

	シュブンリ
<b>氏 名</b>	<b>ZHU WENRUI</b>
本籍（国籍）	中華人民共和国
学位の種類	博士（農学）
学位記番号	連研第 855 号
学位授与年月日	令和 6 年 3 月 2 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当課程博士
研究科及び専攻	連合農学研究科 生物資源科学専攻
<b>学位論文題目</b>	<b>流動性ヨーグルトの理化学特性に及ぼす油脂の影響</b> <b>(Impacts of fats and oils on the physicochemical properties of stirred yogurt)</b>
学位審査委員	主査 岩手大学教授 三浦 靖 副査 岩手大学教授 小出 章二 副査 弘前大学教授 佐藤 之紀 副査 山形大学教授 渡辺 昌規

## 論 文 の 内 容 の 要 旨

背景：ヨーグルトは牛乳に乳酸菌培養物を加えた発酵乳製品の 1 種であり、機能性食品として注目を集めている。乳脂肪分の一部または全部を除去した脂肪除去ヨーグルトが販売されているが、離水の発生、粒子感の発生および滑らかさの消失などの品質劣化が報告されている。牛乳および乳製品において、乳脂肪は粒子径 0.1~15  $\mu\text{m}$  程度の脂肪球として分散しており、天然の乳脂肪球の界面には乳脂肪球膜が存在しているが、加工処理によってこの膜が破壊されて露出した界面に乳清中の乳タンパク質が吸着する。近年では、この脂肪球界面を介した脂肪球と乳タンパク質間の相互作用が注目され、脂肪球の分散状態（大きさ、形状、団粒構造など）および油脂の種類によってこの相互作用が変化し、乳製品の理化学特性を変化させる可能性が示唆されている。

目的：本研究では、異なる種類の油脂を分散させた還元乳から調製した流動性ヨーグルトの理化学特性に対する脂肪球の分散状態および油脂の種類の影響を明らかにすることを目的とした。

方法：脱脂粉乳から調製した還元脱脂乳に乳脂肪および 4 種類の植物油脂（大豆油、トウモロコシ油、パーム油およびヤシ油）を分散させて油脂が異なる還元乳を調製した。また、均質化処理の圧力を変化させることによって、脂肪球の分散状態が異なる還元乳を調製した。そして、透過型電子顕微鏡観察により、脂肪球の分散状態および乳タンパク質との吸着状態を検討した。還元乳の理化学特性に対する油脂の種類の違いの影響を検討するために、還元乳の界面動電位およびタンパク質の表面疎水性を測定した。一方、還元乳から調製した流動性ヨーグルトの保水性、流動性および動的粘弾性を測定し、そのメゾスコピック構造を共焦点レーザー顕微鏡にて観察した。

結果および考察：高い圧力での均質化処理によって、脂肪球の大きさが減少して比表面積が増加した。このことから、脂肪球界面に吸着している乳タンパク質の量が増加し、タンパク質

の表面疎水性をはじめとする理化学的特性の変化によって還元乳におけるタンパク質間の相互作用が増強したと思われる。したがって、このような還元乳から調製した流動性ヨーグルトではタンパク質の凝集構造でのタンパク質間の結合が強くなり、見かけの粘度が高い流動性ヨーグルトが調製できた。一方、油脂の種類の違いは還元乳の理化学的特性および乳タンパク質と脂肪球との吸着状態をほとんど変化させなかった。しかし、流動性ヨーグルトの製造過程において、固体脂含量が多く、結晶化しやすい高融点油脂（乳脂肪、パーム油）を配合した流動性ヨーグルトでは、冷却過程で油脂が結晶化することによって、流動性ヨーグルトの乳タンパク質の凝集構造を強化したと思われる。一方、固体脂含量が少ない低融点植物油（大豆油、トウモロコシ油）を配合した流動性ヨーグルトでは、攪拌処理および貯蔵過程で脂肪球の凝集・合一が発生しやすいために、流動性ヨーグルトの乳タンパク質凝集構造が比較的崩壊しやすかった。また、油脂の種類にかかわらず、流動性ヨーグルトの離水率は主に分散している脂肪球の大きさに依存していることがわかった。したがって、均質化処理によって形成された小さい脂肪球が乳タンパク質凝集構造の内部に取り込まれたために、流動性ヨーグルトにおける離水の発生を抑制したと思われる。以上のことから、均質化処理は還元乳に存在している脂肪球の大きさを制御するだけでなく、乳タンパク質と脂肪球との相互作用を増加させることによって、流動性ヨーグルトの品質を向上させる有効的な手段であると考えられた。

