

1
2
3
4

TITLE PAGE
- Food and Life-
Upload this completed form to website with submission

ARTICLE INFORMATION	Fill in information in each box below
Article Type	Article
Article Title (English)	Evaluation of Physicochemical Properties of Low- Fat Model Sausages with Faba Bean Protein Isolate and Faba Bean Protein with Transglutaminase
Article Title (Korean) English papers can be omitted	누에콩 단백질과 지방 대체재와 Transglutaminase 를 활용한 저지방 모델 소시지의 이화학적 특성 평가
Running Title (English, within 10 words)	누에콩 단백질과 Transglutaminase 를 첨가한 저지방 소시지의 품질특성
Author (English)	Park Chae Bin ¹ , Koo Bok Chin ¹
Affiliation (English)	¹ department of Animal Science, Chonnam National University, Gwangju, South Korea
Author (Korean) English papers can be omitted	박채빈 ¹ , 진구복 ¹
Affiliation (Korean) English papers can be omitted	¹ 전남대학교 동물자원학부
Special remarks – if authors have additional information to inform the editorial office	
ORCID and Position(All authors must have ORCID) (English) https://orcid.org	Park Chae Bin (Graduate Student, https://orcid.org/0009-0003-5973-2644) Koo Bok Chin(Professor, https://orcid.org/0000-0002-8062-6331)
Conflicts of interest (English) List any present or potential conflict s of interest for all authors. (This field may be published.)	The authors declare no potential conflict of interest.
Acknowledgements (English) State funding sources (grants, funding sources, equipment, and supplies). Include name and number of grant if available. (This field may be published.)	This study was supported by the National Research Foundation (NRF Project # RS-2023-00248528).
Author contributions (This field may be published.)	Conceptualization: Chin KB Data curation: Chin KB, Park CB Formal analysis: Park CB Methodology: Chin KB, park CB Software: Chin KB, Park CB Validation: Chin KB Investigation: Park CB Writing - original draft: Park CB

	Writing - review & editing: Park CB, Chin KB (This field must list all authors)
Ethics approval (IRB/IACUC) (English) (This field may be published.)	This manuscript does not require IRB/IACUC approval because there are no human and animal participants.

5

6 **CORRESPONDING AUTHOR CONTACT INFORMATION**

For the <u>corresponding</u> author (responsible for correspondence, proofreading, and reprints)	Fill in information in each box below
First name, middle initial, last name	Koo Bok Chin
Email address – this is where your proofs will be sent	kbchin@jnu.ac.kr
Secondary Email address	kbchin@hanmail.net
Postal address	61186
Cell phone number	010-8615-8590
Office phone number	062-530-2121
Fax number	062-530-2129

7

8

누에콩 단백질과 지방 대체재와 Transglutaminase를 활용한 저지방 모델 소시지의 이화학적 특성 평가

Evaluation of Physicochemical Properties of Low- Fat Model Sausages with Faba Bean Protein Isolate and Faba Bean Protein with Transglutaminase

Abstract

This study was performed to evaluate physicochemical and textural properties of low-fat sausages with the addition of various types of fat replacers at 1.0% for the replacement of pork fat. pH was higher ($p<0.05$) in the Faba bean protein isolate (FPI)-treatment compared to other treatments, while redness (a^*) increased ($p<0.05$) in all treatments ($p<0.05$). Hardness and springiness increased with the addition of Soy bean protein isolate (SPI) and FPI, further improved with both Transglutaminase (TG) was FPI. Gumminess and chewiness was higher in the treatments with both FPI and TG ($p<0.05$) than any others, while cohesiveness didn't different among groups. Cooking losses (CLs, %) and expressible moisture (%) values were higher in the control rather than the treatments ($p<0.05$). In conclusion, fat replacers improved water retention for the manufacture of low-fat meat products, while SPI and FPI enhanced the textural properties. Furthermore, the addition of 1.0% TG powder in combination with FPI improved texture and water holding capacity, making it better products of low-fat meat products as compared to those without fat replacers.

Key words: fat replacer, *Vicia faba*, transglutaminase, low-fat model sausage

36

37

서론

38 ‘식육가공품’이란 필수아미노산이 풍부하며, 아미노산 조성이 인간의 몸을 구성하는
39 근육 단백질의 아미노산 조성과 유사한 돼지고기, 소고기 및 닭고기를 원료로 하여 염지,
40 분쇄 및 세절, 건조 등의 공정을 거쳐 가공한 것으로 기호성이 높고 간편하게 단백질을 섭취
41 할 수 있다는 장점을 가진다. 소시지와 같은 육가공품의 제조 시에는 지방을 첨가하는
42 것이 대부분인데, 한국소비자원의 조사에 따르면 식육가공품의 지방 함량은 ‘일반햄
43 (15.8~23.0%), 캔햄(16.1~27.9%), 소시지(19.8~25.9%)’로 이는 원료육 도체의 지방함량 편
44 차를 감안하더라도, 상당히 높은 수준으로 확인된다(Korea Consumer Agency, 2017). 또한
45 FAO와 WHO에 따르면 포화지방이 많이 포함된 가공육의 과도한 섭취는 관상동맥계 질환
46 의 원인이 될 수 있으며, 이에 따라 현재 육류 산업에서는 동물성 지방을 식물성 지방으로
47 대체하거나, 하이드로 콜로이드를 활용하여 3D 젤을 만드는 것과 같이 지방 대체재 연구에
48 초점을 맞추고 있다 (Ayuso et al., 2025).

