

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：21301

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K13500

研究課題名（和文）豚脂身の代替食品の開発に向けたエマルションゲルの食感とフレーバーリリースの制御

研究課題名（英文）Controlling texture and flavor release of emulsion gel for the development of pork fat substitutes

研究代表者

赤澤 隆志（AKAZAWA, Takashi）

宮城大学・食産学群・助教

研究者番号：00882276

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）：脂身の様な嗜好性を示すエマルションゲル（EG）の開発に向けて、オリーブ葉ポリフェノールoleaceinがゼラチンEGの物性、食感及びフレーバーリリースに及ぼす影響を解析した。oleaceinはゼラチンEGに架橋を挿入することで破断応力を向上した。動的官能評価によって咀嚼中の食感の推移を解析すると、oleacein添加EGは「弾力がある」から「べちゃべちゃ」へと推移し、これは30分間茹でた豚脂身と類似していた。EGの咀嚼香の強度はoleaceinの添加によって弱まること示された。よって、oleaceinはゼラチンEGの食感と風味の制御に有用であることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

豚の脂身は嗜好性の高い食材であるが、飽和脂肪酸が多く含まれており、摂取量が過剰になると心疾患のリスクが高まる。脂質の質を改善した脂身代替品の開発が国内外で進められているが、脂身の嗜好性を再現した代替品は未だ開発されていない。本研究では、オリーブ葉ポリフェノールoleaceinを応用することで豚脂身の食感を再現したエマルションゲルを作製することができた。oleaceinの食感改変効果は、エマルションゲルに使用される油脂の種類に影響されないことから、様々な機能性油脂を含む脂身代替品の開発に展開できる。

研究成果の概要（英文）：The effects of oleacein, an olive leaf polyphenol, on the physical properties, texture, and flavor of an emulsion gel (EG) prepared with gelatin and soy oil were evaluated to develop a new fat substitute. Oleacein incorporation enhanced the breaking stress of EG by inserting cross-links into the gelatin polypeptide chains. Dynamic sensory characterization of the texture of oleacein-incorporated EG demonstrated that “elastic” is the initially perceived dominant attribute, and this eventually changes to “watery.” This change in perception was similar to that observed in pork fat boiled for 30 min. The perceived intensity of the flavor of EG was weakened by oleacein incorporation. Oleacein was demonstrated to be useful for controlling the texture and flavor of gelatin-based EG.

研究分野：食品科学

キーワード：オリーブポリフェノール 脂身 模擬肉 エマルション

様式 C - 19 , F - 19 - 1 , Z - 19 ( 共通 )

## 1 . 研究開始当初の背景

豚の脂身は豚肉加工品の嗜好性に密接に関わっており、独特な食感と香り、コクの発現に寄与している。一方で、豚の脂身には飽和脂肪酸 ( SFA ) が豊富に含まれており、過剰に摂取すると心疾患のリスクが高まることが知られている。我が国における、成人男女の SFA の平均摂取量は、目標量を超えており、SFA の過剰摂取が危惧されている。

近年、脂身代替品として、機能性油脂を使用して作製したエマルジョンゲル ( EG ) の使用が考案されている。しかし、これまでに報告されている EG は破断強度が低く、物性が脂身と大きく異なる。脂身の食感を再現するためには、EG の骨格構造を改変し機械強度を向上するなど、EG の食感制御法を確立することが重要と考えられる。また、脂身の嗜好性には、咀嚼によって放出されるフレーバーも寄与しており、脂身を再現するためには、食感だけでなく、フレーバーの放出 ( フレーバーリリース ) を制御することが重要である。

