

산양유의 지방분해에 미치는 온도활성화 및 교반의 영향

김 거 유 · 이 승 범

강원대학교 동물자원과학대학 축산가공학과

Effects of Agitation and Temperature Activation on Lipolysis in Goat Milk

G. Y. Kim and S. B. Lee

Dept. of Animal Food Science and Technology, Kangwon National University

Abstract

This study was carried out to investigate the effects of temperature activation and agitation on lipolysis of goat milk. When goat milk was temperature activated twice at intervals of 12 hours, free fatty acids were significantly increased after the first activation, but increased slightly during the re-cooling period and after the second activation. Lipolysis of the goat milk warmed at 30°C was significantly facilitated during the re-cooling period. Lipolysis of the goat milk warmed at 30°C was much higher than those warmed at 10°C and 40°C respectively. The highest lipolysis was occurred when the goat milk was warmed at 30°C for 5 minutes after pre-cooling for 24 hours at 4°C. However, any significant difference was not found in the milk warmed at 40°C, regardless of the pre-cooling period. Lipolysis of the goat milk warmed and agitated at 30°C was significantly facilitated during the re-cooling period. The lipolysis of that at 30°C was much enhanced with agitation. The lipolysis was much higher when agitated at 30°C than when agitated at 10°C. The length of agitation time at 30°C didn't give any effect on lipolysis.

Key words : Goat milk, Lipolysis, Agitation, Temperature activation

서 론

신선한 원유는 지방분해 정도가 매우 미약하여 풍미를 손상시키는 일이 드물며, 그것은 유지방이 유지방구막으로 둘러싸여 있어서 lipase의 작용으로부터 보호되고 있기 때문이다⁽¹⁾. 그러나 유지방구막을 파괴할 수 있는 과도한 교반 및 거품발생과 같은 물리적인 처리⁽²⁾와, 냉각된 원유의 가온 처리와 재냉각에 의한 온도활성화에 의하여 지방분해가 촉진된다⁽³⁾. 착유 직후의 신선한 원유에는 전체 지방산의 약 1% 정도를 차지하는 유리지방산이 원유 고유의 풍미에 기여하고 있다⁽⁴⁾. 그러나 착유 후 원유의 취급이 부적절했을 경우는 지방분해가 촉진되며, 그 결과 과도한 유리지방산의 생성이 이루어지며, 이러한 원유를 사용하여 유제품을 제조할 경우 최종 제품의 풍미가 매우 악화되게 된다.

현재 국내에서는 유산양 사육 농가가 조금씩 증가하고 있으며, 산양유를 이용한 유제품이 제조 판매되고 있다. 산양유는 유성분 조성과 유성분의 이화학적 특성 및 지방분해 효소의 분포 등이 우유와는 차이가 있기 때문에 우유의 지방분해 특성을 산양유에 적용하는 것은 부적합하다고 생각된다. 산양유는 영양적인 면에서도 우수하나 산양유 고유의 풍미가 일부 소비자들에게 거부감을 주고 있다.

산양유는 유지방을 구성하는 지방산의 약 20% 정도가 C₄-C₁₂의 수용성이며, 휘발성인 저급지방산으로 이루어져 있기 때문에⁽⁵⁾, 이들 저급지방산들이 지방분해에 의하여 유리될 경우 산양유의 풍미에 미치는 영향이 매우 크다

Corresponding author : G. Y. Kim, Department of Animal Food Science and Technology, Kangwon National University.

고 할 수 있다. 지방분해에 의하여 과도한 양의 유리지방산이 생성되면 산양유 제품의 풍미를 악화시키는 rancid-flavor를 야기하게 된다⁽⁶⁾.

따라서 본 연구는 국내산 산양유의 저온저장 중 발생하는 지방분해 메커니즘을 밝히기 위한 기초자료로 지방분해에 미치는 교반과 온도활성화의 영향에 대하여 검토하였다.

재료 및 방법

시 료

실험에 사용한 산양유는 강원도 홍천 소재의 조롱골 목장에서 착유한 신선한 혼합유를 사용하였다.