49 육제품에서 지방을 제거하면 소비자들이 요구하는 부드러운 저작감과 같은 식감에
50 영향을 미치게 된다. 이를 보완하기 위해서 하이드로콜로이드와 같은 대체물질을 추가하거나
51 다양한 종류의 식이섬유를 추가하는 등 다양한 연구가 진행되고 있으며(Chin and Choi,
52 2001; Chin and Chung, 2002), Choi와 Chin(2002)의 연구결과에 따르면 곤약분말과 카라
53 기난 및 대두 단백질의 복합 지방대체재의 첨가가 단일 지방 대체재에 비하여 기능성을 높
54 이며 유화형 소시지와 가장 흡사하다고 보고하였다. 대두 단백질은 단백질 함량이 높고, 보
55 수성과 겔화가 잘 된다는 특성을 가지고 있어서 (Kyriakopoulou et al., 2021; Lopes-da-
56 Silva et al., 2019) 육가공품 분야와 더불어 다양한 식품 분야에서 사용되고 있지만, 면역체
57 계가 과도하게 반응하여 생명에 지장이 있는 Anaphylaxis와 같은 다양한 알러지 반응
58 (Ballmer-Weber et al., 2007)으로 세계적으로 문제가 되고 있기 때문에 이를 보완할 수 있

는 식물성 단백질 원료에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

‘파바콩(*Vicia faba*)’은 북아프리카 원산으로 전세계에서 재배되며 ‘잠두’라고도 불리며 파바빈이라 불리는 단백질 함량이 27.6%로 병아리콩(19.53%), 렌틸콩(22.15%)을 포함한 콩과류에 비해 비교적 높고(Martineau-Côté et al., 2022; Raikos et al., 2014), 건조 과정을 통해 단백질을 분리할 경우 단백질 함량이 약 70%에 달한다(Schutyser et al., 2015). 주로 globulin(55~60%), albumin(20%), glutelin(15%), prolamine (8%)의 네가지 종류의 단백질로 구성되며 비타민과 미네랄이 풍부하며 저지방이라는 특징을 가진다(Rahate et al., 2021). 뿐만 아니라 파바콩은 페놀성 화합물, 식이섬유(Karataş et al., 2017), 비단백질 아미노산, 생리활성 펩타이드가 포함된 건강 증진 효과를 보인다. Kim 과 Chin (2024)의 연구에 따르면 돼지고기 근원섬유에 1kg 당 10 g 이상의 파바콩 분말을 첨가했을 때 겔 강도와 보수력이 증가하였으며, 파바콩 농축물과 귀리 섬유 농축물을 혼합하여 사용하였을 때, 겔 합제 역할을 하여 유용하다고 보고되었다(Ramos-Diaz et al., 2022).

Transglutaminase(TG)는 단백질내에 결합된 글루타민 잔기의 γ -카복시아마이드 그룹과 특정 단백질 내 라이신 잔기의 ϵ -아미노 그룹을 포함한 다양한 1차 아민 사이에서 아실 전달 반응을 촉매하는 효소이다. TG는 단백질 용해도, 경도 및 탄력성과 보수력을 증진시킨다는 특성을 지니기 때문에(Chin et al, 2009a; Lee and Chin, 2010), 수산물, 어육, 유가공, 육가공제품과 같이 넓은 범위에서 사용되고 있다(Gauche et al., 2008; Trespalacios and Pla, 2007). 따라서 본 연구는 돼지 등지방 5%와 지방대체재의 상호작용을 평가하고, 분리대두단백을 참고하여 파바콩 단백질의 지방 대체재로서의 효과를 실험하고 파바콩 단백질과 TG복합첨가 했을 때의 효과를 확인하기 위해 본 연구가 진행되었다.

재료 및 방법

81

82 **모델 소시지 제조**

83 모델 소시지의 제조는 Table 1의 배합비에 따라 제조하였다. 대조구(CTL)에는 돼지 등지
84 방이 단독으로 5 % 첨가되었으며, 대조구(CTL)를 제외한 모든 처리구에 돼지 등지방 5 %
85 와 곤약 분말과 카라기난을 1:1 비율로 혼합 후 증류수와 1:9 비율로 수화한 지방 대체재
86 1.0%를 동일하게 복합 첨가하였다. 돼지 등지방과 지방 대체재만 첨가한 처리구를 참조구
87 (REF), 단백질 함량이 약 90%인 분리대두(Soy Protein Isolate, SPI)를 1% 첨가하는 처리구
88 (SPI)와 동일하게 Faba bean Protein isolate(FPI, 90% 단백질)을 1% 첨가한 처리구를 제조
89 하였다(FPI). 또한 FPI를 단독 첨가하는 것과 TG분말을 복합 첨가하였을 때 나타나는 모델
90 소시지의 특성을 비교하기 위해 FPI를 1 % 첨가한 처리구에 TG분말을 1 % 복합 첨가한 처
91 리구(FPTG)를 제조하였다. 결체 조직이 제거된 돈육 뒷다리살 부위와 배합비에 따른 첨가
92 물을 넣고 믹서(HMC-401, Hanil Electric Co., Ltd., Seoul, Korea)를 이용하여 30초씩 약
93 4회 균질 한 후 모델 소시지 반죽은 50 mL conical tube에 40 g 씩 주입하고 기공을 제거
94 하기 위해 원심분리기 (VS-5500, Vision Science Co., Ltd., Daejeon, Korea)에서 약 1700
95 ×g 조건으로 2분동안 원심분리한 후, 75 °C 온도의 항온수조(WB-22, Daihan Scientific Co.,
96 Ltd., Seoul, Korea)에서 중심부 온도가 72 °C가 될 때까지 가열하고, 가열이 끝나면
97 conical tube에 담긴 채로 모델 소시지를 얼음 속에 넣어 급속 냉각을 한 후 4 °C 냉장고
98 에 저장하며 실험을 진행하였다.

