

PSE돈육 드립의 열안정성에 관한 연구

김 천 제

건국대학교 축산가공학과

Studies on the Thermal Stability of Free Drip Released from PSE Pork Muscle

C. J. Kim

Dept. of Animal Products Science, Konkuk University, Seoul, Korea

Abstract

The objective of this study was to investigate the characteristics on the thermal denaturation of free drip released from pork loin during chilled storage using DSC(differential scanning calorimetry). DSC thermogram of drip released from normal pork(NORD) was characterized by a minor peak and two major peaks with temperature maxima at 61.5°C, 71.7°C(associated with sarcoplasmic proteins) and 84.3°C(associated with protein-protein interaction and aggregation). In the denaturation temperature of drip released from PSE pork(PSED), the peak(T_{max1}) at 59.0°C was reduced by 2.5°C. When the thermograms were divided into segments corresponding to the three peaks, ΔH_2 was shown to be reduced by 10% in PSED as compared to NORD. With the decrease in the solubility of sarcoplasmic proteins in PSE muscle, there was a corresponding increase the drip loss during the storage.

Key words : drip, DSC, PSE pork, denaturation

서 론

일반적으로 육은 도살직후 근육내 에너지원인 creatine phosphate, ATP, glycogen, glucose phosphate 등이 고갈되어 그 농도가 낮아지며 혐기적 조건하에서 glycogen이 점차 분해되어 근육내 lactic acid와 H^+ ion의 축적으로 점차 pH가 떨어지게 된다. 그런데 PSE 육은 도살직후 glycogen 및 다른 에너지원 등의 급속한 분해로 근육내 lactic acid와 H^+ ion이 다량 축적됨에 따라 1시간 이내에 pH가 5.8이하로 떨어지며^(1,2), 이때의 낮은 pH와 도체의 높은 온도는 근장단백질과 근원섬유단백질의 변성을 일으켜 육질을 저하시킨다. 이로 인하여 저장, 훈연, 염지 및 조리 가열시 드립(drip)분리가 심하게 일어나 비타민과 무기물 등의 영

양소 손실이 크며 다즙성이 떨어지고, 건조하여 기호성이 떨어진다는⁽³⁻⁹⁾. Kim 등⁽¹⁰⁾은 돈육 등심부위의 육색, 드립감량과 pH를 기초로 하여 육질을 분류하였을 때 국내 돈육의 35~40%가 PSE육 발생율을 나타내었다고 하였다. Goutefongea⁽¹¹⁾는 PSE 육은 정상육보다 근장단백질의 용해성이 떨어지며, 해동시 많은 양의 근장단백질이 드립형태로 유출된다고 하였으며, Penny⁽¹²⁾는 근육의 최종 pH는 드립발생에 커다란 영향을 미친다고 하였다. 도살 직후 pH가 낮을수록, 도체의 온도가 높을수록 근원섬유단백질의 변성 정도가 심하여 드립량이 증가하게 된다^(12,13).

드립은 주로 근장에서 유래하기 때문에 드립과 근장단백질의 단백질 조성은 매우 유사하며 드립의 특성을 조사하면 근장 단백질의 특성을 알 수 있다.

따라서 본 연구는 도살후 냉장저장 중 유출되는 정상육과 PSE 이상육의 드립의 열안정성을 조사하여 정상돈육과 이상돈육의 근장단백

Corresponding author : Cheon-Jei Kim, Department of Animal Products Science, Konkuk University, 1 Hwayang-dong, Kwangjin-gu, Seoul 143-701.

질의 열변성 특성을 비교 연구하고자 실시하였다.

재료 및 방법

공시재료

본 실험에 사용된 시료는 경기도 이천 도축장에서 도축한 216두의 돈육으로 도축 후 2°C에서 24시간 냉각한 도체의 5번째와 8번째 흉추사이의 등심근(*M Longissimus dorsi*)을 취하여 지방과 건을 제거 후 1~1.5cm 두께의 타원형(80±5g)으로 정형한 후 polypropylene bag에 넣어 2°C에서 72시간 동안 저장, 보관하였다. 72시간 경과 후 polypropylene bag의 바닥에 고인 드립을 Kim 등⁽¹⁰⁾이 드립함량과 L*-value을 기준으로 돈육질을 분류한 방법으로 정상육 드립(NORD-Normal meat drip: 4% < drip loss < 7.5%, L* = 49~55)과 PSE 드립(PSED-PSE meat drip: drip loss > 7.5%, L* > 55)으로 두 그룹으로 나누어 수거하여 3,000rpm에서 15분간 원심분리하고 여과지(Whatman No. 4)로 여과하여 지방과 불용성 물질을 제거한 여과액을 실험재료로 사용하였다.