냉장유의 온도활성화에 의한 지방분해 변화 착유 직후의 산양유를 4°C에서 12시간 저장한 다음 유리지방산 함량을 측정하였으며 동일 시료로 30°C에서 5분간 가온처리 한 다음 즉시 4°C에 재냉각하였다. 가온처리는 2회 실시하였으며 첫 번째 처리 후 7시간 경과 후 두 번째 처리를 실시하였다. 가온처리 전과 처리직후의 지방분해정도를 각각 측정하였다.

온도활성화에 의한 유리지방산의 시간별 변화 착유 직후의 산양유를 각각 10°C, 20°C, 30°C 및 40°C에서 5분간 가열처리 하였다. 가열처리 후 시료는 즉시 4°C에 저장한 다음, 3시간, 6시간, 12시간 및 24시간 간격으로 유리지방산의 함량을 측정하였다. 대조구는 각 온도에서 가열처리 후 즉시 반응 정지액 (iso propanol : Heptane : 1N H₂SO₄ = 25 : 25 : 2) 7.5ml을 첨가한 시험구를 사용하였다.

예냉 기간이 가온 처리시 지방분해에 미치는 영향

착유 직후의 산양유를 4°C에 각각 3시간, 6시간, 12시간 및 24시간 동안 예냉한 다음 10°C, 20°C, 30°C 및 40°C에서 5분간 가온 처리를 하여 4°C에 재냉각하였다. 재 냉각한 원유의 유리 지방산 함량은 실험개시 36시간 후에 측정하였다. 대조구는 가온 처리 후 즉시 반응 정지액을 첨가한 시험구를 사용하였다.

가온 처리 시 교반이 지방분해에 미치는 영향

산양유의 교반 처리는 齋藤 와 澤村⁽⁷⁾의 방법에 준하여 실시하였다. 산양유 50ml를 100ml 비이커에 취하여 10°C, 20°C, 30°C로 가온한 다음 spin bar (8×30 mm)를 이용하여 water bath stirrer (Iuchi WBS-80, Japan)의 속도조절기를 일정한 속도에 고정하여 각 온도에서 5분간 교반 처리를 하였다. N₂ gas에 의한 교반은 N₂ gas를 50% KOH와 Heptane 층을 통과 시킨 다음 flow controller(Eyela MFC-2, Japan)를 사용하여 일정한 N₂ gas (80 v/v/m)가 분사되도록 하여 5분간 교반 처리를 하였다. 교반 처리를 실시한 다음 4°C에 저장하며, 3시간, 6시간, 12시간 및 24시간 간격으로 유리지방산 함량을 측정하였다. 대조구는 가온 처리 후 즉시 반응 정지액을 첨가한 시험구를 사용하였다.

가온 처리시 교반 처리 시간이 지방분해에 미치는 영향

착유 직후의 산양유를 30°C에서 10분, 20분 및 30분간 magnetic stirrer와 N₂ gas를 이용하여 교반 처리를 한 후 4°C에 저장하며, 3시간, 6시간, 12시간 및 24시간 간격으로 유리지방산 함량을 측정하였다. 대조구는 가온 처리와 함께 교반 처리를 실시한 후 즉시 반응 정지액을 첨가한 시험구를 사용하였다.

유리지방산 측정

유리지방산 함량의 측정은 시료 2.3ml를 시험관에 취한 다음 반응 정지액 7.5ml를 첨가하여 2분간 교반하였다. 2시간 이상 정치시킨 다음 상징액 중의 유리지방산을 phenol-red 법⁽⁸⁾에 의하여 측정하였다. 유리지방산 함량은 palmitic acid를 표준용액으로 측정하여 시료 1ml에 함유되어 있는 palmitic acid의 양으로 환산하여 mM로 나타내었다.

결과 및 고찰

온도활성화가 지방분해에 미치는 영향

원유는 착유된 다음 2회 이상의 가온 처리에 의하여 온도활성화 처리를 받게 되는데 이러한 온도활성화 처리가 산양유의 지방분해에 어떠한 영향을 주는지를 조사하였다. 신선한 원유를 4°C에 저장하며, 12시간 간격으로 30°C에서

5분간 2회 가열 처리한 다음 처리전 후의 유리 지방산 변화를 조사하였으며 그 결과를 (Fig. 1)에 나타내었다.

