

유산균 발효 및 식물성 재료가 서리태 소시지 품질에 미치는 영향

김 준 식¹ · 윤 기 선^{2*}

¹경희대학교 식품영양학과 석사, ²경희대학교 식품영양학과 교수

Effect of Lactic Acid Fermentation and Plant Ingredients on the Quality of Black Bean-Based Sausages

Jun-Sik Kim¹ and Ki-Sun Yoon^{2*}

¹Master, Dept. of Food and Nutrition, Kyung Hee University, Seoul 02447, Republic of Korea

²Professor, Dept. of Food and Nutrition, Kyung Hee University, Seoul 02447, Republic of Korea

ABSTRACT

This study evaluated the synergistic effects of fermented black beans, lupini beans, and other plant-based ingredients in the development of plant-based sausages, with a focus on phytic acid reduction, texture optimization, and gluten replacement potential. Fermentation with *Lactobacillus plantarum* significantly reduced phytic acid content by 33.7%. Sausages formulated with fermented black beans demonstrated increased adhesiveness but decreased cohesiveness and chewiness. The fermented formulations also exhibited increased redness and lower pH values, which can be attributed to lactic acid production during fermentation. Incorporating 5% lupini bean powder enhanced the hardness of sausages by 1.3-fold and improved chewiness and overall textural attributes, indicating its suitability as a gluten alternative. Higher concentrations of lupini bean powder further increased redness, yellowness, and pH. Additionally, the inclusion of starch, textured vegetable protein (TVP), and carrageenan improved hardness and chewiness while contributing positively to lightness, yellowness, and pH. These findings suggest that the strategic combination of fermented legumes and texturizing agents can enhance the nutritional and textural properties of plant-based sausages.

Key words: fermentation, black bean, lupini bean powder, plant-based sausage, texture analysis

서 론

육류는 인체에 필요한 다양한 필수 아미노산을 포함하고 있어 영양학적으로 훌륭한 급원으로 인체 성장과 발달에 필수적임에도 불구하고(Elmadfa I & Meyer AL 2017) 육류 소비를 줄이는 것이 동물 복지와 강한 상관관계가 보고되었다(Mathur 등 2021). Frezal C 등(2022)은 1 kg의 소고기 생산 시 배출되는 온실가스 및 토지 사용을 식물성 대체육으로 변경하면 86%의 온실가스 배출과 92%의 토지 사용을 감소시킬 수 있음을 보고해 육류 소비를 줄이기 위한 식물성 대체육 개발의 필요성을 강조하였다.

식물성 대체육은 콩과 식물, 식량작물 또는 곰팡이에서 얻어진 단백질을 압출성형, 배양 및 하이드로콜로이드 형태 등을 적용하여 육류와 비슷한 맛과 식감을 가지도록 만든 제품이다(Dekkers BL 등 2018; Bakhsh A 등 2021). 2020년 기준 전 세계 식물성 대체육 시장은 60억 7100만 달러를 달성하

였으며(IPET 2022), 국내에서는 다양한 스타트업과 중소기업 회사들이 다양한 형태의 제품들을 출시하며 시장을 형성하고 있다(aTFis 2021). 식물성 대체육은 다양한 식물성 원료로 다양한 식감을 만들 수 있음에도 불구하고 피트산, 페놀 화합물, 효소 저해제 등과 같은 항영양성분과 향미가 제품개발의 한계로 지적되고 있다(Samtiya M 등 2020; Wang Y 등 2022). 피트산은 특히 단백질 분해효소의 활동을 저해하여 단백질이 아미노산으로 분해되는 것을 방해하여 단백질의 흡수를 저해한다(Kies AK 등, 2006). 또한 Al Hasan SM 등(2016)의 연구에 따르면 방글라데시의 가임 여성의 경우 식물성 단백질에 의존하는 식이 특성에 따른 피트산 섭취 증가가 철과 칼슘에 대한 체내 이용률을 낮추는 것으로 확인되었다. 따라서 콩과 식물에서 피트산을 저해하는 방법으로 발효, 발아, 침지 등의 방법이 제안되었다(Samtiya M 등 2020). 발효는 콩과 식물의 피트산, 효소 저해제, 탄닌과 같은 물질을 분해시켜 아미노산과 무기질의 흡수율을 상승시켜 영양적인 가치를 증진시킨다(Manzoor M 등 2021). 특히 유산균 발효는 젖산을 생성하는 균의 대사를 활용하여 발효시키는

* Corresponding author : Ki-Sun Yoon, Tel: +82-2-961-0264, Fax: +82-2-961-0261, E-mail: ksyoon@khu.ac.kr

방법(Axelsson L 2004)으로 콩과 식물에 있는 탄수화물과 단백질들을 분해하여 콩의 소화율을 높이고(Elhalis H 등 2023), 콩의 수분 보유력을 향상시킨다(Emkani M 등 2022).

식물성 대체육의 원료로 사용되는 대두는 높은 단백질 함량, 이소플라본 등 다양한 생리활성기능을 가지고 있어 저렴한 비용으로 전 세계에서 가장 많은 양이 재배되고 있다(Song HN & Jung KS, 2006; Wei CH 등 2006; Arora S 등 2023). 서리태는 한국에서는 대두와 함께 옛날부터 섭취해온 콩으로, 껍질 속이 초록색을 띠고 있어 ‘속창’이라고 부른다(Kim KS 등 2003). 서리태는 단백질 함량뿐만 아니라 글루탐산이 다른 콩들에 비해 높으며(Moon HK 등 2011), 껍질의 안토시아닌이 항산화, 항암효과를 가지며(Kwon SH 등 2007), 이소플라본의 함량도 일반 콩보다 더 많다(Liao HF 등 2001). 서리태 관련 연구는 된장(Lim SY 등 2009), 청국장(Im CM 등 2006), 발효유(Jung SY 등 2018), 두유(Jeong SO 등 2016) 개발 연구가 보고되었으나 식물성 대체육의 원료로서 가능성을 본 연구는 부족하다.

또한 식물성 대체육 제조에 자주 사용되는 대표적 재료는 분리대두단백과 글루텐(Gasparre N 등 2022)으로, 글루텐의 경우에는 밀 알레르기 또는 글루텐에 민감한 사람의 경우에는 셀리악병과 같은 자가 면역성 복강 질환을 일으킬 수 있어 글루텐 프리 제품 개발이 증가하는 추세이다(Singh P 등 2018). 루피니빈(Lupini bean)은 단백질과 섬유질이 높은 콩으로 원래 높은 알칼로이드 함량으로 인하여 독성을 띄었으나 현재는 육종으로 알칼로이드가 적은 품종이 개발되어 단백질 공급 식재료로 주목받고 있다(Van de Noort M 2024). 또한 루피니빈은 다른 콩과식물에 비해 높은 결합력과 유화능을 가지고 있기 때문에 글루텐 프리 제품에서 계란을 대체하는 원료로 사용되고 있다(Boukid F & Pasqualone A 2022). 또한 가뭄에 저항성이 있고 환경에 영향을 적게 받는다는 성장 특성으로 인해 대두를 대체하기 위한 원료로 연구되고 있다(Kinder DH & Knecht KT 2011). 그러나 루피니빈이 식물성 대체육 소재 또는 글루텐을 대체할 수 있는 소재 가능성에 대한 연구는 매우 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 식물성 대체육 개발을 위한 원료로 서리태 활용의 한계였던 색과 피트산 감소에 미치는 유산균 발효의 영향을 분석하였다. 또한 글루텐, 루피니빈 등 다양한 식물성 재료가 발효 서리태를 기반으로 제조한 소시지의 물리 화학적 특성에 미치는 영향을 비교 분석하여 식물성 대체육 개발에 사용될 수 있는 신소재로서의 가능성을 평가하고자 하였다. 마지막으로 식물성 대체육의 물성을 개선하기 위해 상업적으로 사용되는 전분 및 TVP, 카라기난이 발효 서리태를 기반으로 제조한 소시지 물성에 미치는 영향도 함께 분석하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료

본 연구에 사용된 서리태는 온라인 마켓(Coupang Co., Seoul, Korea)에서 구입하여 사용하였다. 유산균 발효에 사용한 균주는 *Leuconostoc mesenteroides*(KCTC 13372, 13374)와 *Lactiplantibacillus plantarum*(KCTC 21004)으로 한국생물자원센터(KCTC, Daejeon, Korea)에서 구입하였다. 유산균은 MRS(De Man, Rogosa and Sharpe broth, KisanBio, Seoul, Korea) 액체배지에서 전 배양 후 20% 글리세롤(Ducksan Pure Chemical Co., Ansan, Korea)을 첨가한 MRS 액체배지에 넣어 -80°C 냉동고(Revco, Dongjin science, Gunpo, Korea)에 보관하였다. 피트산 표준물질로는 Phytic acid sodium salt hydrate를 사용하였다(Sigma-Aldrich, St Louis, MO, USA).

