

ARTICLE

# 당 종류에 따른 수비드 및 건식 가열한 돈육 등심햄의 품질 특성

양나은<sup>1</sup> · 노신우<sup>1</sup> · 유채은<sup>2</sup> · 김현욱<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>경상국립대학교 생명자원과학과, <sup>2</sup>경상국립대학교 동물생명과학과

## Quality Attributes of Sous-Vide and Dry-Oven Cooked Pork Loin Hams with Different Sugars

Na-Eun Yang<sup>1</sup>, Sin-Woo Noh<sup>1</sup>, Chae-Eun Yu<sup>2</sup>, Hyun-Wook Kim<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of GreenBio Science, Gyeongsang National University, Jinju 52725, Korea  
<sup>2</sup>Department of Animal Science & Biotechnology, Gyeongsang National University, Jinju 52725, Korea

Received: June 12, 2023

Revised: June 22, 2023

Accepted: June 22, 2023

\*Corresponding author :  
Hyun-Wook Kim  
Department of Animal Science &  
Biotechnology, Gyeongsang National  
University, Jinju 52725, Korea  
Tel : +82-55-772-3261  
E-mail : hwkim@gnu.ac.kr

Copyright © 2023 Resources Science  
Research Institute, Kongju National University.  
This is an Open Access article distributed  
under the terms of the Creative Commons  
Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>)  
which permits unrestricted non-commercial  
use, distribution, and reproduction in any  
medium, provided the original work is  
properly cited.

### ORCID

Na-Eun Yang  
<https://orcid.org/0000-0002-1417-9684>  
Sin-Woo Noh  
<https://orcid.org/0000-0001-5265-2607>  
Chae-Eun Yu  
<https://orcid.org/0000-0001-6787-3074>  
Hyun-Wook Kim  
<https://orcid.org/0000-0003-0003-0368>

### Abstract

The objective of this study was to investigate the effect of various sugars on the quality attributes of sous-vide and dry-oven cooked pork loin hams. Pork loin hams were injected at a 15% pumping ratio, and the final salt concentration of all treatments was equally fixed at 2% NaCl (w/w). A control group was prepared without sugar, and treatments were formulated with 0.5% (w/w) molasses, allulose, and xylose, respectively. The injected pork loins were cooked at 63°C for 4.42 hr (1st sous-vide cooking) in a water-bath and continually cooked in a dry oven at 220°C until the core temperature reached 71°C. The pH, color characteristics, cooking yield, browning index, shear force, and lipid oxidation stability of the pork loin hams were evaluated. The addition of sugar decreased the lightness of pork loin hams ( $p < 0.05$ ), and the addition of molasses and xylose significantly increased the browning index. The addition of molasses and allulose significantly increased the 1st cooking yield of pork loin hams. The highest shear force was observed for molasses treatment ( $p < 0.05$ ), which was likely due to the high concentration of sugar contained in syrup-type molasses used. The addition of molasses significantly inhibited the lipid oxidation of pork loin hams during 3 wk of refrigerated storage. In conclusion, the results of this study show that sugars at even 0.5% (w/w) concentration changed the color and lipid oxidation stability of sous-vide and dry-oven cooked pork loin hams, probably concerning the occurrence of the Maillard reaction.

### Keywords

Allulose, Molasses, Sous-vide cooking, Sugar, Xylose

## 1. 서론

수비드 가열(sous-vide cooking)은 식육의 보수력, 연도, 풍미 및 영양 손실을 개선할 수 있는 조리 방법으로, 최근에는 식육가공품의 품질 향상을 위한 산업적 활용이 시도되고 있다(Song *et al.*, 2023). 특히, 가열 조건의 제어만으로 공정이 구성된다는 점에서 클린 라벨(clean-label) 식육가공품 제조를 위한 가공기술로도 업계의 주목을 받고 있다. 식육의 수비드 가열은 진공 포장한 원료육을 일반 가열 온도보다 상대적으로 낮은 50-70°C 사이의 저온에서 수 시간 동안 진행하는 것이 일반적이다(Thatsarani *et al.*, 2022). 식육의 수비드 가열에 관한 이전의 연구는 원료육의 특성, 가열 조건(온도 및 시간) 및 진공포장 조건 등에 의한 수비드 가열육의 품질 특성 변화를 평가하였다(Jeong *et al.*, 2018; Song *et al.*, 2023). 일부 연구에서 수비드 가열육은 일반 가열육에 비해 가열 식육가공품 특유의 색도 및 향미 형성이 제한적이라고 보고된 바 있다(Przybylski *et al.*, 2021; Ismail *et al.*, 2022). 이는 가열 식육의 색과 풍미 형성에 크게 기여하는 마이야르 반응(Maillard reaction)이 수비드 가열

온도에서 불충분하기 때문이라고 알려져 있다(Przybylski *et al.*, 2021). 반면, 건식 오븐 가열은 고온에서 충분한 마이야르 반응을 유도하여 식육의 풍미 및 조직감을 향상하기 때문에 수비드 가열 전후 건식 오븐 가열을 적용하여 추가적인 마이야르 반응에 따른 색도 및 풍미 개선이 가능하다고 보고하였다(Ruiz-Carrascal *et al.*, 2019).

