

Lipolysis in Milk

日本北海道大學
齊 藤 善 一

1. はじめに

生乳中には50種類以上の酸素が含まれているが、牛乳加工において最も重要なのは脂肪分解酵素(lipase)である。乳脂肪には、酪酸などの揮発性、水溶性の脂肪酸が構成成分として含まれているが、それがリパーゼの作用により遊離脂肪酸(FFA)になると、生乳の風味を悪くする。チーズのように、独特の風味を形成するためにFFAを必要とする場合もあるが、生乳においてはFFAの増加を出来るだけ防がなければならない。特に冷蔵期間が長くなると、FFAが増加するから、生乳における脂肪分解(lipolysis)と、その原因になるリパーゼの性質についてよく理解する必要がある。

2. 生乳のリパーゼシステム

生乳中には2種類以上のリパーゼが存在するとされたことがある、また、脂肪を基質とするリパーゼの他に、リポタンパクのトリグリセリド部分に作用するとか、リポタンパクが共存した場合にのみ脂肪を分解するリポタンパクリパーゼを含むといわれたことがある。さらに、どちらかの一方だけを含むと主張する報告もあった。リパーゼの研究は、研究者により種にの基質が用いられ、その均質化、乳化の方法が異なるなど、活性測定法の差異による混乱もみられた。結局、生乳の場合は、リパーゼとリポタンパクリパーゼと云われていたのは同じ酵素と考えられている。一般に生化学分野の研究者はリポタンパクリパーゼ

と呼び、乳加工分野ではリパーゼと稱している。生乳中のリパーゼの大部分は脱脂乳部分に存在し、ヘパリンセファロースを用いたアフニティクロマトグラフィにより精製されている。一部のリパーゼは脂肪球に結合している。

3. リポリシスとランシッド

生乳中には、1~2分間で風味を損うに十分なリパーゼと脂肪が存在するが、通常は脂肪の分解はほんの僅かしかみられず、風味を悪くすることもない。それは、脂肪球表面が脂肪球膜物質(fat globule membrane)でおおわれ、リパーゼの作用から脂肪が保護されているからである。生乳中の脂肪があまり分解されないの、生乳本来のリパーゼは存在しないと考えられた時代もあり、その存在が定説となったのは1930年以降である。

生乳の冷蔵中に僅かに認められるFFAの増加を自然発生リポリシス(spontaneous lipolysis)といい、脂肪球膜に含まれるリパーゼ、あるいは冷却により脂肪球に吸着したリパーゼによると考えられる。自然発生リポリシスの進行は、最初の2~3時間は遅く、この間にリパーゼが脂肪球と結合する。以後直線的に増加するが、24時間経過後はFFAの増加は少なくなる。この傾向はリポリシスの程度が大きい生乳程顕著である。生乳中における脂肪分解には限界があり、脂肪が十分残つていても分解が進行しなくなる。通常、48時間以後は次に述べる活性化をしない限りFFAの増加はほとんどみられない。これを Self-termination という。恐らく、分解産物が脂肪球表面に

蓄積するためであろう。一方、均質化、温度処理など、いわゆる活性化処理をおこなった時に起るリポリシスを誘導リポリシス(induced lipolysis)というが、カゼインミセルに結合したリパーゼ(生乳全体のリパーゼの約90%を占める)が反応に加わるので、自然発生リポリシスよりも顕著である。なお、活性化処理は脂肪球に対する作用であり、リパーゼの活性に対する影響はほとんどない。

リポリシスの程度が進み異常が感知されるようになると、この異常風味をランシッド(rancid)という。ランシッドは石鹼様の不快な後味を與え、苦味をとまうこともある。米國における牛乳審査の基準によれば、軽いランシッドでも判定はpoorであり、強い飼料臭と同じ程度に減点される。油脂工業では、脂肪の酸化を主とした變敗をランシッドと呼ぶので、リパーゼによる場合を加水分解的ランシッド(hydrolytic rancid)と呼稱することが薦められ、牛乳加工の分解でもランシッドの代りにリパーゼ臭とか、脂肪分解臭という用語が用いられるようになりつつある。

FFA含量の表示法はいろいろあるが、Acid Degree Value(ADV, 脂肪100g当たり中和に必要なN KOHのml數)で示されることが多い。ADVは測定法により可成り違う値が得られるが、米國のBureau of Dairy Industriesの標準法によれば、ADV0.4以下は正常、0.7~1.1は不明確、1.2は軽いランシッドとしている。SHIPEらによれば消費者が不快に感じた殺菌乳の平均ADVは1.8であった。

4. 個體乳のリポリシス

個體乳における自然発生リポリシスの程度は牛個體により大きな差があり、同一個體でも調査の度毎に可成りの變動がある。17頭につき各13回以上調査したところ、24時間冷蔵によるFFAの増加量(パルミチン酸としてmg/ml)は、各個體の平均値は0.04~0.25であり、各個體毎の變動係数は42~102%であった。Deeth & Fitz-Geraldによれば、リパーゼによる風味異常を示す個體乳

は3~35%であったという。個體や調査の日によりリポリシスの程度が變動する原因はよく判らないが、多くの研究者による實態調査により種にの要因が可成り明らかになった。一般に、乳量が減少するような条件のもとではリポリシスの程度が高いとされている。

