

세절형 식물성 미트볼의 저작 특성 모방을 위한 식물성 단백질과 다당류 소재의 배합비 최적화

이종엽¹ · 이은정¹ · 홍근표^{1,2,*}

¹세종대학교 식품생명공학과, ²세종대학교 탄수화물소재연구소

Optimization of finely ground meat ball analogue formulations using proteins and polysaccharides from plant origin

Jong-Yeop Lee¹, Eun-Jung Lee¹, and Geun-Pyo Hong^{1,2,*}

¹Department of Food Science and Biotechnology, Sejong University

²Carbohydrate Bioproduct Research Center, Sejong University

Abstract This study optimized the finely ground meat ball analogue formulation by a series of experiments. Replacing isolated soy protein (ISP) to isolated mung bean protein (IMP) in total 27% protein caused an increase in hardness while adhesiveness, springiness, and chewiness were decreased ($p < 0.05$), and the best ISP to IMP ratio was 10:17. When protein content was changed from 19% (w/w) to 31% (w/w) with the best ISP:IMP ratio, adhesiveness was increased with decreasing protein content, but all texture profiles were greatly decreased comparing to control ($p < 0.05$). To modify texture of plant meat ball, potato starch (PS), κ -carrageenan (KC), methyl cellulose (MC), konjac (KJ), and potato protein (PP) were applied in formulation. Finally, KJ and MC were combined with and without PP in formulation. As a result, 0.5% KJ+MC+PP and 1% KJ+MC were best formulation for plant meat ball, nevertheless, highly harder texture than control must be regulated which warranted further exploration.

Keywords: soy protein, mung bean protein, meat ball, expressible moisture, texture profile

서 론

최근 미국에서 식물성 대체 햄버거 패티의 개발 및 성공적인 마케팅으로 인하여 국내에서도 식물성 대체육제품의 개발에 대한 사회적인 관심이 급증하고 있다. 실제로 국내 식물성 대체육 제품의 제조는 이미 20여 년의 역사가 있지만 여전히 국내 소비자들의 만족감을 확보하는데 한계를 보이고 있다. Park 등(2022)에 의하면 건강에 대한 소비자의 긍정적인 인식으로 식물성 대체육 제품에 대한 소비 요구는 높지만, 제품의 맛과 식감에 대한 만족감이 매우 낮아 이에 대한 개선 기술 개발이 요구되고 있다. 현재 국내 식물성 대체육제품의 제조 기술은 미국과 약 5년의 기술 격차를 보이는 것으로 평가되며, 원료 소재, 제조 기술 및 제품 유형 측면에서 아직 해외 성공 사례의 기술 모방 수준에 머물고 있어 기술 선진국과의 격차를 줄이기 어려운 상황이다(Lee 등, 2021). Lee 등(2021)의 연구에 따르면 국내 식물성 제품의 주 원료는 분리대두단백질(isolated soy protein, ISP)이 사용되고 있고, 해외 성공사례에서 사용하는 완두, 렌즈콩, 녹두 유래 단백질은 국내에서 생산되지 않고 있어 전량 수입에 의존하는 실정인

며, 해외 성공 제품들에서 활용하고 있는 메틸셀룰로오스(methyl cellulose, MC)나 감자단백질(potato protein, PP) 등의 첨가 소재들 또한 국내 생산 기반이 없어 이들의 가공적성을 대체할 수 있는 국내 식물성 원료의 확보가 필요한 상황이다.

기술 측면에서는 여전히 ISP 기반의 압출 가열에 의한 식물성 조직단백(texturized vegetable protein)이 기본 조직으로 활용되고 있다. 특히 대두 단백질의 높은 열안정성으로 육가공 과정에서 일반적으로 사용되는 열처리 온도(75-90°C)만으로는 대두 단백질의 조직 형성이 어려울 뿐 아니라, 육제품의 향미 모방을 위해 첨가되는 식염은 제품의 이온 강도를 높여 대두 단백질의 열 안정성을 강화시키기 때문에 압출 가열(130-160°C)이 필수적으로 활용되는 상황이다(Hong 등, 2012; Tang 등, 2007). 실제 압출 성형에 의한 식물성조직단백은 외형상 식육의 섬유상 구조와 매우 유사한 특성을 보이지만, 근섬유와의 본질적인 구조적 차이를 해결하지 못해 제품화 이후 실제 식육과 이질적인 조직감을 구현하고 있다(Fiorentini 등, 2020; Lee 등 2021). 따라서 최근에는 압출 기술을 대체하기 위한 3D 프린팅 등 첨단 기술 개발이 시도되고 있지만 여전히 이를 대체하여 상용화할 수 있는 기술은 전무한 실정이다(Ramachandraiah, 2021).

근섬유의 구조 유지가 요구되는 거친 분쇄육제품의 모방에 비해 완전 세절형 식품의 모방을 통한 식물성 대체육제품은 압출 기술을 거치지 않고 제조가 가능하다. 반면 식육 단백질 기반 제품의 조직감을 모방하기 위하여 원료와 첨가 소재에 대한 상세한 검토가 요구된다. 최근 분리녹두단백질(isolated mung bean protein, IMP)에 대한 대체식육 제품화에 대한 관심이 높아지고 있다. IMP는 ISP에 비해 상이한 열응고 및 조직 특성을 보이는

*Corresponding author: Geun-Pyo Hong, Department of Food Science and Biotechnology and Carbohydrate Bioproduct Research Center, Sejong University, Seoul 05006, Korea
Tel: +82-2-3408-2914
Fax: +82-2-3408-4319
E-mail: gphong@sejong.ac.kr
Received July 27, 2022; revised August 18, 2022;
accepted August 19, 2022

