

レモン汁による牛乳タンパク質の凝集

班員 多田 拓哉、玉田 千晴、長尾 光季、早見 航汰
担当教員 高橋 潤哉

キーワード：牛乳、レモン汁、クエン酸、凝集、緩衝液

If you add lemon juice to milk, milk reacts with the acid in the lemon juice and you can make white agglomerates. But if you add citric acid to milk, you can't make agglomerates. This is because lemon juice is a buffer solution and the amount of acid molecules in lemon juice is different from that in citric acid, even though the pH is the same in both liquid.

1 はじめに

牛乳にレモン汁などの酸性の液体を加えると、白い凝集物が生成されることが知られている。（写真1）

レモン汁に一番多く含まれている酸はクエン酸であるが、レモン汁と同じpH2.5であるクエン酸水溶液を用いて同様に実験を行ったところ、牛乳は凝集しなかった。

牛乳の凝集反応におけるレモン汁の役割を明らかにすることを目的として実験を行った。

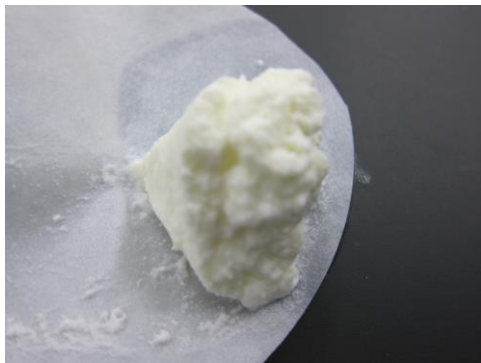


写真1 牛乳の凝集物

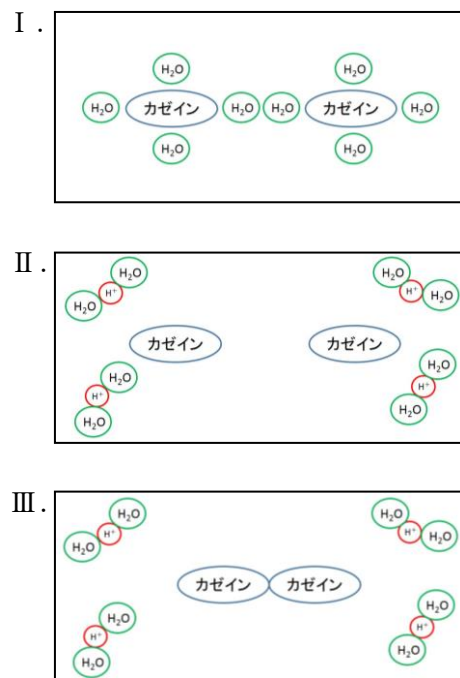


図1 牛乳が凝集するメカニズム

牛乳が凝集するメカニズムについて（図1）

- I. カゼインが水分子に囲まれている。
- II. 酸を加えると、水分子が水素イオンと結びつく。
- III. カゼインどうしが結びつく。

2 実験

＜実験 I：牛乳と酸の凝集反応＞

目的

牛乳の加熱の有無と凝集反応の関連について次の2つの実験を行った。

実験 I -A：90℃まで加熱した牛乳を使用

実験 I -B：常温の牛乳を使用

実験方法

I. 牛乳30.0 g に酸3.15mLを加える。

II. 凝集物を濾過し、濾液のpHを測定する。

※3.15mLとは牛乳30.0 g の十分の一である。

※レモン汁以外の酸との反応も調べるため、レモン汁、クエン酸、酢酸、硫酸、塩酸を使用した。また加える酸のpHは、レモン汁と同じpH2.5にそろえた。

結果

表 1 実験 I の結果

		レモン汁	クエン酸	酢酸	塩酸	硫酸
A: 加熱あり	凝集物の有無	++	-	+	-	-
	ろ液のpH	3.94	6.38	4.63	6.49	6.49
B: 加熱なし	凝集物の有無	+	-	±	-	-
	ろ液のpH	4.08	6.38	5.41	6.51	6.49

※牛乳のpHは7.02である。

加熱の有無による凝集の変化は大きな違いが見られなかった。

レモン汁、酢酸水溶液を用いたときのみ牛乳が凝集した。しかし、レモン汁を用いた場合とレモン汁に多く含まれているクエン酸の水溶液を用いた場合で凝集物の有無に違いが見られた。(表1の赤枠部分)