99 **저지방 소시지의 품질평가**

100 **pH 측정**

101 고체용 pH-meter(340, Mettler-Toledo, Schwerzenbach, Switzerland)를 사용하여 모델
102 소시지의 pH를 5회 측정한 후 평균값을 구하여 평가하였다.

103 색도 측정

104 CIE Color Reader (CR-10, Minolta Co., Ltd., Tokyo, Japan)를 사용하여 1.5 cm 두께로 잘
105 린 시료의 단면을 각각 6회 측정하였다. 측정된 명도(CIE L^* , Lightness), 적색도(CIE a^* ,
106 redness), 황색도(CIE b^* , yellowness)의 값은 평균을 구하여 평가하였다.

107 가열감량 (Cooking loss, CL, %)

108 가열 전과 가열 후 모델 소시지의 무게를 측정하고, 그 값의 차이를 아래의 식에 따라 구
109 한 후 평균값을 구한 후 평가하였다.

110 가열 감량(%) = (가열 전 시료 함량 - 가열 후 시료 함량/시료의 무게)×100

111 유리수분 (Expressible moisture, %)

112 유리수분은 Jauregui 등(1981)의 방법에 따라 모델 소시지를 약 1.5 g의 직육면체 모양
113 으로 자른 후, 1/4 크기의 여과지(Whatmann #3)로 감싸고, 50 mL conical tube에 넣은 후
114 원심분리기(VS-5500, vision Science Co., Ltd., Daejeon, Korea)에서 1700×g 조건으로 15
115 분동안 원심분리 하였다. 원심분리 후, 여과지에 유리된 유리 수분량을 측정하고 다음의 계
116 산식에 따라 유리수분량을 구하였다.

117 유리수분량(Expressible moisture, EM, %) = (여과지에 유리된 수분의 양/시료의 무게)×100

118 조직감 (Texture profile analysis, TPA)

119 조직감은 Bourne (1978)의 방법에 의하여 모델 소시지를 처리구당 10개씩 직경 1.25 cm,
120 높이 1.3 cm로 잘라 준비한 후 Universal Testing Machine(3344, instron Corporation,
121 Norwood, MA, USA)를 이용하여 첫 번째 저작에서는 경도(hardness, gf), 응집성
122 (cohesiveness, mm) 탄력성(springiness, mm)을 측정하고 두 번째 저작에서는 경도, 응집
123 성, 탄력성을 곱한 값인 저작성(chewiness)과 경도와 응집성을 곱한 값인 검성

(gumminess)을 측정하며, 이를 10번 측정한 값의 평균을 구한 후 평가하였다.

통계처리

본 연구는 SPSS software program(27.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하여 지방 대체제와 파바콩 단백질을 단독 및 Transglutaminase와 복합 첨가한 저지방 모델 소시지의 이화학적 및 조직 특성을 분석하여 일원배치법(One-way analysis of variance, 1-way ANOVA)으로 통계처리가 수행되었으며, 모든 데이터의 사후 분석은 Duncan's multiple range test에 의해 검정하고, $p < 0.05$ 의 수준에서 유의차를 나타내었다.

결과 및 고찰

지방 대체제와 파바콩 단백질을 단독 및 Transglutaminase와 복합첨가한 저지방 모델 소시지의 품질분석

pH 및 색도

지방 대체제와 파바콩 단백질을 단독 및 Transglutaminase 와 복합첨가한 저지방 모델 소시지의 pH 와 색도의 측정 결과는 Table 2 와 같다. pH 는 다른 처리구에 비해 FPI 를 단독 첨가한 처리구만 유의적으로 높았다 ($p < 0.05$). 이는 Faba bean Protein isolate 를 제조하기 위해, 단백질을 추출하는 과정에서 알칼리성 용해과정을 거치기 때문으로 높아진 pH 의 영향으로 사료된다(Dangi et al., 2022). 명도(lightness, L^*)는 유의적 차이를 보이지 않았으며 ($p > 0.05$), 적색도(redness, a^*)는 돼지 등지방을 첨가한 대조구(CTL)를 제외한 모든 처리구에서 유의적으로 높게 측정되었다($p < 0.05$). 지방 대체제로 사용된 곤약분말과 카라기난을 수화시켰을 때, 반투명한 친수성 콜로이드구조를 형성하기 때문에 원료육과

함께 분쇄되는 과정을 거치는 과정에서 모델 소시지의 백색도가 상대적으로 증가한 것으로
 사료된다. 이는 식용 오징어의 젤라틴을 1.5% 첨가한 칠면조 소시지에서 젤라틴이 물과
 접촉하여 부피가 증가하고, 백색도에 의해 빛의 산란이 증가했기 때문에 L^* 값이
 증가했다는 이전 연구와 유사하다 (Jridi et al., 2015). 또한 물질의 투명도가 증가하면 빛의
 투과가 증가하고 산란이 감소한다는 물리학적 논리에 근거하여 결과적으로 지방 대체재가
 첨가된 처리구가 대조구와 비교했을 때 적색도가 높게 측정된 것으로 판단된다.
 황색도(yellowness, b^*)는 대조구(CTL)에서 유의적으로 높은 값을 보였는데($p<0.05$), 이는
 등지방이 단독으로 첨가되었기 때문에 다른 처리구들과는 다르게 지방대체재의 영향을
 받지 않아 황색도의 값이 상대적으로 높게 측정된 것이라 판단된다.