소시지를 제작하기 위해서 분리대두단백(SPI, Pureunbin, Busan, Korea), 밀 글루텐(Shinkwang Food Corp., Gimhae, Korea), 루피니빈(Benefarm, Seoul, Korea), 소금(Ducksan Pure Chemical Co., Ansan, Korea), 대두유(CJ CheilJedang Corp., Seoul, Korea), 감자전분(Ever health care, Icheon, Korea), 타피오카 전분(Ever health care, Icheon, Korea), textured vegetable protein(TVP, Bob's red mill Co., Oregon, USA), κ -carrageenan(ES food Co., Gunpo, Korea)는 온라인 마켓(Coupang Co., Seoul, Korea)에서 구입하여 사용하였다. 본 연구에서 루피니빈은 분쇄기(BL811DKR, Tefal, France)로 50mesh 크기로 분쇄하여 사용하였다. 또한 본 연구에서 제조된 소시지의 물성과 비교하기 위한 대조군으로 시판되고 있는 식물성 대체육 소시지 3가지 브랜드(Nextmeal, Vegefood, Sahmyook Foods)를 구매해서 본 연구에서 발효 서리태로 제조한 식물성 소시지의 특성과 비교 분석하였다.

2. 서리태의 유산균 발효 및 피트산 분석

유산균 발효를 위한 서리태는 멸균 증류수에 1:5의 비율로 혼합하여 24시간 동안 상온에서 침지 후 일부 피트산을 유출시키고 믹서기(BN300KR, Cosmoen Co., Seoul, Korea)로 2분간 분쇄하여 서리태의 표면적을 증가시켰다. 유산균 *L. plantarum*과 *L. mesenteroides*은 상온에서 해동 후 균주 10 μL 를 10 mL MRS(De Man, Rogosa and Sharpe) 액체배지에 첨가하여 36°C 배양기(VS-120, Vision Scientific, Daejeon, Korea)에 24시간 동안 전배양하였다. 증균 배양한 유산균을 분쇄된 서리태 전체 용량의 1%가 되도록 접종하고 36°C 배양기(VS-120, Vision Scientific, Daejeon, Korea)에서 24시간 동안 발효시켰다.

피트산 분석은 Gao Y 등(2007)의 방법에 따라 진행하였다. 시료 0.5 g에 0.64 N HCl 용액 10 mL를 가하여 25°C에서 16시간 동안 교반 배양기(VS-8480, Vision Scientific, Daejeon, Korea)에서 교반 후, 10°C, 3,000 rpm에서 20분간 원심분리를 하였다(VS-550, Vision Scientific, Daejeon, Korea). 원심분리 후 상등액을 Whatman No.1 여과지를 사용하여 상등액을 여과하고 상등액에 NaCl 1 g을 첨가하고 20분간 교반 배양기(VS-8480, Vision Scientific, Korea)에서 교반 후 4°C에서 1시간 동안 보관하였다. 보관한 용액을 다시 20분간 원심분리한 후 상등액 1 mL를 24 mL의 멸균 증류수에 희석하였다. 희석한 용액 3 mL를 1 mL의 Wade 용액(300 mg Sulfosalicylic acid + 30 mg Ferric chloride)과 함께 vortex 후, 10분간 원심분리를 진행한 후, 반응물의 흡광도는 500 nm에서 분광광도계(Thermo Scientific Multiskan Go microplate, Thermo Fisher, MA, USA)로 측정하였다. 대조군으로는 침지하지 않은 서리태와 침지 후 발효하지 않은 서리태 시료를 사용하였다.

3. 식물성 소시지 제조

본 연구의 식물성 소시지는 발효 여부, 단백질원 및 결합제 첨가가 최종 제품 특성에 미치는 영향을 조사하기 위해 제조되었다(Fig. 1).

1) 서리태 전처리 및 발효

서리태는 24시간 동안 물에 불린 후 물과 1:1(w/w) 비율로

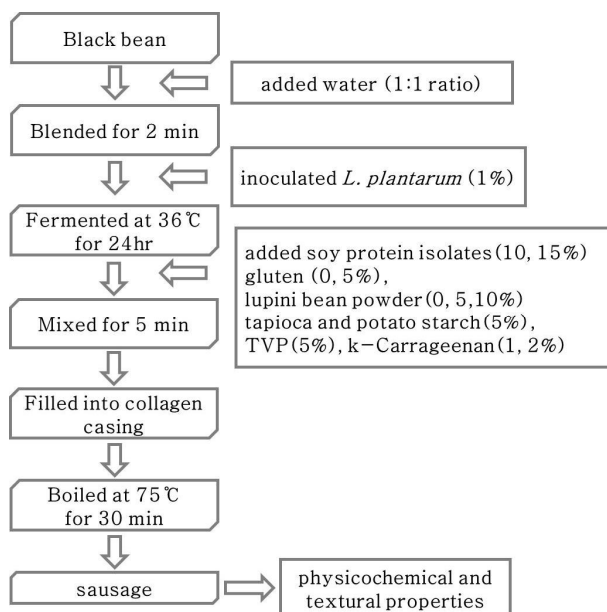


Fig. 1. Flow diagram for manufacturing the plantbased sausage.

혼합 후 믹서기(BN300KR, Ninja, Korea)로 분쇄하였다. 분쇄된 서리태에 피트산 저감화 효과가 가장 우수했던 *L. plantarum*(KCTC 21004)을 1%(v/v)로 접종 후 36°C의 배양기(VS-120, Vision Scientific, Daejeon, Korea)에서 24시간 동안 발효를 진행하였다.

2) 소시지 제조

소시지 제조는 Table 1에 제시된 배합 비율에 따라 다른 식물성 재료들과 혼합 후 시료의 균질성을 확보하기 위해 5분간 반죽하였다. 소시지 반죽은 소시지 충전기(Korea Timesquare, Sungnam, Korea)에 연결된 26 mm 직경의 콜라겐 케이싱(Newtech, Daegu, Korea)에 채워 소시지 형태로 성형 후 75°C 항온수조(SB-1300, Sunil eyela, Sungnam, Korea)에서 30분 동안 가열하였다. 가열된 소시지는 실온에서 20분간 냉각 후 4°C에서 보관 후 물리·화학적 특성 분석에 사용하였다.

4. 식물성 소시지의 물리적인 특성

소시지의 물리적 특성을 측정하기 위해 소시지는 일정한 크기(2.6 × 2.6 × 2.6 cm)로 절단하여 Texture analyzer(CT3-10K, Brookfield, MA, USA)를 이용하여 TPA(texture profile analysis)를 진행하였다. 사용한 probe는 TA4/1000(38.1 mm cylinder)로 pre/test/post speed는 각각 2.0, 0.5, 5.0 mm/s이며, 50% deformation으로 설정하여 생성된 force-distance curve에서 경도(hardness), 점착성(adhesiveness), 복원성(resilience), 응집성(cohesiveness), 검성(gumminess), 씹힘성(chewiness) 측정값을 확인하였다.

5. pH와 색도 측정

소시지의 pH는 소시지 10 g에 10배의 증류수를 가하고 균질기(Bagmixer 400, Interscience Co., Cantal, France)로 2분간 균질화 후 pH meter(Orion 3-star pH-Benchtop, Thermo, USA)를 이용하여 측정하였다. 색도는 색차계(CR-400, Konica Minolta Co., Osaka, Japan)를 이용해 소시지 표면의 L(명도), a(적색도), b(황색도) 값을 3반복 측정하였다. 이 때 사용한 표준 백색판의 L, a, b 값은 각각 94.22, 0.40, 2.82이었다.

6. 통계분석

실험 결과에 대한 통계분석은 SAS 9.4(SAS Institute Inc., NC, USA)을 이용하여 분석하였으며 시료 간의 차이 분석은 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)을 사용하였고 각 시료 간의 유의성은 Duncan의 다중 비교(Duncan's multiple test)로 $p < 0.05$ 수준에서 유의성 검증을 실시하였다.