泌乳期：末期乳はリポリシスを起しやすい。泌乳末期には乳量が減少するから、乳量とリポリシスは有意の負相關を示す。特定の時期に末期乳が集中しないように注意するべきである。

搾乳間隔：一般に、朝の搾乳から夕方の搾乳までの時間が短いので、夕方の搾乳における乳量は少なく、リポリシスの程度が高い。朝の搾乳から夕方の搾乳まで8時間の場合、夕乳は朝乳の1.8倍のリポリシスを示した。

搾乳過程：搾乳の進行にともないリポリシスの程度が低下した。脂肪率の高い後搾り乳がリポリシスの程度が低いのは意外であるが、個體乳の調査でも脂肪率とリポリシスには相關が認められなかった。

飼料：飼料不足や、低品質飼料の結與によりリポリシスが增大することはよく知られている。青草、牧草はリポリシスの程度を低下させ、サイレーズや劣質の乾草はリポリシスを高める飼料といわれる。Astrupらによれば、パルミチン酸の給與や、飼料不足により體脂肪を利用することによるパルミチン酸の供給はリポリシスを高めるという。

季節・氣候：氣温や湿度は關係がなく、飼料や營養状態、末期乳の集中などが季節による差になって現われると考えられる。

乳房炎・潜在性乳房炎：乳房炎、あるいは乳房炎の病歴を持つ牛の乳はリポリシスの程度が高いとされている。リパーゼ活性が高い細胞が多いことや、リパーゼに対する促進因子を含む血液成分の混入など原因と考えられているが、なお検討を要する。

5. 搾乳後の取扱いとリポリシス

牛乳のリポリシスは、温度變化、攪拌、泡立て、

などの物理的処理により著しく増大する。すなわち、誘導リポリシスであるが、殺菌によりリパーゼが失活するまでの間に、このような処理を受ける機会が多い。自然発生リポリシスを防ぐには消極的な手段しかないが、誘導リポリシスは、生乳の取扱いを注意すること、すなわち、脂肪球の損傷を最少にとどめるよう生乳を丁寧に扱うこと、冷却後の温度変化を避けることにより防ぐことが出来る。

温度処理：冷却によりリパーゼが或程度脂肪球に吸着するが、冷却した生乳を15℃以上加温し、再び冷却するとその後のリポリシスが增大することは古くから知られ Temperature activation といわれる。均質化に比べ、その効果ははるかに小さいが、ランシッドにするに十分な効果がある。バルククーラー中に冷蔵された夕乳に温かい朝乳を加えた場合にこのような状態が起こり得る。

攪拌、泡立て：生乳の冷蔵温度ではリポリシスを増大させる効果はほとんどないが、10℃以上ではリポリシスを増大させ 脂肪の融点付近ではその効果は著しい。いずれも脂肪球に対する均質化効果による。初期のパイプラインミルクの場合には、生乳がパイプ内を円滑に流れなかったり、空気漏れによる泡立てによりランシッドになることが多かった。

6. 低温菌によりリポリシス

低温菌にはリパーゼを生産するものが多い。冷蔵条件がよくなり、搾乳から加工までの時間が長くなると、低温菌の多い生乳の場合はその増殖によりリポリシスが起る可能性がある。実際には、生乳は冷蔵中にリパーゼ活性が減少すること、低温菌がリパーゼを生産するには数日間を要すること、などから考えると、低温菌が大量に混入しない限り問題はないと思われる。しかし、低温菌が生産するリパーゼは耐熱性が高く 殺菌後も僅かながら活性が残るので、長期常温で保存したLL牛乳(long life milk)におけるランシッドの原因となる可能性もあるので、低温菌に対する注

意が必要である。

7. 牛乳加工技術の発展とランシッド

搾乳および牛乳加工の分野で新しい技術が導入された場合にランシッドの問題が付きまいった。例えば、パイプラインミルクが開発された当初は、リパーゼに対する配慮に欠けていたためランシッドを誘発した。バルククーラーでも攪拌操作、攪拌羽根の構造が不適切であったためランシッドになったことがある。市乳製造においても均質化が導入された時には、均質化前にリパーゼが失活する温度(殺菌温度)に達していなかったことによるランシッドが問題になった。現代においても、近代的な市乳製造工場で、殺菌均質化済みの残乳を原料乳に戻したためにFFAの多い市乳が製造されていた例がある。

8. むすび

FFAは牛乳らしい風味を與える成分のひとつであり、乳脂肪風味の強化に利用する試みもある程である。しかし、原料乳についていえば、FFAの増加は風味の低下、異常臭の発生につながるのどリポリシスの進行を防がなければならない。リポリシスを増大させる要因は多く、工場受入後もリポリシスが進む可能性がある。リポリシスが低いのは、生乳が丁寧に取扱われたことを意味し、さらに、飼養管理が適切であったこと、搾乳施設の整備、調整が完全であった証拠といえよう。リポリシスそのものは、衛生上問題になることではないが、風味に直接關與するから、乳質を判定する上で重要である。

リポリシスやリパーゼに関する研究は歐米で長い間續けられ、不明の点も多いが、少なくとも生乳のリポリシスを最少限にとどめ、ランシッドを防止するのに必要な知識は蓄積されている。その知識の普及、活用を圖り、風味のよい生乳、市乳を生産するために役立てたいと願っている。