것으로 기대되지만(Tang, 2008), 녹두는 주로 전분의 활용 목적으로 사용되고 있기에 IMP의 특성에 관한 연구는 많이 이루어지지 않고 있다. 또한 국내 녹두 생산량은 대두에 비해 낮아 도매 가격이 2배 이상 높은 실정이며(Korea Agro-Fisheries and Food Trade Corporation, 2022), 분리단백질의 생산 기반이 존재하지 않기에 기존 ISP를 전량 IMP로 대체하기는 어렵지만, 일부 ISP를 대체하면 조직 개선 효과를 얻을 가능성이 있다. 따라서 본 연구에서는 완전 세절형 미트볼의 조직감을 모방하기 위한 식물성 대체육제품의 최적 원료 및 첨가 소재의 배합비를 최적화하기 위하여 수행되었다.

재료 및 방법

공시재료

분리대두단백(ISP; Shangdong Yuxin Bio-Tech, Qingdao, China; 단백질 95% 이상), 분리녹두단백(IMP; Shaanxi Yuantai Biological Technology Co. Ltd., Xi'an, China; 단백질 95% 이상) 및 감자단백질(PP; Vegan Gastronomy Co., Naxos, Greece)는 인터넷을 통해 수입하여 확보하였다. 분쇄 돈육등심(수분함량 63.8%), 계란, 두부(Daesang Co., Seoul, Korea; 수분 78.8%) 및 카놀라유(Daesang Co., Seoul, Korea)는 서울 광진구 소재 마트에서 구입하였고, 곤약(KJ; Heanafood Co., Seoul, Korea), 메틸셀룰로오스(MC; Daesang Co., Seoul, Korea), 감자전분(PS; Choyafood Co., Eumsung, Korea), 카라기난(KC; κ -form, Esfood Co., Gunpo, Korea) 및 정제소금(Daesang Co., Seoul, Korea)는 식품원료 공급업체를 통해 구입하였다.

미트볼 제조

식물성 미트볼은 실험 단계별로 배합비를 달리하여 제조하였다. 실험 1에서는 ISP와 IMP의 함량에 따른 특성 평가를 위하여 전체 배합비 기준 27% 식물성 단백질(ISP+IMP), 1% 소금, 10% 카놀라유, 62%의 물을 첨가하였다. 본 실험에서 식물성 단백질은 27% ISP, 22% ISP+5% IMP, 17% ISP+10% IMP, 12% ISP+15% IMP 및 7% ISP+20% IMP의 5개 처리구로 분류하였다. 위의 모든 배합비는 징량비 % (w/w)를 사용하였다. 이후 식품 혼합기(KMX75, Kenwood Ltd., Havant, UK)를 활용하여 원료를 5분간 세절 혼합한 후 원통형 플라스틱 용기(직경 60 mm, 높이 15 mm)에 약 29 g씩 넣어 성형을 하였다. 충전 시료의 칭량 후 원료 반죽은 용기와 함께 polynylon 재질의 포장지로 진공포장하여 90°C의 항온수조에서 20분간 가열하였다. 이후 상온에서 30분 방냉시켜 미트볼을 제조하였다.

실험 2에서는 실험 1에서 선정된 최적 단백질 비율을 선정하고, 총 식물성 단백질 함량을 전체 배합비의 19, 23, 27 및 31%로 변화시켰으며, 1% 소금과 10% 카놀라유를 동일한 배합비로 첨가하였다. 이후 물을 가하여 전체 배합비를 100%로 조정하였다. 밀키트의 제조는 실험 1과 동일하게 진행하였다. 실험 1과 실험 2는 실제 식육으로 제조한 미트볼을 대조구로 사용하였다. 대조구는 45% 세절 돈육등심, 50% 두부, 1% 소금 및 4% 수분으로 배합하였으며, 전체 미트볼 제조 과정은 처리구와 동일하게 하였다.

실험 3에서는 선정된 ISP와 IMP의 비율, 총 단백질 함량을 기준으로 대조구의 모방을 위한 식물 유래 첨가소재의 효과를 비교평가하였다. 처리구는 10% ISP, 17% IMP, 1% 소금, 10% 카놀라유, 1% 첨가소재 및 62% 물로 배합하였고, 이때 첨가소재로는 PS, KC, MC, KJ 및 PP를 사용하였다. 첨가소재에 의한 조직감의 변화를 비교하기 위하여 본 실험에서는 첨가소재를 물로

대체한 무첨가구를 대조구로 활용하였다.

실험 4에서는 실험 3에서 평가된 소재들의 특성을 기반으로 소재의 복합 첨가에 따른 식물성 미트볼의 특성을 실제 식육으로 제조한 미트볼과 비교하였다. 본 연구에서는 KJ+MC, KJ+MC+PP를 비교하였고, 각 처리구는 개별 소재의 첨가량을 0.5%와 1%로 달리 제조하여 비교하였다. 또한 모든 처리구에는 공통적으로 10% ISP, 17% IMP, 1% 소금, 10% 카놀라유를 첨가하였고, 이후 물을 가하여 전체 배합비를 100%로 설정하였다. 대조구로는 실험 1과 2에 사용한 대조구의 4%물을 계란으로 대체하여 제조하였다. 이상의 실험은 새로 구입한 원료를 사용하여 총 3회 반복 실시되었다.

가열감량 측정

각 처리구별 3개의 미트볼 샘플을 무작위로 선정하여 가열감량을 측정하였다. 가열 후 방냉한 미트볼은 포장지와 성형 용기를 조심히 제거한 후 표면의 과도한 수분을 티슈로 가볍게 제거하였다. 이후 미트볼의 질량을 측정하였다. 미트볼의 가열감량은 가열 전 무게 대비 가열 전 후 미트볼의 질량 변화를 백분율로 계산하여 측정하였다.