4°C에서 12시간 저장한 원유를 1차 온도활성화 처리를 실시한 직후 유리지방산 함량이 증가하였다. 1차 가온처리 후 4°C에 12시간 동안의 재냉각기간 중 유리지방산 함량의 증가는 그다지 크지 않았으며, 뒤이은 2차 온도활성화 처리 후에도 뚜렷한 유리지방산 함량의 증가는 나타나지 않았다. 2회에 걸친 온도활성화 처리 중 1차 온도활성화 처리 직후에 유리지방산의 증가가 가장 높았으며, 그 이후의 저장기간이나 2차 온도활성화에 의한 뚜렷한 유리지방산 증가는 나타나지 않았다.

Sundheim과 Bengtsson-Olivecrona⁽⁹⁾는 온도활성화 처리 전 4°C에서의 원유의 저장이 lipase의 분포를 크림부분으로 재분배시키고 온도활성화 처리에 의하여 lipase가 활성화되어 지방분해가 촉진된다고 하였다. 1차 온도활성화 처리를 한 후 2차 온도활성화 처리전이나 처리 후 지방분해가 미약한 것은 지방분해에 의하여 유리상태로 된 과잉의 지방산이 기질로 사용된 지방입자의 표면에 남아 lipase의 접근을 방해⁽¹⁰⁾한 결과로 생각된다.

원유의 저온 저장은 lipase의 활성을 크림부분으로 재분배시키며, 자연발생적 지방분해

는 유지방에 결합되어 있는 lipase의 양과 관련이 있다⁽¹¹⁾. 산양유는 lipase활성의 50%정도가 cream 부분에 존재하기 때문에 착유 후 산양유의 온도활성화에 의하여 지방분해가 쉽게 촉진될 수 있다고 하겠다.

온도활성화에 의한 유리 지방산의 시간별 변화

산양유를 각각 10°C, 20°C, 30°C 및 40°C에 5분간 가온한 후 4°C에 저장하며, 3시간, 6시간, 12시간 및 24시간 간격으로 시간별 유리지방산 함량의 변화를 측정하였으며, (Fig. 2)에 그 결과를 나타내었다. 각 처리 온도 중 30°C로 가온 처리한 처리구가 재 냉각기간 중 가장 뚜렷한 지방분해 촉진효과를 보여주었다. 30°C로 가온 처리한 처리구는 4°C에 저장한 후 6시간부터 12시간 사이에 급격한 유리지방산 함량의 증가를 나타내었으며, 재 냉각 12시간 후에는 6시간 저장에 비하여 유리지방산 함량이 약 3.7배 증가하였다. 30°C이외의 처리 온도에서는 뚜렷한 지방분해 촉진효과를 나타내지 않았다. 40°C에 가온 처리한 경우 지방분해 정도가 가장 미약하였다. Frankel 과 Tarassuk⁽¹²⁾는 산양유 lipase가 37°C 이상의 온도에서 활성이 급격히 감소하며, 30°C부근의 온도에서 lipase가 최대 활성을 나타낸다고 하였다.

예냉 기간이 가온 처리시 지방분해에 미치는 영향

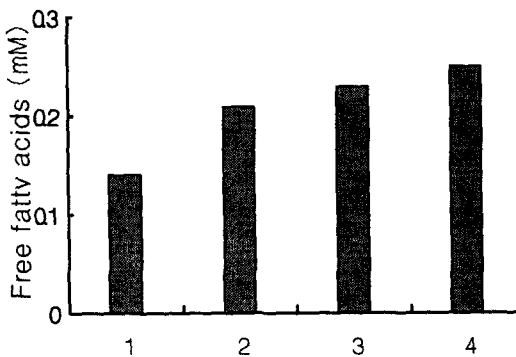


Fig. 1. Effects of warming at 30°C for 5min on the increase of free fatty acids in goat milk. 1) Cooling of 12 hours at 4°C after milking. 2) Immediately after first temperature activation. 3) Before secondary temperature activation. 4) Immediately after second temperature activation.

