

## 해동우육의 냉장저장 중 육색소 산화에 관한 연구

정진연 · 문상훈 · 박구부 · 주선태

경상대학교 농업생명과학대학 동물자원과학부 식육과학연구소

### 서 론

식육의 냉동 저장방법은 오랜 기간동안 가장 많이 사용되어온 보존방법 중 하나이나, 저장기간 동안 육질의 저하를 원천적으로 방지할 수는 없다. 그 이유는 식육은 냉동하여 저장하면 근육조직 내에 형성된 얼음 결정이 근육조직의 구조 및 생화학적 기작을 변화시키고 궁극적으로 단백질의 변성을 초래하기 때문이다. 하지만 현재에도 우리나라의 많은 식육 판매점에서는 한우육의 유통 기한을 연장하기 위해 냉동한 뒤 해동하여 판매하고 있다.

육색소(Myoglobin : Mb)의 산화는 식육의 품질을 저하시키는 생화학적 주요 요인 중의 하나인데, 특히 신선육의 소매 진열 판매 시 Mb 산화는 유통기한을 결정하는 주요 요인이며 다양한 요인에 의해 영향을 받는다. 일반적으로 신선육의 밝은 육색은 근육세포의 미토콘드리아 내에서 형성되는 MetMb 환원 효소들의 기작에 의해 유지되는 것으로 알려져 있다. 그런데 식육이 냉동과 해동이라는 외부적인 충격을 받으면 근섬유, 즉 근육세포 및 소기관들이 형성된 얼음 결정에 의해 손상을 받거나 파괴된다<sup>1)</sup>. 본 연구에서는 식육의 냉동 해동 과정에서 손상을 입은 세포와 소기관들이 육색소와 관련된 효소체계에 영향을 미쳐 육색소 산화를 촉진시킨다는 가설을 세우고, 이를 증명하기 위하여 한우 우둔근을 냉동하고 해동시킨 다음 냉장저장하면서 표면육색 변화, MetMb 형성 정도, MetMb 환원력을 조사하였다.

### 재료 및 방법

#### 1. 공시재료 및 시료처리

상업적으로 도축된 비거세 한우 10두를 무작위로 선정한 후, 사후 48시간에 *longissimus lumborum*을 채취하여 공시재료로 사용하였다. 공시재료 근육은 두께 2cm의 스테이크로 만들고 직경 5cm 코어를 이용하여 실험에 이용할 시료로 만들었다. 채취된 시료는 zipper bag으로 포장한 후, 냉동의 유무 및 냉동 해동 방법에 따라 대조구와 처리구로 구분하였다. 즉, 냉동하지 않은 것을 대조구로 하였고, 처리구들은 -65℃에 2시간 급속 냉동한 뒤 2시간 동안 상온(15℃)에 해동한 처리구를 T1, 이 방법을 두 번 반복한 처리구를 T2로 하였다. 대조구와 처리구의 시료들은 7일 동안 냉장(4℃)에 저장하면서 육색소의 화학적 상태(DeoxyMb%, OxyMb%, MetMb%), 표면 육색(CIE L\*, a\*, b\*) 및 MetMb의 환원력을 측정하였다.

## 2. 조사항목 및 실험방법

육색은 Minolta Chrometer(CR-300, Minolta Co., Japan)을 이용하여 동일한 시료를 7번 반복하여 CIE L\*, a\*, b\*값을 측정하였다. Mb의 화학적 조성은 시료 5g에 phosphate buffer 20ml을 가하여 추출하였다. 시료를 균질하여 원심분리하고 상층액을 회수한 다음, 회수된 상층액은 spectrophotometer를 이용하여 572, 262, 545, 525nm의 흡광도를 측정하여 Krzywicki 공식<sup>2)</sup>에 의해 산출하였다. MetMb reducing activity는 Lee 등<sup>3)</sup> 방법을 이용하여 측정하였다. 시료 2g을 25mM PIPES (pH 5.8)에 넣은 후 균질하고, 여기에 0.5% ammonium sulfamate와 0.5M lead acetate를 첨가하여 반응시킨 다음 암실에서 방치하였고, 20% trichloroacetic acid를 첨가하여 다시 반응시킨 후 추출하였다. 추출된 용액은 spectrophotometer를 이용하여 420nm의 흡광도를 측정하여 계산하였다.

