交換し、電気伝導率 $5.46 \times 10^{-8}$  S/cm以下のものを、乳化剤はポリグリセリン脂肪酸エステル (坂本薬品工業株, MSW-7S)を、油はコーン油 (味の素株)を用いた。ジェランガム ( $\text{Na}^+$ ;0.19%,  $\text{K}^+$ ;2.08%,  $\text{Ca}^{2+}$ ;0.51%,  $\text{Mg}^{2+}$ ;0.15%)は大日本製薬株より、 $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (試薬特級)及びEDTA四ナトリウム塩 (試薬特級)はナカライテスク株より入手したものを特に精製せず用いた。

### 2. 単分散エマルションの調製

連続相として1% (w/w)の乳化剤水溶液、分散相としてコーン油を用い、膜乳化法<sup>(1)</sup>により、5種類の細孔径が異なった多孔質ガラス膜管を用い、平均粒径が約1.5から14.0  $\mu\text{m}$ の範囲で5種類の単分散性の高いエマルションを調製した。

### 3. ゲルの調製

調製後のゲル中のジェランガム濃度が1.0%になるように、ジェランガムを1% (w/w)乳化剤水溶液に分散し、攪拌しながら40℃で一夜放置し、70℃で2時間加熱後、前述のエマルションを加えた。さらに90℃で1時間加熱後 $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ を加え、円筒形ガラス容器 (内径24mm, 高さ38mm)に注ぎ込み、氷水中で1時間静置する事により油滴含有ゲルを調製した。これを25℃で24時間静置後、ゲルの上部を底面に対して平行に切断し、外径24mm, 高さ20mmにしたものを測定に供試した。

### 4. ゲル調製中のエマルションの安定性及びゲル中のエマルションの均一性

ゲル調製中のエマルションの安定性は、油滴含有ジェランガムの分散液 (加熱前)と90℃で1時間加熱後の油滴含有ジェランガムゾル中の油滴の大きさと変動係数の変化により評価した。

ゲル中のエマルションの均一性は、油滴含有ゲルの上、中及び下層からゲルをそれぞれ1g採取し、前述の1%乳化剤水溶液に分散後、EDTA四ナトリウム塩をモル比で $\text{Ca}^{2+}$ の10倍量加え、一晚放置した後、90℃で30分加熱溶解し、含有される油滴の大きさと、顕微鏡下の一定視野内 (1mm<sup>2</sup>)の粒子数より評価した。

### 5. 破断特性測定<sup>(1)</sup>

RHEONER (RE-33005; 山電株)を用い、プランジャー直径40mm, クロスヘッドスピード0.5mm/secで破断する

まで圧縮し、得られた応力-歪み曲線から破断応力、破断歪み及び破断エネルギーを得た。

### 6. 官能評価<sup>(1)</sup>

香川大学農学部の学生及び教官計18名をパネルとし、前述の、平均粒径1.5, 3.7及び13.2  $\mu\text{m}$ の油滴を含有するゲルの硬さ及び脂っこさを、一対比較法により評価させた。硬さは、指での押しつぶし及び口中での咀嚼の両方で求めた。

## 結果及び考察

### 1. エマルションの単分散性、ゲル調製中のエマルションの安定性及びゲル中のエマルションの均一性

Fig. 1に本実験で使用した5種類のエマルションの粒度分布、平均粒径及び変動係数を示す。どのエマルションも、変動係数が10%程度かそれ以下で、筆者らのこれまでのエマルションゲルに関する報告<sup>1,2,3)</sup>と同様であり、その単分散性は本実験に適していると考えられる。

