

특집: 대체 단백질 기술 식품 동향

대체 단백질 식품 기술 동향

권태은·김용휘[†]

세종대학교 식품공학과

Food Technology Trends with Alternative Proteins

Tae-eun Kwon and Yonghwi Kim

Department of Food Science and Technology, Sejong University, Seoul 05006, Korea

지속가능한 성장을 위한 새로운 단백질 소재에 대한 요구

세계 인구가 2019년 77억 명에서 2030년 85억 명, 2050년 97억 명을 넘어 2100년에는 109억 명에 이를 것으로 예상되며(UN/DESA, 2019), 소득의 증가로 세계 평균 1인당 육류 소비량은 1961년 이래 약 20 kg이 증가하여 2019년 34.4 kg rtw(retail weight)에서 2028년에는 35.1 kg rtw로 증가할 것으로 전망되었다(OECD/FAO, 2019). 지난 50년 동안 전 세계 육류 소비량은 급격하게 증가하고 있으며(그림 1), 극빈층의 감소 추세와 더불어 향후 1인당 육류 소비 증가 추세는 인구 증가율보다 훨씬 빠를 것으로 예측된다.

일반적으로 인간이 식품으로 섭취하는 단백질 중 25%를 축산물로부터 공급받고 있다(Alexander 등, 2017). 육류는 필수아미노산을 고르게 함유한 양질의 단백질로, 인간에게 가장 효과적인 단백질 섭취원으로 알려져 있다(De Smet와 Vossen, 2016). 따라서 건강한 삶을 영위하기 위해서는 동물성 단백질과 같은 양질의 단백질 섭취가 필요하지만, 현재의 축산물 생산방식으로 단백질 수요를

충족시키는 것은 한계가 있다(이와 김, 2018). 축산물 생산의 비경제성뿐만 아니라 축산업으로부터 발생하는 온실가스는 인류가 배출하는 온실가스의 약 15%를 차지하며 전체 식품군에서 가장 많은 양을 차지하고 있다(그림 2). 또한, 육류의 생산으로 발생하는 동물 윤리 문제와 동물성 식품의 과다 섭취로 인한 건강 문제 등에 따라 대체 단백질의 필요가 대두되고 있다(Gerber 등, 2013; Norat 등, 2005; Rohrmann 등, 2013; WHO, 2015).

웰빙(well-being)과 로하스(LOHAS)의 개념에 대한 관심이 증가하면서 고기 섭취를 줄이는 사람들인 “flexitarian(semi-vegetarian)”이 늘어나고 있으며, 동물 질병(광우병과 구제역, 조류 인플루엔자 등)에 따른 동물성 고기의 안전성 문제로 인한 소비자의 불안 심리로 대체 고기에 대한 관심이 높아지고 있다. 세계적으로 채식 인구는 2억 명에 육박하고 있으나, 향후 대체 육류 소비층은 채식주의자 중심의 기존 소비 시장에서 건강, 종교(할랄, 코셔, 불교, 힌두교), 환경오염 및 동물복지 등 여러 요인에 기인하여 소비 계층이 확대될 것으로 예상된다(그림 3). Barclays는 대체육류 시장이 향후 10년 안에 전체 육류 시장의 10%(약 1,400억 달러)를 차지할 것으로 예상하였으며, JP모건은 15년 안에 1천억 달러 이상이 될 것으로 전망하고 있다(The Straits Times, 2019). 또한,

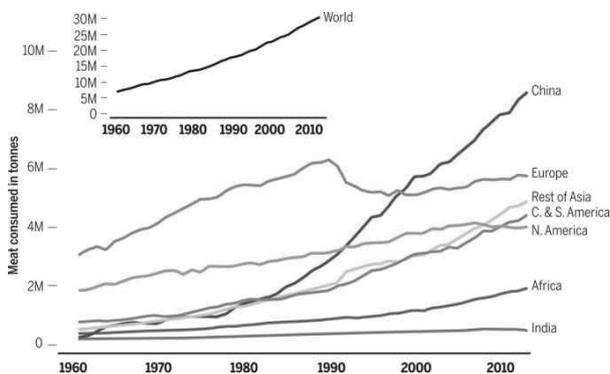


그림 1. 세계 육류 소비량 추이. 출처: Alexandratos와 Bruin-sma(2012), Godfray 등(2018).

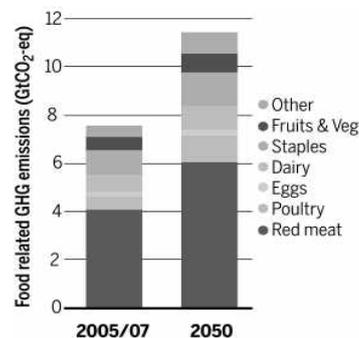


그림 2. 전 세계 온도 상승이 2°C 미만으로 가정했을 때, 2005~2007년과 2050년(예측) 식품 유형에 따른 온실가스 배출량(A)과 지구온난화에 영향을 미치는 주요 요인. 출처: Springmann 등(2016), Godfray 등(2018).

[†]Corresponding author
E-mail: kimyh@sejong.ac.kr, Phone: 02-3408-3228

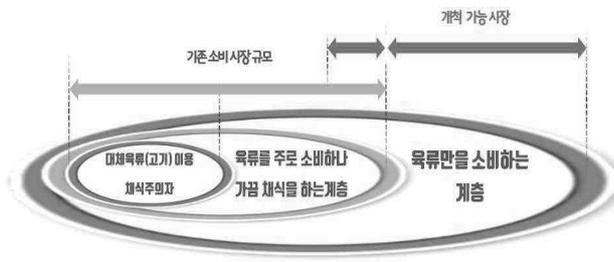


그림 3. 기술패러다임 변화에 따른 대체 육류의 소비 계층 확대. 출처: 김(2018).

