초고압 동결 및 해동방법이 돈육의 물리적 특성에 미치는 효과

심국보 · 홍근표 · 최미정 · 민상기*

건국대학교 동물생명과학대학 동물자원연구센터

Effect of High Pressure Freezing and Thawing Process on the Physical Properties of Pork

Kook-Bo Shim, Geun-Pyo Hong, Mi Jung Choi, and Sang-Gi Min*

Animal Resources Research Center, College of Animal Bioscience and Technology,
Konkuk University, Seoul 143-701, Korea

Abstract

This study was conducted to investigate the effect of various high pressure freezing and thawing treatments on the physical properties of pork. To compare the effects of the freezing and thawing process on meat quality, atmospheric freezing followed by running water thawing (AFRT), pressure shift freezing followed by running water thawing (SFRT), and pressure shift freezing and pressure assisted thawing (SFAT) were conducted at pressure of 250 MPa and cooling temperature of -22°C. SFAT and SFRT showed a shorter phase transition time and total thawing time than AFRT. The pH value of treated samples increased significantly ($p<0.05$) compared to unfrozen meat. In addition, SFAT and SFRT showed a higher pH-value than AFRT. Although the water holding capacity was significantly decreased ($p<0.05$) for SFAT and SFRT, SFRT reduced drip loss. In regards to color, SFAT and SFRT resulted in a significant increase in color parameters ($p<0.05$) relative to AFRT, while SFAT produced a higher L^* -value. High pressure treatment significantly increased shear force ($p<0.05$) compared to AFRT, and, where SFRT showed the highest shear force. Therefore, these combined results indicated that the hydrostatic pressure treatment improved the functional properties of pork and increased the freezing and thawing rate.

Key words: pressure shift freezing, pressure assisted thawing, physicochemical, pork

서 론

식품의 품질을 장기간 보존하기 위해서는 동결이 효과적인 방법으로 이용될 수 있다. 전통적인 방법에 의한 동결은 일반적으로 얼음결정체 형성과정에서 잠열의 제거가 느리게 전개되어 세포막 밖에 큰 얼음 결정을 형성하여 조직에 손상을 준다(Fennema, 1973). 또한 해동과정에서 드립으로 인한 수분과 영양소 손실, 색 및 조직감 변화, 미생물에 의한 오염 등의 품질저하를 야기한다. 이러한 전통적인 동결 및 해동방법을 개선하기 위해서 압력에 따라 물의 상전이 온도 변화를 응용한 초고압 동결기술에 대해서 많은 연구가 진행되고 있다. 초고압 동결기술은 일정한 압력에서 식품의 품온을 빙점까지 낮추어 냉각하여 동

결하는 pressure assisted freezing(PAF)과, 압력을 가한 후 식품을 냉각시키고 일정한 과냉각 상태로 유지한 후 압력의 해제와 동시에 상전이를 유도하여 동결하는 pressure shift freezing(PSF), 그리고 압력을 지속적으로 증가시켜 상온에서 물의 상전이를 유도하여 동결하는 pressure induced freezing(PIF)의 3가지로 분류할 수 있다(Knorr *et al.*, 1998). 초고압 동결기술은 기존의 송풍식 상압 동결보다 작고 균일한 얼음 결정체를 형성하여 식품의 조직파괴를 최소화할 수 있는 가장 효과적인 방법으로 평가되고 있다(Knorr *et al.*, 1998). 또한 Kalichevsky 등(2000)은 모델 식품을 200 MPa에서 -15°C까지 과냉각을 유도하여 동결한 PSF 방법이 전통적인 방법으로 -30°C에서 동결한 경우 보다 작은 얼음 결정을 형성한다고 보고하였다. 그러나 초고압 환경은 식육에 여러 변화를 야기할 수 있다. 식육을 초고압 처리할 경우 육단백질을 심하게 손상시키고(Fernández-martin *et al.*, 2000), 가압처리시간의 증가는 육의 물리적 변화를 야기할 수 있다(Hong *et al.*, 2005). 그러나 PSF는 압력을 해제함과 동시에 동결을 제어할 수 있으므로 냉각