수분함량과 보수력 결정

수분함량과 보수력은 각 처리구별 남은 2개의 미트볼 샘플을 사용하여 측정하였다. 각 미트볼에서 1g의 시료를 채취한 후 수분함량을 AOAC (2012)의 105°C 상압건조법으로 측정하였다. 미트볼의 보수력은 Boles와 Shand (2001)에 의한 유리수분(expressible moisture)을 측정하여 보수력의 척도로 비교하였다. 미트볼에서 시료 1.5 g을 채취하여 칭량한 후 미리 거즈를 넣어둔 원심분리 튜브에 넣었다. 튜브는 1,500×g에서 10분간 냉장 조건에서 원심분리한 후 미트볼 시료만 조심히 거즈에서 제거하였다. 이후 거즈를 포함한 튜브의 질량을 측정한 후 105°C에서 24시간 건조하여 다시 한번 질량을 측정하였다. 미트볼의 유리수분은 초기 시료의 질량 대비 원심분리로 유출된 수분의 함량 비율로 산출하였다.

조직감 평가

미트볼의 조직감은 Samard와 Ryu (2019)의 texture profile analysis (TPA) 평가 방법을 일부 변형하여 측정 평가하였다. 가열감량을 측정된 각 미트볼 시료로부터 직경 11.5 mm cork borer를 사용하여 4개의 원통 시료를 채취하여 처리구별 총 12개의 시료를 확보하였다. 각 시료는 직경 25.4 mm의 원통형 probe (TA11/1000, Brookfield, Middleboro, MA, USA)를 장착한 물성측정기(CT3, Brookfield, Middleboro, MA, USA)를 사용하여 0.1 N 측정 개시 중량 및 0.8 mm/s의 압축 속도로 원래 높이의 50%를 2회 압착하여 조직감을 평가하였고, 경도(hardness), 점착성(adhesiveness), 응집성(cohesiveness), 탄력성(springiness) 및 씹힘성(chewiness)를 측정하였다.

통계분석

본 연구에서는 완전임의배치법(completely randomized design)을 통하여 대조구(돈육 미트볼)와 처리구(식물성 미트볼) 간의 특성을 비교하였다. 각 실험에서 측정된 결과를 평균값으로 산출하였고, 3회 반복된 실험결과의 평균값들을 SPSS (ver. 27, IBM Inc., Armonk, NY, USA)를 이용하여 일원분산분석(one-way analysis of variance)으로 분석하였다($n=3$). 사후 검정을 위하여 각 평균차이는 5% 유의수준에서 Duncan의 다중범위검정(multiple range test)을 실시하였다.

결과 및 고찰

IMP의 ISP 대체 비율에 따른 식물성 미트볼의 특성

ISP와 IMP 대체 비율에 따른 대조구와 식물성 미트볼과의 차이를 Table 1에 나타내었다. 대조구의 수분함량은 73.6%로 일반적인 육제품의 수분함량과 유사한 반면, 모든 처리구의 수분함량은 대조구에 비해 유의적으로 낮은 수치를 보였다($p<0.05$). 본 연구에서는 대조구와 처리구의 단백질 함량을 각각 24%와 27%로 설정하여 배합비를 산출하였으며, 따라서 배합과정에서 대조구의 총 수분함량은 75.1%인 반면 모든 처리구의 수분함량은 62%로 설정되어 제조된 식물성 미트볼의 수분함량은 대조구에 비해 낮은 수치를 보였다. 반면 식물성 미트볼의 수분함량은 처리구 간에 유의적인 차이를 보이지 않았고 62.4-63.4% 수준을 보였다. 이는 처리구가 상대적으로 낮은 수분함량으로 배합되었을 뿐 아니라 식물성 단백질(ISP 및 IMP)의 높은 보수력에 의한 결과로 판단된다. 실제로 대조구는 27.9%의 가열감량을 보인 반면, 모든 처리구는 1.20% 이하의 낮은 가열감량을 보였다($p<0.05$). 대조구의 가열감량은 다량의 두부 첨가에 의한 결과로 판단되는데, 두부는 열처리 후 응고를 통해 제조되기에 두부에 존재하는 과잉의 수분이 미트볼 제조과정 중 유출되어 발생한 결과로 판단된다. 처리구의 가열감량은 IMP의 함량 증가에 따라 다소 증가하는 경향을 보였지만, 모든 처리구 간의 유의적인 차이는 인정되지 않았다. 이는 본 연구에 사용한 식물성 단백질이 가열과정에서 효과적으로 수분과 결합하고 있음을 의미한다(Choi 등, 2015). 미트볼의 유리수분함량은 대조구에서 23.5%로 가장 높았으며, 모든 처리구에서 대조구보다 유리수분함량이 낮았지만, IMP가 15% 이상 ISP를 대체하는 경우 유의적으로 높은 유리수분 함량을 보여주었다($p<0.05$). Brishti 등(2017)은 ISP와 IMP의 용해도나 젤 형성 최소 농도 등의 식품 가공적성이 유사하다고 보고하였지만, Gunathilake 등(2016)은 ISP가 IMP에 비해 두배 이상 높은 보수력을 보유하고 있다고 보고하였다. 일반적으로 육제품의 유리수분은 저장 시 다즙성과 높은 상관관계를 보인다(Phelps 등, 2015). 따라서 ISP에 비해 IMP는 제품의 다즙성을 향상시키는데 기여할 것으로 판단된다. 반면 배합비를 통해 식물성 미트볼의 낮은 수분함량을 감안할 때 단백질의 함량 조절이 요구될 것으로 판단된다.

