

赤い牛乳ができる原因について

班員 長谷川遥香、箕田和奏、山屋美乃里、吉野沙良

担当教員 清水宏一

キーワード：牛乳、水酸化ナトリウム、けん化、メイラード反応

When we added sodium hydroxide aqueous to milk, we observed the formation of coagulum and yellowing of solution, which in the end, turned red. We found that the mechanism of these phenomena is related to the main components of milk. Among them, lipid relates to coagulation, and protein and sugar relate to discoloration.

1 はじめに

牛乳に酸性の物質を加えると牛乳が凝固するということが知られているが、塩基性の物質を加えてみたという例はあまり見られない。そこで、牛乳に塩基性の物質として1mol/Lの水酸化ナトリウム水溶液3mLを牛乳3mLに加えてみたところ、実験開始から1~2時間後に白い凝固物が形成され、溶液が黄色く変色し、5時間後には赤褐色へと変色するという現象が見られた(図1)。私たちは、牛乳の主成分である脂質、タンパク質、糖に焦点をあて、これらの現象の原因を解明することを目的とする。

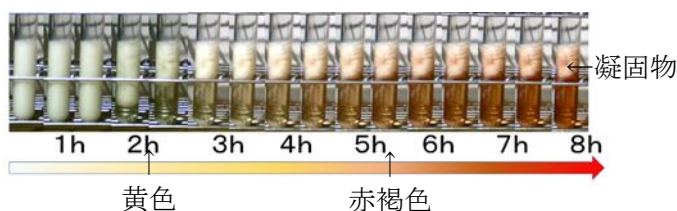


図1 牛乳 30分ごとの変化

2 実験方法と結果

2.1 反応物質の特定

実験1:牛乳の主成分における反応

目的1

牛乳の脂質、牛乳のタンパク質であるカゼイン、牛乳の糖であるラクトース、の水酸化ナトリウムにおける反応を明らかにする。

実験1-1:脂質について

実験方法1-1

脂質の含有量が異なる牛乳、低脂肪乳、無脂肪乳の各3mLに1mol/Lの水酸化ナトリウム水溶液3mLを加えた。

凝固物が形成された場合は、凝固物をろ過し、水分を完全に乾燥させ、ろ紙の質量を引いたものを凝固物の質量とした。

結果1-1

表1 脂質による色の変化と凝固物

	0h→2h→5h	凝固物
牛乳(7.6g)	白→黄→赤褐	0.31g
低脂肪乳(2.4g)	白→黄→赤褐	0.13g
無脂肪乳(0.4g)	白→黄→赤褐	0.09g

* ()の数值は牛乳200mL中に含まれる脂質の質量

すべてにおいて、時間の経過とともに溶液の黄色、赤褐色への変色が見られた。牛乳に含まれる脂質が少なくなるにつれ、形成された白い凝固物も少なくなった。

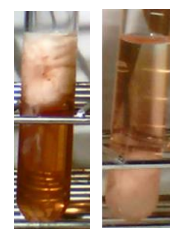


図2 牛乳と無脂肪乳

実験1-2:タンパク質について

実験方法1-2

牛乳3mL中のタンパク質の質量0.13gをすべてカゼインとみなし、これに1mol/Lの水酸化ナトリウム水溶液3mLを加えた。凝固物が形成された場合は実験1-1と同様の方法を用いて、凝固物の質量を測定した。

結果1-2

表2 タンパク質による色の変化と凝固物

	0h→2h→5h	凝固物
牛乳	白→黄→赤褐	0.31g
カゼイン	白→黄→黄	—

カゼインは時間の経過とともに溶液の黄色への変色がみられた。また、白い凝固物は形成されなかった。

実験1-3:糖について

実験方法1-3

牛乳3mL中の糖の質量0.15gをすべてラクトースであるとみなし、0.14mol/Lの水溶液にし、この水溶液3mLに1mol/Lの水酸化ナトリウム水溶液3mLを加えた。凝固物が形成された場合は実験1-1と同様の方法を用いて、凝固物の質量を測定した。

