

국내 식물성 식육 대체식품 시장의 현황 및 발전 전략

Current Status and Development Strategies of Domestic Plant-based Meat Alternative Food Market

이은정, 이종엽, 홍근표* (Eun-Jung Lee, Jong-Yeop Lee, Geun-Pyo Hong*)

세종대학교 식품생명공학과

Department of Food Science and Biotechnology, Sejong University

I. 서론

단백질은 생명활동을 위한 기본적 영양소로 식육은 인류의 중요한 단백질 급원이자 기호도 높은 식품군에 해당된다. 오늘날 소득증가와 축산업의 발달에 따른 구매력 증가로 인구증가 속도를 능가하는 식육이 소비되고 있다 (Bethesda, 1991). 이러한 인류의 기호도에 기인한 식육소비의 증가는 사육에 따른 지구환경문제와 식육 단백질 전환을 위한 곡물사용의 효율성 문제에 대한 심각성으로 식량안보문제의 공론화에 영향을 미치고 있다. 이에 식육 대체 식품 개발과 소비증대는 지속가능한 식량을 위한 해결안으로 제시되고 있으며, 단백질 소재로 식물성, 식용곤충, 해조류, 미생물, 배양육 등의 활용이 주요할 것으로 전망된다. 이중 식물성 단백질은 채식인구의 주요 단백질 급원이자 동양권 나라의 전통식품의 원료로 활용되어 왔으며, 대체식품 시장에서 87.2%로 가장 큰 비중을 차지한다 (Meticulous Research, 2019). 콩으로 대표될 수 있는 식물성 단백질은 국내에서는 전통적으로 두부나 된장 등으로 섭취해 왔고, 콩고기란 명칭으로 만두소나 라면 스프 플레이크 등에 활용으로 소비자에게 친숙하여 관심도가 높은 소재이다.

최근 식물성 식육 대체식품이 전 세계적 이슈로 성장하면서 소수 채식인구의 선택에서 보편적 소비자의 선택으로 확대되고 있다. 식물성 단백질제품 세계시장규모는 전체식품시장의 2%를 차지하며, 식육시장에 비해 시장규모는 매우 작지만 연평균 성장속도는 6%대로 빠르게 성장하고 있다 (Joseph et al., 2020). 국내 채식인구도 잠정적 집계로 150만명 내외로 보고되고, 소폭의 증가를 나타내는 것으로 예상되나, 식육 대체식품시장은 2015년 이후 매년 15% 이상의 성장률이 나타나, 보편적 소비자의 관심이 증가되고 있는 것으로 파악된다 (박미성 등, 2020). 이러한 소비자들의 관심과 요구에 따라 국내 식육 대체식품 시장 확장을 위한 대응이 필요한 상황이다.

*Corresponding author: Geun-Pyo Hong
Department of Food Science and Biotechnology, Sejong University, Seoul 05006, Korea
Tel: +82-2-3408-2914
Fax: +82-2-3408-4319
Email: gphong@sejong.ac.kr

새로운 식품의 시장진입에는 해당식품의 용어에 대한 정의 확립과 법안 마련이 바탕이 되어야 한다. 유럽의 경우, 기존의 동물성 제품 용어와 차별화 되도록 식물성 대체식품에 버거, 스테이크, 소시지 등 명칭을 사용할 수 없도록 규제하고 있고(EU 규정, 17조 1169/2011), 미국 미주리주에서는 대체식품에 고기(meat)란 용어를 금지하는 육류광고법이 시행되고 있다. 국내의 경우, 수입되는 식육 대체식품에 마땅한 기준이 없어 두류가공품 또는 기타 가공품 등으로 분류하는 등 시급성이 현실화되고 있다. 향후 개발하여 시장에 나올 제품들을 고려하여 국내에서도 식품의 용어 정의 및 규제를 준비하고 있는데, 기존 시장과 혼란 및 분쟁을 최소화하고, 소비자들의 정확한 정보전달에 의한 선택을 가능하게 할 수 있도록 진행되어야 할 것이다.

국내 미래식량에 대한 대응으로써 식육 대체식품 개발이 장려되고, 많은 재원이 투입되고 있다. 국내에서도 식물성 대체식품이 생산되고 있지만, 소비자 기호도가 낮고 국내 소비자 요구에 부응하는 조리법과 식습관에 맞는 제품개발이 더딘 상황이다. 또한, 과거에 비해 원료, 소재, 가공기술 등에서 혁신적 개발과 적용이 이루어지지 않고 있다. 본 원고에서는 국내외 식물성 대체식육 시장현황과 식물성 소재 및 조직화 기술의 연구동향 분석을 통해 국내 현안을 진단하고, 향후 국내 식물성 식육 대체식품 발전을 위해 제언하고자 한다.