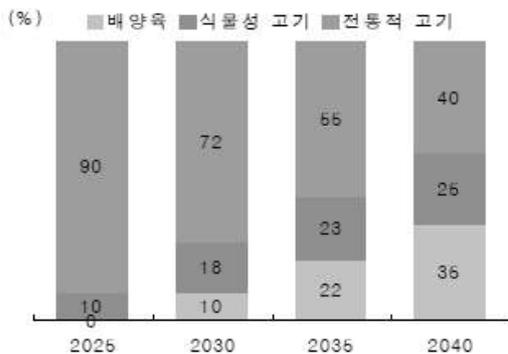


그림 4. 대체 육류가 전 세계 육류 시장에서 차지하는 비중 변화. 출처: Carrington(2019), 마(2019).

AT Kearney는 2040년에는 대체 육류가 전체 육류 시장의 약 60%를 차지할 것으로 예상하는 등 대체 육류는 중장기적으로 식품 패러다임을 변화시킬 것으로 예상된다(그림 4). 이에 따라 동물성 단백질을 대체할 미래 인류의 새로운 단백질원을 개발하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다.

대체 단백질 식품의 연구 및 시장 동향

식물 소재 기반의 대체 단백질

최근 건강과 지구 환경오염에 대한 관심이 고조되면서 동물성 단백질 대체를 위해 식물성 또는 곰팡이 유래 단백질을 이용한 대체 단백질(특히, 대체 육류) 생산과 관련된 연구에 관심이 증가하고 있다. 또한 식품가공기술이 발달함에 따라 단백질 함량이 높은 식물 중 대두, 완두,

강낭콩, 보리, 밀, 쌀, 견과류 등을 이용하여 고기의 맛과 질감을 갖춘 여러 제품이 개발되고 있다. 아시아는 식물성 단백질원으로 두부와 템페를 수 세기 전에 만들어 먹기 시작했으나, 서구사회에서는 1960년대 이후부터 발달하기 시작하였다.

- 두부(Tofu): 기원전 164년 중국 한나라 시대에 발명되어 고려 말기 우리나라에 전해진 것으로 추정됨. 콩에서 단백질을 추출하여 생산하며, 대체 고기로 가장 잘 알려짐. 양념장 및 소스 등의 향미 성분이 잘 흡수됨.
- 템페(Temphe): *Rhizopus oligosporus* 균과 함께 쌀, 밀렛 등의 익힌 곡물과 콩으로부터 만들어진 인도네시아의 콩 발효 식품. 보통 얇게 썰어 기름에 튀기거나 수프에 넣어 식용함.
- 세이탄(Seitan): 중국에서 밀 글루텐을 이용하여 만든 음식으로 밀가루 반죽을 한 다음 전분을 제거하여 만듦. 글루텐 민감성 문제가 있음.

국제 사회에서 본격적으로 대체 육류의 용어와 개념이 소개된 것은 1876년 필라델피아 세계 박람회에서 일본이 두부와 미소를 육류 단백질질을 대체하는 식품으로 소개하면서부터이다(김, 2018). 이후 1911년 파리에 본사를 둔 중국계 두부 회사에 의해 최초로 식물성 단백질이 상업화되었으며, 1차 세계대전의 발발로 육류 부족 사태에 따라 대체 육류 제품의 상업화가 진행되었다. 대량 생산 이전에는 콩을 주원료로 사용하였으나, 이후 밀 글루텐을 배합에 활용하여 제품을 제조하였다(김, 2018). 지금까지도 밀 글루텐(20%)과 콩 단백질(64%)이 육류 대체 소재로 가장 많이 사용되고 있으며, 곰팡이(11%)가 일부 원료로 사용되고 있다(Report Buyer, 2018; 이와 김, 2018). 밀 글루텐은 간단한 처리로 고기와 유사한 조직 단백질을 제조할 수 있을 뿐만 아니라 콩 단백질과 혼합하여 모양 성형이 용이하기 때문에 많이 사용되고 있고(윤, 2005), 콩 단백질은 단백질 함량과 식감 개선을 위해 사용되고 있다(이 등, 2017). 표 1은 대체 단백질 식품 소재로 사용되는 원료의 특성과 용도를 정리한 것이다.

미국에서는 1930년대에 대두박을 이용하여 대체 단백질을 제조하였으나 상업화에 실패하고, 1960년대 개발된

표 1. 주요 대체 단백질 원료의 특성과 용도

주원료	소재명	소재 특성	용도
대두	대두분리단백(ISP) 조직화단백(TSP)	단백질 함량 85% 이상, 이소플라본 함유 압출성형기를 이용하여 다양한 육류 대체품 제조	• 소시지, 닭가슴살 등 • 스파게티소스, 타코, 버거패티 등
밀	글루텐(생, 활성)	결착력이 강하여 쫄깃한 식감	• 밀고기(세이탄), 미트볼 등 • 부원료로 활용
완두	가수분해완두단백/ 완두단백	단백질 함량 25% 이상, 우수한 아미노산 조성	• 주로 파우더 형태로 이용 • 대중성이 낮음
버섯	퀸(vegan Quorn)	단백질 함량 14% 이상, 우수한 필수아미노산 조성	• 스투 및 난백 첨가제, 고기 첨가제 등 • 주로 영국, 미국 시장에 한정

출처: Schepker(2012), 김(2018).

표 2. 대체 육류의 성분 및 사용 목적

성분	사용 목적	사용량(%)
수분	재료 혼합, 유화, 주스화, 비용	50~80
조직화된 식물성 단백질	텍스처 및 식감, 외형, 수분 결합, 단백질 강화/영양	10~25
비조직화된 식물성 단백질	수분 결합, 불용성 식이섬유 공급, 유화	4~20
조미료/향신료	향미 증진, 텍스처/식감, 단백질 강화/영양	4~20
지방	텍스처/식감, 풍미, 마이야르 반응, 캐러멜화	3~10
결착제	텍스처, 수분 결합력(식이섬유 함량과 관련이 있으며 제품의 가공 조건에 영향을 줌)	10~15
착색제	외형	1~5

출처: 박(2016).