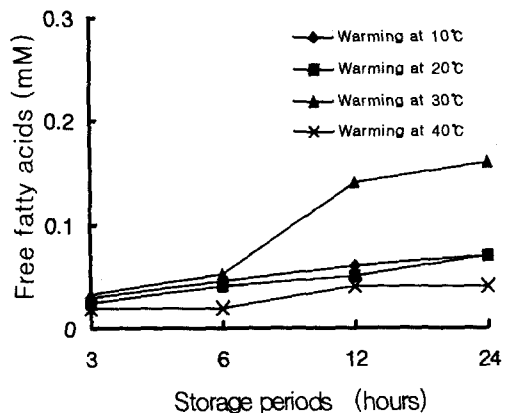


Fig. 2. Increases of free fatty acids during re-cooling period for 24hours at 4°C after temperature activation at 10, 20, 30 and 40°C for 5min.

Table 1. Effect of pre-cooling periods on temperature activation for lipolysis (mM)

Warming temperature(°C)	Pre-cooling periods(hr)			
	3	6	12	24
10	0.28	0.32	0.38	0.38
20	0.30	0.38	0.49	0.52
30	0.40	0.50	0.59	0.69
40	0.31	0.30	0.32	0.40

Milk was stored for 3, 6, 12 and 24 hours at 4°C prior to the warming respectively.

원유의 착유 후 냉각은 어떠한 형태로든 유 지방구의 물리화학적 변화를 가져 오게 되며, lipase의 분포에 변화를 일으키게 된다. 산양유 원유의 가온 처리 전 예냉 기간(pre-cooling)이 지방분해에 미치는 영향을 조사하였으며 그 결과를 (Table 1)에 나타내었다.

(Table 1)에서 24시간 예냉한 후 30°C에 5분간 가온한 처리구의 지방분해 정도가 가장 높았으며, 3시간 예냉한 후 가온한 처리구의 유리 지방산 함량에 비하여 약 1.7배 높게 나타났다.

Sundheim 과 Bengtsson-Olivecrona⁽⁹⁾는 우유의 경우 3~5시간 예냉하였을 때 지방구에 흡착하는 lipase의 양이 최대값을 나타낸다고 하였으나, 본 실험의 결과에서 산양유는 예냉

기간이 길수록 지방분해 정도가 높게 나타났다. 이러한 결과는 냉장기간이 길어짐에 따라 유 지방의 물리화학적 변화가 영향을 미쳤을 것으로 생각된다. Shimizu 등⁽¹¹⁾은 lipase의 receptor로 작용하는 유 지방구막의 heparin sulfate 함량이 lipase와 유 지방구와의 결합에 영향을 미친다고 하였다. Lipase와 유 지방구의 결합에는 여러 요인들이 영향을 미칠 수 있는데, 본 실험에서는 24시간의 예냉 기간까지 lipase가 지속적으로 지방구에 흡착하고 흡착된 lipase가 뒤이은 가온 처리에 의하여 활성화됨으로써 지방분해가 촉진되는 것으로 생각된다. 40°C에서 가온한 처리구는 유리지방산 함량의 증가가 미약하였다. Wang 과 Randolph⁽¹³⁾는 4°C에서 24시간 원유를 저장한 것보다 22°C에서 2시간 저장하였을 때 lipase의 활성이 더 많이 감소하였다고 하였다. 이와 같이 lipase가 저온보다 고온에서 활성이 불안정한 것이 가온 온도 40°C에서 유리지방산의 증가가 미약한 원인의 하나로 생각된다.

가온 처리시 교반처리가 지방분해에 미치는 영향

산양유 원유가 가온 처리를 받을 때 교반처리가 지방분해에 미치는 영향을 조사하였다. 교반처리는 magnetic stirrer를 이용한 교반과 N₂ gas를 이용한 교반으로 나누어 실시하였다.

