

냉동·해동의 반복이 쇠고기의 물성에 미치는 영향

송미선·이승주
동국대학교 식품공학과

Effect of Freezing/Thawing Cycles on Physical Properties of Beef

Mi Sun Song and Seung Ju Lee

Department of Food Science and Technology, Dongguk University, Seoul 100-715, Korea

Abstract

Recrystallization or Ostwald ripening, by freezing/thawing cycles possibly occurring during frozen storage, leads to quality loss in frozen foods. Changes in physical properties of beef during 5 cycles of freezing/thawing were analyzed in terms of drip loss, water holding capacity, compressing force and exudate amount by compression, pH, color, cooking loss, total loss, shear force and microstructure. Drip loss increased with freezing/thawing cycles such that beef under 5 cycles showed twice larger drip loss than under 1 cycle. Cooking loss and total loss also increased. Water holding capacity decreased and shear force of cooked beef and compressing force and exudate amount by compression increased with the cycles. Red value of color decreased with the cycles, whereas yellow and blue values increased. On micrographs of cross section, larger holes, trace of ice crystals and more damaged tissue were observed from beef under more freezing/thawing cycles. The phenomena in the above physical properties may be due to enlargement of ice crystals in beef by freezing/thawing cycles.

Key words: beef, freezing/thawing cycles, physical properties

서 론

동결육의 품질은 동결속도와 그에 따른 얼음 결정 생성의 양상에 의하여 영향을 받는다. 동결속도가 빠를수록 얼음결정의 수는 증가하고 크기는 감소하여 근육세포 주위에 골고루 분포된다. 동결육의 품질은 동결속도 외에도 동결저장 기간, 동결온도, 육류의 화학적 조성 및 포장의 형태에 의하여 달라질 수 있다(Jul, 1984). 특히 동결저장 과정에서 관리의 부실 및 냉동장치의 결함에 따라 발생할 있는 온도의 오름·내림은 육류의 동결/해동의 반복을 일으켜 품질에 지대한 영향을 미칠 수 있다.

동결육의 조직 내 얼음의 형태와 크기, 세포 내

액과 외액에서 형성되는 얼음결정의 분포는 육류의 품질에 매우 중요하게 작용한다(Fennema, 1973). 급속동결은 세포 내·외부에 작은 얼음결정을 형성시켜 육류의 조직 손상을 작게 하고, 완만동결은 세포외부에 큰 얼음결정을 형성시켜 근원섬유를 찌그러트리고 근장에 손상을 준다. 따라서 동결육을 해동하면 조직감, 색 등에 변화가 생기고 육즙의 drip이 발생하는데 그 drip 양은 세포의 손상이 클수록 많아진다(Crigler와 Dawson, 1968; Anon과 Clavelo, 1980). Drip의 발생은 중량 감소와 영양분의 손실 등을 일으켜 품질을 저하시킨다.

동결저장 중 Ostwald ripening이나 재결정화는 동결식품의 품질저하를 야기하는 원인으로 알려져 있다(Aguilera와 Stanley, 1990). 조직 내 안정하지 않은 상태에 있는 작은 결정들이 성장 또는 융합되어 더 큰 결정이 만들어진다. 이에 따라 결정의 수는 감소하고 그 크기는 증가하여 식품의 품질이 떨어진다. 동결육에서 일어나는 재결정화는 육조직을 분

Corresponding author: Seung Ju Lee, Department of Food Science and Technology, Dongguk University, 3Ga 26, Pildong, Junggu, Seoul 100-715, Korea. Phone: +82-2-2260-3372, Fax: 82-2-2260-3372. E-mail: Lseungju@dongguk.edu

괴시키고 탈수, 이온강도의 증가로 인한 단백질의 변성을 일으키는 것으로 보고된 바 있다(Martino와 Zaritzky, 1988). 한편, 동결저장의 과정에서 냉동기 출입구의 개폐, 동결 과부하로 인한 온도 상승은 이러한 재결정화를 일으키기에 충분한 소지를 제공한다.

현재 동결육에 관한 대부분의 연구는 동결속도나 동결저장 기간 또는 포장방법의 관점에서 발표되었다. 그러나 쇠고기의 유통이나 저장 또는 소비자가 구입하여 보관하는 과정에 이르기까지 흔히 일어날 수 있는 동결/해동의 반복의 영향에 관한 연구는 찾아보기 힘들다. 따라서 본 연구에서는 쇠고기를 대상으로 동결/해동의 반복이 그 품질에 미치는 영향에 대하여 알아보았다. 품질 인자로서 drip 손실, cooking 손실, 총 손실, 전단력, 압착력과 압착에 의한 손실, pH, 보수성, 색도의 변화를 분석하였고 동결육의 미세구조를 관찰하여 얼음결정의 분포를 추정하였다.