II. 본론

1. 해외 식육 대체식품 시장 현황

식육 대체식품은 종교나 건강 등을 이유로 채식이 필요한 수요에 의해 과거부터 존재한 시장이었으나, 오늘날 환경적 이슈와 기술혁신으로 주목받는 시장으로 성장하고 있다. 전세계 시장규모를 2018년 96.2억 달러 수준으로 집계하였고, 2025년 178.6억 달러로 성장할 것을 예상하고 있다(Meticulous Research, 2019). 현재 기술개발 및 투자와 소비가 활성화된 해외시장은 미국, 유럽 등이며, 중국은 향후 성장률이 높을 것으로 예상되어 이를 중심으로 시장의 특징을 살펴보고자 한다.

미국의 경우, 채식주의에 대한 소비자 관심이 고조되고 있으며, 특히 햄버거 패티에 대한 완성도 높은 제품 생산이 이루어지고 있다. 또한, 프렌차이즈나 대형 마트를 통해 제품에 대한 접근성이 매우 우수한 특성을 보인다. 이에 따라 확고한 소비층이 형성되고 있어 대체식품 시장의 성장을 견인하고 있다. Impossible Foods에서는 식육모방을 위한 핵심 기술인 색소와 향미 모방을 위해 대두 leghaemoglobin 유전자를 추출해 *Pichia pastoris* yeast에 의해 생산하여 제품에 적용하는 기술을 보유하고 있다. 가열에 따른 식육 험단백질의 색 변화 모방 신규 소재는 알레르기과 독성평가를 통한 안전성 검증으로 US FDA의 GRAS(generally recognized as safe) 규제 범주에 포함되어 레스토랑 판매를 진행하다가 2019년 식품용 발색제로 승인되었다. 이로써 전 세계가 집중하는 신기술에 대한 제품생산이 가능해지면서 미국에서는 식육 대체제품의 성장과 함께 대체 유제품, 대체 계란 제품 및 대체 수산 제품 시장도 고속으로 성장하고 있다. 미국은 빌 게이츠와 레오나르도 디카프리오 등 저명인사의 투자, 개인들의 클라우드 펀딩, 타이슨, 제너럴 밀스 등 벤처캐피탈, 해외투자 펀드 등의 막대한 자본금이 형성되고, 혁신기술에 집중되는 특징이 있다(State of the Industry Report, 2019). 이는 창의적 발상과 기술력에 대한 가치의 인정이 다양한 경로의 막대한 자본금 집중으로 나타나며, 대중의 인식 재편과 시장 활성화로 이어질 수 있는 사례로 이해할 수 있다.

미국의 식육 대체제품 측면에서는 햄, 소시지 등 대체 가공식품과 함께 패티류, 베이컨, 다진고기 등 미국 내 소비 패턴에 맞춘 제품 유형이 생산되고 있다. 또한, 식물성 햄버거 패티를 비건 수준에 따라 vegetarian용(Chik patties),

lacto-vegetarian용(sausage patties), ovo-lacto-vegetarian용(veggie burgers)으로 제품을 체계적으로 구분하여 생산하고 있다. 완전 비건용 제품은 대두단백을 기반으로 밀, 옥수수, 감자 전분을 활용하는 반면, 부분 비건용 제품에는 케이션, 유청, 유당 및 난백을 함께 첨가하여 제품의 응집성을 향상시키고, 다양한 소비자 계층에 맞게 유연한 시장을 형성하고 있다.

유럽은 제품의 다면화 측면에서의 강점을 특징으로 한다. 조직화 소재로 가장 많이 활용되는 TVP 외에도 군사 단백질을 주요 원료로 사용한 제품을 브랜드화 하였으며, 동남아시아에서 요리되는 밀글루텐 기반의 세이탄을 가공한 제품으로 스테이크류와 소시지 모방 제품이 생산되고 있다. 유럽 시장 패티 제품의 특징에서는 전통적인 주원료인 대두와 밀 이외에 완두, 렌즈콩, 병아리콩, mycoprotein, 좁개구리밥 단백질 등 다양한 단백질 원료가 활용되고 있다. 유럽시장은 다양한 원료와 조직화 소재 기반의 제품으로 소비자 기대감과 관심이 높은 것으로 평가된다.

중국은 온실가스 감축을 위한 정부주도의 식육소비 억제정책으로 식육대체식품 시장규모가 전 세계에서 가장 빠르게 증가하고 있다(이시훈, 2020). 또한 주원료인 대두의 최대 생산국이자 수출국으로 원료시장 경쟁력이 우수하고 소비자 인지도가 매우 높아서 시장성장의 동력이 우수한 상황으로 평가된다. 제품의 특징으로 자국소비 패턴에 맞추어 강한 향신료가 가미된 제품과 만두소로 활용가능한 제품 등이 특징적이고, 다양한 채식만두류 제품으로 대중화를 이끌고 있는 것으로 보인다. 특히 이슬람과 불교 문화권의 수용을 위해 마늘을 비롯한 오신채를 배제한 향신료 사용 및 할랄인증, non-GMO 등으로 마케팅이 실시되고 있다.

