

## 식물성 대체육의 안전성 검증을 위한 위해요소 모니터링

마아영 · 신은성 · 손선아 · 신태선\* · 정현정\*

전남대학교 식품영양학과

### Monitoring Hazards to Verify the Safety of Plant-Based Meat Alternatives

Ayeong Ma, Eun Sung Shin, Seon-A Son, Tai-Sun Shin\*, Hyun-Jung, Chung\*

Department of Food and Nutrition, Chonnam National University, Gwangju, Korea

(Received March 13, 2024/Revised March 28, 2024/Accepted March 30, 2024)

**ABSTRACT** - The proportion of plant-based meat alternative (PBMA) consumers has recently increased in Korea. This is due to several reasons including protecting the environment, satisfying preferences, maintaining health, and improving eating habits. Accordingly, many companies produce and sell alternative meat using various materials. Alternative meats are classified into plant (such as soybeans and wheat), seaweed, insect, and cultured meats, depending on the raw materials used in manufacturing. PBMA is sold after undergoing processes such as grinding, seasoning, and molding. Therefore, monitoring the presence of any hazardous elements during this process is essential. Accordingly, in this study, we analyzed the harmful components of nine domestically distributed PBMA that are most easily accessible to consumers. After extracting fat from the samples and analyzing the rancidity level, samples F, G, and I were highly rancid. Trace amounts of aflatoxin were detected in samples A and B, but confirmed to be within the range. Cd and Pb were not detected in any sample. We hope that this study will help establish methods to ensure the safety of domestically sold PBMA.

**Key words:** Plant-based meat alternatives, Food analysis, Food safety, Instrumental analysis, Food chemistry

최근, 미국 및 유럽 선진국에서 육류 중심의 식단에서 점점 식물성 식단의 전환이 증가추세에 있다<sup>1-5)</sup>. 이는 육류 소비의 저감에 따른 소비자의 식습관 개선, 지속가능한 식품 생산을 위한 환경 구축에 대하여 소비자들 사이에서 우호적으로 수용되고 있기 때문이다. 육류의 소비의 감소 방안으로 다양한 대체육이 개발되고 있다. 대체육은 원료의 성분에 따라 식물성 원료를 원료로 하여 생산된 식물성 대체육(plant-based meat alternatives, PBMA), 곰팡

이 단백질, 곤충 단백질, 해조류 단백질, 배양육으로 분류된다. 식물성 대체육은 버섯, 쌀, 옥수수, 렌즈콩, 대두, 밀 등 식물에서 추출한 단백질을 이용하여 실제 고기와 식감과 맛이 유사하도록 가공한 단백질 식품을 의미한다. 일반적으로 식물성 대체육은 50-80%의 수분 함량을 가지며 식감에 영향을 주지 않는 단백질이 4-20%, 식물성 질감 기반 단백질 10-25%, 향미 강화 첨가제 3-10%, 지방 0-15%, 착색제 0-15%, 단백질 결합제 1-15% 등으로 구성된다<sup>6)</sup>. 대체육 제조에 사용되는 단백질은 수분 보유, 지방 흡수 및 유화, 단백질 간 겔화 형성 능력 등 기능적 특성이 요구된다. 단백질은 온도, pH, 이온강도 등 외부 환경의 변화로 기능성이 달라질 수 있다. 이처럼 대두유래 단백질은 식물성 대체육에서 필요한 다양한 기능성을 갖고 있다<sup>7)</sup>.

식물성 대체육은 실제 육류 기반 제품보다 에너지와 총 지방 및 포화지방함량이 낮고 탄수화물 당류 및 섬유질이 더 높은 것이 일반적이다. 식물성 대체육은 Na, K, P, S, Ca 및 Mg 등 무기질의 좋은 공급원이 될 수 있다는 연구 결과가 있으며 육류와 비교해 철분 함량이 높다고 보고되

\*Corresponding to: Tai-Sun Shin, Department of Food and Nutrition, Chonnam National University, Buk-gu, Gwangju 61186, Korea

Tel: +82-62-530-1352, Fax: +82-62-530-1339

E-mail: shints@chonnam.ac.kr

\*Corresponding to: Hyun-Jung, Chung, Department of Food and Nutrition, Chonnam National University, Buk-gu, Gwangju 61186, Korea

Tel: +82-62-530-1333, Fax: +82-62-530-1339

E-mail: hchung@jnu.ac.kr

Copyright © The Korean Society of Food Hygiene and Safety. All rights reserved. The Journal of Food Hygiene and Safety is an Open-Access journal distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

고 있다<sup>8-10</sup>). 독일, 영국, 네덜란드에서는 쇠고기 버거와 치킨너겟을 대체할 수 있는 다양한 종류의 대체육을 다양하게 출시하고 있다. 이러한 제품은 실제 육류의 특성을 유사하게 모방하거나 재현하기 위해서 가공 공정 중 다양한 성분들이 첨가되기도 한다. 식물성대체육에 육류 고품질 특성을 유지하기 위하여 적근대, 적양배추 등 적색 천연 착색제 또는 합성 착색제가 사용된다. 천연 색소는 빛이나 산소에 노출로 인해 쉽게 파괴될 수 있어 제품의 품질을 저하시킬 수 있기 때문에 합성 착색제에 대한 의존도 및 사용량은 더 증가할 것으로 생각된다<sup>11</sup>). 육류 유사 제품에서 육즙의 부드러움 및 맛의 감각적 특성을 향상시키기 위해서 지방/기름(코코넛 오일/버터, 해라라기오일, 참기름)을 사용하기도 한다. 또한 단백질 가공의 편리성을 향상시키기 위하여 결합제(전분, 하이드로콜로이드, 섬유소)를 첨가하기도 한다<sup>12</sup>). 식물성 대체육에서 높은 함량의 콩단백질을 사용함으로써 쓴맛, 탄맛, 흄냄새 등이 발생할 수 있으며 이러한 향미를 낮추기 위해 천연 또는 합성 첨가물을 사용한다<sup>3</sup>). 국내에서는 아직 대체단백질에 대한 연구가 초기 단계로, 식물성 대체육의 현황과 기술에 대한 기초정보가 미미한 실정에 있다. 해외에서 진행 중인 단백질 대체 소재에 대한 연구와 관심도, 규모에 비하면 국내에서 진행되고 있는 연구의 규모는 작다. 수요가 늘고 있는 추세이지만 관련된 국가 기관에서는 육류 대체품을 공식적으로 표준화되지 않고 있다. 식품공전에서는 산가 및 과산화물가 기준, 총 아플라톡신 함량 기준, 중금속 기준 등에서 농산물 및 농산가공식품에 대한 기준을 제시하고 있으나 구체적으로 식물성 대체육의 특성이 반영된 기준이 마련되지 않아 향후 안전성 관련 문제가 발생할 경우 신속한 조치가 어려울 수 있다. 이러한 문제를 예방하기 위해 국내에 유통되고 있는 국내산 육류 대체품에 대하여 식품 안전에 문제를 일으킬 수 있는 성분을 분석하여 향후 정기적인 모니터링을 실시할 시에 도움을 주고자 하였다.

## Materials and Methods

### 실험재료

국내에서 생산, 판매되고 있는 대체육을 제조사별로 9종을 채택하여 온라인상에서 구매 후 진행했다. 기초적인 성분의 분석을 위해 양념이 되지 않은 대체육 9종을 선정하였다. 시료는 상온보관이 가능한 건조된 식물성 대체육(sample A, B, C, D)과, 냉동 및 진공포장(sample E, F, G, H, I)된 식물성 대체육을 온라인 구매 후 시료로 사용하였다. 모든 시료는 균질용믹서(CN/EBR7804S, 1.7L, Electrolux, Stockholm, Sweden)를 사용하여 균질화 했다. 균질된 시료는 산패를 최소화 하기 위해 -80°C에 보관하여 사용하였다.

### 일반성분분석

수분정량은 식품공전 제8. 일반시험법 중 2.1.1.1 건조감량시험법에 따라 진행하였다<sup>13</sup>). 균질화 된 검체를 알루미늄 칭량집시에 1g 씩 평량한다. 냉동상태인 검체는 상온에서 녹인 후 칭량한다. 이를 잘 펼쳐 105°C 건조오븐에서 5시간 상압건조시킨다. 건조 후 무게를 측정하고, 항량이 될 때 까지 3시간의 건조과정을 반복한다. 칭량 시 시료에서 감소되는 양을 수분량으로 한다.

