

Pressure Assisted Freezing이 돈육의 이화학적 특성에 미치는 효과

홍근표 · 고세희 · 최미정 · 민상기*

건국대학교 축산식품생물공학전공

Effects of Pressure Assisted Freezing on Physicochemical Properties of Pork

Geun-Pyo Hong, Se-Hee Ko, Mi-Jung Choi, and Sang-Gi Min*

Department of Food Science and Biotechnology of Animal Resources, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea

ABSTRACT

This study was carried out to investigate the effects of pressure assisted freezing (PAF) on physicochemical properties of pork meat. Pork meat was frozen under pressure up to 200 MPa at -60°C , and compared with fresh control. Phase transition temperature decreased with increasing pressure level, while pressure level had no effect on supercooling extent. Increasing pressure level increased pH of meat significantly ($p < 0.05$). Thawing losses of all treatments were significantly higher ($p < 0.05$) than control with the exception of PAF at 200 MPa. Water holding capacity (WHC) was increased significantly ($p < 0.05$) with increasing pressure level up to 100 MPa. Cooking loss tended to decrease with increasing pressure level. In color, CIE L^* - and b^* -value increased with increasing pressure level, while CIE a^* -value decreased significantly ($p < 0.05$). Increasing pressure level up to 150 MPa increased shear force significantly ($p < 0.05$), however, no significant difference between 150 and 200 MPa in shear force was found ($p > 0.05$). Therefore, the results indicated that excessive pressure level in PAF caused several losses in meat qualities, while PAF at mild pressure level improved meat qualities compared to atmosphere freezing.

Key words : pressure assisted freezing, pork, physicochemical, post-rigor

서 론

식품의 보존 및 기능적 특성의 변화를 위하여 초고압 처리 기술이 주로 유럽에서 많이 연구되고 있다(Montero *et al.*, 2002). 초고압 처리 기술은 응용 방법에 따라 크게 식품의 물리적 특성의 향상, 저장성 증대 및 물의 상변화의 세가지 영역에서 주로 연구되고 있다(Cheftel, 1995; Knorr *et al.*, 1998). 그 동안 초고압 기술은 산업적 활용도에 의문점이 제기되어 왔지만 1980년대부터 산업화를 위한 많은 연구가 진행되었고 일본에서는 차별화되고 고부가가치 농산식품을 산업화하는데 성공을 거두었으며, 최근에는 미국과 유럽에서도 수산식품과 축산식품의 살균 및 안정성 증대를 위한 비열처리 기술로 이용되고 있다(Cheftel, 1995; Tonello, 1999).

식품 냉동 분야에서도 초고압 기술은 동결식품의 품질

향상을 위하여 많은 관심을 받고 있다. 특히 초고압 동결 기술은 물의 상전이의 응용과 관련이 있는데, 물은 고압 상태에서 여러 형태의 상태변화를 일으키는데, 대기압에서 0°C 인 물의 빙점은 압력이 증가함에 따라 강하되며 210 MPa에서는 -21°C 로 낮아지고, 210 MPa 이상에서는 다시 증가한다(Bridgman, 1912). 고압동결은 물의 상변화 발생 방법에 따라 몇 가지로 나뉘어 지는데, Schlüter 등(1998)은 pressure assisted freezing(PAF), pressure shift freezing(PSF) 및 pressure induced freezing(PIF)의 3가지 방법으로 고압 동결을 구분하였다. PAF은 가압 하에서 시료를 상전이 온도까지 냉각하여 일정한 압력 하에서 식품을 동결시키는 방법이고, PSF은 물이 동결되기 전 가압장치의 압력을 순간적으로 해제시킴으로써 상전이를 유도하는 동결 방법이다(Knorr *et al.*, 1998). 반면에 PIF은 압력의 증가를 통한 물의 상전이를 이용한 동결 기법으로서, PIF에 의하여 형성된 얼음은 가압 하에서만 안정하기 때문에 동결 처리 기술의 응용에 제한을 받는다(LeBail *et al.*, 2002). 따라서 초고압 동결은 주로 PAF과 PSF에 대하여 많은 연구가 이루어 지고 있으며, 특히 PSF처리는 어떠한 동결처

*Corresponding author : Sang-Gi Min, Department of Food Science and Biotechnology of Animal Resources, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea. Tel: 82-2-450-3680, Fax: 82-2-455-1044, E-mail: foodeng301@paran.com

리 기술보다도 작고 균일한 얼음 결정체의 형성에 기인하여 가장 효과적인 초고압 동결 처리 방법으로 평가되고 있다(Knorr *et al.*, 1998). 하지만 본 실험실에서는 동일한 압력 조건에서 PAF과 PSF 처리된 돈육의 이화학적 특성을 비교한 결과 100 MPa의 moderate 압력범위에서는 압력 하에서의 잠열 감소에 기인하여 PAF이 PSF보다 더욱 효과적으로 식육에 응용될 수 있음을 보고한 바 있다(Ko *et al.*, 2006).