2. 국내 대체식품 시장 현황

국내 대체식품은 채식식품전문 중소기업이 다양한 상품군과 참신한 브랜드 상품명으로 국내 시장을 주도해 왔다. 이들 기업은 기존 육가공품을 대체할 식물성 제품으로 패티, 햄, 소시지, 너겟, 돈까스 등을 비롯해서 불고기와 같이 우리 음식 특성에 맞는 한식제품도 선보이고 있다. 유통형태는 냉동제품이 다수를 차지하고 있고 통조림과 건식 조직화 제품이 상온유통되고 있다. 그러나 판매처 부족과 일부 채식인구 중심의 마케팅으로 시장점유율의 제한이 있었고, 사용되는 원료 대부분이 미국, 중국, 대만 등 수입에 의존되는 한계를 보이고 있었다. 그러나 최근 식물성 대체식품에 대한 전세계적인 관심증가 추세와 더불어 글루텐 프리 및 쌀과 귀리 등 소재 적용 제품 등의 차별화 전략으로 신규 기업들이 진입하고 있다. 또한 벤처캐피탈을 활용하여 연구를 통한 독자기술 개발로 성장하는 스타트업 기업 사례들로 생산시장의 다변화를 확인할 수 있다.

국내 대기업의 식육 대체식품 개발에 대한 관심은 2017년 전후로 시작되어 현재는 초기단계에 해당된다. 대량생산보다는 유통업체와의 연계를 통한 소비자 반응을 살피기 위한 시험단계 및 업계선도 이미지의 마케팅 전략으로 활용되는 단계로 평가할 수 있다. 따라서 해외 성공제품 수입 및 기존 주력제품의 비건화 등으로 조심스럽게 시장에 진입하고 있다. 그러나 폭넓은 유통망과 높은 소비자 인지도를 지닌 대기업 진출은 체계적 마케팅 전략과 브랜드화 등으로 국내 식육 대체시장 성장을 견인할 동력의 긍정적 신호로 받아들일 수 있다.

국내 식육대체식품 시장을 살펴보면 해외의 성공한 제품과 유사한 유형으로 구성되어 버거패티류, 미트볼, 너겟류가 전체 제품 시장의 약 67%를 점유하고 있다(표 1). 이는 국내 소비자의 즉석 구이식의 조리법을 선호하는 식육소비 패턴이 반영되지 못한 한계점으로 지적할 수 있다.

표 1. 국내 대체식품 유형별 시장규모

(단위: 백만 달러)

제품구분	2017년	2018년	2019년	2025년
버거패티	11.8	13.8	27.3	42.7
미트볼	17.6	21.3	42.6	65.6
낫토	5.1	6.1	12.1	18.2
소시지	6.6	7.9	15.7	23.8
너겟류	9.8	11.7	23.9	39.0
전체	58.0	70.1	140.5	216.0

(출처: Statistics Market Research Consulting (2019; 박미성 등(2020)에서 재인용))

3. 대체식품 원료 및 소재 현황 분석

(1) 대두 및 두과작물

대두는 전 세계적으로 두과작물 중 생산량이 가장 많으며, 식육 대체식품의 핵심원료이다. 미국대두수출협회(US Soybean Export Council)에서는 대두활용식품을 전통식품, 2세대 식품, 기능성 식품, 식품소재용 제품으로 분류하였고, 식육대체 제품이 2세대 식품에 해당된다.

단백질의 용해도에 따른 분류방법인 Osborne fraction에 따라 식물성 단백질은 수용성 albumin, 염용성 globulin, 알코올용해성 gliadin, 산용해성 glutenin 4종으로 분류된다. 대두단백질의 대부분은 globulin에 해당되고, 수용성 단백질 albumin은 추출과정에서 대부분 제거되어 대두단백질의 이용은 염용성 globulin의 이해가 기반이 된다. 대두의 globulin은 glycinin(11S)과 conglycinin(7S)의 복합체로 11S는 산성펩타이드와 염기성 펩타이드의 disulfide 결합에 의한 subunit를 형성하여 α , α' , β 3종의 subunit이 결합된 7S에 비해 열안정성이 높다. 따라서 식육을 비롯한 동물성 단백질과 혼합 제조시 11S의 100°C 부근의 높은 변성온도로 물성 저하의 결과를 초래한다. 반면, 고압압출성형조건(140–160°C)에서는 11S의 변성에 의한 효과적 조직화가 가능한 것이다. 11S와 7S 조성에 따른 두부의 조직감 변화에 대한 국내 연구자료에 의하면 11S와 7S의 혼합보다 각 단일성분의 경도가 우수한 것으로 나타났고, 11S는 7S에 비해 경도는 유사하지만 탄력성, 응집성, 검성, 씹힘성 등의 높은 것으로 나타났다(표 2).

