

초임계 이산화탄소 처리된 저지방 대두분말로 제조한 식물성 대체육의 이화학적 품질 특성 및 저장 안정성

표민정 · 이교연* · 한채연 · 박채은 · †최성길**

경상국립대학교 응용생명과학부 응용생명과학전공 대학원생, *경상국립대학교 농업생명과학연구원 박사후연구원
**경상국립대학교 농업생명과학연구원 응용생명과학부(BK21) 식품공학과 교수

Physicochemical Properties and Storage Stability of Plant-based Alternative Meat Products Prepared with Low-Fat Soybean Powder Treated by Supercritical CO₂

Min-Jeoung Pyo, Kyo-Yeon Lee*, Chae-Yeon Han, Chae-Eun Park and †Sung-Gil Choi**

Master Student, Division of Applied Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

*Post-Doc, Institute of Agriculture & Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

**Professor, Institute of Agriculture and Life Sciences, Division of Applied Life Science (BK21), Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

Abstract

Physicochemical properties and storage stability of plant-based alternative meat prepared with low-fat soybean powder (LPAM) treated by supercritical-CO₂ and those of full-fat soybean powder (FPAM) were compared. Ash and crude protein contents were higher in LPAM than in FPAM. Water absorption capacity and oil absorption capacity were significantly higher in LPAM than in FPAM. Water binding capacity was higher in LPAM than in FPAM during a 20 days storage period at 5°C and pH was significantly lower in LPAM than in FPAM after a 5~10 days storage period. Hardness, gumminess and chewiness significantly increased with the increase in the storage period, and the three were significantly higher in LPAM than in FPAM after 10 days and 20 days of storage. The acid value showed no remarkable difference according to the storage period in LPAM; however, it was significantly higher in FPAM than in LPAM after 20 days of storage. The peroxide value and TBA value were significantly increased according to the storage period, and were significantly lower in LPAM than in FPAM during all the storage periods. Therefore, the use of low-fat soybean powder may be effective in improving oxidative stability during storage in the production of plant-based alternative meat.

Key words: low-fat soybean powder, supercritical-CO₂, oxidative stability, plant-based alternative meat, physicochemical property

서론

동물성 단백질은 필수 아미노산을 모두 함유하고 있어 영양학적으로 완전 단백질로 여겨지고 있으나, 동물성 식품의 과도한 섭취는 비만, 당뇨, 심혈관 질환 및 대장암 등의 대사성 질환을 일으킬 수 있다(Ekmekcioglu 등 2018). 건강문제 뿐만 아니라 동물성 식품의 생산과정에서 발생하는 경제적 비용이나 환경적 문제, 동물 복지 등과 관련하여 동물성 단백

질 식품의 소비에 대한 대안으로써 최근 대체육에 대한 관심이 증가되고 있는 추세에 있다(Cho & Ryu 2017).

식물성 대체육은 두류 단백질, 밀 글루텐 외에 종자류, 전분 등으로 제조되고 있으며, 주로 다양한 두류를 함유하는 식물성 대체육에 대한 수요가 증가되고 있는 실정이다(Cho & Ryu 2022). 순 식물성 원료로 제조되는 식물성 대체육은 기존의 육류 제품과 비교해 볼 때 영양성분의 조성에는 차이를 보이거나 영양소의 공급 측면에서 총 열량이 유사하도록 제

† Corresponding author: Sung-Gil Choi, Professor, Institute of Agriculture and Life Sciences, Division of Applied Life Science (BK21), Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea. Tel: +82-55-772-1906, Fax: +82-55-772-1909, E-mail: sgchoi@gnu.ac.kr

조되어 판매되고 있기 때문에, 건강, 영양 및 안전성 측면에서 소비자들의 요구도는 지속적으로 증가될 전망으로 인지되고 있다(van Vliet 등 2021).

두류는 우리나라를 포함한 동양권에서 다양한 가공식품으로 활용되고 있는데, 특히 대두는 단백질 함량이 약 40% 정도로 식물성 단백질의 주 공급원으로 활용도가 높다(You 등 2020). 이에 따라 대두는 단백질 함유비율에 따라 대두분말(단백질 함량 50%), 대두 농축단백(단백질 함량 70%) 및 대두 분리단백(단백질 함량 90%) 등으로 구분되어 이용되고 있으며(Qin 등 2022), 육류 대체제로 가장 많이 활용되고 있다(An DH 2019). 이와같이 식물성 단백질 원료의 이화학적, 영양학적 및 기능적 특성은 대체육으로 가공 시 품질에 중요한 영향을 미칠 수 있는 것으로 보고되어 있다(Cho & Ryu 2022). 하지만 대두 단백질로 제조된 대체육은 원료의 높은 지방 함량으로 인해 저장 및 유통과정에서의 산패가 불가피하며, 조직감의 변화, 콩 비린내의 발생 등으로 기호도 감소를 초래하게 된다(Christianson 등 1984). 따라서 대두를 이용한 식물성 대체육의 제조 시 식물성 단백질 원료의 품질에 대한 연구는 지속적으로 필요하다.

지질 함유 원료에서 탈지 공정은 단백질의 변성 및 기능적 특성의 상실을 일으키게 되는데(Russin 등 2011; Ali-Nehari 등 2012), 초임계 이산화탄소(SC-CO₂)를 이용한 탈지 공정은 유기용매를 이용하는 방법에서 발생되는 여러 단점을 보완하며, 단백질의 변성 감소와 유기용매의 잔존에 의한 독성 발생을 제어할 수 있는 장점이 있다(Stahl 등 1980). 탈지처리된 대두로 제조된 저지방 두부는 저장수명을 연장시키며, 지질의 산화안정성을 증대시키는 것으로 보고된 바 있다(Lee 등 2019). 따라서 대두 가공품의 제조 시 초임계 이산화탄소 처리에 의한 저지방 대두의 사용은 최종 제품의 저장 및 유통과정에서 산화안정성의 향상과 풍미 개선 등의 효과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

본 연구는 초임계 이산화탄소를 이용하여 탈지 공정을 거친 저지방 대두분말을 첨가하여 식물성 대체육을 제조하였으며, 전지방 함유 대두분말을 첨가한 식물성 대체육과 품질 특성 및 저장안정성을 비교하고자 수행되었다.