조단백질 정량은 식품공전 제8. 일반시험법 중 2.1.3.1 조단백질 정량 시험법을 참고하여 진행하였다<sup>13</sup>). 균질화 된 시료 0.5 g을 칭량하여 유산지에 싼 상태로 킬달플라스크에 넣는다. 분해촉진제 펠렛 7 g (Potassium sulfate 98.5% & Copper Sulfate, SAMCHUN Chemicals, Pyeongtaek, Korea)을 킬달플라스크에 넣은 후 황산 (Sulfuric acid 95%, DAEJUNG Chemicals & Metals., Siheung, Korea) 12 mL를 가한다. 킬달플라스크를 분해장치 (CT-106, Coreteck, Hwaseong, Korea)에 장착 하여 405°C에서 60분간 가열한다. 분해액을 상온에서 충분히 냉각시킨 후 새로운 킬달플라스크에 10 mL을 취하고 증류수 50 mL을 가하여 희석한다. 이후 킬달질소측정기구(ES/DNP-2000, Coreteck)에 분해액이 든 킬달플라스크와 회수용 플라스크를 장착한다. 킬달플라스크에 4% 붕산(Boric acid, Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)용액 30 mL 과 25% NaOH (Sodium hydroxide pellets 98.0%, SAMCHUN Chemicals) 15 mL를 가한 후 8분간 증류한다. 회수플라스크에 검액이 충분히 모이는 것을 확인 후 이에 0.1 N HCl (0.1N Hydrochloric acid solution은 Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)을 적하하여 선홍빛이 될 때 소모된 양을 기록한다. 동일한 방법으로 시료를 넣지 않고 공시험을 진행했으며 실험결과는 공시험을 통해 보정한다. 조지방 실험은 식품공전 제8. 일반시험법 중 2.1.5.1.1 조지방 에테르 추출법을 참고하여 다음과 같은 방법으로 시험하였다<sup>13</sup>). 시료 20 g을 평량한 후 원통여지에 넣고 시료가 빠져나오지 않도록 소량의 탈지면을 채운다. 원통여지를 속실렛 사이폰 관에 넣고 농축수기(추출수기)를 연결한 후 시료 양의 10배수에 해당하는 에틸에테르(Ethyl ether Extra pure grade, DAEJUNG Chemicals & Metals)를 가한다. 속실렛 사이폰 관을 냉각관이 있는 항온수조에 장착 후 60°C로 가열하여 16시간 동안(또는 추출용매의 색이 투명해질 때까지) 추출한다. 추출 후 용매는 40°C에서 감압농축을 진행한다. 농축 후 무게를 측정하고 농축수기의 무게를 빼것을 조지방량으로 한다.

### 산가과산화물가

산가 측정은 식품공전 제8. 일반시험법 중 2.1.5.3.1 산가 시험법을 참고하였다<sup>13</sup>). 검체를 20 g 취하여 시료 양의 10 배수에 해당하는 에틸에테르(Ethyl ether Extra pure

grade, DAEJUNG Chemicals & Metals) 중에서 교반한다. 추출은 상온에서 진행했으며 추출 후 40°C의 수욕상에서 감압농축 한다. 추출 및 농축과정은 3회 반복하였다. 농축하여 얻어진 지방을 검체로 하여 1 g을 평량한 후 에틸알코올:에틸에테르(1:2) (Ethyl alcohol, Merck & Co., Darmstadt, Germany) 혼합용액을 100 mL 가한 후 세차게 흔들어 용해한다. 이에 지시약 (1% Phenolphthalein, Sigma-Aldrich)을 2-3방울 가한 후 0.1 N 에탄올성 수산화칼륨용액 (0.1 N Potassium hydroxide solution in ethanol, Merck & Co.)을 이용하여 종말점(선홍색)이 될 때 까지 적하한다. 실험결과는 공시험을 통해 보정한다. 과산화물가 시험법은 식품공전 제8. 일반시험법 중 2.1.5.3.5. 시험법을 참고하였다<sup>13)</sup>. 지질의 추출은 산가와 동일하게 진행되었으며 지방 추출 시의 수율을 감안하여 시험법의 일부를 변형 후 다음과 같은 방법으로 시험하였다. 검체를 20 g 취하여 시료 양의 10배수에 해당하는 에틸에테르 중에서 교반한다. 추출은 상온에서 진행했으며 추출 후 40°C의 수욕상에서 감압농축한다. 추출 및 농축과정은 3회 반복하였다. 농축하여 얻어진 지방을 검체로 하여 삼각플라스크에 약 0.5-1 g을 평량한다 초산:클로로포름(3 : 2) (Acetic acid, Chloroform, DAEJUNG Chemicals & Metals) 혼합용액 25 mL을 가하여 세차게 흔들어 지질을 용해한다. 이에 포화요오드화칼륨용액 (Potassium iodine, DAEJUNG Chemicals & Metals, 70 g을 50 mL에 용해) 1 mL를 가하였다. 어두운 곳에 10분간 방치하고 증류수 30 mL를 가하여 세계 흔들어 반응을 정지한 후 전분용액 1 mL (Starch, Sigma-Aldrich, 60°C 증류수에 1% 용액으로 조제)를 지시약으로 하여 백색이 될 때 까지 0.01 N 티오황산나트륨 용액(0.01N Sodium Thiosulfate, Merck & Co.)으로 적하하였다. 실험 결과는 공시험을 통해 보정하였다.

### 지방산 분석

지방산 분석은 fatty acid methyl ester (FAME)는 Griffiths 등(2010)<sup>14)</sup>의 시험방법을 참고하여 진행하였다. 모든 시험 과정은 유기용매의 휘발을 막기 위해 캡 시험관을 사용하여 진행하였다. 시험에 사용된 시료는 속실텍 추출방법에 의해 추출된 지방을 사용했다. 시료 0.1 g을 15 mL 시험관에 넣고 100 ppm으로 제조된 ISTD 0.1 mL (Heptadecanoic acid, Sigma-Aldrich, Toluene에 용해) 을 가한다. 이어서 Toluene (Merck & Co.) 0.5 mL을 가하고 0.5 N Sodium methoxide와 2,2-Dimethoxy propane (Sigma-Aldrich)을 0.1 mL씩 가한 후 혼합한다. 시험관의 마개를 닫고 80°C 항온수조에서 20분 반응시킨 뒤 5분간 방냉한다. 충분히 식은 시험관에 Boron trifluoride-methanol solution (Sigma-Aldrich) 1 mL을 가한 뒤 혼합한 후 80°C 항온수조에서 20분 반응시킨 뒤 5분간 방냉한다. 시험관에 포화 NaCl (Sodium chloride, DAEJUNG Chemicals) 과

**Table 1.** Analytical conditions of Gas chromatography

Instrument operating condition		
Column	SupelcoSP-2560 (100 m × 0.25 mm, 0.25 μm)	
Mobile phase	He	
Flow rate	Total flow	26.8 mL/min
	Column flow	1.14 mL/min
Oven temperature	180°C 5 min → 240°C (3°C/min)10min	
Interface temperature	230°C	
Detector temperature	250°C	

n-Hexane (Sigma-Aldrich)을 400 μL 씩 첨가한 후 혼합하여 3000rpm, 5분과 동등한 조건에서 원심분리 한다. 이후 취한 상등액을 지방산 분석용 시료로 사용하였다.

### 가스크로마토그래피 조건

지방산 분석에 사용된 기기는 가스크로마토그래피 (Shimadzu GC-2010, Shimadzu Co. Tokyo, Japan)로 flame Ionization detector (FID, 불꽃이온화 검출기)와 Autosampler (Shimadzu AOC-20S)를 연결하여 사용하였다. 분석 Column으로는 Supelco SP-2560 (100 m×0.25 mm, 0.25 μm Film thickness, Supelco, St. Louis, MO, USA)를 사용하였다. 분석 조건은 Table 1과 같다.