재료 및 방법

동결 및 해동

가락동 도축장에서 한우의 등심부위를 도축 24시간 후에 구입하여 눈에 보이는 지방과 건을 제거하고 사용하였다. 쇠고기를 폴리에틸렌 필름으로 소포장하여 -20°C 에서 24시간 동안 동결시킨 후 상온에서 60분 동안 해동시켰으며 이와 같은 동결/해동을 5회까지 반복하여 매 해동이 끝날 때마다 해동된 쇠고기의 품질 변화를 실험하였다.

Drip 손실

동결육을 해동하였을 때 쇠고기로부터 폴리에틸렌 포장필름 내로 흘러내려 이탈된 drip 손실을 쇠고기 초기 중량에 대한 감량으로 계산하였다.

$$\text{Drip 손실(\%)} = \frac{\text{초기중량} - \text{Drip 제거후 중량}}{\text{초기중량}} \quad (1)$$

Cooking 손실

해동된 쇠고기를 일정량 취하여 drip을 제거한 후 실험관에 넣어 75°C 항온수조에 30분간 가열한 다음 상온에서 30분간 냉각하여 발생한 cooking 손실을 초기 중량에 대한 감량으로 산출하였다.

Cooking 손실(\%)=

$$\frac{\text{Drip 제거후 중량} - \text{가열후 중량}}{\text{초기 중량}} \times 100 \quad (2)$$

총 손실

Drip 손실과 cooking 손실을 합하여 총 손실을 계산하였다.

압착력과 압착에 의한 손실(exudate)

쇠고기(직경 50 mm, 두께 7 mm)의 압착력을 Texture Analyzer(TA-XT2, SMS, UK)를 사용하여 측정하였다. 측정 probe(직경 45 mm)의 움직임 속도는 5 mm/s이었고, 시료는 strain 50%까지 압착하였다. 이때 peak 힘을 압착력으로 간주하였다.

압착력을 측정할 때 쇠고기로부터 유출되는 육즙의 감량을 보기 위하여 압착에 의하여 흘러나온 육즙을 제거하여 압착에 의한 손실을 다음 식과 같이 정의하여 산출하였다.

압착에 의한 손실(\%)=

$$\frac{\text{압착전 중량} - \text{압착후 중량}}{\text{압착전 중량}} \times 100 \quad (3)$$

보수성(water holding capacity)

유리판 위에 여과지(Advantec No. 2)를 깔고 그 위에 쇠고기(직경 19 mm, 두께 5 mm)를 놓은 후 또 다른 유리판으로 덮어 153 g의 무게 힘으로 눌러 5분간 방치하여 여과지 위에 육즙이 번져 형성된 윤곽의 총 면적과 총 면적으로부터 쇠고기 부분을 제외한 면적의 비를 산출하였다(Grau와 Hamm, 1953).

보수성(\%)=

$$\frac{\text{총면적에서 쇠고기 부분을 제외한 면적}}{\text{육즙이 번져 형성된 윤곽의 총면적}} \times 100 \quad (4)$$

전단력(shear force)

해동된 쇠고기를 근섬유결에 수직되게 두께 50 mm로 절단하여 얻은 장방형 시료를 근섬유결에 평행되게 직경 30 mm로 다시 절단하여 75°C 에서 30분간 가열하고 실온에서 30분간 냉각한 후 전단력을 측정하였다. 역시 Texture Analyzer와 Warner Bratzler blade를 probe로 사용하였고 3 mm/s의 속도로 움직일 때 측정된 peak 힘을 전단력으로 나타내었다.

pH

쇠고기를 마쇄하여 시료 15 g당 증류수 15 ml을 가하고 원심분리기(HA-50, Hanil Scionco, Korea)로 5,000 rpm에서 5분간 원심분리한 후 여과지(Advantec No. 1)로 걸러진 상등액의 pH를 pH측정계(Model-10, Fisher Scientific, USA)를 사용하여 측정하였다.

색도

쇠고기 시료(15×30×5 mm)의 표면을 색도계(Tintometer model AF-900, Lovibond, UK)을 사용하여 Lovibond계의 red 값, yellow 값, blue 값을 측정하였다.

