

ラムスデン現象における 膜の生成量を増加させるには

班員 杉浦 拓真、長田 夕苺、松本 紗綾、輪瀬 一馬
担当教諭 橋谷 広司

キーワード：牛乳、ラムスデン現象、熱変性、等電点

Pickering emulsion is a phenomenon where whey protein and fat of milk becomes a film by heat. The purpose of this experiment was to increase the amount of film produced. First, we investigated the amount of film produced by milk to which nothing was added. Second, we investigated what substances would increase the amount of film produced. Results show that in the Pickering emulsion, adding an acidic liquid with a large pH to milk can increase the amount of film.

1 はじめに

ラムスデン現象とは、牛乳を加熱した際に、牛乳中のホエータンパク質と脂肪が熱変性するとともに、表面の水分が蒸発して膜ができる現象である（図1）。生成される膜はタンパク質やミネラルなどの多くの栄養を含んでいることが知られている。しかし、本校で過去に行ったラムスデン現象についての研究では、口当たりの悪さのため、膜の生成を阻害する実験が行われていた。本研究では逆に栄養価の高い牛乳の膜を増加させ有効活用することを目的とし、実験を行った。

先行研究では膜が現れないようにするには、牛乳を70℃で温めればよいと結論していた。しかし、予備実験において、温める時間が長ければ70℃未満でも膜は生成されるとわかった。そのため、先行研究では牛乳を温める時間を5分、温度を70℃又は80℃と設定していたが、今回は温める時間を15分、温度を60℃とした。

また、先行研究では重曹、小麦粉、片栗粉を加えると膜の生成が阻害されることがわかっている。

先行研究において成分無調整牛乳は商品一つ一つで分量がわずかに異なり、また季節によっても変わるため、安定した結果

を得ることが難しいと述べられていた。そのため、本研究においても成分調整牛乳を用いた。

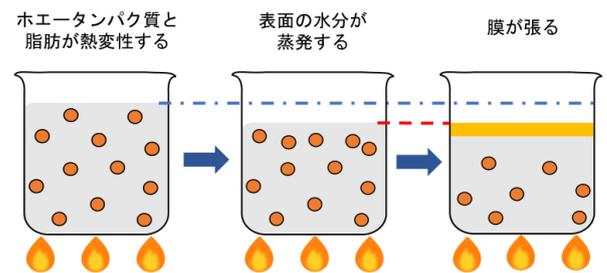


図1 ラムスデン現象の仕組み

2 材料と方法

<実験1>

材料 ・成分調整牛乳（まきばの空）

何も加えていない牛乳で生成される膜の量について調べるため、次の実験を行った。成分調整牛乳100 mLが入ったビーカー3つをウォーターバスを用いて60℃になるまで温めた。その後、それまでにできた膜を取り除き、温度を60℃に保ちながら15分放置した。放置した牛乳から再び膜を取り出し、吸引ろ過してから膜を2日～2週間程度乾燥させた。膜が完全に乾いているのを確認したのち電子天秤で重さをはかった。

<実験2>

- 材料 ・成分調整牛乳（まきばの空）
 ・食酢（穀物酢）
 ・レモン汁（ポッカレモン）
 ・紅茶（Lipton）
 ・緑茶（お〜いお茶）
 ・強炭酸水（伊賀の天然水強炭酸水）

膜の量を増やす方法について調べるため、牛乳に酸性の液体を加え、次の実験を行った。牛乳100 mLが入ったビーカーに酸性の液体（レモン汁、食酢、強炭酸水、紅茶、緑茶）をそれぞれ10 mLずつ加えた（表1）。

表1 加えた液体とpH

加えた液体 (pH)	混合後 (pH)	加熱後 (pH)
レモン汁 (2.7)	4.6	4.0
食酢 (3.1)	4.9	4.7
強炭酸水 (4.6)	6.5	6.1
紅茶 (5.9)	6.8	
緑茶 (6.7)	6.8	

実験1と同様に、それぞれのビーカーを60℃になるまで温めた。膜を取り除いた後、再び60℃に保ちながら15分放置した。放置した牛乳から再び膜を取り出し、吸引ろ過してから膜を自然乾燥させた。膜が完全に乾いているのを確認したのち、重さをはかった。

3 結果

<実験1>

膜の生成量の平均値は、実験を行った日の間で差がみられた（図2）。

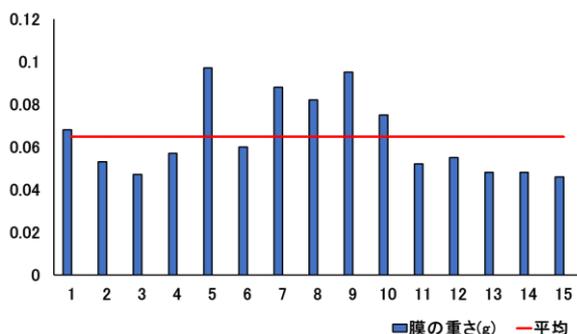


図2 牛乳 100 mL あたりの膜の生成量 (g)