가열감량

지방대체재로 사용한 단백질의 차이에 따른 가열감량을 측정한 결과는 Fig. 1 에 나타나
 있다. 대조구(CTL)는 지방대체재가 첨가되지 않아 가열조리로 인한 단백질 변성과
 수분손실이 다른 처리구에 비해 비교적 크기 때문에 가열감량(%)이 높게 측정된 것을
 확인할 수 있다. 이는 지방대체재로 사용된 곤약 분말과 카라기난의 수화력으로 인한
 보수력 증진의 효과로 판단된다. 하지만 지방대체재에 따른 차이는 없었다. Setiaboma
 등(2021)에 의하면 느타리 버섯 30.27%와 닭고기 15.13%를 혼합하여 제조한 제품에서
 곤약 분말과 카라기난을 각각 0.34% 첨가하였을 때 가열감량이 11.34%, 12.17%의 값을
 보였고, 이를 첨가하지 않은 대조구에서는 14.72%를 보여 곤약 분말과 카라기난이
 가열감량을 줄였다는 결과를 보고하였다. Feng 등(2024)의 연구에 따르면
 transglutaminase (0.1, 0.3, 0.5%) 와 κ -carrageenan 0.2%를 단독 혹은 복합첨가하여
 제조한 유화형 프랑크프루트 소시지의 가열감량을 측정한 결과 transglutaminase 0.1%와

κ -carrageenan 0.2%를 복합첨가한 처리구의 값이 1.83%로 가장 낮았고, κ -carrageenan을 단독으로 0.2% 첨가한 처리구의 값은 2.21%인 것으로 보아 TG의 효과를 추가적으로 확인할 수 있었지만, TG 0.5%를 첨가할 경우 가열감량이 증가하였다고 보고하였다.

유리수분 함량

육제품의 보수력을 확인하기 위해 유리수분을 측정한 결과는 Fig. 2에 나타나 있다. 지방 대체재로써 곤약분말과 카라기난이 복합첨가된 처리구(REF, SPI, FPI, FPTG)에서 지방대체재가 첨가되지 않은 대조구(CTL)와 비교했을 때 유리수분의 값이 낮게 측정되었다($p < 0.05$). Majzoobi 등(2017)은 κ -carrageenan, konjac mannan, xanthan gum을 포함한 하이드로콜로이드를 대두단백질로 제조한 식물성 소시지에 농도별(0.3, 0.6, 1.0, 1.5%)로 첨가하였을 때, 1.5% κ -carrageenan 첨가구에서 유리수분이 가장 낮은 값을 기록했다고 보고하였다. 또한 FPI를 단독 첨가한 처리구(FPI)와 TG 1.0%를 복합 첨가한 처리구(FPTG)의 값을 비교하였을 때, TG를 복합첨가한 처리구에서 유리수분을 0.5% 가량 줄일 수 있었고, 이는 FPI와 TG 1.0%가 복합적으로 첨가되어 TG의 가교결합으로 인해 단백질 네트워크가 단단하게 형성되고 유리된 수분을 FPI가 효과적으로 흡수하여 보수력이 향상된 결과로 판단된다. Ouyang 등(2021)의 이전 연구결과에서 TGase를 처리한 myofibrillar and wheat gluten gel (MP/WG)의 특성 연구에 따르면, 대조군에 비하여 0-120 U/g 범위의 TGase 처리는 TGase를 사용하지 않은 대조군에 비해 MP/WG 겔의 보수력을 증가시켰으며, TGase 농도가 90 U/g 일 때 보수력이 최대값인 66%를 보였다고 보고하였다.

조직감

지방 대체재와 파바콩 단백질분말(FPI)을 단독 및 Transglutaminase와 복합첨가에 따른
 저지방 모델 소시지의 조직감 측정 결과는 Table 3와 같다. 경도(hardness)는 SPI와 FPI를
 첨가하였을 때 증가하였다($p<0.05$). 또한 파바콩을 단독 첨가한 처리구(FPI)와 FPI와 TG를
 복합 첨가한 처리구(FPTG)를 비교하였을 때, 경도(hardness)가 추가적으로
 증가하였는데($p<0.05$), 이는 TG를 1.0% 첨가한 결과 단백질 구조가 더욱 단단하게 Lysine
 과 glutamine 사이에 가교결합이 형성되어 경도가 증가한 것이라 판단된다. Tseng
 등(2000)은 저염 닭고기 미트볼에 TG를 다양한 농도별로(0, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4%)첨가하고
 주사 전자 현미경(SEM)으로 관찰한 결과, TG 첨가량이 증가함에 따라 더 단단하고
 규칙적인 겔 구조를 보인다 보고하였으며, 젤라틴에 TG를 첨가하였을 때 경도가
 증가한다는 Calvar 등(2016)의 연구결과와 유사하였다. 탄력성(springiness)은 파바콩
 단백질과 TG를 1.0% 첨가한 처리구(FPTG)에서 유의적으로 높은 값을 보였고($p<0.05$),
 이는 도토리 분말을 지방대체재로 사용하였을 때, 보수성이 유지됨에 따라 다즙성과
 탄력성이 향상되었다는 Chin과 Ban(2008)의 결과와 유사하게 가열감량과 유리수분의 값이
 낮아 보수성이 좋은 파바콩과 TG의 복합첨가구에서 탄력성이 높은 것을 확인할 수 있었다.
 검성은 파바콩과 지방대체재를 복합첨가한 것이 대조구나 지방대체재를 단독으로 첨가한
 처리구에 비하여 높게 나타났다. 저작성(chewiness)은 TG를 첨가한 처리구(FPTG)에서
 다른 처리구(CTL, REF, SPI, FPI)와 비교하여 유의적으로 높은 값을 보였고($p<0.05$), 이는
 TG를 1.0% 첨가한 처리구(FPTG)의 경도와 탄력성이 유의적으로 높은 값을 보인 결과라고
 판단된다. 응집성(cohesiveness)은 각 처리구별 차이를 보이지 않았는데, 이는 돼지
 등지방과 지방대체재가 복합적으로 첨가된 결과로 보수력이 높아지지만 모델 소시지
 내부에 함유하고 있는 많은 수분으로 인해 조직이 연해지기 때문에 응집성이 낮아진
 결과로 판단된다.