비가열 식육은 맛과 풍미에 관련된 전구물질을 함유하고 있어 약간의 육취와 짠맛만이 존재하는데, 가열은 전구물질의 화학 반응을 유도하여 기호성 향상에 기여한다(Sun *et al.*, 2022). 특히 마이야르 반응은 환원당의 카르보닐기와 단백질, 펩타이드 및 아미노산의 유리 아미노기 사이의 비효소적 갈변 반응으로 가열 시 식품의 맛, 향, 색 및 물성 등의 변화에 큰 영향을 미치며, 반응 물질(환원당 종류 등) 및 가열 조건에 따라 마이야르 반응 물질인 갈변 중합체의 구조가 달라진다(Starowicz and Zieliński 2019). 식육의 리보오스(ribose)와 포도당(glucose)은 가열 시 마이야르 반응에 참여하는 주요 환원당으로 알려져 있다(Sun *et al.*, 2022). 반면, 식육가공품에는 일반적으로 맛 형성 및 수분활성도 저하를 위해 비환원당의 일종인 설탕을 주요 당원으로 첨가한다. 이전의 연구에서 설탕은 과당(fructose)과 유당(lactose)에 비해 건조 계육가공품의 갈변도 형성에 미치는 영향이 크지 않다고 보고된 바 있다(Wongwiwat and Wattanachant 2014). 따라서, 당류는 가열 식육가공품의 품질 특성에 영향을 미치는 주요 요인 중 하나로 기대되지만, 이에 관한 연구는 미비한 실정이다.

당밀(molasses)은 사탕수수를 가공하여 설탕을 제조하는 공정에서 발생하는 부산물로 설탕, 포도당, 과당 및 비당류 물질(베타인, 아미노산, 무기질 및 비타민 등)을 포함한다(Jamir *et al.*, 2020). 당밀은 진한 검은색과 특유의 취가 있어 식품 원료로 직접 활용된 연구 사례는 제한적이지만, Hwang과 An(2020)은 10% 당밀을 첨가한 머핀의 관능적 특성을 평가하여 천연감미료로의 활용 가능성을 제시하였다. 최근 식품산업에서 대체감미료의 활용이 급증하고 있는데, 알룰로스(allulose)는 설탕 대비 70%의 감미도를 나타내면서 열량은 10% 수준으로 이미 무설탕 젤리, 사탕 및 과자류의 제조를 위한 산업적 활용도가 높은 편이다. Hadipernata 등(2016)은 계육소시지에 첨가되는 설탕을 알룰로스로 대체하여 보수력이 개선됨을 관찰하여 식육가공품에서 기능성 당류로의 활용을 제안한 바 있다. 자일로스(xylose)는 가열육의 유사 풍미 형성을 위한 마이야르 반응 물질 생성 연구에 널리 활용되는 환원당으로 황함유 아미노산과의 반응물을 생성하여 식물성 대체육의 풍미성분으로 활용하려는 시도가 이루어졌다(Zhang *et al.*, 2022). 이와 같은 이전의 연구를 종합한다면 당 종류는 식육가공품의 관능적 특성뿐만 아니라, 가공적성에도 영향을 미칠 수 있음을 이해할 수 있다.

따라서, 본 연구는 불충분한 마이야르 반응으로 발생하는 수비드 가열의 품질 특성을 개선하기 위해 수비드 가열 이후 2차 건식 가열을 적용함과 동시에 염지 시 첨가한 당 종류에 따른 돈육 등심햄의 품질 특성 변화를 평가하고자 실시하였다.

## II. 재료 및 방법

### 공시재료 및 돈육 등심햄의 제조

본 연구에서는 일반 양돈농가에서 사육하여 도축한 경산모돈(Landrace×Yorkshire, LY)의 등심 근육(*Musculus longissimus thoracis et lumborum*)을 사후 48시간에 발골하여 등심햄 제조에 사용하였다. 돈육 등심을 약 10 cm 간격으로 절단 후 결체조직을 제거하고, 원료육 무게 대비 15%의 염지액을 염지액 주사기로 주입하여 염지를 실시하였다. 염지에 사용한 염지액의 조성은 다음과 같다. 대조구는 시료 무게 대비 2%(w/w) 염화나트륨(NaCl) 농도가 되도록 제조하였고, 당 첨가구는 대조구 염지액 조성에 알룰로스(Samyangsa Inc., Korea), 자일로스(Samchun Inc., Korea) 및 당밀(SUN-IN Co., LTD., Korea)이 각각 시료 무게의 0.5%(w/w)가 되도록 추가로 첨가하였다. 염지액을 주입한 이후 돈육 등심은 분당 7회전의 회전속도로 설정된 진공 텀블러(MGH 20 STL, Vakona GmbH, Germany)에서 60분 동안 텀블링을 진행하였다. 진공포장한 염지 돈육 등심은 4℃ 냉장고에 12시간 동안 냉장

저장 후 항온수조(JSIB-22T, JS Research Inc., Korea)에서 63℃에서 4.42시간 동안 가열하였다. 해당 가열 조건은 예비실험 단계에서 반응표면분석법을 통해 가열감량과 전단력 감소를 위한 최적화 조건을 활용하였다. 수비드 가열한 돈육 등심햄은 고온에서 추가적인 마이야르 반응 유도를 위해 220℃로 설정된 컨벡션 오븐(AF400, Foshan Haishi Intelligent Electric Appliances Co., Ltd., China)으로 돈육 등심햄의 심부 온도가 71℃에 도달할 때까지 가열한 후 실온에서 30분간 방냉하였다. 돈육 등심햄은 진공포장한 이후 4℃에서 보관하여 실험에 사용하였다.

