

令和 3 年 6 月 7 日現在

機関番号：14301

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2019～2020

課題番号：19K23666

研究課題名（和文）新たな食品素材としての展開を目指した植物のオイルボディの基礎的特性の解明

研究課題名（英文）Investigation of fundamental properties of plant oil bodies towards development of novel food ingredients

研究代表者

石井 統也 (Ishii, Toya)

京都大学・農学研究科・特定助教

研究者番号：90847261

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では、植物組織中に存在する脂質粒子であるオイルボディの食品素材として利用可能性を探求することを目的とし、オイルボディの物理化学的特性ならびに乳化機能や起泡機能といった食品加工特性を明らかにすることを目的とした。大豆オイルボディは、食品を想定した種々のpHおよび塩強度において油と均質化することにより良好な乳化物を形成できること、ココナッツオイルボディは適切な温度履歴を与えて攪拌することにより泡沫を形成し得ることを明らかとした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

食品加工には乳化や起泡など様々な加工機能を有する、卵や乳などの動物性素材が広範に用いられている。しかし、将来にわたり持続可能な社会を構築してゆくには、優れた加工機能を有する植物性素材の探索と、積極的な活用が必要である。本研究で扱ったオイルボディは、植物組織中に存在する脂質貯蔵体であり、膜タンパク質や極性脂質、中性脂質が複合した分子集合体ともみなすことが出来き、単一成分を用いる場合とは異なるユニークな機能を有すると考えられる。適切な材料を選ぶことでオイルボディにも乳や卵に相当する乳化機能や起泡機能があることが示唆されており、今後、食品加工素材の新たな選択肢となることが期待される。

研究成果の概要（英文）：This study aimed at clarifying physicochemical, emulsifying, and foaming properties of plant oil bodies toward utilization as a food ingredient. Soybean oil bodies were extracted and isolated from soybean seeds via the aqueous extraction method. The soybean oil bodies acted as an emulsifying agent under various pH and ion strength conditions to form physically-stable oil-in-water emulsions. On the other hand, coconut oil bodies were isolated from commercial coconut milk by centrifugal separation. The lipid crystallization in the coconut oil bodies occurred below 10 °C. The coconut oil bodies could create foams by mechanical agitation under an ice-cooled condition, whereas they could not at room temperature.

研究分野：食品科学

キーワード：オイルボディ SDGs 乳化系 泡沫系 大豆 ココナッツ

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

卵や乳は、卵黄による油の乳化や、乳クリームによるホイップなど優れた加工機能をもつ、食品加工上、不可欠な素材である。これらの動物性素材は、植物性素材より多量の資源を投入して生産されており、今後、持続可能な社会の構築に向けて、環境への負荷が小さい植物性素材で代替していくことが迫られる。卵黄や乳の加工機能は、卵黄リポタンパク質や乳脂肪球などの中性脂質・極性脂質・タンパク質からなる脂質粒子によるものであり、既存の植物タンパク質素材などで代替するには、機能面で十分ではない。

植物中にも、卵黄や乳の脂質粒子と同様に、中性脂質・極性脂質・タンパク質で構成された、オイルボディと呼ばれる脂質貯蔵体が存在している。通常、植物から油脂を取り出す場合、有機溶剤などによってオイルボディの構造は破壊される。近年、水を抽出媒として、オイルボディの状態を保ったまま水に分散させて油脂を取り出す、有機溶剤フリーの手法が確立されつつあり、現在は、乳状に分散したオイルボディを脂溶性物質の運搬体などとして利用することを目指した研究が盛んであり、世界的に注目度が高い分野であるが、その一方で、オイルボディは卵や乳のような加工素材としては認識されていなかった。

申請者は過去に、卵黄リポタンパク質とオイルボディの類似性に着目し、大豆オイルボディの卵黄様の乳化機能を有することを明らかにした。大豆に限らず、様々な植物の種子や果実にオイルボディが存在しており、さらに品種や登熟段階によっても化学的組成が異なるとされる。これはすなわち、特性の異なる多様なオイルボディを潜在的に得られることを意味する。そのなかには、卵黄や乳を上回る加工機能を発揮するものが存在する可能性がある。

### 2. 研究の目的

これまでの食品科学分野の研究では、界面活性や油脂の結晶化挙動といった物理的特性が、乳化や起泡などの加工機能に大きく関係することが明らかとされてきた。オイルボディの化学的組成については報告が散見されるものの、加工機能とより直接的に関わる物理的特性はほとんど明らかではない。そこで本研究では、オイルボディの物理化学的特性を明らかにし、これに基づき乳化や起泡などの加工機能に優れた食品素材を探索することを目的とした。