Table 1. Formulation of fermented plant-based sausage with various ingredients

Sample ¹⁾	Seoritae slurry (%)	Soy protein isolate (%)	Gluten (%)	Lupini bean powder (%)	Starch (%)	TVP (%)	κ-Carrageenan (%)
N10G0	84	10	0	0	-	-	-
N10G5	79	10	5	0	-	-	-
N15G0	79	15	0	0	-	-	-
N15G5	74	15	5	0	-	-	-
F10G0L0	84	10	0	0	-	-	-
F10G0L5	79	10	0	5	-	-	-
F10G0L10	74	10	0	10	-	-	-
F15G0L0	79	15	0	0	-	-	-
F15G0L5	74	15	0	5	-	-	-
F15G0L10	69	15	0	10	-	-	-
F10G5L0	79	10	5	0	-	-	-
F10G5L5	74	10	5	5	-	-	-
F10G5L10	69	10	5	10	-	-	-
F15G5L0	74	15	5	0	-	-	-
F15G5L5	69	15	5	5	-	-	-
F15G5L10	64	15	5	10	-	-	-
F15G5L5S1	64	15	5	5	5	0	0
F15G5L5S2	64	15	5	5	5	0	0
F15G5L5T	64	15	5	5	0	5	0
F15G5L5k1	73	15	5	5	0	0	1
F15G5L5k2	72	15	5	5	0	0	2

¹⁾ N: used non-fermented bean, F: used fermented bean, G: gluten, L: lupini bean powder, S1: tapioca starch, S2: potato starch, T: textured vegetable protein, k1: κ-carrageenan 1%, k2: κ-carrageenan 2%. All samples contained 5% vegetable oil and 1% salt.

결과 및 고찰

1. 유산균 발효에 따른 서리태의 피트산 함량 변화

유산균 발효가 서리태의 피트산 저감화에 미치는 영향은 다음 Table 2와 같다. 침지와 발효를 하지 않은 서리태의 피트산은 14.98 mg/g으로 선행연구 결과인 17.6 mg/g과 유사하였다(Lee JY 등, 2021). 반면 서리태를 24시간 동안 침지했을 때 피트산이 14.93 mg/g에서 12.76 mg/g으로 유의적($p < 0.05$)으로 감소하였다. 수용성인 피트산은 침지 과정에서 내부에 수분이 유입되어 내인성 피트산 분해효소의 활성화로 피트산 함량이 감소한다(Feizollahi E 등 2021). 본 연구에서는 *L. mesenteroides* 두 가지 균주(KCTC 13372, 13374)로 발효를

했을 경우 피트산이 각각 11.36 ± 0.91 , 10.95 ± 0.48 mg/g으로 감소되었고 *L. plantarum*(KCTC 21004)으로 발효했을 경우 9.9 ± 0.04 mg/g으로 다른 두 균주인 *L. mesenteroides* (KCTC 13372, 13374)로 발효했을 때보다 피트산의 함량이 유의적으로 감소하였다($p < 0.05$)(Table 2). 유산균의 종류에 따라서 피트산 감소에 차이를 보이는데 유산균이 생성하는 젖산으로 인해 pH가 감소되어 피트산을 분해시키기에 적절한 조건으로 변화시키며 균마다 생성해내는 피트산 분해효소의 양에도 차이가 있기 때문이다(Coulibaly A 등 2011). 선행연구에서는 통밀 빵 반죽의 피트산 분해에 가장 효과가 높은 것은 *L. plantarum*으로 보고되었는데(Reale A 등 2007), 본 연구에서도 *L. plantarum* 이 서리태의 피트산을 가장 효과적으로 분해시키는 것으로 나타났다.

Table 2. Effect of lactic acid bacteria fermentation on the changes of phytic acid in black beans

Control (Black bean)	Phytic acid content (mg/g)			
	Non-fermented	<i>L.mesenteroides</i> KCTC 13372	<i>L.mesenteroides</i> KCTC 13374	<i>L.plantarum</i> KCTC 21004
	With soaking for 1 day			
14.93±0.73 ^{a1)}	12.76±0.51 ^b	11.36±0.91 ^c	10.95±0.48 ^c	9.9±0.04 ^d

¹⁾ Mean±S.D. (n=5) within each row followed by different letters is significantly different ($p<0.05$).

2. 발효된 서리태 소시지에 분리대두단백, 글루텐의 첨가가 소시지 물성에 미치는 영향

발효된 서리태에 분리대두단백, 글루텐 첨가가 식물성 소시지 물성에 미치는 영향은 다음 Table 3과 같다. 발효되지 않은 서리태를 이용해서 만든 소시지(N)에 글루텐이 없이 분리대두단백 15%만 넣은 소시지(N15G0)의 경도는 1,164 g, 글루텐 5%를 추가로 넣은 소시지(N15G5)의 경도는 1,229 g으로 글루텐 5%에 의해 경도가 증가하는 것을 확인하였다. 그러나 발효된 서리태 소시지(F)에 분리대두단백 15%와 글루텐 5% 첨가한 소시지(F15G5)의 경도는 1,165 g으로 분리대두단백과 글루텐을 함께 사용했을 경우 소시지의 경도는 발효 서리태 사용 여부에 따라 유의적 차이가 발견되지 않았다. 그러나 발효되지 않은 서리태에 분리대두단백 10%와 글루텐 5%를 첨가하여 만든 소시지(N10G5)와 발효된 서리태에 분리대두단백 10%와 글루텐 5% 첨가한 소시지(F10G5)의 경도는 유의적($p<0.05$) 차이를 보였다. 전체적으로 비발효 소시지(N15G0)의 경도가 발효 소시지(F15G0)의 경도보다 유의적으로 높은 것으로 확인되었다. 이는 발효되는 과정에서 고분자의 결합들이 분해되어 구조적인 특징에 영향을

주어(Elhalis H 등 2023), 경도를 감소시킨 것으로 사료된다. 반면 글루텐이 없이 분리대두단백만 10% 첨가된 소시지는 발효과정의 유무에 상관없이 가열 과정에서 소시지 형태가 형성되지 않았는데 소시지 형태를 유지하기 위해서는 단백질, 지방, 수분 등을 결합시키는 주요 결합체로서의 글루텐의 기능이 부재했기 때문에 사료된다.

발효된 서리태로 만든 소시지의 점착성은 분리대두단백 10%와 글루텐 5% 넣은 소시지(F10G5)는 79.3 g, 분리대두단백 15%만 첨가한 소시지(F15G0)는 95.3 g, 분리대두단백 15%와 글루텐 5% 넣은 소시지(F15G5)는 102.7 g으로 발효되지 않은 서리태로 만든 소시지가 가진 값들과 비교했을 때 유의적($p<0.05$)으로 더 높은 점착성을 보였다. 응집성의 경우에도 발효되지 않은 서리태 소시지에서 분리대두단백 10%와 글루텐 5% 소시지(N10G5)는 0.27, 분리대두단백 15%만으로 만 제조된 소시지(N15G0)는 0.32, 분리대두단백 15%와 글루텐 5% 소시지(N15G5)는 0.35로 분리대두단백과 글루텐이 모두 포함되었을 때 응집성이 증가하였다. 반면 발효된 서리태 소시지에 분리대두단백 10%에 글루텐 5% 첨가한 소시지(F10G5)의 응집성은 0.2, 분리대두단백 15%만 넣

Table 3. Effects of fermentation, soy protein isolate, and gluten on the textural properties of plant-based sausage

Sample ¹⁾	Hardness (g)	Adhesiveness (g)	Resilience	Cohesiveness	Gumminess (g)	Chewiness (g)
N10G0 ²⁾	-	-	-	-	-	-
N10G5	573.00±24.00 ^{b3)}	38.33±4.04 ^c	0.09±0.01 ^c	0.27±0.03 ^b	157.33±14.01 ^d	43.00±12.29 ^c
N15G0	1,164.60±62.67 ^a	27.00±4.72 ^c	0.10±0.01 ^b	0.32±0.01 ^a	372.20±21.96 ^b	162.00±16.49 ^b
N15G5	1,229.33±93.60 ^a	27.00±1.73 ^c	0.12±0.00 ^a	0.35±0.00 ^a	426.33±29.94 ^a	208.67±11.68 ^a
F10G0L0 ²⁾	-	-	-	-	-	-
F10G5L0	420.67±39.58 ^c	79.33±5.03 ^b	0.05±0.00 ^c	0.20±0.01 ^c	83.67±9.50 ^c	16.33±4.16 ^d
F15G0L0	623.33±16.07 ^b	95.33±12.66 ^{ab}	0.05±0.00 ^c	0.16±0.02 ^d	97.33±12.50 ^c	15.33±3.06 ^d
F15G5L0	1,164.67±99.63 ^a	102.67±19.66 ^a	0.07±0.00 ^d	0.22±0.03 ^c	250.67±15.28 ^c	59.67±5.13 ^c

¹⁾ F: used fermented bean, N: used non-fermented bean, G: gluten. All samples contained 5% vegetable oil and 1% salt.

²⁾ Sausage was not formed with N10G0 and F10G0L0.

³⁾ Mean±S.D. (n=6) within each column followed by different letters is significantly different ($p<0.05$).