## 돈육 등심햄의 이화학적 특성 평가

### 1) pH 측정

돈육 등심햄의 pH는 시료를 상온에 1시간 보관한 이후 탐침형 휴대용 pH 측정기(HI99163, HANNA instrument, Romania)를 삽입하여 측정하였다. pH 측정기는 사용 전 pH 4.01 및 pH 7.0 표준 용액으로 보정한 뒤 시료 당 총 3회 반복 측정하였다.

### 2) 색도 측정

돈육 등심햄의 색도는 가열 후 돈육 등심햄의 표면과 단면을 색도계(CR 400, Minolta, Japan)를 사용하여 명도(lightness)를 나타내는 CIE L\*값, 적색도(redness)를 나타내는 CIE a\*값과 황색도(yellowness)를 나타내는 CIE b\*값을 측정하였다. 색도계는 CIE L\*값이 +97.83, CIE a\*값이 -0.43, CIE b\*값이 +1.98인 백색 표준판을 이용하여 보정하였다. 색도 측정은 시료 당 6곳을 무작위로 측정 한 뒤 그 평균값을 사용하였다.

### 3) 보수력 측정

돈육 등심햄의 보수력은 Lee 등(2019)의 방법을 적용하여 원심분리법으로 측정하였다. 시료 5 g을 여과지(Whatman No.4, Whatman International Ltd)로 감싼 뒤 50 mL 원심분리관의 바닥에 위치시켰다. 이후 원심분리관을 200 × g에서 10분간 원심 분리(4℃)한 이후 아래의 수식을 이용하여 보수력을 계산하였다.

$$\text{보수력}(\%) = (A - B)/A \times 100$$

$$A = (\text{원심분리 전 무게}(\text{g}) \times \text{수분함량}(\%))/100$$

$$B = \text{원심분리 전 무게}(\text{g}) - \text{원심분리 후 무게}(\text{g})$$

### 4) 염지 수율 및 가열 수율 측정

돈육 등심햄의 염지 수율은 염지 전 무게 대비 염지 후 무게, 1차 가열 수율은 원료육 무게 대비 수비드 가열 시료의 무게 및 2차 건식 가열 수율은 2차 건식 가열 이전의 무게 대비 2차 건식 가열 이후의 무게를 백분율로 환산하여 나타내었다.

### 5) 전단력 측정

돈육 등심햄의 전단력은 Song 등(2020)의 측정 방법에 준하여 분석하였다. 휴대용 코어링 장치(직경 1.27 cm)를 사용하여 근섬유 방향과 평행한 시료를 얻었다. 물성 측정기(CT3, Brookfield Engineering Laboratories, INC., USA)에 Warner-Bratzler V-blade를 장착하여 사용하였으며, 분석조건은 test speed 0.2 mm/min, trigger load 0.005 kg, distance 20 mm으로 설정하였다. 전단력은 2 mm/s의 속도로 시료를 절단하는 데 필요한 힘의 평균치를 계산하여 산출하여 kg으로 표기하였다.

## 6) 갈변지수

돈육 등심햄의 마이야르 반응 특성은 Li 등(2020)의 방법을 변형하여 갈변지수를 측정하였다. 돈육 등심햄 5 g을 25 mL 증류수에 혼합한 뒤, 균질기(UltraTurrax SK15, Janke & Kunkel, Germany)를 사용하여 8,000 rpm에서 2분 동안 균질하였다. 상기 균질물은 5,000 × g에서 10분 동안 원심분리하였고, 분리된 상층액을 여과지(Whatman No. 2, Whatman International Ltd)에서 여과 후 420 nm에서 흡광도를 측정하였다.

## 7) 지질산패도(2-Thiobarbituric Acid Reactive Substances, TBARS) 측정

돈육 등심햄의 저장 기간 중 지질산패도를 평가하기 위해 Buege와 Aust(1978)의 2-thiobarbituric acid reactive substance(TBARS)방법을 이용하여 측정하였다. 돈육 등심햄은 4℃에서 냉장저장 중 0주 및 3주에 측정하였다. 잘게 다진 돈육 등심햄 5 g에 15 mL의 증류수와 100 μL의 6% butylated hydroxytoluene(BHT)를 혼합한 뒤, 균질기(UltraTurrax SK15, Janke & Kunkel)를 사용하여 8,000 rpm에서 60초 동안 균질하였다. 균질액 2 mL와 15% trichloroacetic acid(TCA)에 용해된 20 mM 2-thiobarbituric acid(TBA)시약을 4 mL 첨가 후 80℃로 설정된 항온수조(JSIB-22T, JS Research Inc)에서 20분간 가열 후 얼음 물에서 10분간 냉각하였다. 냉각된 혼합물은 2,000 × g에서 10분 동안 원심분리 후 얻은 상층액을 여과지(Whatman No. 4, Whatman International Ltd)로 여과하여 538 nm에서 흡광도를 측정하였다. 이때, blank는 2 mL의 증류수와 4 mL의 TBA/TCA 시약을 혼합하여 사용하였으며, TBARS 값은 관측된 흡광도 값에 환산계수 5.54를 곱하여 malondialdehyde mg(mg MDA/kg sample)로 표현하였다.