### 3. 研究の方法

本研究は以下の方法により行った。

- A) 大豆オイルボディの物理化学特性の解析 ... 大豆種子から抽出・精製したオイルボディの種々の pH および塩強度におけるコロイド特性、すなわち粒度分布およびゼータ電位、表面疎水性の測定を行った。また、クライオ走査型電子顕微鏡による分散状態の観察を行った。また、ペンダントドロップ型動的界面張力測定装置により、界面活性および界面粘弾性の解析を行った。
- B) 大豆オイルボディの乳化機能の解析 ... 種々の pH および塩強度の大豆オイルボディの分散液に大豆油を加えて高速ブレンダーおよび超音波ホモジナイザーで均質化することにより乳化物の調製を行った。オイルボディの乳化活性を推定するため、得られた乳化物の粒度分布測定を行った。さらにオイルボディによる界面安定化メカニズムを明らかにするためにクライオ走査型電子顕微鏡により、得られた乳化物中の油滴の表面ならびに断面の観察を行った。また、得られた乳化物の乳化安定性を評価するために、経時的な粒度分布測定を行った。
- C) ココナッツオイルボディの物理化学特性の解析 ... 市販のココナッツミルクを遠心分離することによりオイルボディを単離した。得られたオイルボディの粒度分布測定を行った。また、示差走査熱量測定装置により、種々の冷却および昇温速度における脂質の結晶化および融解挙動について解析した。
- D) ココナッツオイルボディの起泡機能の検討 ... 得られたオイルボディの起泡機能の検討として、室温下および氷冷した状態で市販のミルクフォーマーによる起泡試験を行った。

#### 4. 研究成果

- A) 大豆オイルボディの物理化学特性の解析 ... 得られたオイルボディの粒度分布測定およびクライオ走査型電子顕微鏡観察を行った結果、塩強度が低い場合には pH 5.0~5.5 においてミクロン径の凝集を形成するものの、塩強度が高い場合にはほとんど凝集せずサブミクロンの粒子として分散することが分かった。ゼータ電位、表面疎水性の測定を行った結果、このオイルボディの凝集が塩の添加により乖離するのは、salting-in によるものと考えられた。

界面活性の測定を行った結果、図 1 に示す通り、特に塩強度が低い場合に pH 依存的な変化が大きいことが明らかとなった。界面活性とコロイド特性との関連を解析した結果、吸着のエネルギー的障壁によってこのような界面活性の違いが生じたものと推測された。また、界面粘弾性の解析により、油水界面に吸着したオイルボディはその球状構造を維持していないことが示唆された。

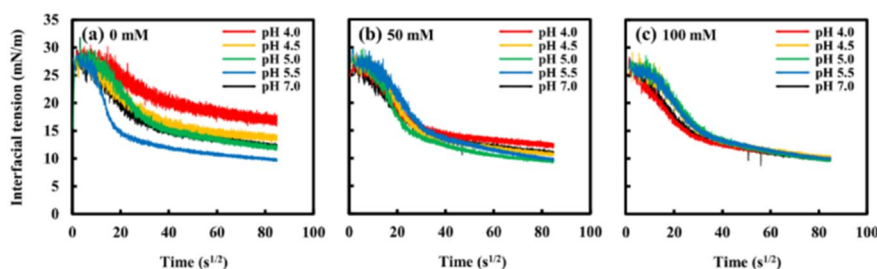


図 1 . 種々の pH および塩強度におけるオイルボディの油水界面張力

- B) 大豆オイルボディの乳化機能の解析 ... 種々の pH および塩強度の大豆オイルボディにより乳化物の調製を試みたところ、いずれの条件においても平均油滴径が 10~20  $\mu\text{m}$  程度の乳化物を形成した。得られた乳化物のクライオ走査型電子顕微鏡を行った結果、図 2 に示す通り、油滴の表面にはオイルボディ様のサブミクロンの粒子が吸着した様子が見られず、油滴の断面も数ナノメートルのごく薄い吸着層であることが明らかとなった。これらの結果から、油水界面に吸着したオイルボディは、その球状構造を維持することなく開裂して、新たな吸着層を形成するものと考えられた。