재료 및 방법

1. 실험재료

본 실험에 사용된 대두분말은 (주)에버헬스케어(Ever Healthcare Inc., Icheon, Korea), 글루텐은 (주)베지푸드(Vegifood Inc., Namyangju, Korea)에서 제조된 것을 구입하였다. 타피오카 전분(Ohub, Seoul, Korea), 호두 분말(Wooshin Food Co., Ltd., Icheon, Korea), 아몬드 분말(Wooshin Food Co., Ltd., Icheon,

Korea) 및 꽃소금(CJ, Shinan, Korea)을 식물성 대체육 제조에 사용하였다.

2. 식물성 대체육 제조

1) 대두분말의 탈지 공정

대두분말의 지방을 제거하기 위하여 초임계 이산화탄소(SC-CO₂) 추출장치(Ilshin autoclave Co. Ltd., Daejeon, Korea)를 사용하였다. 추출장치는 추출조, 분리조, 가압펌프, 이산화탄소 저장탱크로 구성되어 있다. 추출 용기는 2 L 용량을 사용하였으며, 온도는 비례형 온도조절기에 의하여 조절되었으며 열전쌍온도계(TC)로 측정되었다. 시스템의 온도가 지정된 온도인 60°C에 도달하면 대두분말 500 g을 추출 용기에 넣고 추출기에 연결하였다. 이산화탄소는 순도 99.99%를 사용하였고, 실린더(CO₂ gas container)로부터 check valve를 거쳐 고압 피스톤펌프(HP pump)에 의해 가압되었다. 이때 이산화탄소 주입부의 공동화 현상을 방지하기 위하여 냉각조(cooler)를 설치하여 이산화탄소의 기화를 방지하였다. 가압된 이산화탄소는 역압 조절기(BPR)에 의하여 압력이 조절되었고 압력계에 의해 압력이 측정되었으며 추출조로 이송되었다. 450 bar, 60°C에서 10시간 동안 대두분말의 지방을 용해시킨 후, 초임계 이산화탄소는 micro-metering valve를 통해 분리조(separator 1, 2)에서 기체 이산화탄소와 지방으로 분리되었다. 탈지된 저지방 대두분말은 -18°C에서 보관해 두고 실험에 사용하였다.

2) 식물성 대체육의 제조

식물성 대체육은 Lee 등(2014)과 Shin 등(2014)의 방법을 참고하였으며, 원료 중의 대두분말은 전지방 함유 대두분말과 저지방 대두분말로 구분하였다. Table 1의 배합비에 따라 모든 원료를 혼합하여 5분간 반죽한 후 높이 5 cm, 직경 8.5 cm의 둥근 성형틀에서 성형하였다. 이를 -18°C에서 6시간 이상 냉각시키고, 다시 실온에서 1시간 이상 방냉한 후 1 cm의 높이가 되도록 자른 후, 100°C에서 60분간 증자한 것을 “식물성 대체육” 시료로 하였다. 이때 전지방 함유 대두분말을 첨가하여 제조한 식물성 대체육을 “FPAM”, 저지방 대두분말을 첨가하여 제조한 식물성 대체육을 “LPAM”으로 구분하였다.

완성된 식물성 대체육 시료는 샘플백(1523FW, 3M, USA)에 포장하여 5°C에서 20일간 저장하면서 실험에 사용하였다.

3. 일반성분 분석, 색도 및 pH 측정

식물성 대체육의 일반성분 분석은 AOAC법(2000)에 따라 수분함량은 105°C에서 상압 가열건조법, 회분은 550°C 직접

Table 1. Production ratio of plant-based alternative meat products prepared with full-fat (FPAM) and low-fat (LPAM) soybean powder (Unit: %)

Ingredient	FPAM	LPAM
Full-fat soybean powder	29	-
Low-fat soybean powder	-	29
Gluten	9.6	9.6
Tapioka-starch powder	2.4	2.4
Walnut powder	2.4	2.4
Almond powder	1.9	1.9
Salt	0.5	0.5
Water	54.2	54.2
Total	100	100

FPAM: plant-based alternative meat prepared with full-fat soybean powder, LPAM: plant-based alternative meat prepared with low-fat soybean powder.

회화법, 조단백질은 auto Kjeldahl법, 조지방은 soxhlet 추출법으로 각각 측정하였다.

식물성 대체육의 색도는 Lee 등(2014)의 방법에 따라 시료 5 g을 표준 백색판(L=93.6, a=0.31, b=0.32)으로 보정된 색차계(Minolta CT-310, Osaka, Japan)로 페트리디쉬(60×15 mm; SPL Life Science Co., Pochen, Korea)에 담아 각각 3개의 시료를 3회 반복하여 측정하고 그 결과를 각각 L(lightness), a(-: greeness, +: redness) 및 b(-: blueness, +: yellowness)값으로 나타내었다.

식물성 대체육의 pH는 Kim 등(1988)의 방법에 따라 시료 5 g을 마쇄하여 증류수 20 mL를 가하여 추출한 후 원심분리한 상등액을 pH meter(Model 735P, Istek, Korea)로 3회 반복 측정하여 평균값으로 나타내었다.

4. 수분흡수력 및 유지흡수력 측정

식물성 대체육의 수분흡수력(water absorption capacity, WAC) 및 유지흡수력(oil absorption capacity, OAC)은 Kim 등(2016)의 방법에 따라 측정하였다. 수분흡수력은 시료 2 g에 증류수 20 mL를 혼합하고 30초 동안 voltex mixer(TTS2, IKA Wakers Inc., USA)를 이용하여 교반하고 1분간 정치시키는 과정을 5회 반복한 후 3,249×g에서 20분간 원심분리(SUPRA22K 5, Hanil Scientific Inc., Gimpo, Korea)시켰다. 10분간 정치하여 상등액을 분리한 후 침전물의 중량을 측정하였으며, 식(1)에 따라 계산하였다.

$$\text{수분 흡수력(\%)} = \text{침전물의 중량(g)} / \text{시료의 무게(g)} \times 100 \quad (1)$$

유지흡수력은 시료 1 g에 10 mL의 카놀라유를 혼합하고 1분간 voltex mixer를 이용하여 교반하였다. 이를 데시게이터에서 10분간 방냉시키고 3,249×g에서 30분간 원심분리시켰다. 10분간 정치하여 상등액을 분리한 후 침전물의 중량을 측정하여 식(2)에 따라 계산하였다.