그 결과를 (Fig. 3)부터 (Fig. 5)에 나타내었다. 가온 처리시 교반이 함께 이루어질 경우 각 처리온도 모두 가온 처리만 실시한 경우보다 유리지방산 생성이 더 높았다. 교반처리는 각 처리온도 모두 stirrer에 의한 교반이 N₂ gas에 의한 교반보다 유리지방산 생성량이 높았다. 30°C에서 교반한 경우(Fig. 5)가 10°C(Fig. 3)와 20°C(Fig. 4)에서 교반한 경우보다 지방분해를 더욱 촉진하였다. 교반 처리 후 4°C에 24시간 저장하면서 유리지방산의 함량을 측정된 결과 각 처리온도 모두 저장기간이 경과함에 따라 유리지방산 생성량이 증가하였다.

(Fig. 3)부터 (Fig. 5)까지의 결과에서 유 지방이 액체상태로 존재하고 lipase가 활성화되는 온도에서의 교반 처리가 지방분해를 더욱 촉진한다는 Bhavadason 등⁽¹⁴⁾의 결과와 본 실험의 결과는 일치하고 있다. Deeth 등⁽¹⁵⁾은 교반이 유 지방구막을 파괴함으로써 기질의 표면

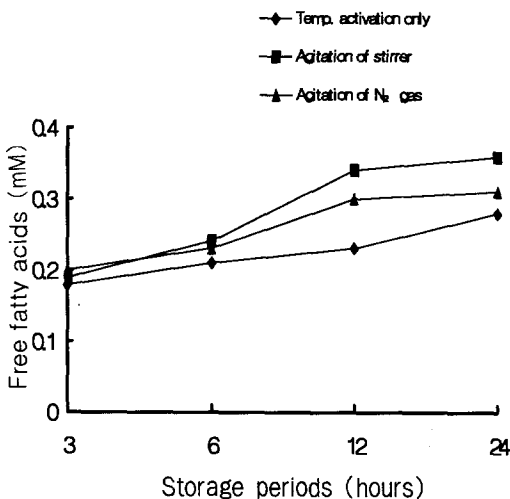


Fig. 3. Increases of free fatty acids during re-cooling period for 24 hours at 4°C after agitation for 5min at 10°C.

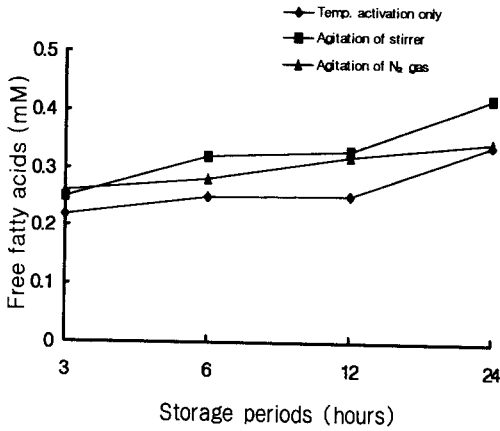


Fig. 4. Increases of free fatty acids during re-cooling period for 24 hours at 4°C after agitation for 5min at 20°C.

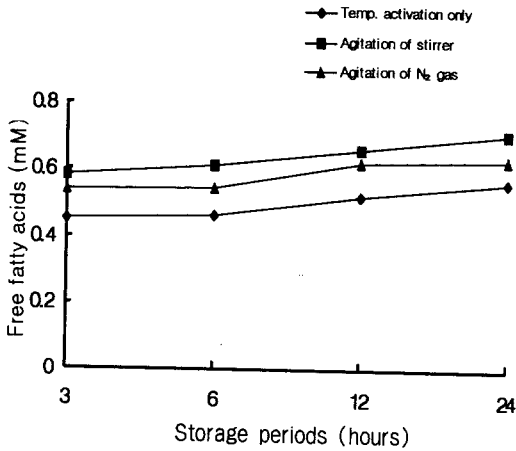


Fig. 5. Increases of free fatty acids during re-cooling period for 24 hours at 4°C after agitation for 5min at 30°C.

적을 증가시키고 유성분의 확산을 촉진하여 lipase가 유지방구에 작용하는 것을 촉진한다고 하였다. 따라서, 원유는 착유 후 되도록 온도변화를 최소화하면서 과도한 교반을 피하는 것이 품질이 뛰어난 원유를 얻을 수 있다고 하겠다.