표 2. 대두 11S와 7S 함량 비에 따른 두부의 조직감 변화

Parameters	11S:7S ratio				
	100:0	66:33	50:50	33:66	0:100
Hardness	3.3	1.8	2.7	2.9	3.3
Springiness	0.9	0.4	0.5	0.4	0.6
Cohesiveness	0.6	0.4	0.3	0.3	0.2
Gumminess	1.9	0.7	0.9	1.0	0.6
Chewiness	1.7	0.3	0.5	0.4	0.3

(출처: Kim et al., 1994)

이러한 11S와 7S 비율에 따른 물성 변화 특성이 확인하여 분획화를 통한 식육 대체식품제조에 활용하면, 물성의 제어 및 향상 측면에서 효과적일 것으로 기대되나, 분리에 따른 공정추가와 수율 효율 면의 경제성은 낮게 평가된다. 따라서 글루텐 등 다른 원료 단백질 혼합으로 물성 저하를 보완하는 방향으로 연구가 수행되고 있다.

완두는 최근 식물성 식육대체식품 개발에 성공적으로 활용되어 그 이용 가치가 상승하고 있다. 완두단백은 21% albumin, 66% globulin, 12% glutelin 으로 구성되어 있고, 11S/7S 비율을 1.07~1.99로 대두(1.3~3.4)보다 7S 함량이 다소 높은 것으로 보고되었다(Belitz et al., 2009; Sinhal et al., 2016). 완두단백을 압출성형하는 경우, 조직단백은 대두와 유사한 특성으로 높은 보수력을 유지하고, 해면상 조직형성에 적합한 것으로 보고되었다(Samard & Ryu, 2019).

이 밖에 국외종으로 렌즈콩, 병아리콩 등이 대두에 비해 이취가 적고 겔형성능이 우수해서 식물성 대체식육 제조의 소재로 활용되고 있다. 국내작물로 팥, 녹두, 동부 등은 주로 전분의 활용에 집중되고 있다. 반면, 단백질에 대한 연구와 활용은 미흡한 상황이나, 다량의 globulin을 함유한 작물이고, 국산작물의 부산물 활용 측면에서의 가치가 인정되어 대체 단백질로 잠재력이 높다.

(2) 곡류 작물

밀에서 추출한 불용성 단백질인 글루텐은 세이탄의 원료로 사용되며, 대두단백질과 혼합하여 식육 대체식품의 섬유상 조직특성을 향상시키는 역할을 한다. 밀단백질의 globulin은 7%로 매우 낮은 반면, 대부분을 차지하는 prolamin(32.6%)과 glutelin(45.7%)은 반죽과정에서 gluten을 형성하여 반죽의 신전성을 부여하며, 대체식품제조에서 조직감에 영향을 미치는 중요한 요소로 작용한다. 따라서 대두단백질 대비 글루텐 함량이 높을수록 TVP의 경도와 씹힘성이 증가하는 특성이 있다(Chiang et al., 2019). 그러나 밀단백질은 영양면에서 단백질 소화율 교정 아미노산 점수(Protein digestibility corrected amino acid score, PDCAAS)가 0.25로 가장 높은 값인 1을 나타내는 대두단백질보다 현저히 낮다. 향후 곡류 단백질 활용 확장을 위한 소화율 관련 영향 요인 개선에 대한 연구로 품종개량 및 항영양인자 제거 공정에 대한 연구 수행이 필요할 것으로 판단된다.

쌀은 아시아 대부분 국가의 주식으로 중국과 인도가 전체 생산량의 49%를 차지한다. 우리나라의 쌀 자급도는 100%를 웃돌고 소비량은 감소추세에 있어서 소비진작을 위한 쌀 가공품 활용이 장려되고 있다. 쌀의 단백질은 7% 정도로 다른 곡류(밀, 옥수수, 보리, 귀리 등)의 10% 내외수준과 비교해 낮은 편이고, 도정 과정에서 거의 제거된다. 쌀 단백질의 용해도에 따른 분류에서 glutelin(oryzenin)과 prolamin(orysin)의 함량이 각각 77.3%와 2.2%대로 가수 및 혼합 시 용해도가 낮고 gluten과 같은 섬유상 복합구조 형성이 어려워 활용도가 제한적인 상황이다(표 3). 미강(rice bran)은 영양학적 가치에서 단백질(11-14%)과 지방(15-19%)함량이 높은 소재이며, 육제품 적용 시 hardness,

표 3. Osborne 분획에 따른 곡류 단백질의 조성별 비율

분획	밀	호밀	보리	귀리	쌀	조	옥수수
Albumins	14.7	44.4	12.1	20.2	10.8	18.2	4.0
Globulins	7.0	10.2	8.4	11.9	9.7	6.1	2.8
Prolamins	32.6	20.9	25.0	14.0	2.2	33.9	47.9
Glutelins	45.7	24.5	54.5	53.9	77.3	41.8	45.3

(출처: Belitz et al., 2009)

gumminess, chewiness 증가의 긍정적 효과 보고가 있다(Huang et al., 2005). 미강단백질은 albumin(24-43%)과 glutelin(22-45%)의 구성으로 백미보다 수용성 분획 함량 및 용해성이 높은 특성이 있어 (Amagliani et al., 2017) 대체제품의 소재로 잠재력이 높은 것으로 평가된다.