ゲルの調製中、エマルションは、90℃、1時間の攪拌を受ける。このような条件では、エマルションの破壊が生じる可能性が考えられる。そこで、実験した範囲で最も小さい平均粒径が1.7  $\mu\text{m}$ 、中間の6.1  $\mu\text{m}$ 及び最も大きい13.3  $\mu\text{m}$ のエマルションについて、90℃、1時間加熱前後における粒度分布を測定し、粒度分布から得られた平均粒径と変動係数の変化をTable 1に示した。平均粒径が約1.7  $\mu\text{m}$ のエマルションでは、加熱操作により平均粒径及び変動係数のどちらもほとんど変化せず、安定であることが分かる。平均粒径6.1のエマルションは、加熱により平均粒径が僅かに小さくなったが変動係数は変化を示さず、13.3  $\mu\text{m}$ のエマルションは、加熱により平均粒径、変動係数とも増加しているが、これらは何れも測定誤差の範囲内と考えられる。また、測定誤差でないとしても、その程度は僅かであり、加熱後も十分にエマルションの単分散性は保たれていると判断できる。寒天エマルションゲルの場合も加熱によるエマルションの

Table 1 Changes in droplet diameter ( $\mu\text{m}$ ) and its coefficient of variation (%) for emulsion containing gellan gum by heating at 90°C for 1 hour

Before heating		After heating	
Mean diameter ( $\mu\text{m}$ )	CV* (%)	Mean diameter ( $\mu\text{m}$ )	CV* (%)
1.73	11.3	1.72	11.3
6.11	10.7	6.08	10.7
13.3	11.7	13.5	11.7

\*: Coefficient of variation for droplet diameter

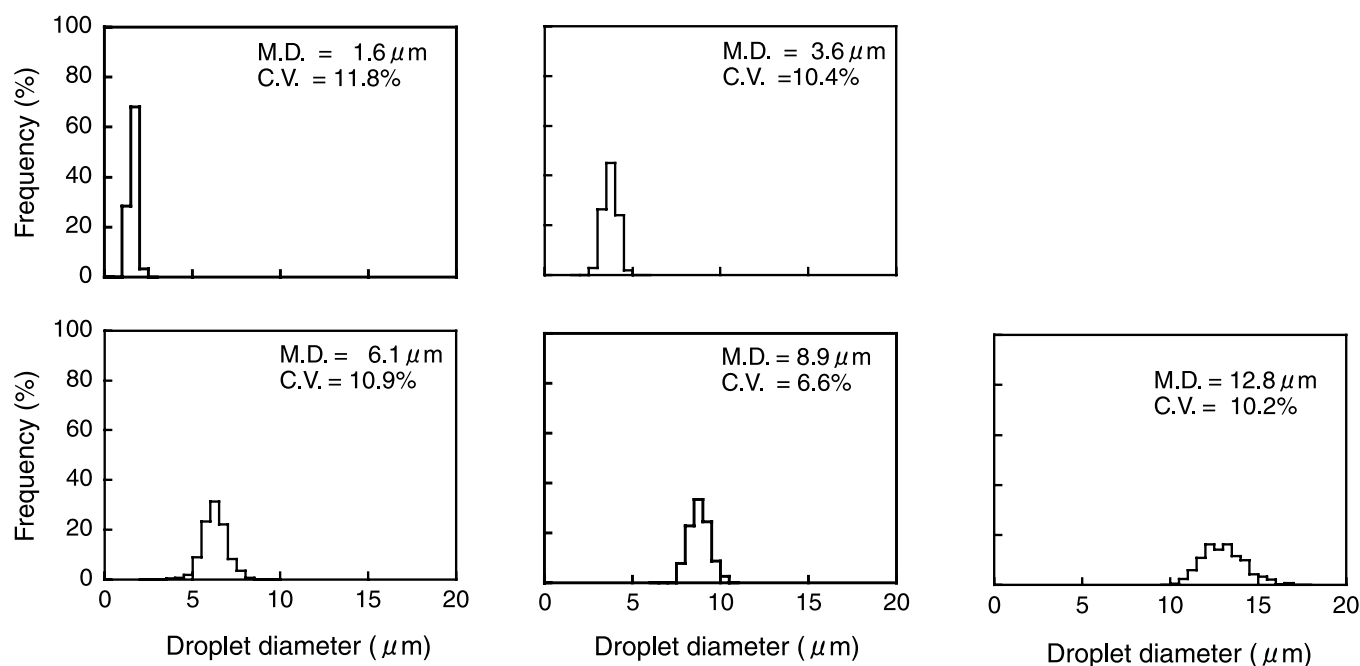


Fig.1 Droplet size distributions of emulsions

M.D. and C.V. are abbreviations of mean droplet diameter and coefficient of variation for droplet size distribution, respectively.