은 소시지(F15G0)는 0.16, 분리대두단백 15%와 글루텐 5%을 넣은 소시지(F15G5)는 0.22로 비발효 서리태 소시지가 유의적($p<0.05$)으로 더 높은 응집성을 가지고 있다. 경도에 응집성을 곱한 값인 검성(gumminess)의 경우에도 발효된 서리태로 만든 소시지의 검성이 비발효 서리태로 만든 소시지의 검성보다 유의적($p<0.05$)으로 낮았다. 이와 같은 특징은 유산균 발효과정에서 식품의 주요 구성성분인 탄수화물, 단백질, 지방이 분해되어 식품의 구조적인 특성을 약화시키기 때문인 것으로 사료된다. 따라서 발효된 서리태를 사용할 경우 바람직한 경도와 응집성을 부가할 수 있는 첨가 물질의 영향이 중요한 것으로 나타났다.

*L. plantarum*의 경우에는 높은 내산성과 내염성을 가지고, 다양한 식품에서 프로바이오틱스로 작용할 수 있으며 발효과정에서 수분 및 유지 보유력을 상승시키고 점착성 또한 증가시켰다(Behera SS 등 2018). 본 연구에서도 발효된 서리태로 만든 소시지에서 분리대두단백의 첨가량이 증가함에 따라 물리적인 경도가 증가한다는 것을 확인하였다. 분리대두단백은 높은 수분 보유력이 있으며 가열 시 단백질의 응집이 진행되면서 경도와 씹힘성, 탄성 등의 수치가 상승하는 것으로 나타났다(Florowska A 등 2020). 이러한 특성은 Chiang JH 등(2021)의 연구에서도 확인할 수 있는데, 밀 글루텐을 사용하여 만든 식물성 대체육에서 밀 글루텐만 첨가할 때 보다 분리대두단백의 첨가량이 증가할수록 경도가 증가하였다. 이를 통해 유산균을 사용하여 서리태를 발효하는

것은 피트산 감소와 수분 보유력을 증가시키는 이점이 있으나, 여전히 응집성이나 복원력이 감소한다는 한계점이 있어 응집성과 복원력을 상승시킬 수 있는 식물조직단백질(TVP), 카라기난, 전분 등의 적용 가능성을 연구할 필요가 있다.

3. 분리대두단백, 글루텐, 루피니빈 가루가 발효서리태 소시지 물성에 미치는 시너지 효과

발효된 서리태에 분리대두단백, 글루텐 첨가 외에도 루피니빈 가루 첨가가 식물성 소시지 물성에 미치는 영향은 다음 Table 4와 같다. 본 연구에서는 루피니빈 가루가 글루텐을 대체할 수 있는 가능성을 분석하였는데 글루텐을 넣지 않은 소시지 그룹의 경도(hardness) 특성을 확인했을 때, 루피니빈 가루 첨가량이 증가할수록 경도가 유의적으로 증가하는 것을 확인했다. 분리대두단백 10%와 함께 글루텐 없이 루피니빈 5%(F10G0L5)와 10%(F10G0L10)를 첨가한 소시지의 경도는 각각 562 g과 829 g으로 루피니빈을 5%가 추가로 들어가게 될 때 경도가 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 글루텐 없이 루피니빈 가루를 5%로 고정하고 분리대두단백을 각각 10%(F10G0L5)와 15%(F15G0L5)를 넣은 소시지의 경도가 각각 562 g, 872 g으로 분리대두단백이 5% 추가로 첨가될 때 경도는 약 1.5배 증가함을 확인하였다. 이를 통해 분리대두단백과 루피니빈 가루 첨가가 모두 소시지의 경도 상승에 유의적인 효과를 준다는 것을 확인하였다($p<0.05$). 또한 글루텐을 넣은 소시지의 경우에도 분리대두단백과 루피

Table 4. Effects of soy protein isolate, gluten, and lupini bean powder on the textural properties of plant-based sausage

Sample ¹⁾	Hardness(g)	Adhesiveness(g)	Resilience	Cohesiveness	Gumminess(g)	Chewiness(g)
F10G0L0 ²⁾	-	-	-	-	-	-
F10G0L5	562.40±58.20 ^{ef3)}	81.80±9.63 ^{abc}	0.05±0.01 ^{de}	0.18±0.01 ^{efg}	104.40±8.44 ^{gh}	17.20±0.84 ^f
F10G0L10	829.00±50.94 ^d	99.25±5.74 ^{ab}	0.06±0.01 ^{de}	0.17±0.02 ^g	138.25±20.69 ^{efg}	24.00±3.16 ^f
F15G0L0	623.33±16.07 ^e	95.33±12.77 ^{ab}	0.05±0.01 ^e	0.16±0.02 ^g	97.33±12.50 ^{gh}	15.33±3.06 ^f
F15G0L5	872.40±46.60 ^d	97.80±17.60 ^{ab}	0.06±0.01 ^d	0.17±0.03 ^{fg}	151.40±27.73 ^{ef}	27.40±7.09 ^{ef}
F15G0L10	1,136.83±67.83 ^c	47.00±21.75 ^d	0.07±0.00 ^c	0.19±0.02 ^{efg}	217.50±40.68 ^{cd}	47.17±10.82 ^{cd}
F10G5L0	420.67±39.58 ^g	79.33±5.03 ^{bc}	0.05±0.00 ^{de}	0.20±0.01 ^{def}	83.67±9.50 ^h	16.33±4.16 ^f
F10G5L5	454.83±75.46 ^{fg}	56.50±9.65 ^d	0.08±0.01 ^c	0.25±0.02 ^{abc}	113.00±20.07 ^{fgh}	27.50±4.59 ^{ef}
F10G5L10	809.60±198.51 ^d	48.00±17.70 ^d	0.08±0.01 ^c	0.23±0.02 ^{bcd}	180.20±42.75 ^{de}	37.80±11.84 ^{de}
F15G5L0	1,164.67±99.63 ^c	102.67±19.66 ^a	0.07±0.00 ^c	0.22±0.03 ^{cde}	250.67±15.28 ^c	59.67±5.13 ^c
F15G5L5	1,486.00±33.85 ^b	64.75±12.82 ^{cd}	0.09±0.00 ^b	0.26±0.01 ^{ab}	381.25±18.68 ^b	107.00±9.35 ^b
F15G5L10	1,728.75±72.39 ^a	56.50±5.74 ^d	0.10±0.01 ^a	0.27±0.01 ^a	468.25±42.66 ^a	135.00±17.15 ^a

¹⁾ F: used fermented bean, G: gluten, L: lupini bean powder. All samples contained 5% vegetable oil and 1% salt.

²⁾ Sausage was not formed with F10G0L0.

³⁾ Mean±S.D. (n=11) within each column followed by different letters is significantly different ($p<0.05$).

니빈 가루의 양이 증가할수록 경도가 유의적으로 증가하는 것을 확인하였다($p<0.05$).

글루텐과 루피니빈 가루를 5% 넣은 소시지의 경우는 분리대두단백 10%(F10G5L5)를 추가한 소시지의 경도는 455g에서 15%(F15G5L5) 넣었을 때 1,486 g으로 3배 가까운 정도 상승을 확인하여 분리대두단백과 글루텐, 루피니빈을 함께 사용했을 때 시너지 효과를 확인하였다(Table 4). 특히 루피니빈이 글루텐과 함께 사용했을 때 경도 상승에 더욱 기여하는 것으로 확인되었다. 분리대두단백 15%와 루피니빈 5%가 첨가된 소시지에서 글루텐 0%(F15G0L5)와 5% 첨가한 소시지(F15G5L5)의 경도는 각각 872 g과 1,486 g으로 5%의 글루텐이 루피니빈과 함께 들어갔을 때 약 1.7배의 정도 상승 효과를 보였다. 가장 높은 강도(1,729 g)는 15% 분리대두단백, 5% 글루텐, 10% 루피니빈 가루가 첨가된 소시지에서 확인되었다. 본 연구에서는 글루텐이 안 들어간 소시지에서도 루피니빈 가루를 증가했을 때 경도에 유의적 영향을 주어 글루텐의 대체제로 루피니빈의 가능성을 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 글루텐이 5% 첨가되었을 때 소시지의 복원성(resilience), 응집성(cohesiveness), 씹힘성(chewiness)을 유의적($p<0.05$)으로 높이는 데 도움을 주었다. 이는 글루텐이 수분과 함께 이황화 결합을 진행하여 글루텐 네트워크를 형성하는 것으로(Zhang Y 등 2020), 본 연구에서 사용된 발효된 서리태와 분리대두단백, 루피니빈을 섬유상으로 연결해서 점탄성이 있는 형태를 만들어 주기 때문으로 사료된다. 글루텐의 첨가 여부에 상관없이 루피니빈 가루 첨가량이 증가할수록 유의적으로 소시지의 점착성(adhesiveness)은 감소하고 응집성, 검성(gumminess), 씹힘성 값이 증가하였다. 따라서 높은 단백질과 식이섬유를 함유하고 있는 루피니빈 사용이 영양학적으로 우수한 식물성 소시지 제조에 기여할 수 있을 것으로 사료된다. 또한 소시지에 글루텐을 첨가하지 않고

5% 루피니빈 가루만 첨가하였을 경우(F10G0L5) 경도가 562 g으로 5% 글루텐이 들어간 소시지(F10G5L5)의 정도 421 g보다 유의적으로 높은 것으로 확인됨($p<0.05$), 루피니빈이 글루텐을 넣지 않은 소시지의 정도에 기여하는 것으로 확인되었다.

