

가열속도가 돈육 동심 근육의 열변성에 미치는 영향

김천제* · 송민석 · 이창현** · 이의수 · 조진국* · 최도영

*전국대학교 동물자원연구센터, 전국대학교 축산가공학과

**일본 우쓰노미야대학 생물생산과학과

Effect of Heating Rates on the Thermal Denaturation of Pork Loin Muscle

Cheon-Jei Kim*, Min-Seok Song, Chang-Hyun Lee**, Eui-Soo Lee,

Jin-Kook Cho* and Do-Young Choi

*Animal Resources Research Center, Kon-Kuk University

Department of Animal Products Science, Kon-Kuk University

**Department of Bioprodutive Science, Utsunomiya University, Japan

Abstract

The objective of this study was to evaluate the effect of different heating rates on the thermal properties of pork loin muscle by DSC. Pork loin muscle was subjected to programmed heating at the following heating rate: 5, 10, 20, 30 and 40°C/min. Peaks were progressively shifted to right side as the heating rate was increased. T_g was 50.39°C at 5°C/min and it was increased to 57.45°C at 40°C/min ($p<0.05$). Total enthalpy was 3.52 J/g at 5°C/min and total enthalpy was increased to 3.60, 4.14, 4.54 and 4.61 J/g by degrees at heating rate 10, 20, 30 and 40°C/min respectively.

Key words: pork loin muscle, thermal properties, DSC, heating rate

서 론

가열처리는 육제품에 있어서 조직감, 기호성과 색택 등을 부여하고, 적절한 가열속도⁽¹⁾는 제품의 최종품질과 생산경비에 큰 영향을 미치기 때문에 육가공 산업에서 매우 중요하다. 일반적으로 저속가열은 연도를 향상시키고 가열감량이 적다고 알려져 육가공 산업에서 널리 이용되어 왔고, Foedging 등⁽²⁾은 장시간-저온가열이 바람직한 단백질간의 상호작용을 일으켜 수분의 손실을 줄인다고 보고한 바 있다. 또한 Hegg 등⁽³⁾도 저속가열을 할 경우 단백질이 풀어지는 시간과 상호작용을 형성하는 데 드는 시간이 길어지기 때문에 좀 더 강한 겔 망상구조를 형성한다고 하였으나, 다른 연구자들은 저속가열이 오히려 수분의 손실을 증가시킨다는 지적을 하기도 하였다.

Differential Scanning Calorimetry (DSC)는 물질의 반응시 발생하는 열흐름의 양과 열변성 온도를 측정하는데 유용한 기계로, 가열중의 육단백질의 변화를 관찰하

는 데 많이 이용되고 있다^(4,5). DSC상에서 육단백질의 변성 엔탈피는 pH^(6,8), 이온강도^(9,11)와 가열속도 등에 의해 영향을 많이 받게 되는데, Chen⁽¹²⁾은 NaCl의 첨가량을 증가시킬수록 shark muscle surimi의 변성 엔탈피가 감소하는 것을 보고하였다. 또한 Kilara 등⁽¹³⁾이 보고한 바에 의하면 DSC에서는 가열속도가 변성온도와 변성 엔탈피에 직접적인 영향을 미쳐 가열속도를 증가시킴에 따라 물질의 변성온도가 증가한다고 하였으며, Wright⁽¹⁴⁾도 가열속도가 myosin, bovine serum albumin, myoglobin 등의 열안정성에 영향을 준다고 보고하였다.

이와 같이 DSC는 육단백질의 열변성 연구에 많이 이용되어 왔으나 가열속도에 따른 돈육 동심 근육의 열변성에 대한 체계적인 연구는 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 가열속도가 돈육 동심 근육의 열변성에 미치는 영향에 대하여 조사하고자 실시하였다.