## 통계분석

본 연구는 완전 임의화 설계법(completely randomized design)으로 총 3회의 독립된 반복 실험으로 설계되었고, 얻어진 모든 결과는 평균과 표준편차로 나타내었다. 통계분석은 SPSS Statistics(Ver. 18.0, IBM, Armonk, NY, USA) 프로그램을 이용하여 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였고, 던컨의 다중검정(Duncan's multiple range test)으로 평균 간 유의성( $p < 0.05$ )을 검정하였다.

# III. 결과 및 고찰

## 돈육 등심햄의 pH 및 색도

당류(당밀, 알룰로스, 및 자일로스)의 첨가에 따른 수비드 및 건식 가열한 돈육 등심햄의 가열 pH와 색도 변화는 Table 1에 나타내었다. 돈육 등심햄의 가열 pH는 당 첨가에 의한 유의적인 변화가 나타났는데, 0.5%(w/w) 알룰로스 첨가구(pH 5.86)는 대조구(pH 5.79)보다 높은 가열 pH를 나타내었다( $p < 0.05$ ). 그러나 당밀 및 자일로스 첨가구는 대조구의 가열 pH와 유사한 수치를 나타내었다. 이전의 연구에서 Hong 등(2020)은 3% 알룰로스의 첨가는 닭가슴살 떡갈비의 pH를 감소시킨다고 보고하였으나, 본 연구에서 알룰로스의 첨가는 이와 상반된 pH의 변화를 야기하였다.

당 종류는 수비드 및 건식 가열한 돈육 등심햄의 표면 및 단면 색도 변화에 유의적인 변화를 야기하였다( $p < 0.05$ ). 모든 당 첨가구의 표면 및 단면 명도(lightness)는 대조구보다 낮은 수준을 나타내었다( $p < 0.05$ ). 특히, 0.5%(w/w) 자일로스를 첨가한 돈육 등심햄에서 가장 낮은 표면 및 단면 명도를 나타내었다( $p < 0.05$ ). 이는 환원당을 포함하는 당밀 혹은 환원당의 일종인 자일로스 첨가로 인해 아미노산과 환원당 사이의 마이야르(Maillard) 반응으로 갈변 물질인 멜라노이딘 및 유사 고분자 화합물의 생성과 관련이 있을 것이다(Li and Liu, 2021). 이와 관련하여 당밀 및 자일로스 첨가구는 대조구보다

**Table 1.** pH and color characteristics of sous-*vide* and dry-oven cooked pork loin hams formulated with various sugars

Trait	Control (without sugar)	Treatment (w/w)			Significance of p value
		0.5% molasses	0.5% allulose	0.5% xylose	
pH (cooked)	5.79±0.02 <sup>bc</sup>	5.82±0.01 <sup>ab</sup>	5.86±0.02 <sup>a</sup>	5.76±0.12 <sup>c</sup>	0.001
<i>Surface color</i>					
CIE L* (lightness)	44.13±1.07 <sup>a</sup>	36.87±0.29 <sup>b</sup>	32.93±0.31 <sup>c</sup>	30.82±0.29 <sup>d</sup>	<0.001
CIE a* (redness)	11.92±0.73 <sup>c</sup>	10.97±0.46 <sup>c</sup>	17.48±0.38 <sup>b</sup>	19.33±0.32 <sup>a</sup>	<0.001
CIE b* (yellowness)	16.36±1.04 <sup>a</sup>	10.28±0.37 <sup>c</sup>	12.91±0.23 <sup>b</sup>	12.48±0.43 <sup>b</sup>	<0.001
<i>Cross-section color</i>					
CIE L* (lightness)	68.81±0.33 <sup>a</sup>	64.43±0.40 <sup>c</sup>	66.81±0.11 <sup>b</sup>	59.67±0.23 <sup>d</sup>	<0.001
CIE a* (redness)	9.76±0.12 <sup>c</sup>	10.85±0.15 <sup>b</sup>	9.44±0.46 <sup>c</sup>	11.78±0.13 <sup>a</sup>	<0.001
CIE b* (yellowness)	6.92±0.13 <sup>b</sup>	8.98±0.16 <sup>a</sup>	5.16±0.18 <sup>c</sup>	7.18±0.24 <sup>b</sup>	<0.001

The salt concentration of all treatments was equally fixed as 2% (w/w) with the 15% pumping ratio.

<sup>a-d</sup> Means sharing the same superscript letter within a row are not significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

높은 단면 적색도(redness)를 나타내었다(p<0.05). 당 첨가는 수비드 및 건식 가열한 돈육 등심햄의 표면 황색도(yellowness)를 유의적으로 감소시켰으나, 단면 황색도의 경우 0.5%(w/w) 알룰로스 첨가 구만이 대조구보다 유의적으로 낮은 수치를 나타내었다. 따라서, 본 연구 결과는 0.5%(w/w) 수준에서 당 종류에 따른 돈육 등심햄의 표면 및 단면 색 특성의 뚜렷한 변화가 발생할 수 있음을 보여준다. 나아가 환원당의 일종인 자일로스의 첨가는 알룰로스와 당밀에 비해 뚜렷한 명도 감소 및 적색도의 증가를 초래하였고, 이는 식육가공품의 가열 중 마이야르 반응이 최종제품의 색 형성에 크게 기여하는 것으로 이해된다.