육색도 측정

시료의 표면을 colorimeter(Chromameter, CR210, Minolta, Japan)을 사용하여 명도(lightness)를 나타내는 L*값, 적색도(redness)를 나타내는 a*값과 황색도(yellowness)를 나타내는 b*값을 측정하였다. 또한 다음 공식을 이용하여 채도(chroma)를 나타내는 C*값과 색상각도(hue-angle)를 나타내는 h값을 계산하였다: $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$, $h = \tan^{-1}(b^*/a^*)$. 이때의 표준색은 L*값이 97.83, a*값이 -0.43, b*값이 +1.98인 백색 표준판을 사용하였다.

총색소 함량측정

시료 10g을 취하고 여기에 2ml 증류수, 1ml HCl, 40ml acetone용액을 가하여 6,000rpm에서 30초간 균질시킨 후 wrap으로 밀봉하여 4°C의 냉암소에서 1시간 보관하고 이것을 여과지(Whatman No.1)로 여과하여 640nm에서 흡광도를 측정하여 총색소 함량을 측정하였다.

근장단백질의 용해성 측정

시료육 10g에 20ml buffer 용액(0.1M KCl, 0.05M glycerophosphate, pH 6.5)을 가한 후 30초간 균질하여 0°C에서 1시간 stirring 한 후 15,000×g에서 30분간 원심분리하여 상등액을 취하였다. 상등액의 단백질 함량은 Kjeldahl법으로 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, 시료를 stainless pan (Part No. 0319-0029)에 30±0.5 mg을 취하여 crimper로 봉한 후 10~108°C까지 20°C/min의 heating rate로 가열하여 측정하였다. Reference로는 stainless pan에 시료와 같은 중량의 증류수를 넣어 사용하였다.

또한 각각의 시료에 대하여 예비 가열온도를 50, 60, 70, 80, 108°C로 다르게 하여 가열한 뒤 10°C로 냉각(cooling rate = 200°C/min)한 다음 다시 108°C까지 20°C/min의 heating rate로 재가열하였고, 10~108°C까지 가열속도를 5, 10, 20, 30, 40 °C/min으로 변화시키면서 가열하여 조사하였다. 이때 엔탈피의 변화(transition enthalpy, ΔH)와 최대 변성온도(maximum transition temperature, T_{max})는 Perkin-Elmer Thermal Analysis Data Station (TADS) program⁽¹⁴⁾을 이용하여 계산하였다.

통계처리

본 실험의 결과는 SAS(Statistic Analytical System, USA)프로그램⁽¹⁵⁾을 이용하여 Duncan의 다중검증을 통하여 유의성을 조사하였다.

결과 및 고찰

드립발생량에 따른 pH, 단백질 농도 및 총색소 함량

돈육 등심근을 3일 저장 후 드립발생량과 육색에 따라 분류한 정상육의 드립(NORD)과 PSE 돈육의 드립(PSED)의 드립발생량, pH, 단백질 농도, 총색소 함량을 Table 1에 나타내

Table 1. Amount of drip, pH, concentration of protein and total pigment for free drip of pork loin muscle

Drip	Amount of drip (%)	pH		Concentration of protein(mg/ml)	Total amount of pigment (μg/ml)
		Meat	Drip		
NORD ¹⁾ (n=34)	5.72±0.90	5.89 ^a ±0.27	5.79 ^a ±0.13	81.97 ^a ±9.79	52.81 ^a ±3.84
PSED ²⁾ (n=30)	12.52±1.67	5.60 ^b ±0.11	5.62 ^b ±0.07	66.88 ^b ±8.19	49.85 ^a ±1.69

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

¹⁾Normal meat drip, 4% < drip loss < 7.5%, L* = 49~55

²⁾PSE meat drip, drip loss > 7.5%, L* > 55

었다.