## 2 . 研究の目的

申請者はこれまでに、タンパク質ゲルの破断強度を著しく向上させる添加物として、オリーブ ( *Olea europaea* L. ) のポリフェノール oleacein を見出した。oleacein はゼラチンを架橋する活性を有しているため、ゲルの骨格構造を改変することができる。よって、ゲル化剤としてゼラチンを使用した EG を、豚の脂身のような物性 ( 高い破断強度と弾性率 ) に改変する効果が期待できる。本研究では、oleacein がゼラチン EG の機械強度に及ぼす影響を解析した。また、oleacein がゼラチン EG から放出されるフレーバーの強度に及ぼす影響を解析した。これらの解析によって、ゼラチン EG の架橋密度と食感・フレーバーリリースの関係性を探り、oleacein を用いた豚脂身代替品の開発を目指した。

## 3 . 研究の方法

### (1)ゼラチン EG の調製

ゼラチン ( 牛骨由来アルカリ処理ゼラチン ) に水を加え、約 80°C の湯浴中で溶解した。2.5% ( w/w ) ゼラチン、50% ( w/w ) 大豆油及び各濃度の oleacein の混合液をポリトロンホモジナイザーで攪拌した。攪拌条件は、30 分間茹でた豚脂身の脂肪細胞の直径 ( 約 50  $\mu\text{m}$  ) に最も近くなつた 5000 rpm、2 min とした。得られたエマルジョン溶液を 4°C で一晩静置してゲル化させた。oleacein を含まないゼラチン EG も同様の手順で調製した。

### (2)物性解析

EG を円柱状 ( 高さ 6 mm、直径 8 mm ) に切り出し、破断強度測定に供した。破断強度測定には直径 3 mm の円柱状プランジャーを使用し、速度 1 mm/s で歪率 95% まで圧縮した。

### (3)走査型電子顕微鏡 ( SEM ) 観察

EG を 2.5% グルタルアルデヒド及び 1% オスミウムで固定し、脱水後、t-ブチルアルコールに置換して凍結乾燥した。乾燥したサンプルの微細構造を卓上 SEM を用いて観察した。

### (4) Temporal Dominance of Sensations ( TDS ) 法による食感の評価

EG 及び脂身 ( 30 分間茹でたもの ) の食感を TDS 法で評価した。1 cm×1 cm×0.5 cm 角の試料をパネリスト毎に提供順を変えて提供した。評価用語として「弾力がある」「粘性がある」「脂っぽい」「クリーミー」「べちゃべちゃ」「つぶつぶ」「ふわふわ」の計 7 用語を評価に用いた。評価用語を円形に表示した iPad 端末の画面をパネリストに示し、評価させた。パネリストは男性 3 名 ( 20~30 代 )、女性 3 名 ( 20 代 ) の計 6 名とした。J-sems ( (株) メディア・アイ製 ) を用いて TDS 曲線を得た。

### (5) Time Intensity ( TI ) 法による咀嚼香の評価

食品香料 ( ローストポークフレーバー ) を 0.2% ( v/v ) 添加した EG を調製し、TI 法を用いて咀嚼中の香りの強度の推移を調べた。iPad 画面に 0~100 の範囲のスクロールバーをパネリストに示した。0.025% ( v/v ) ローストポークフレーバーを 250  $\mu\text{L}$  喫食させ、その時に感じた香りの強度を「50」とし、その後の評価の基準とさせた。パネリストは男性 6 名 ( 20~30 代 )、女性 3 名 ( 20 代 ) の計 6 名とした。J-sems ( (株) メディア・アイ製 ) を用いて TI 曲線を得た。

## 4 . 研究成果

### (1)オリーブ葉ポリフェノール oleacein がゼラチンエマルジョンゲルの物性に及ぼす影響

タンパク質を架橋する作用をもつ oleacein がゼラチン EG の破断強度に及ぼす影響を解析した。初期歪率における応力は、oleacein を添加しても変化しなかった。一方で、歪率が 30% 以上になると、oleacein 添加ゼラチン EG ( oleacein-EG ) の応力は無添加ゼラチン EG ( Ct-EG ) よりも大きくなった ( Fig.1A )。破断時の応力は、oleacein の添加によって増加し、5mM oleacein-EG の破断応力 (  $5.9 \times 10^4 \text{ Pa}$  ) は Ct-EG の 17 倍高かった ( Fig.1B )。破断歪率も oleacein の添加によって増加し、Ct-EG は 56% で破断したのに対し、5mM oleacein-EG は 91% の歪率で破断した ( Fig.1C )。以上の結果から、oleacein は EG の延びを向上し、破れにくいゲルにすることで、破断応力を大きく向上することが示された。