**돈육 등심햄의 염지 수율 및 최종 가열 수율**

당밀, 알룰로스 및 자일로스의 첨가에 따른 수비드 및 건식 가열한 돈육 등심햄의 염지 수율, 1차 가열 수율, 2차 가열 수율 및 최종 수율은 Table 2에 나타내었다. 돈육 등심햄의 염지 수율은 98.45-98.99% 수준으로 당 종류에 관계없이 유사한 수치를 나타내었다(p>0.05). 당의 첨가는 수비드 가열 전후의 무게 변화를 측정된 돈육 등심햄의 1차 가열 수율에 유의적인 변화를 야기하였다 (p<0.05). 그러나 건식 가열 전후의 무게 변화를 측정된 2차 가열 수율(82.89-85.95%) 및 원료육 대비

**Table 2.** Yield and water-holding capacity of sous-*vide* and oven-dry cooked pork loin hams formulated with various sugars

Trait	Control (without sugar)	Treatment (w/w)			Significance of p value
		0.5% molasses	0.5% allulose	0.5% xylose	
Pumping yield (%)	98.50±0.09	98.45±0.47	98.99±0.31	98.62±0.29	NS <sup>1)</sup>
1st cooking yield (%)	72.02±0.50 <sup>b</sup>	78.13±1.72 <sup>a</sup>	78.11±1.14 <sup>a</sup>	72.30±0.74 <sup>b</sup>	<0.001
2nd cooking yield (%)	85.95±1.90	84.29±0.63	84.39±0.50	82.89±0.74	NS
Final yield (%)	70.07±3.74	74.31±6.15	74.82±3.30	72.18±3.42	NS

The salt concentration of all treatments was equally fixed as 2% (w/w) with the 15% pumping ratio.

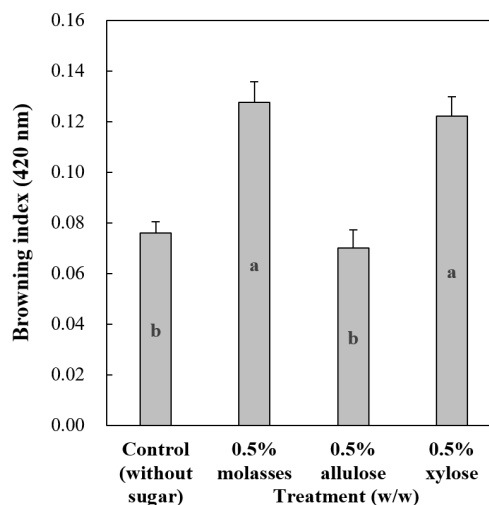
<sup>a,b</sup> Means sharing the same superscript letter within a row are not significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

<sup>1)</sup> NS: non-significance (p>0.05).

최종제품의 수율을 측정된 최종 수율(70.07-74.82%)은 대조구와 당 첨가구 사이의 유의적 차이를 나타내지 않았다. 1차 가열 수율에서 당밀 첨가구는 대조구보다 유의적으로 높은 수치를 나타내었는데 ( $p < 0.05$ ), 이는 당밀에 포함된 식이섬유와 같은 다당류의 영향인 것으로 사료된다(Paknejad *et al.*, 2019). Choi 등(2010)의 연구에 따르면 식이섬유의 첨가는 수분 결합 및 수분 보유능력 등의 기능적 특성을 제공하여 식육가공품에 첨가하면 가열 손실을 감소시키는 긍정적 효과를 보고하였다. 반면, 자일로스의 첨가는 1차 가열 수율에서 유의적으로 낮은 수치를 나타내었는데, 이는 환원당인 자일로스가 다른 당 처리구와 비교하였을 때 더 높은 수준의 마이야르 반응 및 이성체화 반응을 야기하기 때문이라고 사료된다(Hadipernata *et al.*, 2016). 한편, Hadipernata 등(2016)은 설탕을 일정 비율로 대체하여 제조한 계육소시지에서 알룰로스의 보수력 향상 효과를 보고한 바 있다. 그러나 본 연구에서 알룰로스 첨가에 의한 수비드 및 건식 가열한 돈육 등심햄의 보수력 향상 효과는 나타나지 않았다. 이는 본 연구에서 상대적으로 낮은 당 첨가 수준이 적용된 점 및 2단계의 열처리 공정을 거쳐 앞서 언급한 이전의 연구와 달리 당류에 의한 영향이 미미하게 나타난 것으로 사료된다.