破壊はほとんど見られなかった<sup>(1)</sup>。このようにジェランガム及び寒天ゾル中でエマルションの破壊がほとんど生じなかった原因については、ゾル中の多糖類分子が、油滴の衝突を妨げているためと考えている。

エマルションの単分散性が高い場合も、ゲル化速度が比較的遅く、ゾルの粘度が低いと、クリーミングが生じ、ゲルの下層より上層の油滴数が多くなったり、上層の油滴の平均径が下層より大きくなる。すなわち、クリーミングにより油滴の不均一な分布が生じる可能性がある。そこで、調製された油滴含有ゲルの上、中及び下層の油滴数と油滴の平均径について調べた (Table 2)。その結果、どの試料もゲルの上、中及び下層の間で、平均粒径及び液滴数に顕著な差は見られず、ゲル中に油滴が均一に分散していることが確認された。油滴含有寒天ゲルの場合、室温でゲル化しても今回のジェランガムの場合と同様、ゲル中に油滴は均一に分散していた<sup>(1)</sup>。しかし、今回予備的に、寒天ゲルと同様の条件で、即ち

室温でゲル化したところ、結果は示していないが、クリーミングのため油滴は不均一に分散した。そこで、氷水中で1時間静置したところ、クリーミングによる油滴の不均一な分散を防ぐことができた。これは、急冷却によりゾルの粘度が高くなり、さらにゲル化が促進されたためではないかと推測している。

## 2. 油滴含有ゲルの圧縮破断特性に対する油滴の影響

ジェランガムゲルの強度は、カチオン濃度の増加とともに増大し、最大値を示した後低下することが知られている<sup>(6, 7, 12)</sup>。予め、ジェランガムの圧縮破断応力に対するCa<sup>2+</sup>の濃度の影響を調べたところ、応力はCa<sup>2+</sup>濃度0.02%まで急激に増大し、0.03%で最大値を示し、Ca<sup>2+</sup>0.04%以上でゲル強度が少しずつ低下した。カチオン濃度が増大し、ゲルの強度が低下する領域においては不均一な網目構造の形成が考えられる<sup>(12)</sup>。本実験では、ゲルの破断特性に対する油滴の影響見るのが目的である

Table 2 Droplet diameter ( $\mu\text{m}$ ) and droplet number\* of emulsion in the part of gellan gum emulsion gel

Top		Middle		Bottom	
Mean diameter ( $\mu\text{m}$ )	Droplet number	Mean diameter ( $\mu\text{m}$ )	Droplet number	Mean diameter ( $\mu\text{m}$ )	Droplet number
1.77	4086	1.75	3972	1.76	4208
6.06	3707	6.07	3844	6.06	3612
13.2	1167	13.4	1148	13.3	1207

\*: Droplet number was estimated in an area of 1.0 mm under microscope.