ISP와 IMP의 대체 비율에 따라 경도는 일부 처리구에서 대조구에 비해 유의적으로 낮았지만($p<0.05$), 전반적으로 5.87-6.45 N

수준으로 대조구의 6.56 N과 유사한 것으로 평가되었다. 이는 대조구와 처리구에서 사용한 단백질의 열안정성 차이에 의한 것으로 판단된다. 반면 점착력에서는 대조구와 처리구 간의 큰 차이가 관찰되었다. 처리구의 점착력은 0.02-0.05 mJ 수준으로 대조구의 0.13 mJ에 비해 유의적으로 낮았다($p<0.05$). 이는 대조구와 처리구 간의 수분함량과 유리수분의 차이에 의한 결과로 판단된다. 반면 ISP와 IMP의 함량은 미트볼의 응집성과 탄력성에 영향을 주었다. 특히 IMP 비율의 증가에 따라 응집성과 탄력성이 감소하였다. 미트볼의 씹힘성은 전반적으로 처리구가 대조구보다 유의적으로 높았지만, IMP 대체 비율의 증가에 따라 씹힘성이 감소하였고, IMP를 20% 대체한 결과 대조구보다 낮은 씹힘성을 보였다($p<0.05$). 이상의 결과, 처리구는 유리수분함량과 점착성이 대조구와 상이한 반면, IMP 대체 비율을 15-20% 범위에서 조절하면 전반적인 조직감은 대조구와 유사한 제형화가 가능할 것으로 기대되었다.

총 단백질 함량 변화에 따른 식물성 미트볼의 특성

본 연구에서는 ISP와 IMP의 비율을 10:17로 고정시킨 후 총 단백질 함량을 19-31%로 변화시키면서 대조구와의 특성을 비교하였다. 본 연구에서는 ISP와 IMP의 배합비 조절과 동일한 대조구를 사용하였다. 단백질 함량에 따른 대조구와 식물성 미트볼의 특성 차이는 Table 2와 같다. 단백질을 수분으로 대체한 결과 첨가한 물의 양은 19% 단백질 처리구에서 최대 70%까지 증가하였다. 이에 따라 가열 후 밀키트의 수분함량은 처리구별로 유의적으로 증가하였다. 특히 총 단백질 함량을 19%로 배합한 수분함량은 대조구에 비해 다소 낮았지만 68.7%까지 수분함량이 증가하였다($p<0.05$). 따라서 밀키트의 가열 감량과 유리수분에서도 단백질 함량을 낮춤에 따라 유의적으로 증가가 관찰되었다($p<0.05$).

단백질 함량은 식물성 미트볼의 조직감에도 현저한 효과를 야기하였다. 시료의 경도는 단백질의 함량에 유의적으로 비례하였고, 특히 31% 단백질 함량에서는 대조구보다 높은 경도를 보인 반면, 단백질 함량을 27%보다 낮춘 결과 미트볼의 경도가 심하게 감소하여 19%에서는 1.30 N의 매우 약한 정도값을 보였다($p<0.05$). 시료의 점착력은 단백질의 함량을 낮춤에 따라 증가하여 23% 이하의 단백질 함량에서 대조구와 차이를 보이지 않았다. 실제로 본 연구에서 단백질 함량과 수분함량은 서로 반비례하므로 점착력의 변화는 수분 함량에 의한 결과로 간주된다. 식

Table 1. Effects of isolated soy protein and mung bean protein ratios on the moisture content, cooking loss, expressible moisture, and texture profiles of plant-based meat balls

Parameters ¹⁾	Control ²⁾	Treatments (ISP:IMP) ³⁾				
		27:0	22:5	17:10	12:15	7:20
Moisture (%)	73.6±0.82 ^a	62.6±0.50 ^b	63.0±0.20 ^b	63.0±0.77 ^b	63.4±0.40 ^b	62.4±1.75 ^b
Cooking loss (%)	27.9±0.81 ^a	1.07±0.17 ^b	0.67±0.06 ^b	0.74±0.12 ^b	0.75±0.19 ^b	1.20±0.26 ^b
EM (%)	23.5±2.51 ^a	2.82±0.39 ^d	3.16±0.10 ^d	3.84±0.31 ^d	7.67±1.22 ^c	11.7±0.52 ^b
Hardness (N)	6.56±1.09 ^a	5.87±0.58 ^b	5.92±0.37 ^b	6.37±0.30 ^{ab}	6.45±0.38 ^{ab}	5.88±0.38 ^b
Adhesiveness (mJ)	0.13±0.09 ^a	0.05±0.05 ^b	0.02±0.04 ^b	0.03±0.05 ^b	0.03±0.05 ^b	0.02±0.04 ^b
Cohesiveness	0.51±0.03 ^c	0.82±0.01 ^a	0.79±0.02 ^b	0.73±0.02 ^c	0.64±0.03 ^d	0.48±0.05 ^f
Springiness (mm)	4.78±0.18 ^a	4.62±0.05 ^b	4.53±0.06 ^c	4.48±0.02 ^c	4.38±0.04 ^d	4.29±0.06 ^d
Chewiness (N)	16.1±3.03 ^c	22.3±2.04 ^a	21.1±1.48 ^a	21.0±1.16 ^a	18.0±1.24 ^b	12.1±2.05 ^d

¹⁾EM, expressible moisture

²⁾Meat ball prepared by pork and tofu

³⁾Ratio of isolated soy protein:isolated mung bean protein in total 27% protein

^{a-f)}Means with different superscript within the same column are significantly different ($p<0.05$).

