

DSC를 이용한 예비 가열 온도 및 유지 시간에 따른 돈육 등심 근육의 열안정성에 관한 연구

김천제* · 송민석 · 이창현** · 이의수 · 조진국* · 이찬호 · 마기준
*건국대학교 동물자원연구센터, 건국대학교 축산가공학과,
**일본 우즈노미야대학 생물생산과학과

Studies on the Thermal Stability of Pork Loin Muscle in Previous Heating Temperatures and Holding Times by DSC

Cheon-Jei Kim*, Min-Seok Song, Chang-Hyun Lee**, Eui-Soo Lee,
Jin-Kook Cho*, Chan-Ho Lee and Ki-Jun Ma

*Animal Resources Research Center, Kon-Kuk University, Seoul, Korea,
Dept. of Animal Products Science, Kon-Kuk University, Seoul, Korea,
** Dept. of Bioproductive Science, Utsunomiya University, Japan

Abstract

The objectives of this study were to evaluate the effect of previous heating temperatures and holding times on the thermal behavior of pork loin muscle by DSC. Pork loin muscles were heated to achieve the following end-point temperatures: 40°C, 50°C, 60°C, 70°C and 80°C at heating rate = 10°C/min. The first peak was disappeared when samples were initially heated to 50°C for 1 minute. As end-point temperature was raised, major peaks were progressively disappeared and peaks were lost completely at 80°C. Especially, peaks were completely disappeared at 70°C for 10 minute. Increasing of exposure time to elevated temperature also increased denaturation, thereby reducing the area of the thermogram.

Key words : pork loin muscle, DSC, holding time, thermal denaturation.

서 론

대부분의 육제품은 최종적인 식품의 품질에 영향을 미치는 조직, 외관 그리고 풍미를 변화시키는 가열처리가 이루어진 뒤 소비자들에 의해 섭취된다⁽¹⁾. 이러한 식육 변화의 원인이 되는 육단백질의 변성에 의해 그들의 용해성은 급격히 감소하게 되는데, 특히 근육단백질 중 근원섬유 단백질의 myosin⁽²⁾은 45~50°C에서 용해성의 감소를 일으켜 55°C에 이르면 완전히 불용화된다. 또한 근장 단백질(sarcoplasmic protein)⁽³⁾은 40~60°C에서 점차로 불용화되고, 80°C 부근에 이르면 actin⁽²⁾의 용해성이 감

소하게 된다. 결체 조직의 collagen 단백질⁽⁴⁾은 60~75°C에 이르면 수축되고 질겨지는 collagen 수축(shrinkage) 상태가 되지만, 장시간 이런 온도로 가열하게 되면 collagen은 가수분해된다.

Differential Scanning Calorimetry(DSC)는 물질의 물리·화학적 반응시 필요로 하는 열량(endotherm enthalpy), 발산하는 열량(exotherm enthalpy)과 열변성 온도를 측정하는데 유용한 기계로, 가열중의 육단백질의 변화를 관찰하는데 많이 이용되고 있으며^(5,6), 토육(兔肉)⁽⁷⁾, 우육(牛肉)^(1,8,9), 어육(魚肉)^(10,11), 계육(鷄肉)⁽¹²⁾ 등을 재료로 가열에 의한 근육단백질의 변성과 조직적인 변화와의 관계를 밝히는 연구가 많이 이루어져 왔다.

Stabursvik 등⁽¹³⁾과 김 등⁽¹⁴⁾은 DSC가 PSE

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

돈육 판별에 유용하다고 보고하였고, Parsons 등⁽¹⁵⁾은 우육 단백질의 열변성에 관한 연구에서 예비 가열시 주요 peak가 소실되는 것을 보고하였다. 국내의 경우 돈육 drip의 열안정성⁽¹⁶⁾과 육단백질의 열변성⁽¹⁷⁾에 대하여 연구 보고된 바 있다.