$$\text{유지 흡수력(\%)} = \text{침전물의 중량(g)} / \text{시료의 무게(g)} \times 100 \quad (2)$$

5. 보수력 측정

식물성 대체육의 보수력(water binding capacity)은 Cho & Ryu(2018)의 방법을 참고하여 시료 5 g을 여과지에 싸서 4℃로 설정된 원심분리기(SUPRA22K 5, Hanil Scientific Inc.)를 이용하여 3,000×g에서 10분간 원심분리하였다. 보수력은 식(3)에 따라 계산하였다.

$$\text{보수력(\%)} = \frac{\text{원심분리 후 시료의 무게(g)} / \text{시료의 무게(g)} \times 100}{\text{원심분리 후 시료의 무게(g)} / \text{시료의 무게(g)} \times 100} \quad (3)$$

6. 조직감 측정

대두분말로 제조된 식물성 대체육의 조직감은 물성측정기(TA-XT express 20140, Stable Micro Systems Ltd., Godalming, UK)를 이용하여 경도(hardness), 응집성(cohesiveness), 탄력성(springiness), 검성(gumminess) 및 씹힘성(chewiness)을 측정하였다. Probe는 SMS P/36R cylinder를 장착하였고, texture profile analysis(TPA) mode에서 pre-test speed 5.0 mm, trigger force 10.0 g, post test speed 5.0 mm/s, test speed 5.0 mm/s, test distance 1.5 mm, test cycle 1.0으로 하였다. 3회 이상 반복하여 평균값으로 나타내었다(Lee 등 2014).

7. 산화안정성 측정

식물성 대체육의 산화안정성은 산가, 과산화물가 및 TBA가로 각각 측정하였다. 산가는 시료 5 g을 취하여 막자사발에서 분쇄한 후 200 mL 삼각플라스크에 취하여 에틸에테르와 에탄올 혼합용액(1:1) 40 mL를 가하여 용해시킨 후 여과하여 1% 페놀프탈레인 지시약 2~3방울을 가하고 0.1 N KOH 용액으로 적정하여 식(4)에 따라 계산하였다(Lee 등 2019).

$$\text{산가(KOH mg/g)} = (V_1 - V_0) \times 5.611 \times F / S \quad (4)$$

V_1 : 본시험의 0.1 N KOH 용액의 적정 소비량(mL)

V_0 : 공시험의 0.1 N KOH 용액의 적정 소비량(mL)

F: 0.1 N KOH 용액의 역가

S: 시료 채취량(g)

과산화물가는 Lee 등(2019)의 방법에 따라 시료 1 g을 분쇄하여 200 mL 삼각플라스크에 취하고, 클로로포름 10 mL와 초산 15 mL를 차례로 혼합하고 KI 포화용액 1 mL를 가하여 1분간 교반한 후 5분간 암소에서 반응시켰다. 여기에 증류수 75 mL를 가하여 교반한 후 1% 전분용액을 지시약으로 하여 0.01 N $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 용액으로 무색이 될 때까지 적정하여 식(5)에 따라 계산하였다.

$$\text{과산화물가}(\text{meq/kg}) = \{(a - b) \times F \times 0.01/S\} \times 1,000 \quad (5)$$

a: 본시험의 0.01 N $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 용액의 적정치(mL)

b: 공시험의 0.01 N $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 용액의 적정치(mL)

F: 0.01 N $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 용액의 역가

S: 시료 채취량(g)

TBA가는 시료 5 g에 7.2%의 butylated hydroxyanisole 50 μL , 증류수 15 mL를 가하여 추출한 후 여과액 1 mL에 20 mM TBA, 15% TCA 2 mL를 가하여 잘 혼합하였다. 이를 90°C의 항온수조(BS-21, Jeio Tech., Daejeon, Korea)에서 15분간 가열하고 테시게이터에서 10분간 방냉하여 4°C, 2,500×g에서 15분간 원심분리하였다. 그 상등액을 취하여 분광광도계(UV1900i, SHIMADZU, Japan)로 532 nm에서 흡광도를 측정하였으며, mg MDA/kg으로 나타내었다(Shin 등 2006).

8. 통계처리

각 실험결과는 3회이상 반복실험 결과로부터 평균±표준편차로 나타내었고, 실험결과는 SPSS 12.0(SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 프로그램을 이용하여 산출하였으며, 실험구별 유의성 검정은 Student *t*-test 및 일원배치 분산분석(one-way analysis of variance)을 한 후 $p < 0.05$ 의 유의수준에서 Duncan's multiple range tests로 사후검정을 하였다.

결과 및 고찰

1. 일반성분 함량 및 색도

전지방 함유 대두분말을 첨가하여 제조한 식물성 대체육(FPAM)과 저지방 대두분말을 첨가하여 제조한 식물성 대체육(LPAM)에서 일반성분 함량을 비교한 결과는 Table 2와 같다. 수분함량은 FPAM과 LPAM간에 유의차가 없었다. 회분 및 조단백질 함량은 LPAM에서 유의적으로 높았으며, 조지방 함량은 FPAM에서 2배 이상 높은 함량이었다.

저지방 대두분말을 사용한 LPAM에서 회분 및 단백질 함

Table 2. Proximate composition and color value of plant-based alternative meat products prepared with full-fat (FPAM) and low-fat (LPAM) soybean powder

	FPAM ¹⁾	LPAM
Proximate composition (%)		
Moisture contents	48.63±0.67 ²⁾	48.80±0.90
Ash contents	4.32±0.01	5.08±0.03*
Crude protein contents	28.66±0.66	31.93±0.82*
Crude fat contents	17.76±2.69*	8.10±1.09
Color value		
L*	70.02±0.08*	67.94±0.26
a*	2.87±0.16*	2.56±0.01
b*	57.26±0.17*	52.39±2.90

¹⁾ Refer to the Table 1.

²⁾ All values are mean±S.D. (n=3).

*Means with different superscripts in the different sample are significantly different at $p < 0.05$ by Student *t*-test.

량이 증가된 것은 지방의 제거로 인해 회분 함량이 상대적으로 증가되었다는 Singh 등(2008) 및 Choi EH(2013)의 보고와 유사한 결과였다. 또한 Kang 등(2017) 및 Cho & Ryu(2022)의 보고에서 대두분말의 탈지 공정은 원료 중의 단백질의 농도를 증가시켰다는 보고와도 일치한 결과였다.