미세구조

쇠고기를 0.1 M phosphate 완충액(pH 7.2)으로 완충된 2.5% glutaraldehyde로 4°C에서 12시간 전고정한 후 같은 완충액으로 20분간 2회 세척하였고 같은 완충액으로 완충된 1% osmium tetroxide 용액(pH 7.2)으로 4°C에서 2시간 동안 후고정하여 같은 완충액으로 세척하였다. 고정된 시료는 다시 농도를 점차적으로 높인 일련의 에탄올 용액으로 탈수하고 Araldite CY212 mixture에 60°C에서 2일간 포매(embeding)하였다. 포매가 끝난 시료를 ultramicrotom(Reichert-Jung 2030, Mikrovit, Denmark)을 사용하여 박절하였고 박절편은 toluidine blue로 염색하여 광학현미경으로 200배 배율로 관찰하였다(Hayat, 1986).

통계처리

상기 항목별로 10회 이상 반복 실험하여 그 평균값을 구하였다. SAS 통계 프로그램을 사용하여 각 평균값으로부터 분산분석을 실시하였고 다중비교법의 하나인 Tukey's studentized range test를 적용하여 평균간의 유의적 차이를 검정하였다. 본 논문에서 유의적 차이의 결과는 완전한 표 형식으로 제시하지 않고 필요한 경우만 언급하였다.

결과 및 고찰

Drip, cooking 및 총 손실의 변화

Drip 손실

동결/해동이 반복됨에 따라 drip 손실은 계속 증가하여 1회 동결/해동에서는 6.07%이었고 5회에서

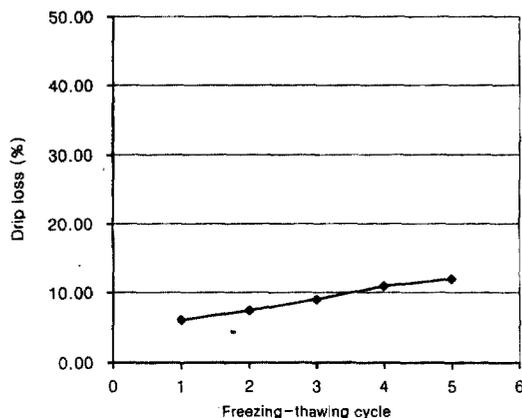


Fig. 1. Change in the drip loss of beef with freezing/thawing cycles.

는 약 2배에 가까운 11.96%를 보였다(Fig. 1). 다중비교 결과 각 평균값 간에는 $P < 0.05$ 수준에서 유의적 차이가 있게 나타났다. 동결육의 drip은 동결속도, 해동속도, 동결 전 숙성정도, 도살 후 동결시기, 동결 시 포장의 유무 등에 따라 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Jul, 1984). 이들에 근거한 drip 발생의 주요 메카니즘은 얼음결정의 크기에 의한 세포의 손상에 근거를 둔다. 그 밖의 원인으로 근섬유 단백질과 이온(Na^+ , Ca^{2+} , K^+)의 상호작용 등이 있다. 본 연구에서 동결/해동의 반복 횟수가 증가함에 의하여 drip 손실이 증가한 것으로 보아 쇠고기가 얼고 녹는 과정이 반복됨에 따라 내부적으로 얼음결정이 점차 성장하여 세포의 손상이 증가된 것으로 생각된다. 따라서 쇠고기의 drip 손실을 줄이기 위해서는 동결/해동 또는 그 반복 과정을 배제해야 할 것이다. 한편 동결온도와 해동온도의 조합에 따라 drip 손실이 변화할 수 있다는 보고가 있으나(Hamm *et al.*, 1982) 본 연구에서는 각 온도를 고정하고 반복 횟수만을 변수로 하였다.

Cooking 손실

동결/해동이 반복됨에 따라 cooking 손실은 계속 증가되었으며(Fig. 2) 각 평균값 간에는 3회 반복과 4회 반복한 시료 사이 외에는 $P < 0.05$ 수준에서 유의적 차이가 있었다. 근육 단백질이 열을 받으면 peptide 사슬 구조가 풀리면서 생성된 유리기의 수가 증가하여 다시 분자간 결합하기 때문에 열응고가 되는데 동시에 결합수의 일부가 자유수로 유리되어 보수성 또는 cooking 손실이 일어난다(Hamm, 1986). 동결/해동이 반복되면서 역시 cooking 손실

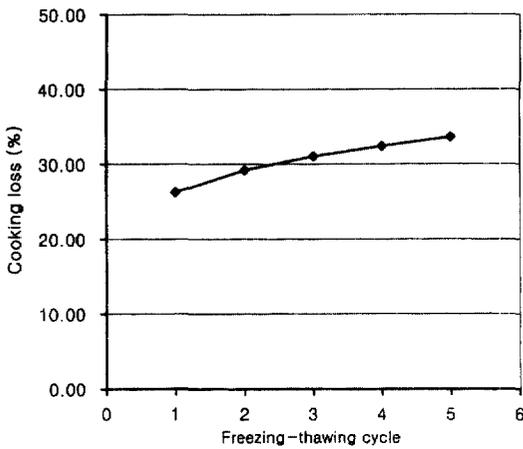


Fig. 2. Change in the cooking loss of beef with freezing/thawing cycles.