보리는 전국재배가 가능하고, 두류와 이모작 및 논에서 답리작의 장점이 있는 대표적 국내 작물이다. 도정 후 단백질 함량이 10% 내외이고, prolamin(25.0%)과 glutelin(54.5%)의 비중이 높은 특징이 있다(표 3). 그러나 보리 단백질 분획과 조성에 따른 물성학적 특성 및 이용에 관한 연구는 거의 없어 향후 연구를 통한 식물성 단백질 대체소재 활용가능성을 고려할 필요가 있다.

4. 식물성 대체식품 가공 기술 현황 분석

(1) 식육의 근섬유 이방성 모방 기술

식육 모방에 있어서 관능적 동질감을 주는 시각적·질감적 요소는 식육 근섬유의 이방성 구형이다. 지금까지 대체 식육을 위한 모방기술은 이방성 모방에 집중되었다. 따라서 닭가슴살과 같이 단백질 단일성분의 구성 모방이나 패티와 같이 분쇄육의 형태로 다진 후 혼합하는 육가공품 모방에 유리한 기술이라고 할 수 있다.

현재 대부분의 대체식품 제조에 활용되는 원료는 조직화 식물단백(textured vegetable protein, TVP)로 extruder에 의한 압출성형 기술이 적용된 것이다. 이는 단백질 반죽 원료를 투입하여 스크류에 의한 연속적 전단유동으로 단백질 변성과 펩타이드 사슬 간 수소결합 발생을 유도하고, 가열 및 압착과정으로 중합체가 형성되면서 일정한 방향의 전단력에 의해 섬유상 조직이 형성되는 원리로 요약할 수 있다. 압출기에서 고온의 조직체가 상압 배출과정에서 조직 내 수분은 과열증기 형태로 빠르게 증발된다. 이러한 팽화의 과정에서 해면상 건조 조직체가 만들어진다. 이렇게 제조된 TVP는 건조물이라는 유통 용이성과 안정성이 확보되어 다양한 제품의 기본 원료로 사용되는 것이다. 근래에는 기존의 제품의 질감과 차별화를 위해서 압출기에서 배출 시 냉각 과정 제어로 해면상 구조가 아니라 고수분 함유 섬유결 조직체형성 기술로 발전되고 있다.

압출성형과 유사한 원리를 활용한 Shear cell 기술이 네델란드 Wageningen 대학에서 2005년 개발을 시작하여, 최근 2017년 Plant Meat Matters 컨소시엄을 구성하였고, Rival Foods 회사 설립으로 상업화가 진행되고 있다. Shear cell 기술은 전단력과 열을 동시에 적용하여 적층화된 섬유형 구조를 만드는 기술로 cone-plate rheometer와 cylindrical shape-Couette cell을 기반으로 고안되었다. 셀의 크기와 길이 조절로 용량 확대를 진행하였고, 압출성형에 비해 단백질 변형의 전단력을 위한 기계적 에너지값은 낮고 흐름 후 배출단계가 없어서 균일한 제품 특성을 나타낸다. 원료배합과 공정변수에 따라 최종제품의 구조가 달라지고, 대두농축단백, 대두분리단백, 밀글루텐 등 조합과 대두분리단백과 펙틴의 조합 등을 이용하고 있다 (Dekkers et al., 2016). 본 기술은 기존의 압출성형을 대체할 섬유조직화 기술 개발 사례로써 shear cell 외에도 전단력과 가열을 동시에 구현할 수 있는 다양한 형태에 대한 구상으로 시스템화가 가능할 것이다. 따라서 국내에서도 압출성형 대안기술 분야에 대한 연구로 원료조성에 대한 독자성과 제품 특성 맞춤형 조직화 및 장치 운영의 효율화가 조속히 수행되어야 할 것이다.

두부와 같은 단백질 커드는 냉동과정에서 저밀도 빙결정의 부피팽창으로 스폰지와 같은 기공이 생기고 단백질 응집으로 조직이 재배열되어 거칠고 단단한 특성이 부여된다. 동결에 의한 단백질 조직화 방법은 1973년 특허 발표를 시작으로 연구가 진행되었지만, 대부분 냉동에 의한 두부조직 변성 방지에 초점이 맞춰져 있다. 냉·해동 두부의 조

직화 활용을 위한 다양한 접근의 시도는 미흡한 상황이다.