### 당 첨가에 따른 갈변지수

당밀, 알룰로스 및 자일로스의 첨가에 따른 갈변지수는 Fig. 1에 나타내었다. 일반적으로 갈변지수는 마이야르 반응물의 생성 강도를 확인하기 위한 지표로 활용한다(Kouakou *et al.*, 2014). 당의 첨가는 수비드 가열한 돈육 등심햄을 2차 건식 가열했을 때 갈변지수를 유의적으로 변화시켰다( $p < 0.05$ ). 2차 건식 가열을 통해 마이야르 반응을 유도한 돈육 등심햄의 갈변지수는 대조구와 비교하여 당밀 및 자일로스 첨가구에서 유의적으로 높은 수치를 나타내었다. 당밀은 높은 당 함량(40-60%)을 나타내어 열처리에 의한 주스 농축 시 가공 및 저장 중 당밀에서 발생하는 비효소적 갈변반응을 촉진하며, 일정량의 캐러멜 물질, 멜라노이딘 및 멜라닌과 같은 갈색 물질이 포함되어 갈변지수의 증가를 야기한 것으로 사료된다(Tounsi *et al.*, 2017; Zhang *et al.*, 2021). 따라서, 당밀의 높은 갈변지수는 마이야르 반응물의 생성 외에도 당밀에 포함된 갈색 물질에 의한 것으로 추측되며, 이는 Fig. 2에서 당밀(w/v)의 농도가 증가함에 따라 갈변지수 측정 파장(420 nm)의 흡광도 값이 선형적으로 증가함으로 확인할 수 있었다. 이와 달리 자일로스를 첨가한 돈육 등심햄의 높은 갈변지수는 마이야르 반응물의 생성에 기인한 결과로 사료된다.



**Fig. 1. Browning index of sous-vide and oven-dry cooked pork loin hams formulated with various sugars.** The salt concentration of all treatments was equally fixed as 2% (w/w) with the 15% pumping ratio. Each error bar indicates the standard deviation. a,b Bars showing means with the same letter are not significantly different ( $p > 0.05$ ).

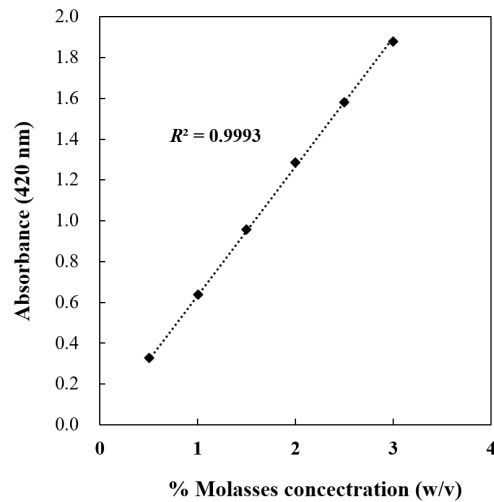


Fig. 2. Change in absorbance (420 nm) of molasses with different concentrations (0-4%, w/v).

**전단력**

당밀, 알룰로스 및 자일로스의 첨가에 따른 수비드 및 건식 가열한 돈육 등심햄의 전단력은 Fig. 3에 나타내었다. 당의 첨가는 수비드 및 건식 가열한 돈육 등심햄의 전단력을 유의적으로 변화시켰다 ( $p < 0.05$ ). 전단력은 보수력 및 수분함량과 밀접한 관계를 가지며, 육제품의 선호도와 관련이 있어 일반적으로 전단력 값이 낮은 육제품이 바람직하다고 알려져 있다(Jeong et al., 2018). 대조구의 전단력은 2.46 kg이었고, 알룰로스 및 자일로스 첨가구는 이와 유사한 수준을 나타내었다( $p > 0.05$ ). 전단력은 시료의 종류 및 상태에 따라 달라질 수 있지만, 이전의 연구에서 60°C에서 4시간 수비드 가열한 돈육 등심의 전단력이 2.61 kg 수준으로 보고된 바 있다(Kurp et al., 2022). 이러한 결과는 본 연구에서 수비드 가열 후 건식 가열한 돈육 등심햄의 전단력과 유사한 수치를 나타내어, 수비드 가열 후 오븐 건식 가열에 따른 전단력 변화는 크지 않다고 사료된다. 예상과 달리 당밀 첨가구는 유의적으로 가장 높은 전단력을 나타내었는데, 이는 당밀에 포함되어 있는 고농도의 당분이 가열 중 육류 내부에서 젤 형성을 촉진하고, 고온 가열 중 급속히 경화된 결과라고 사료된다(Prabhu et al., 1996).

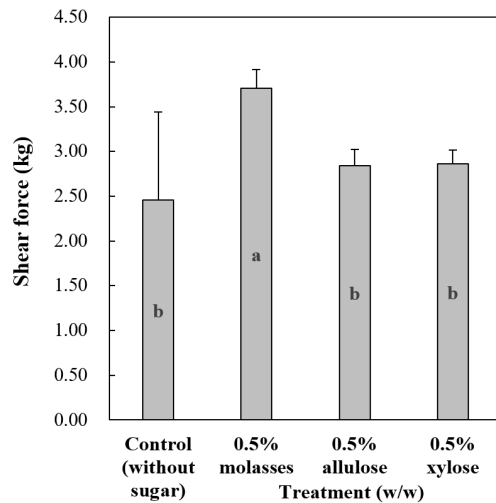
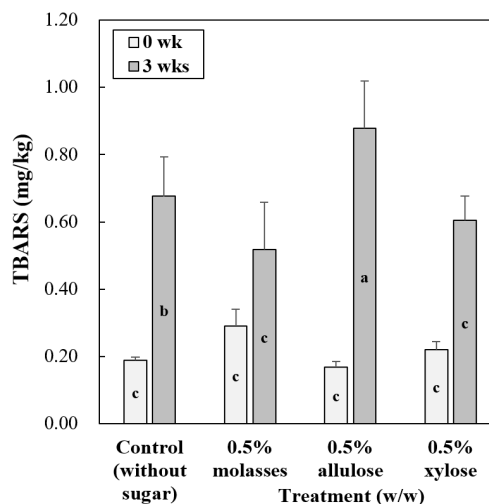


Fig. 3. Shear force of sous-vide and oven-dry cooked pork loin hams formulated with various sugars. The salt concentration of all treatments was equally fixed as 2% (w/w) with the 15% pumping ratio. Each error bar indicates the standard deviation. a,b Bars showing means with the same letter are not significantly different ( $p > 0.05$ ).