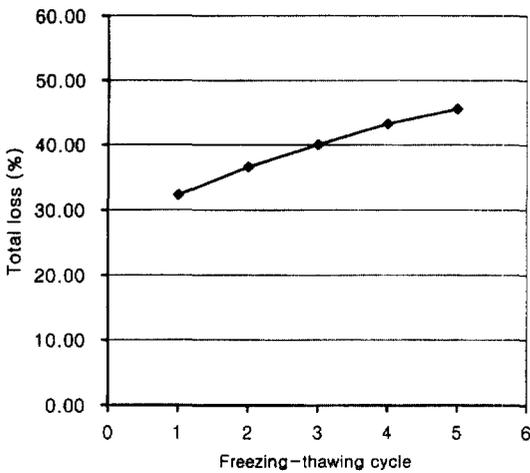


Fig. 3. Change in the total loss of beef with freezing/thawing cycles.

이 증가한 점으로 보아 가열에 의한 열응고에 더불어 동결/해동에 의하여 결합수의 감소 현상이 배가된 것으로 추측된다. 또한 동결기간(숙성기간)이 길어짐에 따라 쇠고기의 cooking 손실이 증가한다는 현상(Bhattacharya *et al.*, 1988; Hanenian *et al.*, 1989)과 본 연구 결과는 일맥상통한 점이 있음을 알 수 있었다. 그러나 동결기간이 경과함에도 불구하고 cooking 손실은 크게 변화하지 않는다는 보고도 있다(Honikel *et al.*, 1981).

총 손실

동결/해동의 반복 횟수에 따른 총 손실의 변화는 Fig. 3과 같다. 반복 횟수가 증가함에 따라 총 손실도 증가하였는데 1회에서 4회까지는 평균값 간에

$P < 0.05$ 수준에서 유의적 차이가 있었으나 4회와 5회간에는 차이가 없는 것으로 나타났다. Winger와 Fennema(1976)는 동결기간이 경과할수록 drip 손실과 총 손실이 증가한다고 하였고, Bhattacharya *et al.*(1988)도 동결육은 동결시간과 속도 및 온도, 육의 품종에 따라 약간 차이는 있지만 일반적으로 동결에 의하여 총 손실이 증가하고 연도가 감소한다고 하였다.

전단력 및 압착력과 압착에 의한 손실의 변화

전단력

동결/해동이 반복됨에 따라 전단력은 꾸준히 증가하였으며(Fig. 4) 다중비교를 실시한 결과 각 평균값 사이에 $P < 0.05$ 수준에서 유의적 차이가 있는 것으로 나타났다. 전단력 측정은 가장 널리 쓰이는

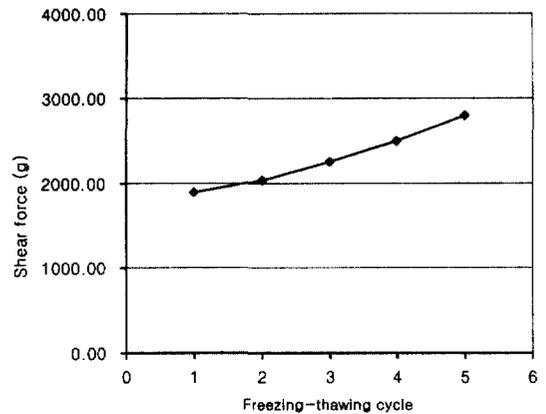


Fig. 4. Change in the shear force of beef with freezing/thawing cycles.

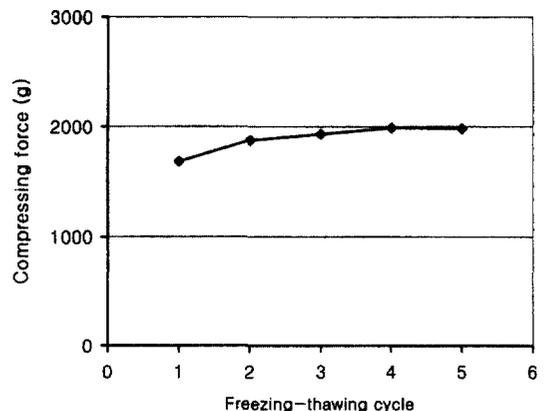


Fig. 5. Change in the compressing force of beef with freezing/thawing cycles.