가온 처리시 교반 처리 시간이 지방분해에 미치는 영향

산양유 원유의 교반 처리시 교반 처리 시간이 지방분해에 어떠한 영향을 미치는지를 조사

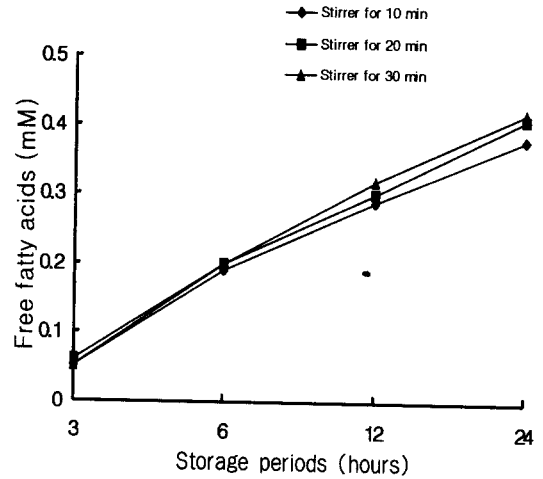


Fig. 6. Increases of free fatty acids during re-cooling period for 24 hours at 4°C after agitation of stirrer for 10, 20 and 30min at 30°C respectively.

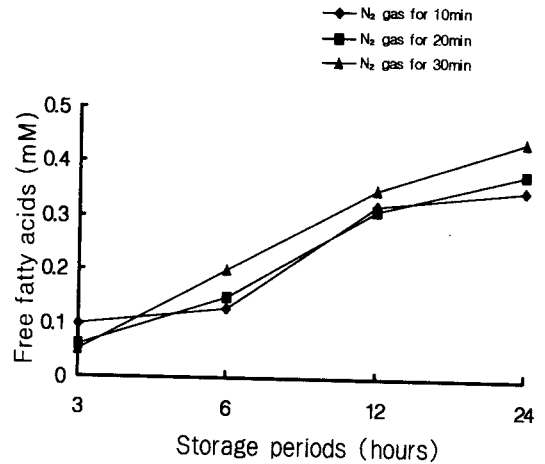


Fig. 7. Increases of free fatty acids during re-cooling period for 24 hours at 4°C after agitation of N₂ gas for 10, 20 and 30min at 30°C respectively.

하였다. 교반처리 온도는 교반시 유리지방산 생성이 가장 높았던 (Fig. 5) 30°C에서 각각 10분, 20분 및 30분간 stirrer와 N₂ gas를 이용하여 교반 처리를 한 후 4°C에 저장하며, 3시간, 6시간, 12시간 및 24시간 간격으로 유리지방산 함량을 측정하였다. 그 결과들을 (Fig. 6)부터

(Fig. 7)에 나타내었다.

30°C에서 stirrer(Fig. 6)와 N₂ gas(Fig. 7)로 교반 처리를 실시한 경우 지방분해 정도는 교반 처리 시간에 따라 큰 차이를 나타내지 않았다. 교반 시간의 차이가 지방분해에 뚜렷한 영향을 미치지 못한 결과는 10분간의 교반이 유 지방을 분해하기에는 충분한 것으로 생각된다. Bengtsson과 Olivecrona⁽¹⁰⁾는 지방분해에 의하여 유리상태로 된 과잉의 지방산이 기질과 수층과의 계면에 축적되어 lipase의 활성을 억제한다고 하였다. 따라서 10분간의 교반에 의하여 생성된 유리지방산이 lipase의 활성에 영향을 미쳤을 것으로 생각된다. 이와 같은 결과는 원유의 지방분해에는 교반 시간보다 교반시의 온도가 더 영향을 미친다고 할 수 있겠다.