### 아플라톡신

총 아플라톡신 시험방법은 제8. 일반시험법 9.식품 중 유해물질 시험법 9.2 곰팡이독소 9.2.2 아플라톡신(B1, B2, G1 및 G2) 시험법을 참고하였다. 시료 25 g을 정밀히 취한 후 염화나트륨을 메탄올 : 물 (7:3, v/v)에 1% 농도로 용해한 것을 추출용액으로 하여 100 mL을 가한다. 5분간 균질기를 사용하여 균질화 하고 균질화 된 시료는 여과지 (Filter paper 5C 110 mm, ADVANTEC, Tokyo, Japan)를 사용하여 여과 시킨 후 여과된 10 mL을 취하여 1% Tween 20 (Sigma-Aldrich) 용액 30 mL과 혼합하였다. 혼합액을 유리섬유여과지(Whatman No.4, Glass filter GF/A, Whatman, Maidstone, England)로 여과한 후 20 mL을 정제용 컬럼(Afla test, Waters Co., Milford, MA, USA)에 주입하였다. 증류수 10 mL을 주입 후 유출하여 버리고 Acetonitrile (Merck & Co.) 3 mL로 용출한 것을 받은 후 50°C 수욕상에서 질소농축기로 건조한다. 잔류물에 TFA (Trifluoroacetic acid, Merck & Co.) 0.2 mL을 가하여 암실에서 15분간 방치 후 Acetonitrile: 물 (20:80, v/v) 혼합용액 0.8 mL을 가하였다. 이를 주사기 용 필터 (Syringe filter PTFE 0.45 μm, 13 mm, ADVANTEC) 로 여과한 것을 시험용액으로 한다. 표준품은 Aflatoxin Mix kit M (G1, B1, G2, B2) (Supelco)를 사용하였다.

### 액체크로마토그래피 조건

아플라톡신 분석에 사용한 기기는 액체크로마토그래피 (Shimadzu HPLC system, Shimadzu Co.)이며 LC pump (Shimadzu LC-20AD), Column oven (Shimadzu CTO-20AC), Autosampler (Shimadzu SIL-20AC), Fluorescence detector (Shimadzu RF-10AXL), System controller (Shimadzu CBM-20A) 로 시스템을 구성하여 사용하였다. 사용된 컬럼은 Capcell Pak C18, 4.6 mm×250 mm, 5 μm (UG120, Shiseido Co., Ltd, Tokyo, Japan)이며 컬럼오븐의 온도는 40°C, 이동상은 물과 Acetonitrile을 75:25 (v/v)로 혼합한 용액을 사용했다. Total flow는 1.0 mL/min 비율로 설정했으며 주입량은 10 μL, 형광검출기의 여기파장은 360 nm, 측정파장은 450 nm로 설정하였다. 시험용액 및 표준용액을 HPLC의 조건에 따라 액체크로마토그래피에 주입하고 얻어진 면적으로부터 작성한 검량선을 이용하여 시험용액 중의 총 아플라톡신 함량을 산출하였다.

### 중금속 분석

중금속 함량 분석은 식품공전 제8. 일반시험법 9.식품 중 유해물질 시험법 9.1 중금속 9.1.2 납(Pb), 9.1.3 카드뮴(Cd) 을 참고해 시험하였으며 시험용액은 습식분해법 중 마이크로웨이브법을 이용하여 제조하였다<sup>13)</sup>. 시료 0.1 g을 Microwave digestion system (ETHOS TC, Milestone SRL, Sorisole, Italy)에 넣고 질산(Nitric acid, Junsei Chemical Co.,Ltd, Tokyo, Japan)으로 처리하여 분해한다. 분해물을 Heat block 등을 이용하여 최소량으로 농축시킨 후 3차 증류수를 넣어 희석한 것을 시험용액으로 하였다. 납(Pb)과 카드뮴(Cd)의 정량을 위해 표준물질(Quality control standard 21, PerkinElmer, Hopkinton, MA, USA)을 사용하였고, 0.5 N Nitric acid로 100 mg/L의 농도로 정용하여 표준용액을 제조하였다. 이를 0.02, 0.05, 0.1, 0.5, 1.0, 5.0 mg/L 농도로 희석하여 검량선을 작성하는데에 사용하였다.

### ICP-OES 조건

중금속 분석은 ICP-OES (Avio 550 max, PerkinElmer) 을 이용하였으며 분석 조건은 다음과 같다. 분석 시 파장(wavelength)은 Pb 220.353 nm, Cd 226.802 nm로 설정하였으며 ICP RF power는 1.5 KW, Plasma gas flow rate는 8 L/min로 설정하였다. 크로마토그램에서 peak 확인 시 검출로 판단하였으며 표준물질의 표준곡선을 이용해 함량을 산출하였다.

### 통계분석

통계 분석은 IBM SPSS Statistic (Version 27.0, IBM Corporation, Armonk, NY, USA)을 이용하여 수행했다. Duncan test를 이용하여  $P < 0.05$  수준에서 유의성을 검증하였으며 데이터는 평균과 표준편차로 표기하였다.

## Results and Discussion

### 일반성분분석

조단백질, 조지방, 수분함량의 분석결과를 Table 2에 나타내었다. 조단백질 분석 결과 대부분의 시료가 많은 양의 단백질을 함유하고 있음을 확인했다. 특히 분리대두단백의 함량이 높았던 sample A, B, C, D에서  $48.91 \pm 0.88$ - $49.81 \pm 0.38\%$ 로 50%에 가까운 단백질을 함유하고 있음을 확인했다(Table 2, 3). 단백질의 함량이 높게 측정된 시료는 모두 건조된 형태의 식물성 대체육이었다. 냉동 형태의 시료인 E, F, G, H, I는 단백질 함량이  $10.29 \pm 0.43$ - $19.83 \pm 0.78\%$ 로 제조과정 중 완두단백, 과채가공분말, 옥수수, 오일, 다양한 과채류 등과 혼합하여 제조하는 과정에서 단백질 함유량이 적어진 것으로 생각된다. 대부분의 육류 대체품은 콩 단백질에서 추출되는데, 그 이유는 콩 단백질이 비교적 저렴한 비용으로 이용 가능하기 때문이다<sup>15)</sup>. 현재 육류 대체식품은 옥수수, 쌀, 밀, 탈지 유지종자, 콩가루 및 시리얼과 같은 곡물의 단백질, 탈지 콩가루의 파생물 및 식사, 콩 단백질 농축물, 밀가루를 활용하여 제조되고 있다<sup>16)</sup>. 이와 같은 연구결과를 참고하여 9개의 sample의 영양표시를 확인한 결과 중 A, B, C, D, E, F, H에 분리대두단백이 원료로 사용된 것을 확인할 수 있었으며, sample E와 G는 귀리, 옥수수전분 등을 혼합하여 제조되었음을 확인하였다. 또 시료 중에 특이한 재료들 중 하나는 글루텐이다. Sample A, B, F, H, I에서 글루텐 및 소맥글루텐이 사용된 것을 확인할 수 있었는데, 밀의 글루텐은 길고 좁은 단백질 층을 형성하는 고유한 능력을 갖고 있으며, 이를 이용해 쉽게 섬유질 구조를 만들 수 있다<sup>17)</sup>. 또 밀 글루텐의 수소 결합, 이황화 결합 및 소수성 상호 작용 고기와 같은 구조의 형성과 제품 제조 중 구조의 유지 및 안정화에 관여할 수 있으며, 밀 글루텐은 식물성 대체육을 생산 시에 알맞는 반죽을 생성할 수 있는 원료로 밝혀진 바 있어 자주 쓰임을 확인할 수 있다<sup>18)</sup>. 수분정량 결과 건조된 형태의 시료보다 냉동된 형태의 시료의 수분함량이 높은 것으로 확인되었다. 냉동된 형태의 시료 sample E, F, G, H, I 중 가장 적은 양의 수분을 함유한 시료는 sample E로 39.89%의 수분함량을 나타내었으며 가장 많은 양의 수분을 함유한 시료는 sample F로 68.95%의 수분함량을 나타내었다. 건조 형태의 제품 중 가장 낮은 수분을 함유하고 있는 시료는 sample D로 13.31%의 수분함량을 나타내었으며 가장 많은 양의 수분을 함유한 시료는 sample C로 18.36%의 수분함량을 나타내었다. 조지방 분석 결과 건조된 형태의 시료보다 냉동된 형태의 시료에서 높은 지방함량이 확인되었다. 가장 적은 지방을 함유한 것은 sample B로 0.56%의 조지방량을 나타내었다. 가장 많은 지방을 함유하고 있는 시료는 sample H로 냉동제품이었