更に、図2の15回分の結果を1~3、4~9、10~15と、実験を行った日ごとに分け、平均すると図3のようになった。なお、日ごとで実験を行った回数は異なっている。また、1~3日目というように記しているが、実験は連続した日に行ったものではなく、それぞれ1週間ずつ期間が空いている。

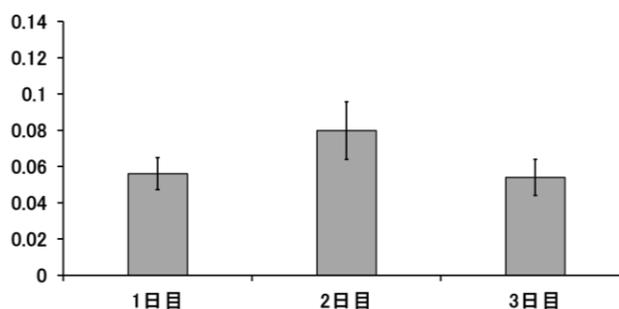


図3 日別の膜の重さ (平均±標準偏差、g)

生成された膜の重さの平均は、1日目が0.056±0.009 g、2日目が0.080±0.016 g、3日目が0.050±0.010 gとなった。

<実験2>

強炭酸水、紅茶、緑茶を加えた場合は膜ができ、各実験で生成した膜の重さの平均値は、実験1で生成した膜の重さの平均値を上回った。pHの小さい強炭酸水、紅茶、緑茶の順に膜の生成量が増加した（図4）。食酢、レモン汁を加えると、膜とは異なる凝固物ができ、沈殿した（図5、図6）。

なお、実験1と同様に15回の試行を実験を行った日ごとに平均した後、その値をさらに平均し、図3に示した値として扱っている。

生成された膜の重さの平均値は、何も加えていないときが0.063±0.012 g、紅茶を加えたときが0.079±0.023 g、緑茶を加えたときが0.073±0.022 g、強炭酸水を加えたときが0.117±0.057 gだった。

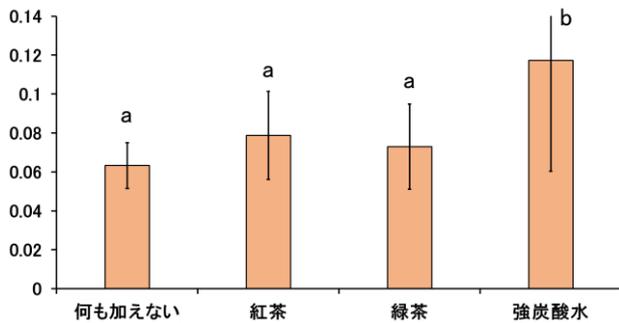


図4 生成した膜の重さ(平均±標準偏差、g)



図8 吸引ろ過後の凝固体(レモン汁)

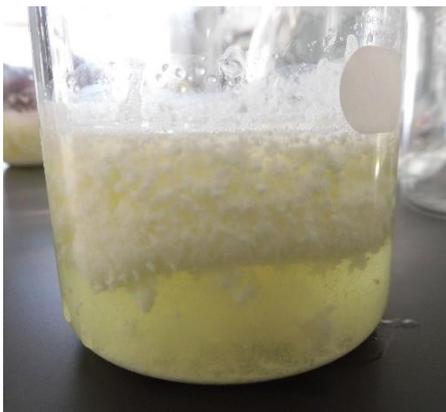


図5 生成された凝固体(食酢)

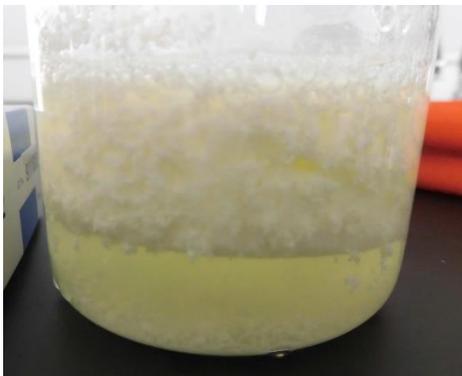


図6 生成された凝固体(レモン汁)