육조직의 물성 분석방법으로, 기존의 보고에 따르면 동결기간이 경과할수록 쇠고기의 전단력은 증가하며(Bhattacharya *et al.*, 1988), pH가 낮은 쇠고기는 낮은 전단력을 나타낸다고 하였다(Verma *et al.*, 1985). 본 연구에서 동결/해동의 반복 횟수에 따라 전단력이 증가한 현상은 동결기간의 효과와 유사하며 또한 drip, cooking, 총 손실의 증가로 인한 보수력의 저하로 인하여 육질이 질겨졌기 때문으로 생각된다. pH와 전단력과의 관계는 다음 부분에서 더 언급할 것이다.

압착력과 압착에 의한 손실

동결/해동이 반복됨에 따라 압착력은 대체적으로 증가하였으나(Fig. 5) 다중비교 결과 3회와 4, 5회 사이에는 유의적인 차이가 없었으며 5회 반복되었을 때는 4회 때보다 오히려 압착력이 약간 감소하였다. 그러나 압착손실량은 반복 횟수가 증가함에 따라 압착력이 증가했음에도 불구하고 감소하였는데(Fig. 6) 이는 동결/해동의 반복에 의하여 유출된 drip 손실의 증가로 인하여 쇠고기의 보수성이 이미 감소되었기 때문으로 사료된다. 이와 같은 결과로부터 동결/해동의 반복으로 인한 쇠고기의 drip 손실의 증가와 보수성의 감소가 외부에서 주어지는 압력보다도 쇠고기의 물성에 더 큰 영향을 미칠 수 있음을 알 수 있었다. 한편 본 연구결과와 관련된 기존의 결과를 기술하면, Park *et al.*(1987)은 동결에 의하여 단백질의 용해성이 감소되고 경도가 증가한다고 하였고, Levie(1979)는 얼음의 형태와 연도와 관계가 있다고 하였다. 즉, 세포조직의 파열 및 결합조직의 팽창이 쇠고기의 연도를 향상시키는

데 약간의 영향을 미친다고 하였고, 동결에 의하여 점차적으로 단백질이 손상되면서 다즙성이 약간 손실되는 것으로 나타났다.

보수성 및 pH의 변화

보수성은 쇠고기의 절단, 열처리, 분쇄, 압착 등 외부의 힘이 작용하였을 때 수분을 유지시키는 능력을 의미한다. 동결/해동이 반복됨에 따라 Fig. 7에서 보는 바와 같이 보수성은 현저히 감소하였고 각 평균값 사이에는 $P < 0.05$ 수준에서 유의적 차이가 모두 인정되었다. 이와 관련하여 보수성은 연도와 다즙성, 육색, 조직감, pH 등과 상관관계가 있는 것으로 알려져 있다(Wagner와 Anon, 1985).

pH는 동결/해동 반복 횟수가 증가함에 따라 5.44에서 5.47로 변화하였으나 유의적 차이는 없으므로 나타났다(Fig. 8). Jalang *et al.*(1987)은 고기를

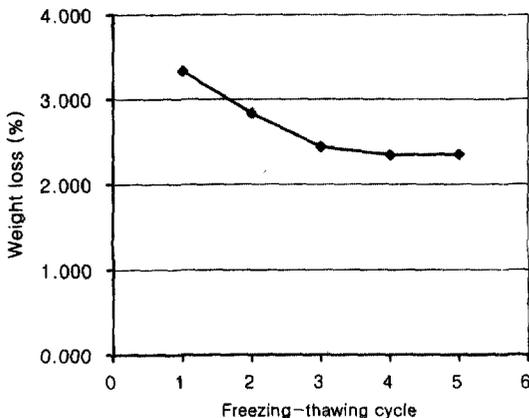


Fig. 6. Change in the exudate amount from compressed beef with freezing/thawing cycles.

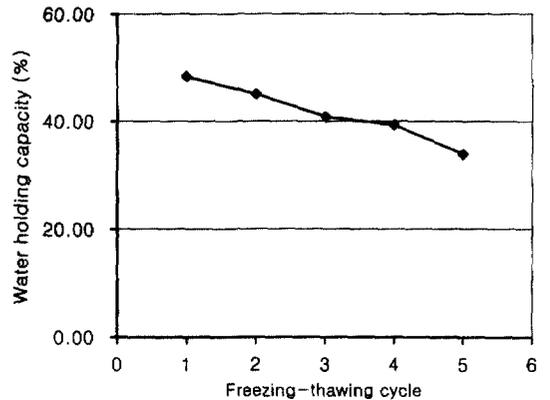


Fig. 7. Change in the water holding capacity of beef with freezing/thawing cycles.

