

牛乳の加熱による温度変化と皮膜形成について

成田 公子・熊崎 稔子

Changes in Milk Temperature and Scum Formation in Response to Heating of Various Milk

Kimiko NARITA Toshiko KUMAZAKI

緒 言

近年、市販牛乳および乳製品は加工法や保存法の発達、また消費者の要望の多様化に答えるため、各種の製品が販売¹⁾されるようになってきた。このことは、消費者にとって好上あるいは、利用目的に合致した製品を選択する可能性が増大し、牛乳利用に広がりを持たせるものと考えられる。牛乳を調理に利用する場合の特性の一つに加熱による皮膜形成があげられる。牛乳を加熱した場合60℃くらいより皮膜が形成されるといわれている。しかし、牛乳および乳製品の種類により、構成成分比などに変化がみられ、その結果として、加熱した場合の温度上昇の変化や皮膜形成開始時の温度に違いがあるように考えられる。このことは、牛乳を調理に用いる場合の温度管理や加熱して飲用する場合の嗜好への影響など、基本的な問題に関係するものと考えられるが、これらに関する研究はあまりみられない。

そこで、本研究では牛乳の温度変化に着目し、構成成分比の異なる牛乳および乳製品を加熱した場合の温度変化を調査するとともに、皮膜形成温度や皮膜中の粗タンパク質量と総脂質量を測定し、牛乳間の相違を明らかにすることを目的とした。

方 法

1. 試 料

実験には、森永乳業株式会社の普通牛乳、加工乳の濃厚牛乳、乳飲料の低脂肪乳、脱脂乳、生クリームおよび原料乳（以下、生乳と記す）を試料として用いた。脱脂乳は表示割合に従い、粉乳24gを蒸留水200mlに溶かして用いた。生乳はホルスタイン種の1～8産牛、35頭の混合乳であった。比較対象として蒸留水を用いた。各試料の食品成分値は表1に示した。

2. 加熱方法

試料は300.0gを秤量し、冷蔵庫で10℃に保有した。この場合、容器は日常の調理を考慮してマグカップを用いた。試料は98±1℃の湯せんにより加熱された。温度の測定はデジタル温度計（鶴賀電気製作所3527）を用いて、試料中央部の温度を30秒ごとに測定した。測定時間は10℃の普通牛乳300.0gを98±1℃の湯浴中で湯せんした場合に内部温度が90℃に達するまでに要した時間の20分間とした。なお、測定は10回繰り返す、平均値を求めた。

3. 皮膜形成温度と皮膜重量の測定

2の加熱方法と同様に試料を加熱し、肉眼で試料表面に皮膜が確認されるまでの経過時間とその時の試料内部温度を測定した。また皮膜重量は、20分間の加熱終了後、試料を目の開きが0.59mmの網に通し、蒸発防止のためにサララップで上部を覆い、10分間放置後、網の底の余分な水分をキムワイプで取り除き、そのままの湿潤状態で重量を測定し試料とした。測定は10回行い平均値と標準偏差を求め、t検定を行った。

4. 皮膜中の粗タンパク質と総脂質量の測定

皮膜中の粗タンパク質はケルダール法²⁾で常法通り測定した。総脂質量は次のように抽出、測定した。まず、試料を0.5~1.0g秤量して、CM混液(V/Vクロロホルム:メタノール=2:1)5mlを加えて摩砕後、ろ過し、CM混液で洗い流して全量50mlとした。これより20mlを三角フラスコに秤り、蒸乾して恒量を求め、総脂質量を算出した。測定は3回行い平均値と標準偏差を求め、t検定を行った。

表1 試料の食品成分値(100g当たり)

試料	たん白質 (g)	脂質 (g)	カルシウム (mg)
牛乳			
普通牛乳	3.0	3.6	100
加工乳			
濃厚牛乳	3.1	4.1	110
乳飲料			
低脂肪乳	3.5	1.2	130
乳製品			
脱脂乳	3.9	0.2	129
生クリーム	2.3	42.3	55
生乳	3.0	3.9	112