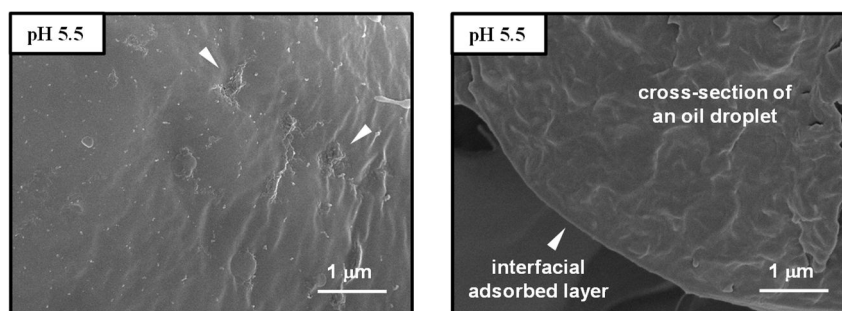


図 2 . オイルボディにより安定化した乳化物の微細構造観察

得られた乳化物の油滴の安定性を経時的な粒子径測定により評価した結果、図 3 に示す通り低塩強度かつ低 pH においてわずかに油滴の合一が生じたものの、それ以外の条件においては油滴の合一はほとんど見られなかった。油滴表面のタンパク質吸着密度を解析した結果、わずかに合一が生じた条件では、タンパク質密度が低いことが明らかとなった。これは界面活性測定の結果とも対応しており、静電的な反発力による吸着障壁によるものと考えられた。以上の結果から、pH および塩強度をそれぞれ適切に設定することにより、大豆オイルボディは優れた乳化素材として利用し得ることが示された。

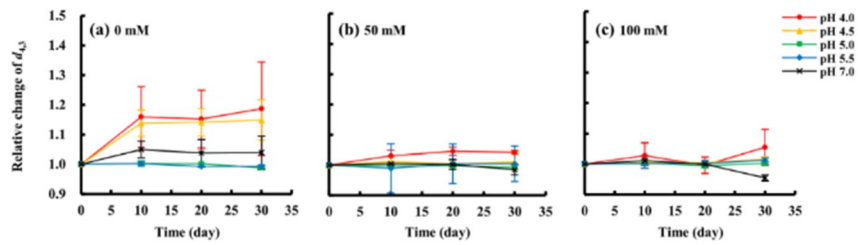


図3 . 保存中の乳化物の粒子径変化

- C) ココナッツオイルボディの物理化学特性の解析 ... 得られたオイルボディの粒度分布測定を行った結果、ココナッツオイルボディは数ミクロンから数十ミクロンと比較的大きい粒子であった。ココナッツオイルボディの示差走査熱量測定を行い、オイルボディの内部の脂質の結晶化挙動を解析し結果、冷却過程では約 10~15 にかけて、脂質の結晶化と思われる 4 つのピークがみられること、昇温過程では約 10~27 にかけて、脂質結晶の融解と思われる単一のブロードなピークがみられた。このことから、適切な温度履歴を与えることで、冷蔵~室温の温度帯においても、ある程度の脂質が結晶状態をとることが示唆され、ホイップクリームなどの乳製品の代替となりうる可能性が示唆された。
- D) ココナッツオイルボディの起泡機能の検討 ... 得られたオイルボディの起泡機能の検討として、室温下および氷冷した状態で市販のミルクフォーマーによる起泡試験を行った。その結果、室温では泡沫は形成されないものの、氷冷しつつ起泡することでホイップクリーム様の泡沫が形成されることが確認され、優れた起泡機能を有することが期待された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 1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 Toya Ishii, Kentaro Matsumiya, Yasuki Matsumura	4. 巻 111
2. 論文標題 Combinational effects of acid and salt addition on colloidal, interfacial, and emulsifying properties of purified soybean oil bodies	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Food Hydrocolloids	6. 最初と最後の頁 106213
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.foodhyd.2020.106213	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 石井統也, 松宮健太郎, 松村康生	4. 巻 226(2)
2. 論文標題 食品分野における微粒子乳化の最前線	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 FFIジャーナル	6. 最初と最後の頁 118-129
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 松村康生, 石井統也	4. 巻 95(1)
2. 論文標題 食品微粒子による界面安定化 乳化系を対象として	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 科学と工業	6. 最初と最後の頁 23-32
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Toya Ishii
2. 発表標題 Stabilization of colloidal systems based on oleosomes and oleosome-related proteins
3. 学会等名 Lipid droplets & Oleosomes - Young Scientists online event（国際学会）
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
研究協力者	松村 康生  (Matsumura Yasuki)		
研究協力者	松宮 健太郎  (Matsumiya Kentaro)		

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