結果1-3

表3 糖による色の変化と凝固物

	0h→2h→5h	凝固物
牛乳	白→黄→赤褐	0.31g
ラクトース (還元糖)	白→白→黄…赤褐12h	—

ラクトースは時間の経過とともに溶液の黄色、赤褐色への変色がみられた。また、白い凝固物は形成されなかった。



図3 ラクトース

考察1

脂質が白い凝固物の形成、溶液の黄色、赤褐色への変色に、牛乳のタンパク質であるカゼインが黄色への変色に、牛乳の糖であるラクトースが黄色、赤褐色への変色に関係している。ただし、脂質についての実験において、脂質単体の実験は行っていないため、脂質が溶液の変色に関係しているかは明らかではない。

実験2:脂質、タンパク質、糖における反応

目的2

牛乳の主成分以外の脂質、タンパク質、糖の水酸化ナトリウムへの反応を明らかにする。

実験2-1:脂質について

実験方法2-1

牛脂、サラダ油、アマニ油、各3mLに1mol/Lの水酸化ナトリウム水溶液を加えた。凝固物が形成された場合は実験1-1と同様の方法を用いて、凝固物の質量を測定した。

結果2-1

表4 脂質による色の変化と凝固物

	0h→2h→5h	凝固物
牛脂	白→白→白	2.60g
サラダ油	白→白→白	1.64g
アマニ油	白→白→白	1.22g

すべてにおいて、溶液の色の変化は見られなかったが、白い凝固物が形成された。



図4 牛脂

実験2-2:タンパク質について

実験方法2-2

卵白、豆乳、各3mLとコラーゲン0.13gに1mol/Lの水酸化ナトリウム水溶液3mLを加えた。凝固物が形成された場合は実験1-1と同様の方法を用いて、凝固物の質量を測定した。

結果2-2

表5 タンパク質による色の変化と凝固物

	0h→2h→5h	凝固物
卵白	白→黄→黄	—
豆乳	白→黄→黄	0.20g
コラーゲン	白→黄→黄	—

すべてにおいて、時間の経過とともに溶液の黄色への変色がみられた。豆乳のみ、白い凝固物が形成された。



図5 豆乳

実験2-3:糖について

実験方法2-3

0.14mol/Lのマルトース水溶液、グルコース水溶液、スクロース水溶液、各3mLに1mol/Lの水酸化ナトリウム水溶液3mLを加えた。凝固物が形成された場合は実験1-1と同様の方法を用いて、凝固物の質量を測定した。

結果2-3

表6 糖による色の変化と凝固物

	0h→2h→5h	凝固物
マルトース (還元糖)	白→白→黄…赤褐12h	—
グルコース (還元糖)	白→白→黄	—
スクロース (非還元糖)	白→白→白	—

マルトース、グルコースともに、溶液の黄色への変色がみられた。その後、マルトースのみ赤褐色への変色がみられた。また、すべてにおいて、白い凝固物は形成されなかった。



図6 マルトース

考察2

白い凝固物の形成には脂質が、溶液の黄色の変色にはタンパク質と還元糖が、赤褐色の変色には糖が関係している。

2.2 仕組みの解明

実験3:各反応の仕組み

目的3

白い凝固物の形成、溶液の黄色、赤褐色への変色の仕組みを明らかにする。

実験3-1:白い凝固物について

仮説3-1-1

牛乳の脂質と水酸化ナトリウムによるけん化によって、白い凝固物(石鹸)が形成される。

実験方法3-1-1

牛乳に水酸化ナトリウム水溶液を加え、ろ過した後の凝固物を再び水にとかし、ガラス棒でかき混ぜた。



図7 凝固物をかき混ぜた結果

結果3-1-1

かき混ぜた結果、泡立った。

仮説3-1-2

牛乳の脂質と水酸化ナトリウムによるけん化により、白い凝固物(石鹸)が形成されるならば、水酸化ナトリウム水溶液の代わりに、水酸化カリウム水溶液を用いても同様の現象がみられる。