재료 및 방법

공시재료

본 실험에 사용된 돈육은 이천 소재 도축장에서 도축 후 24시간 냉각한 도체의 5번째와 8번째 흉추사이

Corresponding author: Cheon-Jei Kim, Department of Animal Products Science, Kon-Kuk University, 93-1 Mojin-dong, Kwangjin-gu, Seoul 143-701

의 등심근(*M. longissimus dorsi*)으로써, 지방과 전을 제거하여 이용하였다. 시료는 pH 범위 5.5~5.6 사이의 돈육을 선별하여 1~1.5 cm 두께의 일정한 크기로 정형한 후 polyethylene bag에 넣어 2±2°C에서 저장하면서 사용하였다.

pH 측정

시료 5 g을 중류수 20 mL과 혼합하여 Ultra-turrax (Janken & Kunkel, Model No. T25, West Germany)를 사용하여 8,000 rpm에서 균질한 다음 유리전극 pH meter (Mettler Toledo 340, UK)로 측정하였다.

Differential Scanning Calorimetry (DSC)

DSC는 1020 Series DSC 7 Thermal Analysis System (Perkin-Elmer, USA)을 사용하였고, 온도와 엔탈피 보정은 Indium ($T_o=156.60^{\circ}\text{C}$, $\Delta H=28.45 \text{ J/g}$)을 사용하였으며, 기준물질로는 공시료를 사용하였다. 시료를 stainless pan (Part No. 0319-0029)에 20 mg을 취하여 crimper로 봉한 후, 10~108°C까지 가열속도를 5, 10, 20, 30, 40°C/min으로 변화시키면서 조사하였다. 엔탈피의 변화 (transition enthalpy, ΔH)와 최대 변성온도(maximum transition temperature, T_{\max}), 변성 개시온도(transition onset temperature, T_o)는 Perkin-Elmer사의 Thermal Analysis Data Station (TADS) program⁽¹⁵⁾을 이용하여 계산하였다.

통계처리

본 실험의 결과는 SAS(Statistic Analytical System, USA)⁽¹⁶⁾프로그램을 이용하여 Duncan의 다중검증을 통하여 유의성을 조사하였다.

결과 및 고찰

DSC 상에서 가열속도(heating rate : 5, 10, 20, 30,

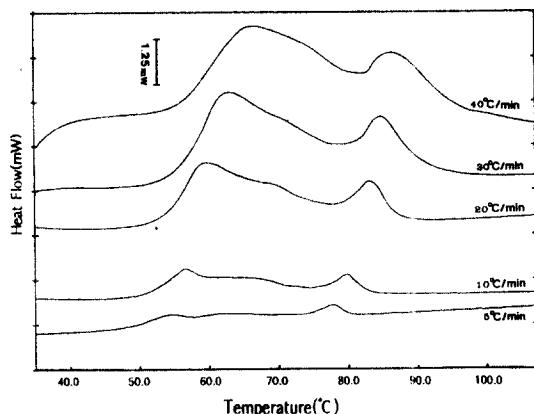


Fig. 1. DSC thermogram of pork loin muscle heated at different heating rates. *Heating rates=5, 10, 20, 30 and 40°C/min.

40°C/min)를 증가시키며 돈육 등심 근육의 열변성을 조사하였으며, 그 결과는 Fig. 1과 Table 1에 나타낸 바와 같다.

돈육 등심 근육의 DSC thermogram은 가열속도를 증가시킴에 따라 변성 peak의 위치가 우측으로 이동하여 변성온도가 높아지는 경향을 보였으며, 그 크기가 점차로 증가하였다(Fig. 1).