普通牛乳、濃厚牛乳、低脂肪乳、脱脂乳(粉乳24gを蒸留水200mlに溶解)、生クリームは日本食品分析センター(名古屋支店)の分析値。

生乳(愛知県知多農場:ホルスタイン種の1~8産の乳牛35頭の混合乳)は、名古屋市衛生研究所の分析値。

分析方法:たん白質はケルダール法、脂質は普通牛乳、濃厚牛乳、低脂肪乳、脱脂乳、生乳はゲルベル法、生クリームはレーゼゴットリーブ法、カルシウムは普通牛乳、濃厚牛乳、低脂肪乳、脱脂乳、生乳は過マンガン酸カリウム定量法、生クリームは原子吸光度法。

結果および考察

1. 加熱による温度変化

試料7種の加熱による温度変化を表2に示した。生クリーム以外の6試料は加熱直後から70℃まで急激に温度上昇し、その後はゆるやかに上昇した。温かい牛乳のし好温度(初温)といわれる $61.4 \pm 3.13^\circ\text{C}$ (n=20)³⁾に最も早く到達したのは、低脂肪乳で、次いで普通牛乳、脱脂乳、生乳、蒸留水、濃厚牛乳の順であった。これら試料によるし好温度への到達時間は、加熱開始後およそ4分15秒から4分45秒の間で、その差は30秒ほどであり(図1)、4分30秒の各試料の平均値からみて(表2)試料間による顕著な差はないものと考えられた。

また、一般的飲み物の供卓温度といわれる 85°C ⁴⁾への各試料の到達時間をみると、普通牛乳と生乳、濃厚牛乳が早く、次いで低脂肪乳、脱脂乳、蒸留水の順であり、試料により11分30秒前後から13分過ぎと、150秒程度の差がみられた(図2)。85℃への到達時間は皮膜が53~56℃に形成された普通牛乳、生乳、濃厚牛乳は早く、皮膜が60~68℃で形成された低脂肪乳、脱脂乳、また皮膜の形成されない蒸留水は遅く、皮膜形成と85℃への到達順位はほぼ一致していた。

以上の結果から高温になるに従い、試料による温度上昇速度に差異を生ずることが分かった。このことは、加熱により試料表面にできる皮膜によって放熱が妨げられること(図3)や、試料による対流パターンの違いなど物理的な要因が影響したものと推察された。

生クリームは加熱開始後60秒間に温度上昇はみられなかった。それ以後の温度上昇の傾向は他の6試料と同様であったが、内部温度75℃付近までは他の試料より90~120秒遅く、極めてゆるやかに温度は上昇した。これは生クリームの粘度が他の試料に比べて高く、加熱による試料の対流がゆるやかであることが一因と考えられた。

表2 牛乳・乳製品の加熱による温度変化

(°C)

試料	時間(分)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
蒸留水	平均	15.22	19.41	24.96	33.54	40.35	46.08	51.91	56.34	60.83	64.36	67.26	69.65	71.95	73.67
	標準偏差	1.93	1.24	0.74	0.80	1.17	1.47	1.26	1.03	0.88	0.79	0.83	0.82	0.69	0.69
脱脂乳	平均	12.21	16.90	24.83	32.95	40.14	46.90	52.58	57.66	61.83	65.37	69.19	70.74	72.96	74.71
	標準偏差	0.74	0.58	1.29	1.61	1.64	1.85	1.87	1.85	1.82	1.72	1.49	1.40	1.36	1.22
低脂肪乳	平均	12.80	16.93	24.88	33.25	40.56	47.42	53.39	58.25	63.39	66.77	69.42	72.00	73.82	76.64
	標準偏差	0.82	1.14	1.23	1.56	1.60	1.74	1.92	2.35	2.88	2.68	2.63	2.42	2.29	2.01
普通牛乳	平均	12.61	17.12	25.47	33.78	40.88	47.65	53.48	58.33	62.59	65.79	68.63	71.12	73.16	75.26
	標準偏差	0.49	0.73	0.90	0.97	1.01	1.14	1.00	1.08	1.45	1.09	1.16	1.26	1.08	1.09
濃厚牛乳	平均	12.27	16.42	24.52	33.03	39.99	46.29	51.84	56.61	60.58	64.06	66.68	69.30	71.50	73.53
	標準偏差	0.45	0.80	1.06	0.99	1.03	1.07	1.12	1.31	1.30	1.46	1.25	1.64	1.59	1.66
生乳	平均	12.59	16.96	25.18	33.21	40.15	46.66	52.22	57.34	61.57	65.18	68.19	70.75	72.84	74.82
	標準偏差	0.79	0.53	0.76	0.85	1.01	1.16	1.05	1.17	1.09	0.96	0.87	0.92	0.78	0.78
生クリーム	平均	11.1	11.25	15.10	18.94	25.84	34.85	43.70	49.51	53.72	57.64	60.96	64.12	66.85	69.26
	標準偏差	0.41	0.41	3.05	2.63	4.27	4.37	3.02	2.47	2.27	2.14	2.11	2.06	1.90	1.73

