

生乳のリポリシスにおける温度活性化

今 洋史*・斎藤 善一**

北海道大学農学部, 札幌市 060

現在 : *サツラク農業協同組合, 札幌市 065

**北海道生乳検査協会, 札幌市 060

Temperature activation of lipolysis in raw milk

Hiroshi KON* and Zenichi SAITO**

Faculty of Agriculture, Hokkaido University, Sapporo 065

Present address: *Satsuraku Dairy Co-operative, Sapporo 063

**Hokkaido Milk Testing Association, Sapporo 060

キーワード : 生乳, リポリシス, リパーゼ, 温度活性化, 遊離脂肪酸

Key words : raw milk, lipolysis, lipase, temperature activation, free fatty acids

要 約

生乳の冷蔵中に一時的な温度上昇があると以後の遊離脂肪酸生成量は著しく増大する(温度活性化)。この原因を知るため生乳, 洗浄クリーム, バターオイル乳化液などを試料として実験をした。試料を1時間氷冷後, 12~45℃の湯浴中に5分間静置し, 氷水中に戻して23時間冷蔵し, 遊離脂肪酸量を測定した。

脂肪球は脂肪球膜により保護されリパーゼの作用を受けないが, 20℃以上に加温するとこれが解除され, 以後の脂肪分解が促進される。しかし, 37℃以上の加温では脱脂乳成分の脂肪球への吸着により, リパーゼの作用が阻害され45℃の加温の場合は温度処理をしない場合よりもリパーゼの作用は低下した。その結果, 30℃付近に加温すると温度活性化がみられると考えられた。

緒 言

生乳の冷蔵中における遊離脂肪酸の増加は僅かであるが, 通常は脂肪分解臭を与えるには至らないが, 一時的な温度上昇があると以後の冷蔵中における遊離脂肪酸の生成は著しく増大する。この現象は温度活性化と呼ばれ, KRUKOVSKY and HERRINGTON (1939) により初めて報告されたが, 以後ほとんど研究されなかった。脂肪の固化 (KRUKOVSKY and SHARP, 1940) や脂肪分子配列の変化 (RAO, 1951), 脂肪球膜とリパーゼの親和性の変化 (TARASSUK and RICHARDSON, 1941; WANG and RANDOLPH, 1978) が推察されているが結

論は得られていない。斎藤・澤村 (1984) は, 冷却した個体乳を50℃湯浴中に1分間保持したところ, リパーゼ活性は増大していないにもかかわらず, 以後の冷蔵中における遊離脂肪酸生成の増大を認めたが, 牛の個体による影響が大きいと報告している。斎藤・金 (1995) は, 20℃の湯浴中に3分間静置した場合の温度活性化と泌乳期の関係を調査し, 泌乳期の進行にともない増大するが, リパーゼ活性との相関は個体によって異なると報告した。

実験方法

北海道大学農学部附属農場に繋養する牛群から, 冷却前の混合乳を採取し実験材料とした。遠心分離によりクリームを調製し, 人工乳清 (JENNESS and KOOPS, 1962) で稀釈し再び遠心分離をして洗浄クリームとした。これを振とうしてバター粒を分離し, さらに加温遠心分離をしてバターゼーラムを得た。洗浄を2回おこなったクリームを再洗浄クリームとした。人工乳清にアラビヤゴムを溶解し (10%), 遠心分離により微量の不溶物を除いた後, 市販バターオイルを加え, 15分間 (45℃) ワーリングブレンダーで処理しバターオイル乳化液とした。いずれの場合も最終の脂肪含量が生乳とほぼ同じ (4.1%) になるようにした。リパーゼは脱脂乳よりクロマトグラフィーにより調製した (MATSUOKA *et al.*, 1980)。

共栓付試験管6本に試料各2.3 mlを採り, 氷水中に保持した。1時間後, 5本は12, 20, 30, 37, 45℃の湯浴中に5分間静置し, 再び氷水中に戻し23時間冷蔵した。残りの1本は加温処理をおこなわず0℃処理とした。計24時間の冷蔵後に抽出溶媒を加えフェノー

ルレッド法(斎藤, 1979)で遊離脂肪酸を測定した。測定結果はパルミチン酸(mg/ml)として示した。

実験結果

生乳を試料とし温度処理をおこなった結果の1例を図1に示す。20~37℃に加温すると高い遊離脂肪酸生成を示した。すなわち、温度活性化が認められた。一方、45℃加温では0℃, 12℃の場合よりも低い遊離脂肪酸含量を示した。なお、試料により生成する遊離脂肪酸量は大きく変動したが、処理温度との関係は同様であった。脱脂乳を同じ様に処理し、殺菌均質化乳に加えることによりリパーゼ活性を測定したが、活性の増加はみられなかった。