전지방 및 저지방 대두분말을 사용하여 제조된 식물성 대체육(FPAM, LPAM)의 색도를 명도(L*), 적색도(a*) 및 황색도(b*)로 비교한 결과, FPAM에서 유의적으로 높은 값을 보였다(Table 2). 식물성 대체육에서 관찰되는 색상의 변화는 저지방 대두분말의 색도에 기인된 것으로 대두 분말 중 카로테노이드와 같은 지용성 색소 성분이 탈지 공정에서 제거되었기 때문이라 생각된다(Shafiu Rahman 등 2018).

2. pH

전지방 및 저지방 대두분말을 첨가하여 각각 제조한 식물성 대체육(FPAM, LPAM)을 5°C에서 20일간 저장하는 동안 pH를 비교한 결과는 Fig. 1과 같다. FPAM에서는 저장 15일까지 유의차가 없었으나, 저장 20일경에 6.24로 유의적으로 감소됨을 보였다. LPAM은 저장 초기~10일까지 유의적인 차이를 보이지 않았다. 저장 초기(0일차)에 대두분말의 탈지 유무에 따른 pH는 6.27~6.30으로 시료간에 유의차가 없었으나 저장 5~10일경에는 LPAM의 pH가 유의적으로 낮은 경향이었으며, 저장 15일 이후에는 대두분말의 탈지 유무에 따른 유의차가 없었다.

일반적으로 단백질 식품은 저장 중 효소작용에 의해 유리 아미노산의 생성, 단백질 완충물질의 변화, 암모니아의 생성

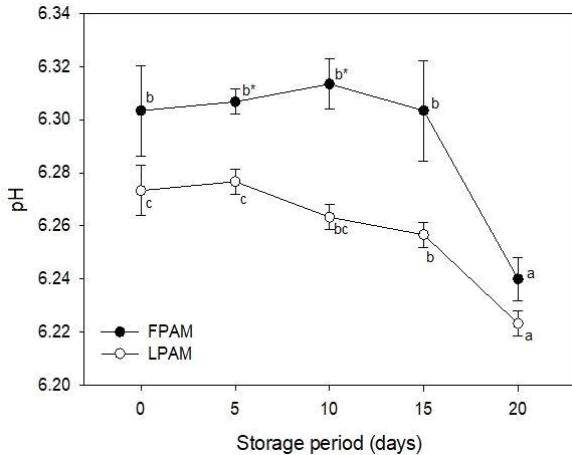


Fig. 1. pH of plant-based alternative meat products prepared with full-fat (FPAM) and low-fat (LPAM) soybean powder during storage. FPAM and LPAM are refer to the Table 1. *Means with different superscripts in the different sample are significantly different at $p < 0.05$ by Student *t*-test. ^{a-c}Means with different superscripts are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

및 아미노산의 분해로 인하여 pH가 증가되는 경향이라고 보고되어 있다(Demeyer 등 1979). 더욱이 첨가물의 종류는 최종 제품의 pH에 영향을 주는데, 분리대두 단백을 이용한 완자와 소고기 완자에서 pH는 유의차가 없었다고 보고(Kang 등 2021)로 볼 때, 본 연구에서 대두분말을 이용한 식물성 대체육의 저장 중 pH 변화가 적었던 것은 첨가된 단백질 원료에 의한 완충작용, 낮은 저장온도에 기인한 효소작용의 억제 등에 기인된 것으로 추정된다.

3. 수분흡수력 및 유지흡수력

전지방 및 저지방 대두분말을 첨가하여 각각 제조한 식물성 대체육(FPAM, LPAM)의 수분흡수력 및 유지흡수력은 Table 3에 나타난 바와 같이 LPAM에서 FPAM에 비해 유의적으로 높았다.

수분흡수력은 시료 중 단백질 성분의 기능적 특성에 의존적이며, 단백질 분자의 크기, 모양, 구조적 특성, 단백질 분자를 구성하는 아미노산의 친수성 및 소수성의 균형 이외에도 지질, 탄수화물 및 탄닌 등 여러 요인에 영향을 받는다. 유지흡수력은 단백질에 유지 성분이 물리적으로 포획되는 것으로 지질과 단백질의 상호작용과 관련된 요소에 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Lawal OS 2004; Adiamo 등 2016). 대두분말은 탈지됨으로써 단백질의 소수성이 증대되어 유지흡수력이 증가되어졌는데, 이는 탈지 공정에 따른 상대적인 단백질과 아미노산의 함량이 높아졌기 때문이라고 생각된다(Moure

Table 3. Water absorption capacity and oil absorption capacity of plant-based alternative meat products prepared with full-fat (FPAM) and low-fat (LPAM) soybean powder

	FPAM ¹⁾	LPAM
Water absorption capacity	144.19±11.07 ²⁾	187.24±3.88*
Oil absorption capacity	195.90±2.49	214.16±4.25*

¹⁾ Refer to the Table 1.

²⁾ All values are mean±S.D. (n=3).

*Means with different superscripts in the different sample are significantly different at $p < 0.05$ by Student *t*-test.

등 2006; Jitngarmkusol 등 2008).

따라서 수분흡수력 및 유지흡수력이 FPAM에 비해 LPAM에서 더 높았던 것이 대두분말의 탈지 공정으로 인해 LPAM에서 단백질 함량이 상대적으로 증가되어 단백질의 특성인 친수성과 소수성 성질이 현저하게 나타났기 때문이라고 생각된다.

4. 보수력

전지방 및 저지방 대두분말을 첨가하여 각각 제조한 식물성 대체육(FPAM, LPAM)을 5°C에서 20일(0, 5, 10, 15 및 20)간 저장하는 동안 보수력을 비교한 결과는 Fig. 2와 같다. 식물성 대체육의 보수력은 저장기간이 경과됨에 따라 미미하게 증가되는 경향이었으나, FPAM은 저장기간에 따른 유의적인 차이가 없었으며, LPAM은 저장 20일 경과 후에 유의적인 증가를 보였으나 큰 차이는 아니었다. 저장 5~20일 동안 LPAM은 FPAM에 비해 유의적으로 높은 보수력을 보였다.