이전 선행연구인 Mahmoud EA 등(2012)에서 국수에 루피니빈을 그대로 적용하는 것보다 탈지공정을 거친 루피니빈을 첨가했을 때 더 높은 수분 보유력과 낮은 조리 손실율을 보였으며, Ziobro R 등(2016)에서도 루피니빈 단백질만을 따로 사용한 글루텐 프리 빵에서 글루텐을 충분히 대체할 수 있음이 보고되었다. 루피니빈을 식물성 소시지 제조에 활용된 선행연구가 부재한 점을 고려할 때 루피니빈을 글루텐 프리 제품으로 활용하기 위해 탈지 공정이나 단백질 정제공정을 거쳐서 사용 가능성에 대한 연구도 필요할 것으로 사료된다.

다음 Table 5는 현재 마트에서 판매되고 있는 식물성 소재 소시지 물성을 측정된 결과이다. 본 연구에서 제조한 식물성 소시지의 물성과 비교했을 때 판매되고 있는 식물성 소시지는 점착성을 제외한 모든 물성 값이 유의적($p<0.05$)으로 매우 높았다. 시판되는 소시지들은 모두 식물조직단백질(TVP)을 포함하고 있었으며 TVP는 구형의 식물성 단백질을 섬유상으로 변형시켜 고기와 비슷한 탄성을 모방하는 원료이다. TVP가 포함된 소시지의 경우 probe의 압력을 더욱 잘 밀어내는 것으로 높은 정도 및 응집성, 복원력, 씹힘성, 검성이 증가하게 되는 것으로 보고되었다(Younis K 등 2023).

4. 발효된 서리태 소시지에 전분 및 TVP, 카라기난이 소시지 물성에 미치는 영향

본 연구에서 제조된 식물성 대체 소시지의 물성을 개선하기 위해 전분, TVP, 카라기난을 추가하여 제조한 소시지의 물성은 다음 Table 6과 같다. 15% 분리대두단백, 5% 글루텐, 5% 루피니빈을 첨가한 소시지(F15G5L5)의 정도는 1,486 g이

Table 5. Textural properties of commercial plant-based sausage

Sample	Hardness(g)	Adhesiveness(g)	Resilience	Cohesiveness	Gumminess(g)	Chewiness(g)
F15G5L10 ¹⁾	1,728.75±72.39 ^{c3)}	56.50±5.74 ^a	0.10±0.01 ^c	0.27±0.01 ^c	468.25±42.66 ^c	135.00±17.15 ^c
A	2,383.33±133.79 ^b	3.33±1.53 ^c	0.42±0.01 ^a	0.71±0.01 ^a	1,686.67±111.61 ^b	1,522.33±94.52 ^b
B	2,663.25±202.24 ^b	6.25±3.26 ^c	0.31±0.01 ^b	0.56±0.01 ^b	1,490.75±120.85 ^b	1,312.00±105.35 ^b
C	5,890.00±319.87 ^a	36.00±20.81 ^b	0.31±0.04 ^b	0.53±0.04 ^b	3,101.67±288.45 ^a	2,772.00±276.24 ^a
Average of A, B, and C ²⁾	3,645.53	15.19	0.34	0.60	2,092.69	1,868.78

¹⁾ Plant-based sausage was prepared with fermented bean, soy protein isolate, gluten, and lupini bean powder.

²⁾ Commercially available products, A: Vegefood, B: Nextmeal, C: Sahmyook food.

³⁾ Mean±S.D. (n=3) within each column followed by different letters is significantly different ($p<0.05$).

Table 6. Effects of soy protein isolate, gluten, starch, TVP and k-carrageenan on the textural properties of plant-based sausage

Sample ¹⁾	Hardness(g)	Adhesiveness(g)	Resilience	Cohesiveness	Gumminess(g)	Chewiness(g)
F15G5L5	1,486.00±33.85 ^{d2)}	64.75±12.82 ^{abc}	0.09±0.00 ^d	0.26±0.01 ^{abc}	381.25±18.68 ^c	107.00±9.35 ^d
F15G5L5S1	1,836.50±48.83 ^b	50.50±15.41 ^{bc}	0.10±0.01 ^{ab}	0.25±0.02 ^{bc}	458.25±39.60 ^b	114.75±12.15 ^{cd}
F15G5L5S2	1,666.25±80.79 ^c	47.50±7.41 ^{bc}	0.11±0.01 ^a	0.27±0.01 ^a	456.00±26.04 ^b	134.50±5.57 ^c
F15G5L5T	1,931.25±119.78 ^b	83.75±21.87 ^a	0.09±0.01 ^{cd}	0.24±0.01 ^c	470.50±46.98 ^b	118.63±16.98 ^{cd}
F15G5L5k1	1,932.75±135.12 ^b	75.00±27.60 ^{ab}	0.10±0.01 ^{bc}	0.27±0.01 ^{ab}	509.00±34.32 ^b	155.25±7.68 ^b
F15G5L5k2	2,198.75±144.45 ^a	40.00±10.92 ^c	0.10±0.01 ^{ab}	0.27±0.02 ^{ab}	592.75±47.67 ^a	184.0±19.27 ^a

¹⁾ F: used fermented bean, G: gluten, L: lupini bean powder, S1: tapioca starch, S2: potato starch, T: textured vegetable protein, k1, 2: k-carrageenan 1%, 2%, All samples contained 15% soy protein isolate, 5% lupini bean powder, 5% vegetable oil and 1% salt.

²⁾ Mean±S.D. (n=6) within each column followed by different letters is significantly different ($p<0.05$).

었다. 타피오카 전분(F15G5L5S1)과 감자전분(F15G5L5S2)을 5% 추가했을 때 소시지의 경도는 각각 1,836 g, 1,666 g으로 타피오카 전분이 경도 상승에 더 효과적이었다. 또한 5% TVP를 추가한 소시지(F15G5L5T)의 경도는 1,932 g으로, 전분보다 경도를 높이는데 더 효과적인 것으로 확인되었다. Lu 등 (2021)의 연구에서는 식물성 오믈렛을 만들 때 감자 전분을 첨가하는 것이 시중 오믈렛과 유사한 물성 특성을 만드는데 기여하는 것으로 보고하였다. 본 연구에서는 감자전분보다 타피오카 전분이 경도는 높이고 씹힘성을 유의적으로 낮추었으나($p<0.05$) 다른 물성에서는 유의적 차이를 보이지 않았다.

카라기난의 경우 1%(F15G5L5K1)와 2%(F15G5L5K2) 추가한 소시지의 경도는 각각 1,932 g, 2,199 g으로 2% 카라기난 추가가 경도 상승에 가장 큰 효과가 있는 것으로 나타났다. 5% TVP 첨가는 점착성을 가장 효과적으로 증가시켰으며 카라기난은 씹힘성과 겹침 모두 유의적으로($p<0.05$) 증가시켰으나 점착성은 감소시키는 효과를 보였다. Mazumder MAR 등(2023)의 연구에서 버섯 기반의 식물성 소시지에 카라기난을 첨가하는 것이 경도와 같은 물성 특성과 함께 조리 손실과 같은 특성에도 긍정적인 효과를 주는 것을 확인하였다. 본 연구에서도 전분, TVP, 카라기난을 첨가함으로써 발효된 서리태로 만든 소시지 물성 특성이 향상되는 긍정적인 효과를 확인할 수 있었다.