초고압 처리에 의한 식육의 이화학적 특성은 육의 숙성 기간, 육의 상태 및 조성 이외에도 온도, 압력 및 시간 등의 가압 처리 조건 등의 요인들에 의하여 결정된다(Cheftel and Culioli, 1997; Hong *et al.*, 2005). 식품의 초고압 처리에서 가압 수준의 증가에 따른 식품의 품질 변화는 초고압 환경에서 식품의 품질변화의 최적 허용한계를 측정하기 위한 가장 일반적인 방법이며, 대부분의 연구들이 압력 수준에 따른 PSF이 식품에 미치는 효과에 대하여 보고하였고(Chevalier *et al.*, 2000), 일부 문헌에서 PAF 처리가 모델 식품의 미세구조에 미치는 효과에 대하여 PSF과 비교하여 보고가 된 반면(Fernández *et al.*, 2006), 압력의 증가에 따른 PAF이 식육의 품질에 미치는 효과에 대한 보고는 전무한 실정이다. 일반적으로 식육은 물과 단백질이 풍부한 식품으로서 초고압 처리는 단백질의 구조에 영향을 미치며, 200 MPa 이하의 압력 조건에서는 단백질의 oligomer 구조가 monomer로 해리가 되며, 200 MPa 이상의 압력 조건에서 해리된 monomer의 가역적 변성이 발생된다. 이후 압력의 증가에 따라 300 MPa 이상의 압력 조건에서는 단백질이 비가역적으로 변성된다(Lullien-Pellerin and Balny, 2002). 이러한 단백질의 구조적 변화는 식육의 이화학적 특성에 영향을 줄 수 있는 바, Macfarlane(1985)은 200 MPa 이하의 압력 범위에서 post-rigor 육의 가압처리는 육의 물리적 특성에 영향이 없다고 보고한 반면, Hong 등(2005)은 가압 시간의 증가는 육의 물리적 특성을 변화시킨다고 하였다. Iwasaki 등(2006) 또한 200 MPa를 기준으로 그 이상의 압력 수준은 식육의 물리적 특성을 저하시킨다고 보고하였다. 따라서 본 실험은 압력수준에 따른 PAF이 돈육의 이화학적 특성에 미치는 효과를 규명하고, PAF 처리에 의한 돈육 품질의 최적 압력 조건을 산출하고자 실시하였다.

재료 및 방법

공시재료

본 실험에 사용된 돈육 등심(*M. longissimus dorsi*)은 도살 후 24시간 이내의 것을 무작위로 선별된 3개의 도체(pH 5.5-5.9)에서 채취하여 사용하였다. 각각의 등심으로부터 3 cm의 직경과 10 cm의 길이로 근섬유방향과 평행한 원통형 시료 7개를 정형하여 polyethylene pouch로 진공

포장하였다. 각 시료는 중심부에 k-type thermocouple을 장착한 후 냉장고에서 중심온도가 2°C에 도달하도록 예비냉각한 후 동결처리를 시행하였다.

동결처리

대조구(control)로서 3개의 시료는 2°C의 냉장고에서 저장되었고, 4개의 시료는 -50°C 심온 냉동고(NF-400SF, Nihon Freezer Co., Japan)에서 동결하여 대기압(0.1 MPa) 동결처리로 사용하였다. Pressure assisted freezing(PAF)은 자체 제작된 가압장비를 이용하여 수행하였다. 가압장비는 1 L 용량의 pressure vessel, air compressor(S-40, Seowon compressor Co., Korea) 및 pressure intensifier(HSF-300, Haskel International Inc., CA)로 구성되었고, 가압유체로는 60%(v/v) ethylene glycol이 사용되었으며, 가압 vessel의 냉각은 liquid nitrogen(LN₂)을 cooling jacket에 주입하여 -60±5°C로 유지하도록 분사 속도를 조절하였다. 각 시료의 온도는 thermocouple을 mobile corder(MV104, Yokogawa Co., Japan)에 연결하여 기록하였다. 시료의 온도가 각 압력에서의 상전이 온도에서 10°C 이하로 냉각되었을 때 압력을 해제한 후 -50°C 심온 냉동고(NF-400SF, Nihon Freezer Co., Japan)로 옮겨 24시간 저장하였고 모든 동결 처리군은 15분간 유수 해동하여 측정하였다.

pH

시료 5 g에 증류수 20 mL를 혼합하여 homogenizer(SMT Process Homogenizer, SMT Co. Ltd., Japan)를 사용하여 10,000 rpm에서 2분간 균질 후, pH meter(pH900, Precisa Co., Swiss)로 측정하였다.