콩 단백질의 조직화 기술을 바탕으로 1970년대에 이르러 Archer Daniels Midland Company가 조직화 콩 단백질을 대량 생산하면서 상업화가 가능해졌다(김, 2005). 영국에서는 1960년대에 곰팡이(*Fusarium graminearum*)를 이용하여 전분 부산물에서 단백질을 개발하는 데 성공하였으며, 1985년부터 상용화하여 퀴(Quorn)이라는 제품으로 판매하고 있다(김, 2005).

일반적으로 대체 육류는 표 2의 원료들을 배합하여 만들어지는데, 단백질 원료로 사용되는 것은 비용해성 섬유질을 이용하여 질감과 식감을 향상시켜 고기와 비슷한 느낌을 나게 하는 조직화한 식물성 단백질(textured vegetable protein)과 지방과 수분 유지력 및 유화를 증진하여 결합력을 증대시키기 위해 사용되는 비조직화된 식물성 단백질(nontextured vegetable protein)이 있다. 주로 사용되는 식물성 단백질은 콩 단백질로 콩가루(단백질 함량 50%/무수분), 콩 농축단백(단백질 함량 70%), 콩 분리단백질(단백질 함량 90%)이다. 이외에도 총 건조 중량의 20~30% 단백질을 함유한 콩과 작물의 단백질이 경제적인 이유 또는 영양 보충 및 질감 향상 등의 이유로 다방면으로 활용되고 있다. 또한 밀 글루텐과 같이 콩 단백질과 결합하여 모양을 형성하고 고기양을 증가시키기 위한 용도로 곡물 단백질(밀 8~17.5%, 옥수수 8.8~11.9%, 보리 7~14.6%, 쌀 7~10%, 귀리 8.7~16%, 호밀 7~14%)이 사용되고 있으며, 미생물 유래 단백질(키틴, 글루칸 등 식이섬유 고 함유로서 혈중 콜레스테롤 감소에 효과가 있다고 보고됨)과 유지 종자 단백질들도 대체 단백질원으로 이용되고 있다(Malav 등, 2015).

식물성 대체 고기의 제조 과정은 표 2와 같은 재료들을 배합하여 유화시키는 단계와 조직화하는 2단계로 크게 나눌 수 있다. 식육의 조직감은 주로 식육 내 치밀하게 구조화된 근섬유 조직과 결합조직에 기인하는데(강 등, 2018), 식물성 단백질은 대부분이 무결정성 조직을 가지고 있기 때문에 조직화 공정이 꼭 필요하다(김, 2005). 식물성 대체 고기의 조직화를 위한 방법은 방사법(spining process), 압출성형법(thermoplastic), 증기법(steam texturization) 등이 연구되어 왔으며, 이 중 가장 대표적인 것이 압출성형이다. 압출성형은 추출한 식물성 단백질을 물과 혼합한 후 압출기 내에서 가열하면서 높은 압력으로 압출하면 열과 압력 및 기계적 전단력 등의 복합적

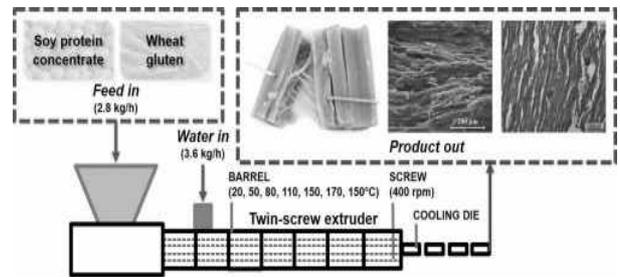


그림 5. 식물성 단백질의 조직화 과정. 출처: Chiang 등(2019).

인 작용으로 가소성과 신축성을 갖게 되면서 3차원의 네트워크를 형성하고 분해되면서 단백질 분자들의 변형을 통해 방향성을 가지면서 응고되어 식육과 비슷한 조직감을 만들게 된다(그림 5). 제조 공정이 경제적이고 다양한 모양과 크기로 만들 수 있기 때문에 가장 많이 사용되고 있지만, 압출성형을 통한 식물성 단백질의 조직화를 위해서는 반드시 원료의 단백질 함량이 50% 이상 되어야 하며, 6~7% 수준의 지방을 함유하고 섬유소와 탄수화물은 적어야 한다(이와 조, 2019).

단백질 추출기술의 발달에도 불구하고 2000년 초반까지 대체 단백질 제조기술은 식물성 단백질과 변성전분을 이용한 조직 모방에 그쳐, 향미와 씹힘성 및 mouthfeel에서 육류와의 차이점을 극복하지 못하였다. 특히, 다즙성(육즙)과 관련된 연구는 미미한 수준에 머물러 대체 육류 시장 확대에 한계가 있다.

현재 대체 육류 시장은 유럽이 약 39%를 차지하고, 인도와 대만을 비롯한 아시아, 호주와 뉴질랜드 그리고 미국 등 전 세계적으로 증가 추세에 있다. 영국, 네덜란드, 덴마크 등 유럽 중심 컨소시엄을 통한 배양육(*in vitro* meat) 개발 및 상용화가 활발하게 진행되고 있으며, 미국 실리콘밸리 등지에서는 Impossible Foods, Beyond Meat, Boca Burger, Amy's Kitchen, Cauldron Foods, Hampton Creek, Quorn Foods and Morningstar Farms, Tofurkey 등의 회사에서 대체 고기 개발 기업들에 대대적인 투자를 하고 있고, 활발한 연구가 진행 중이다. 또한 최근에는 대체 단백질 성분에 대한 내성(intolerance)과 알레르기(allergy)로 관심 범위를 확장하고 있다(Markets and Markets, 2019).