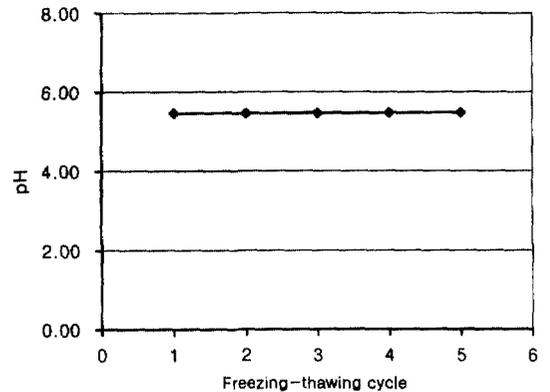


Fig. 8. Change in the pH value of beef with freezing/thawing cycles.

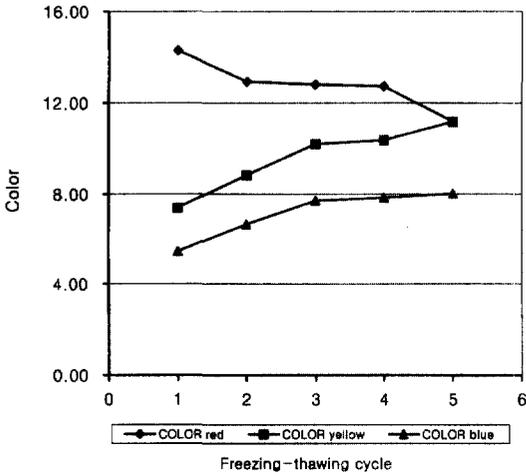


Fig. 9. Change in the color (red, yellow and blue values of Lovibond color scales) of beef with freezing/thawing cycles.

동결시키면 고기의 pH가 증가한다고 하였고 Verma *et al.*(1985)은 동결기간이 길어지면 pH가 점차적으로 증가한다고 보고하였는데 본 연구의 결과도 그와 유사하게 나타났다. 근육의 pH가 등전점인 5.5

부근에서 보수성은 최소로 되며, 높은 pH에서는 비교적 drip이 발생하지 않는 것이 일반적이는데, 본 연구에서는 동결/해동 반복에 따라 pH가 약간 증가하였음에도 불구하고 보수성은 감소하였다. 이는 pH의 변화보다는 동결/해동 반복에 의한 근육단백질의 변성이나 얼음결정의 크기 및 분포의 변화에 의하여 더 큰 영향을 받기 때문으로 사료된다.

색도의 변화

쇠고기의 색은 환원상태인 myoglobin과 metmyoglobin의 적자색과 갈색, 그리고 산화상태의 oxymyoglobin의 선홍색으로 구분된다. 동결/해동이 반복됨에 따라 red 값은 감소하였고 2회와 3, 4회 사이에는 유의적인 차이가 없었다. Yellow 값은 증가하였으나 3회와 4회 사이에 유의적 차이가 없었다. Blue 값은 증가하였고 3회와 4회 사이에 유의적 차이가 없는 것으로 나타났다(Fig. 9). Akamittach *et al.* (1990)은 쇠고기의 동결저장 기간이 경과함에 따라 red 값은 감소하며, Ledward(1970)은 동결저장 기간 중에 metmyoglobin의 형성이 증가하여 육색이 퇴색한다고 보고하였는데 본 연구 결과도 그 유사함을 보였다.