단백질 식품은 단백질의 유형, 단백질과 수분의 상호작용, 수분간의 상호작용, 구조적 특성에 따라 보수력에 차이를 보인다고 보고된 바 있다(Li & Lee 1996). 특히 대체육의 제조 시 제품 구조의 기공도는 보수력에 영향을 주는 주요 요인이 되는데(Lin 등 2002), 탈지 대두단백의 보수력이 일반 밀단백보다 보수력이 더 높았다는 보고(Samard & Ryu 2019)는 탈지 공정에 의해 조직의 기공도가 높아졌고, 단백질의 상대적인 함량이 높아 보수력이 증가된 것으로 추정된다. 또한 콩농축 단백질을 대체제로 하여 제조된 소시지는 닭고기 소시지에 비해 조리 손실을 및 수분 방출량이 유의적으로 낮아 식물성 원료가 기존의 육제품과 대체됨으로써 육가공품의 식감이나 풍미 향상에 기여할 수 있다고 보고되어(Cha 등 2020), 본 연구에서 식물성 대체육에 탈지 대두분말의 사용은 제품의 식감, 풍미를 향상시켜 전반적인 선호도 향상에도 도움이 될 것으로 예상된다.

5. 조직감

전지방 및 저지방 대두분말을 첨가하여 각각 제조한 식물

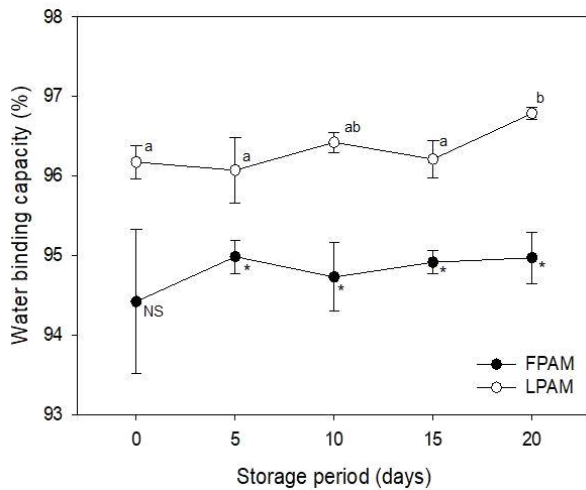


Fig. 2. Water binding capacity of plant-based alternative meat products prepared with full-fat (FPAM) and low-fat (LPAM) soybean powder during storage. FPAM and LPAM are refer to the Table 1. *Means with different superscripts in the different sample are significantly different at $p < 0.05$ by Student *t*-test. ^{a,b}Means with different superscripts are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test. NS: not significant.

성 대체육(FPAM, LPAM)을 5°C에서 20일간 저장하는 동안 조직감을 경도(hardness), 응집성(cohesivness), 탄력성(springness), 검성(gumminess) 및 씹힘성(chewiness)으로 비교한 결과는 Table 4와 같다.

식물성 대체육의 경도는 저장기간이 경과됨에 따라 유의적으로 증가되는 경향이었으며, 전반적으로 LPAM에서 경도가 높았으나, 저장 10일 및 20일경에만 유의적인 차이를 보였다. 응집성 및 탄력성은 FPAM에서 저장기간이 경과됨에 따라 유의적으로 감소되는 경향이었으나, LPAM은 저장기간에 따른 유의차가 없었다. 저장 20일 후 식물성 대체육은 응집성에 유의차를 보였을 뿐 그 외에는 대두분말의 탈지 유무에 따른 유의차가 없었다. 검성 및 씹힘성은 경도와 유사한 경향으로 저장기간에 따라 유의적으로 증가되었으며, 저장 10일 및 20일 경과 후 LPAM에서 유의적으로 높은 경향이였다.

대두 분리단백으로 만든 대체육은 여타의 콩으로부터 얻은 분리단백으로 만든 것보다 응집성, 탄력성 및 씹힘성이 유의적으로 높았는데, 이는 원료 중의 단백질 함량이 높을수록 단백질 가교결합의 강도가 증가하고 응집력이 증대됨으로써 내부구조의 가교 형성에 영향을 주었기 때문이라고 보고되어 있다(Samard & Ryu 2019). 열처리한 콩 분말로 제조된 식물성 대체육은 열처리를 하지않은 콩 분말이 첨가된 대체육에 비해 지방 함량이 더 적었으며, 이에 따른 경도, 검성

및 씹힘성은 유의적으로 높았다는 보고가 있는데(Shin 등 2014), 본 연구에서 LPAM의 경도, 검성 및 씹힘성이 다소 높았던 것도 원료 중의 지방 함량과 관련성이 있는 것으로 추정된다.

일반적으로 육조직으로부터 지방을 제거시키면 조직의 건조가 빨라져서 견고성이 증가하여 육의 품질에 영향을 미치며(Kim 등 2008), 소시지 제품에서 지방 함량의 감소는 제품의 견고성을 증가시킨다고 보고되어 있다(Muguerza 등 2002). 즉, 육류 패티의 강한 전단력은 지질과 수분을 효과적으로 보유할 수 있으며, 육즙과 관련된 지방 및 수분의 손실을 최소화하는데 기인한다(Choi 등 2015). 따라서 탈지 대두분말로 제조된 식물성 대체육에서 경도, 응집성 및 탄력성이 증가된 것은 원료 성분에 의한 조직의 보수력과도 관련성이 있는 것으로 판단된다.

6. 산화안정성

전지방 및 저지방 대두분말을 첨가하여 각각 제조한 식물성 대체육(FPAM, LPAM)을 5°C에서 20일간 저장하는 동안 산화안정성에 미치는 영향을 산가, 과산화물가 및 TBA가로 비교한 결과는 Fig. 3과 같다. 식물성 대체육을 저장하는 동안 산가는 FPAM에서 저장 20일 경과 후에 유의적인 증가를 보였으나, LPAM은 저장기간에 따른 유의차가 없었다. 대두분말의 탈지 유무에 따른 식물성 대체육의 산가는 저장 15일 까지 유의차를 보이지 않았다(Fig. 3A). 과산화물가는 저장기간이 경과됨에 따라 유의적으로 증가되는 경향이였으나, LPAM에서는 저장 10일 이후 3.33~3.83 meq/kg의 수준으로 유의적인 차이를 보이지 않았다. 한편 저장 초기(0일차)에는 탈지 유무에 따른 유의차가 없었으나, 저장 5일 이후부터는 LPAM의 과산화물가가 FPAM에 비해 유의적으로 낮았다(Fig. 3B). TBA가는 과산화물가와 유사한 경향이였다. FPAM에서는 저장 15~20일경에 2.43~2.80 mg MDA/kg으로 유의차가 없었으며, LPAM에서는 저장 5~20일경에 1.69~1.79 mg MDA/kg으로 저장기간의 경과에 따른 유의차가 없었다. 저장 초기(0일차)이후 전 기간동안 TBA가는 FPAM에서 LPAM에 비해 유의적으로 높은 경향이였다(Fig. 3C).