<実験II: 酸の物質質量による牛乳の凝集>

実験Iで、レモン汁とクエン酸水溶液とで結果に違いが見られたため、牛乳の凝集には加える酸の物質質量が関係していると仮説を立てて2つの実験を行った。

仮説

加える酸の物質質量を大きくすると、牛乳が凝集する。

実験II-A: 加える酸の体積を増やす

実験II-B: 加える酸の濃度を大きくする

実験方法

○実験II-A

I. 牛乳30.0 g にpH2.5の酸31.5mLを加える。

II. 凝集物を濾過し、濾液のpHを測定する。

○実験II-B:

I. 牛乳30.0 g にpH1.0の酸3.15mLを加える。

II. 凝集物を濾過し、濾液のpHを測定する。

※実験IIでは、実験Iで牛乳が凝集しなかった酸であるクエン酸、塩酸、硫酸を使用した。

※モル濃度は実験II-Aで加えた酸よりも実験II-Bで加えた酸の方が大きい。

結果

表 2 実験IIの結果

		クエン酸	塩酸	硫酸
A	凝集物の有無	+	-	-
	3.15mL × 10 ろ液のpH	5.06	6.40	6.40
B	凝集物の有無	±	±	±
	pH1.0 ろ液のpH		5.72	5.63

※上は実験II-A、下は実験II-Bの結果である。

加える酸の物質質量が大きくなると、牛乳は凝集した。

<実験III: 中和滴定による酸のモル濃度測定>
目的

レモン汁(pH2.5)とクエン酸水溶液(pH2.5)に含まれるそれぞれの酸のモル濃度を測定する。

実験方法

水酸化ナトリウム水溶液を用いて中和滴定を行った。

結果

表 3 レモン汁とクエン酸のモル濃度

	レモン汁	クエン酸
モル濃度 (mol/L)	3.2×10^{-1}	9.0×10^{-3}

レモン汁に含まれている酸のモル濃度は、クエン酸水溶液に含まれている酸のモル濃度の

約40倍だった。

※レモン汁に含まれるクエン酸のモル濃度をレモン汁の成分表示より換算すると、0.33mol/Lだった。

＜実験Ⅳ：緩衝液による実験＞

レモン汁の成分表示と同量のクエン酸を含む緩衝液（pH2.5）により牛乳が凝集するか調べる。

仮説

レモン汁は緩衝液となっている。

緩衝液の作成方法

- I. レモン汁と同じモル濃度のクエン酸水溶液を作成する。
- II. 水酸化カリウム水溶液を加えてpH2.5に調整する。
※レモン汁には、ナトリウムとカリウムが含まれているが、カリウムの内容量の方が多かったため、水酸化カリウム水溶液を用いて緩衝液を作成した。

実験方法

- I. 牛乳30.0gに作成した緩衝液を3.15mL加える。
- II. 凝集物を濾過し、凝集物の有無を確認する。

結果

試薬を用いて調整した緩衝液を用いた場合でも、牛乳は凝集した。

3 結論

レモン汁は同じpHのクエン酸水溶液より酸のモル濃度が大きいため、レモン汁を用いたとき効果的に牛乳が凝集した。レモン汁のモル濃度が大きいのは、レモン汁が緩衝液となっているからである。

4 今後の課題

目的

レモン汁を用いたときの凝集物（写真2）と作成した緩衝液を用いたときの凝集物（写真3）の形状に違いが見られたため、何の影響によるものか調べる。

実験方法

- I. 顕微鏡を用いて、詳しい構造を調べる。
- II. レモン汁に含まれる他の物質（糖、香料など）の凝集反応への影響を調べる。



写真2 レモン汁を用いた凝集物



写真3 作成した緩衝液を用いた凝集物

5 今後の展望

牛乳から生成される凝集物に圧力をかけながら乾燥させると一種の生分解性プラスチックとなることが知られている。（写真4）

生分解性プラスチックとは、自然界に存在する微生物によって分解され、自然に還るプラス

チックのことである。

将来的に、生分解性プラスチックの研究がすすむことで、現在世界中で大きな問題となっている環境汚染の一つである、マイクロプラスチック問題などの解消につながることを期待される。



写真4 凝集物を乾燥させたもの

6 参考文献

石川県立七尾高等学校SSC,牛乳タンパク質の凝集について,みやぎ総文2017自然科学部門論文集