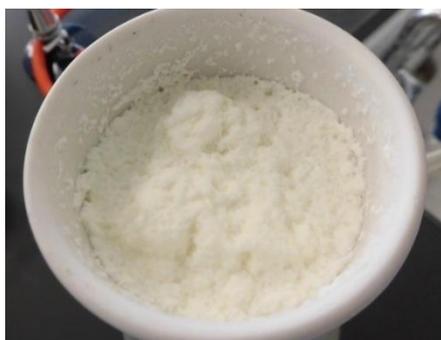


図7 吸引ろ過後の凝固体(食酢)

4 考察

<実験1>

図2、3のように実験を行った日ごとに膜の重さの平均に差がみられたことから、気温や湿度によって牛乳中の水分の蒸発量が変化し、膜の生成量に影響を与えたと考えられる。また、牛乳パックのパッケージに記載された成分表示表より、使用した牛乳の成分の違いも生成量に影響を与えたと考えられる。

<実験2>

牛乳に含まれるタンパク質のおよそ80%はカゼインであり、その他のタンパク質はホエータンパク質と呼ばれる。牛乳の膜はほとんどカゼイン以外のホエータンパク質からできている。

カゼインは酸によって固まる性質がある。そのため、実験でpHが小さいほど膜の重さが増えたのは、牛乳に酸性の液体を加えた際に一部のカゼインが変性してホエータンパク質とともに膜になったためだと考えられる。

また参考文献には、乳または乳から得られる原料を凝固させ、この凝固体より分離するホエーを部分的に流出させることで得られるものがチーズであると述べられていた。そのため、牛乳に食酢やレモン汁を加えた際に生成された凝固体はチーズであると考えられる。

また、この際、牛乳中のカゼインが酸と反応

し、温めたことによって更に等電点であるpH 4.6に近くなり、脂肪を包み込んで凝固したと考えられる。等電点ではタンパク質のプラスマイナスの荷電が等しくなり、粒子同士が結合しやすくなることで溶解度が減少することが知られている。カゼインは特にこの等電点の性質を持っているため、pH4.6になったときに凝固して沈殿する。

ラムスデン現象において生成される膜は主にホエータンぱく質からできており、これはカゼインからできているチーズとは異なるものである。つまり、牛乳に食酢やレモン汁を加えたときに凝固物が生成されたのはラムスデン現象によるものではないと考える。

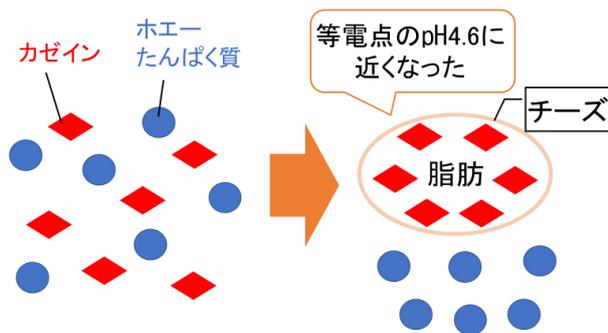


図9 カゼインが酸と反応し、凝固する様子

5 結論

ラムスデン現象において、牛乳に凝固物(チーズ)が生成されない程度にpHの大きい酸性の液体を加えると、膜の生成量を増やすことができる。

6 今後の展望

今回の実験では、食酢やレモン汁のようにpHの小さい酸性の液体を加えると、チーズが生成された。しかし、pHの小さい酸性の液体でも加える量が少なければ膜の生成量を増やすことができると予想している。そのため、牛乳に加える液体の量を変えて、膜の生成量の変化を

調べたい。

また、アルカリ性や酸性の液体でも膜の生成量が増えるのかを調べるため、アルカリ性や酸性の液体も加えて実験を行いたい。その際加える液体としては、アルカリ性や中性の調味料が少ないため、アルカリ電解水やミネラルウォーターを検討している。

7 参考文献

- (1) 岡崎紗英、清水ありさ、中川みらい、山岸千夏. ラムスデン現象における膜の発生条件. 平成29年度理数科課題研究論文集. 2021. p. 21 - 24
- (2) 一般社団法人 日本乳牛協会. 乳と乳製品のQ&A. 牛乳を温めると表面に薄い膜ができるのはなぜですか?. 2010
https://nyukyuu.jp/dairyqa/2107_005_475/ (参照2022-11)
- (3) 奈良県牛乳商業組合. 牛乳に関するQ&A. (Q26)・牛乳に、レモン汁を入れると、何故、沈殿が生じるんですか?. 2016
<http://www.nara-gyunyuya.com/qa/26.htm>, (参照2022-12-21)
- (4) 雪印メグミルク株式会社 チーズクラブ Cheese Club. チーズの定義. チーズの基本的な作り方～ナチュラルチーズとプロセスチーズ～
<https://www.meg-snow.com/cheeseclub/knowledge/jiten/base/teigi/> (参照2022-11)