試料	時間(分)	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	12.5	13.0	13.5	14.0
蒸留水	平均	75.22	76.54	77.66	78.58	79.43	80.07	80.66	81.19	81.57	82.01	82.43	82.71	83.03	83.31
	標準偏差	0.69	0.61	0.67	0.66	0.61	0.73	0.67	0.74	0.79	0.80	0.85	0.90	0.84	0.85
脱脂乳	平均	76.39	77.63	79.18	79.96	80.82	81.51	82.20	82.77	83.30	83.72	84.22	84.70	85.01	85.46
	標準偏差	1.04	1.08	0.90	0.91	0.96	0.85	0.75	0.67	0.67	0.63	0.52	0.54	0.50	0.53
低脂肪乳	平均	77.20	78.41	79.62	80.64	81.55	82.21	82.80	83.42	83.91	84.52	84.96	85.43	85.81	86.25
	標準偏差	2.03	1.89	1.79	1.74	1.62	1.60	1.55	1.59	1.60	1.52	1.48	1.50	1.50	1.46
普通牛乳	平均	76.93	78.43	79.98	81.16	82.26	83.26	84.12	84.86	85.48	86.18	86.64	87.15	87.54	87.98
	標準偏差	1.02	1.04	0.92	0.95	0.90	0.88	0.93	0.98	0.92	0.88	0.78	0.70	0.69	0.65
濃厚牛乳	平均	75.26	76.84	78.40	79.63	80.87	81.93	82.86	83.79	84.66	85.31	86.01	86.59	87.09	87.58
	標準偏差	1.73	1.79	1.78	1.74	1.66	1.63	1.69	1.67	1.64	1.58	1.54	1.66	1.63	1.62
生乳	平均	76.53	78.03	79.30	80.56	81.75	82.70	83.59	84.40	85.11	85.76	86.29	86.73	87.20	87.58
	標準偏差	0.71	0.75	0.69	0.64	0.59	0.63	0.51	0.54	0.52	0.57	0.49	0.52	0.54	0.52
生クリーム	平均	71.28	73.19	74.82	76.16	77.19	77.92	78.36	78.77	79.42	79.91	80.30	80.59	80.83	81.18
	標準偏差	1.56	1.47	1.33	1.15	1.12	1.10	1.13	1.25	1.22	1.34	1.37	1.21	1.11	1.11