Table 2. Effects of total protein contents on the moisture content, cooking loss, expressible moisture, and texture profile of plant-based meat balls

Parameters ¹⁾	Control ²⁾	Treatments (total protein contents) ³⁾			
		19%	23%	27%	31%
Moisture (%)	73.6±0.82 ^a	68.7±1.50 ^b	66.4±0.24 ^c	62.5±0.26 ^d	56.8±0.29 ^e
Cooking loss (%)	27.9±0.81 ^a	6.21±1.11 ^b	1.50±0.04 ^c	0.90±0.17 ^c	1.04±0.12 ^c
EM (%)	23.5±2.51 ^a	18.0±1.02 ^b	13.4±0.28 ^c	8.93±0.78 ^d	4.03±0.24 ^e
Hardness (N)	6.56±1.09 ^b	1.30±0.20 ^c	2.49±0.42 ^d	5.82±1.17 ^c	12.2±1.12 ^a
Adhesiveness (mJ)	0.13±0.09 ^a	0.08±0.09 ^{abc}	0.08±0.06 ^{ab}	0.04±0.05 ^{bc}	0.02±0.04 ^c
Cohesiveness	0.51±0.03 ^a	0.37±0.05 ^c	0.41±0.05 ^b	0.54±0.04 ^a	0.52±0.06 ^a
Springiness (mm)	4.78±0.18 ^a	3.82±0.21 ^d	4.04±0.07 ^c	4.23±0.04 ^b	4.31±0.05 ^b
Chewiness (N)	16.1±3.03 ^b	1.89±0.54 ^d	4.20±1.21 ^d	13.28±3.03 ^c	27.5±5.38 ^a

¹⁾EM, expressible moisture²⁾Same data with Table 1³⁾Ratio of soy to mung bean protein is 10:17.^{a-e}Means with different superscript within the same column are significantly different ($p < 0.05$).**Table 3.** Effects of various additives on the moisture content, cooking loss, expressible moisture, and texture profiles of plant-based meat balls

Parameters ¹⁾	Control ²⁾	Treatments (additives) ³⁾				
		PS	KC	MC	KJ	PP
Moisture (%)	62.5±0.34 ^a	61.9±0.45 ^{ab}	61.7±0.23 ^b	61.9±0.32 ^{ab}	61.7±0.24 ^b	61.4±0.15 ^b
Cooking loss (%)	1.15±0.56	1.23±0.46	1.29±0.40	1.21±0.40	1.19±0.35	1.29±0.27
EM (%)	9.71±0.94 ^a	5.46±0.40 ^c	5.38±0.21 ^c	2.56±0.40 ^d	2.33±0.21 ^d	8.68±0.99 ^b
Hardness (N)	6.04±0.25 ^c	7.60±0.13 ^a	6.83±0.48 ^b	5.22±0.12 ^d	5.94±0.36 ^c	6.23±0.34 ^c
Adhesiveness (mJ)	0.03±0.04	0.04±0.08	0.07±0.08	0.06±0.07	0.08±0.08	0.03±0.06
Cohesiveness	0.59±0.07 ^{ab}	0.61±0.03 ^a	0.52±0.02 ^c	0.56±0.03 ^b	0.52±0.01 ^c	0.35±0.02 ^d
Springiness (mm)	4.35±0.07 ^a	4.36±0.08 ^a	4.15±0.08 ^b	4.11±0.09 ^b	3.82±0.08 ^c	4.17±0.09 ^b
Chewiness (N)	15.5±2.87 ^b	20.0±1.94 ^a	14.5±2.84 ^b	12.1±2.02 ^c	11.8±1.58 ^c	9.11±1.62 ^d

¹⁾EM, expressible moisture²⁾Additive free plant-based meat ball³⁾1% Addition of potato starch (PS), κ -carrageenan (KC), methyl cellulose (MC), konjac (KJ), and potato protein (PP) in formulation^{a-d}Means with different superscript within the same column are significantly different ($p < 0.05$).

물성 미트볼의 응집성과 탄력성 또한 단백질 함량의 저하에 따라 감소하는 경향을 보였으며, 특히 응집성은 단백질 함량 23% 이하에서 대조구에 비해 낮게 평가되었다($p < 0.05$). 따라서 전반적으로 단백질 함량은 조직의 강도 측면에 영향을 미치며, 27%에서 대조구에 비해 가장 유사한 수치를 보였지만, 여전히 대조구의 조직감과는 이질적인 특성을 보였다. 이는 씹힘성에 영향을 미치고 있다. 즉, 31% 단백질 처리구는 대조구에 비해 높은 씹힘성을 보인 반면, 단백질을 27% 이하로 낮춘 결과 대조구보다 수치가 낮았으며, 씹힘성의 저하는 단백질 감소에 따라 급격하게 발생하였다. 이상의 결과는 두류 단백질의 열적 네트워크 형성은 농도에 의존적이라는 Puppo 등(1995)의 결과와도 일치한다. 즉, 수분의 증가에 따라 식물성 미트볼의 다즙성의 모방은 가능하지만 전반적으로 대조구의 조직에 미치지 못하는 낮은 조직감 특성을 보이고 있다. 따라서 단순한 단백질이나 수분 함량 조절만으로는 식물성 미트볼의 조직 모방에 한계가 있었고, 이를 보완해 줄 수 있는 다양한 결합 소재의 검토가 요구되었다.