## 결과 및 고찰

저장기간에 따른 표면 육색의 변화는 Fig. 1에 나타난 바와 같은데, 대조구는 저장기간 동안 유의적인 변화가 없었으나, 처리구에서는 유의적인( $p < 0.05$ ) 변화가 나타났다. 즉, 저장기간이 증가함에 따라 T2의 L\*값은 증가하였고 a\*값은 감소하였다. 또한 T1의 a\*값과 b\*값도 감소하였다. 처리구들 사이의 비교에서는 T2가 T1에 비해 L\*값은 큰 폭으로 증가하였고 a\*값은 감소한 것으로 나타났다. 이 같은 결과는 냉동 해동 처리구가 대조구에 비해 육색이 옅어지고 붉은색을 잃는다는 것을 의미하며, 냉동 해동이 반복되면 육색의 변화가 더욱 심하게 발생한다는 것을 의미한다. 이 같은 표면 육색의 변화는 Mb의 화학적 상태(OxyMb%, MetMb%)에 의해서도 동일하게 확인되었는데, 저장기간 동안 대조구의 OxyMb%는 처리구들과 비교하여 유의적으로( $p < 0.05$ ) 높았으며(Fig. 1), 반대로 처리구들의 MetMb%은 대조구에 비해 큰 폭으로 증가한 것으로 나타났으며, 그 결과 저장기간 동안 처리구들의 MetMb%가 대조구에 비해 유의적( $p < 0.05$ )으로 높았다(Fig. 2). 처리구간의 비교에서는 저장 7일째 T2가 T1에 비해 낮은

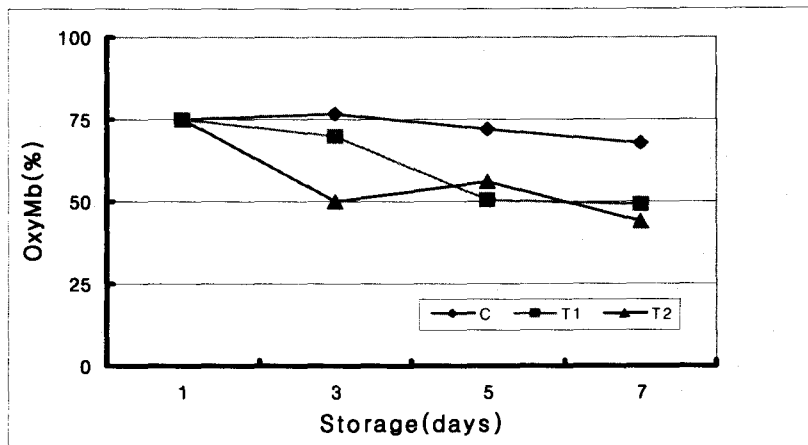


Fig. 1. Changes in oxymyoglobin(%) of Hanwoo beef for 7 days of storage.

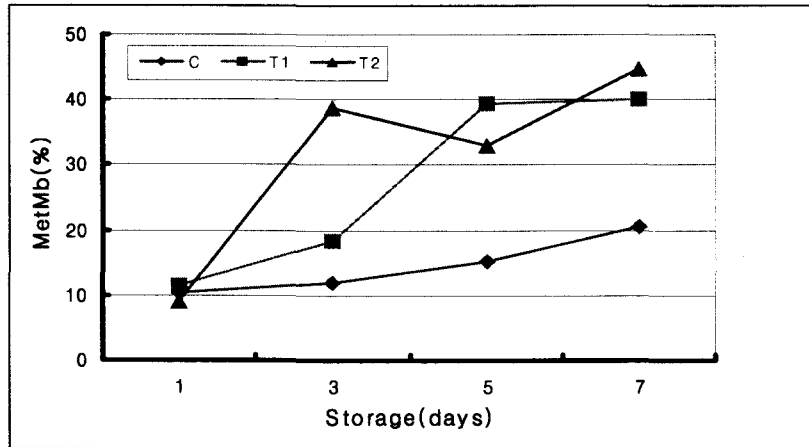


Fig. 2. Changes in metmyoglobin(%) of Hanwoo beef for 7 days of storage.

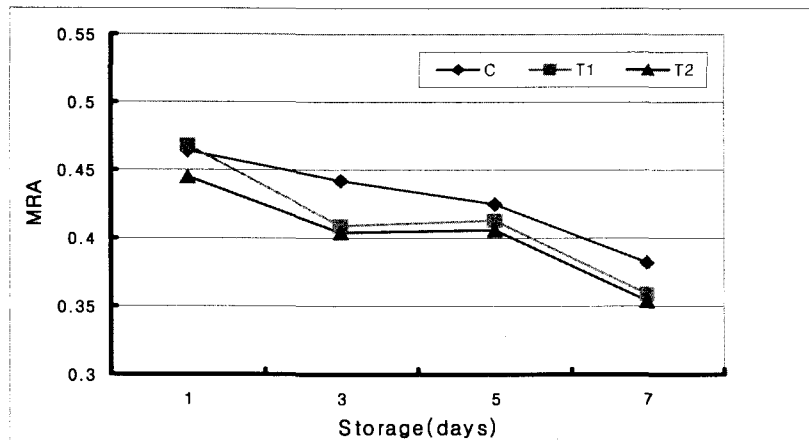


Fig. 3. Changes in MetMb reducing Activity(MRA) of Hanwoo beef during cold storage.