**Table 2.** Analysis result of general composition<sup>1)</sup> (Unit : %)

Sample		Crude protein	Moisture content	Crude fat
Dried form	A	49.68 <sup>a3)</sup> ±1.24 <sup>2)</sup>	14.95 <sup>e</sup> ±0.14	0.95 <sup>f</sup> ±0.02
	B	49.81 <sup>a</sup> ±0.38	13.53 <sup>e</sup> ±1.28	0.56 <sup>f</sup> ±0.09
	C	48.91 <sup>a</sup> ±0.88	18.36 <sup>f</sup> ±1.12	0.81 <sup>f</sup> ±0.10
	D	49.19 <sup>a</sup> ±1.18	13.31 <sup>e</sup> ±0.56	0.92 <sup>f</sup> ±0.06
Frozen form	E	19.67 <sup>b</sup> ±0.29	39.89 <sup>e</sup> ±1.85	5.60 <sup>c</sup> ±0.51
	F	19.83 <sup>b</sup> ±0.78	68.95 <sup>a</sup> ±3.86	2.48 <sup>c</sup> ±0.51
	G	10.29 <sup>d</sup> ±0.43	58.91 <sup>c</sup> ±0.73	7.91 <sup>b</sup> ±0.52
	H	17.68 <sup>c</sup> ±0.63	64.96 <sup>b</sup> ±1.81	9.72 <sup>a</sup> ±0.57
	I	16.67 <sup>c</sup> ±1.04	55.69 <sup>d</sup> ±0.88	4.19 <sup>d</sup> ±0.33

<sup>1)</sup>All the data are means of three determinations, <sup>2)</sup>Means±S.D.

<sup>3)</sup>Data are expressed as mean±SD of triplicate experiments. Different letters in a column are statistically different by Duncan's multiple range test ( $P < 0.05$ ).

**Table 3.** Nutrition facts and ingredient

	A	B	C	D	
Carbohydrate (%)	36	36	32	34	
Protein (%)	49	50	51	53	
Fat (%)	0.95	1.6	0	0	
Ingredient	분리대두단백, 탈지대두분, 옥수수전분, 글루텐	분리대두단백 옥수수전분, 탈지대두분, 글루텐	분리대두단백, 귀리, 옥수수전분	분리대두단백, 귀리, 옥수수전분	
	E	F	G	H	I
Carbohydrate (%)	13	10.34	28	11	14
Protein (%)	7.85	17.87	7	11	18
Fat (%)	8	3.03	7	13	13
Ingredient	대두단백	분리대두단백, 탈지대두분, 소맥분, 소맥글루텐, 소맥전분	병아리콩, 과채가공품(옥수수, 완두콩, 당근, 그린빈), 완두단백	분리완두단백, 난백, 글루텐	대두, 쌀콩단백분리 대두단백, 쌀가루, 밀글루텐

으며 9.72%의 함유량을 보였다. 주로 냉동제품에서 수분 및 지방함유량이 높은 것을 확인 할 수 있었는데, 이는 건조시키지 않고 제품의 모양을 유지하기 위해 지방을 사용하여 모양을 고정하는 과정에서 비교적 다량 함유된 것으로 판단된다. 냉동제품들은 물에 불리는 과정을 거치지 않고 바로 가열조리하면 섭취할 수 있다는 장점이 있지만 지방 및 수분의 함유량이 높으므로 건조형태의 제품에 비해 유통기한이 길지 않다는 단점이 있다<sup>19)</sup>. 건조제품들은 가열조리 전에 물에 충분히 불려야 하는 번거로움이 있지만 상온 및 냉동조건 하에서 6개월-1년 이상 보관이 가능하다는 장점이 있다.

### 산가 및 과산화물가

산가는 유지 및 유지를 함유한 식품의 품질 판정에 필

요한 함유이며 특히 유지의 산패 정도를 나타내는 기준이 된다. 산패(rancidity)는 자동산화(autoxidation)에 의한 산패와 가수분해(hydrolysis)에 의한 유지 산패가 있으며, 이러한 산패는 식품의 저장·유통·조리 중 화학반응을 일으켜 결국 식품의 품질을 저하한다. 지질산패는 열적 가수분해, 산화, 미생물, 효소 등 다양한 경로로 유발된다<sup>20)</sup>. 본 연구에서는 지방을 다량 함유하고 있는 시료에 대하여 산패도를 측정하기 위해 지방 추출 후 시료 100 g 당 1 g 이상의 지방이 추출된 시료(Table 2)에 대하여 과산화물가 및 산가 시험을 진행하였다(Table 4). 대체육은 국내의 식품별 기준 및 규격상에 분류되어 있지 않아 산화안정성에 대한 산가와 과산화물가의 적합한 수준을 판단하기는 어렵다<sup>21)</sup>. 식품공전에는 농산가공품으로 참깨분, 대두분 식품과 유통처리 되지 않은 식품에 대한 산가와 과산화물가

가 규격이 설정되어 있으나(Table 5) 식물성 대체육은 이들의 식품군과 성분조성이나 가공 공정이 유사하지 않아 직접적인 적용이 어렵다는 점이 있다. 따라서 구체적인 기준규격의 설정이 필요한 것으로 판단된다.

식품공전상 산가와 과산화물가에 대한 기준이 있는 식품을 Table 5에 나타내었다. 산가 시험결과에 대하여 식품공전의 기준규격을 참고하여 최대치와 비교하였다. 산가 5.0의 범위 내에서 안전성을 판단했으며 그 결과 sample F가 기준을 초과하는 수치를 나타내었다. 과산화물가 시험결과에 대하여 식품공전의 기준규격을 참고하였다. 60 meq/Kg을 기준으로 안전성을 한계로 적용할 때 sample F, G, I가 기준을 초과하는 수치를 나타내었다. 특히 G의 경우는 2배 이상의 과산화물가를 나타내는 것으로 확인되었다. 일부 시료에서 조리과정(가열과정)을 거치지 않았음에도 높은 산가와 과산화물가를 나타내는 것으로 보아 시중에 판매 및 유통되고 있는 대체육에 대한 모니터링이 필요하다고 판단된다. 가열조리를 거치게 될 시 지질의 열적 가수분해 경로로 인한 산패로 유리지방산이 생성될 수 있고, 고온 조리 후 보관 시 자동산화, 보관온도에 따라 산화적 지질산패가 가속화 될 수 있다<sup>22)</sup>. 만약 가열조리 과정을 거치지 않은 제품일지라도 기본적으로 산패가 되기 쉬운 제품이라면 소비자의 안전한 식생활에 위해를 줄 수 있으므로 대체육의 특성에 따라 지방의 산패도에 대한

기준설정을 따로 마련한다면 식품의 안전성을 규제하는 것에 도움이 될 것이다.

**지방산 조성**

가스크로마토그래피(Gas chromatography, GC)를 사용하여 지방산 조성을 분석한 결과를 Table 6에 나타내었다. 현재까지 판매되고 있는 대체육은 대부분 지방 함량이 낮다. 식물성 대체육을 제조하는데 사용되는 원료들이 대부분 탈지된 형태로 사용되기 때문이다. 하지만 섬유구조 형성을 위해 가공 시 식용유 등의 지방을 첨가하기도 한다. 압출 가공에서 오일을 15% 이상 함유 시 제품 성형 및 반죽에 부정적인 영향을 미칠 수 있음이 확인되었지만 대체육에 식물성 기름과 지방을 첨가하면 맛, 부드러움 및 풍미를 향상시킬 수 있는 장점이 있다. 이는 소비자의 선호도를 높일 수 있는 요소이다<sup>23)</sup>. 카놀라유, 유채씨유, 콩기름, 팜유, 코코넛유, 해바라기유는 오늘날 식물성 대체육에 사용되는 식용유 중 일부이다. 시료의 영양표시에서도 이와 같은 오일이 사용됨을 확인할 수 있었는데, sample E에서는 정제야자유, 카놀라유, 해바라기유가 사용되었고, sample F, G에서는 해바라기유가 사용됨을 확인되었으며 sample H에서는 해바라기유, 참기름 파기름이 사용되었다. 분석 결과 예상할 수 있는 바와 같이 콩, 유채, 해바라기와 같은 식물성 원재료에서 유래한 불포화지방산의 비율이 높았다. 9개의 시료에서 공통적으로 높은 비율을 차지하는 지방산은 C18:2로 다가불포화지방산이며 주로 옥수수기름, 콩기름에서 유래된 것으로 판단된다(Table 7). 특이적인 지방산 조성을 보이는 시료는 B로 코코넛유나 포유류의 젖에서 발견되는 지방산이 검출되었다. 이는 고기의 풍미나 지방을 재현하기 위해 카놀라유, 코코넛오일 등의 사용에 의해 혼합된 것으로 예측된다. 가스크로마토그래피를 활용한 지방산 조성 분석은 식물성 대체육이 함유하고 있는 지방산의 주요 조성에 대해 파악할 수 있을 뿐 아니라 제조 시에 식물 또는 동물 유래 단백질이나 지방을 사용했는지 판단할 수 있다.