조직 개량제의 첨가에 따른 식물성 미트볼의 특성

본 연구에서는 결합소재를 첨가하지 않은 미트볼을 무첨가 대

조구로 사용하여 결합소재의 첨가에 따른 식물성 미트볼의 조직감 변화 패턴을 비교하였다(Table 3). 결합 소재로는 다당류인 PS, KC, MC 및 KJ와 단백질인 PP로 일반적으로 육제품이나 식물성 대체육 제품의 조직 개량에 활용되고 있는 소재를 선정하였다(Bohrer, 2019; Chin 등, 2000). 식물성 미트볼의 수분함량은 KC, KJ 및 PP 처리구에서 무첨가 대조구보다 낮았지만($p < 0.05$), 전반적으로 61.4-62.5%의 범위를 보여주었다. 식물성 미트볼의 가열 감량은 1.15-1.29%로 낮은 값을 보였지만 대조구와 처리구 간의 유의적 차이는 인정되지 않았다. 실제로 본 연구에 사용한 ISP와 IMP 혼합물은 자체적으로 가열 과정 중 수분 손실을 억제하는 능력이 높았기에 부가적인 결합소재의 첨가는 수분함량과 가열 감량에 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다. 반면 유리수분 함량은 모든 처리구가 대조구보다 낮았으며($p < 0.05$), 특히 다당류 계열의 결합제는 PP에 비하여 유리수분 함량을 유의적으로 낮추는 결과를 보였다($p < 0.05$). 다당류 계열에서는 PS와 KC의 유리수분 함량이 MC나 KJ에 비해 높아 본 연구에 선정한 첨가 소재들은 수분 결합능력이 상이한 것으로 판단되었다. 경험적으로 단백질과의 혼합물에서 다당류의 구조가 갖는 친수성 그룹들은 혼합물의 보수력 향상에 크게 기여하지만, 각 소재의 보수력은

Table 4. Effects of additives in combination on the moisture content, cooking loss, expressible moisture, and texture profiles of plant-based meat balls

Parameters ¹⁾	Control ²⁾	0.5% treatments ³⁾		1.0% treatments ⁴⁾	
		KJ+MC	KJ+MC+PP	KJ+MC	KJ+MC+PP
Moisture (%)	73.7±0.90 ^a	62.3±0.28 ^b	61.9±0.32 ^{bc}	61.3±0.34 ^c	59.7±1.16 ^d
Cooking loss (%)	21.1±0.38 ^a	0.25±0.22 ^b	0.35±0.16 ^b	0.35±0.14 ^b	0.31±0.25 ^b
EM (%)	24.8±1.42 ^a	2.60±0.09 ^b	2.83±0.29 ^b	2.89±0.11 ^b	2.82±0.09 ^b
Hardness (N)	5.22±0.96 ^c	4.96±0.27 ^c	7.04±1.50 ^{ab}	7.58±1.36 ^a	6.31±0.90 ^b
Adhesiveness (mJ)	0.09±0.08 ^a	0.03±0.07 ^b	0.11±0.07 ^a	0.13±0.05 ^a	0.09±0.07 ^a
Cohesiveness	0.59±0.03 ^a	0.52±0.05 ^b	0.43±0.03 ^{cd}	0.44±0.03 ^c	0.41±0.03 ^d
Springiness (mm)	4.05±0.09 ^a	3.78±0.12 ^b	3.71±0.11 ^{bc}	3.66±0.11 ^c	3.49±0.18 ^d
Chewiness (N)	3.09±0.57 ^a	2.60±0.36 ^b	3.05±0.74 ^a	3.38±0.70 ^{ab}	2.55±0.30 ^b

¹⁾EM, expressible moisture

²⁾Meat ball prepared by pork, tofu, and egg

³⁾Each 0.5% addition of konjac (KJ), methyl cellulose (MC), and potato protein (PP) in formulation

⁴⁾Each 1.0% addition of konjac (KJ), methyl cellulose (MC), and potato protein (PP) in formulation

^{a-d)}Means with different superscript within the same column are significantly different ($p < 0.05$).

pH, 이온강도, 농도, 혼합물의 조성 등 다양한 요인에 의해 영향을 받기 때문에 절대적인 비교는 어렵다(Cortez-Trejo 등, 2021). 하지만 일반적으로 단백질 식품에서는 높은 보수력이 요구되며, 이를 위하여 단백질보다는 다당류 소재들이 활용되고 있다(Kim 등, 2021; Lee와 Chin, 2020). 반면에 식물성 대체육제품의 문제점인 다즙성 향상 측면에서는 PP와 같이 단백질 소재가 효과적인 것으로 기대되며, 특히 낮은 유리수분을 보인 MC와 KJ는 제품의 다즙성 모방을 저해할 수 있기에 사용에 주의가 요구되었다.

결착소재 첨가에 의한 식물성 미트볼의 조직감 변화에서 PS와 KC의 첨가는 무첨가 대조구에 비해 경도를 증가시키는 반면, MC는 경도를 낮추는 결과를 보였다($p < 0.05$). 반면 KJ와 PP는 제품의 경도에 영향을 미치지 않았다. 이에 반하여 모든 처리구의 점착력은 대조구와 유의적인 차이를 보이지 않았고, 이는 분석 결과의 높은 표준편차에 기인한 것으로 판단된다. 반면, KJ와 KC는 제품의 점착력을 증가시키는 경향을 보여 실제 미트볼의 조직 모방 측면에 효과적인 영향을 미칠 것으로 기대되었다. 식물성 미트볼의 응집성은 KC, KJ 및 PP 처리구에서 대조구에 비해 유의적으로 낮았으며, 특히 PP첨가구는 모든 처리구 중 가장 낮은 응집성을 보여주었다($p < 0.05$). 탄력성은 PS를 제외한 모든 처리구에서 대조구보다 유의적으로 낮았으며, 특히 KJ 첨가에 의한 탄력성 저하가 가장 현저하게 관찰되었다($p < 0.05$). 처리구의 씹힘성은 PS 처리구에서 대조구보다 높았으며, MC, KJ 및 PP에서 낮은 수치를 보였다($p < 0.05$). 특히 PP 처리구에서 가장 낮은 씹힘성을 보였고 이는 낮은 응집성에 의한 결과로 판단되었다. 이상의 결과는 기존 연구 결과에서도 일부 유사하게 관찰되지만, 첨가한 식품의 종류 및 첨가량이 상이하여 본 연구와의 직접적인 비교는 곤란하였다(Chin 등 2000; Cortez-Trejo 등, 2021; Montero 등, 2000). 따라서 본 연구 결과를 통해 실제 육제품의 조직감 구현이 가능한 소재는 전무하였고, 각 소재별 조직감 특성을 고려한 소재의 조합 활용이 필요할 것으로 판단되었다.