지금까지 대체 고기의 대부분은 콩 단백질, 밀 단백질,

버섯 단백질(myco protein)을 이용하여 제품화하고 있으며, 콩 단백질을 기반으로 한 제품이 세계 식품 시장에서 4~5위를 차지하고 있다. 특히 북미와 라틴아메리카의 콩 생산 증대는 지역 마켓 성장에 긍정적인 영향을 미치고 있다. 특히, 중국은 경제성장으로 편의식품 및 대체고기 수요가 빠르게 성장하고 있어, 대체고기 시장규모는 2017년 약 18조억 원이었으며 연평균 17% 성장할 것으로 전망하고 있다. 또한 중국을 비롯하여 아랍에미리트, 호주가 연평균 성장률 10.6%와 9.6%로 가장 높은 성장률을 보인다(농식품수출정보, 2018). 최근까지 대체 육류 시장은 유럽이 이끌었지만, 미국이 콩 생산 증가로 대체 육류 시장을 주도할 것으로 예상되며, 간편한 편의식품 수요 증가와 인구 증가로 향후 몇 년 동안 대체 고기 시장은 꾸준히 확대될 것으로 예상된다. 또한 원료 공급의 편의성으로 미국에서는 콩 단백질 기반의 대체고기 제품이, 아시아 및 유럽에서는 밀 단백질 기반의 대체 육류 제품이 강점을 보일 것으로 예상된다. Archer Daniels Midland(AMD, 미국)가 TVP(textured vegetable protein)를 개발하여 대체고기 시장의 50%를 점유하고 있으며, 그 외 주요 업체로는 DowDuPont(미국), Beyond Meat(미국), Amy's Kitchen(미국), Sonic Biochem Limited(인도), MGP Ingredients(미국), Garden Protein Internationa(캐나다), Quorn Foods(영국), The Nisshin OilliO Group(일본), MorningStar Farms(미국), Meatless(네덜란드), VBites(영국)가 있다(이, 2016; Markets and Markets, 2019).

식물성 단백 식품의 국내 시장은 매출 규모가 매우 적어 현재 집계된 자료가 없으나, 연간 60~70억 원으로 추정되고 있다(농촌진흥청, 2015). 아직까지 대체 육류의 소비가 보편화되지 못하고 있지만, 그 규모가 점차 확대될 것으로 예측하고 있다. 판매되고 있는 제품으로는 콩불고기, 콩소시지, 콩햄, 콩까스 등이 베이프드, 삼육식품, 채식사랑, 그대 발길 머무는 곳 등에서 제조·판매되고 있으며, 유명 인터넷몰에서도 판매하고 있다. 콩고기 원료로 주로 사용하는 탈지대두 대신 콩 전체를 이용하여 콩이 가진 기능성을 보존하거나, 결합제인 글루텐 사용량을 줄인 콩고기 제조 기술이 개발되는 등 건강식으로서의 기능을 증가시키면서 콩불고기, 콩소시지, 콩햄, 콩까스 외에 가정에서 직접 제조할 수 있는 혼합형 제품을 개발하는 등 제품이 다양화되고 있다. 콩은 약 40%의 단백질을 함유한 고단백질 식품 소재로, 콩으로부터 추출한 분리 대두단백질에 활성 글루텐을 이용하여 1차 가공 처리한 것이 콩고기이다(Asgar 등, 2010). 콩고기에 첨가하는 활성 글루텐은 동물성 고기와 유사한 조직감을 부여하기 위해 첨가하는 것으로 견고성(hardness), 탄력성(springiness) 및 씹힘성(chewiness) 등의 조직감을 개선하는 데 사용되지만, 여전히 동물성 고기와는 다른 조직감으로 품질이 떨어지고 있다(Katayama와 Wilson, 2008). 이는 대체 고기의 지방함량이 낮은 것과 관계있

며, 지방은 고기의 조직감과 향미에 많은 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(정 등, 2010).

지방대체제에는 크게 식물성 지방, 단백질 및 탄수화물계 지방대체제가 있으며, 탄수화물계 지방대체제로는 modified starch, pectin, maltodextrin, gum 등이 보편적으로 사용되고 있다. 이들은 친수성 콜로이드로서 수분과의 결합능력이 높아 육가공제품의 보수력을 높이고, 가열감량을 낮추는 것으로 알려져 있다(박 등, 2000; 주와 정, 2007). 키토산, 글루코만난 등을 첨가하여 저지방 소시지, 계육 패티 등이 제조되거나(박 등, 2005; 김 등, 2007), 식물성 지방인 고추씨유, 대두유를 이용하여 소시지, 돈육 패티를 제조한 연구가 발표되었으며(김 등, 2013; Jung과 Joo, 2014), 식물성 지방대체제인 포도씨, 쌀겨, 올리브유 등과 탄수화물계 지방대체제인 locust bean, xanthan gum, low-methoxyl pectin 등을 혼합하여 돼지고기의 지방함량을 감소시켰다는 연구가 보고되었다(주와 정, 2007; Lurueña-Martínez 등, 2004; Choi 등, 2010). 또한, 카놀라유와 gum arabic, low-methoxyl pectin으로 제조된 더블 에멀션을 이용하여 지방을 일부 대체한 저지방 치즈를 제조한 연구에서 더블 에멀션에 사용된 유화제와 함께 gum arabic과 low-methoxyl pectin이 치즈의 견고성과 응집성을 증가하였다고 보고되었다(Lobato-Calleros 등, 2008). 그러나 이처럼 지방대체제를 이용하여 지방 함량을 줄이면서 지방 특유의 식감을 유지하는 기술은 기존 육가공제품에 치중되어 있다. 지방은 고기의 조직감과 향미에 많은 영향을 미치기 때문에 대체 단백질을 이용한 대체 육류 개발에도 지방대체제의 적용과 관련된 연구가 필요하다.