최근 식물성 대체육을 선택하는 많은 이유 중 하나는

**Table 4.** Results of Rancidity measurement<sup>1)</sup>

Sample	Acid value (mg/g)	Peroxidase value (meq/Kg)
E	2.91 <sup>3b</sup> ±0.74	52.50 <sup>bc</sup> ±0.10
F	5.09 <sup>a</sup> ±0.07	64.67 <sup>b</sup> ±8.66
G	1.67 <sup>c</sup> ±0.73	120.49 <sup>a</sup> ±0.72
H	4.13 <sup>a</sup> ±0.71	10.21 <sup>c</sup> ±0.25
I	2.49 <sup>bc</sup> ±0.01	67.45 <sup>bc</sup> ±0.42

<sup>1)</sup>All the data are means of three determinations, <sup>2)</sup>Means±S.D.  
<sup>3)</sup>Data are expressed as mean±SD of triplicate experiments. Different letters in a column are statistically different by Duncan's multiple range test (*P* < 0.05).

**Table 5.** Acid value and peroxide value suitability criteria presented in the Food Code

Food type		Acid value	Peroxide value
Agricultural processed food	Sesame powder, soybean powder	4.0 ≤	-
	Fried food	5.0 ≤	60 ≤
Rice cakes	Limited to fried and oil-treated confectionery (Korean confectionery)	3.0 ≤	
Edible oil and fat products	Processed with vegetable oil or animal oil as the main ingredient	0.6 ≤	-
		(pressed oil 4.0 ≤)	
Insect processed food	Limited to edible pupa processed products.	5.0 ≤	60 ≤
Other processed products	No. 5. Among the ‘Standards and specifications for each food’, 1. Confectionery, bread, or rice cake through 23. Food that does not fall under the ready-to-eat food category (limited to fried and oil-treated foods)	5.0 ≤	60 ≤

**Table 6.** Fatty acid composition ratio of 9 types of samples<sup>1)</sup> (Unit : mg/100 g)

	Sample (dried form)			
	A	B	C	D
C10:0	N.D. <sup>3)</sup>	130.31 <sup>4)a</sup> ±8.79	N.D.	N.D.
C11:0	N.D.	106.99 <sup>a</sup> ±5.22	N.D.	N.D.
C13:0	N.D.	944.39 <sup>a</sup> ±67.24	N.D.	N.D.
C14:1	N.D.	366.38 <sup>a</sup> ±9.40	1.10 <sup>b</sup> ±0.05	1.08 <sup>b</sup> ±0.04
C15:1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
C16:1	55.58 <sup>g</sup> ±0.74 <sup>2)</sup>	157.50 <sup>b</sup> ±2.57	53.21 <sup>e</sup> ±0.83	42.77 <sup>h</sup> ±1.01
C17:1	N.D.	2.93 <sup>c</sup> ±0.05	N.D.	N.D.
C18:1 eladiate	25.60 <sup>f</sup> ±0.48	71.38 <sup>c</sup> ±0.57	33.27 <sup>e</sup> ±0.39	13.93 <sup>g</sup> ±0.29
C18:1 oleate	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
C18:2 linoleaidate	67.80 <sup>f</sup> ±0.81	606.61 <sup>e</sup> ±11.14	74.45 <sup>f</sup> ±2.87	52.08 <sup>f</sup> ±1.13
C18:2 linoleate	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Methyl Arachidate	390.10 <sup>d</sup> ±8.54	5.01 <sup>d</sup> ±0.09	433.97 <sup>d</sup> ±9.65	425.27 <sup>d</sup> ±9.57
C18:3	0.59 <sup>f</sup> ±0.01	5.47 <sup>c</sup> ±0.19	1.00 <sup>e</sup> ±0.02	0.33 <sup>f</sup> ±0.01
C21:0	N.D.	211.40 <sup>e</sup> ±7.91	N.D.	N.D.
C20:2	57.03 <sup>f</sup> ±1.99	1.22 <sup>b</sup> ±0.03	96.63 <sup>d</sup> ±0.66	85.21 <sup>e</sup> ±6.95
C20:3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
C20:4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
C22:2	N.D.	0.47 <sup>e</sup> ±0.03	N.D.	N.D.
C20:5	N.D.	0.39±0.03	N.D.	N.D.
C24:1	0.54 <sup>c</sup> ±0.03	N.D.	0.60 <sup>b</sup> ±0.02	0.45 <sup>d</sup> ±0.03

	Sample (frozod form)				
	E	F	G	H	I
C10:0	N.D. <sup>3)</sup>	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
C11:0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
C13:0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
C14:1	1.14 <sup>b</sup> ±0.07	2.01 <sup>b</sup> ±0.02	2.52 <sup>b</sup> ±0.14	3.92 <sup>b</sup> ±0.05	2.39 <sup>b</sup> ±0.09
C15:1	N.D.	N.D.	N.D.	0.21 <sup>a</sup> ±0.01	N.D.
C16:1	61.67 <sup>f</sup> ±1.28	92.85 <sup>e</sup> ±0.36	105.67 <sup>d</sup> ±5.22	218.96 <sup>a</sup> ±0.97	151.42 <sup>c</sup> ±6.20
C17:1	N.D.	2.42 <sup>cd</sup> ±0.04	4.16 <sup>b</sup> ±0.02	9.43 <sup>a</sup> ±1.51	2.02 <sup>d</sup> ±0.09
C18:1 eladiate	28.47 <sup>f</sup> ±0.68	65.57 <sup>d</sup> ±0.29	65.16 <sup>d</sup> ±1.25	144.26 <sup>a</sup> ±6.06	83.34 <sup>b</sup> ±1.01
C18:1 oleate	N.D.	N.D.	N.D.	1.26 <sup>a</sup> ±0.20	N.D.
C18:2 linoleaidate	80.26 <sup>f</sup> ±2.49	461.18 <sup>e</sup> ±9.98	807.84 <sup>b</sup> ±21.75	1576.66 <sup>a</sup> ±59.30	526.53 <sup>d</sup> ±5.56
C18:2 linoleate	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.85 <sup>a</sup> ±0.03
Methyl Arachidate	421.15 <sup>d</sup> ±8.59	1887.27 <sup>c</sup> ±57.72	1990.09 <sup>c</sup> ±209.18	4097.29 <sup>b</sup> ±156.67	2327.25 <sup>b</sup> ±70.63
C18:3	0.529 <sup>f</sup> ±0.01	3.44 <sup>d</sup> ±0.02	7.28 <sup>b</sup> ±0.13	10.65 <sup>a</sup> ±0.54	7.45 <sup>b</sup> ±0.12
C21:0	N.D.	1.22 <sup>e</sup> ±0.02	7.75 <sup>b</sup> ±0.07	2.92 <sup>d</sup> ±0.03	34.54 <sup>a</sup> ±0.55
C20:2	54.41 <sup>f</sup> ±0.34	29.18 <sup>g</sup> ±1.67	138.44 <sup>c</sup> ±3.58	90.54 <sup>de</sup> ±5.06	272.31 <sup>a</sup> ±1.84
C20:3	N.D.	9.21 <sup>c</sup> ±0.52	10.01 <sup>b</sup> ±0.30	24.74 <sup>a</sup> ±0.07	5.40 <sup>d</sup> ±0.13
C20:4	N.D.	N.D.	0.71 <sup>b</sup> ±0.01	1.11 <sup>a</sup> ±0.08	0.40 <sup>c</sup> ±0.01
C22:2	1.14 <sup>b</sup> ±0.01	N.D.	N.D.	1.22 <sup>a</sup> ±0.07	0.39 <sup>c</sup> ±0.03
C20:5	N.D.	2.28 <sup>d</sup> ±0.04	3.11 <sup>c</sup> ±0.06	0.56 <sup>a</sup> ±0.01	3.97 <sup>b</sup> ±0.15
C24:1	0.77 <sup>a</sup> ±0.01	0.37 <sup>e</sup> ±0.02	0.34 <sup>f</sup> ±0.01	N.D.	0.36 <sup>ef</sup> ±0.01

<sup>1)</sup>All the data are means of three determinations.