이와 같이 DSC는 육단백질의 열변성 연구에 많이 이용되어 왔으나, 예비 가열 온도(previous heating temperature) 및 가열 유지 시간(holding time) 등에 따른 육가공품의 주원료로 이용되고 있는 돈육 등심 근육의 열안정성에 대한 체계적인 연구는 아직 미비한 실정이다. 따라서 본 연구는 예비 가열 온도 및 가열 유지 시간이 돈육 등심 근육의 열변성에 미치는 영향에 대하여 조사하고자 실시하였다.

재료 및 방법

실험재료

본 실험에 사용된 돈육은 이천소재 도축장에서 도축 후 24시간 냉각한 도체의 5번째와 8번째 흉추사이의 등심근(*M. longissimus dorsi*)으로써, 지방과 건을 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℃에서 저장하면서 사용하였다.

pH 측정

시료 5 g을 증류수 20 ml과 혼합하여 Ultraturax(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(enthalpy)의 보정(calibration)은 Indium($T_0=156.60^\circ\text{C}$, $\Delta H=28.45\text{ J/g}$)을 사용하였으며, 기준물질(reference)로는 빈 스테인레스 pan을 사용하였다. 시료를 스테인레스 pan(Part No. 0319-0029)에 20±0.5 mg을 취하여 압착기(crimper)로 봉한 후 각각의 시료에 대하여 15℃부터 가열하여 예비

가열 최종온도를 40, 50, 60, 70, 80℃로 설정하고 가열 유지 시간을 1, 5, 10분으로 다르게 하여 가열한 뒤 15℃로 냉각(cooling rate=40℃/min)한 다음 다시 108℃까지 10℃/min의 가열 속도로 재가열 하였다. 이때 엔탈피의 변화(transition enthalpy, ΔH)와 최대 변성온도(maximum transition temperature, T_{max})는 Perkin-Elmer Thermal Analysis Data Station (TADS) program⁽¹⁸⁾을 이용하여 계산하였다.

통계처리

본 실험의 결과는 SAS(Statistic Analytical System, USA)⁽¹⁹⁾프로그램을 이용하여 Duncan의 다중검증을 통하여 유의성을 조사하였다.

결과 및 고찰

본 실험에서는 예비 가열을 하지 않은 돈육 등심 근육과 40, 50, 60, 70, 80℃로 예비 가열한 뒤 가열 유지 시간을 1, 5, 10분으로 한 후 즉시 15℃로 냉각한 다음 108℃로 재가열한 돈육 등심 근육의 변성온도와 엔탈피 변화 및 DSC thermogram을 조사하였다. 본 실험의 DSC thermogram과 엔탈피의 변화 결과는 각각 Fig. 1과 Table 1에 나타낸 바와 같다.

육은 복잡한 단백질 구조를 지녔기 때문에 DSC 상에서 가열할 때 여러 구성 단백질 등의 변성으로 인한 peak가 나타나는데, 이는 육(肉)의 종류에 상관없이 일반적으로 세 개의 주요 peak⁽⁶⁾를 나타낸다. 즉, 강직시기⁽⁷⁾, 숙성기간⁽⁸⁾, 근질길이⁽⁹⁾ 등에 따라 차이는 있으나, 54~58℃에서 myosin의 변성으로 야기되는 peak가 나타나며⁽⁷⁾, 65~67℃에서는 collagen과 근장단백질⁽⁷⁾의 변성으로 생기는 흡열(endotherm) peak가 나타나고, 80~83℃에서는 actin의 변성 peak가 나타난다^(7,8).