최근 연구결과에 따르면, 유지작물, 두과작물, 화분과 작물 및 곰팡이, 곤충으로부터 단백질을 추출하고 가공하는 등에 대한 기술 개발이 상당히 진전되어, 식물유래(콩 단백질, 밀 글루텐), 곰팡이 유래(Quorn), 발효콩(Tempeh), 두부(Tofu) 등의 제품이 출시되었다. 또한, 단백질 추출기술의 발달로 비영양성분이나 폐놀성분을 제거하여 품질이 우수한 단백질만 얻을 수 있는 기초 기술이 많이 개발되었으며, 쌀과 버섯을 이용한 식물성 고기 제품(쌀너비아니, 쌀완자, 쌀소시지, 쌀까스 등)과 대두, 우유, 견과류를 반죽한 콩고기가 개발되어 맛과 씹힘성 등 전체적인 기호도가 향상된 기술이 개발되었다. 식물에서 추출된 단백질, 비타민, 아미노산, 지방, 기타 영양소를 결합해 대체 고기 생산기술 확보를 위한 시도가 계속해서 진행중이고, 카놀라/유채, 옥수수(Zein), 병아리콩, 곤충 유래 단백질 또한 대체 고기를 만들 수 있는 후보 재료로의 활용 가능성이 충분한 것으로 밝혀지고 있다(Jones, 2016).

○ 최근 개발된 대체 고기 생산을 위한 작물별 단백질 추출 및 제조기술 현황(Jones, 2016)

- 유지작물 유래 단백질

- 콩 단백질 추출 시 phenol 성분을 제거하여 신장성

(elasticity) 향상 기술 개발

- 유채 저장단백질(cruciferin, napin)의 물성 유지 및 압착기술로 Gel화 기술 개발
- 두과작물 유래 단백질
 - 렌틸콩, 강낭콩, 병아리콩은 일반 콩보다 지방 및 수분 흡수력 뛰어나
 - 강낭콩 단백질체의 수소결합에 따라 Gel화가 결정되기 때문에 수소결합을 억제하는 이온을 가진 염(salts)을 첨가하여 Gel의 강도를 높일 수 있음
 - 동물 단백질, 계란 흰자 단백질보다 수분, 지방흡수력이 가장 우수한 병아리콩 단백질의 Gel화 안정성 기술이 개발되었음(렌틸콩, 루핀 추출 단백질은 상대적으로 Gel 형성 불안정하여 추가연구 진행)
- 화본과 작물 유래 단백질
 - 저분자량 글루텐은 저온 조건(5°C 이하)에서 분리가 용이하며, 대분자량 글루텐은 불용성 확인
 - 프롤라민 단백질 소스는 다양하나, 유사 고기 생산에는 기술적 한계 확인(프롤라민 고 함유 단백질: 아베닌(귀리), 호테인(보리), 카피린(수수), 제인(옥수수))
- 곰팡이, 곤충 유래 단백질 제조
 - *Fusarium, Chlorella* 추출 곰팡이 단백질은 유사고기 재료로 사용 가능성 확인
 - 곤충 유래 단백질은 50~65°C 온도에서 수소결합을 통하여 Gel화 기술 개발

국내에서도 식량안보에 대한 관심이 고조되고 환경문제에 대한 대응책으로 대체 식량에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으나, ‘대체 단백질’ 소재 개발 등과 관련된 연구는 아직 시작 단계에 있고, 식물성 고기에 대한 시장 현황과 기술에 대한 기초 정보 수집단계에 있다. 1990년대 수행되었던 수분 고 함유 압출 방식에 대한 연구가 고기 질감을 재현하는 단백질 식품의 조직감 연구의 기초가 되었고, 이 공정으로 섬유상의 고기와 유사한 구조(육고기와 같은 수분함량)와 질감을 통해 식감 재현이 가능하게 되었다. 현재, 국내에서는 대체 고기 시장의 성장 잠재력이 크다는 예측이 있으나, 외국의 연구 단계 및 규모와 비교했을 때는 아직 미흡한 상황이다.

미국의 대체 육류에 대한 지식재산권 현황은 각종 전분의 추출, 고기 물성과 비슷한 소재, 결합제, 유화제에 대한 특허가 다수 있으며, 유럽에서는 대체 고기용 섬유와 그 제조를 위한 방법, 적색육의 대체물과 제조 방법, 대체 고기의 반가공품 등 다소 다양한 부분에서 특허가 많다. 또한, 일본은 결합제와 가열 또는 냉각 방법, 예열선 제품, 식물 단백질의 질감을 조절하는 방법, 고기 성형 방법 등 부분에서 특허가 많이 나와 있다. 식물성 고기에 대한 국내 특허 현황은 주로 콩고기 나타내고 있으며, 그 외에 호두, 버섯, 밀, 쌀 등을 이용한 대체 고기 특허출원이 있다. 국가기관에서 아직 공식적으로 대체 고기에 대한 표준화를 시행한 것은 없으나, 농촌진흥청에서 2014년 글

루텐은 줄이고 콩 함량을 강화한 콩고기 제조기술을 개발하여 특허를 출원하였는데, 이는 단백질을 결합시키는 트랜스 글루타미나아제 효소를 넣어 글루텐 사용량을 1/3로 줄이고 콩 함유량을 높인 기술이다. 그러나 기존 대체 육류 관련 지식재산권은 주로 콩을 주원료로 하였기 때문에 질감과 콩 특유의 이취 등의 한계가 있는 것으로 보인다. 따라서 진짜 고기 같은 대체 단백질을 개발하기 위하여 콩 이외에 다양한 식물 원료를 탐색하고 각종 기술을 적용하여 육고기 맛을 재현하려는 노력이 필요할 것으로 생각된다.