수분 함량 및 보수력

시료의 수분함량은 AOAC(1990)에 의한 102°C 상압건조법으로 측정하였다. 보수력은 Hong 등(2006)의 방법을 이용하여 3회 반복 측정하였다. 약 1 g의 시료(W_{meat})를 건조된 거즈를 넣어 둔 원심분리관에 넣고, 4°C로 조절된 자동 저온 원심분리기(RC-3, Sorvall Co., USA)를 이용하여 3,000 rpm에서 10분간 원심분리하였다. 원심분리 후, 시료를 제거하여 건조 전(W_{before})과 후(W_{after})의 무게를 측정하여 다음의 공식으로서 나타내었다.

$$\text{Water holding capacity (\%)} \\ = \{1 - [(W_{after} - W_{before})/W_{meat}]\} \times 100$$

해동 및 가열감량

해동감량은 시료의 동결 전 및 해동 후의 무게를 측정하여 백분율로 나타내었다. 이때, 대조구의 해동감량은 동결 처리군과 동일한 시간을 냉장 저장하면서 발생한 육즙의 양으로서 나타내었다. 가열감량은 해동한 시료를 75°C

water bath에서 30분간 가열처리 한 후 30분간 상온에서 방냉하여 감소된 무게를 백분율로 나타내었다.

전단력

가열감량을 측정할 시료는 1 cm의 두께로 근섬유 방향과 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 12회 반복 측정되었다.

육색

시료의 표면을 color reader(CR-10, Konica Minolta Sensing Inc., Japan)를 사용하여 CIE L*, a* 및 b*값을 5회 반복 측정하였다. 이때 L*값이 97.83, a*값이 -0.43, b*값이 +1.98인 calibration plate를 표준으로 사용하였다. Total colour difference(ΔE-value)는 시료와 대조구간의 색도 차이를 다음의 공식에 대입하여 산술적으로 측정하였다.

$$\text{Total colour difference} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

통계분석

각 측정치의 결과분석은 SAS(Statistics Analytical System, USA, 1989~1999) 프로그램(Ver. 9.1)의 분산분석을 통하여 분석하였고, Duncan의 multiple range test에 의하여 평균치간의 유의성을 검증하였다.

결과 및 고찰

동결 속도

가압 수준에 따른 PAF의 동결 곡선은 Fig. 1에 나타나 있다. 육의 초기빙점은 대기압에서 -1.5°C를 나타내었지만, 압력 수준의 증가는 초기빙점을 200 MPa에서 -26°C까지 감소시켰다. 압력 하에서의 초기빙점 강하에 대하여 Chourot 등(1997)은 Bridgman(1912)의 실험 결과로부터 얻은 회귀 방정식을 이용하여 순수한 물의 빙점강하를 구하였고,

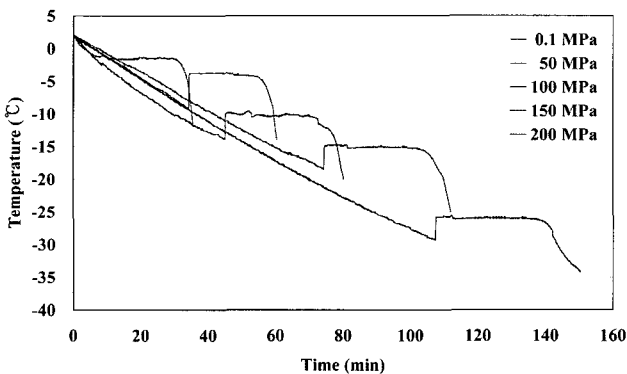


Fig. 1. Time-temperature profiles of pork during pressure assisted freezing under various pressure levels.

Fernández 등(2006)은 이를 실제 식품에 도입하여 가압 하에서의 식품의 초기빙점 산출 모델을 제시하였다. 본 실험에서의 초기빙점 강하를 Fernández 등(2006)의 회귀방정식과 비교하였을 때, 200 MPa에서 다소 낮은 온도를 나타내었지만, 대체로 일치함을 보였다($R^2=0.98$). 과냉각은 압력 수준에 따른 경향성을 보이지 않았다. Fernández 등(2006)은 압력 수준의 증가에 따라 과냉각 또한 증가하는 경향을 보였지만 빙핵 형성에 관한 통계적 분석에 따르면 압력 수준과 과냉각 간에는 명확한 관계가 없다고 하였다. 동결 시간은 가압 수준의 증가에 따라 증가하였다. Clapeyron의 방정식에 의하면 압력의 증가는 잠열의 감소를 야기하기 때문에 가압 하에서는 동결 속도가 증가해야 하지만(Sonntag *et al.*, 1998) 열전달의 추진력으로 작용하는 육의 초기빙점과 냉각 온도와의 차이 또한 초기 빙점의 감소로 인하여 감소하게 되며, 따라서 압력 수준의 증가는 전반적인 동결 시간의 증가를 야기하게 되었다. 본 실험에서는 시료의 냉각을 가압 후 2°C에서부터 시작하였지만, 냉각온도를 각 압력에 상당하는 초기빙점에서 시작할 수 있다면 PAF에 의한 빠른 동결의 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 현재 일부 연구자들(Schlüter *et al.*, 1998; Ikeuchi *et al.*, 1992)은 초기빙점의 온도를 유지시켜 놓은 압력 vessel에 시료를 투입하여 PAF 처리를 수행하고 있지만, 이들은 소규모의 장비를 이용함으로써, 육 성분에 대한 PAF의 효과를 단편적으로 규명하고 있는 실정이다. 하지만 이러한 소규모 장비는 실제 육 산업에서의 응용이 불가능하고, 본 실험에서와 같이 육 자체의 특성을 측정하기 위하여 보다 큰 용적을 갖는 장비의 사용이 필수적이라고 사료된다.