가열속도(heating rate)를 5°C/min에서 10, 20, 30°C/min으로 증가시킴에 따라 변성 개시온도(T_o)는 각각 50.39, 52.23, 54.25, 55.84°C로 점차적으로 증가하여 40°C/min일 때는 57.45°C로 5°C/min일 때보다 약 7°C 정도 증가하였고($p<0.05$), 가열속도에 따른 T_o 의 증가는 $R^2=0.98$ 로 상관성이 큰 것으로 나타났다(Fig. 2). Actin 단백질의 변성 peak인 T_{\max} 는 5°C/min일 때 77.83°C에서 가열속도가 10, 20, 30°C/min으로 증가할 수록 79.93, 83.18, 86.48°C로 증가하여 40°C/min일 때 87.87°C로 5°C/min일 때보다 약 10°C 정도 증가하였다($p<0.05$). 일반적으로 DSC상에서 육을 가열할 때, 육

Table 1. Thermal properties of pork loin muscle heated at different rates

Heating Rate (°C/min)	Temperature of Transition (T_{\max} , °C)				Heat Energy of Transition (J/g)		
	$T_o^1)$	$T_{\max1}^2)$	$T_{\max2}^3)$	$T_{\max3}^4)$	$\Delta H_1+\Delta H_2^5)$	$\Delta H_3^6)$	$\Delta H_{\text{Total}}^7)$
5	50.39±0.44 ^a	54.71±0.27 ^a	62.32±0.19 ^a	77.83±0.24 ^a	2.66±0.05 ^a	0.86±0.05 ^a	3.52±0.02 ^{a,b}
10	52.23±0.98 ^b	56.88±0.63 ^b	66.94±0.58 ^b	79.93±0.04 ^b	2.87±0.17 ^{a,b}	0.73±0.10 ^a	3.60±0.17 ^a
20	54.25±0.21 ^c	61.20±1.46 ^c	69.24±0.45 ^c	83.18±0.25 ^c	3.22±0.34 ^b	0.92±0.03 ^a	4.14±0.35 ^{a,b}
30	55.84±0.42 ^d	64.00±0.83 ^d	—	86.48±1.56 ^d	3.25±0.17 ^b	1.29±0.22 ^b	4.54±0.23 ^b
40	57.45±0.92 ^e	68.36±1.20 ^e	—	87.87±0.98 ^e	3.19±0.38 ^b	1.42±0.23 ^b	4.61±0.61 ^b

^{a-c}Within same column, means with different superscripts are significantly different ($P<0.05$).

¹⁾Onset temperature of transition.

²⁻⁴⁾Thermal transition temperature.

⁵⁻⁷⁾Heat transition energies.

⁸⁾Means of three replicate determinations.

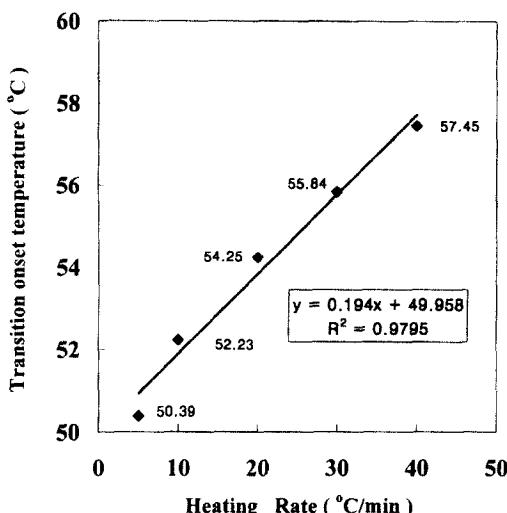


Fig. 2. Effect of heating rate on transition onset temperature (T_0) of pork loin muscle. Values shown are mean of three separate assays.

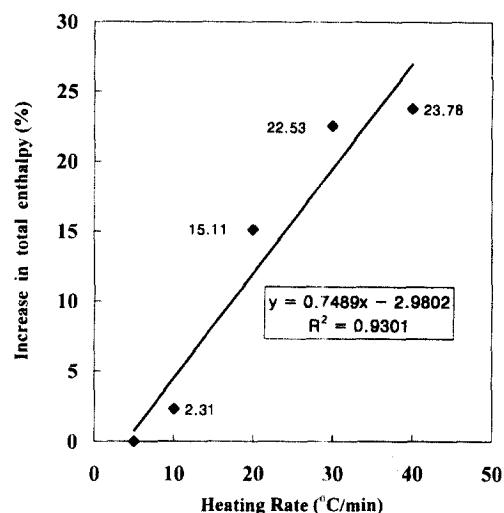


Fig. 3. Effect of heating rate on the rate of increasing in total enthalpy. Values shown are mean of three separate assays.