今後の展開：本研究では、還元乳および還元乳から調製した流動性ヨーグルトの理化学的性質に対する油脂の種類および分散状態の影響を明らかにすることを試みた。しかし、流動性ヨーグルトの食品テクスチャーの発現に対する油脂の種類および分散状態の影響は未だ不明である。そこで、異なる油脂を用いた流動性ヨーグルトの食味を官能評価し、流動性ヨーグルトのせん断崩壊過程における乳タンパク質凝集構造の変化と食品テクスチャーとの関連性を検討する必要がある。

## 論文審査の結果の要旨

乳脂肪含量を低減したヨーグルトが販売されているが、離水の発生、粒子感の発生および滑らかさの消失などの品質劣化が知られている。そこで、本研究では異なる種類の油脂を分散させた還元乳から調製した流動性ヨーグルトを用いて、流動性ヨーグルトの理化学特性に対する脂肪球の分散状態および油脂の種類の影響を明らかにすることを目的とした。

脱脂粉乳から調製した還元脱脂乳に乳脂肪または融点が異なる4種類の植物油脂を異なる均質化圧力で分散させて脂肪球の分散状態が異なる還元乳を調製した。そして、脂肪球の分散状態および乳タンパク質との吸着状態を透過型電子顕微鏡観察し、還元乳の界面動電位およびタンパク質の表面疎水性を測定した。また、還元乳から調製した流動性ヨーグルトの保水性、流動性および動的粘弾性を測定し、メゾスコピック構造を共焦点レーザー顕微鏡にて観察した。高圧力での均質化処理によって脂肪球の比表面積が増加するために、脂肪球界面への乳タンパク質の吸着量が増加して乳タンパク質の表面疎水性などが変化し、還元乳でのタンパク質間の相互作用が増強したと思われる。この還元乳から調製した流動性ヨーグルトでは、タンパク質間結合が強化された凝集構造をもつために、見かけの粘度が高い流動性ヨーグルトが調製できた。一方、油脂の種類の違いは還元乳の理化学的特性および乳タンパク質と脂肪球との吸着状態をほとんど変化させなかった。しかし、流動性ヨーグルトの製造過程において、固体脂含量が多く、結晶化しやすい油脂（乳脂肪、パーム油）を配合した流動性ヨーグルトでは、冷却過

程で油脂が結晶化することによって乳タンパク質の凝集構造を強化したと思われる。一方、固体脂含量が少ない低融点油脂（大豆油、トウモロコシ油）を配合した流動性ヨーグルトでは、攪拌処理および貯蔵過程で脂肪球の凝集・合一が発生しやすいために、乳タンパク質凝集構造が比較的崩壊しやすかった。また、油脂の種類にかかわらず、流動性ヨーグルトの離水率は主に脂肪球の大きさに依存していた。したがって、均質化処理によって形成された小さい脂肪球が乳タンパク質凝集構造の内部に取り込まれたために、流動性ヨーグルトにおける離水の発生を抑制したと思われる。以上のように、本論文は流動性ヨーグルトの理化学特性に対する脂肪球の分散状態および油脂の種類の影響についての分子論的な解明に寄与している。

以上より、本審査委員会は、「岩手大学大学院連合農学研究科博士学位論文審査基準」に則り審査した結果、本論文を博士（農学）の学位論文として十分価値のあるものと認めた。

学位論文の基礎となる学術論文

1. Zhu, W. and Miura, M. (2024) Impacts of milk fat globules on the physicochemical properties of stirred yogurt. *Food Science and Technology Research* 30(2) 2024 (掲載証明書付)