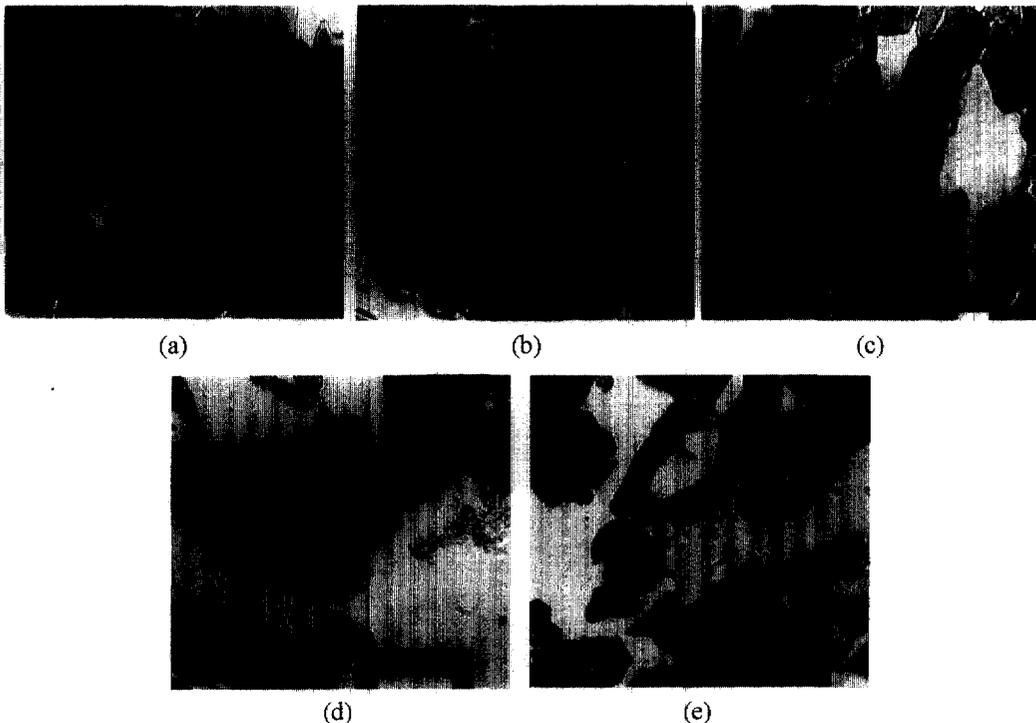


Fig. 10. Change in the microstructure (x200) with freezing/thawing cycles. (a): 1 cycle, (b): 2 cycles, (c): 3 cycles, (d): 4 cycles, (e): 5 cycles.

미세구조의 변화

Fig. 10은 동결/해동을 반복한 쇠고기의 미세구조를 나타낸 것인데 1회 반복의 경우에는 조직이 촘촘히 붙어있고 그 사이에 얼음결정의 자리가 거의 관찰되지 않았다. 2회 동결/해동 반복된 쇠고기의 미세구조도 1회와 큰 차이는 없었으나 조직사이에 얼음결정이 내재되었던 흔적으로 보이는 공간이 나타났다으며, 3회 반복되면서부터 조직사이의 공간 면적이 더 커져서 4회에서는 조직의 형태도 함께 수반된 것을 관찰할 수 있었다. 5회 반복한 쇠고기의 미세구조에서는 4회의 것보다도 조직의 형태가 더 손상되었고, 얼음결정 자리의 공간도 훨씬 커졌음을 알 수 있다. 이처럼 조직사이의 공간 면적이 커진 것은 세포조직 사이에 형성된 얼음결정이 동결/해동이 반복됨에 따라 더 큰 결정으로 재결정화되었기 때문으로 생각된다. 이렇게 세포 내로부터 수분이 세포외부로 계속 배출되어 세포외부에서 얼음의 재결정이 진행되면 탈수 및 이온강도의 증가로 인한 단백질의 변성도 같이 일어나기 때문에 결과적으로 보수성이 저하와 연관된다. 이와 관련된 기존의 보고로서, Hamm(1953)은 단백질의 변성으로 인하여 peptide 사슬에 물분자가 접근할 수 있는 공간이 작아져 보수성이 저하된다고 하였다. 한편 얼음의 재결정화 속도는 동결저장 온도가 높아질수록 증가하며, 재결정화 활성화 에너지는 단백질의 변성과 drip 형성과 관련이 있다고 하였다(Martino와 Zaritzky, 1988).

요 약

식품이 동결/해동 반복되면 Ostwald ripening이 심화되어 품질이 변하게 된다. 쇠고기를 동결한 후 해동하는 과정을 5회 반복하면서 매 해동마다 쇠고기 품질 특성의 주요 인자인 drip 손실, cooking 손실, 총 손실, 전단력, 압착력과 압착손실량, 보수성, pH, 색도의 변화를 실험하였고 동결육 조직내 얼음결정의 분포와 크기 변화를 분석하기 위하여 미세구조를 관찰하였다. Drip 손실은 동결/해동의 횟수가 반복됨에 따라 증가하여 1회와 5회 반복한 쇠고기의 drip 손실은 약 2배 정도 차이가 났으며 가열 후 cooking 손실과 총 손실도 꾸준히 증가하였다. 반복 횟수가 많을수록 보수성은 감소하였으며 압착력과 압착에 의한 손실, 조리된 쇠고기의 전단력은 증가하여 육조직이 질겨지는 것을 알 수 있었다. 색도

는 반복 횟수가 많을수록 red 값은 감소하였고, yellow 값과 blue 값은 각각 증가하였다. 또한 미세구조 사진으로부터 반복 횟수에 따라 세포조직 내에 얼음결정의 자리로 보이는 공간 면적의 크기와 분포가 변하는 현상을 관찰할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 동국대학교 전문학술지 논문게재연구비 지원으로 수행된 것으로 이에 감사 드립니다.