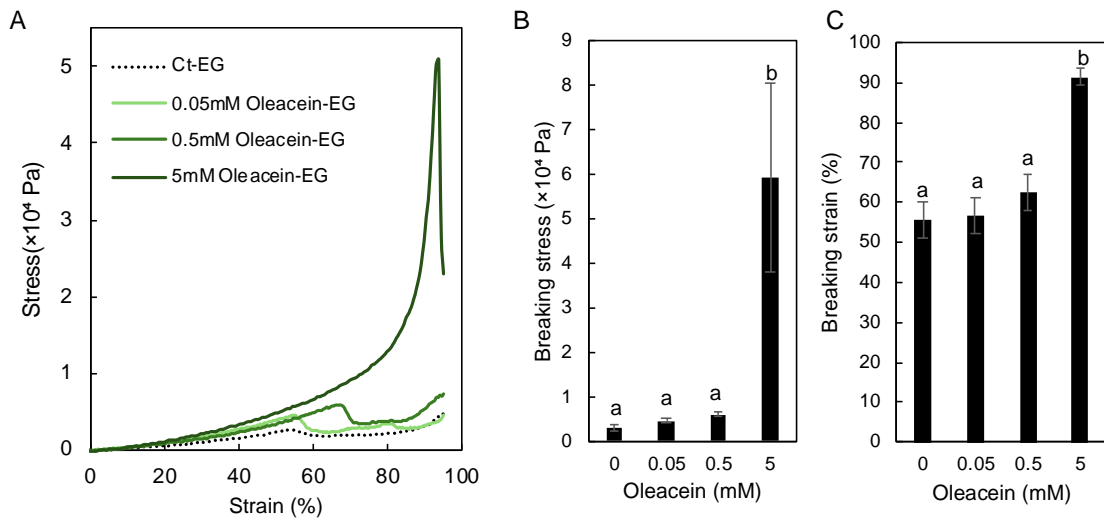


Fig.1 oleacein によるゼラチンエマルジョンゲル (EG) の破断強度の向上作用 (A)に応力-歪率曲線、(B)に破断応力、(C)に破断歪率を示した。(B)と(C)内の異なるアルファベットは有意差を示している (Tukey's test,  $p < 0.05$ ,  $n = 4$ )

oleacein は EG の破断強度を向上することが示された。この作用のメカニズムを調べるため、EG の微細構造を SEM で観察した結果、oleacein の添加は EG の油滴の大きさに影響しなかった。oleacein による破断強度の向上作用は、油滴径への影響ではなく、ゼラチン層の強度を向上したことによるものと考えられた。

脂身代替品は加熱調理されることが想定されるため、耐熱性を有していることが好ましい。豚モモ肉と EG を用いて、模擬脂身肉を作製し、沸騰水中で 30 分間加熱すると、Ct-EG は茹で汁中に溶けたが、2.5mMoleacein-EG は固形状態を保っていた (Fig.2) よって、oleacein は EG を耐熱化することが示された。oleacein の 2 つアルデヒド基が異なるゼラチン分子鎖と共有結合し、ゲル内に架橋が挿入されることで、耐熱性を有するゲルになったことが考えられる。