단백질의 변성에 따른 세 개의 주요 peak^(6,17,18)가 나타나게 된다. 54~58°C 부근에서 myosin과 그 subfragment의 변성으로 인한 peak가 나타나며, 65~67°C 부근에서 근장단백질과 콜라겐으로 인한 변성 peak가 나타나며, actomyosin, F-actin과 G-actin의 변성으로 인한 peak가 나타나게 된다. 본 실험 결과 중 10°C/min의 가열속도로 가열했을 때 이와 유사한 결과가 나왔고, 가열속도를 증가시킴에 따라 각 단백질의 변성으로 인한 peak가 나타나는 온도대가 점차적으로 증가하는 것으로 나타났다(Table 1). 가열속도가 빠를 경우 저속가열을 할 경우와 동일한 정도로 단백질을 변성시키기 위해서는 좀 더 높은 최종 가열온도가 필요한 것으로 나타났다.

총변성 엔탈피(ΔH_{Total})의 경우 5°C/min일 때 3.52 J/g에서 10, 20, 30°C/min으로 가열속도를 증가시킬수록 3.60, 4.14, 4.54 J/g로 증가하였다. 40°C/min일 때는 4.61 J/g로 5°C/min일 때보다 1.09 J/g 증가하여($p<0.05$), 가열속도가 증가함에 따라 등심근육의 변성에 필요한 에너지도 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 Duncan에 의한 검정에서는 5°C/min과 10°C/min의 가열속도에서 총엔탈피의 변화는 유의차가 인정되지 않았고, 30°C/min과 40°C/min에서의 총엔탈피의 차이는 유의 차가 인정되었다($p<0.05$). 가열속도에 따른 총변성 엔탈피의 증가율은 R^2 값이 0.93으로 나타나 가열속도가 증가할수록 단백질을 변성시키는 데 필요한 에너지가 상대적으로 더 많이 필요한 것으로 나타났다.

상대적으로 더 많이 필요한 것으로 나타났다(Fig. 3). DSC상에서 가열속도는 물질의 변성온도와 변성 엔탈피에 직접적인 영향을 주게 된다. Parson 등⁽¹⁹⁾은 가열속도가 빠를 경우 우육의 DSC thermogram의 크기가 가열속도가 느릴 때보다 증가함을 보고한바 있고, Kijowski 등⁽²⁰⁾도 DSC상에서 계육 가슴 근육을 열변성 시킬 때 가열속도를 증가시킬수록 변성온도와 변성엔탈피가 증가한다고 보고하였다.

요 약

본 실험은 가열속도가 돈육 등심 근육의 열변성에 미치는 영향에 대하여 조사하기 위하여 DSC 상에서 가열속도(heating rate : 5, 10, 20, 30, 40°C/min)를 증가시키면서 돈육 등심 근육의 열변성에 대하여 조사한 것이다. 가열속도를 증가시킬수록 DSC thermogram 중의 각 peak는 우측으로 점차로 이동해 갔고, T_0 는 5°C/min 일 때 50.39°C에서 40°C/min일 때 57.45°C로 약 7°C 정도 증가하였다($p<0.05$). 총 엔탈피의 경우 5°C/min일 때 3.52 J/g에서 가열속도가 10, 20, 30, 40°C/min으로 증가할수록 3.60, 4.14, 4.54, 4.61 J/g ($p<0.05$)으로 크게 증가하였다. 가열속도에 따른 총변성 엔탈피의 증가율은 R^2 값이 0.93으로 나타났다. 가열속도가 증가할수록 단백질을 변성시키는 데 필요한 에너지가 상대적으로 더 많이 필요한 것으로 나타났다.