요 약

산양유 원유의 지방분해에 미치는 온도활성화 및 교반의 영향에 대하여 검토하였다. 산양유 원유는 2회에 걸친 온도활성화 처리에서 1차 온도활성화 직후 유리지방산 함량이 가장 많이 증가하였으며, 1차 온도활성화 이후의 재 냉각기간이나 2차 온도활성화 시에는 유리지방산 증가량이 높지 않았다. 산양유 원유는 30°C에 가온 하였을 때 10°C나 40°C에 가온한 경우와 비교하여 재 냉각기간 중 지방분해가 가장 촉진되었다. 산양유의 지방분해 정도는 24시간 예냉 한 후 30°C에서 5분간 가온 처리한 처리구가 가장 높았으며, 40°C에 가온한 처리구는 예냉 기간에 관계없이 유리지방산 함량의 변화가 뚜렷하게 나타나지 않았다. 산양유 원유는 30°C에서 가온처리와 교반 처리를 함께 하였을 때 가온 처리만을 한 경우 보다 지방분해가 더욱 촉진되었으며, 30°C에서 교반 처리를 행한 경우가 10°C에서 교반 처리를 행한 경우 보다 지방분해가 더욱 촉진되었다. 산양유 원유는 30°C에서 교반 처리 시간이 연장되어도 지방분해는 뚜렷한 증가를 나타내지 않았다.

참고문헌

- Downey, W. K. and Murphy, R. F. : Partitioning of the lipolytic enzymes in bovine milk. *Int. Dairy Fed. Doc.*, 86, 19 (1975).
- Deeth, H. C. and Fitzgerald, C. H. : Lipolysis in dairy products : A review. *Aust. J. Dairy Technol.*, 31, 53 (1976).
- Krukovsky, V. N. and Herrington, B. L. : Studies of lipase action. II. The activation of milk lipase by temperature changes. *J. Dairy Sci.*, 22, 137 (1939).
- Eric, C. Needs, Graeme, D. Ford., A. Jane Owen., Brian Tuckley and Malcolm Anderson : A method for the quantitative determination of individual free fatty acids in milk by ion exchange resin adsorption and gas-liquid chromatography. *J. Dairy Research.*, 50, 321 (1983).
- Cerbulis, J., Parks, O. W. and Farrell, JR., H. M. : Composition and distribution of lipids of goat's milk. *J. Dairy Sci.*, 65, 2301 (1982).
- Ashworth, U. S., Ramaiah, G. D. and Keyes, M. C. : Species difference in the composition of milk with special reference to the Northern Fur Seal. *J. Dairy Sci.*, 49, 1206 (1966).
- 齊藤善一, 澤村 浩 : 原料乳のリポリシスにおよぼす温度處理と攪拌の影響. 日本畜産學會 東北支部會報, 34, 10 (1984)
- Saito, Z. : Application of the phenol-red method for investigations on the lipolysis of raw milk. *Jap. J. Zootech. Sci.*, 50, 710 (1979).
- Sundheim, G. and Bengtsson-Olivecrona, G. : Lipolysis in milk induced by cooling or by heparin : Comparisons of amount of lipoprotein lipase in the cream fraction and degree of lipolysis. *J. Dairy Sci.*, 68, 589 (1985).
- Bengtsson, G. and Olivecrona, T. : Lipoprotein lipase : Mechanism of product inhibition. *Eur. J. Biochem.*, 106, 557 (1980).
- Shimizu, M., Uryu, H. and Yamauchi, K. : Presence of heparin sulfate in the fat globule membrane of bovine and human milk. *Agirc. Biol. Chem.*, 45, 741 (1981).

12. Frankel, E. N. and Tarassuk, N. P. : The specificity of milk lipase. III. Differential inactivation. *J. Dairy Sci.*, 39, 1523 (1956).
 13. Wang, L. and Randolph, H. E. : Activation of lipolysis. I. Distribution of lipase activity in temperature activated milk. *J. Dairy Sci.*, 1, 874 (1978).
 14. Bhavadason, M. K., Abraham, M. J. and Ganguli, N. C. : Influence of agitation on milk lipolysis and release of membrane bound xanthine oxidase. *J. Dairy Sci.*, 65, 1692 (1982).
 15. Deeth, H. C. and Fitzgerald, C. H. : Lipolysis in dairy products : A review. *Aust. J. Dairy Technol.*, 31, 53 (1976).
-
- (2000년 5월 2일 접수)