**Fig. 4.** Lipid oxidation (2-thiobarbituric acid reactive substances, TBARS) of sous-vide and oven-dry cooked pork loin hams formulated with various sugars at 0 and 3 weeks of refrigerated storage. The salt concentration of all treatments was equally fixed as 2% (w/w) with the 15% pumping ratio. Each error bar indicates the standard deviation. a-c Bars showing means with the same letter are not significantly different ( $p>0.05$ ).

#### 냉장저장 중 지질산패도

당밀, 알룰로스 및 자일로스의 첨가에 따른 수비드 및 건식 가열한 돈육 등심햄의 냉장저장 기간 중 지질산패도는 Fig. 4에 나타내었다. 돈육 등심햄의 지질산패도는 당 종류 및 저장 기간 사이의 유의적인 상호작용을 나타내었다. 저장 초기(0주차) 당 첨가 종류에 따른 돈육 등심햄의 지질산패도는 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 그러나 저장 3주차의 지질산패도에서 알룰로스 첨가구는 가장 높은 수치를 나타낸 반면, 당밀 첨가구에서 가장 낮은 수치가 관찰되었다( $p<0.05$ ). Kara 등(2023)의 연구에서 사탕무 당밀 추출물은 항산화능을 나타내며, 말론디알데하이드(MDA)의 생성을 억제한다고 보고하였다. 따라서, 당밀 첨가구에서 냉장저장 중 지질산패가 억제된 것은 당밀에 첨가된 항산화 성분(비타민 B<sub>1</sub>, 비타민 B<sub>2</sub> 등) 및 가열 중 생성된 항산화성 마이야르 반응물 때문이라고 사료된다 (Popov *et al.*, 2020).

## IV. 요약

본 연구는 당 종류(당밀, 알룰로스 및 자일로스)가 수비드 및 건식 가열한 돈육 등심햄의 이화학적 특성에 미치는 평가하였다. 당의 첨가는 등심햄의 가열 pH의 유의적인 변화를 야기하였고, 알룰로스를 첨가한 돈육 등심햄이 가장 낮은 pH를 나타내었다( $p<0.05$ ). 돈육 등심햄의 색도는 당 첨가 처리구에서 유의적인 명도의 저하가 관찰되었다. 또한 자일로스의 첨가는 등심햄의 적색도를 변화시켰으며, 당밀의 첨가는 황색도 변화에 큰 영향을 야기하였다( $p<0.05$ ). 갈변지수는 자일로스와 당밀 첨가 돈육 등심햄에서 유의적으로 높은 수치를 나타내었다. 전단력은 수치상으로 미미한 차이를 보였으나, 당밀 첨가 돈육 등심햄에서 다소 높은 수치를 나타내었다( $p<0.05$ ). 냉장저장 기간 중 지질산패도는 3주차에서 당밀을 첨가한 돈육 등심햄이 가장 낮은 수치를 나타내었다( $p<0.05$ ) 따라서, 본 연구는 당 종류가 0.5%(w/w)의 첨가 수준에서도 수비드 및 건식 가열한 돈육 등심햄의 pH, 색도, 전단력 및 냉장저장 중 지질산패도에 큰 영향을 미치는 요인임을 보여준다. 나아가 향후 연구에서는 관능적 특성을 포함한 식육가공품의 품질 특성 향상을 위한 당류의 활용전략(첨가량, 첨가방법 및 혼합사용 등) 연구가 필요하다고 사료된다.



## V. Acknowledgements

Following are results of a study on the "Leaders in INdustry-university Cooperation 3.0" Project (Gyeongsang National University), supported by the Ministry of Education and National Research Foundation of Korea.