pH

가압 수준에 따른 PAF이 돈육의 pH에 미치는 효과는 Fig. 2에 나타나 있다. 모든 동결 처리구는 대조구에 비하여 유의적으로 높은 pH를 나타내었다($p<0.05$). 일반적으로

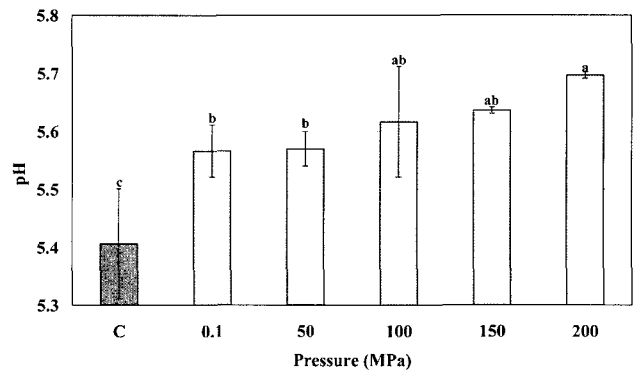


Fig. 2. Effect of pressure assisted freezing on pH value of pork at various pressure levels. Vertical bars represent standard deviation. Means with different letters are significantly different ($p<0.05$).

로 동결육은 해동과정 중의 얼음 재결정화에 기인한 용질의 농도 변화에 의하여 신선육에 비하여 높은 pH를 보인다(Farouk *et al.*, 2003). 동결 처리구 간에 있어서 압력의 증가는 육의 pH를 증가시키는 경향을 보였고, 200 MPa 처리구에서 대기압 동결처리구보다 유의적으로 높은 pH를 나타내었다($p < 0.05$). 가압 처리에 의한 육의 pH 증가는 상온에서의 가압 처리(Hong *et al.*, 2005) 및 초고압 해동(Park *et al.*, 2006)에서도 동일하게 관찰되었고, 이는 일부 육 단백질의 구조적 변화와 관련된 것으로 판단된다(Angsupanich and Ledward, 1998). 비록 본 실험에서는 고압 하에서 육을 동결시켰지만, 고압 환경은 육 단백질에 열처리와 유사한 영향을 발생시킨다고 알려져 있다. 고압 하에서의 단백질의 구조적 변화는 주로 수용액 상태로 연구되고 있다. 수용액 상태에서의 단백질의 변성 기작에 있어서, 열처리는 단백질의 1차 및 2차 구조에 일부 영향을 주며, 단백질 내부의 소수성 핵으로부터 외부의 용액으로 hydrocarbon류를 운반함으로써 단백질을 비가역적으로 변성시키는 반면, 압력은 외부의 수분을 단백질 matrix의 내부환경으로 전달되도록 힘을 가해줌으로써 단백질의 가역적인 변성을 개시하며, 주로 3차 및 4차 구조에 영향을 미치지만, 1차 구조인 공유결합과, 2차 구조인 α -helix와 β -sheet 구조에는 거의 영향을 미치지 않는다(Knorr *et al.*, 2006). 따라서 단백질의 변성 기작은 열처리와 가압간에 있어서 분명한 차이를 보이지만, 이러한 변성에 기인하여 가압 수준의 증가에 따른 pH의 증가는 Tsai 등(1998)이 보고한 바와 같이 육 단백질의 구조변화에 기인한 산성 그룹의 소실에 기인된 것으로 사료된다.

보수력 및 육즙 손실

본 실험에서 비록 데이터를 제시하지 않았지만 모든 처리구의 수분함량은 73에서 74%를 나타내었고 각 처리구 간에 유의적인 차이가 인정되지 않았다($p > 0.05$). 압력 수준에 따른 PAF가 돈육의 보수력 및 육즙 손실에 미치는 효과는 Table 2에 나타나 있다. 대기압 동결 처리구는 대조구보다 낮은 보수력을 나타내었지만, PAF 처리구에서는 압력 수준의 증가에 따라 보수력이 증가하였고, 100 MPa 이상의 압력 수준에서는 대조구보다 유의적으로 높은 보

Table 2. Effect of pressure assisted freezing on water binding properties of pork at various pressure levels

Pressure (MPa)	Water binding properties (%) ¹⁾		
	Thawing loss	Cooking loss	Water holding capacity
C	0.83±0.12 ^b	30.83±1.97 ^{ab}	77.45±3.44 ^{bc}
0.1	4.71±0.02 ^a	32.77±1.33 ^a	73.16±2.88 ^c
50	3.50±1.09 ^a	31.49±1.31 ^{ab}	79.71±1.71 ^b
100	4.20±0.42 ^a	29.97±0.66 ^{ab}	86.78±1.83 ^a
150	4.33±0.77 ^a	29.85±0.13 ^{ab}	90.60±3.55 ^a
200	1.94±0.33 ^b	28.83±1.59 ^b	91.00±1.14 ^a

¹⁾Mean±S.D. from three replicates.