*Corresponding author : Sang-Gi Min, Department of Food Science and Biotechnology of Animal Resources, College of Animal Husbandry, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea. Tel: 82-2-450-3680, Fax: 82-2-454-4146, E-mail: foodeng301@paran.com

속도의 향상에 따른 급속동결이 용이하며 가압시간을 단축하여 압력에 의한 육의 변성을 최소화할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 초고압기술은 동결과정뿐만 아니라 해동과정에도 응용할 수 있고 연구 가치가 높다. 대기압에서 물이 얼음으로 상전이 될 때 333 kJ/kg의 융해잠열이 발생하는데 물에 압력을 193 MPa로 가하면 융해잠열이 241 kJ/kg으로 감소된다(Karino *et al.*, 1994). 따라서 Schubring 등 (2003)은 상전이 동안 높은 열 유동율로 빠른 해동을 유도할 수 있고 전통적인 해동보다 육즙손실을 저하시키며 조직감을 향상시킨다고 하였다. 따라서 본 연구는 이러한 이론배경을 기초로 초고압 동결 및 해동방법의 조합이 돈육의 물리적 특성에 미치는 효과를 규명하기 위하여 수행되었다.

재료 및 방법

공시재료

돈육 등심(*M. longissimus dorsi*)부위는 도살된 지 24시간 이내의 것을 무작위로 선별하여 채취하였다. 시료는 2.5 cm의 직경과 5 cm의 길이로 근섬유방향과 평행한 원통형으로 정형하였다. 각 시료의 중심부에 k-type thermocouple을 장착하여 polyethylene bag으로 진공 포장한 후 냉장에서 중심 온도가 2°C에 도달하도록 예비 냉각하여 동결처리를 하였다.

동결 및 해동처리

상압동결 및 유수해동(Atmospheric Pressure Freezing and Water Thawing, AFRT)

2°C의 냉장에서 예냉시킨 시료는 -50°C의 deep freezer (NF-400SF, Nihon Freezer Co., Japan)에서 시료의 빙점보다 10°C 더 냉각되었을 때까지 동결한 후 신속히 5°C 항온수조에서 중심부의 온도가 2°C에 도달할 때까지 유수해동을 하였다.

가압동결 및 유수해동(Pressure Shift Freezing and Water Thawing, SFRT)

시료의 가압처리는 자체 제작한 가압시스템을 이용하였다. 가압시스템은 250 mL 용량의 pressure vessel, air compressor(S-40, Seowon compressor Co., Korea) 및 pressure intensifier(HSF-300, Haskel International Inc., CA)로 구성되었고, 가압 유체로는 95% ethanol이 사용되었다. 각 시료의 중심부 온도는 thermocouple을 mobile corder(MV104, Yokogawa Co., Japan)에 연결하여 기록하였다. 250 MPa까지 가압을 한 후, vessel에 -40°C로 냉각된 95% ethanol을 순환시켜 시료의 중심부 온도가 -22°C에 도달하였을 때 압력을 해제하여 급속동결을 유도하였고 시료의 빙점

보다 10°C 더 강하되었을 때까지 동결하였다. 동결한 시료는 AFRT와 같이 유수해동을 하였다.

가압동결 및 가압해동(Pressure Shift Freezing and Pressure Assisted Thawing, SFAT)

SFRT에서와 같이 시료를 가압상태에서 동결한 후 냉매를 5°C까지 가열시켜 가압상태에서 중심부 온도가 2°C 도달할 때까지 해동하였다.

pH

시료 5 g에 증류수 20 mL을 혼합하여 Homogenizer(SMT Process Homogenizer, SMT Co. Ltd., Japan)를 사용하여 10,000 rpm에서 2분간 균질한 후, pH-meter(pH Meter 440, Corning, U.K)로 측정하였다. 각 시료는 5회 반복 측정하였다.