Fig. 1에 나타낸 바와 같이 본 실험의 돈육 등심 근육의 변성 peak는 45~85℃ 구간에서 나타났으며, 세 개의 주요 peak가 뚜렷이 나타났다. Peak의 변성온도(T_{max})는 myosin의 변성으로 야기되는 T_{max1} 이 55.84℃였고, 근장 단백질과 collagen의 변성으로 야기되는 T_{max2} 는 65.56℃이었으며, 마지막으로 actin 단백질의

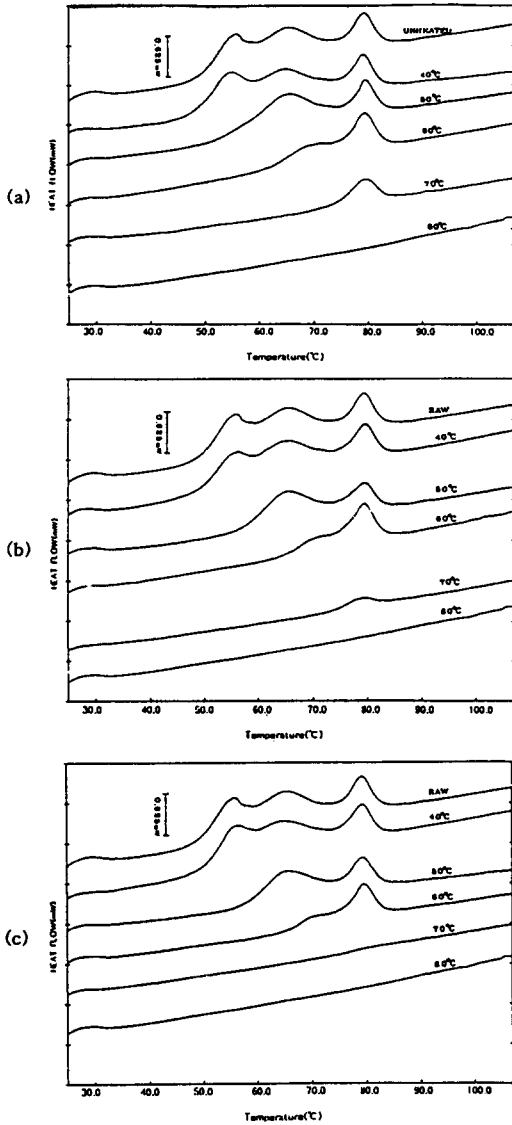


Fig. 1. DSC thermogram for pork loin muscle heated in different end point temperatures and different holding times. (a) holding time : 1 min, (b) holding time : 5 min, (c) holding time : 10 min (Heating rate = 10°C/min).

변성으로 야기되는 T_{max3} 가 79.38°C로 나타났다(Table 1). 돈육 등심 근육의 총 변성 엔탈피(enthalpy)는 3.96J/g이었다.

40°C까지 가열한 뒤 1, 5, 10분간 유지시키고 재가열한 돈육 등심 근육의 thermogram의 형

태와 엔탈피는 예비 가열을 하지 않은 시료의 thermogram과 거의 차이가 없었다.

50°C까지 가열한 뒤 각각 1, 5, 10분간 가열 온도를 유지시킨 시료의 thermogram의 엔탈피(ΔH_{total})는 각각 2.93 J/g, 2.38 J/g, 2.20 J/g으로 예비 가열을 하지 않은 대조구에 비해 각각 26.0%, 39.9%, 44.4% 감소하였다($p < 0.05$). 50°C까지 가열한 모든 처리구의 thermogram에서 myosin으로 야기되는 peak (T_{max1})는 소실되었으나 변성되지 않은 부분이 미약하게 남아있어 완전하게 변성되지는 않았고, 가열 유지 시간을 증가시킬수록 그 엔탈피는 점차 감소하였다. Kijowski 등⁽²⁰⁾은 계육단백질의 열안정성에 관한 연구에서 myosin peak가 60°C까지 예비 가열하였을 때부터 소실된다고 보고하여 본 실험 결과와 차이를 보였으나 이는 육종간의 차이와 가열 시간의 차이에 기인한 것으로 사료된다.