バターオイル乳化液にリパーゼを加えると、温度処理にかかわらず高い遊離脂肪酸生成を示したが、特定の温度における温度活性化は見られなかった(図2)。一方、洗浄クリームにリパーゼを加えた場合は、30℃加温により最も高い遊離脂肪酸生成を示したが、45℃でも0℃, 12℃加温の場合よりも高い遊離脂肪酸生成を示した(図2)。すなわち、同時に示した生乳の場合に比べると、洗浄による脱脂乳成分の除去は45℃加温による遊離脂肪酸生成の低下をある程度防いだといえ

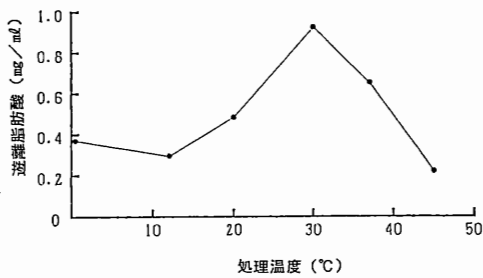


図1 冷蔵(0℃, 1時間)した生乳を温度処理(5分間静置加温)し, 23時間0℃に保存した後の遊離脂肪酸含量と処理温度の関係

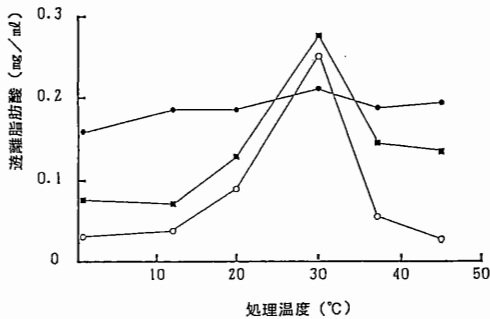


図2 冷蔵したバターオイル乳化液(●), 洗浄クリーム(■), 生乳(○)を温度処理(5分間静置加温)し, 23時間0℃に保存した後の遊離脂肪酸含量と処理温度の関係(生乳以外はリパーゼ添加)

る。

バターオイル乳化液において、ブレンダーによる乳化時にバターゼラムを加えた場合の結果を図3に示す。バターゼラムを加えない場合は、図2と同様に温度活性化を示さなかったが、乳化前にバターゼラムを加えた試料を温度処理をすると、遊離脂肪酸生成は、0℃, 12℃では低下を、30℃以上では増加を示した。すなわち、処理温度が低い場合はリパーゼ活性の阻害を、高い場合は促進を示した。なお、14分間ブレンダーによる乳化をおこなった後にバターゼラムを加え、さらに1分間ブレンダーで処理した場合は、バ

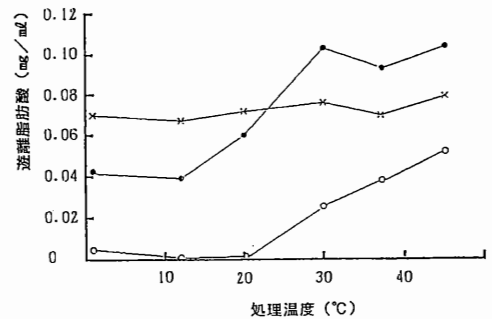


図3 バターゼラムを添加したバターオイル乳化液を温度処理(5分間静置加温)し, 23時間0℃に保存した後の、遊離脂肪酸含量と処理温度の関係(●乳化前に添加, ○乳化処理の末期に添加, ×無添加, いずれも冷蔵前にリパーゼ添加)

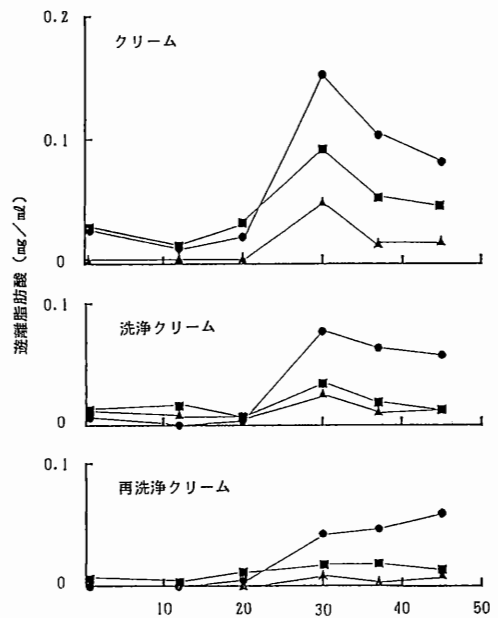


図4 クリーム, 洗浄クリーム, 再洗浄クリームに冷蔵前(●)または温度処理(5分間静置加温)の後(■)にリパーゼを加え, 23時間0℃に保存した後の遊離脂肪酸含量と処理温度の関係(▲リパーゼ無添加)

ターゼラムによる阻害効果は大きくなり、0~20℃の温度処理ではほとんど遊離脂肪酸が増加せず、30℃以上では処理温度が高くなるにしたがって遊離脂肪酸の生成が増大した。