보수력

시료의 보수력은 Hong 등(2007)의 방법을 이용하여 5회 반복 측정하였다. 건조된 거즈를 넣어 둔 원심분리관에 약 1 g의 시료(W_{meat})를 넣고, 4°C로 조절된 저온원심분리기(RC-3, Sorvall Co., USA)를 이용하여 3,000 rpm에서 10분간 원심분리한 후, 시료를 제거하고 건조 전(W_{before})과 후(W_{after})의 무게를 측정하여 다음의 공식을 이용하여 나타내었다.

Water holding capacity (%)

$$= \{1 - [(W_{after} - W_{before})/W_{meat}]\} \times 100$$

해동감량, 가열감량 및 총 손실량

해동감량은 시료의 동결 전 및 해동 후의 무게를 측정하여 백분율로 나타내었다. 가열감량은 해동한 시료를 75°C water bath에서 30분간 가열 처리한 후 30분 동안 상온에서 방냉하여 감소된 무게를 백분율로 나타내었다. 따라서 총 손실량은 해동감량(m_2)과 가열감량(m_3)을 합친 양을 동결 전 시료의 무게(m_1)를 측정하였고 다음의 공식으로 나타내었다.

$$\text{Total loss (\%)} = \frac{m_2 + m_3}{m_1} \times 100$$

육색

시료의 표면을 color reader(CR-10, Korea Minolta Sensing Inc., Japan)를 사용하여 CIE L^* , a^* 및 b^* 값을 7회 반복 측정하였다. 이때 L^* 값이 97.83, a^* 값이 -0.43, b^* 값이 +1.98인 calibration plate를 표준으로 사용하였다.

전단력

가열감량을 측정한 시료는 1 cm의 두께로 근섬유 방향

Fig. 1. Temperature and pressure evolution in the pork during the (a) SFAT and (b) SFRT processes.

과 평행하게 절단하여 Digital force gauge(DPS-20, IMADA Co., Japan)를 이용하여 전단력을 측정하였으며, 이때의 cross head speed는 60 mm/min으로 하였다. 시료의 전단력은 각 처리구당 15회 반복 측정하였다.

통계분석

본 실험은 동결 및 해동 처리 방법에 따른 돈육의 물리적 특성 변화를 규명하고자 실시되었다. 각 측정치의 결과 분석은 SAS 9.1(Statistics Analytical System, USA, 1989~1999) 프로그램을 사용하여 Duncan의 multiple range test에 의하여 평균치간의 유의성을 95% 신뢰수준에서 검증하였다.

결과 및 고찰

동결 및 해동시간

동결 및 해동방법에 따른 돈육의 온도변화 profile은 Table 1에 각각 나타내었다. 본 연구에서 상압 동결 및 유수해동처리구(AFRT)는 과냉각이 발견되지 않았지만, 초고압 동결처리구에서는 20°C의 과냉각을 나타내었다. 또한 초고압 동결처리구의 상전이 시간은 6.1 min으로 상압 동

결처리구의 14.6 min보다 약 1/2정도 짧은 것으로 나타났다. 일반적으로 동결식품의 품질은 과냉각의 크기와 상전이 시간에 의하여 결정되는데, 과냉각의 크기는 핵 형성 속도와 형성되는 얼음 결정체의 수를 결정하며(Otero and Sanz, 2006), 상전이 시간 즉, 동결속도는 얼음결정체의 크기를 결정하는 것으로 알려져 있다(Fernández *et al.*, 2006). 따라서 pressure shift freezing을 통한 높은 과냉각과 짧은 상전이 시간으로 작고 균일한 크기의 얼음 결정체를 순간적으로 시료 전체에 형성하여 조직파괴를 최소화할 수 있는 장점으로 작용된다(Zhu *et al.*, 2004). 시료간 해동시간 비교에서는 AFRT시료의 해동시간이 95.4 min 소요되었고 초고압 동결처리구 SFRT와 SFAT는 각각 68.1 min와 53.3 min으로 상대적으로 빠른 해동속도를 보였다. 또한 pressure shift thawing을 한 SFAT가 유수해동의 SFRT보다 다소 짧은 해동시간을 나타내었다. 따라서 초고압 방법은 전통적인 방법보다 빠른 동결과 해동속도를 보일 것으로 판단된다. 그러나 본 연구에서 전체 동결 및 해동 처리공정은 초고압 동결처리구가 상압 동결처리구보다 길게 나타났다. 이는 초고압시스템에서 시료의 냉각에 다소 긴 시간이 소요되었고, 따라서 전체 동결 및 해동공정이 단축될 수 있는 보다 효과적인 열전달시스템의 제작이 요구되었다.