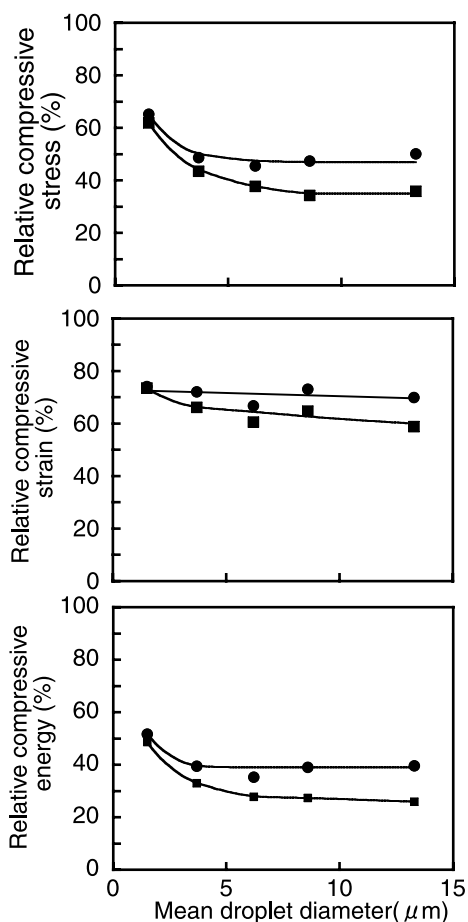


Fig.2 Effect of oil droplet size on compressive properties of gellan gel at different oil volume fractions ( $\text{Ca}^{2+}$ ;0.02%)  
The symbols represent the gels of oil volume fractions 0.1 (●) and 0.2 (■), respectively.

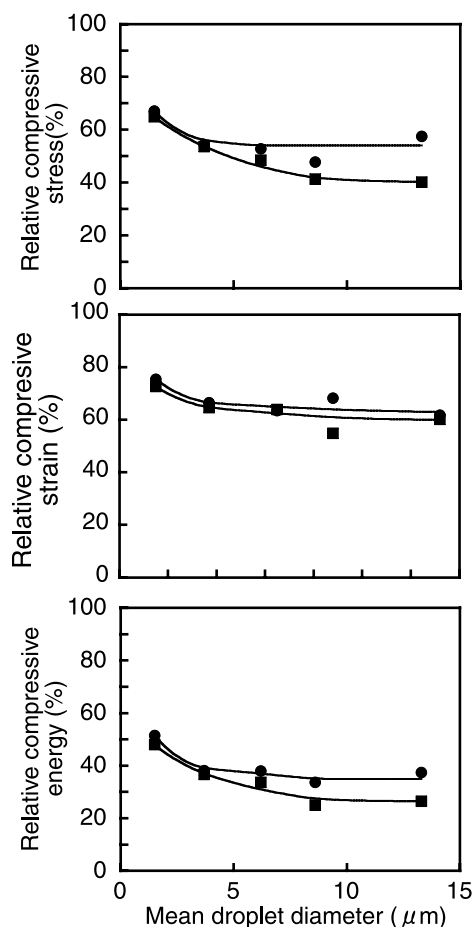


Fig.3 Effect of oil droplet size on compressive properties of gellan gel at different oil volume fractions ( $\text{Ca}^{2+}$ ;0.03%)  
The symbols represent the gels of oil volume fractions 0.1 (●) and 0.2 (■), respectively.

が、その場合、網目構造が均一であることが望ましく、 $\text{Ca}^{2+}$ 濃度0.04%以上の実験は、今回の目的では適当でないと考えられる。また、 $\text{Ca}^{2+}$ 濃度0.01%では、ゲル強度が非常に低く、油滴を含有するとさらに強度が低下して測定が困難であった。そこで、本実験では、 $\text{Ca}^{2+}$ 濃度0.02及び0.03%における油滴含有ゲルの圧縮破断特性について調べた。

Fig. 2に $\text{Ca}^{2+}$ 濃度0.02%の、Fig. 3に $\text{Ca}^{2+}$ 0.03%における油滴含有ジェランゲルの破断応力、歪み及びエネルギーを、油滴を含まない乳化剤水溶液とジェランゲルだけで調製したゲルの値を100として、相対値で示した。油滴を含まないコントロールのジェランゲルの破断特性は、 $\text{Ca}^{2+}$ 濃度0.02%では、破断応力： $4.74 \times 10^4 \text{N/m}^2$ 、破断歪率：26.0%、破断エネルギー： $5.06 \times 10^3 \text{J/m}^3$ 、0.03%では、破断応力： $6.61 \times 10^4 \text{N/m}^2$ 、破断歪率：20.3%、破断エネルギー： $6.22 \times 10^3 \text{J/m}^3$ であった。 $\text{Ca}^{2+}$ 濃度0.02%及び0.03%のどちらのジェランゲルにおいても、油滴