배양육(In Vitro Meat, Cultured Meat)

실험실에서 배양하는 배양육은 대체 육류 제품이지만, 식물성 모방 육류와는 접근 방식이 전혀 다른 대체 단백질의 생산기술이다. 배양육은 살아있는 동물의 세포를 생명공학기술로 배양하여 얻는 식용 고기를 의미하며, 가축을 사육하고 도살하는 과정을 거치지 않는다(그림 6). 미항공우주국(NASA)이 우주인 식량을 목적으로 배양육 연구를 시작한 이래, 1995년 미국 식품의약처(FDA)에서 배양육 사용이 승인되었다. 2013년 마크 포스트(Mark Post) 박사는 Google의 공동 설립자인 세르게이 브린(Sergei Brin)이 자금을 투자한 연구에서 소의 줄기세포의 근육조직을 실험실에서 배양하여 만든 버거를 제조하였으며, 이때 사용된 햄버거 패티는 37만 5천 달러/100g에 달했다. 이후 샌프란시스코에 위치한 멤피스 미트(Memphis Meats)는 자가 재생 세포에서 배양육을 생산하여, 2016년에 최초의 합성 미트볼을 선보였고, 2017년에는 세계 최초의 세포 배양 닭고기와 오리를 개발하였으며 생산비는 1,986달러/100g이었다(맹, 2016). 멤피스 미트는 상업용 육류와 경쟁하기 위해 실험실에서 배양한 육류의 생산비용을 줄이는 것을 목표로 하고 있다. 최근에는 배양육 생산을 위해 유전자 편집 기술인 CRISPR을

From the petri dish to the plate

A team of scientists at Maastricht University has been able to create cultured meat from muscle tissue harvested from cows. This is how they did it.

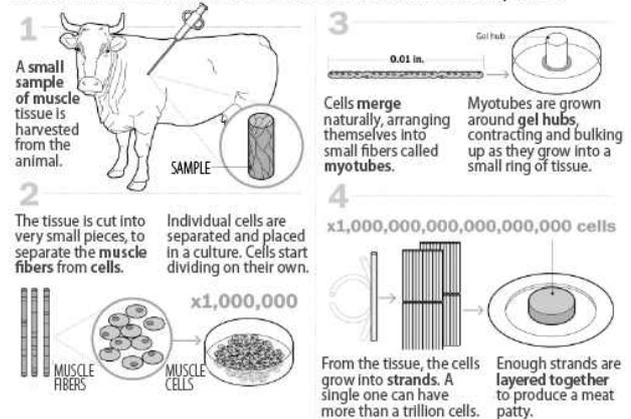


그림 6. 배양육의 생산 과정. 출처: Ferdman(2015), Greene와 Angadjivand(2018).

사용하겠다고 발표했다. 또한 배양육의 영양성분뿐만 아니라 모양과 질감을 기존 육류와 유사하게 제조하여 완벽에 가까운 대체 육류를 제조하기 위하여 3D 프린팅 기술과 결합을 시도하고 있다(Boys, 2015).

배양육은 생산과정에서 배지와 배양조건의 조절을 통해 영양성분을 인위적으로 조절이 가능할 것으로 예상된다. 또한 축산물 생산과정에서 발생할 수 있는 위험요인이나 환경오염과 윤리적인 문제를 해결할 수 있을 것으로 기대된다(Bhat 등, 2014). 그러나 현재 생산되고 있는 배양육의 색과 외관은 기존의 고기와는 상당히 차이가 있어 소비자의 요구를 충족시키기에는 한계가 있다(Moritz 등, 2015). 배양육의 가장 큰 문제는 상용화와 대량 생산을 하기에는 생산비용이 너무 높다는 문제가 있어 기존의 저가 단백질 소재에 가격 경쟁력을 갖추기 위하여 지속적인 기술 개발이 필요한 실정이다. 또한 현재 배양육의 생산에는 말이나 소의 태아 혈청을 이용하고 있어, 배양육의 생산이 증가할수록 가축의 도축도 증가하는 구조이기 때문에 효율적인 대체 소재에 대한 연구도 시급하다(Mattick 등, 2015). 또한 CISPER과 같은 유전자 가위를 사용할 경우 소비자들은 배양육을 GMO(Genetically Modified Organism)로 인식하고 거부할 우려도 존재하게 된다. 향후 배양육이 대량 생산되어 상용화될 경우, 기존 축산업계와의 충돌도 예상된다. 실제로 미국 북아메리카 육류협회는 배양육(in vitro meat)에 “meat”라는 단어를 쓰는 데 크게 반발하고 있다(최와 신, 2019).

곤충 단백질의 이용

곤충은 이미 오래전부터 식용으로 사용되어 왔으며, 지금까지도 전 세계 일부 지역에서는 곤충을 먹고 있다. 국내에서도 벼메뚜기, 식용 누에번데기, 백강잠 등 세 가지 곤충이 이미 식용으로 허가되어 있으며, 2014년에는 갈색거저리 유충(고소애, 밀웬)과 흰점박이꽃무지 유충(굼벥이), 쌍별귀뚜라미, 장수풍뎅이 유충이 한시적으로 식용 곤충으로 허가받아 총 7종의 곤충이 식품으로 사용이 가능하다. 곤충은 저지방 고단백 식품으로, 건조한 옥수수 수는 약 10%의 단백질을 가지고 있지만, 식용곤충은 40~70%의 단백질을 함유하고 있다(van Huis 등, 2013). 또한 짧은 사육 기간 내 물 소비가 적고 대량 생산이 가능하다는 장점이 있다(맹, 2016). 국내외에서 귀뚜라미, 밀웬 및 기타 곤충으로 단백질 가루를 생산하고 간식, 단백질 바, 심지어 파스타에도 이용하고 있다. 곤충에서 소고기, 돼지고기와 같은 양의 단백질을 생산할 때 더 적은 온실가스를 배출하고, 사육면적과 사료가 덜 필요하기 때문에 생산성도 높다(그림 7). 따라서 곤충 기반의 단백질은 건강과 지속가능한 생산을 위해 육류를 대체할 것으로 기대되고 있다. 그러나 식용 곤충의 산업화를 위해 곤충 혐오증(entomophobia)이 가장 심각한 걸림돌로 극복해야 할 문제이다.