(2) 식육의 다성분 조합 모방 기술

식육의 다성분에 대한 거시적 접근은 단백질과 지방층의 조화로써 구이용 돼지고기나 스테이크에서 소비자 기호성을 판가름하는 주요 요소가 된다. 또한, 미시적으로 식육의 구조를 살펴보면 단백질의 섬유상 구조도 단순하지 않다. 즉, 하나의 근섬유 가닥은 모여서 근내막으로(endomysium) 묶이고, 이러한 다발이 근주막으로(perimysium) 모아지고, 구성성분들은 외곽의 근외막으로(epimysium) 둘러싸이게 된다. 고급 식육은 생육 모양이 유지되는 스테이크 등과 같이 구이식 조리법으로 소비된다. 따라서 기존의 육가공품의 모방에서 벗어나 식육 대체식품 제조기술에서 구현해야 하는 최종적인 단계는 생육의 모양이 유지되는 식육의 미세구조 및 다성분 조합의 모방이 될 것이다.

Wet spinning은 미세한 근섬유 모방을 위해 적용된 기술로 단백질 용해물을 시스템 내부로 주입하여(feeding) 미세공을 통해 단백질 불용성 용매에 압출 분사하여(spinneret) 섬유상 고형화를 유도하는 기술이다. 100 nm ~ 20 μm 직경의 미세한 섬유구조를 형성하는 탁월한 기술이나 전처리 및 용매 조건으로 두과 구상단백질의 섬유상조직화 유도는 어려운 한계가 있다(Rampon et al., 1999; Schiffman & Schauer, 2008). 또한, 비용매의 제거 및 중화과정이 섬유화 조직에 영향을 미치기 때문에 제품에 적합한 물성도출이 어려워 식품용보다는 공업용 여과막 기술로 활용되고 있다.

3D 푸드프린팅은 현재 식육 대체제품 제조에서 생육 모방에 대한 기대감이 높은 기술이다. 세부적으로는 구동 시스템, 제어프로그램, 식품원료 카트리지로 구성되어 결과물의 완성도를 높이는 융합기술이 요구된다. 스페인 NOVAMEAT와 이스라엘 Redefine Meat 등 해외 스타트업 기업은 식육모방3D 대체육을 상용화 시장에 출시하고, 단점 보완 및 높은 완성도를 위해 개발을 지속하고 있다. 반면, 우리나라 3D 푸드프린팅 기술은 활용의 초기단계로 시제품으로 활용되는 경우가 일부 있으며, 식품위생법상 식품생산/판매를 위한 허가의 문제로 식육 대체식품을 포함해 상업적 출시 및 활용사례는 전무한 실정이다. 컴퓨터 지원설계(computer aided design, CAD)에 의한 단백질과 지방조직 구성 모델을 만들고, 각각 사출하여 프린팅함으로써 식육의 복합성분 모방이 가능하다. 그러나 이종성분 간의 적층 및 부착력 증진은 3D 푸드프린팅에 의한 적층 구조물의 안정화에 요구되는 기술로 변성된 식물성 단백질의 부착 및 결합 유도는 해결되어야 하는 주요 과제로 남아 있다.

(3) 식육의 향미 및 색 모방 기술

식품의 향미는 전반적 소비자 수용도에 가장 중요한 요소로 철 함유 금속성향을 비롯한 식육 향미 모방은 조직과 함께 대체식품의 식육과 유사성의 완성도 여부를 결정지을 수 있는 요소이다. 식육 향미는 아미노산, 펩타이드, 단백질, 핵산관련물질, 환원당, 티아민, 지방 등의 전구물질들이 가열할 때 다양한 반응에 의해 생성되는 향미의 조합이다. 따라서 식육 향미 모방을 위한 방법으로 식육 향미를 생성하는 휘발성 화합물의 조성 연구, 전구물질에 따른 가열에 의한 reaction flavor 기술, Maillard reaction에 의한 풍미 생성방법, 식물성 단백질의 가수분해에 의한 process flavor 등의 기술적 연구가 진행되고 있다. 특히 황함유 아미노산을 핵심 전구물질로 접근하고, Maillard reaction 중간생성물과 황함유성분(H_2S , ammonia, thiol 등) 간의 반응물은 식육 향미 모방에 주요할 것으로 보고되고 있다. 또한, 식물성 대체지방 종류에 따른 향미 변화도 크게 작용하여 원료선정의 주요 고려요소로 작용하고 있

다. 따라서 모방하고자 하는 축육 종류에 따라 top note flavor의 균형과 지방함량과의 차이 연계가 필수적 요소로 접근되고 있으며, 지각적 측면에서의 고기 향은 단순히 향 이상의 조직과의 복합적 감각 연구로 확장이 필요한 영역이다.