5. 유산균 발효, 분리대두단백, 글루텐, 루피니빈, 전분, TVP, 카라기난 첨가가 서리태 기반 식물성 소시지의 색과 pH에 미치는 영향

Table 7은 비발효 서리태와 발효 서리태에 분리대두단백과, 글루텐, 루피니빈, 전분, TVP, 카라기난 등의 첨가가 식물성 소시지의 색과 pH에 미치는 영향을 비교한 결과이다. 전체적으로 비발효 서리태 소시지보다 발효 서리태 소시지

의 명도(L 값)가 유의적($p<0.05$)으로 높았다. 발효서리태 소시지의 명도가 증가한 이유는 발효과정이 안토시아닌과 같은 배당체를 분해시키고 저분자로 바꾸는 과정에서 밝기 상승에 영향을 준 것으로 확인된다(Vasilean I 등 2021). 또한 발효서리태로 만든 소시지의 적색도(a 값)이 유의적($p<0.05$)으로 높은 것으로 확인되었다. 서리태의 경우 자엽이 초록색이기 때문에 적색도가 낮은 제품이 만들어지는데, 발효를 하게 되면 젖산과 다른 유기산으로 인한 산도 증가가 클로로필에 변성을 일으켜 갈색의 페오피틴으로 색이 변화하게 되어 적색도가 증가하는 특성(Koca N 등 2007)을 보인다. 본 연구에서도 발효서리태로 제조된 소시지의 적색도가 증가하는 것이 확인되었다. 또한 발효서리태로 만든 소시지의 황색도(b 값)는 높았으나 글루텐과 분리대두단백의 함량의 차이에 따른 변화는 발효 여부와 상관없이 모두 관찰되지 않았다.

분리대두단백, 글루텐을 첨가하여 만든 발효 소시지에 루피니빈 가루가 추가되었을 때 루피니빈의 첨가량이 증가할수록 L 값이 감소하였다. 10% 분리대두단백과 5% 글루텐만 첨가된 소시지(F10G5L0)의 L값은 69.6으로 루피니빈이 5%씩 증가할 때마다 L 값은 62.4(F10G5L5), 58.3(F10G5L10)으로 감소하였다. Cacak-Pietrazak G 등(2023)의 연구에서도 사위도우 반죽에 루피니빈과 같은 콩과식물 가루의 첨가량이 증가할수록 빵 부스리기 L 값이 지속적으로 감소함이 보고되었다. 발효서리태로 제조한 소시지에서 글루텐과 루피니빈의 첨가가 a 값 증가에 영향을 준 것으로 확인되었다. 루피니빈은 주황색을 띄는 카로티노이드 색소를 가지고 있기 때문에 적색도에 영향을 준 것으로 확인되나(Khan MK 등 2015) 분리대두단백은 적색도에는 영향을 주지 못했다. 그러나 본 연구에서는 글루텐, 분리대두단백, 루피니빈이 모두 b 값을 유의적으로 증가시키지는 못하였다. 현재 마트에서 판매 중인 식물성 소재 소시지의 L 값의 범위는 48.16~69.12

Table 7. Effects of fermentation, soy protein isolate, gluten, and lupini bean powder on the color and pH of plantbased sausage

Sample ¹⁾	L	a	b	pH
N10G0 ²⁾	-	-	-	-
N10G5	63.79±0.22 ^{de4)}	-1.43±0.19 ^l	10.88±0.49 ^h	6.68±0.02 ^c
N15G0	58.93±1.12 ^{hi}	-1.11±0.13 ^l	8.76±0.64 ⁱ	6.78±0.01 ^b
N15G5	61.40±1.38 ^{efgh}	-1.39±0.04 ^l	11.34±1.65 ^h	6.65±0.02 ^c
F10G0L0	-	-	-	-
F10G0L5	67.26±1.25 ^{abc}	3.02±0.23 ^{ij}	14.43±1.12 ^{fg}	4.76±0.05 ^{mn}
F10G0L10	59.92±0.11 ^{ghi}	3.55±0.36 ^{efgh}	15.09±0.62 ^{efg}	4.76±0.01 ^{mn}
F15G0L0	67.61±2.21 ^{abc}	2.39±0.05 ^k	14.01±0.34 ^{fg}	4.73±0.02 ⁿ
F15G0L5	62.80±3.46 ^{ef}	2.85±0.55 ^j	13.57±1.00 ^g	4.96±0.04 ^l
F15G0L10	59.29±1.40 ^{hi}	3.42±0.31 ^{efghi}	14.10±0.48 ^{fg}	5.16±0.04 ^{fgh}
F10G5L0	69.56±1.39 ^a	2.94±0.06 ^{ij}	15.24±0.72 ^{def}	4.52±0.02 ^o
F10G5L5	62.35±0.80 ^{efg}	3.89±0.06 ^{cde}	13.90±0.42 ^{fg}	4.82±0.01 ^m
F10G5L10	57.91±0.62 ⁱ	4.18±0.18 ^c	16.27±0.46 ^{cde}	4.93±0.01 ^l
F15G5L0	62.17±1.25 ^{efg}	3.02±0.54 ^{ij}	14.35±0.29 ^{fg}	4.82±0.01 ^m
F15G5L5	57.63±0.44 ⁱ	3.30±0.15 ^{ghij}	14.10±0.48 ^{fg}	4.99±0.01 ^{kl}
F15G5L10	54.54±1.03 ^j	3.68±0.21 ^{defg}	16.79±0.62 ^c	5.12±0.03 ^{ghi}
F15G5L5S1	63.93±0.79 ^{de}	2.85±0.05 ^j	16.44±0.13 ^{cde}	5.20±0.02 ^f
F15G5L5S2	65.35±0.25 ^{cd}	3.17±0.06 ^{hij}	16.40±0.67 ^{cde}	5.19±0.01 ^{fg}
F15G5L5T	68.23±0.94 ^{ab}	3.83±0.16 ^{cdef}	16.88±0.73 ^c	5.11±0.01 ^{hi}
F15G5L5k1	68.85±0.07 ^{ab}	3.18±0.10 ^{hij}	16.80±0.51 ^c	5.04±0.01 ^{jk}
F15G5L5k2	66.35±0.73 ^{bc}	3.38±0.16 ^{efghi}	16.61±0.40 ^{cd}	5.08±0.01 ^{ij}
A ³⁾	60.50±1.17 ^{fgh}	14.91±0.02 ^a	20.45±0.11 ^b	7.40±0.02 ^a
B	69.12±0.31 ^a	4.09±0.04 ^{cd}	16.07±0.15 ^{cde}	6.24±0.02 ^d
C	48.66±1.97 ^k	11.75±0.46 ^b	26.60±2.12 ^a	5.98±0.01 ^e

¹⁾ F: used fermented bean, G: gluten, L: lupini bean powder. All samples contained 5% vegetable oil and 1% salt.

²⁾ Sausage was not formed with N10G0 and F10G0L0.

³⁾ Commercially available products, A: Vegefood, B: Nextmeal, C: Sahmyook food.

⁴⁾ Mean±S.D. (n=24) within each column followed by different letters is significantly different ($p<0.05$).

로 평균 59.26으로 본 연구에서 제조한 소시지의 L 값과 유사하였으나 적색도, 황색도는 제품별 차이가 매우 컸으며 Nextmeal 브랜드 제품이 본 연구에서 제조한 소시지의 색과 가장 유사한 것으로 확인되었다(Fig. 2).

본 연구에서 제조된 발효서리태 소시지의 경우 낮은 pH(4.52~4.82)가 확인되었는데 유산균 발효에서 생성된 젖산을 포함한 다양한 유기산의 효과로 pH가 감소한 것으로 사료된다. 그러나 글루텐, 분리대두단백, 루피니빈의 첨가량이

증가함에 따라 단백질이 가지는 완충작용으로 인하여 pH가 증가하는 것으로 나타났다. 판매 중인 소시지의 pH의 범위는 5.98~7.4로 본 연구에서 제조한 소시지의 pH보다 1 이상 높았다. 본 연구에서 제조한 소시지의 경우 발효과정에서 생성된 젖산과 함께 다양한 유기산이 미생물 성장을 저해하며, 식품의 저장성 향상에도 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