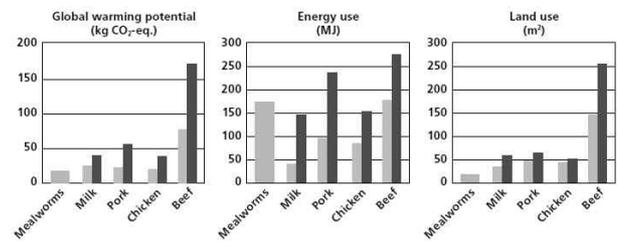


그림 7. 밀웬, 우유, 돼지고기, 닭고기 및 소고기에서 1 kg의 단백질 생산을 위해 발생하는 온실가스(지구온난화 가능성)와 에너지 및 토지 사용(grey bars: minimal value, dark grey bars: maximum value). 출처: Oninxc 등(2012), van Huis 등(2013).

대체 단백질 식품 개발을 위해 고려되어야 할 사항

미국의 콩음식 협회 ‘Soyfoods Association’에서 콩유래 음식에 대한 각종 기준과 조리법 등을 제시하고 있지만, 아직 대체 고기에 대한 표준화는 되어있지 않아 미농무부(USDA)에서도 고기대체물에 대한 기준 마련에 대한 필요성을 언급하고 있다. 이에 따라 식육의 정의에 입각한 제품 개발이 필요한 실정이다.

식육의 정의

– 축산물 가공처리법에서 식육은 소, 돼지, 말 등의 축육 및 식용 이바지 가축이나 가금의 골격근으로 정의되며, 식육은 수분 65%, 단백질 20%, 지방 15% 및 비타민과 무기물로 이루어져 있다. 탄수화물 함량은 매우 적어 전체 영양분 함량에서는 무시되고 있으며(비탄수화물 식품 이미지 필요), 식육 단백질은 필수아미노산을 함유하는 가장 우수한 단백질 급원으로 평가받고 있다.

기존 식물성 대체 육류는 주로 콩 단백질, 글루텐 등의 식물성 단백질이나 변성전분을 이용하여 식육 조직 형상을 모방하고 있다. 특히 대부분의 식물성 대체 고기의 조직을 콩 단백질에 의존하고 있어, 분쇄 제품 유형의 식육 조직 모방은 가능하지만, 다즙성 저하에 의하여 소비자 만족도가 매우 낮은 상황이다. 또한, 전분이나 기타 식물체와 곰팡이(버섯 등)의 활용은 고기가 갖는 단백질 식품으로서의 이미지에 부합되지 못하는 실정이다. 최근 쌀, 도토리, 버섯, 호두 등을 활용한 대체 고기가 개발되고 있지만, 식육 특유의 풍미와 질감 재현에는 한계가 있다. 따라서 우수한 식육 조직 성상 모방 및 식육의 가치를 부여할 수 있는 소재의 개발이 필요하다.

특히 기존 식물성 대체 고기 제품에서 낮은 소비자 만족도의 주요 원인은 향미 모방 기술 부족으로 야기되고 있다. 주로 활용하는 콩 단백질 활용 제품에서 콩 자체의 beany flavor가 주요 문제로 지적되고 있어, 이를 해결하기 위한 수단으로 불고기 소스 등 향미가 강한 조미 소스를 활용하여 마스킹하는 방안이 주로 활용되고 있다. 그러나 식육 자체의 향미 구현 없이 소스를 활용하기 때문

에 제품의 맛에 대한 기호도가 매우 낮다. 게다가 육제품의 조미 소스류에는 소금, 간장, 당류 이외에 고기 엑스본 등의 조미 향신료가 첨가되므로, 이를 식물성 성분으로 대체할 방안 마련도 시급하다. 콩 자체의 향미를 제거하기 위해 발효 콩의 활용 방안이 시도되었지만, 발효 과정에서 야기되는 글루탐산은 식육의 주요 향미인 핵산 계열의 향미와 식별할 수 있어 고기로서의 가치를 인정받기 어려운 실정이다. 따라서 대체 단백질로서의 향미 모방을 위한 소스 개념과 차별화된 고기 향미를 개발함으로써 다양한 식육가공제품에 직접 적용 가능한 소재의 개발이 필요하다. 이를 위하여 식육의 가열 조리에서 생성되는 flavor compounds의 분석을 통해 encapsulation 기술 및 전구체 등을 활용한 조리 가공 중에 활성 물질로 변환될 수 있는 기술 개발 및 적용이 필요하다.

일반적으로 소비자가 식육을 구매하는 데 있어 가장 중요하게 고려하는 요소는 식육의 색으로, 소고기나 돼지고기와 같은 적색육의 고기는 밝고 선명한 선홍색이 좋고, 광택이 있는 고기를 선호한다. 고기를 익히기 위하여 가열하면 고기 내부에서 여러 가지 화학변화를 통한 단백질의 변성이 일어나기 시작하고, 특히 붉은색의 heme protein이 변성되어 고기의 색이 회갈색이 된다. 그러나 현재 식물성 대체 단백질은 식용 색소를 이용하기 때문에 가열에 따른 육색 변화를 모방하는 데 한계가 있다. 특히, heme protein은 식육의 향미에도 큰 영향을 주는 것으로 알려져 이를 대체할 수 있는 소재의 개발에 대한 연구가 필요하다.

기존의 육류를 대체하는 단백질의 생산은 지속가능한 생산 방식으로 점점 더 주목을 받을 것으로 생각되지만, 아직까지는 맛과 조직감 등 관능적 품질 수준이 기존 식육과는 차이가 있어 소비자 수요의 요구에 비해 소비의 확산이 더디게 진행되고 있다. 맛과 조직감이 우수하고 영양 및 관능적 기호도를 모두 만족시킬 수 있도록 대체 단백질의 품질 개선을 위한 연구들이 지속적으로 수행되어야 할 것이다.