<sup>2)</sup>Means±S.D.

<sup>3)</sup>N.D. : not detected.

<sup>4)</sup>Data are expressed as mean±SD of triplicate experiments. Different letters in a column are statistically different by Duncan's multiple range test ( $P < 0.05$ ).

**Table 7.** Fatty acid composition ratio of cooking oil (Unit : %)

	Palm oil	Rape seed oil	Olive oli	Sunflower seed oil	Mackerel fish oil
C12:0	0.2				
C14:0	1.0				3.4
C14:1					
C16:0	44.5	4.0	10.9	6.7	28.7
C16:1	0.2	0.2	0.8		5.0
C18:0	4.4	1.7	2.6	3.7	9.6
C18:1	38.5	58.6	76.5	19.0	23.2
C18:2	10.5	21.8	7.8	69.9	0.7
C18:3	0.2	10.8	0.6	0.7	0.3
C20:0	0.3	0.5	0.4		
C20:1	0.1	1.5	0.1		5.5
C20:4,n-6					0.2
C20:5					6.1
C22:0			0.1		
C22:6					7.1

	Lard	Beef tallow	Perilla oil	Corn oil	Sesame oil	Soybean oil
C12:0						
C14:0	2.0	3.0				0.1
C14:1	0.3	0.7				
C16:0	26.5	25.6	6.4	11.2	9.2	10.7
C16:1	3.7	3.3	0.1		0.1	0.1
C18:0	12.1	17.6	2.2	2.1	5.5	4.4
C18:1	42.5	43.0	16.2	34.7	40.1	21.6
C18:2	9.8	3.3	15.0	50.5	43.7	54.2
C18:3	0.7	0.3	59.7	1.5	0.3	8.1
C20:0	0.2	0.3	0.1		0.6	0.4
C20:1	0.6	0.4	0.2		0.2	0.3
C20:4,n-6	0.3					
C20:5						
C22:0					0.1	0.4
C22:6						

식습관 개선 또는 건강 개선이다. 육류 섭취를 줄이면 콜레스테롤 수치를 낮추는 데 도움이 되어 심장 관련 질환을 예방할 수 있고 육류 섭취 빈도 및 횟수를 줄이는 것으로 대장암을 예방할 수 있다<sup>24)</sup>. 식물성 대체육은 육류가 포함하고 있는 많은 포화지방산의 섭취를 줄일 수 있어 건강을 관리하고자 하는 소비자에게 도움을 줄 수 있다. 불포화지방산은 포화지방산과 비교하여 건강에 미치는 악영향이 적지만 과다섭취하는 것은 좋지 않으므로 대체육의 조리방법에 따라 과도한 지질섭취를 방지할 수 있도록 올바른 조리법을 제시하는 것이 중요하다. 더 나아가 국

민들이 건강한 식습관을 가질 수 있도록 영양학적 정보를 이해하기 쉽게 가공하여 매체 등을 통해 자주 접할 수 있도록 한다면 건강을 위해 식물성 대체육 소비층에게 큰 도움이 될 것으로 판단된다.

#### 아플라톡신

아플라톡신은 여러 곰팡이독소 중에서 발암성이 가장 큰 것으로 알려져 있으며, 아플라톡신 동족체들 중 아플라톡신 B1이 가장 큰 독성을 갖고 있는 것으로 보고되고 있다<sup>25)</sup>. 분석 결과 일부 시료에서 아플라톡신이 검출되는 것



을 확인할 수 있었고 주로 B1이 가장 많이 검출되었다. 아플라톡신의 잔류허용치는 식품공전에서 허용기준으로 관리되고 있다. 식물성원료 대상 식품의 총 아플라톡신 (G1, B1, G2, B2의 합) 의 규격은 15 µg/kg 이하로 설정

되어 있으며 B1은 10.00 µg/kg 이하일 시 안전성이 인정 된다(Table 9). B1이 가장 많이 검출된 시료는 sample A, B 였으며 크로마토그램상에서도 높은 peak를 확인 할 수 있었으며(Fig. 2, 3) 표준품의 크로마토그램과 머무름시간

**Table 8.** Result of total aflatoxin (unit : µg/kg)

	Sample	Total aflatoxin				Total
		G1	B1	G2	B2	
Dried form	A	0.28±0.02 <sup>b</sup>	2.32±0.06 <sup>b</sup>	N.D.	1.32±0.04 <sup>b</sup>	3.93±0.01
	B	N.D. <sup>3)</sup>	3.29±0.25 <sup>a</sup>	N.D.	1.88±0.05 <sup>a</sup>	5.17±0.21
	C	0.27±0.02 <sup>a</sup>	0.47±0.02 <sup>ab</sup>	N.D.	N.D.	0.74±0.03
	D	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Frozen form	E	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	F	0.33±0.02 <sup>c</sup>	0.56±0.05 <sup>c</sup>	1.09±0.09 <sup>c</sup>	0.64±0.02 <sup>bc</sup>	2.62±0.16
	G	0.27±0.02 <sup>d</sup>	0.50±0.05 <sup>d</sup>	N.D.	N.D.	0.77±0.07
	H	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	I	N.D.	0.59±0.01 <sup>c</sup>	N.D.	N.D.	0.59±0.01

<sup>1)</sup>All the data are means of three determinations.

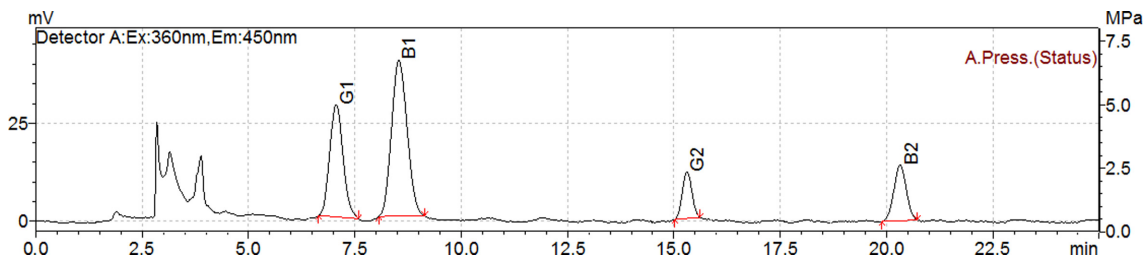
<sup>2)</sup>Means±S.D.

<sup>3)</sup>N.D. : not detected.

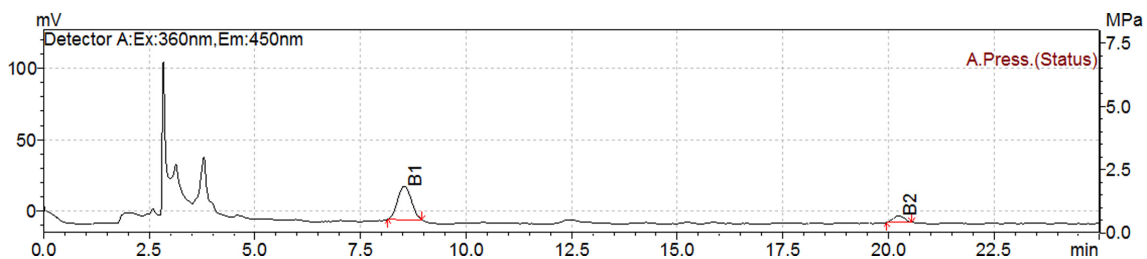
<sup>4)</sup>Data are expressed as mean±SD of triplicate experiments. Different letters in a column are statistically different by Duncan's multiple range test ( $P < 0.05$ ).