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

수력을 나타내었다($p < 0.05$). 본 연구의 결과 가압 처리는 육 단백질 구조를 변형시킴으로써 단백질의 기능적 특성을 향상시킨 것으로 판단되었다. Macfarlane(1985)에 의하면, 가압 처리는 electrostriction effect에 의하여 2가 양이온과 단백질간의 결합을 붕괴시키며, 가압처리에 의한 단백질의 구조적 변화에 의하여 압력의 방출 시 salt bridge가 재형성될 가능성은 감소되며, 그 결과 보수력이 향상되고 단백질 용해성이 압력 방출 이후에도 지속될 수 있다고 하였다. 압력 증가에 따른 돈육의 해동 감량은 대기압 동결 및 150 MPa까지의 PAF은 대조구에 비하여 유의적으로 높은 해동감량을 나타낸 반면($p < 0.05$), 동결 처리구간에는 유의차가 인정되지 않았다($p > 0.05$). 그러나 200 MPa에서의 PAF은 신선육을 냉장 상태에서 동일한 시간 저장 시 발생된 육즙 손실과 비교하였을 때 유의적인 차이를 보이지 않았다($p < 0.05$). 이러한 해동감량의 유의적인 감소는 200 MPa에서의 PAF 처리가 가장 긴 상전이 시간을 나타낸 결과와 비교하였을 때, 다소 이례적으로 판단된다. 하지만 가압 수준의 증가는 상대적으로 육이 동결되는 시간 또한 상대적으로 증가시키는 결과를 야기하였고, 이는 동결 전 육의 holding 시간이 상대적으로 증가한 데 기인한 것으로 사료된다. 결국 PAF에 의한 돈육의 해동감량은 상전이 시간의 길이보다는 상전이가 발생하기 전까지의 가압 조건이 더욱 현저한 효과를 미친 것으로

Table 1. Phase transition profile of pork during pressure assisted freezing at various pressure level

Pressure (MPa)	Temperature (°C)		Time (min)		
	Supercooling extent	Freezing point	Cooling time ¹⁾	Phase transition time	Total freezing time
0.1	nd ²⁾	-1.5	11.0	22.4	35.6
50	5.6	-3.8	34.9	20.7	60.4
100	3.5	-10.3	45.0	26.9	80.2
150	3.4	-15.1	74.4	28.6	112.0
200	3.3	-26.0	107.4	31.3	150.3

¹⁾Pressure holding time before ice nucleation.

²⁾Not determined.

판단되었다. 압력 수준에 따른 돈육의 가열감량은 100 MPa 이상의 PAF 처리군에서 대조구보다 낮은 가열감량을 나타내었지만(Table 2), 가열감량은 전반적으로 동결 처리군과 대조구 간에 유의적인 차이가 인정되지 않았다($p>0.05$). 그러나 동결 처리군 간에서 압력 수준의 증가는 가열감량을 감소시키는 경향을 나타내었으며 200 MPa의 처리군에서 대기압 동결보다 유의적으로 낮게 나타났다($p<0.05$). 이는 보수력에서도 동일하게 관찰되었고, 결국 육의 가압 처리는 육 단백질과 수분과의 결합 능력을 향상시킴으로써 육의 기능성을 향상시키는데 효과적인 것으로 판단되었다.

전단력

가압 수준에 따른 PAF이 돈육의 전단력에 미치는 효과는 Fig. 3에 나타나 있다. 모든 동결 처리구는 대조구에 비하여 유의적으로 높은 전단력을 나타내었다($p<0.05$). 일반적으로 동결육은 해동과정에서 육즙의 손실을 야기할 뿐만 아니라 냉동 변성에 기인한 육 단백질의 aggregation (Smeller, 2002)으로 인하여 전단력이 다소 상승하게 된다. 동결 처리구 간에 있어서 50 MPa의 PAF 처리구는 대기압 동결 처리구와 유의적인 차이를 보이지 않은 반면($p>0.05$), 50 MPa 이상의 압력 수준에서는 압력의 증가에 따라 돈육의 전단력이 유의적으로 증가하였고($p<0.05$), 가장 높은 전단력이 150 MPa의 PAF 처리구에서 관찰되었지만 150 MPa와 200 MPa의 PAF 처리구간에는 유의적인 차이가 인정되지 않았다($p>0.05$). 가압 수준에 따른 식육의 전단력에 대하여 많은 연구들이 상반된 결과를 보이는 바, Macfarlane 등(1981)은 post-rigor 육은 열처리가 수반되지 않은 가압 처리만으로는 처리시간을 연장하더라도 근질의 미세구조에는 심한 손상을 야기하지만 전단력에 어떠한 효과도 미치지 않는다고 하였다. 반면에 Lakshmanan 등(2005)은 cold smoked salmon을 가압 처리 하였을 때, 유의적인 전단력의 증가를 관찰하였고, Ikeuchi 등(1992)은 가압 처리는 주요 근원섬유 단백질인 myosin과 actin