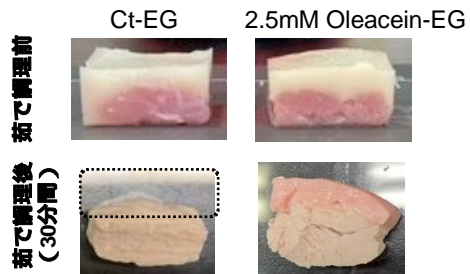


Fig.2 oleacein によるゼラチンエマルジョンゲル (EG) の耐熱化

## (2)ゼラチンエマルジョンゲルの食感に及ぼす影響

食感の推移を TDS 法で解析した。Ct-EG の TDS カーブは「ふわふわ」から「クリーミー」へと推移した (Fig.3A)。このことから、Ct-EG は食べ始めは「ふわふわ」しており、咀嚼と共にゲルが溶けたことで「クリーミー」へと変化したことが考えられる。一方、2.5mMoleacein-EG の TDS 曲線の「ふわふわ」及び「クリーミー」の選択割合は  $P_s$  よりも低かった。これは、oleacein の添加によって EG の強度が増加したこと、また体温で溶けないゲルとなったことが関係していると考えられる。2.5mMoleacein-EG の TDS 曲線は「弾力がある」から「べちゃべちゃ」へと推移した (Fig.3B)。この推移は、30 分間茹でた豚脂身と類似していた (Fig.3C)。よって、oleacein の添加によって、EG の食感が豚脂身の食感に近づくことが示された。

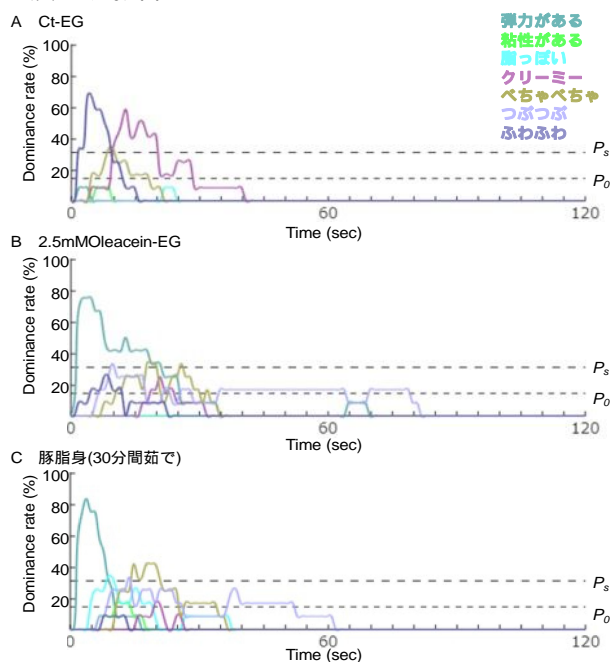


Fig.3 EG (A, B) と豚脂身 (C) の TDS 曲線  $P_0$ , 偶然選択される確率  $P_s, P_0$  を有意に上回る ( $p < 0.05$ ) 最小の割合

### (3)ゼラチンエマルションゲルのフレーバーリリースに及ぼす影響

香り強度の推移をTI法で解析した。Ct-EGと2.5mMoleacein-EGは共に、咀嚼開始から10秒付近で香り強度が最大値になった（Fig.4）。最大値に達する時間に差はない一方で、両者の強度には差があった。Ct-EGのTI曲線は59%まで上昇したのに対し、2.5mMoleacein-EGは最大33%までの上昇であった。曲線下面積を比較すると、2.5mMoleacein-EGはCt-EGの78%であった。よって、oleaceinの添加によって咀嚼香の強度は低下することが示された。Ct-EGを37°C、人工唾液中で連続的に圧縮すると、5回の圧縮でゲルの大部分は溶けたが、2.5mMoleacein-EGの場合、20回の圧縮後も固形状態を保っていた。よって、ゲルの壊れやすさの違いが香り強度に影響したことが考えられる。