요 약

본 연구는 지방 대체재의 첨가 유무와 종류에 따라 5 개의 처리구가 설정되었고(CTL, REF, SPI, FPI, FPTG), 지방 대체재는 곤약 분말과 카라기난을 동일 비율로 수화 후 1% 첨가하였으며, SPI 와 FPI, TG 모두 1% 첨가하였다. 이화학적 분석 결과 pH 는 다른 처리구에 비해 FPI 를 단독 첨가한 처리구만 유의적으로 높았고, 지방 대체재를 첨가한 처리구 모두 대조구와 비교했을 때 적색도가 높아졌으나, 황색도는 모두 낮아졌으며, 명도에서는 유의적 차이가 없었다. SPI 와 FPI 를 첨가했을 때, 조직감 중 경도와 탄력성이 증가하는 것을 볼 수 있었고, TG 를 FPI 와 복합으로 첨가한 결과 경도와 탄력성이 추가로 증가하였다($p<0.05$). FPI 와 TG 를 복합 첨가한 처리구는 대조구 및 다른 처리구에 비해 검성과 저작성에서 유의적으로 높은 값을 보였다($p<0.05$). 반면, 응집성에서는 유의적 차이가 없었다. ($p>0.05$). 이러한 결과를 종합하면, 저지방 육제품에서 지방대체재는 보수력 증진에, 그리고 SPI와 FPI는 조직감 향상에 효과적임을 알 수 있다. 또한 FPI와 TG를 1.0% 복합 첨가함으로써 조직감과 보수력의 향상이 더욱 뚜렷하게 나타나 저지방 육제품의 제조 시 TG 의 복합첨가가 콩단백질의 단독 첨가에 비하여 유용할 것으로 판단된다.

Conflicts of interest

The authors declare no potential conflict of interest.

Acknowledgements

This study was supported by the National Research Foundation (NRF Project # RS-2023-00248528).

References

- Amarowicz R, Shahidi F. 2017. Antioxidant activity of broad bean seed extract and its phenolic composition. *J Funct Foods*. 38: 656-662.
- AOAC. 2000. Official methods of analysis. Association of official analytical chemists, Washington, DC, USA. pp 1-8.
- Ayuso P, García-Pérez P, Nieto G. 2025. New Insights and Strategies in the Nutritional Reformulation of Meat Products Toward Healthier Foods. *Molecules*, 30(12), 2565.
- Ballmer-Weber BK, Holzhauser T, Scibilia J, Mittag D, Zisa G, Ortolani C, Osteballe M, Poulsen LK, Vieths S, Bindslev-Jensen C. 2007. Clinical characteristics of soybean allergy in Europe: a double-blind, placebo-controlled food challenge study. *J Allergy Clin Immunol*. 119(6): 1489-1496.
- Bourne MC. 1978. Texture profile analysis. *Food Technol* 32:62-66.
- Calvarro J, Perez-Palacios T, Ruiz J. 2016. Modification of gelatin functionality for culinary applications by using transglutaminase. *Int J Gastron Food Sci*. 5: 27-32.
- Chin KB, Ban GH. 2008. Evaluation of two levels and types of acorn powder on product quality of low-fat sausages as a fat replacer. *J Anim Sci Technol*. 50(2):217-226.
- Chin KB, Chung BK. 2002. Development of low-fat meat processing technology using

254 interactions between meat proteins and hydrocolloids-I optimization of
 255 interactions between meat proteins and hydrocolloids by model study. J Korean
 256 Soc Food Sci Nutr. 31(3): 438-444.

257 Chin KB, Choi SH. 2001. Evaluation of the addition of sodium lactate and a fat replacer
 258 in very low-fat bologna (model system) on the product quality and shelf-life
 259 effect during. J Korean Soc Food Sci Nutr. 30(5): 858-864.

260 Chin KB, Go MY, Xiong YL. 2009. Konjac flour improved textural and water retention
 261 properties of transglutaminase-mediated, heat-induced porcine myofibrillar
 262 protein gel: Effect of salt level and transglutaminase incubation. Meat Sci. 81.
 263 565-572.

264 Chin KB, Lee HL, Kook SH, Yoo SS, Chun SS. 2004. The physicochemical, textural
 265 and sensory characteristics of low-fat sausages. Food Sci Biotechnol.
 266 13(13):481-485.