クリームおよび洗浄クリームについて、温度処理の前、あるいは後にリパーゼを加えた場合の温度処理の結果を図4に示す。クリームの場合、リパーゼを加えると無添加の場合よりも遊離脂肪酸生成は増大するが、温度処理前に加えた方が効果が大きかった。洗浄クリームでは、温度処理後に加えたリパーゼの効果は僅かであるが、温度処理前に加えたリパーゼの効果は大きく、しかも、37℃、45℃に加温した場合も30℃の場合に近い遊離脂肪酸の生成を示した。再洗浄クリームの場合は、生乳から移行したリパーゼがほとんど失われたため、加温処理前にリパーゼを加えた場合だけ温度処理による遊離脂肪酸の増加が認められた。しかも、37℃、45℃に加温すると30℃加温の場合よりも高い遊離脂肪酸の生成を示した。

考 察

生乳中の脂肪は脂肪球膜により保護されているためリパーゼの作用を受け難いことはよく知られている。バターオイル、リパーゼ、バターゼラムからなる系における温度処理の影響から、低温で温度処理をした場合はバターゼラム中の脂肪球膜物質によるリパーゼ阻害効果が大きい、20℃以上に加温されるとこれが解除され、以後の脂肪分解が促進された。この場合、加温よりも加温直後の急冷による脂肪分子の配列の変化(RAO, 1951)、脂肪球膜物質の離脱(ANDERSON *et al.*, 1972)などの効果を考えることができるが明確ではない。一方、脱脂乳成分によるリパーゼに対する阻害作用が37℃、45℃では示された。低温におけるカゼインの阻害作用は認められていないが(若濱, 1990)、脂肪球とカゼインミセルとの結合など複雑な要因が加わるので、阻害作用の主因を特定することはできない。

低い温度の温度処理による脂肪球膜物質の阻害作用の解除と、37℃以上の温度処理における脱脂乳成分によるリパーゼに対する阻害の2因子により、結果的に30℃付近に加温した場合に温度活性化がみられたと考えられる。

バルククーラー内で冷却された生乳に次の搾乳により温かい生乳が加えられた場合、バルククーラーの冷却能力が低いと乳温が15~20℃に上昇するおそれがあり、温度活性化により遊離脂肪酸含量が増加し脂肪分解臭を示すことも可能である。したがって、十分な冷却能力を備えていること、あるいは、バルククーラーに入る前に生乳を冷却することが必要である。クリーム分離機を用いる場合に生乳を35~40℃に加温する。分離機を通る時に大きな脂肪球が受ける損傷によって

リパーゼの作用を受け易くなると思われるが、その外に、温度の僅かな差によって遊離脂肪酸含量は変化することになる。分離条件を設定するにあたって考慮すべきことである。

生乳を提供された北海道大学農学部附属農場の各位に感謝する。

文 献

- ANDERSON, M., G.C. CHEESEMAN, D.J. KNIGHT and W.F. SHIPE (1972) The effect of ageing cooled milk on the composition of the fat globule membrane. *J. Dairy Res.*, **39**: 95-105.
- JENNESS, R. and J. KOOPS (1962) Preparation and properties of a salt solution which simulates milk ultrafiltrate. *Neth. Milk Dairy J.*, **16**: 153-164.
- KRUKOVSKY, V.N. and B.L. HERRINGTON (1939) Studies on lipase action. II. The activation of milk lipase by temperature change. *J. Dairy Sci.*, **22**: 137-147.
- KRUKOVSKY, V.N. and P.F. SHARP (1940) Effect of the properties of the fat and of the fat globule surface on lipolytic activity in milk. *J. Dairy Sci.*, **23**: 1109-1118.
- MATSUOKA, N., K. SHIRAI and R. L. JACKSON (1980) Preparation and properties of immobilized lipoprotein lipase. *Biochim. Biophys. Acta*, **620**: 308-316.
- RAO, S.R. (1951) A study of the activity of lipase on milk fat. PhD Dissertation, Univ. of Wisconsin.
- 斎藤善一 (1979) 原料乳のlipolysisに関する検査におけるフェノールレッド法の利用について. *日畜会報*, **50**: 710-715.
- 斎藤善一・澤村浩 (1984) 原料乳のリポリシスにおよぼす温度処理と攪伴の影響. *日畜東北支部会報*, **34**: 10-13.
- 斎藤善一・金居猷 (1995) 個乳の温度活性化リポリシスとリパーゼ活性に及ぼす泌乳期の影響. *酪農科学・食品の研究*, **44**: A-139-A-145.
- TARASSUK, N.P. and G.A. RICHARDSON (1941) Inhibition of lipase activity in raw milk. *Science*, **93**: 310-311.
- 若濱有子 (1990) 牛乳のリポタンパク質リパーゼの活性と安定性に及ぼすカゼインの影響. *酪農科学・食品の研究*, **39**: A-75-A-82.
- WANG, I. and H.E. RANDOLPH (1978) Activation of lipolysis. I. Distribution of lipase activity in temperature activated milk. *J. Dairy Sci.*, **61**: 874-880.