식물성 미트볼의 결착 소재 최적화

본 연구에서 조합하기 위한 결착 소재로는 점착성에 잠재성을 보인 KJ와 더불어 조직 특성의 강도 변화를 최소화할 수 있는 MC를 조합하였다. 또한 두 다당류의 혼합첨가로 인한 강도 증

가를 억제하기 위한 수단으로 성질이 상이한 단백질(PP)을 부가적으로 첨가하여 조직감의 조절 효과를 관찰하였다(Grinberg와 Tolstoguzov, 1997). 특히 결착소재는 첨가 수준에 따라 상이한 특성이 예상되어 0.5%와 1% 수준으로 첨가하여 돈육 유래 미트볼 대조구와 비교하였다(Table 4). 식물성 미트볼의 수분함량은 대조구에 비해 유의적으로 낮았고, 0.5% 첨가구에 비해 1% 첨가구에서 유의적으로 낮은 값을 보였다($p < 0.05$). 이는 각 그룹별 수분함량 차이에 의한 것으로 판단되며, 이는 가열감량에서도 유사한 경향을 보였다. 특히 식물성 미트볼은 0.25-0.35% 가열감량을 보여 21.1% 대조구에 비해 유의적으로 낮았지만($p < 0.05$), 처리구 간의 차이는 없었다. 유리수분에서도 처리구는 대조구보다 유의적으로 낮은 수치를 보였고, 처리 간의 차이는 관찰되지 않았다. 따라서 복합 첨가소재에 의한 식물성 미트볼의 수분 결합 특성은 총단백질 함량별 실험 및 개별 첨가소재의 효과와 차이가 없었다.

식물성 미트볼의 조직감은 PP 첨가 여부 및 첨가물의 농도에 따라 상이한 결과를 보였다. 식물성 미트볼의 경도는 0.5% KJ+MC 처리구에서 대조구와 차이를 보이지 않은 반면, 이를 제외한 모든 처리구에서 대조구에 비해 유의적으로 높은 경도를 보였다($p < 0.05$). 특히 0.5% 수준에서 KJ+MC 처리는 점착성 향상에 효과가 없었던 반면, PP의 첨가 또는 1% 수준으로 첨가소재의 배합비를 증가시킨 결과 대조구의 점착성과 차이가 관찰되지 않았다. 반면에 점착성의 증가는 응집성과 탄력성의 저하를 초래하였다. 대조구에 비하여 모든 식물성 미트볼은 응집력이 낮았으며, 특히 PP의 첨가에 따라 현저한 응집력 감소가 관찰되었다. 제품의 씹힘성은 0.5% KJ+MC처리구 및 1% KJ+MC+PP 처리구에서 대조구에 비해 낮았지만 이의 처리구에서는 대조구와 차이를 보이지 않았다. 이상의 결과, 조합 소재의 종류 및 농도는 식물성 미트볼의 조직감에 경향성을 보이지 않았고, 이에 따라 복잡한 특성 변화가 발생하였다. 특히 본 연구에서 대조구와 비교한 5종의 조직감을 모두 만족시키는 결착 소재 및 조합 방법의 확보에는 한계가 있었다. 따라서 0.5% KJ+MC+PP 처리구 또는 1.0% KJ+MC 처리구가 경도를 제외한 조직 특성에서 대조구에 근접한 효과를 보여준 반면, 최종 제품의 경도 증가를 제어할 수 있는 추가 연구가 요구되었다.

요 약

본 연구에서는 세절형 식물성 미트볼의 조직 모방을 위한 첨가소재의 최적화를 위하여 단계별 배합비 최적화를 시도하였다. 원료 식물성 단백질인 ISP를 IMP로 대체시킨 결과 경도가 증가한 반면, 응집성, 탄력성 및 씹힘성은 감소하였고, 대체 비율을 12:15 및 7:20의 범위로 조절하였을 때 대조구와 가장 유사한 조직 특성을 보였지만 점착성에서는 대조구와 큰 차이를 보였다. ISP와 IMP 비율을 10:17로 고정시킨 후 총단백질의 함량 조절에 따른 식물성 미트볼의 특성을 평가한 결과 단백질의 감소에 따른 점착력 증가 효과를 보였지만, 이외 모든 조직 특성 강도의 저하가 발생하여 대조구와의 차이가 현저하게 발생하였다. 대조구와의 이질적인 조직 특성을 보완하기 위하여 PS, KC, MC, KJ 및 PP를 결합소재로 활용한 결과 각 소재별로 상이한 조직 특성을 보여 미트볼 활용을 위하여 특성을 고려한 소재의 조합 활용이 요구되었다. 이에 KJ와 MC를 조합하고, 여기에 PP의 첨가 여부에 따른 특성을 평가한 결과 0.5% KJ+MC+PP 및 1.0% KJ+MC 조합에서 대조구와 가장 유사한 조직감을 보여주었다. 다만 결합 소재의 조합에 따라 대조구에 비하여 높은 경도값을 보여 이를 보완하기 위한 추가 연구가 요구되었다.