pH

동결 및 해동방법에 따른 돈육의 pH 변화는 Fig. 2에 나타내었다. 모든 동결 처리구는 대조구에 비하여 유의적으로 높은 pH를 나타내었다($p < 0.05$). 일반적으로 동결육은 해동과정 중 얼음 재결정화에 기인한 용질의 농도변화에 의하여 신선육에 비해 높은 pH를 보인다(Farouk *et al.*, 2003). 처리구간에 있어서 초고압 동결처리구는 상압 동결처리구(AFRT)에 비하여 유의적으로 높은 pH를 나타낸 반면($p < 0.05$), 초고압 동결처리구는 해동방법에 관계없이 pH 변화에는 유의적인 차이가 인정되지 않았다($p > 0.05$). 일반적으로 초고압 처리는 일부 식육 단백질의 구조적 변화를

Table 1. Freezing and thawing profiles of pork under various freezing and thawing treatments

Treatment ¹⁾	Phase transition time (min)	Total thawing time (min)	Pressure holding time (min)
AFRT	14.6±5.9 ²⁾	95.4± 7.8	n.d. ³⁾
SFRT	6.1±1.6	68.1± 10.6	44.1±17.4
SFAT	5 ±0.4	53.3± 7.9	112.2± 0.6

¹⁾AFRT, atmospheric freezing followed by running water thawing; SFRT, pressure shift freezing followed by running water thawing; SFAT, pressure shift freezing followed by pressure assisted thawing.

²⁾Means ± S.D. from three replicate determinations.

³⁾Not determined.

Fig. 2. Effect of various freezing and thawing treatments on the pH value of pork. Vertical bar represents standard deviation. Means with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

야기하는 것으로 알려져 있으며, 초고압 처리에 의한 육단백질의 구조변화는 압력의 크기 및 가압시간의 증가와 더불어 현저하게 변화된다고 보고되고 있다(Angsupanich and Ledward, 1998; Hong *et al.*, 2005; Knorr *et al.*, 2006). 본 연구에 앞서 진행된 예비실험에 의하면 pressure shift freezing(PSF)은 pressure assisted freezing(PAF)에 비하여 가압시간이 짧게 나타났고, 이러한 가압시간의 차이에 기인하여 유의적으로 낮은 pH값을 나타내었다(Ko *et al.*, 2008). 본 연구에서는 초고압 동결방법으로써 PSF만을 이용하였고, 이후 해동과정에서 pressure assisted thawing(PAT)과 유수해동을 비교하였고, 그 결과 두 해동처리구의 pH는 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 비록 SFAT는 SFRT에 비하여 초고압 처리과정에서 상대적으로 긴 시간이 요구되었기에 SFAT 처리구에서 유의적으로 높은 pH를 예상하였지만, 차이가 없었다. 이러한 이유는 본 연구의 동결과정에 활용한 압력하에 시료가 받는 기압효과는 미약하다고 사료되며, Hong 등(2005)은 200 MPa 처리된 돈육의 pH는 초기에는 유의적으로 상승하였지만, 30분 이후에는 유의적인 차이가 인정되지 않는다고 하여 본 연구의 결과와 일치하였다.