**Table 9.** Domestic acceptance standards for total aflatoxin (Sum of B1, B2, G1 and G2)

Food type	Standard (µg/kg)
Vegetable raw materials (Article 1. General Provisions 4. Classification of Food Ingredients 1) Refers to plant-based ingredients excluding algae.)	15.0 ≤ (B1, 10.0 ≤)
Process food Infant formula, growth formula, baby food for infants and toddlers	0.10 ≤ (Limited to B1)
Other foods (refers to all processed foods except infant formula, growth formula, and baby food for infants and toddlers)	15.0 ≤ (B1, 10.0 ≤)



**Fig. 1.** Chromatography of standards (4mix G1,B1,G2,B2).



**Fig. 2.** Chromatography of sample A.

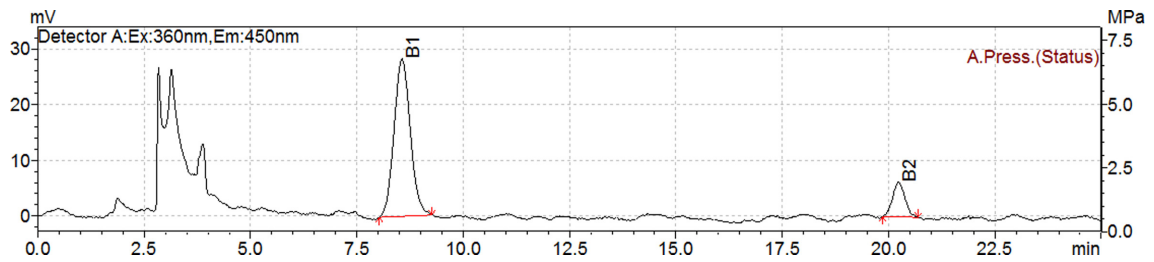


Fig. 3. Chromatography of sample B.

이 동일한 것을 확인하였다(Fig. 1). Sample D, E, H를 제외한 나머지 sample에서 아플라톡신이 모두 검출되었으며 분석결과 식품공전에서 제시되는 허용치를 넘은 시료는 없어 안전한 것으로 판단할 수 있었으나 원재료의 신선도, 보관방법 및 가공 후의 보관상태에 따라 아플라톡신의 함량에 영향을 줄 수 있음을 예측할 수 있다(Table 8). 아플라톡신은 고온(30-35°C) 다습(80-85%)한 기후에서 잘 생성된다. 또 수확 후 건조과정에 이르기까지 환기가 충분히 되지 않을수록 잘 생성된다. 특히, 농산물 중에서는 쌀, 보리, 밀 등의 곡류와 땅콩, 피스타치오, 호두와 같은 견과류, 옥수수 등과 같이 탄수화물 함량이 높은 기질에서 잘 생성되는 것으로 알려져 있다<sup>26,27</sup>. 대부분의 아플라톡신은 작물이 포장되기 전 단계에서 생성되는 독소이므로 원재료에 의해 광범위한 오염이 일어나기 쉽다. 또 이미

Table 10. ICP-OES Quantitative Results in samples

Sample	Cd	Pb
A	N.D.*	N.D.
Dried form	B	N.D.
	C	N.D.
	D	N.D.
	E	N.D.
Frozen form	F	N.D.
	G	N.D.
	H	N.D.
	I	N.D.
		N.D.

\* N.D. : not detected.

Table 11. Heavy metal compliance standards presented in the Food Code

Food type	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)
Cereals (except brown rice)	0.2 ≤	0.1 ≤ (Wheat, Rice 0.2 ≤)
Roots	0.1 ≤	0.1 ≤
Beans	0.2 ≤	0.1 ≤ (Soybean 0.2 ≤)
Nuts, Seeds	Peanuts or tree nuts	0.1 ≤
	Seeds	0.3 ≤ (Limited to sesame)
Fruits	0.1 ≤ (Apple, Mandarin, Berries to 0.2 ≤)	0.05 ≤
Leafy vegetables	0.3 ≤	0.2 ≤
Leaf and stem vegetables	0.1 ≤	0.05 ≤
Root vegetables	0.1 ≤ (Ginseng, wild ginseng, wild-simulated ginseng, Deodeok 2.0 ≤)	0.1 ≤ (Onion 0.05 ≤) (Ginseng, wild Ginseng, wild-simulated Ginseng, Deodeok 0.2 ≤)
Fruits and vegetables	0.1 ≤ (Peppers and Pumpkins)	0.05 ≤ (Peppers and Pumpkins ≤ 0.1)
Mushrooms	0.3 ≤ (Limeted white Mushroom Oyster Mushroom, King oyster mushroom, Oak mushroom, Matsutake, Enoki Mushroom, Wood ear mushroom)	0.3 ≤ (Limeted white Mushroom Oyster Mushroom, King oyster mushroom, Oak mushroom, Matsutake, Enoki Mushroom, Wood ear mushroom)

생성된 아플라톡신은 화학적으로 안정하므로 식품의 원료가 오염되면 가공 후에도 소실되지 않고 잔존하는 특성이 있다<sup>28)</sup>. 따라서 열처리가 된 대체육이더라도 필요에 따라 아플라톡신 함량에 대한 분석을 진행한다면 안전성 확보에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

### 중금속

분석 결과 검출이 되지 않은 것으로 확인되었다(Table 10). 그러나 카드뮴과 납은 사람에게 독성이 강한 원소이며 토양에 잠재적으로 함유되어있는 중금속, 고체 또는 액체 폐기물 등에 의해 오염되는 경우 등이 빈번하므로 식품의 품질과 안전에 영향을 미칠 수 있음을 예측할 수 있다. 채소는 중금속을 흡수하여 축적하고 식물성 대체육을 사용하여 패티를 만든 햄버거에서 카드뮴이 검출된 사례가 있으므로 대부분의 원재료가 식물성인 대체육의 경우 중금속의 함량에 대해 모니터링 하는 것이 필수적이다<sup>8,29)</sup>. 식품의약품안전처 및 보건환경연구원 등의 기관에서는 농산물에 대하여 시험 검사를 실시하고 있다<sup>30)</sup>. 만약 식물성 대체육에 대하여 기준을 설정한다면 원재료 및 부재료가 식물성인 것을 감안하여 농산물의 중금속 기준(Table 11)을 참고하는 것이 도움이 될 것으로 판단된다.

### 국문요약

국내에서 제조되어 유통되는 식물성 대체육을 대상으로 일반성분(수분, 단백질, 지방), 지방의 산패도, 지방산의 조성, 아플라톡신, 중금속 함량을 분석하였다. 그 결과 한번 익힌 후 건조된 형태의 식물성 대체육보다 익히지 않고 수분이나 지방에 의해 성형과정을 거친 냉동제품에서 상대적으로 많은 양의 지방을 함유하고 있음을 확인할 수 있었다. 조지방 함량이 1 g을 넘는 시료를 대상으로 지방의 산패도(산가, 과산화물가)를 측정했다. 그 결과 일부 시료에서 높은 산가 및 과산화물가가 측정되었으나 식품공전상에 대체육에 대한 정확한 분류가 되어있지 않아 산패도에 대한 안전성을 판단하기 위한 규격이 필요해 보인다. 가스크로마토그래피를 사용하여 지방산 조성을 분석한 결과 대부분은 불포화지방산이 차지하고 있지만, 일부 포화지방산의 함량이 높은 시료가 있었다. 포화지방산 및 불포화지방산의 함량이 높은 식물성 대체육을 식물성 유지를 사용하여 가열조리를 거쳐 섭취하게 된다면, 많은 양의 지방을 섭취하게 될 수 있음을 예측할 수 있다. 또 가스크로마토그래피를 사용한 지방산 분석법을 통해 식물성 대체육에 동물 유래 지질이 함유되어있지 않음을 확인할 수 있었다. 이는 이후에 식물성 대체육에 대한 영양표시 성분 및 실제성분의 대조 시에 활용될 수 있음을 시사한다. 식물성 대체육에 대하여 아플라톡신을 분석한 결과 현재 식품공전에 제시된 농산물 중 아플라톡신 기준규격에

대하여 적합한 수준이나 미량 검출되는 것을 확인하였다. 중금속의 분석 결과 모두 불검출이었으나 환경요인 및 원재료에 따라 중금속의 오염이 의심될 시에 중금속 분석을 진행할 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 실험결과를 통해 국내에 유통되고 있는 일부 식물성 대체육에 대한 안전성을 확인하였으나 산가, 과산화물가, 아플라톡신, 중금속은 대체육에 대하여 구체적인 분류 및 적합 규격이 마련되어 있지 않아 적합 판정시에 비슷한 성향을 가진 식품군에 대조하여 판단해야 하는 어려움이 있었다. 따라서 기존의 기준에 대하여 검토 또는 변경을 거쳐 식물성 대체육에 대한 관리기준이 설정한다면 유사한 식품군의 건전성 및 적합성을 유지하는 것에 도움이 될 것으로 판단된다.