문 헌

1. Barbut, S. and Mittal, G.S.: Effect of heating rate on meat batter stability, texture and gelation. *J. Food Sci.*, **55**(2), 334-337 (1990)
2. Foegeding, E.A., Allen, C.E. and Dayton, W.R.: Effect of heating rate on thermally formed myosin, fibrinogen and albumin gels. *J. Food Sci.*, **51**(1), 104-108 (1986)
3. Hegg, P.O., Martens, H. and Lofqvist, B.: The protective effect of sodium dodecylsulfate on the thermal precipitation of conalbumin. A study on thermal aggregation and denaturation. *J. Sci. Food Agric.*, **29**, 245-260 (1978)
4. Findlay, C.J. and Stanley, D.W.: Differential scanning calorimetry of beef muscle: influence of postmortem conditioning. *J. Food Sci.*, **49**, 1513-1516 (1984a)
5. Findlay, C.J. and Stanley, D.W.: Differential scanning calorimetry of beef muscle : Influence of sarcomere length. *J. Food Sci.*, **49**, 1529-1531 (1984b)
6. Wright, D.J., Leach, I.B. and Wilding, P.: Differential scanning calorimetric studies of muscle and its constituent proteins. *J. Sci. Food Agric.*, **28**, 557-564 (1977)
7. Stabursvik, E., Fretheim, K. and Frystein, T.: Myosin denaturation in pale, soft, and exudative (PSE) porcine muscle tissue as studied by differential scanning calorimetry. *J. Sci. Food Agric.*, **35**, 240-244 (1984)
8. Antonio, B. and Tian, Y.T.: Study of effects of pH on the stability of thin and thick filaments of skeletal muscle: high-sensitivity differential scanning calorimetric study. *Biochemistry*, **29**, 6447-6452 (1990)
9. Kijowski, J.M. and Mast, M.G.: Effect of sodium chloride and phosphates on the thermal properties of chicken meat proteins. *J. Food Sci.*, **53**, 367-370 (1988)
10. Barbut, S. and Findlay, C.J.: Influence of sodium, potassium and magnesium chloride on thermal properties of beef muscle. *J. Food Sci.*, **56**, 180-182 (1991)
11. Shand, P.J., Sofos, J.N. and Schmidt, G.R.: Differential scanning calorimetry of beef/kappa-carrageenan mixtures. *J. Food Sci.*, **59**, 711-715 (1994)
12. Chen, H.H.: Thermal stability and gel-forming ability of shark muscle as related to ionic strength. *J. Food Sci.*, **60**, 1237-1240 (1995)
13. Kilara, A. and Sharkasi, T.Y.: Effect of temperature on food proteins and its implications on functional properties. *CRC Crit. Rev. Food sci. Nutr.*, **23**, 323-395 (1986)
14. Wright, D.J.: Application of scanning calorimetry to the study of protein behavior of foods. In "Development in food proteins", (Ed.) B.J.F. Hudson, Applied Science Publ., Englewood, NJ, p.61-89 (1982)
15. User's Manual 1020 Series DSC 7 Thermal Analysis System : Perkin-Elmer Corp. USA (1993)
16. SAS: *SAS User's Guide: Statistics*, 5th ed., SAS Institute Inc., Cary, NC, U.S.A. (1985)
17. Starbursvik, E. and Martens, H.: Thermal denaturation of proteins in post rigor muscle tissue as studied by differential scanning calorimetry. *J. Sci. Food Agric.*, **31**, 1034-1042 (1980)
18. Findlay, C.J., Stanley, D.W. and Gullett, E.A.: Thermomechanical properties of beef muscle. *Meat Sci.*, **16**, 57-70 (1986)
19. Parsons, S.E. and Patterson, R.L.S.: Assessment of the previous heat treatment given to meat products in the temperature range 40~90°C. Part2 : Differential scanning calorimetry, a preliminary study. *J. Food Tech.*, **21**, 123-131 (1986)
20. Kijowski, J.M. and Mast, M.G.: Thermal properties of proteins in chicken broiler tissues. *J. Food Sci.*, **53**(2), 363-366 (1988)

(1999년 1월 18일 접수)