보수력

동결 및 해동과정이 돈육의 보수력에 미치는 효과에 대한 결과는 Fig. 3에 나타내었다. 상압 동결처리구(AFRT)의 보수력은 대조구와 유의적인 차이를 나타내지 않은 반면($p > 0.05$), 초고압 동결처리구는 대조구보다 유의적으로 낮은 보수력을 나타내었다($p < 0.05$). 그러나 초고압 동결처리구간에는 해동 방법에 따른 보수력의 유의적인 차이가 인정되지 않았다($p > 0.05$). 본 연구에서 보수력의 변화는 pH와 유의적인 상관관계를 나타내었는데, 초고압 동결처리에 의한 식육 단백질의 변성은 돈육의 pH를 상승시켰

Fig. 3. Effect of various freezing and thawing treatments on the water holding capacity of pork. Vertical bar represents standard deviation. Means with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

으며, 이러한 결과 돈육의 보수력은 저하된 것으로 사료되었다. 이상의 결과는 Ko 등(2006)과는 상반된 결과로서, 이들은 돈육을 초고압 동결하였을 때, 상압 동결처리구보다 유의적으로 높은 보수력을 나타내었고, 초고압 동결처리구에 있어서 가압시간의 증가는 보수력을 다소 향상시킨다고 하였다. 이러한 상반된 결과는 초고압 동결 조건, 돈육의 상태 및 처리장비 등의 요인에 의한 것으로 판단되는데, 본 연구에서 사용된 돈육의 보수력은 초기에 90% 이상의 높은 값을 나타내었고, 상압 동결처리구의 빠른 동결처리는 해동 후 돈육의 보수력 저하에 크게 영향을 미치지 않은 반면, 초고압 동결처리구에서는 시료를 250 MPa의 압력 수준에서 -22°C 까지 냉각시켰고, 그 결과 돈육은 고압 및 저온 환경에서 상대적으로 긴 시간 처리되었다. 결국 초고압 동결처리에 의하여 돈육 단백질은 압력변성 및 냉동변성 효과에 기인하여 유의적으로 낮은 보수력을 나타낸 것으로 판단되었다.

해동감량, 가열감량 및 총손실량

동결 및 해동과정에 따른 해동감량, 가열감량 및 총손실량에 대한 결과는 Table 2에 제시하였다. 본 실험의 결과에서 동결 및 해동방법이 돈육의 육즙손실에 다소 영향을 주는 것으로 나타났다. 초고압 동결처리군이 상압 동결처리구보다 다소 낮은 감량을 나타내었지만, 전반적으로 모든 동결처리군 간에 유의적인 차이가 발견되지 않았다($p > 0.05$). 돈육의 가열감량은 전반적으로 동결처리군과 대조구간에 유의적인 차이를 보이지 않았지만($p > 0.05$), SFRT 처리구에서 유의적으로 낮은 감량을 나타내었다($p < 0.05$). 총 손실량에 있어서, 상압 동결처리구와 SFAT 처리구는 대조구보다 유의적으로 높은 육즙손실을 나타낸 반면($p < 0.05$), SFRT 처리구는 낮은 가열감량에 기인하여 대조구보다 낮은 값을 나타내었다($p < 0.05$). 이상의 결과는 보수력 결과와 다소 상반된 결과인 바, 본 연구에서 초고

Table 2. Effect of various freezing and thawing treatments on the drip loss of pork

Treatment ¹⁾	Drip loss (%) ²⁾		
	Thawing loss	Cooking loss	Total loss
C	n.d. ³⁾	28.64±1.10 ^a	28.15±0.60 ^b
AFRT	4.34±1.24 ^a	28.73±0.74 ^a	31.37±0.37 ^a
SFAT	3.24±0.70 ^a	28.03±2.07 ^a	30.37±1.88 ^a
SFRT	3.22±0.47 ^a	19.46±0.52 ^b	21.28±1.59 ^c

¹⁾C, unfrozen meat; AFRT, atmospheric freezing followed by running water thawing; SFRT, pressure shift freezing followed by running water thawing; SFAT, pressure shift freezing followed by pressure assisted thawing.

²⁾Means±S.D. from four replicates.

³⁾Not determined.

^{a-c}Means with different superscripts among same column are significantly different ($p<0.05$).