### Conflict of interests

The authors declare no potential conflict of interest.

### ORCID

Ayeong Ma	<a href="https://orcid.org/0000-0002-2494-0422">https://orcid.org/0000-0002-2494-0422</a>
Eun sung Shin	<a href="https://orcid.org/0009-0005-4423-4911">https://orcid.org/0009-0005-4423-4911</a>
Seon ah Son	<a href="https://orcid.org/0000-0001-7736-8857">https://orcid.org/0000-0001-7736-8857</a>
Tai-sun Shin	<a href="https://orcid.org/0000-0001-6868-702X">https://orcid.org/0000-0001-6868-702X</a>
Hyun-Jung Chung	<a href="https://orcid.org/0000-0002-6445-5659">https://orcid.org/0000-0002-6445-5659</a>

### References

1. Tziva, M., Negro, S.O., Kalfagianni, A., Hekkert, M.P., Understanding the protein transition: the rise of plant-based meat substitutes. *Environ. Innov. Soc. Trans.*, **35**, 217-231 (2020).
2. Derbyshire, E.J., Flexitarian diets and health: a review of the evidence-based literature. *Front. Nutr.*, **3**, 1-8 (2017).
3. Andreani, G., Sogari, G., Marti, A., Frolidi, F., Dagevos, H., Martini, D., Plant-based meat alternatives: technological, nutritional, environmental, market, and social challenges and opportunities. *Nutrients*, **15**, 12-16 (2023).
4. Grosso, G., La Vignera, S., Condorelli, R.A., Godos, J., Marventano, S., Tieri, M., Ghelfi, F., Titta, L., Lafranconi, A., Gambera, A., Alonzo, E., Sciacca, S., Buscemi, S., Ray, S., Rio, D.D., Galvano, F., Total, red and processed meat consumption and human health: an umbrella review of observational studies. *Int. J. Food Sci. Nutr.*, **73**, 726-737 (2022).
5. Onwezen, M.C., Verain, M.C.D., Dagevos, H., social norms support the protein transition: the relevance of social norms to explain increased acceptance of alternative protein burgers over 5 years. *Foods*, **11**, 3413 (2022).
6. Ahmad, M., Qureshi, S., Akbar, M.H., Siddiqui, S.A., Gani, A., Mushtaq, M., Hassana, I., Dhull, S.B., Plant-based meat alternatives: Compositional analysis, current development and challenges. *Appl. Food Res.*, **2**, 100154 (2022).

7. Haque, M.A., Timilsena, Y.P., Adhikari, B., Food proteins, structure, and function. *Food Sci.*, 163-166 (2016).
8. De Marchi, M., Costa, A., Pozza, M., Goi, A., Manuelian, C.L., Detailed characterization of plant-based burgers. *Sci. Rep.*, **11**, 1-9 (2021).
9. Pointke, M., Pawelzik, E., Plant-based alternative products: are they healthy alternatives? micro- and macronutrients and nutritional scoring. *Nutrients*, **14**, 601 (2022).
10. Gorissen, S.H.M., Crombag, J.J.R., Senden, J.M.G., Waterval, W.A.H., Bierau, J., Verdijk, L.B., van Loon, L.J.C., Protein content and amino acid composition of commercially available plant-based protein isolates. *Amino Acids*, **50**, 1685-1695 (2018).
11. Fiorentini, M., Kinchla, A.J., Nolden, A.A., Role of sensory evaluation in consumer acceptance of plant-based meat analogs and meat extenders: a scoping review. *Foods*, **9**, 1334 (2020).
12. Zahari, I., Östbring, K., Purhagen, J.K., Rayner, M., Plant-based meat analogues from alternative protein: a systematic literature review. *Foods*, **11**, 2870 (2022).
13. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS), (2024, January 24). Korea food code. Retrieved from <https://various.food-safetykorea.go.kr/fsd/#/ext/Document/FC>
14. Griffiths, M.J., Vanhille, R.P., Harrison, S.T.L., Selection of direct transesterification as the preferred method for assay of fatty acid content of microalgae. *Lipids*, **45**, 1053-1060 (2010).
15. Kim, K., Choi, B., Lee, I., Lee, H., Kwon, S., Oh, K., Kim, A.Y., Bioproduction of mushroom mycelium of *Agaricus bisporus* by commercial submerged fermentation for the production of meat analogue. *J. Sci. Food Agric.*, **91**, 1561-1568 (2011).
16. Kumar, P., Chatli, M.K., Mehta, N., Singh, P., Malav, O.P., Verma, A.K., Meat analogues: Health promising sustainable meat substitutes. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, **57**, 923-932 (2017).
17. Ooms, N., Jansens, K.J.A., Pareyt, B., Reyniers, S., Brijs, K., Delcour, J.A., The impact of disulfide bond dynamics in wheat gluten protein on the development of fermented pastry crumb. *Food Chem.*, **242**, 68-74 (2018).
18. Chiang, J.H., Tay, W., Ong, D.S.M., Liebl, D., Ng, C.P., Henry, C.J., Physicochemical, textural and structural characteristics of wheat gluten-soy protein composited meat analogues prepared with the mechanical elongation method. *Food Struct.*, **28**, 100183 (2021).
19. Yi, B.R., Kim, M.J., Lee, J.H., Lipid oxidation and antioxidant mechanisms in different matrix. *Food Sci. Ind.*, **51**, 127-135 (2018).
20. Chae, S.K., Kim, S.H., Shin, D.H., Oh, H.K., Lee, S.J., Jang, M.H., Choi, W., (2005). Food chemistry, 3rd ed, Hyoil Books Publishing, Seoul, Korea, pp. 147-164.
21. Sa, D.C., Jeon, S.H., Jeon, H.J., Suggestions for the management of cultured meat under the food sanitation act. *Jhlr*, **23**, 349-366 (2022).
22. Jeon, J.Y., Jeong, M.J., Nam, J.W., Nam, S.Y., Kim, B.M., Inhibitory effect of an antioxidant complex on the lipid oxidation of freeze-dried convenience food. *Food Sci. Preserv.*, **28**, 654-662 (2021).
23. Geerts, M.E.J., Dekkers, B.L., van der Padt, A., van der Goot, A.J., Aqueous fractionation processes of soy protein for fibrous structure formation. *Innov. Food Sci. Emerg.*, **45**, 313-319 (2018).
24. Hu, F.B., Otis, B.O., McCarthy, G., Can plant-based meat alternatives be part of a healthy and sustainable diet? *JAMA*, **322**, 1547-1548 (2019).
25. Kim, S.D., Kim, A.K., Lee, H.K., Lee, S.L., Lee, H.J., Ryu, H.J., Lee, J.M., Yu, I.S., Jung, K., A monitoring of aflatoxins in commercial herbs for food and medicine. *J. Food Hyg. Saf.*, **32**, 267-274 (2017).
26. Gourama, H., Bullerman, L.B., *Aspergillus flavus* and *Aspergillus parasiticus*; Aflatoxigenic fungi of concern in foods and feeds-A review. *J. Food Prot.*, **58**, 1395-1404 (1995).
27. International Agency for Research on Cancer (IARC), Some naturally occurring substances : food items and constituents, heterocyclic aromatic amines and mycotoxins. *World Health Organization (WHO)*, **56**, 245-395 (1993).
28. Lee, Y.W., Kim, J.C., Natural occurrence of fusarium mycotoxins in cereals. *J. Food Hyg. Saf.*, **8**, 23-32 (1993).
29. Manzoor, J., Sharma, M., Wani, K.A., Heavy metals in vegetables and their impact on the nutrient quality of vegetables: A review. *J. Plant Nutr.*, **41**, 1744-1763 (2018).
30. Kim, H.Y., Kim, J.I., Kim, J.C., Park, J.E., Lee, K.J., Kim, S.I., Oh, J.H., Jang, Y.M., Survey of heavy metal contents of circulating agricultural products in Korea. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **41**, 238-244 (2009).