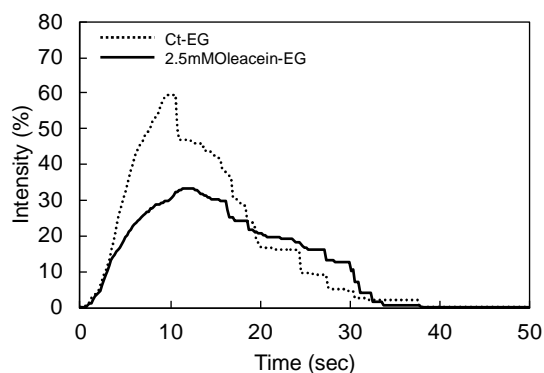


Fig.4 EGの香り強度のTI曲線

oleaceinを利用することでEGの食感を豚脂身に近づけることができた。oleaceinはゼラチンを架橋することで、EGの機械強度を向上した。また、加熱しても溶けない熱不可逆ゲルにした。これらのEGの物性の変化が、咀嚼中の食感の移り変わり及び香りの強度の推移に影響することが明らかとなった。oleaceinはオリーブオイルにも含まれ、食経験のある化合物であるため、食感及びフレーバーリリースの制御に有用な食品素材と考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Takashi Akazawa, Hikaru Itami, Toshio Furumoto, Chie Nozaki, Hiroyuki Koike, Saika Iritani, Naoyuki Amimoto, Masahiro Ogawa	4. 巻 69
2. 論文標題 Impact of an Olive Leaf Polyphenol 3,4-DHPEA-EDA on Physical Properties of Food Protein Gels.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Agric. Food Chem.	6. 最初と最後の頁 14250-14258
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.jafc.1c04661	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 赤澤 隆志 , Vu Bich Hanh , 吉澤 圭祐 , 小川 雅廣	4. 巻 30
2. 論文標題 卵白メレンゲの物性に及ぼすオリーブ葉抽出物の影響	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本食品化学学会誌	6. 最初と最後の頁 91 - 101
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18891/jjfc.30.2_9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takashi Akazawa, Hikaru Itami, Masahiro Ogawa	4. 巻 59
2. 論文標題 The physical properties of fish gelatin gel are enhanced by the cross linking activity of olive leaf water extract	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 International Journal of Food Science & Technology	6. 最初と最後の頁 1580 - 1590
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1111/ijfs.16907	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 1件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 早坂駿、赤澤隆志、山越麻未
2. 発表標題 豚脂身の代替食品の開発に向けたエマルションゲルの物性改変
3. 学会等名 日本食品科学工学会 東北支部令和3年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 赤澤 隆志、伊丹 ひかる、小川 雅廣
2. 発表標題 タンパク質ゲル状食品の食感を改変するポリフェノール抽出物の開発
3. 学会等名 認知症と口腔機能研究会 第2回学術集会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 赤澤 隆志、伊丹 ひかる、小川 雅廣、庄子 真樹
2. 発表標題 オリーブ葉ポリフェノールoleaceinが卵白ゲルの物性に及ぼす影響
3. 学会等名 日本農芸化学会 2022年度大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 赤澤隆志、北垣名月呼、伊丹ひかる、小川雅廣、庄子真樹
2. 発表標題 タンパク質ゲルの物性を改変するオリーブ葉ポリフェノール oleacein の作用メカニズムの解析
3. 学会等名 日本食品科学工学会令和4年度 東北支部大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 赤澤 隆志、篠崎 麗奈、田名部 亜友、菰田 俊一
2. 発表標題 豚脂身代替品の開発に向けたゼラチンエマルションゲルの物性改変
3. 学会等名 日本農芸化学会2023年度大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 赤澤隆志、田名部亜友
2. 発表標題 オリブ葉ポリフェノールOleacein がタンパク質ゲル状食品の機械強度に及ぼす影響と 既存架橋剤との比較
3. 学会等名 日本栄養・食糧学会東北支部第57回大会 日本食品科学工学会東北支部令和5年度大会 合同支部大会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 山野善正	4. 発行年 2024年
2. 出版社 エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 420
3. 書名 食品コロイド・ゲルの構造・物性とおいしさの科学	

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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