3일 저장 후 발생한 PSE 돈육의 드립량은 평균 12.52%로 정상육보다 약 2.2배 많았다. 정상육과 정상육 드립의 pH는 PSE육보다 유의성 있게 높았으며 드립의 단백질 농도는 드립 발생량이 높은 PSE 돈육의 드립이 낮았다. Andrew 등⁽¹⁶⁾은 드립량이 약 12% 이상 증가할 때 단백질 농도가 감소했으며 이와 같은 변화는 단백질의 변성 및 근원섬유로부터 유출된 액체에 의한 희석효과 때문이라고 하였다. Penny 등⁽¹⁰⁾은 드립량이 증가함에 따라 드립의 단백질 농도가 150mg/ml에서 100mg/ml로 약 1/3이 감소하였다고 하였다. 육색과 관련된 총색소 함량은 육질간에 다소 차이가 있었으나 유의성은 인정되지 않았다. Kim 등⁽¹³⁾은 PSE 육과 DFD 육 사이에는 총색소함량이 유의적인 차이가 인정되었으나 PSE육과 정상육간에는 유의적인 차이가 없다고 하였다. Van Laack 등⁽⁹⁾은 육질간의 haematin 함량은 커다란 차이를 보이지 않았다고 하였으며, PSE 육의 육색은 낮은 pH에서 myoglobin의 3차구조의 변화를 초래하여 heme부분의 노출을 일으키므로 산화형의 myoglobin이 쉽게 형성되기 때문이라고 하였다.

드립발생량에 따른 돈육등심 드립의 열변성 Fig. 1과 Table 2는 정상육과 PSE 돈육 드립의 DSC thermogram, 열변성 온도 및 엔탈피를 나타낸 것이다.

돈육 드립의 모든 변성 peak는 49.6~95.3°C 구간에서 나타났으며, PSE돈육의 드립인 PS-

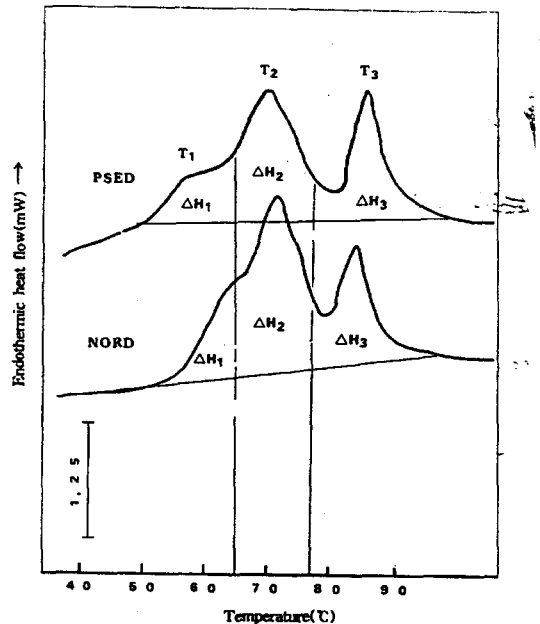


Fig. 1. DSC thermogram of released pork drip. *Heating rate=20°C/min.

ED(47.97°C)가 정상돈육의 드립인 NORD (51.20°C)보다 약 3.2°C 정도 낮은 온도에서 변성되기 시작하였다. 변성온도를 보면 NORD의 변성 peak인 T₁(61.46°C), T₂(71.69°C)가 PSED의 T₁(58.94°C), T₂(70.83°C)보다 각각 2.5°C, 0.86°C가 높게 나타났으나 T₃에서는 그물간의 유의차가 인정되지 않았다.

변성시의 엔탈피를 살펴보면 ΔH₂에서 NO-

Table 2. Thermal properties of released pork drip

Drip	Temperature of transition (T_{max} , °C)			Heat energy of transition (J/g)			
	$T_{max1}^{3)}$	$T_{max2}^{4)}$	$T_{max3}^{5)}$	$\Delta H_1^{6)}$	$\Delta H_2^{7)}$	$\Delta H_3^{8)}$	$\Delta H_{total}^{9)}$
NORD ¹⁾	61.46 ^a ±1.81	71.69 ^a ±0.86	84.25 ^a ±2.17	0.56 ^a ±0.09	1.52 ^a ±0.08	0.82 ^a ±0.07	2.90 ^a ±0.14
PSED ²⁾	58.94 ^b ±1.75	70.83 ^b ±0.73	84.71 ^a ±1.83	0.60 ^a ±0.08	1.37 ^b ±0.08	0.82 ^a ±0.08	2.79 ^b ±0.12

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

¹⁾ Normal meat drip, $4\% < \text{drip loss} < 7.5\%$, $L^* = 49 \sim 55$

²⁾ PSE meat drip, $\text{drip loss} > 7.5\%$, $L^* > 55$

³⁻⁵⁾ Thermal transition temperature

⁶⁻⁹⁾ Heat transition energies.