감사의 글

본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 고부가가치식품기술개발사업 (과제번호: 317040-05)의 지원을 받아 진행되었고, 일부는 2022년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(과제번호: 2022R1A6A1A03055869)으로 이에 감사드립니다.

References

- AOAC. Official Methods of Analysis of AOAC intl. 19th ed. Method 934.06. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, USA (2012)
- Boles JA, Shand PJ. Meat cut and injection level affects the tenderness and cook yield of processed roast beef. *Meat Sci.* 59: 259-265 (2001)
- Bohrer BM. An investigation of the formulation and nutritional composition of modern meat analogue products. *Food Sci. Hum. Wellness* 8: 320-329 (2019)
- Brishti FH, Zarei M, Muhammad SKS, Ismail-Fitry MR, Shukri R, Saari N. Evaluation of the functional properties of mung bean protein isolate for development of textured vegetable protein. *Int. Food Res. J.* 24: 1595-1605 (2017)
- Chin KB, Keeton JT, Miller RK, Longnecker MT, Lamkey JW. Evaluation of konjac blends and soy protein isolate as fat replacements in low-fat bologna. *J. Food Sci.* 65: 756-763 (2000)
- Choi YS, Jeon KH, Park JD, Sung JM, Seo DH, Ku SK, Oh NS, Kim YB. Comparison of pork patty quality characteristics with various binding agents. *Korean J. Food Cook. Sci.* 31: 588-595.
- Cortez-Trejo MC, Gaytán-Martínez M, Reyes-Vega ML, Mondoza S. Protein-gum-based gels: Effect of gum addition on microstructure, rheological properties, and water retention capacity. *Trend. Food Sci. Technol.* 116: 303-317 (2021)
- Fiorentini M, Kinchla AJ, Nolden AA. Role of sensory evaluation in consumer acceptance of plant-based meat analogs and meat extenders: A scoping review. *Foods* 9: 1334 (2020)
- Grinberg VY, Tolstoguzov VB. Thermodynamic incompatibility of proteins and polysaccharides in solutions. *Food Hydrocoll.* 11: 145-158 (1997)
- Gunathilake KGT, Wansapala MAJ, Herath HMT. Comparison of nutritional and functional properties of mung bean (*Vigna radiate*) and cowpea (*Vigna unguiculata*) protein isolates processed by isoelectric precipitation. *Int. J. Innov. Res. Technol.* 3: 139-148 (2016)
- Hong GP, Wanasundara JPD, Nickerson MT, Shand PJ. Gelling characteristics of lentil proteins and their applications in a myofibrillar system. pp. 72-75. In: The 58th International Congress of Meat Science and Technology. Hilton Montréal Bonaventure Hotel, Montreal, Canada (2012)
- Kim Y, Jang H, Lim S, Hong S. Effect of starch noodle (Dangmyeon) and pork intestines on the rehydration stability of Korean blood sausage (Sundae). *Food Sci. Anim. Resour.* 41: 153-163 (2021)
- Korea Agro-Fisheries and Food Trade Corporation. Korea Agricultural Marketing Information Service. Available from: <https://www.kamis.or.kr/customer/inform/about/about.do>. Accessed June 15, 2022.
- Lee CH, Chin KB. Influence of the pH and salt concentration on physicochemical properties of pork myofibrillar protein gels added with cornstarch. *Food Sci. Anim. Resour.* 40: 254-261 (2020)
- Lee EJ, Lee JY, Hong GP. Current status and development strategies of domestic plant-based meat alternative food market. *Livest. Food Sci. Ind.* 10: 61-70 (2021)
- Montero P, Hurtado JL, Pérez-Mateos M. Microstructural behaviour and gelling characteristics of myosystem protein gels interacting with hydrocolloids. *Food Hydrocoll.* 14: 455-461 (2000)
- Park MS, Park SH, Lee YS. Current status of meat analogues and facing challenges. Available from: <http://www.krei.re.kr/krei/research.do?key=70&pageType=010301>. Accessed June 15, 2022.
- Phelps KJ, Drouillard JS, Jennings JS, Depenbusch BE, Vaughn MA, Burnett DD, Ebarb SM, Dietz GJ, Heitschmidt JD, Noel JA, Houser TA, Gonzalez JM. Effect of the programmed nutrition beef program on moisture retention of cooked ground beef patties and enhanced strip loins. *Meat Sci.* 100: 189-194 (2015)
- Puppo MC, Lupano CE, Anon MC. Gelation of soybean protein isolates in acidic conditions. Effect of pH and protein concentration. *J. Agric. Food Chem.* 43: 2356-2361 (1995)
- Ramachandriah K. Potential development of sustainable 3D printed meat analogues: A review. *Sustainability* 13: 938 (2021)
- Samard S, Ryu GH. A comparison of physicochemical characteristics, texture, and structure of meat analogue and meats. *J. Sci. Food Agric.* 99: 2708-2715 (2019)
- Tang CH. Thermal denaturation and delation of vicilin-rich protein isolates from three *Phaseolus* legumes: A comparative study. *LWT* 41: 1380-1388 (2008)
- Tang CH, Choi SM, Ma CY. Study of thermal properties and heat-induced denaturation and aggregation of soy proteins by modulated differential scanning calorimetry. *Int. J. Biol. Macromol.* 40: 96-104 (2007)