루피니빈 단백질은 유화안정성을 증가시키고 유, 수분 손실을 감소시키는 효과가 있는 것으로 보고되었다(Leonard W

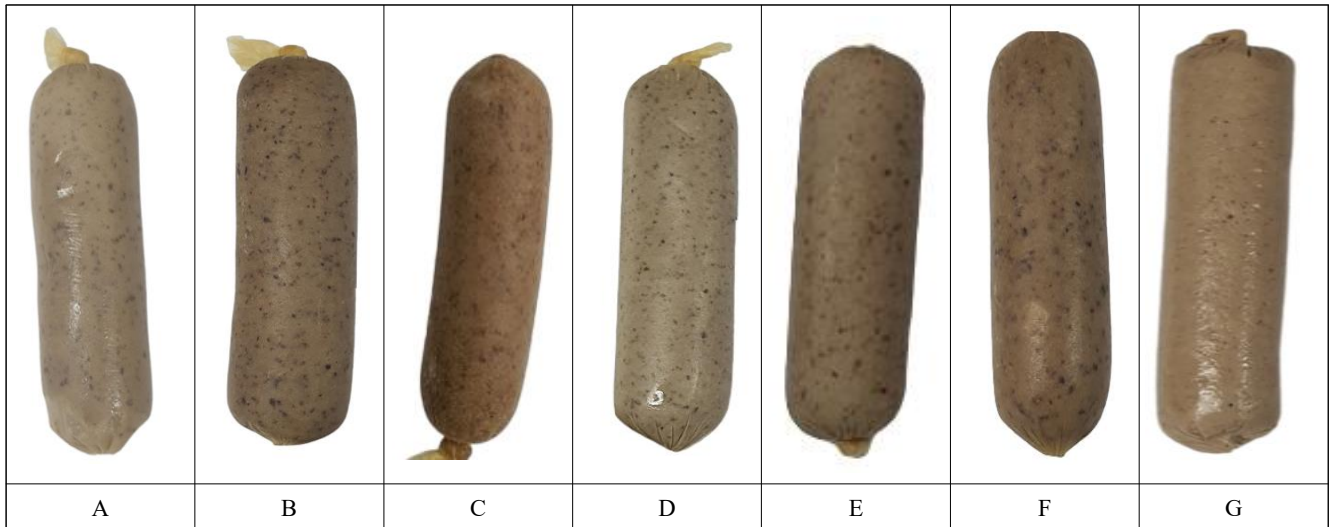


Fig. 2. Photographs of plant-based sausages. (A) F15G5L0, (B) F15G5L5, (C) F15G5L10, (D) F10G5L0, (E) F10G5L5, (F) F10G5L10, (G) Nexmeal.

등 2019; Boukid F 등 2022). 본 연구에서도 가열 조리한 소시지의 조리 손실은 분리대두단백 15%와 글루텐 5%만 넣은 소시지(F15G5L0)가 5.98%로 가장 큰 조리 손실율을 보였으며 같은 조건에 루피니빈 가루가 5%(F15G5L5), 10%가 들어간 소시지(F15G5L10)의 경우에는 4.71, 4.73%로 조리손실이 유의적($p < 0.05$)으로 감소되었다(Data not shown). 식물성 대체육이 육류 제품에 비해서 낮은 조리 손실을 보이는 것은 식물성 대체육의 특징으로 Vu G 등(2022)의 결과에서 소고기 패티와 식물성 대체육 패티의 조리 손실을 비교했을 때 식물성 대체육 패티가 소고기 패티보다 조리손실이 2배가량 낮았다. 이는 가열에 따른 콜라겐의 변성이 육류의 수분 보유력을 낮춘 반면, 식물성 대체육은 가열에 의한 영향이 적은 것으로 나타났다. 따라서 식물성 대체육을 개발할 때 루피니빈을 첨가하는 것은 제품의 유화안정성과 수분 보유력을 증가시켜서 조리나 보관 시 손실되는 수분이나 지방을 방지하는데 효과적일 것으로 사료된다.

발효서리태에 분리대두단백, 글루텐, 루피니빈 외에 추가로 전분, TVP, 카라기난이 첨가된 소시지는 첨가 전 조건에 비해 L 값과 b 값이 유의적으로 증가($p < 0.05$)하였다. 감자전분과 타피오카 전분은 백색을 띠고 있는데 Liu H 등(2014)에 따르면 어묵 껍에서 감자 전분이나 옥수수 전분의 첨가가 명도를 증가시키는 것을 확인하였다. Kim M 등(2015)에서도 글루텐 프리 쌀식빵 제조 시 타피오카 전분을 넣었을 때, 황색도가 증가하는 것을 확인하였다. 본 연구에서도 소시지의 pH는 전분과 TVP, 카라기난을 넣었을 때 평균 pH 5.12로 상승하는 효과를 보였으며, 이를 통해 전분, TVP, 카라기난을 첨가하는 것은 소시지의 명도와 황색도, pH에 모두 영향을 주는 것으로 나타났다.

요 약

본 연구는 서리태의 유산균 발효를 통해 피트산 저감화 효과 및 식물성 대체육 원료로서 루피니빈의 가능성을 확인하고 글루텐 프리 식품제조를 위한 글루텐 대체 가능성을 포함하여 다양한 식물성 소재와의 시너지 효과를 평가하기 위해 연구가 수행되었다. 서리태의 피트산 감소 효과는 *L. plantarum*이 가장 효과적이었는데 유산균 *L. plantarum*를 통한 발효는 기존 서리태의 피트산 함량을 33.7% 감소시켰다. 전체적으로 발효서리태로 만든 소시지가 비발효 서리태로 만든 소시지보다 3~4배 정도로 점착성이 증가하였으나 응집성, 씹힘성은 감소하였다. 또한 발효서리태로 만든 소시지는 특히 적색도에서 유의미한 색 변화가 관찰되었고 발효과정에서 생성된 젖산으로 인해 pH는 감소하였다. 루피니빈은 5%가 증가할수록 경도를 1.3배 증가시키는 효과를 보였고 그로 인해 씹힘성과 검성을 증가하는데 도움을 주었으나 응집성에는 큰 변화를 주지 못하였다. 색도에서는 루피니빈 첨가가 증가할수록 적색도, 황색도, pH는 증가하였다. 본 연구를 통해 서리태의 유산균 발효는 피트산 감소와 같은 영양적 특성을 강화하나 소시지의 씹힘성을 낮춘다는 한계점을 보였다. 이에 루피니빈 첨가가 단백질 공급원과 함께 경도를 강화하고 검성, 씹힘성을 증가시켜 글루텐 대체제로서의 가능성을 확인하였다. 또한 추가로 전분, TVP, 카라기난은 소시지의 경도, 씹힘성과 검성을 증가시켰으며 발효서리태로 제조한 식물성 소시지의 명도와 황색도, pH에 모두 긍정적인 영향을 주었다.

REFERENCES

- Al Hasan SM, Hassan M, Saha S, Islam M, Billah M, Islam S (2016) Dietary phytate intake inhibits the bioavailability of iron and calcium in the diets of pregnant women in rural Bangladesh: A cross-sectional study. *BMC Nutr* 2: 24.
- Arora S, Kataria P, Nautiyal M, Tuteja I, Sharma V, Ahmad F, Haque S, Shahwan M, Capanoglu E, Vashishth R, Gupta AK (2023) Comprehensive review on the role of plant protein as a possible meat analogue: Framing the future of meat. *ACS Omega* 8(26): 23305-23319.
- aTFis (Korea Agro-Fisheries & Food Trade Corporation) (2021) Processed Food Market Segmentation Report: Vegan Food. <https://www.atfis.or.kr> (accessed on 28. 6. 2024).
- Axelsson L (2004) Lactic acid bacteria: Classification and physiology. 3rd ed. pp 1-67. In: *Lactic acid bacteria: Microbiological and functional aspects*. Salminen, S, Wright AV, Ouwehand A (eds). Marcel Dekker, New York, NY, USA.
- Bakhsh A, Lee SJ, Lee EY, Sabikun N, Hwang YH, Joo ST (2021) A novel approach for tuning the physicochemical, textural, and sensory characteristics of plant-based meat analogs with different levels of methylcellulose concentration. *Foods* 10(3): 560-575.
- Behera SS, Ray RC, Zdolec N (2018) *Lactobacillus plantarum* with functional properties: An approach to increase safety and shelf life of fermented foods. *Biomed Res Int* 2018: 9361614.
- Boukid F, Pasqualone A (2022) Lupine (*Lupinus* spp.) proteins: Characteristics, safety and food applications. *Eur Food Res Technol* 248: 345-356.
- Cacak-Pietrzak G, Sujka K, Książek J, Bojarszczuk J, Dziki D (2023) Sourdough wheat bread enriched with grass pea and lupine seed flour: Physicochemical and sensory properties. *Appl Sci* 13(15): 8664.
- Chiang JH, Tay W, Ong DSM, Liebl D, Ng CP, Henry CJ (2021) Physicochemical, textural and structural characteristics of wheat gluten-soy protein composited meat analogues prepared with the mechanical elongation method. *Food Struct* 28: 100183.
- Coulibaly A, Kouakou B, Chen CJ (2011) Phytic acid in cereal grains: Structure, healthy or harmful ways to reduce phytic acid in cereal grains and their effects on nutritional quality. *Amer J Plant Nutr Fertil Tech* 1(1): 1-22.
- Dekkers BL, Boom RM, van der Goot AJ (2018) Structuring processes for meat analogues. *Trends Food Sci Technol* 81: 25-36.
- Elhalis H, See XY, Osen R, Chin XH, Chow Y (2023) The potentials and challenges of using fermentation to improve the sensory quality of plant-based meat analogs. *Front Microbiol* 14: 1267227.
- Elmadfa I, Meyer AL (2017) Animal proteins as important contributors to a healthy human diet. *Annu Rev Anim Biosci* 5: 111-131.
- Emkani M, Oliete B, Saurel R (2022) Effect of lactic acid fermentation on legume protein properties: A review. *Fermentation* 8(6): 244.
- Feizollahi E, Mirmahdi RS, Zoghi A, Zijlstra RT, Roopesh MS, Vasanthan T (2021) Review of the beneficial and anti-nutritional qualities of phytic acid, and procedures for removing it from food products. *Food Res Int* 143: 110284.
- Florowska A, Hilal A, Florowski T, Wroniak M (2020) Addition of selected plant-derived proteins as modifiers of inulin hydrogels properties. *Foods* 9(7): 845.
- Frezal, C, Nenert C, Gay H (2022) Meat protein alternatives: opportunities and challenges for food systems' transformation. *OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers*, No. 182, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/387d30cf-en>
- Gao Y, Shang C, Maroof MS, Biyashev R, Grabau E, Kwanyuen P, Burton J, Buss G (2007) A modified colorimetric method for phytic acid analysis in soybean. *Crop Sci* 47(5): 1797-1803.
- Gasparre N, van den Berg M, Oosterlinck F, Sein A (2022) High-moisture shear processes: Molecular changes of wheat gluten and potential plant-based proteins for its replacement. *Molecules* 27(18): 5855.
- Im CM, Kwon SH, Bae MS, Jung KO, Moon SH, Park KY (2006) Characteristics and increased antimutagenic effect of black soybean (var. Seoritae) chungkukjang. *J Cancer Prev* 11(3): 218-224.
- Jeong SO, Kim HY, Han JS, Kim MJ, Kang MS, Kim AJ (2016) Manufacture and quality evaluation of beverage with prepared with roasted seoritae. *Korean J Food Nutr* 29(4): 557-564.
- Jung SY, Kang S, Lee NR, Ryu MS, Wu X, Kim DS, Park