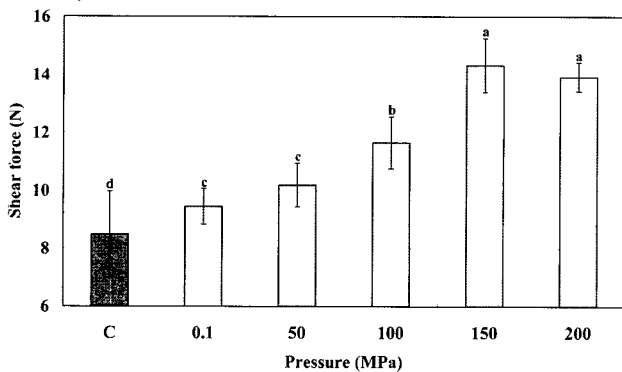


Fig. 3. Effect of pressure assisted freezing on shear force of pork at various pressure levels. Vertical bars represent standard deviation. Means with different letters are significantly different ($p<0.05$).

의 변성을 야기하고 용해도 손실은 정전기적 상호작용 및 disulfide 결합에 의한 단백질의 가교결합에 의하여 야기된다고 하였다. 초고압 동결 처리에 따른 돈육의 전단력 증가는 Ko 등(2006)에서도 동일하게 관찰되는 바, 이들은 PAF 처리된 돈육과 동일한 압력 및 시간 동안 고압 처리한 후 대기압에서 동결시킨 돈육의 전단력은 유의적인 차이가 없었고, 두 처리구 모두 비 가압 동결처리 육보다 유의적으로 높은 전단력을 나타내었다고 하였다. 결국 가압 처리에 따른 post-rigor 육의 전단력의 증가는 압력 수준 뿐만 아니라 가압 시간(Hong *et al.*, 2005) 및 처리 온도 (Smeller, 2002) 또한 영향을 미치는 바, 본 실험에서 압력의 증가에 따라 돈육의 동결이 발생하기까지 소요된 가압 시간은 50 MPa에서 35분을 나타낸 반면, 200 MPa에서는 107분을 나타내었고(Table 1), 따라서 동결 전 가압 시간의 증가에 의한 식육의 미세구조가 더욱 조밀해지며 (Chevalier *et al.*, 2000), 그 결과 돈육의 전단력이 유의적으로 증가된 것으로 판단되었다. 이상의 결과를 종합해 보면, 압력의 증가에 따른 육의 연도 저하는 소비자의 구매 심리를 낮추는 주요 요인이지만(Srinivasan *et al.*, 1997), 본 실험에서 50 MPa의 압력 수준에서는 대기압 동결과 유의적인 차이가 인정되지 않았고($p>0.05$), 결국 가압 처리는 육의 보수력을 향상시켜 주었지만, 지나친 가압은 육의 전단력 상승을 야기함으로써 육질의 관점에서는 그리 바람직하지 않은 것으로 사료되었다. 그러나 50 MPa 이하의 PAF 처리는 가압으로 인한 식육의 연도 저하를 최소화시킬 수 있으며, 가압 vessel의 냉각 속도를 향상시킴으로써 가압 처리에 따른 식육의 연도 저하를 최소화할 수 있을 것으로 사료되었다.

육색

Table 3는 가압 수준에 따른 PAF가 돈육의 색도에 미치는 효과를 나타낸 것이다. 압력의 수준을 증가시킬수록 돈육의 L*값 및 b*값은 증가하여 100 MPa 이상의 압력에서는 대조구에 비하여 유의적으로 높은 수치를 나타내었다($p<0.05$). 반면에 a*값은 압력의 증가에 따라 감소하는

Table 3. Effect of pressure assisted freezing on colour of pork at various pressure levels

Pressure (MPa)	CIE colour ¹⁾		
	L*	a*	b*
C	55.70±0.26 ^d	9.57±0.76 ^{ab}	11.67±0.65 ^d
0.1	51.73±0.64 ^f	10.47±0.67 ^a	11.50±1.14 ^d
50	54.43±0.15 ^e	8.87±0.46 ^{bc}	12.37±0.12 ^{cd}
100	63.27±1.05 ^c	8.70±0.52 ^{bc}	13.47±0.46 ^{bc}
150	65.77±0.55 ^b	7.93±0.21 ^c	13.87±0.40 ^{ab}
200	67.77±0.50 ^a	6.73±0.46 ^d	14.70±0.50 ^a

¹⁾Mean±S.D. from five replicates.