전지방이 함유된 대두분말을 사용하여 제조된 두부에 비해 탈지처리된 대두분말을 사용한 두부에서 저장 중 산가 및 과산화물가의 수준이 유의적으로 낮았는데, 이는 탈지 대두분말에 의해 저장 중 제품의 산화안정성이 향상되었기 때문이라고 보고되어 있다(Lee 등 2019). 또한 소시지의 제조 시 첨가되는 지방 함량을 5~30% 수준으로 달리하였을 때 TBA가는 지방 함량이 많아질수록 유의적으로 증가되었다는 보고도 있다(Semeneh 등 2021).

Table 4. Texture attributes of plant-based alternative meat products prepared with full-fat (FPAM) and low-fat (LPAM) soybean powder during storage

	Storage days	FPAM ¹⁾	LPAM
Hardness	0	1,257.68±87.61 ^{a2)}	1,515.28±300.48 ^a
	5	1,697.54±449.60 ^b	2,033.92±319.37 ^b
	10	2,029.92±174.75 ^{bc}	2,404.88±258.18 ^{bc*}
	15	2,260.82±369.11 ^c	2,600.26±393.32 ^{cd}
	20	2,354.86±118.86 ^c	2,961.90±285.74 ^{d*}
Cohesiveness	0	1.00±0.03 ^b	0.95±0.04 ^{NS}
	5	0.95±0.02 ^a	0.99±0.06
	10	0.95±0.03 ^a	0.97±0.04
	15	0.94±0.02 ^a	0.96±0.00
	20	0.95±0.02 ^a	1.00±0.02 [*]
Springiness	0	10.41±0.02 ^c	10.40±0.02 ^{NS}
	5	10.38±0.02 ^{ab}	10.39±0.03
	10	10.40±0.02 ^{bc*}	10.36±0.04
	15	10.38±0.02 ^{ab}	10.38±0.03
	20	10.35±0.02 ^a	10.37±0.04
Gumminess	0	1,233.07±136.09 ^a	1,580.60±478.24 ^a
	5	1,573.71±341.30 ^{ab}	2,051.04±284.91 ^{ab}
	10	1,934.54±148.40 ^{bc}	2,281.92±195.68 ^{b*}
	15	2,116.94±355.45 ^c	2,527.17±326.43 ^{bc}
	20	2,275.64±183.77 ^c	2,903.57±243.54 ^{c*}
Chewiness	0	12,424.77±1,734.43 ^a	16,056.66±4,969.45 ^a
	5	15,802.45±3,206.55 ^a	19,714.23±2,242.37 ^{ab}
	10	20,092.25±1,034.23 ^b	23,641.27±1,969.16 ^{bc*}
	15	22,042.81±3,776.36 ^b	25,157.87±1,807.31 ^c
	20	23,525.73±1,915.42 ^b	29,945.88±2,337.72 ^{d*}

1) Refer to the Table 1.

2) All values are mean±S.D. (n=3).

*Means with different superscripts in the different sample are significantly different at $p<0.05$ by Student *t*-test.

^{a-d}Means with different superscripts in the same column of each texture are significantly different at $p<0.05$ by Duncan's multiple range test.

NS: not significant.

유지 함유 식품에서 산화안정성을 평가하기 위하여 산가는 유리지방산 함량을 측정하므로써 산패 정도의 파악에 이용되며(Kim & Yun 1999), 과산화물가는 열화에 의한 알데하이드, 케톤, 탄화수소, 알코올 및 에스테르 등의 휘발성 화합물 생성에 의존적이므로 저장 초기에 산패 정도의 평가에 이용되고 있다(Del Nobile 등 2003). TBA는 지방 함유 식품의

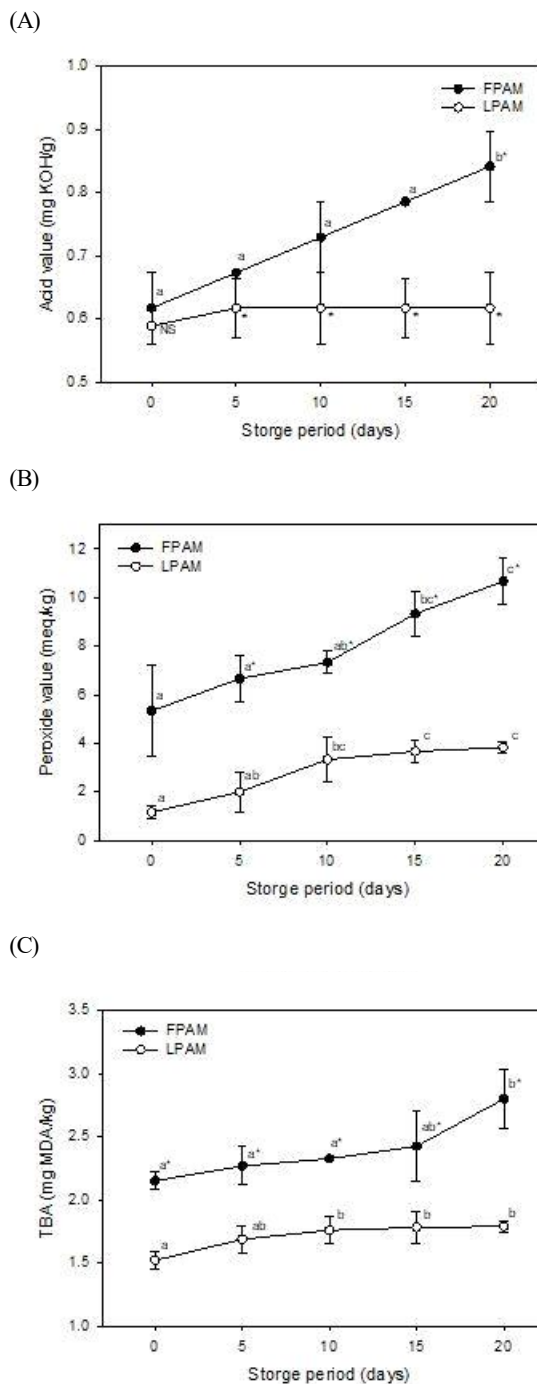


Fig. 3. Oxidative stability of plant-based alternative meat products prepared with full-fat (FPAM) and low-fat (LPAM) soybean powder during storage. FPAM and LPAM are refer to the Table 1. *Means with different superscripts in the different sample are significantly different at $p<0.05$ by Student *t*-test. ^{a-c}Means with different superscripts are significantly different at $p<0.05$ by Duncan's multiple range test. NS: not significant.