267 Choi SH, Chin KB. 2002. Development of low-fat comminuted sausage manufactured
 268 with various fat replacers similar textural characteristics to those with
 269 regular-fat counterpart. Korean J Food Sci Technol. 34(4):577-582.

270 Chin KB, Kim KH, Lee HC. 2006. Physico-chemical and textural properties, and
 271 microbial counts of meat products sold at Korean markets. Food Sci Anim
 272 Resour. 26(1):98-105.

273 Colmenero FJ. Relevant factors in strategies for fat reduction in meat products. 2000.

274 Trends Food Sci Technol. 11(2):56-66.

275 Dangi P, Dixit Y, Kaur M, Singh J. 2002. Faba bean proteins: Extraction methods,
 276 properties and applications. In: Punia Bangar S, Dhull SB, editors. Faba bean:
 277 Chemistry, properties and functionality. Cham: Springer. pp.245-273.

278 Feng Y, Liang X, Zhang J, Shi P, Cao C, Zhang H, Liu Q, Kong B. 2024. Underlying
 279 mechanisms and combined effects of transglutaminase and κ -carrageenan
 280 on the quality profiles and in vitro digestibility of frankfurters. Food Hydrocoll.
 281 147: 109344.

282 Gauche C, Vieira JT C, Ogliari PJ, Bordignon-Luiz MT. 2008. Crosslinking of milk whey
 283 proteins by transglutaminase. Process Biochem. 43(7): 788-794.

284 Jauregui CA, Regenstein J M, Baker R C. A 1981. simple centrifugal method for
 285 measuring expressible moisture, a water-binding property of muscle foods. J
 286 Food Sci. 46:1271-1273.

287 Jridi M, Abdelhedi O, Souissi N, kammoun M, Nasri M, Ayadi MA. 2015. Improvement
 288 of the physicochemical, textural and sensory properties of meat sausage by
 289 edible cuttlefish gelatin addition. Food Biosci. 2015. 12: 67-72.

290 Karataş SÇ, Günay D, Sayar S. 2017. *In vitro* evaluation of whole faba bean and its
 291 seed coat as a potential source of functional food components. Food
 292 Chem. 230:182-188.

293 Kim GH, Chin KB. 2024. Effects of faba bean protein isolate on rheological properties

of pork myofibrillar protein gels and quality characteristics of pork low-fat model sausages. *J Sci Food Agric.* 104(10): 6322-6329.

Korea Consumer Agency. 2017. Fat (pork backfat) added to ham and sausage must be listed separately on the ingredient label. [Online] Available at: <https://www.kca.go.kr/home/synapviewer.do?menukey=4002&fno=10015260&bid=00000013&did=1002081063> [Accessed 23 Jun. 2025].

Kyriakopoulou K, Keppler JK, van Der Goot AJ. 2021. Functionality of ingredients and additives in plant-based meat analogues. *Foods.* 10(3):600.

Lee HC, Chin KB. 2010. Application of microbial transglutaminase and functional ingredients for the healthier low-fat/salt meat products: A review. *Food Sci Anim Resour.* 30(6): 886-895.

Lopes-da-Silva JA, Monteiro SR. 2019. Gelling and emulsifying properties of soy protein hydrolysates in the presence of a neutral polysaccharide. *Food Chem.* 294:216-223.

Majzoobi M, Talebanfar S, Eskandari MH, Farahnaky A. 2017. Improving the quality of meat-free sausages using κ -carrageenan, konjac mannan and xanthan gum. *Int J Food Sci Technol.* 52(5): 1269-1275.

Martineau-Côté D, Achouri A, Karboune S, L'Hocine L. 2022. Faba bean: an untapped source of quality plant proteins and bioactives. *Nutrients.* 14(8): 1541.

Ouyang Y, Xu J, Ji F, Tan M, Luo S, Zhong X, Zheng Z. 2021. Properties of

transglutaminase-induced myofibrillar/wheat gluten gels. J Food Sci. 2021.
86(6):2387-2397.

Rahate KA, Madhumita M, Prabhakar PK. 2021. Nutritional composition, anti-nutritional factors, pretreatments-cum-processing impact and food formulation potential of faba bean (*Vicia faba* L.): A comprehensive review. LWT - Food Sci Technol. 138:110796.

Raikos V, Neascu M, Russell W, Duthie G. 2014. Comparative study of the functional properties of lupin, green pea, fava bean, hemp, and buckwheat flours as affected by pH. Food Sci Nutr. 2(6): 802-810.

Ramos-Diaz JM, Kantanen K, Edelmann JM, Songtan-Strohm T, Piironen V. 2022. Functionality of oat fiber concentrate and faba bean protein concentrate in plant-based substitutes for minced meat. Curr Res Food Sci. 5: 858-867.

Schutyser MAI, Pelgrom PJM, Van der Goot AJ. 2015. Dry fractionation for sustainable production of functional legume protein concentrates. Trends Food Sci Technol. 45(2): 327335.

Setiaboma W, Kristanti D. 2021. Quality of physicochemical and sensory of mushroom (*Pleurotus ostreatus*) chicken nuggets with carrageenan and konjac as hydrocolloids. IOP Conf Ser: Mater Sci Eng. 1011: 012014.

Takahashi T, Furuichi Y, Mizuno T, Kata M, Tabara A, Kawada Y, Hirano Y, Kubo K, Onozuka M, Kurita O. 2009. Water-holding capacity of insoluble fibre

334 decreases free water and elevates digesta viscosity in the rat. J Sci Food Agric.
335 89(2):245-250.