OxyMb%, 높은 MetMb%를 나타내었다. 한편, 저장기간 동안 MetMb 환원력의 변화는 Fig. 3에 나타낸 바와 같은데, 처리구들의 MetMb 환원력이 대조구에 비해 유의적으로( $p < 0.05$ ) 빨리 감소하는 것으로 나타났으며, 처리구에서는 T2가 T1에 비해 빠른 감소 추세를 보였다. 이 같은 결과는 저장기간 동안 처리구의 육색이 빠르게 변화한 것은 감소한 MetMb 환원력에 기인하여 MetMb의 형성이 촉진되었기 때문이란 것을 의미한다.

일반적으로 근육 내에서 육색소의 변화는 몇몇 효소들에 의해 지대한 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 즉, HADH( $\beta$ -hydroxyacyl CoA-dehydrogenase)는 미토콘드리아( $\beta$ -oxidation) 내에서  $NAD^+$ (Nicotinamide adenine dinucleotide)를 이용하여 NADH(Reduced nicotinamide adenine dinucleotide)를 생성하는데, 이때 생성된 NADH가 미토콘드리아의 이중막으로 이동하여 전자 전달효소로 이용되며, 이때 MetMb 환원효소로서 작용하게 된다. 결국 사후 NAD가 Mb 환원에 관여함으로써 육색의 안정성에 영향을 미치는데, 본 연구 결과 식육은 냉동과 해동을 반복하면 형성되는 얼음 결정에 의해 미토콘드리아가 손상되어 HADH가 근형질로

Table 1. Changes in CIE L\*a\*b\* value on surface of Hanwoo beef for 7 days of cold storage

Treatment <sup>1)</sup>	Storage(days)			
	1	3	5	7
Control	40.86±2.00 <sup>A</sup>	40.16±1.86	40.66±3.04	40.68±2.09
L* T1	41.26±4.53 <sup>A</sup>	39.24±2.92	41.47±5.95	39.74±3.25
T2	37.86±2.08 <sup>Bb</sup>	37.52±3.37 <sup>b</sup>	39.29±3.04 <sup>ab</sup>	41.03±2.67 <sup>a</sup>
Control	26.14±2.69 <sup>AB</sup>	25.58±2.33 <sup>A</sup>	24.71±2.36	24.30±2.77 <sup>A</sup>
a* T1	27.73±2.61 <sup>Aa</sup>	24.47±0.90 <sup>ABb</sup>	22.66±2.13 <sup>bc</sup>	21.49±2.99 <sup>Bc</sup>
T2	23.82±2.39 <sup>Ba</sup>	22.70±2.52 <sup>Bab</sup>	22.34±3.88 <sup>ab</sup>	20.10±2.71 <sup>Bb</sup>
Control	13.21±1.50 <sup>A</sup>	12.62±1.20 <sup>A</sup>	12.45±1.53	12.26±1.85
b* T1	14.09±2.30 <sup>Aa</sup>	12.21±1.07 <sup>ABb</sup>	11.98±1.72 <sup>b</sup>	11.21±1.85 <sup>b</sup>
T2	11.37±1.49 <sup>B</sup>	11.18±1.74 <sup>B</sup>	11.49±2.25	10.64±1.65

1) Control : storage in refrigerator at 4°C without freeze.

T1 : storage in refrigerator at 4°C after freeze-thaw one cycle.

T2 : storage in refrigerator at 4°C after freeze-thaw two cycle.

<sup>A,B</sup> Means ± SD with difference superscript in the same column are significantly different( $p < 0.05$ ).

<sup>a~c</sup> Means ± SD with difference superscript in the same row are significantly different( $p < 0.05$ ).

유리되어 나오고, 그 결과 MetMb를 환원시키는 NADH의 환원력이 감소되어 MetMb의 형성이 촉진되는 것으로 사료된다.

## 요 약

냉동하여 해동한 한우육은 냉장 쇼케이스에서 진열 판매하는 동안 육색소의 산화가 촉진되어 변색이 빠르게 이루어진다. 그 이유는 냉동과 해동이라는 물리적인 충격에 의해 근육세포 내의 효소체계가 파괴되어 MetMb 환원력이 감소한 결과 MetMb 형성이 증가하기 때문인 것으로 사료된다.

## 참고 문헌

1. Sacks, B., Casey, N. H., Boshof, E., & Van Zyl, H. (1993) *Meat Sci.* 34, 235-24
2. Krzywicki, K. (1982) *Meat Sci.* 7, 29-36.
3. Lee, M., Cassens, R. G. and Fennemam, O. R. (1981). *J. Food Pro. Preser.* 5, 191-205.