60°C까지 가열한 뒤 1분간 유지시키고, 재가열한 시료의 총엔탈피는 1.29 J/g으로 크게 감소(67.4%)하였고, 5, 10분간 유지시키고 재가열한 시료의 총엔탈피는 각각 1.11 J/g, 0.98 J/g으로 감소(71.9%, 75.3%)하였다($p < 0.05$). 60°C까지 예비 가열한 모든 처리구의 thermogram은 50°C까지 가열한 시료와 비슷하게 두 개의 peak를 갖는 thermogram을 보였으나, 50°C까지 예비 가열한 처리구에 비해 엔탈피(ΔH_2)가 크게 감소하였다($p < 0.05$). 70°C까지 예비 가열한 뒤(holding time : 1min) 재가열한 돈육 등심 근육의 thermogram은 하나의 peak(79.56°C)만이 나타났으며, 그 총엔탈피도 0.50 J/g으로 크게 감소하였다($p < 0.05$). 5분간 유지시킨 돈육 등심 근육의 thermogram은 1분간 유지시킨 것과 동일하게 하나의 peak(79.79°C)만이 나타났지만, 그 엔탈피는 0.15 J/g으로 더욱 크게 감소하였다($p < 0.05$). 10분간 유지시킨 돈육 등심 근육의 thermogram은 1, 5분간 유지시킨 시료의 thermogram과는 다르게 세 개의 주요 peak가 모두 소실되었다.

예비 가열 온도를 80°C로 하고 1, 5, 10분간 유지시킨 시료의 thermogram에서는 모든 peak가 소실되었다. 대부분의 육단백질이 80°C에 이르면 모두 변성되어 비가역적인 변화가 일어나는데, Parsons 등⁽¹⁵⁾은 우육을 80°C까지

Table 1. Temperatures of thermal transitions and denaturation enthalpies of pork loin muscle heated in different previous heating temperatures, cooled and reheated to 108°C in DSC

End-point temperature (°C)	Holding time (min)	temperature of transition (T _{Max} , °C)			Heat energy of transition (J/g)			
		T _{Max1}	T _{Max2}	T _{Max3}	ΔH ₁	ΔH ₂	ΔH ₃	ΔH _{Total}
Raw		55.84 ± 0.44	65.56 ± 0.08	79.38 ± 0.12 ^{a,b}	1.38 ± 0.15 ^a	1.73 ± 0.15 ^a	0.85 ± 0.01 ^{a,b,c}	3.96 ± 0.03 ^{a,1)}
40	1 min	55.93 ± 0.75	65.76 ± 0.67	79.26 ± 0.25 ^b	1.28 ± 0.06 ^{a,b}	1.69 ± 0.11 ^a	0.92 ± 0.05 ^a	3.90 ± 0.03 ^a
	5 min	56.68 ± 0.28	66.25 ± 1.08	79.38 ± 0.13 ^{a,b}	1.18 ± 0.06 ^{b,c}	1.67 ± 0.04 ^a	0.81 ± 0.04 ^{b,c}	3.66 ± 0.09 ^b
	10 min	56.72 ± 0.32	65.53 ± 0.17	79.15 ± 0.07 ^b	1.06 ± 0.15 ^c	1.71 ± 0.05 ^a	0.84 ± 0.06 ^{a,b,c}	3.61 ± 0.14 ^b
50	1 min	—	66.11 ± 0.44	79.27 ± 0.18 ^b	0.32 ± 0.04 ^d	1.73 ± 0.02 ^a	0.87 ± 0.05 ^{a,b}	2.93 ± 0.08 ^c
	5 min	—	65.98 ± 0.54	79.26 ± 0.17 ^b	0.08 ± 0.02 ^e	1.42 ± 0.08 ^b	0.88 ± 0.10 ^{a,b}	2.38 ± 0.04 ^d
	10 min	—	66.30 ± 0.41	79.53 ± 0.32 ^{a,b}	0.05 ± 0.00 ^e	1.35 ± 0.07 ^b	0.84 ± 0.11 ^{a,b,c}	2.20 ± 0.04 ^e
60	1 min	—	—	79.31 ± 0.09 ^b	—	0.45 ± 0.03 ^c	0.84 ± 0.06 ^{a,b,c}	1.29 ± 0.06 ^f
	5 min	—	—	79.44 ± 0.06 ^{a,b}	—	0.31 ± 0.04 ^d	0.81 ± 0.02 ^{b,c}	1.11 ± 0.02 ^a
	10 min	—	—	79.49 ± 0.41 ^{a,b}	—	0.23 ± 0.01 ^d	0.75 ± 0.00 ^f	0.98 ± 0.01 ^h
70	1 min	—	—	79.56 ± 0.15 ^{a,b}	—	—	0.50 ± 0.01 ^d	0.50 ± 0.01 ⁱ
	5 min	—	—	79.79 ± 0.36 ^a	—	—	0.15 ± 0.02 ^e	0.15 ± 0.02 ^j
	10 min	—	—	—	—	—	—	—
80	—	—	—	—	—	—	—	—