336 Trespalacios P, Pla R, 2007. Simultaneous application of transglutaminase and high
337 pressure to improve functional properties of chicken meat gels. Food Chem.
338 100: 264272.

339 Tseng T F, Liu DC, Chen MT. 2000, Evaluation of transglutaminase on the quality of
340 low-salt chicken meat-balls. Meat Sci. 55(4): 427-431.

341

Table 1. The formulation of low-fat model sausages with fat replacers and faba protein isolate added alone or combination with transglutaminase

Ingredients ² (%)	Treatments ¹				
	CTL	REF	SPI	FPI	FPTG
1. Meat	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
2. Fat	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
3. Water	33.04	33.04	33.04	33.04	33.04
1) Ice water	33.04	24.04	24.04	24.04	24.04
2) Hydrate water	0.00	9.00	9.00	9.00	9.00
4. NMI	1.96	2.96	3.96	3.96	4.96
1) Salt	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
2) STPP	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
3) Prague powder	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
4) Sodium erythorbate	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
5) Konjac flour + carrageenan	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00
6) Soy protein isolate	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
7) Faba bean protein isolate	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00
8) Transglutaminase (TG)	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
Total	100.00	101.00	102.00	102.00	103.00

¹Treatments: CTL, low-fat sausage (LFS); REF, LFS added with 1.0% fat replacer; SPI, REF added with 1.0% soy protein isolate; FPI, REF added with 1.0% faba bean protein isolate; FPTG, FPI added with Transglutaminase 1.0%.

²Ingredients: NMI, non-meat ingredient; STPP, sodium tripolyphosphate; Prague powder, Consist of 93.75% of salt 6.25% sodium nitrite.

Table 2. pH and color values of low-fat model sausages with fat replacers and faba protein isolate added alone or combination with transglutaminase

	Treatment ¹⁾				
	CTL	REF	SPI	FPI	FPTG
pH	6.00±0.02 ^b	6.13±0.08 ^{ab}	6.07±0.00 ^{ab}	6.25±0.16 ^a	6.18±0.06 ^{ab}
CIE L* (lightness)	70.1±2.69 ^a	70.2±0.64 ^a	69.6±0.35 ^a	68.8±1.63 ^a	69.5±0.14 ^a
CIE a* (redness)	6.36±0.23 ^b	9.07±0.71 ^a	9.15±0.53 ^a	9.15±0.53 ^a	8.70±0.45 ^a
CIE b* (yellowness)	8.45±0.21 ^a	7.38±0.39 ^b	7.66±0.41 ^b	7.32±0.05 ^b	7.45±0.21 ^b

¹⁾ Treatment: CTL, low-fat sausage (LFS); REF, LFS added with 1.0% fat replacer; SPI, REF added with 1.0% soy protein isolate; FPI, REF added with 1.0% faba bean protein isolate; FPTG, FPI added with Transglutaminase 1.0%.

^{a-b} Means with different superscripts in same row are different ($p<0.05$).

Table 3. Texture profile analysis of low-fat model sausages with fat replacers and faba protein isolate added alone or combination with transglutaminase

	Treatment ¹⁾				
	CTL	REF	SPI	FPI	FPTG
Hardness (gf)	2637±119 ^c	3547±375 ^{bc}	3715±422 ^b	3859±214 ^b	5246±615 ^a
Springiness (mm)	4.16±0.16 ^b	3.85±0.21 ^b	4.08±0.06 ^b	4.27±0.28 ^b	5.00±0.02 ^a
Gumminess	25.8±1.80 ^b	33.6±1.29 ^b	36.6±1.16 ^{ab}	35.2±0.82 ^{ab}	47.6±11.21 ^a
Chewiness	106.8±12.8 ^b	129.4±10.5 ^b	149.0±2.2 ^b	148.8±13.9 ^b	235.0±59.8 ^a
Cohesiveness	0.01±0.00 ^a	0.01±0.00 ^a	0.01±0.00 ^a	0.01±0.00 ^a	0.01±0.00 ^a

¹⁾ Treatment: CTL, low-fat sausage (LFS); REF, LFS added with 1.0% fat replacer; SPI, REF added with 1.0% soy protein isolate; FPI, REF added with 1.0% faba bean protein isolate; FPTG, FPI added with Transglutaminase 1.0%.

^{a-c} Means with different superscripts in same row are different ($p<0.05$).

