

(論文内容の要旨)

脱脂粉乳は、牛乳から水分を取り除くことで、牛乳の保存性を高め、経済的に輸送できることなどを目的として調製される。また、脱脂粉乳は、栄養価の改善、風味の向上などの利点を持つことにより、チーズ、ヨーグルト、飲料やパンなど様々な加工食品に利用されている。脱脂粉乳の製造方法は、基本的には生乳からクリームなどを取りのぞいた脱脂乳を殺菌・乾燥する工程から成り立っている。製造工程のひとつである「殺菌工程」の条件を変えることで性質の異なる脱脂粉乳を得られることがわかっているが、含まれるタンパク質の変性状態や、それぞれの脱脂粉乳の食品原材料素材としての有用性については、ほとんど検討されていない。

本研究で用いられる脱脂粉乳は、スーパーハイヒート(SH)、ハイヒート(H)、普通脱脂粉乳(N)、ローヒート(L)の4種類である。それぞれに与えられる熱量を積算し、Nを1.0とした時のSH、H、Lの積算熱量を相対値で表すと、SH(4.4)、H(3.2)、L(0.4)となる。この積算熱量が高いほど脱脂粉乳に含まれるタンパク質の変性度も高い可能性が考えられる。本論文では、これら脱脂粉乳を対象とし、殺菌条件が脱脂粉乳中のタンパク質の変性状態に与える影響を明らかにするとともに、それぞれの脱脂粉乳の加工食品原料素材としての適性について検討を行った。

1. 各脱脂粉乳のコロイド科学的・タンパク質化学的性質を比較した。それぞれの脱脂粉乳を水に分散させ濁度および溶解度の測定を行った結果、積算熱量の最も低いLの分散性が高く、積算熱量の増加とともに分散性が低下した。また、表面疎水性および遊離システイン含量の測定結果より、脱脂粉乳中のタンパク質の変性程度は、積算熱量が高いほど大きくなることが示された。ドデシル硫酸ナトリウム-ポリアクリルアミドゲル電気泳動(SDS-PAGE)の結果から、積算熱量の増加にしたがって会合体の形成が進むこと、またその会合体は α -ラクトアルブミンや β -ラクトグロブリンのジスルフィド結合を介した重合体から形成されていることを明らかにした。さらに、各脱脂粉乳を小麦粉生地に添加し製パンテストを行った結果、積算熱量の最も高いSHを添加したパンのローフボリュームが最も大きかった。

2. 凝乳酵素であるレンネットに対する感受性およびカード形成性について比較検討を行った。まず、低濃度の脱脂粉乳溶液を調製し、そこにレンネットを添加した場合の濁度変化について検討を行ったところ、最も変性程度の低いLにのみ、顕著な濁度上昇が認められた。このような濁度の上昇はカゼインミセルの凝集によって生じていることを確認した。また、高濃度の脱脂粉乳溶液にレンネットを添加した場合のカード形成について検討したところ、全ての脱脂粉乳溶液でカード形成が認められ、それらのカードの破断応力の大きさは、SH<H<N<Lの順番となった。電子顕微鏡観察の結果、最も高い破断応力を示したLのカードにおいては、緻密な網目構造が形成されていることが明らかとなった。このようなカード形成能の違いが生じる理由を明らかにするため、レンネット添加により、切り出されたグリコマクロペプチド (GMP) 量の定量を行った。その結果、GMPの量には脱脂粉乳間で差はなく、各脱脂粉乳のカード形成性は κ -カゼインのレンネット感受性の差に基づくものではなく、GMP切断後のカゼインミセルの凝集しやすさの違いによることが示唆された。

3. 酸性条件下での各脱脂粉乳のゲル形成性について比較を行った。各脱脂粉乳溶液にグルコノ- δ -ラクトン (GDL) を添加し37°Cで保持することによりpHを酸性領域にまで低下させたところ、タンパク質変性度が中程度のHとNにおいてのみゲル形成が認められた。37°C保持後、さらに80°Cで加熱したところ、LやSHも含め、全ての脱脂粉乳溶液はゲル化した。特にLのゲルの破断応力は最も大きな値を示し、電子顕微鏡観察の結果から緻密な網目構造が形成されていることが確認できた。GDL添加あるいはその後の加熱により形成したゲルの破断応力は、脱脂粉乳中のシステイン残基を封鎖したところ著しく低下したことから、GDL添加ゲルの形成にはジスルフィド結合が関与していることが示唆された。SDS-PAGE分析の結果、各脱脂粉乳のゲル物性の違いには、 α -ラクトアルブミンや β -ラクトグロブリンの変性状態が密接に関連していることが明らかとなった。

氏名	宮本有香
----	------

(論文審査の結果の要旨)

脱脂粉乳は製造工程において様々な条件で加熱殺菌される。加熱工程において与えられる積算熱量の違いによって、脱脂粉乳の品質は大きく変化すると考えられるが、この点に関する系統的な研究はほとんど行われていない。本論文では、積算熱量の異なる条件下で製造された4種類の脱脂粉乳、SH、H、N、Lを用い、積算熱量の違いが脱脂粉乳中のタンパク質の変性状態に与える影響について検討した。さらに、それぞれの脱脂粉乳の加工食品原料素材としての適性についても比較検討を行った。評価すべき主な点は以下の通りである。

1. 脱脂粉乳に与えられる積算熱量の増加とともに、タンパク質の変性が進み、水に対する分散性は低下した。積算熱量の最も低い条件で調製されたLは、良好な分散性を示し、飲料素材として適していることが明らかとなった。一方、小麦粉生地に添加し製パンテストを行った結果では、受けた積算熱量が最も高く、タンパク質の変性が最も進んでいるSHを添加したパンにおいて、最も高いローフボリュームが得られた。

2. それぞれの脱脂粉乳のレンネットによるカード形成性を比較した。その結果、Lの場合には、レンネット添加後のカゼインミセルの凝集が急速に進行し、強固なカードを形成したことから、チーズ製造に適した性質を有することが確認された。他の脱脂粉乳でもカード形成が認められたものの、そのカードの破断応力は、脱脂粉乳に与えられる積算熱量が高くなるほど低下することが明らかとなった。一方、レンネット反応で遊離してくるGMPを定量したところ、脱脂粉乳間で顕著な差はなかった。以上の結果より、殺菌工程における積算熱量は、脱脂粉乳中の κ -カゼインのレンネット感受性に影響を与えないものの、GMP切断後のカゼインミセル同士の凝集性に大きな影響を与えることを明らかにした。

3. ヨーグルトの製造を想定し、脱脂粉乳溶液にpH低下作用を持つGDLを添加した場合のゲル形成性を比較した。GDL添加後、37°Cで保持した場合には、タンパク質の変性度が中程度のH、Nにおいてのみゲル形成が認められた。さらに80°Cで加熱したところ、LやSHも含め、全ての脱脂粉乳溶液はゲル化した。特にLのゲルの破断応力は最も大きな値を示した。以上のゲル化挙動には、脱脂粉乳中の α -ラクトアルブミンや β -ラクトグロブリンの変性状態が密接に関係していることを明らかにした。

以上のように、本論文は、脱脂粉乳の製造工程で加えられる積算熱量が、脱脂粉乳中のタンパク質の変性状態や機能特性に与える影響を明らかにしたものである。得られた知見は、脱脂粉乳の食品原料素材としての可能性を拡大するものであり、食品加工学並びに品質評価学の発展に寄与するところが多い。

よって、本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成21年7月23日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。