RD(1.52J/g drip)가 PSED(1.37J/g drip)보다 0.15(J/g drip) 높게 나타났으며, 총 변성 엔탈피의 경우는 NORD가 2.90(J/g drip)으로 PSED(2.79J/g drip)보다 유의성 있게 높게 나타났다.

드립과 근장단백질의 단백질조성은 매우 유사하기 때문에 드립은 주로 근장에서 유래하는 것으로 알려져 있다. 드립량이 증가함에 따라 개개의 단백질에 있어서의 규칙적인 변화는 일부 혹은 전체적인 단백질의 변성에 의하거나 근원섬유내에서 유출된 액체에 의한 희석으로 설명된다⁽¹⁶⁾. 본 실험의 결과에서 돈육 드립의 변성온도는 김 등⁽¹⁷⁾이 보고한 돈육의 근장단백질의 변성온도와 유사하였고, Wright 등⁽¹⁸⁾이 보고한 토끼근육의 근장단백질의 변성온도와는 차이를 보였는데, 이는 육류간의 차이 혹은 가열조건의 차이에 의한 것으로 사료된다. NORD의 열변성온도가 PSED보다 높은 것은 NORD와 PSED간의 pH차이에 기인한 것으로 사료된다. Stabursvik 등⁽¹⁹⁾도 pH가 높을수록 근장단백질의 열변성온도가 높아진다고 보고한 바 있다.

드립 발생량과 sarcoplasmic protein 용해성과의 관계

Fig. 2는 PSE 돈육 등심을 냉장 저장하였을 때 유출되는 드립 발생량과 sarcoplasmic protein의 용해성과의 관계를 나타낸 것이다.

Sarcoplasmic protein의 용해성이 감소할수록 드립 발생량이 증가하였으나 60mg/g 이하에서는 단백질 변성이 심하여 sarcoplasmic protein의 용해성과의 관계가 성립하지 않았다.

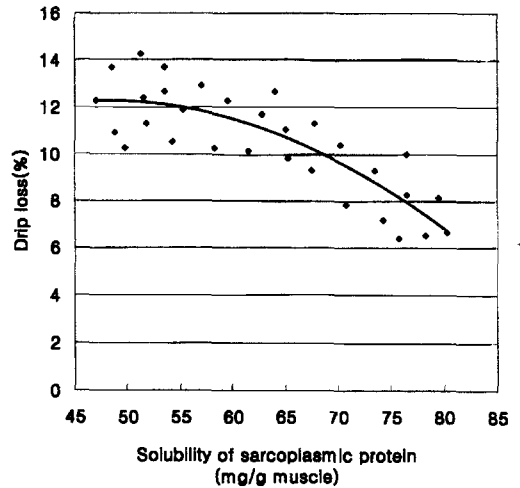


Fig. 2. Dependency of drip loss on the solubility of sarcoplasmic protein in pork loin muscle.

김 등⁽¹⁷⁾은 sarcoplasmic protein의 안정성이 높을수록 용해성이 증가하고 드립발생량이 감소한다고 하였다. Honikel 과 Kim⁽²⁰⁾와 김 등⁽¹⁷⁾은 도살직후 PSE 도체의 육온을 급속강하 시킴으로서 단백질 변성을 다소 억제할 수 있어 sarcoplasmic protein의 용해성의 감소와 드립 발생량을 줄일 수 있다고 하였다.

요 약

본 실험은 돈육 등심을 냉장 저장할 때 유출되는 드립의 발생량에 따라 분류한 정상육의 드립(NORD)과 이상육의 드립(PSED)의 pH,

단백질 농도 및 총색소 함량과 DSC를 이용하여 열변성 특성을 조사한 것이다.