a-j) Within same column, means with different superscripts are significantly different (P < 0.05)

1) Means of three replicate determinations

* Heating rate = 10°C/min

* T_{Max1}, T_{Max2}, T_{Max3} indicate thermal transition temperature

* ΔH₁, ΔH₂, ΔH₃, ΔH_{Total} indicate heat transition energies.

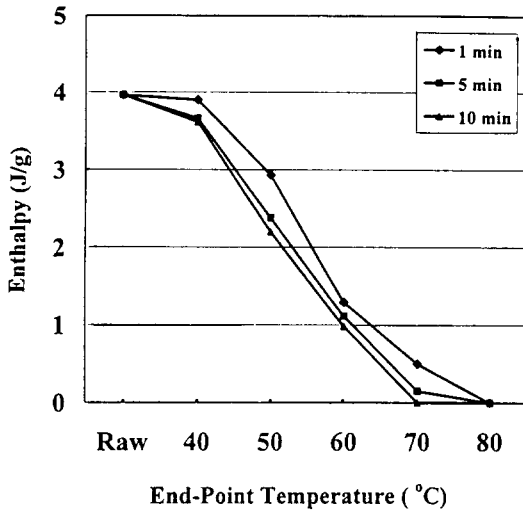


Fig. 2. Changes in total thermal denaturation enthalpies for pork loin muscle heated in different end-point temperatures and different holding times. Values shown are mean of three separate assays with heating rate=10°C/min.

가열한 뒤 재가열 했을 경우 모든 peak가 소실되었다는 결과를 보고한 바 있으며, 또한 Kijowski 등⁽²⁰⁾도 계육단백질의 열안정성에 관한 연구에서 본 실험과 유사한 결과를 보고하였다.

Fig. 2는 예비 가열 최종온도와 가열 유지 시간에 따른 흡열 thermogram의 총엔탈피의 변화를 나타낸 것으로 가열온도 50~70°C에서 가열온도와 가열 유지 시간이 증가할수록 육단백질이 심하게 변성하여 총엔탈피가 급격하게 감소하는 경향을 보이는 것을 나타내고 있다. 이상의 결과들을 종합하여 보면, 돈육 등심을 가열시 myosin 및 collagen, actin으로 보이는 단백질들의 변성이 관찰되었으며, 이들 변성된 단백질은 가역적으로 복원되지 않는 것으로 사려된다.

요 약

본 실험은 예비 가열 온도 및 가열 유지 시간이 돈육 등심 근육의 열변성에 미치는 영향에 대하여 조사하기 위하여 DSC 상에서 예비 가

열온도를 40, 50, 60, 70, 80°C로 각각 설정하고 가열 유지시간을 1, 5, 10분으로 각각 다르게 하여 조사하였다. 돈육 등심 근육의 변성 peak는 45~85°C 구간에서 나타났으며, 55.84°C, 65.56°C, 79.38°C에서 세 개의 주요 peak가 뚜렷이 나타났다. 50°C, 60°C로 예비 가열(previous heating)한 뒤 재가열한 thermogram에서 주요 peak(T_{max1} , T_{max2})는 사라졌고, 80°C로 가열한 뒤 재가열한 thermogram에서는 모든 peak가 소실되었다. 결과적으로 가열 유지시간을 증가시킬수록 변성의 정도가 증가하여 엔탈피도 점차 감소하는 경향을 보였다.