압 동결처리군은 대조구 및 상압 동결처리구보다 낮은 보수력을 나타내었지만, SFRT 처리구에서의 낮은 육즙 손실은 해동과정 중에 형성된 얼음 재결정화에 기인한 것으로 사료된다. 일반적으로 동결에 의한 조직파괴를 최소화하기 위하여 빠르게 동결처리된 식육은 빠른 해동처리가 요구되는 반면, 완만 동결된 식육은 완만 해동처리에 의하여 조직 파괴를 최소화할 수 있다(Hamm *et al.*, 1982). 본 연구에서 초고압 동결처리군은 7분 미만의 빠른 상전이 시간을 나타내었고, 초고압 하에서 식육 단백질의 구조변화는 이들 단백질의 겔화 능력에 기인하여 효과적으로 수분을 식육 내부에 포집할 수 있다는 연구결과(Knorr *et al.*, 2006)를 기초로 사료한다면 SFRT 처리구가 대조구보다 낮은 가열감량을 나타낸 것으로 판단된다. 반면에 SFAT 처리구는 비록 동결과정에서 작고 균일한 얼음 결정체를 형성하였고, 식육 단백질의 겔화에 기인하여 물 분자를 효과적으로 포집할 수 있었지만, 이후 pressure assisted thawing(PAT)과정에서 얼음 재결정화가 현저하게 발생하였고, 이들이 최종 해동육의 조직파괴에 영향을 미쳐 대조구보다 높은 가열감량을 나타낸 것으로 사료된다. 결국 PSF 처리는 빠른 동결에 기인하여 식육의 조직 파괴를 최소화할 수 있었지만, PAT 처리는 압력 하에서 긴 해동시간에 기인하여 식육의 해동방법으로 적합하지 않은 것으로 판단되었다.

전단력

동결 및 해동방법이 돈육의 전단력에 미치는 효과는 Fig. 4에 나타내었다. 본 연구에서 상압 동결처리구는 대조구와 전단력의 유의적인 차이가 인정되지 않은 반면($p>0.05$), 초고압 동결처리구는 대조구보다 높은 전단력을 나타내었다($p<0.05$). 동결육은 해동과정에서 육즙의 손실을 야기할 뿐만 아니라 냉동변성에 기인한 육단백질의 aggregation으로 인하여 전단력이 다소 상승하게 된다고 한다(Smeller,

Fig. 4. Effect of various freezing and thawing treatments on the shear force of pork. Vertical bar represents standard deviation. Means with different letters are significantly different ($p<0.05$).

2002). 그러나 동결 및 해동처리에 의한 식육의 전단력은 동결 및 해동조건에 따라 상이하게 나타날 수 있다. Zhu (2004)는 상압 동결처리시 큰 얼음 결정체의 형성으로 인하여 근육조직을 파괴함으로써 신선육보다 전단력을 저하시키지만, 유의적인 차이는 인정되지 않는다고 하였다. 반면에 Hong 등(2006)은 돈육을 압력하에서 동결시켰을 때, 압력의 증가는 돈육의 전단력을 유의적으로 증가시킨다고 하였다. 이는 다른 문헌상에서도 동일하게 관찰되는데, Lakshmanan 등(2005)은 cold smoked salmon을 가압처리하였을 때, 육의 전단력 증가를 관찰하였고, Ikeuchi 등 (1992)은 가압처리가 근원섬유 단백질의 변성을 야기하며, 정전기적 작용 및 disulfide 결합에 의하여 단백질의 가교결합이 형성된다고 하였다. 결국 가압처리에 따른 post-rigor 육의 전단력 증가는 압력의 크기 뿐만 아니라 가압 시간(Hong *et al.*, 2005) 및 처리온도(Smeller, 2002) 또한 영향을 미치는 바, 본 실험에서 초고압 하에서 돈육의 동결이 발생하기까지 소요된 가압시간은 SFRT에서 44.1 min, SFAT에서 112.2 min을 나타내었고(Table 1), 따라서 동결 전 가압시간의 증가에 의한 식육의 미세구조가 더욱 조밀해지며(Chevalier *et al.*, 2000), 그 결과 돈육의 전단력이 유의적으로 증가된 것으로 판단되었다.