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

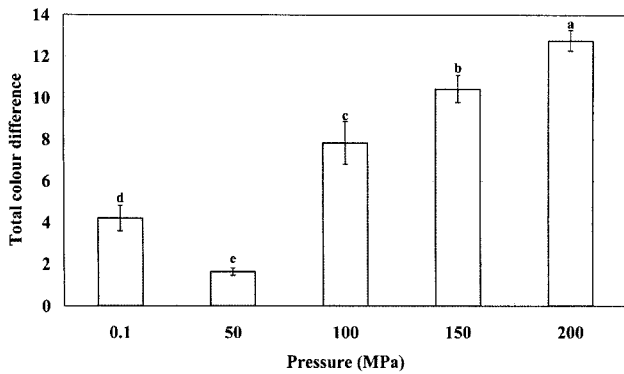


Fig. 4. Effect of pressure assisted freezing on total colour difference of pork at various pressure levels. Vertical bars represent standard deviation. Means with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

경향을 보였고, 150 MPa 이상에서 대조구보다 유의적으로 낮은 a*값을 보였다($p < 0.05$). 동결 처리구간의 비교에 있어서 모든 PAF 처리구는 대기압 동결 처리구에 비하여 유의적으로 높은 L* 및 b*값을 보였고, 낮은 a*값을 나타내었다($p < 0.05$). Fig. 4는 가압 수준에 따른 PAF이 총 색도 변화에 미치는 효과를 나타내었다. 전반적으로 압력 수준의 증가는 대조구에 비하여 색도 변화를 유의적으로 증가시켰지만($p < 0.05$), 50 MPa의 압력 수준에서는 대기압 동결 처리구에 비하여 유의적으로 낮은 색도 차이를 나타내었다. 일부 연구 문헌에서는 초고압 처리가 식육의 환원 효소계를 활성화시킴으로써 a*값이 증가한다고 보고되고 있지만(Jung *et al.*, 2003), 초고압 동결에 의한 a*값의 감소는 Ko 등(2006)에서도 동일하게 관찰되는 바, 일반적으로 초고압 동결은 상온에서의 가압처리에 비하여 긴 가압 시간이 요구되며, 연장된 가압 시간과 동결을 위한 낮은 냉각 온도는 효소계를 불활성화시킴으로써 이들 시스템의 환원 활성을 붕괴시키며(Smeller, 2002; Morild, 1981), 결국 초고압 동결에서의 육색 저하는 globin의 변성과 myoglobin의 산화에 기인한 것으로 판단된다(Carlez *et al.*, 1995). 결국 초고압 동결 처리에서 육색에 영향을 주는 요인으로써 온도와 가압 시간이 현저한 영향을 미치는 것으로 판단되며, 본 실험에서 50 MPa의 PAF 처리는 상대적으로 짧은 가압 시간과 높은 상전이 온도에 기인하여 대기압 동결 처리구에 비하여 유의적으로 낮은 총 색도 변화를 나타낸 것으로 사료되며, 따라서 동결 전 가압 시간을 단축시킬 수 있다면 PAF에 의한 육색의 변화를 최소화 할 수 있을 것으로 사료된다.

요 약

본 실험은 압력 수준에 따른 PAF이 돈육의 이화학적 특성에 미치는 효과를 규명하고자 시도되었다. 비록 가압 수준의 증가에 따른 상전이 온도와 냉각온도간의 차이 감소

