

乳タンパク質ゲル状食品の力学物性と構造への澱粉添加の影響

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2018-07-31 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 付, 惟 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10291/19575

「博士学位請求論文」審査報告書

審査委員 (主査) 農学部 専任教授

氏名 _____ (印)

(副査) 農学部 准教授

氏名 _____ (印)

(副査) 農学部 准教授

氏名 _____ (印)

1 論文提出者 付 惟

2 論文題名 乳タンパク質ゲル状食品の力学物性と構造への澱粉添加の影響

(英文題) Effects of starches on mechanical properties and
microstructures of milk-protein gelling food

3 論文の構成

本論文は、以下の4章から構成されている。

第1章 序論

第2章 ネットワーク構造の異なるホエータンパク質 (WPI) ゲルの力学物性と構造への澱粉添加の影響を構造破壊から解析する

第3章 プロセスチーズの力学物性と構造への作製条件の影響

3-1: プロセスチーズの力学物性と構造への異なる乳化条件の影響

3-2: プロセスチーズの力学物性と構造へのプレクックチーズ添加の影響

第4章 ネットワーク構造の異なるプロセスチーズの力学物性と構造への澱粉添加の影響

4 論文の概要

食品のおいしさにおいて食感は重要である。その食感は咀嚼による食品構造の破壊過程で力学物性と構造状態の変化として発現される。そのため、食品構造が食感を決定すると考えられる。食品構造は食品成分と加工条件によって決まる。実際の食品は多成分からなる不均質構造を持っている。特に、タンパク質や多糖類は食品構造を形成する本体であり、その量と存在状態が食感に直接関与している。中でも乳タンパク質と澱粉はゲル状食品で幅広く使われる食感制御素材である。本論文では、乳タンパク質ゲル状食品の力学物性と構造への澱

粉添加の影響について、特に力学特性の変化を構造の形成と破壊の視点から解析した。

第1章では、本研究の背景を述べている。多成分系である食品において、食感に関わるタンパク質と多糖類の相分離構造の形成と破壊における界面の重要性が述べられている。また、タンパク質ゲルのネットワーク構造について概説している。特に、タンパク質ゲルのネットワーク構造のマトリクスとして、ストランドとランダムの種類があり、ストランド構造は、球状タンパク質分子が数珠状に会合したタンパク質ネットワーク構造である。一方、ランダム構造は球状タンパク質分子が塊状に凝集したタンパク質ネットワーク構造である。pHなどで構造が変化する重要性を指摘している。次に、タンパク質ゲル状食品であるプロセスチーズについて概説している。また、食感に寄与する多糖類の一種である澱粉について概説している。特に、タピオカ澱粉は食品に「もちもち」の食感を、馬鈴薯澱粉は「さっくり」食感を付与する。この様に種類の異なる澱粉を添加することで、食品に異なる食感を付与する食品製造における重要性を述べている。また、電子顕微鏡による構造観察の有効性について述べている。以上のことを踏まえ、本論文における課題として、乳タンパク質ゲル状食品を想定したWPIモデルゲルと実際の乳タンパク質ゲル状食品であるプロセスチーズを対象とし、多糖類である澱粉を添加した際の、食感と相関の高い大変形破断試験の一つである応力歪試験における力学特性の変化を微細構造から明らかにすることであると述べている。

第2章では、食感の異なるタピオカ澱粉と馬鈴薯澱粉を添加したホエータンパク質(WPI)ゲルを食品モデルとしている。ネットワーク構造の異なるWPIゲルの破断特性への澱粉添加の影響を破壊過程から検討している。pHの違いによりタンパク質ネットワークのマトリクス構造が異なる。pH6.8ではストランド構造を、pH5.8ではランダム構造を形成した。このpHでは澱粉糊化に影響がないことを示した上で、澱粉添加ゲルでは、単独ゲルよりも応力歪試験の応力が高かった。ストランド構造では馬鈴薯の添加により低歪低応力で破断した。ランダム構造ではタピオカの添加ゲルは破断点ではなく、降伏点を生じた。さらに、破壊過程における破壊部位の可視化に重点を置いて、力学特性の変化をメカニズムから解析している。WPIとタピオカ澱粉の共存ゲルでは、ストランド構造の場合タンパク質連続相構造内で亀裂を生じた。ランダム構造では、澱粉粒が伸びる様子が観察され、タピオカ澱粉の伸びる性質により、降伏点を示す延性破壊になったと考察している。WPIと馬鈴薯の共存ゲルでは、ストランド構造の場合澱粉とタンパク質の界面から亀裂を生じ破壊されたため、単独のタンパク質連続相で破壊するよりも、低歪で破断したと考察している。ランダム構造では、破壊後に澱粉粒が変形したが、亀裂断面ではタンパク質連続相構造が観察された。馬鈴薯澱粉粒ではなくタンパク質連続相中で亀裂を生じたため、単独より、高歪で破断したと考えている。

以上の様に、WPIのネットワーク構造のマトリクスがストランドまたはランダムのタイプの違いにより、タピオカ澱粉と馬鈴薯澱粉の添加による破断特性への影響が異なるのは、亀裂の入る部位が異なるという破壊メカニズムの違いによることを明らかにしている。

第3章では、プロセスチーズの力学物性と構造への作製条件の影響を検討している。プロセスチーズの製造過程では、原料のナチュラルチーズを加熱溶融・シェアリングする乳化は製品の品質を決定づける最も重要な工程である。特に、溶融塩及びシェアリングの攪拌速度や攪拌時間が製品の粘度上昇によるクリーミング効果と製品の力学物性に影響を与えることが知られている。