돈육 드립의 모든 변성 peak는 49.6~95.3°C 구간에서 나타났으며, PSED가 NORD보다 낮은 온도에서 변성되기 시작하였다. 변성엔탈피인 ΔH_2 에서 NORD가 PSED보다 높게 나타났으며, 총 변성 엔탈피는 NORD가 PSED보다 높게 나타났다. PSE 돈육의 sarcoplasmic protein의 용해성이 감소할수록 저장기간 동안 발생하는 드립양이 증가하였다.

참고문헌

1. Fisher, K. and Augustini, Chr. : Studien der postmortalen Glykogenolyse bei unterschiedlichen pH₁-Werten in Schweinefleisch. *Fleischwirtschaft*, 57 1191 (1977).
2. Appel, D. and Löfqvist, B. : Meat cooking techniques-Part I : A preliminary study of the effect of the rate of heating in water. *Meat Sci.*, 2, 251 (1978).
3. Bendall, J. R. : Postmortem changes in muscle. In "The structure and function of muscle", Academic Press, NY, Vol. II, part 2, p293 (1973).
4. Wirth, R. : Qualitätsabweichungen bei Schweinefleisch-konsequenzen für die Verarbeitung von wässrigem, blassem Schweinefleisch. *Fleischwirtschaft*, 52, 212 (1972).
5. Honikel, K. O. and Woltersdorf, W. : Einfluss der Temperatur postmortem auf das Saffthaltevermögen und die Farben von Schweinefleisch. Proc. Biophysical PSE-Muscle Analysis (ed. H. Pftzner), Suppl., 5(1984).
6. Flynn, A. W. and Bramblett, V. D. : Effect of frozen storage, cooking method and muscle quality on attributes of pork loins. *J. Food Sci.*, 40, 631 (1975).
7. Kim, C. J. : Veränderungen im Schweineemuskel nach dem Schlachten und deren Bedeutung für Wasserbindungsvermögen und Verarbeitungseigenschaften des Fleisches. Ph. D. Thesis, Justus Liebig, Uni. Gissen (1984).
8. 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).
9. van Laack, R. L. J. M., Kauffman, R. G., Sybesma, W., Smulders, F. J. M., Eikelenboom, G. and Pinheiro, J. C. : Is color brightness(L-value) a reliable of water-holding capacity in porcine muscle?. *Meat Sci.*, 38, 193 (1994).
10. Kim C. J., Lee E. S., Joo S. T., Kim B. C., Choi D. Y., Kang J. O., Yoo I. J. and Kauffman, R. G. : Biochemical and structural characteristics of PSE, RSE, RFN and DFD pork quality postmortem. *Korean J. Food Sci. Ani. Resour.* 16(2), 235 (1996).
11. Goutefongea, R. : Contribution a letude du pouvior de retention de differentes fractions musculaires chez le porc normal et exsudatif. 13nd. European Meeting of Meat Research Workers, Rotterdam, 27 (1967).
12. Penny, I. F. : The effect of temperature on the drip denaturation and extracellular space of pork longissimus dorsi muscle. *J. Sci. Food Agric.* 28, 329 (1977).
13. Starbursvik, E. and Martens, H. : Proteins in white and red muscle compared by differential scanning calorimetry (DSC). 25nd, Eur. Meet. Meat Res. Work., Budapest, 5(21), 383 (1979).
14. Users Manual 1020 Series DSC 7 Thermal Analysis System : Perkin-Elmer. Corp. USA (1993).
15. SAS: SAS User's Guide: Statistics, 5th ed., SAS Institute Inc., Cary, NC, U.S.A. (1985).
16. Andrew, W. J. S., Paul, D. W. and Paul, D. J. : The amount and composition of the proteins in drip from stored pig meat. *Meat Sci.*, 27, 289 (1990).

17. 김천제, Honikel, K.O., 최병규 : DSC를 이용한 PSE돈 육단백질의 변성에 관한 연구. 한국식품과학회지. 21(2), 173 (1989).
18. 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).
19. Starbursvik, E. and Martens, H. : Thermal denaturation of proeins in post rigor muscle tissue as studied by differential scanning calorimetry. *J. Sci. Food Agric.*, 31, 1034 (1980).
20. Honikel, K. O. and Kim, C. J. : Über die Ursachen der Entstehung von PSE-Schweinefleisch. *Fleischwirtschaft*, 65(9) 1125 (1985).
-
- (2000년 6월 5일 접수)