문 헌

- Aguilera, J.M. and D.W. Stanley. 1990. *Microstructural Principles of Food Processing & Engineering*. Elsevier Science Publishers, NY, USA
- Akamittath, J.G., C.J. Brekke, and E.G. Schanus. 1990. Lipid oxidation and color stability in restructured meat systems during frozen storage. *J. Food Sci.* **55**(6): 1513-1517
- Anon, M.C. and A. Calvelo. 1980. Freezing rate effects on the drip loss of frozen beef. *Meat Sci.* **4**(1): 1-14
- Bhattacharya, M., M.A. Hanna, and R.W. Mandigo. 1988. Effect of frozen storage conditions on yields, shear strength and color of ground beef patties. *J. Food Sci.* **53**: 696-700
- Crigler, J.C. and L.E. Dawson. 1968. Cell disruption in broiler breast muscle related to freezing time. *J. Food Sci.* **33**(3): 248-250
- Fennema, O. 1973. *Low Temperature Preservation of Foods and Living Matter*. Marcel Dekker, NY, USA
- Grau, R. and R. Hamm. 1953. Eine einfache methode zur bestimmung der wasserbindung im muskel. *Naturwissenschaften* **40**: 29
- Hamm, R. 1953. Wasserbindung des fleisches und ihrewirtschaftliche bedeutung. *Deutsche Lebensmittel Rundschau* **49**: 153
- Hamm, R., P. Gottesmann und J. Kijowski. 1982. Einfrieren und Auftauen von fleisch: Einflusse auf muskelgewebe und tausaftbildung. *Fleischwirtschaft* **62**(8): 983-992, 1006
- Hamm, R. 1986. Functional properties of the myofibrillar system and their measurement. In: *Muscle as Food*. P.J. Bechtel (ed.). Academic Press, USA. pp135-199
- Hayat, M.A. 1986. *Basic Techniques for Transmission Electron Microscopy*. Academic Press, Inc., N.Y., USA
- Hananian, R., G.S. Mittal, and W.R. Osborne. 1989. Effects of pre-chilling, freezing rate and storage time on beef patty quality. *J. Food Sci.* **54**(3): 532-535
- Honikel, K.O., A. Hamid, C. Fischer, and R. Hamm. 1981. Influence of postmortem changes in bovine muscle on the

- water holding capacity of beef. *J. Food Sci.* **46**(1): 23-25
- Jalang, J.W., G.L. Saul, and R.A. Lawrie. 1987. Observations on muscle press juice from bovine and porcine muscles. *Meat Sci.* **21**(1): 73-76
- Jul, M. 1984. *The Quality of Frozen Foods*. Academic Press, London, UK
- Ledward, D.A. 1970. Metmyoglobin formation in beef stored in carbon dioxide enriched and oxygen depleted atmospheres. *J. Food Sci.* **35**(1): 33-37
- Levie, A. 1979. *Meat Handbook*. AVI Publishing Co., Westport, USA
- Martino, M.N. and N.E. Zaritzky. 1988. Ice crystal size modifications during frozen beef storage. *J. Food Sci.* **53**(6): 1631-1637
- Park, S., J. Novakofski, P.J. Bechtel, and F.K. McKeith. 1987. Palatability and texture of ground meat pattes made with varying amounts of pork and turkey. *J. Food Sci.* **52**(6): 1490-1494
- Verma, M.M., A.D. Alarcon-Rojo, D.A. Ledward, and R.A. Lawrie. 1985. Effect of frozen storage of minced meats on the quality of sausages prepared from them. *Meat Sci.* **12**(3): 125-129
- Wagner, J.R. and M.C. Anon. 1985. Effect of freezing rate on the denaturation of myofibrillar proteins. *J. Food Technol.* **20**(6): 735-744
- Winger, R.J. and O. Fennema. 1976. Tenderness and water holding properties of beef muscle as influenced by freezing and subsequent storage at -3°C or -15°C . *J. Food Sci.* **41**(6): 1433-1438