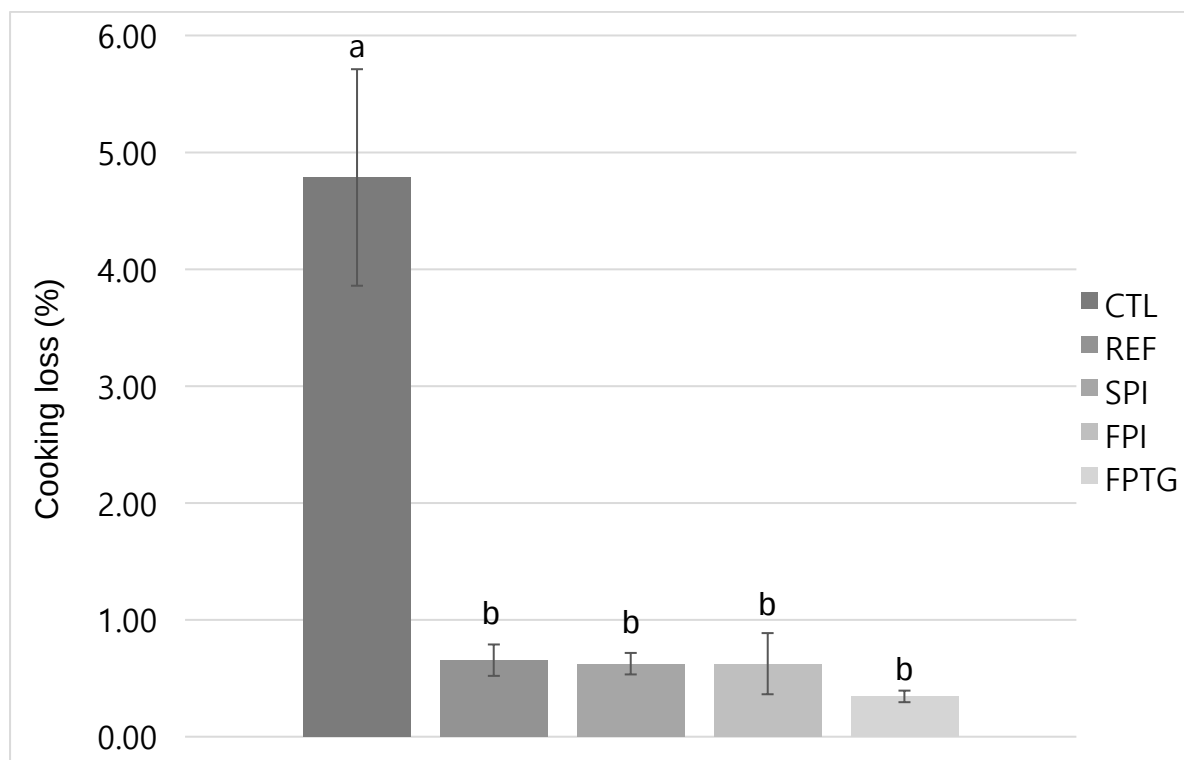


Figure. 1. Cooking loss (CL, %) of low-fat model sausages with fat replacers and faba protein isolate added alone or combination with transglutaminase.

Treatment: CTL, low-fat sausage (LFS); REF, LFS added with 1.0% fat replacer; SPI, REF added with 1.0% soy protein isolate; FPI, REF added with 1.0% faba bean protein isolate; FPTG, FPI added with Transglutaminase 1.0%.

^{a,b} Means with different superscripts on the bar are different ($p < 0.05$).

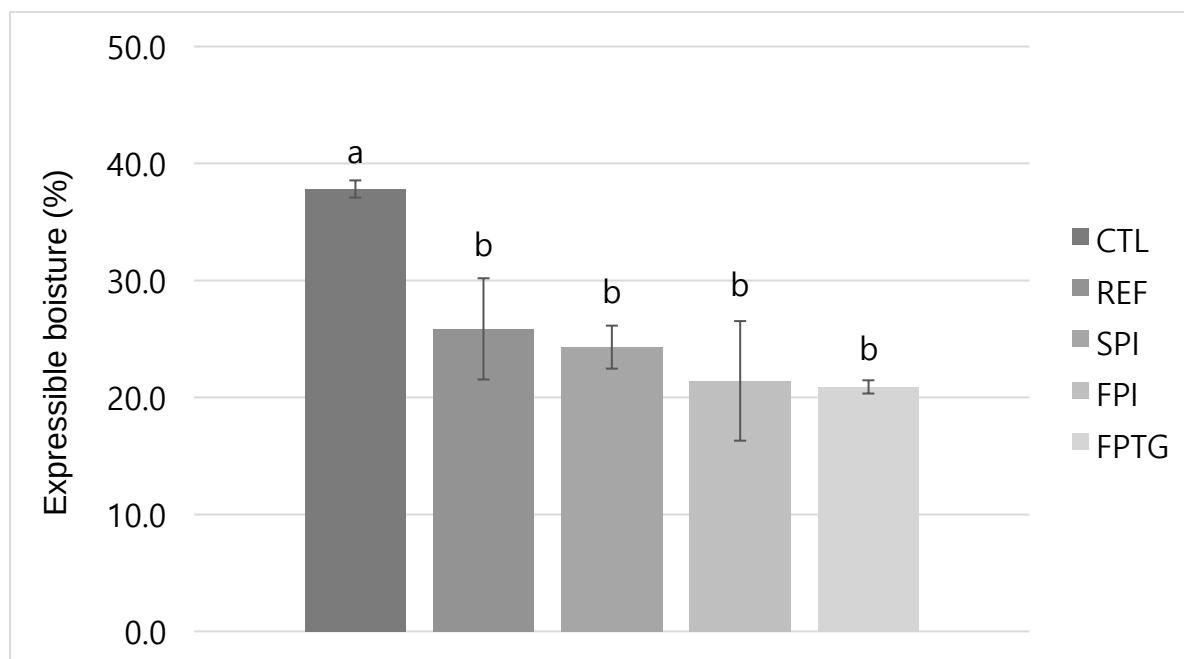


Figure. 2. Expressible moisture (EM, %) of low-fat model sausages with fat replacers and faba protein isolate added alone or combination with transglutaminase.

Treatment: CTL, low-fat sausage (LFS); REF, LFS added with 1.0% fat replacer; SPI, REF added with 1.0%soyprotein isolate; FPI, REF added with 1.0% faba bean protein isolate; FPTG, FPI added with Transglutaminase 1.0%.

^{a,b} Means with different superscripts on the bar are different ($p<0.05$).