에 기인하여 고압 하에서의 잠열 감소에 의한 동결 속도 증가의 효과는 얻을 수 없었지만, 육의 PAF 처리는 가압 처리에서와 같이 보수력 및 육즙 손실을 대기압 동결 처리보다 더욱 현저하게 줄일 수 있었다. 그러나 지나친 가압은 육 단백질간의 aggregation 및 심한 변성에 기인하여 육의 연도를 저하시키는 결과를 초래하였고, 또한 소비자의 구매와 직접적으로 관련된 색도에 악영향을 끼친 것으로 판단되었다. 그러나 상대적으로 낮은 압력 범위 조건에서의 PAF 처리는 동결 시 고압 처리에 의한 육색 저하를 최소화 할 수 있었고, 전단력 측면에서도 대기압 동결 처리와 유의적인 차이를 보이지 않을 뿐만 아니라 보수력을 향상시킴으로써 동결처리보다 더 큰 잠재적인 이점을 보였고, 이 부분에 대한 더 많은 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Angsupanich, K. and Ledward, D. A. (1998) High pressure treatment effects on cod (*Gadus morhua*) muscle. *Food Chem.* **63**, 39-50.
2. AOAC. (1990) Official Methods of Analysis of AOAC Intl. 15th ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, pp. 931.
3. Bridgman, P. W. (1912) Water in the liquid and five solid forms under pressure. *Proceed. Am. Acad. Art. Sci.* **47**, pp. 441-558.
4. Carlez, A., Veciana-Nogues, T., and Cheftel, J. C. (1995) Changes in colour and myoglobin of minced beef meat due to high pressure processing. *Lebensm. -Wiss. u. -Technol.* **28**, 528-538.
5. Cheftel, J. C. (1995) Review: high pressure, microbial inactivation and food preservation. *Food Sci. Technol. Int.* **1**, 75-90.
6. Cheftel, J. C. and Culioli, J. (1997) Effects of high pressure on meat: a review. *Meat Sci.* **46**, 211-236.
7. 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.
8. Chourot, J. M., Boillereaux, L., Havet, M., and LeBail, A. (1997) Numerical modeling of high pressure thawing: Application to water thawing. *J. Food Eng.* **34**, 63-75.
9. Farouk, M. M., Wieliczko, K. J., and Merts, I. (2003) Ultrafast freezing and low storage temperatures are not necessary to maintain the functional properties of manufacturing beef. *Meat Sci.* **66**, 171-179.
10. Fernández, P. P., Otero, L., Guignon, B., and Sanz, P. D. (2006) High-pressure shift freezing versus high-pressure assisted freezing: Effects on the microstructure of a food model. *Food Hydrocolloid* **20**, 510-522.
11. Hong, G. P., Park, S. H., Kim, J. Y., Ko, S. H., and Min, S. G. (2006) Effects of salt, glucono- δ -lactone and high pressure treatment on physico-chemical properties of restructured pork. *Korean J. Food Sci. Ani. Resour.* **26**, 204-211.

12. 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.
13. 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.
14. Iwasaki, T., Noshiroya, N., Saitoh, N., and Yamamoto, K. (2006). Studies of the effect of hydrostatic pressure pretreatment on thermal gelation of chicken myofibrils and pork meat patty. *Food Chem.* **95**, 474-483.
15. 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.
16. Knorr, D., Heinz, V., and Buckow, R. (2006) High pressure application for food biopolymers. *Biochim. Biophys. Acta.* **1764**, 619-631.
17. Knorr, D., Schlüter, O., and Heinz, V. (1998) Impact of high hydrostatic pressure on phase transitions of foods. *Food Technol.* **52**, 42-45.
18. 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.
19. Lakshmanan, 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.
20. LeBail, A., Chevalier, D., Mussa, D. M., and Ghoul, M. (2002) High pressure freezing and thawing of foods: a review. *Int. J. Refrig.* **25**, 504-513.
21. Lullien-Pellerin, V. and Balny, C. (2002) High-pressure as a tool to study some proteins' properties: conformational modification, activity and oligomeric dissociation. *Inn. Food Sci. Emerg. Technol.* **3**, 209-221.
22. Macfarlane, J. J. (1985) High pressure technology and meat quality. In: *Developments in meat science*. Lawrie, R. (ed.), Elsevier, NY, Vol. 3, pp. 155-184.
23. Macfarlane, J. J., McKenzie, I. J., Turner, R. H., and Jones, P. N. (1981) Pressure treatment of meat: Effects on thermal transitions and shear values. *Meat Sci.* **5**, 307-317.
24. Montero, P., Fernández-Díaz, M. D., and Gómez-Guillén, M. C. (2002) Characterization of gelatin gels induced by high pressure. *Food Hydrocolloid* **16**, 197-205.
25. Morild, E. (1981) The theory of pressure effects on enzymes. *Adv. Protein Chem.* **34**, 93-166.
26. Park, S. H., Ryu, H. S., Hong, G. P., and Min, S. G. (2006) Physical properties of frozen pork thawed by high pressure assisted thawing process. *Food Sci. Technol. Int.* **12**, 347-352.
27. Schlüter, O., George, S., Heinz, V., and Knorr, D. (1998) Phase transitions in model foods induced by pressure-assisted freezing and pressure-assisted thawing. *Proceed. IIR Int. Conf., Sofia, Bulgarie*, pp. 23-26.
28. Smeller, L. (2002) Pressure-temperature phase diagrams of biomolecules. *Biochim. Biophys. Acta.* **1595**, 11-29.
29. Sonntag, R. E., Borgnakke, C., and Van Wylen, G. J. (1998) *Fundamentals of thermodynamics*. 4th ed, John Wiley and Sons Inc., NY, pp. 472-520.
30. Srinivasan, S., Xiong, Y. L., Blanchard, S. P., and Tidwell, J. H. (1997) Physicochemical changes in prawns (*Machrobrachium rosenbergii*) subjected to multiple freeze-thaw cycles. *J. Food Sci.* **62**, 123-127.
31. Tonello, C. (1999) Dix ans de hautes pressions vers des produits vraiment nouveaux. *Technol. Process.* **1148**, 56-57.
32. Tsai, S. J., Unklesbay, N., Unklesbay, K., and Clarke, A. (1998) Water and absorption properties of restructured beef products with five binders at four isothermal temperatures. *Lebensm. -Wiss. u. -Technol.* **31**, 78-83.