試料	時間(分)	14.5	15.0	15.5	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	18.5	19.0	19.5	20.0
蒸留水	平均	83.47	83.71	83.92	84.08	84.25	84.42	84.50	84.61	84.63	84.72	84.74	84.80
	標準偏差	0.82	0.85	0.83	0.78	0.78	0.70	0.68	0.66	0.64	0.61	0.59	0.60
脱脂乳	平均	85.77	86.07	86.39	86.71	86.91	87.17	87.39	87.56	87.79	87.98	88.15	88.38
	標準偏差	0.59	0.63	0.64	0.69	0.77	0.77	0.82	0.86	0.93	0.95	0.98	0.96
低脂肪乳	平均	86.60	86.97	87.27	87.54	87.79	88.08	88.21	88.44	88.57	88.76	88.87	89.07
	標準偏差	1.48	1.49	1.47	1.52	1.51	1.56	1.53	1.57	1.53	1.55	1.55	1.57
普通牛乳	平均	88.37	88.70	88.97	89.31	89.53	89.78	89.97	90.15	90.30	90.45	90.51	90.62
	標準偏差	0.58	0.58	0.53	0.53	0.50	0.42	0.37	0.40	0.37	0.41	0.40	0.35
濃厚牛乳	平均	87.93	87.93	88.64	88.94	89.19	89.42	89.66	86.83	90.10	90.27	90.43	90.65
	標準偏差	1.54	1.62	1.52	1.49	1.57	1.60	1.54	1.54	1.53	1.57	1.50	1.48
生乳	平均	88.00	88.32	88.61	88.90	89.12	89.29	89.49	89.66	89.74	89.92	89.97	90.04
	標準偏差	0.50	0.56	0.65	0.57	0.58	0.56	0.56	0.52	0.56	0.60	0.61	0.57
生クリーム	平均	81.57	81.96	82.59	83.20	83.64	83.92	84.17	84.31	84.53	84.70	84.86	85.04
	標準偏差	1.18	1.21	1.05	0.94	0.94	1.00	1.01	1.02	0.95	0.91	0.86	0.88

なお、対象とした蒸留水は加熱開始後9分間は急激に温度上昇したが、その後は鈍り、20分間加熱を続けたが、内部温度は85℃以上には上昇しなかった。これは蒸発に伴う放熱によるものと思われた。

2. 皮膜形成温度と皮膜重量

試料6種の皮膜形成温度を表3に示した。肉眼において生クリームの皮膜ができ始める温度は、他試料に比べて例外的に低く、内部温度 $16.6 \pm 1.6^\circ\text{C}$ の時に開始された。他の試料は、内部温度が 50°C 以上に達した後に皮膜形成が開始された。この場合、普通牛乳が $56.0 \pm 1.1^\circ\text{C}$ で開始されたのに対して、濃厚牛乳は $53.8 \pm 0.8^\circ\text{C}$ と有意に低く、低脂肪乳と脱脂乳はこれらに比べて有意に高温度で皮膜形成が開始された。牛乳の皮膜は 60°C くらいの加熱により形成されるといわれている。牛乳を加熱して利用するとき、ふきこぼれを防ぐために弱火の加熱や湯煎が用いられる。今回の加熱調査では後者の湯煎の場合であるが、皮膜形成開始温度は生クリーム以外の牛乳および乳製品において $53.8 \pm 0.8^\circ\text{C}$ から $68.1 \pm 1.9^\circ\text{C}$ であり、種類により 10°C 以上の差のあることが確認された。

各試料の皮膜重量は前述したように湿潤状態で測定したものであるが表4に示した。生クリームは明確な皮膜の様相は呈しないが、今回は比較の意味から試料表層部を他試料と同様な方法で採取、秤量して皮膜重量とした。生クリームの皮膜重量は他試料の約2倍量であった。生クリーム以外の5試料では、普通牛乳が少なかった。牛乳の皮膜は牛乳と空気との界面にタンパク質の不可逆的な凝固がおこり、牛乳中のタンパク質や脂質などの成分を取り込むことにより形成されていくとされている。加熱時間が同一の場合、皮膜形成のはやさや成分の含量、ホモゲナイズの有無などが皮膜量に影響するものと考えられる。本実験では普通牛乳に関してこの理論と異なった傾向であったが、その理由については今後さらに検討していきたい。

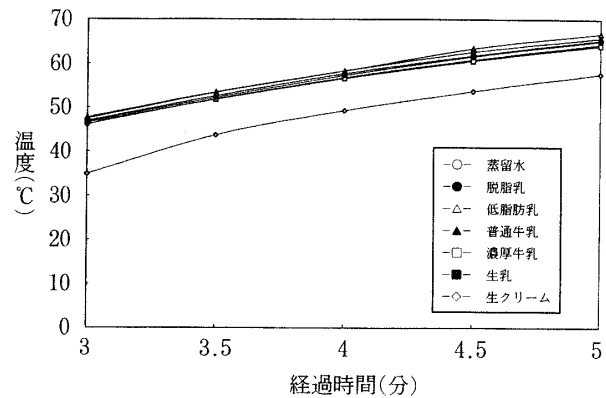


図1 牛乳の加熱による温度変化 ($35^\circ\text{C} \sim 60^\circ\text{C}$)