- S (2018) Production and physicochemical properties of black bean yogurt made with lactic acid bacteria isolated from vinegar and kimchi. *Korean J Food Sci Technol* 50(1): 76-82.
- Khan MK, Karnpanit W, Nasar Abbas SM, Huma Ze, Jayasena V (2015) Phytochemical composition and bioactivities of lupin: A review. *Int J Food Sci Technol* 50(9): 2004-2012.
- Kies AK, DE Jonge LH, Kemme PA, Jongbloed AW (2006) Interaction between protein, phytate, and microbial phytase. *In vitro* studies. *J Agric Food Chem* 54(5): 1753-1758.
- Kim KS, Kim MJ, Lee K, Kwon DY (2003) Physico-chemical properties of Korean traditional soybeans. *Korean J Food Sci Technol* 35(3): 335-341.
- Kim M, Yun Y, Jeong Y (2015) Effects of corn, potato, and tapioca starches on the quality of gluten-free rice bread. *Food Sci Biotechnol* 24: 913-919.
- Kinder DH, Knecht KT. (2011) Lupine (*Lupinus caudatus* L., *Lupinus albus* L.) seeds: History of use, use as an antihyperglycemic medicinal, and use as a food. pp 711-716. In: Nuts and seeds in health and disease prevention. Preedy VR, Watson RR, Patel VB (eds). Academic Press, Cambridge, Mass, USA.
- Koca N, Karadeniz F, Burdurlu HS (2007) Effect of pH on chlorophyll degradation and colour loss in blanched green peas. *Food Chem* 100(2): 609-615.
- Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture, and Forestry(IPET) (2022) Food R&D Issue 6: The Plant-based Meat Market in Domestic. <https://tb.kibo.or.kr> (accessed on 28. 6. 2024).
- Kwon SH, Ahn IS, Kim SO, Kong CS, Chung HY, Do MS, Park KY (2007) Anti-obesity and hypolipidemic effects of black soybean anthocyanins. *J Med Food* 10(3): 552-556.
- Leonard W, Hutchings SC, Warner RD, Fang Z (2019) Effects of incorporating roasted Lupin (*Lupinus angustifolius*) flour on the physicochemical and sensory attributes of beef sausage. *Int J Food Sci Technol* 54(5): 1849-1857.
- Liao HF, Chou CJ, Wu SH, Khoo KH, Chen CF, Wang SY (2001) Isolation and characterization of an active compound from black soybean [*Glycine max* L. Merr.] and its effect on proliferation and differentiation of human leukemic U937 cells. *Anticancer Drugs* 12(10): 841-846.
- Lim SY, Park KY, Bae MS, Kim KH (2009) Effect of doenjang with black soybean on cytokine production and inhibition of tumor metastasis. *J Life Sci* 19(2): 264-270.
- Liu H, Nie Y, Chen H (2014) Effect of different starches on colors and textural properties of surimi-starch gels. *Int J Food Prop* 17(7): 1439-1448.
- Lu Z, Liu Y, Lee Y, Chan A, Lee P, Yang H (2021) Effect of starch addition on the physicochemical properties, molecular interactions, structures, and *in vitro* digestibility of the plant-based egg analogues. *Food Chem* 403: 134390.
- Mahmoud EA, Nassef SL, Basuny AM (2012) Production of high protein quality noodles using wheat flour fortified with different protein products from lupine. *Ann Agric Sci* 57(2): 105-112.
- Manzoor M, Singh D, Aseri GK, Sohal JS, Vij S, Sharma D (2021) Role of lacto-fermentation in reduction of anti-nutrients in plant-based foods. *J Appl Biol Biotechnol* 9(3): 7-6.
- Mathur M, Peacock J, Reichling D, Nadler J, Bain P, Yang H (2021) Interventions to reduce meat consumption by appealing to animal welfare: Meta-analysis and evidence-based recommendations. *Appetite* 164: 105277.
- Mazumder MAR, Sujintonniti N, Chaum P, Ketnawa S, Rawdkuen S (2023) Development of plant-based emulsion-type sausage by using grey oyster mushrooms and chickpeas. *Foods* 12(8): 1564.
- Moon HK, Lee SW, Moon JN, Kim DH, Yoon WJ, Kim GY (2011) Quality characteristics of various beans in distribution. *J East Asian Soc Diet Life* 21(2): 215-221.
- Reale A, Konietzny U, Coppola R, Sorrentino E, Greiner R (2007) The importance of lactic acid bacteria for phytate degradation during cereal dough fermentation. *J Agric Food Chem* 55(8): 2993-2997.
- Samtiya M, Aluko RE, Dhewa T. (2020) Plant food anti-nutritional factors and their reduction strategies: An overview. *Food Prod Process Nutr* 2: 6.
- Singh P, Arora A, Strand TA, Leffler DA, Catassi C, Green PH, Kelly CP, Ahuja V, Makharia GK (2018) Global prevalence of celiac disease: Systematic review and meta-analysis. *Clin Gastroenterol Hepatol* 16(6): 823-836.
- Song HN, Jung KS (2006) Quality characteristics and physiological activities of fermented soybean by lactic acid bacteria. *Korean J Food Sci Technol* 38(4): 475-482.
- Van de Noort M (2024) Lupin: An Important Protein and

- Nutrient Source Sustainable Protein Sources. Elsevier. pp 219-239.
- Vasilean I, Aprodu I, Garnai M, Munteanu V, Patraşcu L (2021) Preliminary investigations into the use of amylases and lactic acid bacteria to obtain fermented vegetable products. *Foods* 10(7): 1530.
- Vu G, Zhou H, McClements DJ (2022) Impact of cooking method on properties of beef and plant-based burgers: Appearance, texture, thermal properties, and shrinkage. *J Agric Food Res* 9: 100355.
- Wang Y, Tuccillo F, Lampi AM, Knaapila A, Pulkkinen M, Kariluoto S, Coda R, Edelmann M, Jouppila K, Sandell M, Piironen V, Katina K (2022) Flavor challenges in extruded plant based meat alternatives: A review. *Compr Rev Food Sci Food Saf* 21(3): 2898-2929.
- Wei CH, Sok DE, Yang YH, Oh SH, Kim HC, Yoon WK, Kim HM, Kim MR (2006) Protein composition of domestic and glyphosate-tolerant soybean. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 35(4): 470-475.
- Younis K, Ashfaq A, Ahmad A, Anjum Z, Yousuf O (2023) A critical review focusing the effect of ingredients on the textural properties of plant-based meat products. *J Texture Stud* 54(3): 365-382.
- Zhang Y, Guo X, Shi C, Ren C (2020) Effect of soy proteins on characteristics of dough and gluten. *Food Chem* 318: 126494.
- Ziobro R, Juszcak L, Witczak M, Korus J (2016) Non-gluten proteins as structure forming agents in gluten free bread. *J Food Sci Technol* 53(1): 571-580.
-
- Date Received Apr. 28, 2025
Date Revised Aug. 18, 2025
Date Accepted Sep. 2, 2025