육색

Table 3는 동결 및 해동방법에 따른 돈육의 색도 변화를 나타낸 것이다. 모든 동결처리구는 대조구에 비하여 유의적으로 높은 색도 함수값을 나타내었고($p<0.05$), 이러한 색도 변화는 초고압 동결처리군에서 더욱 현저하게 나타났다. 반면에 SFAT 처리구는 SFRT처리구보다 유의적으로 높은 L*값을 나타내었지만($p<0.05$), a*값 및 b*값에서는 유의적인 차이가 인정되지 않았다($p>0.05$). 초고압 처리에 의한 식육의 색도 변화에 대하여 Jung 등(2003)은 globin 변성에 의한 L*값의 증가 및 환원 효소계의 활성화에 기인한 a*값의 증가를 보고하였다. 이러한 색도 변화는 가압

Table 3. Effect of various freezing and thawing treatments on the color

Treatment ¹⁾	CIE color ²⁾		
	L*	a*	b*
C	49.27±1.29 ^d	8.06±0.64 ^c	12.49±0.38 ^c
AFRT	51.77±1.04 ^c	9.49±0.74 ^b	13.96±0.70 ^b
SFAT	69.36±0.60 ^a	11.86±0.90 ^a	17.59±0.94 ^a
SFRT	65.83±1.29 ^b	11.97±0.77 ^a	18.41±0.93 ^a

¹⁾C, unfrozen meat; AFRT, atmospheric freezing followed by running water thawing; SFRT, pressure shift freezing followed by running water thawing; SFAT, pressure shift freezing followed by pressure assisted thawing.

²⁾Means±S.D. from seven replicates.

^{a-d}Means with different superscripts among same column are significantly different ($p<0.05$).

시간과도 관련되는데, 본 연구에서 SFAT 처리구가 SFRT 처리구보다 높은 L*값을 야기한 것은 동결 및 해동과정에서 돈육이 초고압 환경에 노출됨으로써 기인된 것으로 판단되었다. 초고압 처리에 의한 식육의 색도 변화는 실제 초고압 처리의 식육 산업의 응용에 제한이 될 수 있는 반면, 다소 낮은 압력 수준을 이용함으로써 식육의 육색을 향상시킬 수 있음이 Cheah와 Ledward(1996)에 의하여 보고되었다. 결국 초고압 동결처리의 최적 조건 수립을 위하여 이 부분에서 보다 깊은 연구가 요구되었다.

요 약

본 실험은 초고압 동결 및 해동기법이 돈육의 이화학적 특성에 미치는 효과를 규명하고자 시도하였다. 동결 및 해동처리 과정에서 가압에 따른 pH 증가 및 단백질 변성에 따른 보수력의 저하로 관찰되었지만, 초고압 동결 기법을 이용함으로써 효과적으로 해동 및 가열감량을 최소화할 수 있었다. 반면에 초고압 해동기법은 느린 해동속도에 기인한 얼음 재결정화로 해동육의 수율 측면에 영향을 미칠 것으로 판단되었다. 따라서 초고압 동결처리에 의한 빠른 동결 및 빠른 해동처리를 통하여 돈육의 물리적 특성 저하를 최소화할 수 있을 것으로 간주되었다. 반면에 250 MPa의 압력은 돈육의 색도에 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.

참고문헌

- Angsupanich, K. and Ledward, D. A. (1998) High pressure treatment effects on cod (*Gadus morhua*) muscle. *Food Chem.* **63**, 39-50.
- Cheah, P. B. and Ledward, D. A. (1996) Inhibition of metmyoglobin formation in fresh beef by pressure treatment. *Meat Sci.* **45**, 411-418.
- Chevalier, D., Sentissi, M., Havet, M., and Lebail, A. (2000)

Comparison of air-blast and pressure shift freezing on norway lobster quality. *J. Food Sci.* **65**, 329-333.