実験方法3-1-2

牛乳3mLに1mol/Lの水酸化カリウム水溶液を加えた。凝固物が形成された場合は実験1-1と同様の方法を用いて、凝固物の質量を測定した。

結果3-1-2

表7 水酸化カリウムによる色の変化

	0h→2h→5h
水酸化ナトリウム	白→黄→赤褐
水酸化カリウム	白→黄→赤褐

水酸化ナトリウム水溶液の代わりに、水酸化カリウム水溶液を用いても、同様の結果が得られた。

考察3-1

白い凝固物は、牛乳の脂質と水酸化ナトリウムによるけん化によって形成されたと考えられる。

実験3-2:黄色への変色について

仮説3-2

牛乳のタンパク質に含まれる芳香族アミノ酸の酸化により、黄色に変色する。

実験方法3-2

実験1、2で使用したタンパク質を酸化させるために、酸化剤として1mol/Lの次亜塩素酸ナトリウム水溶液3mLを加えた。

結果3-2

表8 タンパク質による色の変化

	0h→2h→5h
牛乳	白→黄→黄
カゼイン	白→黄→黄
卵白	白→黄→黄
豆乳	白→黄→黄
コラーゲン	白→黄→黄

すべてにおいて、時間の経過とともに溶液の黄色への変色がみられた。

考察3-2

酸化剤により、タンパク質が黄色く変色したことから、牛乳のタンパク質に含まれる芳香族アミノ酸の酸化により、溶液が黄色に変色したと考えられる。

実験3-3:黄色と赤褐色への変色について

仮説3-3

牛乳に含まれるラクトースとタンパク質の(1)メイラード反応により、溶液が黄色から赤褐色へ変色する。

(メイラード反応は高pHで反応が促進する。)
実験方法3-3

0.1mol/L、1mol/L、3mol/L、の水酸化ナトリウム水溶液3mLをそれぞれ牛乳3mLに加えた。

結果3-3

表9 溶濃度変化による色の变化

0h→2h→5h	
0.1mol/L	白→黄→黄
1mol/L	白→黄→赤褐
3mol/L	白→赤褐→赤褐

水酸化ナトリウム水溶液の濃度を濃くするにつれ、溶液の変色の速度も促進された。

0.1mol/Lの水酸化ナトリウム水溶液は、5時間後に黄色に変色したが、赤褐色にはならなかった。

3mol/Lの水酸化ナトリウム水溶液は1時間後に黄色の変色がみられた。

考察3-3

水酸化ナトリウム水溶液の濃度を濃くするにつれ、変色の速度も促進されたことから、メイラード反応により溶液が黄色、赤褐色に変色したと考えられる。

3 結論

白い凝固物が形成される仕組みには、脂質と水酸化ナトリウム水溶液によるけん化が、溶液が黄色く変色する仕組みには、タンパク質に含まれる芳香族アミノ酸の酸化と、タンパク質とラクトースによるメイラード反応の初期状態が、溶液が赤褐色に変色する仕組みには、タンパク質とラクトースによるメイラード反応が関係している。

4 今後の課題

赤褐色に変色した原因としてカラメル化が関係しているのかを確認する。

タンパク質と水酸化ナトリウム水溶液だけでも凝固するとの助言をいただいたため、実際に凝固するのか確かめる。

牛乳が黄色から赤褐色へと変色する際、どの

タイミングで芳香族アミノ酸の酸化とメイラード反応が関係しているかを、光の吸収スペクトルを分解して確かめる。

5 謝辞

元新潟青陵大学荒井威吉先生、金沢大学太田明雄先生、金沢大学西村達也先生より、多くの助言をいただきました。この場を借りてお礼を申し上げます。

5 参考文献

(1) Yumko Hirai. 栄養士のための食品化学実験. メイラード反応. 2010-10-10
<http://shokujikken228.hatenablog.com/entry/2013/10/23/110135> (参照2019-01-28)