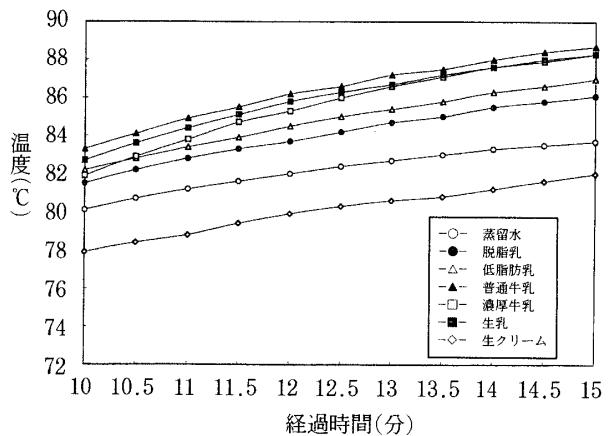


図2 牛乳の加熱による温度変化 ($78^\circ\text{C} \sim 89^\circ\text{C}$)

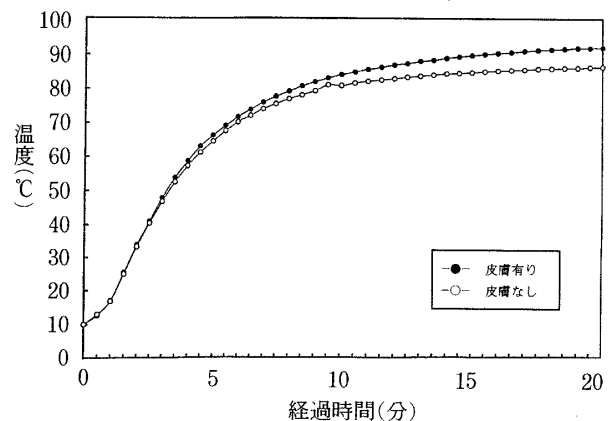


図3 皮膜の影響による温度上昇曲線の変化 (普通牛乳)

3. 皮膜中の粗タンパク質と総脂質量

皮膜中の粗タンパク質と総脂質量を表5に示した。粗タンパク質量は生クリームが最も少なく、脱脂乳と低脂肪乳が多かった。また、総脂質量は脱脂乳が最も少なく、生クリームが多かった。荒井⁵⁾は普通牛乳を用いた実験で皮膜中のタンパク質（測定方法はマクロケルダール法）は試料中の平均3.0%、脂肪2.6%（測定方法はレーゼ・ゴットリーブ法）であったと報告している。これらの結果と比較するため、今回の実験で得られた皮膜中のタンパク質および脂質が全試料中（本実験に用いた各牛乳試料300g中）に含まれるタンパク質、脂質のどれくらいの割合に相当するかを換算した。タンパク質は普通牛乳で2.1%、濃厚牛乳3.0%、低脂肪乳3.4%、脱脂乳2.7%、生クリーム1.1%、生乳1.9%であった。また、脂質は普通牛乳で2.0%、濃厚牛乳3.4%、低脂肪乳2.9%、脱脂乳7.6%、生クリーム1.3%、生乳4.4%であった。タンパク質は試料による顕著な差はみられず、脂質は含有量の少ない脱脂乳において皮膜中に比較的多い傾向にあった。なお、普通牛乳に脂質量の近い生乳において皮膜中にその割合が多かったのは、加工過程に行われるホモゲナイズがなされていないことが影響したものと思われた。これらの値は加熱条件や皮膜採取の方法がやや異なったが、荒井の結果よりもやや低い値であった。なお、皮膜を外観上観察すると脱脂乳はサラップ様、低脂肪乳と普通牛乳は湯葉様、濃厚牛乳と生乳は柔らかい皮膜であった。