식육 대체식품은 주로 콩단백질에 의해 생성되고, 원재료 유래의 이취는 식육모방에서 제거되거나, 약화되어야 하는 문제로 간주되고 있다. 콩취 저감방법으로 리폭시게나제 결핍 콩으로 품종개량을 통한 접근법과 가공과정에서 효소 불활성화 방법 등으로 연구되고 있다. 또한, 분리대두단백에 포집기능의 β -cyclodextrin 전처리로 콩취를 유발하는 주요 향미화합물 alcohol계(1-octen-3-ol), aldehyde계(hexanal, benzaldehyde), ketone계(2-heptanone) 저감 방법이 제시되기도 하였다(Lee et al., 2019). 그 밖에 강한 향신료나 양념으로 마스킹하는 방법 등이 적용되고 있다. 그러나 향미는 다양한 수용체 유형의 복합적 반응 패턴으로 인지되기 때문에 향미의 마스킹은 어렵고 복잡하다. 따라서 다른 향기로 마스킹하는 방법보다는 제거의 접근방식이 근본적 해결책이 될 것으로 판단된다.

식품의 색은 구매의사를 결정하는 첫 번째 직관적 요소로 외관에 대한 기호도를 결정짓는다. 식육은 공기조성과 가열에 따른 색변화를 보이는 민감한 특성을 지니고 있어서 대다수의 대체식품은 구운 고기색 구현에 맞춰져 있었다. 이를 위해서는 열에 안정한 발색제인 캐러멜색소, 카카오분말, 카로틴, 강황, 샤프란, 파프리카, 홍국분말 등의 조합으로 모방이 가능하다. 열에 불안정한 발색제는 조리에 의한 변화를 유도할 수 있는데, 비트 뿌리 유래의 베타닌 계열과 환원당과의 조합이 대표적으로 이는 제품에 붉은색을 띠게 하고, 조리 시 단백질과 환원당의 Maillard reaction 갈색화로 변화를 유도하는 방법이다(Hamilton & Ewing, 2000). 또한 Beyond Burger에서는 조리 시 붉은 색에서 갈색으로 변화도록 사과추출물을 사용하는 것으로 알려지고 있다. 최근 Impossible Foods의 조리에 의한 갈색화 발색제인 레그헤모글로빈 적용이 대중적 제품화로 성장하고 있다.

향미와 색은 소비자에게 다채로운 경험 제공을 통해 호감도를 높이고, 자발적 구매의사를 일으키는 요소로 식육 대체제품의 성패를 좌우할 수 있는 제품개발의 핵심요소이다. 따라서 성과로 이어지도록 많은 지원과 연구가 요구되는 분야이다.

III. 결론

중국의 경우, 2019년 아프리카돼지열병으로 인한 생산량 급감이 소비 패턴의 변화로 나타났다. 이는 개인적 선택보다는 전염병과 기후 등의 거시적 문제에 의한 불가피한 소비형태의 급격한 변화요인이 돌발적으로 존재할 수 있다는 점을 보여준다. 따라서 대체식품 개발과 시장의 성장은 선택이 아닌 식량안보 상의 시급하고 필수적인 요소임이 분명해지고 있다. 따라서 단백질 급원의 다양성 측면에서 단기적 적용 가능한 제품생산 목표와 중장기적 제품 혁신을 위한 기술력 개발의 두 가지 방법의 병행이 바람직하다고 생각된다.

현재 식물성 대체식육 제조에서 다공성 섬유질 조직의 이점으로 TVP 소재활용에 제품개발이 집중된 상황이다. 그러나 식물성 조직화 단백질로 전통식품인 두부, 유바, 템페, 세이탄 등은 오랜 소비를 통해 소비자 친밀감이 우수한 소재이다. 이들을 활용한 다각적 제품화는 소비자 선택의 접근성을 높이고, 해당시장의 다각적 확장에 도움이 될 수 있다. 유럽 시장의 경우, 기존의 TVP와 차별화된 기술개발을 통해 조직화 기술을 개발하였고, 균사단백질, 템페, 세이탄 등을 기반으로 한 식물성 식육대체제품 시장을 형성한 것은 다각화 특징의 좋은 예가 된다. 따라서 국내의 경우, 신속한 적용가능 제품생산을 위해 전통소재를 TVP와 같은 식물성 단백질 조직체로 접근하여 이를 원료로 가공한 제품 개발을 돌파구로 모색할 필요가 있다.

식육 대체식품이 육가공품 모방에서 구이용 제품으로 진보하기 위해선 다성분 조합을 위한 기술혁신이 시급한 과제이다. 조직 적층의 새로운 방법론적 접근이 필요하고, 외관과 조성의 모방이 실제 식육의 조직감으로 연결되지 않기 때문에 다성분 구조 개발을 위해서는 원료 소재 탐색과 선별을 통한 조직감 연구와 더불어 영양학적 모방과 기호성 증진으로 연구의 다각적 접근과 확장이 요구될 것이다.