3-1 節ではプロセスチーズの力学物性と構造への異なる乳化条件の影響について検討している。本論文では、異なる種類の溶融塩を使用したうえで、異なる攪拌速度と異なる攪拌時間の乳化条件を設定し、Rapid Visco Analyzer を用いてプロセスチーズを作製した。攪拌速度が速い時、脂肪球が小さくなり、攪拌時間が長い時、カゼインネットワークがランダム構造からストランド構造に変化した。各種溶融塩を使用する場合、単独溶融塩より、混合塩（ポリリン酸塩：ジリン酸塩=4：1）が著しいクリーミング効果を示した。さらに、速い攪拌速度がモノリン酸塩の溶融塩としての効果を早めた。クリーミング効果が起こったプロセスチーズは、応力歪試験で応力が高くなり降伏点を示した。以上の様に、クリーミング効果（粘度上昇）を生じた際、カゼインミセルのネットワーク構造がランダムからストランドに変化し、かたくなることを明らかにしている。

3-2 節ではプロセスチーズの力学物性と構造への異なるプレクックチーズ添加の影響について検討している。プロセスチーズ製造において物性制御の目的でプレクックチーズが利用されている。プレクックチーズとは、プロセスチーズを製造する過程で生じたものであり、基本的にプロセスチーズそのものである。プロセスチーズを製造する際、このプレクックチーズを数%添加すると、クリーミング効果を促進し（触媒のように）、乳化したチーズの粘度が上昇するとともに最終製品であるプロセスチーズがより硬く耐熱保形性のあるものに変化する。本論文では、異なる作製条件で作ったプレクックチーズのプロセスチーズの物性・構造への影響を検討している。プレクックチーズを添加しない場合、ランダム構造を示す条件でプロセスチーズを作成した。ランダムタイプのプレクックチーズの添加の場合、カゼインネットワークがランダム構造であり、低い粘度や軟らかい物性を示した。すなわち、クリーミング効果を促進しないことを明らかにした。ストランドタイプのプレクックチーズの添加の場合、カゼインネットワークがストランド構造であり、クリーミング効果（粘度上昇）、硬い物性および降伏点を示した。以上の様に、プレクックチーズのネットワークのタイプに対応したタイプのネットワーク構造をつくることを明らかにしている。

第4章では、ネットワーク構造の異なる（ランダム/ストランド）プロセスチーズの力学物性と構造への澱粉添加の影響を明らかにしている。同じ加熱条件で澱粉を添加するために、第3章で得られた知見をもとに、異なる2種類の構造を持つプレクックチーズを添加し異なるネットワーク構造のプロセスチーズを作製した。ランダム構造を持つプレクックチーズを添加したプロセスチーズにおいて、タピオカ澱粉の添加の場合では、カゼインミセルネットワーク構造がランダムであった。しかし、馬鈴薯澱粉の添加の場合では、クリーミング効果が見られ、構造がランダムからストランドに変化し、かたくなった。ストランド構造を持つプレクックチーズを添加したプロセスチーズにおいて、カゼインミセルネットワーク構造と力学物性への澱粉添加の影響が見られなかった。以上の様に、プロセスチーズのカゼインミセルネットワーク構造がランダムである場合、タピオカ澱粉を添加したとき、構造への影響が小さいが、馬鈴薯澱粉を添加した時、ランダムからストランド構造に変化しかたくなることを明らかにしている。

5 論文の特質

本論文の特質は、乳タンパク質ゲル状食品に澱粉を添加した際の力学物性の変化を微細構

造の差から明らかにした点にある。具体的には、以下に得られた4つの新知見を示す。①WPI澱粉共存ゲルにおいて、未破壊構造と破壊構造を電子顕微鏡で観察比較することで、ゲル中のタンパク質ネットワークと澱粉粒のどちらが破壊し亀裂を生じるかによって、応力歪試験における破断点の変化が決まることを明らかにした。特に、新たに生じた界面から破壊が起こり亀裂を生じる場合、ゲルが低歪・低応力で破壊することを示した。②プロセスチーズにおいて、クリーミング効果が起こるとカゼインミセルのネットワーク構造がランダムからストランドに変化し、応力歪試験でかたく降伏点を示すことを明らかにした。③クリーミング効果のないプレックチーズを添加した時、ランダム構造であり、クリーミング効果のあるプレックチーズを添加した時、ストランド構造であることを明らかにした。④プロセスチーズのカゼインミセルネットワーク構造がランダムの場合、馬鈴薯澱粉を添加した時、クリーミング効果が起こり、構造がランダムからストランドに変化し、かたくなることを明らかにした。

6 論文の評価

本論文の内容のうち、既に3報が筆頭著者として国際学術誌に掲載または印刷中である。残りの内容も国際学術誌で査読中である。そのため、完成度が高い論文と評価できる。さらに、乳タンパク質ゲル状食品に関して、ホエータンパク質と澱粉のモデルゲルにおける基礎的な研究だけでなく、実際の食品であるプロセスチーズにおける実践的な研究の両方を含んでおり、食品分野で幅広く貢献することが期待される。

7 論文の判定

本学位請求論文は、農学研究科において必要な研究指導を受けたうえ提出されたものであり、本学学位規程の手続きに従い、審査委員全員による所定の審査及び最終試験に合格したので、博士（農学）の学位を授与するに値するものと判定する。

以 上