산화로 생성되는 말론알데히드의 함량을 측정된 것으로, 식품이 산화되어짐에 따라 계속적으로 증가되기 때문에 식품의 저장 중 산화안정성 평가에 효과적인 방법으로 알려져 있다(Laley 등 1984).

본 연구에서 식물성 대체육의 제조 시 사용된 대두분말의 탈지 공정 유무에 따라 저장 과정 중 과산화물가 및 TBA가에서 유의적인 차이를 보인 것은 원료 중의 지방 함량에 의존적인 것으로 판단된다. 이러한 결과는 대두 및 탈지 대두 가공품을 첨가하여 제조한 라면의 저장 과정 중 과산화물가와 TBA가 저장 초기에 비례적으로 증가되었다는 보고와도 유사한 결과라 판단된다(Lee & Kim 1987). 즉, 식물성 대체육의 제조 시 대체제로써 대두는 단백질 함량, 유화안정성 측면에서 효율적이나, 저장 및 유통과정에서의 자동산화, lipoxygenase를 비롯한 여러 효소의 작용에 의한 산화적 열화를 배제하기 어려워 제품의 전반적인 품질특성을 감소시키게 되므로(Wang 등 2001), 대두의 탈지 공정은 대두 함유 제품에서 품질향상에 중요한 요인이 될 수 있다.

이상의 결과로 볼 때 식물성 대체육에 탈지처리된 저지방 대두분말의 적용은 제품의 보수력 증대, 조직감의 향상 및 산화안정성의 증대에 기여하는 것으로 확인된 바, 식물성 대체제로써 대두는 탈지 공정의 적용 유무가 품질특성 및 저장성 향상에 중요한 요인이 되는 것으로 판단된다.

요약 및 결론

본 연구에서는 전지방 대두분말을 첨가한 식물성 대체육(FPAM)과 초임계 이산화탄소로 탈지처리된 저지방 대두분말을 첨가한 식물성 대체육(LPAM)의 일반성분분석, 색도, pH, 수분흡수력, 유지흡수력, 보수력, 조직감 및 산화안정성을 조사하였다. LPAM에서 회분 및 조단백질 함량이 많았으며, 색도는 FPAM에서 유의적으로 높았다. 수분 흡수력 및 오일 흡수력은 LPAM이 FPAM에 비해 유의적으로 높았다. 식물성 대체육을 5°C에서 20일간 저장하는 동안 보수력은 LPAM에서 모든 저장기간동안 FPAM보다 높았고, pH는 저장 5~10일 저장 후에 LPAM에서 유의적으로 낮았다. 저장기간에 따른 경도, 감성 및 씹힘성은 저장기간이 길어질수록 유의적으로 증가하였으며, 저장 10일 및 20일에 LPAM에서 FPAM에 비해 유의적으로 높았다. 산가는 LPAM에서 저장기간의 경과에 따른 유의차가 없었으며, 저장 20일 경과 후에 FPAM은 LPAM에 비해 유의적으로 높았다. 과산화물가 및 TBA가는 저장기간의 경과에 따라 유의적으로 증가되었으며, LPAM에서 FPAM에 비해 유의적으로 낮은 경향이였다. 본 연구결과, 식물성 대체육의 제조 시 초임계이산화탄소 처리 저지방 대두분말을 사용하여 식물성 대체육 제조가 가능

할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 한국연구재단 후속연구사업의 지원(2021R1A2B5B01002210)과 기초연구사업(NRF-2021R1A6A3A01086896)의 지원을 받아 수행된 연구이며, 이에 감사드립니다.

References

- Adiamo OQ, Gbadamosi OS, Abiose SH. 2016. Functional properties and protein digestibility of protein concentrates and isolates produced from Kariya (*Hildergardia bateri*) seed. *J Food Process Preserv* 40:979-989
- Ali-Nehari A, Kim SB, Lee YB, Chun BS. 2012. Digestive enzymes characterization of krill (*Euphausia superba*) residues deoiled by supercritical carbon dioxide and organic solvents. *J Ind Eng Chem* 18:1314-1319
- An DH. 2019. Development and change of alternative meat. *Food Ind Nutr* 24:1-6
- AOAC. 2000. Official Methods of Analysis of AOAC International. 16th ed. Method 930.15. Association of Official Chemists
- Cha SH, Shin KO, Han KS. 2020. A study on the physico-chemical properties of sausage analogue made with mixed bean protein concentrate. *Korean J Food Sci Technol* 52:641-648
- Cho SY, Ryu GH. 2017. Effects on quality characteristics of extruded meat analog by addition of tuna sawdust. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 46:465-472
- Cho SY, Ryu GH. 2018. Quality characteristics and manufacturing process of extruded texturized vegetable protein. *Food Ind Nutr* 23:25-32
- Cho SY, Ryu GH. 2022. Quality characteristics of plant-based proteins used in meat analogs. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 51:375-380
- Choi EH. 2013. Quality characteristics of garaedduk with defatted rice bran. *Korean J Culin Res* 19:130-141
- Choi YS, Jeon KH, Park JD, Sung JM, Seo DH, Ku SK, Oh NS, Kim YB. 2015. Comparison of pork patty quality characteristics with various binding agents. *Korean J Food Cookery Sci* 31:588-595
- Christianson DD, Friedrich JP, List GR, Warner K, Bagley EB, Stringfellow AC, Inglett GE. 1984. Supercritical fluid