식육 대체식품에서 조직감 모방은 중요도가 가장 높은 기술이지만, 소비자 만족도 확보 측면에서 향미와 색의 개발은 가장 적극적으로 추진되어야 하는 요소이다. 기술적으로도 바이오공정학적 신소재 개발연구의 접근이 활발한 분야로써 제품 적용까지 개발과 안전성 검증의 충분한 연구 과정과 기간이 필요하나, 중장기적 제품 혁신을 위해 장려되어야 하는 분야이다.

국내 식육 대체식품의 개발과 해외 대체식품 수입이 진행됨에 따라 신소재 적용 및 신규 식품의 시장 진입에는 소비자를 보호할 수 있는 법률 및 규정의 준비가 요구된다. 신규 소재 및 제품의 위생 안전에 대한 표준 제정의 정책적 지원과 신규 소재에 대한 안전성 검증 단계의 체계화 및 첨가물 사용에 대한 기준안 등이 정립되어야 할 것이다. 이로써 소비자를 위한 안전성과 영양학적 가치기준, 알레르기 유발 등 소재에 대한 라벨규정 등의 바른 정보제공으로 소비자가 식육 대체식품을 안전하고 건강한 소비로 신뢰할 수 있어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 국립식량과학원의 재원으로 연구용역 사업(비건문화 확산에 따른 국내산 식량작물 활용 확대 방향)의 지원을 받아 연구되었기에 감사드립니다. 또한 정부(교육부, 과제번호:2020R1I1A1A01064066)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Amagliani L, O'Regan J, Kelly AL, O'Mahony JA. 2017. Composition and protein profile analysis of rice protein ingredients. *J Food Compos Anal* 59:18-26.
2. Belitz HD, Grosch W, Schieberle P. 2009. *Food Chemistry* (4th ed.). Springer, Berlin, Germany.
3. Bethesda MD. 1991 Protein quality evaluation: Report of the joint FAO/WHO expert consultation. World Health Organization. USA. 4-8.
4. Chiang JH, Loveday SM, Hardacre AK, Parker ME. 2019. Effects of soy protein to wheat gluten ratio on the physicochemical properties of extruded meat analogues. *Food Structure* 19:100102.
5. Dekkers B, Nikiforidis CV, Van der Goot AJ. 2016. Shear-induced fibrous structure formation from a pectin/SPI blend. *Innov Food Sci Em* 36:193-200.
6. Meticulous Research. 2019. Alternative protein market by stage/type (insect, algae, duckweed, lab meat, pea, rice, potato, corn, soy, wheat, corn, mycoprotein, mushroom), Application, and Geography – Global forecast to 2025.

Market Research.

7. Hamilton MN, Ewing EC. 2000. Food coloring composition. Canadian Patent CA2314727C, February 15, 2005.
8. Huang SC, Shiau CY, Liu TE, Chu CL, Hwang DF. 2005. Effects of rice bran on sensory and physicochemical properties of emulsified pork meatballs. *Meat Sci* 70:613-619.
9. Joseph P, Searing A, Watson C, McKeague J. 2020. Alternative proteins: Market research on consumer trends and emerging landscape. *Meat Muscle Biol* 4:16.
10. Kim YH, Kim SD, Hong EH. 1994. 11S and 7S globulin fractions in soybean seed and soycurd characteristics. *Korean J Crop Sci* 39:348-352.
11. Lee EJ, Kim H, Lee JY, Ramachandriah K, Hong GP. 2019. β -Cyclodextrin-mediated beany flavor masking and textural modification of an isolated soy protein-based yuba film. *Foods* 9:818.
12. Rampon V, Robert P, Nicolas N, Dufour E. 1999. Protein structure and network orientation in edible films prepared by spinning process. *J Food Sci* 64:313-316.
13. Samard S, Ryu GH. 2019. Physicochemical and functional characteristics of plant protein-based meat analogs. *J Food Proc Preserv* 43:e14123.
14. Schiffman JD, Schauer CL. 2008. A review: electrospinning of biopolymer nanofibers and their applications. *Polymer Rev* 48:317-352.
15. Singhal A, Karaca AC, Tyler R, Nickerson M. 2016. Pulse proteins: From processing to structure-function relationships. In *Grain legumes*, Goyal A (ed). IntechOpen, London, UK.
16. Statistics Market Reasrch Consulting. 2019. Plant-based meat. *Global Market Outlook (2017-2026)*.
17. State of the Industry Report. 2019. Plant-based meat, eggs, and dairy. The Good Food Institute. 28.
18. 박미성, 박시현, 이용선. 2020. 대체식품 현황과 대응과제. KREI 농정포커스 제190호.
19. 이시훈. 2020. 중국 인공육시장 발전 가능성에 주목. KOTRA & KOTRA 해외시장뉴스.