を含まない場合と比較して、油滴を含むゲルでは、破断応力で70%以下、破断歪で80%以下、破断エネルギーで60%以下の値を示し、油滴を含有することによってゲル強度が低下することが分かる。さらに、 $\text{Ca}^{2+}$ 濃度0.02%の場合、どの破断特性値も、油の体積分率が0.2の方が、0.1の場合よりも低い値を示した。0.03%の場合も、歪率には大きな変化は見られなかったが、破断応力とエネルギーの値は油の体積分率の増大により大きく低下し、油の含有率が高くなるとエマルションゲルの強度が低下することを示している。

エマルションゲルのレオロジー特性に関してはこれまで、小変形の動的粘弾性に対する影響を見たものでは、ポリビニールアルコール、スキムミルクゲル<sup>(13)</sup>、乳清タンパク質ゲル<sup>(14,15)</sup>、ダイズ11Sグロブリンゲル<sup>(16)</sup>、カゼインナトリウム<sup>(17)</sup>に関する研究などがある。大変形の破断やテクスチャーに対する影響を見たものでは、筆者らの寒天<sup>(1,2)</sup>以外に、乳清タンパク質に関する研究<sup>(18)</sup>

<sup>19)</sup>がある。これらの研究において、小変形及び大変形どちらの場合も、ゲル中の油滴がゲル基材と強い相互作用を有する場合は、油滴の存在や油滴の含有量が増えるほどゲルの強度は増大し、油滴はいわゆるactive fillerとして働き、相互作用を有しない場合は、油滴の含有量が増えるほどゲルの強度は低下し、油滴はinactive fillerとして働くことが確認されている。今回の研究で、どのCa<sup>2+</sup>濃度においても油滴の含有率が增大するとゲル強度が低下したことから、寒天ゲルの場合<sup>(1,2)</sup>と同様に油滴はジェランガムゲルに対してinactive fillerとして働いていることが分かる。従って、今回調製したエマルションゲルでは、ジェランガムは油滴と全く相互作用をしていないか、相互作用が存在しても非常に弱いと考えられる。これは、ジェランガムも寒天の場合と同様に多糖類であり、親油性に乏しく元来油滴と相互作用しにくいことに加えて、予め食品用乳化剤で調製したエマルションにジェランガムを加えているため、油滴表面が乳化剤で覆われ、ジェランガムが油と直接接触できにくいためによると推測している。

油滴の粒径の影響についてみると、Ca<sup>2+</sup>濃度0.02%の場合、油の体積分率0.1における歪率が油滴の粒径に対してほとんど変化を示さなかったことを除き、どの圧縮破断特性値も、油の体積分率0.1では平均粒径3.7 μmまで、体積分率0.2では6.5 μmまで減少し、それ以上の粒径ではほぼ一定の値を示した。Ca<sup>2+</sup>濃度0.03%の場合、油の体積分率0.1では、Ca<sup>2+</sup>濃度0.02%と同じく平均粒径3.7 μmまで圧縮破断特性値は低下し、それ以上の粒径でほぼ一定であったが、体積分率0.2では、平均粒径8.8 μmまで低下した。破断歪率は、Ca<sup>2+</sup>濃度0.02%、体積分率0.1では粒径に対する変化はほとんど見られなかったが、体積分率0.2では、僅かであるが粒径に対し

歪率は低下した。さらに、小さい粒径の方が変化が大きく現れた。Ca<sup>2+</sup>濃度0.03%では、体積分率0.1においても、Ca<sup>2+</sup>濃度0.02%、体積分率0.2と同様な変化を示した。

これらのことは、油の体積分率が高くなると油滴の個数が増えジェランガムの網目構造の形成阻害が増大することを直接に表していると考えられる。また、Ca<sup>2+</sup>濃度が增大すると、破断強度が増大したこと推測されるようにジェランガムの架橋領域が多くなり、やはり油滴の粒径の影響をより大きく受けると推測される。

寒天エマルションゲルの場合、油滴径の増大に従いゲル強度は低下した<sup>(1,2)</sup>が、今回のジェランガムゲルでは、前述したように小さい粒径の場合に、粒径の影響が表れ、大きい液滴のエマルションでは粒径の影響がほとんど表れなかった。これの原因については現在のところ明確ではないが、本来の網目構造が寒天ゲルとジェランガムゲルでは異なっており、それが影響していることも考えられる。今後、ジェランガムエマルションゲルのゲル構造を電子顕微鏡や動的散光により観察し、液滴の影響との関係について調べる予定である。