## VI. References

1. Buege JA, Aust SD. 1978. Microsomal lipid peroxidation. *Method Enzymol* 30:302-310.
2. Choi YS, Park KS, Choi JH, Kim HW, Song DH, Kim JM, Chung HJ, Kim CJ. 2010. Physico-chemical properties of chicken meat emulsion systems with dietary fiber extracted from *makeolli* lees. *Korean J Food Sci Anim Resour* 30:910-917.
3. Hadipernata M, Ogawa M, Hayakawa S. 2016. Effect of D-allulose on rheological properties of chicken breast sausage. *Korean J Poult Sci* 95:2120-2128.
4. Hong JH, Kim HY, Kang SH, Baek UB, You JS, Han JW, Kook M. 2020. Quality properties of chicken breast *tteokgalbi* with D-allulose and sprout-barley. *Resources Sci Res* 2:18-27.
5. Hwang YK, An HL. 2020. Quality characteristics of muffins with molasses. *Korea J Culi Sci & Hos Res* 26:56-66.
6. Ismail I, Hwang YH, Bakhsh A, Lee SJ, Lee EY, Kim CJ, Joo ST. 2022. Control of sous-vide physicochemical, sensory, and microbial properties through the manipulation of cooking temperatures and times. *Meat Sci* 188:108787.
7. Jamir L, Kumar V, Kaur J, Kumar S, Singh H. 2020. Composition, valorization and therapeutical potential of molasses: a critical review. *Environ Technol Rev* 10:131-142.
8. Jeong K, Hyeonbin O, Shin SY, Kim YS. 2018. Effects of sous-vide method at different temperatures, times and vacuum degrees on the quality, structural, and microbiological properties of pork ham. *Meat Sci* 143:1-7.
9. Jeong KY, O HB, Shin SY, Kim YS. 2018. Effects of sous-vide method at different temperatures, times and vacuum degrees on the quality, structural, and microbiological properties of pork ham. *Meat Sci* 143:1-7.
10. Kara M, Seçgin Z, Arslanoğlu ŞF, Dinç S. 2023. Endogenous food-borne sugar beet molasses carbon dots for alleviating the drought and salt stress in tobacco plant. *J Plant Growth Regul* 1-16.
11. Kouakou C, Bergé JP, Baron R, Lethuaut L, Prost C, Cardinal M. 2014. Odor modification in salmon hydrolysates using the Maillard reaction. *J Aquat Food Prod Technol* 23:453-467.
12. Kurp L, Danowska-Oziewicz M, Kłębukowska L. 2022. Sous vide cooking effects on physicochemical, microbiological and sensory characteristics of pork loin. *Appl Sci* 12:2365.
13. Lee KM, Lee JH, Kim HY. 2019. Effect of nitrite substitution of pork emulsion sausage with red beet powder. *Resources Sci Res* 1:32-38.
14. Li DY, Yuan Z, Liu ZQ, Yu MM, Guo Y, Guo Y, Liu XY, Zhang M, Liu HL, Zhou DY. 2020. Effect of oxidation and Maillard reaction on color deterioration of ready-to-eat shrimps during storage. *Food Sci Technol* 131:109696.

15. Li X, Liu SQ. 2021. Effect of pH, xylose content and heating temperature on colour and flavour compound formation of enzymatically hydrolysed pork trimmings. *Food Sci Technol* 150:112017.
16. Paknejad MS, Motaharifard MS, Barimani S, Kabiri P, Karimi M. 2019. Traditional, complementary and alternative medicine in children constipation: a systematic review. *Daru* 27:811-826.
17. Popov VS, Vorobyeva NV, Svazlyan GA, Naumov NM, Gryaznova O A. 2020. Overview of metabiotics and probiotic cultures during fermentation of molasses. *Syst Rev Pharm* 11:813-817.
18. Prabhu, GA. 1996. Hydrocolloids in processed meat. Ph. D. thesis, Iowa State University. Iowa, USA.
19. Przybylski W, Jaworska D, Kajak-Siemaszko K, Sałek P, Pakuła K. 2021. Effect of heat treatment by the sous-vide method on the quality of poultry meat. *Foods* 10:1610.
20. Ruiz-Carrascal J, Roldan M, Refolio F, Perez-Palacios T, Antequera T. 2019. Sous-vide cooking of meat: A maillarized approach. *Int J Gastron Food Sci* 16:100138.
21. Song DH, Hwang YJ, Ham YK, Ha JH, Kim YR, Kim HW. 2020. Meat quality attributes and oxidation stability of loin chops from finishing gilts and cull sows. *J Food Sci Technol* 57:3142-3150.
22. Song DH, Yang NE, Seomoon KM, Jang IS, Chin KB, Kim HW. 2023. Sous-vide cooking as a practical strategy to improve quality attributes and shelf stability of reduced-salt chicken breast ham. *Poult Sci* 102:102444.
23. Starowicz M, Zieliński H. 2019. How Maillard reaction influences sensorial properties (color, flavor and texture) of food products? *Food Rev Int* 35:707-725.
24. Sun A, Wu W, Soladoye OP, Aluko RE, Bak KH, Fu Y, Zhang Y. 2022. Maillard reaction of food-derived peptides as a potential route to generate meat flavor compounds: A review. *Int Food Res J* 151:110823.
25. Thatsarani APK, Alahakoon AU, Liyanage R. 2022. Current status and future trends of sous vide processing in meat industry; A review. *Trends Food Sci Technol* 129:353-363.
26. Tounsi L, Karra S, Kechaou H, Kechaou N. 2017. Processing, physico-chemical and functional properties of carob molasses and powders. *J Food Meas Charact* 11:1440-1448.
27. Wongwiwat P, Wattanachant S. 2014. Effect of sugar types on physical attributes and crystalline structure of sweet-dried chicken meat product. *Int Food Res J* 21:2285-2291.
28. Zhang S, Wang J, Jiang H. 2021. Microbial production of value-added bioproducts and enzymes from molasses, a by-product of sugar industry. *Food Chem* 346:128860.
29. Zhang Z, He S, Zhang L, Li X, Jin R, Liu Q, Chen S, Wang J, Sun H. 2022. The potential application of vegetable oils in the D-xylose and L-cysteine Maillard reaction system for meaty aroma production. *Int Food Res J* 155:111081.