- extraction of dry-milled corn germ with carbon dioxide. *J Food Sci* 49:229-232
- Del Nobile MA, Bove S, La Notte E, Sacchi R. 2003. Influence of packaging geometry and material properties on the oxidation kinetic of bottled virgin olive oil. *J Food Eng* 57:189-197
- Demeyer DI, Vandekerckhove P, Moermans R. 1979. Compounds determining pH in dry sausage. *Meat Sci* 3:161-167
- Ekmekcioglu C, Wallner P, Kundi M, Weisz U, Haas W, Hutter HP. 2018. Red meat, diseases, and healthy alternatives: A critical review. *Crit Rev Food Sci Nutr* 58:247-261
- Jitngarmkusol S, Hongsuwankul J, Tananuwong K. 2008. Chemical compositions, functional properties, and microstructure of defatted macadamia flours. *Food Chem* 110:23-30
- Kang H, Lee B, Chung L. 2021. A comparison of the quality characteristics of meat alternative to wanja and meat wanja. *Korean J Food Cookery Sci* 37:371-378
- Kang SW, Shafiur Rahman M, Kim AN, Lee KY, Park CY, Kerr WL, Choi SG. 2017. Comparative study of the quality characteristics of defatted soy flour treated by supercritical carbon dioxide and organic solvent. *J Food Sci Technol* 54:2485-2493
- Kim AN, So SA, Park CY, Lee KY, Shafiur Rahman M, Choi SG. 2016. Effect of edible coating on hygroscopicity and quality characteristics of freeze-dried Korean traditional Actinidia (*Actinidia arguta*) cultivars snack. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 45:1344-1350
- Kim CS, Yun MH. 1999. Effect of microwave preheating and hydrogenated frying fats on the storage stability of Yackwa. *Korean J Soc Food Sci* 15:264-271
- Kim YH, Yang SY, Lee MH. 1988. The effect of freezing rates on the physico-chemical changes of beef during frozen storage at -20°C . *Korean J Food Sci Technol* 20:447-452
- Kim YJ, Lee HC, Park SY, Park SY, Oh SJ, Chin KB. 2008. Utilization of probiotic starter cultures for the manufacture of low-fat functional fermented sausages. *Korean J Food Sci Anim Resour* 28:51-58
- Laley LC, Lee BH, Simard RE, Carmichael L, Holley RA. 1984. Shelf life of vacuum- or nitrogen-packed pastrami: Effects of packaging atmospheres, temperature and duration of storage on microflora changes. *J Food Sci* 49:827-837
- Lawal OS. 2004. Functionality of African locust bean (*Parkia biglobosa*) protein isolate: Effects of pH, ionic strength and various protein concentrations. *Food Chem* 86:345-355
- Lee CS, Kim ZU. 1987. Stability of lipids by adding soybean and soybean products. *J Korean Agric Chem Soc* 30:328-334
- Lee HY, Shin YM, Hwang CE, Lee BW, Kim HT, Ko JM, Baek IY, An MJ, Choi JS, Seo WT, Cho KM. 2014. Production of soybean meat using Korean whole soybean and its quality characteristics and antioxidant activity. *J Agric Life Sci* 48:139-156
- Lee KY, Shafiur Rahman M, Kim AN, Gul K, Kang SW, Chun J, Kerr WL, Choi SG. 2019. Quality characteristics and storage stability of low-fat tofu prepared with defatted soy flours treated by supercritical- CO_2 and hexane. *LWT* 100:237-243
- Li M, Lee TC. 1996. Effect of cysteine on the functional properties and microstructures of wheat flour extrudates. *J Agric Food Chem* 44:1871-1880
- Lin S, Huff HE, Hsieh F. 2002. Extrusion process parameters, sensory characteristics, and structural properties of a high moisture soy protein meat analog. *J Food Sci* 67:1066-1072
- Moure A, Sineiro J, Domínguez H, Parajó JC. 2006. Functionality of oilseed protein products: A review. *Food Res Int* 39:945-963
- Muguerza E, Fista G, Ansorena D, Astiasaran I, Bloukas JG. 2002. Effect of fat level and partial replacement of pork backfat with olive oil on processing and quality characteristics of fermented sausages. *Meat Sci* 61:397-404
- Qin P, Wang T, Luo Y. 2022. A review on plant-based proteins from soybean: Health benefits and soy product development. *J Agric Food Res* 7:100265
- Russin TA, Boye JI, Arcand Y, Rajamohamed SH. 2011. Alternative techniques for defatting soy: A practical review. *Food Bioprocess Technol* 4:200-223
- Samard S, Ryu GH. 2019. Physicochemical and functional characteristics of plant protein-based meat analogs. *J Food Process Preserv* 43:e14123
- Semeneh S, Kim BJ, Kang SN. 2021. Effect of fat content on physicochemical properties and sensory traits of fermented-dry sausage. *J Agric Life Sci* 55:101-107
- Shafiur Rahman M, Seo JK, Choi SG, Gul K, Yang HS. 2018. Physicochemical characteristics and microbial safety of defatted bovine heart and its lipid extracted with supercritical- CO_2 and solvent extraction. *LWT* 97:355-361
- Shin HY, Ku KJ, Park SK, Song KB. 2006. Use of freshness indicator for determination of freshness and quality change

- of beef and pork during storage. *Korean J Food Sci Technol* 38:325-330
- Shin YM, Cho KM, Seo WT, Choi JS. 2014. Quality characteristics and antioxidant activity of soybean meat using heat-treated soybean powder. *J Agric Life Sci* 48: 105-117
- Singh P, Kumar R, Sabapathy SN, Bawa AS. 2008. Functional and edible uses of soy protein products. *Compr Rev Food Sci Food Saf* 7:14-28
- Stahl E, Schuetz E, Mangold HK. 1980. Extraction of seed oils with liquid and supercritical carbon dioxide. *J Agric Food Chem* 28:1153-1157
- van Vliet S, Bain JR, Muehlbauer MJ, Provenza FD, Kronberg SL, Pieper CF, Huffman KM. 2021. A metabolomics comparison of plant-based meat and grass-fed meat indicates large nutritional differences despite comparable nutrition facts panels. *Sci Rep* 11:13828
- Wang B, Xiong YL, Wang C. 2001. Physicochemical and sensory characteristics of flavored soymilk during refrigeration storage. *J Food Qual* 24:513-526
- You GY, Yong HI, Yu MH, Jeon KH. 2020. Development of meat analogues using vegetable protein: A review. *Korean J Food Sci Technol* 52:167-171
-
- Received 20 July, 2023
Revised 7 August, 2023
Accepted 9 August, 2023