- Farouk, M. M., Wieliczko, K. J., and Merts, I. (2003) Ultra-fast freezing and low storage temperatures are not necessary to maintain the functional properties of manufacturing beef. *Meat Sci.* **66**, 171-179.
- Fennema, O. R. (1973) Nature of freezing process. In: Low temperature preservation of foods and living matter. Fennema, O. R., Powrie, W. D., and Marth, E. H. (eds), Marcel Dekker Inc., New York, pp. 151-222.
- Fernández-Martin, F., Otero, L., Solas, M. T., and Sanz, P. D. (2000) Protein denaturation and structural damage during high-pressure-shift freezing of porcine and bovine muscle. *J. Food Sci.* **65**, 1002-1008.
- Hamm, R., Gottesmann, P. und Kijowski, J. (1982) Einfrieren und Auftauen von Fleisch; Einflüsse auf Muskel Gewebe und Tausaft Bildung; Fleischwirtsch. **62**, 983-991.
- Hong, G. P., Ko, S. H., Choi, M. J., and Min, S. G. (2007) Effect of pressure assisted freezing on physicochemical properties of pork. *Korean J. Food Sci. Ani. Resour.* **27**, 190-196.
- Hong, G. P., Park, S. H., Kim, J. Y., Lee, S. K., and Min, S. G. (2005) Effects of time-dependent high pressure treatment on physico-chemical properties of pork. *Food Sci. Biotechnol.* **14**, 808-812.
- Ikeuchi, Y., Tanji, H., Kim, K., and Suzuki, A. (1992) Mechanism of heat-induced gelation of pressurized actomyosin: Pressure-induced changes in actin and myosin in actomyosin. *J. Agric. Food Chem.* **40**, 1756-1761.
- Jung, S., Ghoul, M., and De Lamballerie-Anton, M. (2003) Influence of high pressure on the color and microbial quality of beef meat. *Lebensm. -Wiss. u. -Technol.* **36**, 625-631.
- Kalichevsky, M. T., Ablett S., Lillford, P., Knorr, D. (2000) Effects of pressure-shift freezing and conventional freezing on model food gels. *Int. J. Food Sci. Technol.* **35**, 163-172.
- Karino, S., Hane, H., and Makita, T. (1994) Behavior of water and ice at low temperature and high pressure. In: High pressure bioscience. Hayashi, R., Kunugi, S., Shimada, S., Suzuki, A. (eds), San-Ei Suppan Co., Kyoto, pp. 2-9.
- Knorr, D., Heinz, V., and Buckow, R. (2006) High pressure application for food biopolymers. *Biochim. Biophys. Acta.* **1764**, 619-631.
- Knorr, D., Schlüter, O., and Heinz, V. (1998) Impact of high hydrostatic pressure on phase transitions of foods. *Food Technol.* **52**, 42-45.
- Ko, S. H., Hong, G. P., Park, S. H., Choi, M. J., and Min, S. G. (2006) Studies on physical properties of pork frozen by various high pressure freezing process. *Korean J. Food Sci. Ani. Resour.* **26**, 464-470.
- Lakshmanam, R., Miskin, D., and Piggott, J. R. (2005) Quality of vacuum packed cold-smoked salmon during refrigerated storage as affected by high-pressure processing. *J. Sci. Food Agric.* **85**, 655-661.
- Otero, P., and Sanz, P. D. (2006) High-pressure-shift freezing : Main factors implied in the phase transition time. *J. Food Eng.* **72**, 354-363.

-
19. Schubring, R., Meyer, C., Schlüter, O., Boguslawski, S., Knorr, D. (2003) Impact of high pressure assisted thawing on the quality of fillets from various fish species. *Innov. Food Sci. Emerg.* **4**, 257-267.
 20. Smeller, L. (2002) Pressure-temperature phase diagrams of biomolecules. *Biochim. Biophys. Acta.* **1595**, 11-29.
 21. Zhu, S., Le Bail, A., Ramaswamy, H. S., and Chapleau, N. (2004) Characterization of ice crystals in pork muscle formed by pressure-shift freezing as compared with classical freezing methods. *J. Food Sci.* **69**, 190-197.

(Received 2009.11.2/Revised 2009.12.15/Accepted 2009.12.17)