牛乳は一般的に冷蔵庫から出した冷たいものを、そのまま飲用するケースが多いと思われる。しかし、本実験のように湯煎で加熱して飲用する場合、温度管理の目安ともなる牛乳の皮膜形成が牛乳および乳製品の種類によらず10℃以上の差があるということは、この温度差が牛乳を飲用した場合の嗜好におよぼす影響を考慮する必要があることを示唆するものと思われた。

要 約

市販飲用牛乳および乳製品の加熱による温度変化、皮膜形成温度および皮膜中の粗タンパク質、総脂質量を測定し、次の結果を得た。

1. 温かい牛乳の嗜好温度（初温61.4±3.13℃）に早く到達したのは低脂肪乳で濃厚牛乳が遅れたが、試料による差は約30秒であった。一般的飲み物の供卓温度といわれる85℃に早く到達したのは普通牛乳で、脱脂乳が遅く、試料間に約150秒もの差がみられた。

表3 皮膜形成開始温度

試料	温度(℃)	
普通牛乳	56.0±1.1	
濃厚牛乳	53.8±0.8	**
低脂肪乳	60.3±0.8	**
脱脂乳	68.1±1.9	**
生クリーム	16.6±1.6	**
生乳	55.9±1.3	n.s.

普通牛乳との有意差検定 p < 0.01

表4 皮膜重量

試料	重量(g)	
普通牛乳	1.17±0.06	
濃厚牛乳	1.87±0.13	**
低脂肪乳	1.55±0.18	**
脱脂乳	1.48±0.40	*
生クリーム	2.32±0.05	**
生乳	1.75±0.16	**

皮膜量 g / 試料300g中
普通牛乳との有意差検定
* p < 0.05, ** p < 0.01

表5 皮膜中の粗タンパク質と総脂質量

試料	粗タンパク質 (%)	総脂質量 (%)
普通牛乳	17.84±0.87	19.72±1.41
濃厚牛乳	16.02±0.41 n.s.	23.39±1.87
低脂肪乳	22.17±0.92 **	9.52±0.53 **
脱脂乳	21.36±0.94 *	3.06±0.25 **
生クリーム	3.51±0.24 **	68.28±4.25 **
生乳	9.58±0.73 **	29.09±0.52 **

普通牛乳との有意差検定 * p < 0.05, ** p < 0.01

2. 皮膜形成開始温度は、濃厚牛乳53.8℃, 生乳55.9℃, 普通牛乳56.0℃, 低脂肪乳60.3℃, 脱脂乳68.1℃であり, 種類により10℃以上の差があることが分かった.
3. 皮膜重量は試料300gにおいて濃厚牛乳1.87g, 生乳1.75g, 低脂肪乳1.55g, 脱脂乳1.48g, 普通牛乳1.17gであった. 生クリームの皮膜は他の試料と様相が異なったが2.32gであった.
4. 皮膜中に占める粗タンパク質量は低脂肪乳22.17%, 脱脂乳21.36%, 普通牛乳17.84%, 濃厚牛乳16.02%, 生乳9.58%, 生クリーム3.51%であった. また, 総脂質量は生クリーム68.28%, 生乳29.09%, 濃厚牛乳23.39%, 普通牛乳19.72%, 低脂肪乳9.52%, 脱脂乳3.06%であった.

謝 辞

生乳の提供をいただいた知多農場, 生乳の食品成分分析をお世話下さいました名古屋市衛生研究所の阿部政夫氏, ならびに研究初期の段階でご協力いただきました山本淳子氏に厚くお礼申し上げます.

参 考 文 献

- 1) 91年度版食品流通年鑑: 103 (1990)
- 2) 小原哲二郎, 鈴木隆雄, 岩尾裕之: 改定食品分析ハンドブック, 39~41, 建 社(1983)
- 3) 下田吉人, 松元文子, 元山正, 福場博保編集: 調理と物理・生理 新調理学講座 2: 111, 朝倉書店 (1978)
- 4) 松元文子監修: 正しい食生活のための食品分析表, 21, 柴田書店 (1992)
- 5) 荒井 其: 家政誌, 25, 107~111(1974)