### 3. エマルションゲルの官能性に対する油の体積分率及び油滴径の影響

Table 3に官能評価結果を示した。指での押しつぶし及び咀嚼で感じた硬さは、Ca<sup>2+</sup>濃度に関わらず、粒径が小さいエマルションを含むゲルの方が高く、油の体積分率0.1の場合よりも0.2の場合において高い有意差を示した。一方、脂っこさは、Ca<sup>2+</sup>濃度0.02%、油の体積分率0.2の場合においてのみ大きい粒径の油滴を含むゲルほど有意に強く感じられ、油滴が大きいほど柔らかく、また、脂っこく感じる傾向があるのは筆者らが行った寒天

Table 3 Results of the sensory evaluation of gellan gum emulsion gels with different oil droplet sizes

Characteristics	Ca <sup>2+</sup> (%)	Oil volume fraction	Order	Significance
Hardness (finger)	0.02	0.1	A > B = C	S*
		0.2	A > B > C	S***
	0.03	0.1	A ≈ C > B	S**
		0.2	A > B > C	S***
Hardness (mouth)	0.02	0.1	A > B ≈ C	N.S.
		0.2	A > B > C	S***
	0.03	0.1	A = C > B	N.S.
		0.2	A > B > C	S***
Oiliness (mouth)	0.02	0.1	C ≈ B > A	N.S.
		0.2	C > B > A	S***
	0.03	0.1	B = C > A	N.S.
		0.2	B = C > A	N.S.

A, B and C show the emulsion gel containing mean droplet size of 1.5, 3.6 and 13.0 μm, respectively.

N.S.: Not significant

S: Significant

\*P<0.05

\*\*P<0.025

\*\*\*P<0.005

ゲルの場合<sup>1)</sup>と同じであった。Ca<sup>2+</sup>濃度0.03%のゲルよりもゲル強度が低いCa<sup>2+</sup>濃度0.02%のゲルの方が脂っこさの差を有意に感じた。Morris<sup>(20)</sup>はスクロース濃度一定で破断歪みの異なるジェランガム、κ-カラギーナン、アルギン酸などによるゲルを用いて、甘味強度と破断歪みの関係を調べ、甘味強度の対数が破断歪みの対数と負の相関を示すことを見いだしている。これは、破断歪みが小さくもろく壊れやすいものは口中で小さなゲルとなりゲル表面と口腔内の接触面積が大きくなるためと考えられている。一方、今回の場合、図には示していないが油滴を含まないゲルの破断歪率はCa<sup>2+</sup>0.02%で27%、Ca<sup>2+</sup>0.03%で20%であった。即ち、Morris<sup>(20)</sup>の結果と異なり、破断歪率の高いCa<sup>2+</sup>濃度0.02%ゲルの方が脂っこさを有意に感じた。油滴による脂っこさの口腔による感じ方がスクロースと異なっているためと考えられるが、現在のところその詳細は不明である。

## 要 約

平均粒径が約1.5から14.0 μmの範囲で5種類の単分散性の高いエマルジョンを含有するジェランガムゲルの破断強度に対する油の体積分率及び油滴径の影響を調べた。また、指による押しつぶし、口腔中での咀嚼による硬さ及び口腔中での脂っこさに対する官能性についても