참고문헌

1. Barbut, S. and Findlay, C. J.: Influence of sodium, potassium and magnesium chloride on thermal properties of beef muscle. *J. Food Sci.*, 56(1), 180 (1991).
2. Cheng, C. S. and Parrish, F. C.: Scanning electron microscopy of bovine muscle : effect of heating on ultrastructure. *J. Food Sci.*, 41, 1449 (1976).
3. Hamm, R.: Heating of muscle systems. In "The physiology and biochemistry of muscle as a food, 1" (E. J. Briskey, R. G. Cassens, J. C. Trautman), Univ. of Wisconsin Press, Madison p.363 (1966).
4. Davey, C. L. and Gilbert, K. V.: Temperature-dependent cooking toughness in beef. *J. Sci. Food Agric.*, 25, 931 (1974).
5. Quinn, J. R., Raymond, D. P. and Harwalkar, V. R.: Differential scanning calorimetry of meat proteins as affected by processing treatment. *J. Food Sci.*, 45, 1146 (1980).
6. Findlay, C. J., Stanley, D. W. and Gullett, E. A.: Thermomechanical properties of beef muscle. *Meat Sci.*, 16, 57 (1986).
7. 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

- (1977).
8. Findlay, C. J. and Stanley, D. W.: Differential scanning calorimetry of beef muscle : Influence of postmortem conditioning. *J. Food Sci.*, **49**, 1513 (1984a).
 9. Findlay, C. J. and Stanley, D. W.: Differential scanning calorimetry of beef muscle : Influence of sarcomere length. *J. Food Sci.*, **49**, 1529 (1984b).
 10. Beas, V. E., Wagner, J. R., Añon, M. C. and Crupkin M.: Thermal denaturation in fish muscle proteins during gelling: Effect of spawning condition. *J. Food Sci.*, **56**(2), 281 (1991).
 11. Hastings, R. J., Rodger, G. W., Park, R., Mathews, A. D. and Anderson, E. M.: Differential scanning calorimetry of fish muscle: The effect of processing and species variation. *J. Food Sci.*, **50**, 503 (1985).
 12. 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**(2), 367 (1988).
 13. Stabursvik, E., Fretheim, K. and Frøystein, T.: Myosin denaturation in pale, soft, and exudative(PSE) porcine muscle tissue as studied by differential scanning calorimetry^a. *J. Sci. Food Agric.*, **35**, 240 (1984).
 14. 김천제, Honikel, K.O., 최병규: DSC를 이용한 PSE돈 육단백질의 변성에 관한 연구. *한국식품과학회지*. **21**(2), 173 (1989).
 15. 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 (1986).
 16. 이창현: DSC를 이용한 豚肉 드립의 熱變性에 관한 研究. 건국대 석사학위 논문 (1996).
 17. 김영환, 박구부, 이무하, 진상근: DSC를 이용한 肉단백질의 열변성에 관한 연구. *韓畜誌*. **29**(8), 363 (1987).
 18. Users Manual 1020 Series DSC 7 Thermal Analysis System : Perkin-Elmer, Corp. USA. (1993).
 19. SAS: *SAS User's Guide: Statistics*, 5th ed., SAS Institute Inc., Cary, NC, U.S. A. (1985).
 20. Kijowski, J. M. and Mast, M. G.: Thermal properties of proteins in chicken broiler tissues. *J. Food Sci.*, **53**, 363 (1988).

(1998년 12월 7일 접수)