調べた。

- 1 : ジェランガムゾルの調製中において油滴は合一せずエマルジョンの単分散性は維持されていた。ゾルのゲル化過程において、氷水中で急激にゲル化することにより、エマルジョンのクリーミングは生じず、油滴は、ゲル中に均一に分散していることが確認された。
- 2 : 油滴を含有したゲルは油滴を含まないゲルよりもゲル強度が低くなり、また、油の体積分率が高くなるほど低いゲル強度を示し、油滴がinactive fillerとして働いていることが分かった。
- 3 : 粒径の影響では、粒径が小さい範囲では粒径の増大とともにゲル強度は低下したが、粒径が大きくなると粒径の大きさに対する変化をほとんど示さなくなった。油の体積分率が高いほど、また、Ca<sup>2+</sup>濃度が高いほど、ゲル強度に対する粒径の影響が強く表れた。
- 4 : 官能検査の結果、指での押しつぶし、口腔中での咀嚼のどちらの場合でも、粒径が小さいエマルジョンを含むゲルの方が硬く、油の体積分率が高い方が高い有意差を示した。Ca<sup>2+</sup>濃度0.02%、油の体積分率0.2の場合においてのみ大きい油滴を含むゲルほど有意に脂っこかった。

## 文 献

- (1) KIM, K.-H., GOHTANI, S. and YAMANO, Y. : *J. Texture Stud.*, 27, 655-670 (1996) .
- (2) KIM, K.-H., GOHTANI, S. and YAMANO, Y. : *J. Dispersion Sci. Technol.*, 18, 199-210 (1996) .
- (3) YAMANO, Y., KAGAWA, Y., KIM, K.-H. and GOHTANI, S. : *Food Sci. Technol., Int.*, 2, 16-18 (1996) .
- (4) JANSSON, P.-E. and LINDBERG, B. : *Carbohydr. Res.*, 124, 135-139 (1983) .
- (5) O' NELL, M.A., SELVENDRAN, R.R. and MORRIS, V.J. : *Carbohydr. Res.*, 124, 123-133 (1983) .
- (6) MOORHOUSE, R., COLEGROVE, G.T., SANDFORD, P.A., BAIRD, J.K. and KANG, K.S. : *ASC Symp. Series*, No. 150, Chapter 9, 111-124 (1981) .
- (7) SANDERSON, G.R. and CLARK, R.C. : *Food technol.*, 37, 63-70 (1983) .
- (8) MORITAKA, H., FUKUBA, H., KUMENO, K., NAKAHAMA, N. and NISHINARI, K. : *Food Hydrocolloids*, 4, 495-507 (1991) .
- (9) 森高初恵・西成勝好・中浜信子・福場博保 : 日食工誌, 41, 9-16 (1994) .
- (10) MIYOSHI, E., TAKAYA, T. and NISHINARI, K. : *Thermochimica Acta*, 267, 269-278 (1995) .
- (11) MIYOSHI, E., TAKAYA, T. and NISHINARI, K. : *Carbohydr. Polymers*, 30, 109-119 (1996) .
- (12) MORRIS, V.J., TSIAMI, A. and BROWNSEY, G.J. : *Carbohydr. Chem.*, 14, 667-675 (1995) .
- (13) van VLIET, T. : *Colloid & Polymer Sci.*, 266, 518-524 (1988) .
- (14) CHEN, J. and DICKINSON, E. : *J. Texture Stud.*, 29, 285-304 (1998) .
- (15) DICKINSON, E. and CHEN, J. : *J. Dispersion Sci. Technol.*, 20, 197-213 (1999) .
- (16) MATSUMURA, Y., KANG, I.J., SAKAMOTO, H., MOTOKI, M. and Mori, T. : *Food Hydrocolloids*, 7, 227-224 (1993) .
- (17) GOHTANI, S., RITZOULIS, C. and DICKINSON, E. : In E. Dickinson and T. van Vliet (eds.), *Food Colloids, Biopolymers and Materials*. pp.100-108. The Royal So-

- ciety of Chemistry, Cambridge (2003) .
- (18) JOST, R., BAECHLER, R. and MASSON, G. : *J. Food Sci.*, 51, 440–449 (1986) .
- (19) MCCLEMENTS, J.D., MONAHAN, F.J. and KINSELLA, J.E. : *J. Texture Stud.*, 24, 411–422 (1993) .
- (20) MORRIS, R. E. : *In* K. Nishinari and E. Doi (eds.) , *Food Hydrocolloids, Structures, Properties and Functions*, pp.201–210. Plenum Press, New York (1993) .  
(2007年10月31日受理)