참고문헌

- Alexander P, Brown C, Arneith A, Dias C, Finnigan J, Moran D, et al. Could consumption of insects, cultured meat or imitation meat reduce global agricultural land use. *Global Food Secur.* 2017. 15:22-32.
- Alexandratos N, Bruinsma J. World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision. ESA Working Paper No. 12-03. FAO, Rome, Italy and IIASA, Laxenburg, Austria. 2012. p 131.
- Asgar MA, Fazilah A, Huda N, Bhat R, Karim AA. Nonmeat protein alternatives as meat extenders and meat analogs. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2010. 9:513-529.
- Bhat ZF, Bhat H, Pathak V. Prospects for *in vitro* cultured meat—A future harvest. In: Lanza R, Langer R, Vacanti J, editors. *Principles of Tissue Engineering*. 4th ed. Elsevier, Amsterdam, Nederland. 2014. p 1663-1683.
- Boys C. The future of food: Lab-grown meat and 3D-printed meals. *food&wine*. 2015 Jun 22 [cited 2019 Dec 6]. Available from: <https://www.stuff.co.nz/life-style/food-wine/69606846/the-future-of-food-lab-grown-meat-and-3d-printed-meals>
- Carrington D. Most 'meat' in 2040 will not come from dead animals, says report. *The Guardian*. 2019 Jun 12 [cited 2019 Dec 6]. Available from: <https://www.theguardian.com/environment/2019/jun/12/most-meat-in-2040-will-not-come-from-slaughtered-animals-report>
- Chiang JH, Loveday SM, Hardacre AK, Paker ME. Effects of soy protein to wheat gluten ratio on the physicochemical properties of extruded meat analogues. *Food Struct.* 2019. 2019:100102. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2018.11.002>
- Choi YS, Choi JH, Han DJ, Kim HY, Lee MA, Kim HW, et al. Optimization of replacing pork back fat with grape seed oil and rice bran fiber for reduced-fat meat emulsion systems. *Meat Sci.* 2010. 84:212-218.
- De Smet S, Vossen E. Meat: The balance between nutrition and health. A review. *Meat Sci.* 2016. 120:145-156.
- Ferdman RA. This is the future of meat. *The Washington Post*. 2015 May 21 [cited 2019 Dec 20]. Available from: <https://www.washingtonpost.com/news/wonk/wp/2015/05/20/meet-the-future-of-meat-a-10-lab-grown-hamburger-that-tastes-as-good-as-the-real-thing/>
- Gerber PJ, Steinfeld H, Henderson B, Mottet A, Opio C, Dijkman J, et al. Tackling climate change through livestock—A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy. 2013.
- Godfray HCJ, Aveyard R, Garnett T, Hall JW, Key TJ, Lorimer J, et al. Meat consumption, health, and the environment. *Science.* 2018. 361:eaam5324. <https://science.sciencemag.org/content/361/6399/eaam5324.long>
- Greene JL, Angadjivand S. Regulation of cell-cultured meat. *Congressional Research Service*. 2018 Oct 25 [cited 2019 Dec 20]. <https://fas.org/sgp/crs/misc/IF10947.pdf>
- Jones OG. Recent advances in the functionality of non-animal-sourced proteins contributing to their use in meat analogs. *Curr Opin Food Sci.* 2016. 7:7-13.
- Jung E, Joo N. Optimization processing and quality characteristics of pork patty prepared with soybean oil. *Korean J Food Nutr.* 2014. 27:256-266.
- Katayama M, Wilson LA. Utilization of soybeans and their components through the development of textured soy protein foods. *J Food Sci.* 2008. 73:S158-S164.
- Lobato-Calleros C, Sosa-Pérez A, Rodríguez-Tafoya J, Sandoval-Castilla O, Pérez-Alonso C, Vernon-Carter EJ. Structural and textural characteristics of reduced-fat cheese-like products made from W₁O/W₂ emulsions and skim milk. *LWT—Food Sci Technol.* 2008. 41:1847-1856.
- Lurueña-Martínez MA, Vivar-Quintana AM, Revilla I. Effect of locust bean/xanthan gum addition and replacement of pork fat with olive oil on the quality characteristics of low-fat frankfurters. *Meat Sci.* 2004. 68:383-389.
- Malav OP, Talukder S, Gokulakrishnan P, Chand S. Meat analog: a review. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2015. 55:1241-1245.
- Markets and Markets. Meat substitutes market by type (Tofu & Tofu Ingredients, Tempeh, Textured Vegetable Protein (TVP), Seitan, and Quorn), source (Soy, Wheat, and Myco-protein), category (Frozen, Refrigerated, and Shelf-Stable), and Region—Global Forecast to 2023. 2019 [cited 2019 Dec 6]. Available from: <https://www.marketsandmarkets.com/>

- Market-Reports/meat-substitutes-market-979.html?gclid=EAIaIQobChMl2van5-nK5gIVjKuWCh3K0AKQEAAAYASAAEgLSd_D_BwE
- Mattick CS, Landis AE, Allenby BR. A case for systemic environmental analysis of cultured meat. *J Integr Agric*. 2015. 14:249-254.
- Moritz MSM, Verbuggen SEL, Post MJ. Alternatives for large-scale production of cultured beef: A review. *J Integr Agric*. 2015. 14:208-216.
- Norat T, Bingham S, Ferrari P, Slimani N, Jenab M, Mazuir M, et al. Meat, fish, and colorectal cancer risk: the European Prospective Investigation into cancer and nutrition. *J Natl Cancer Inst*. 2005. 97:906-916.
- OECD/FAO. OECD-FAO Agricultural Outlook, OECD Agriculture statistics (database). 2019. doi: dx.doi.org/10.1787/agr-outl-data-en.
- Ooninx DGAB, de Boer IJM. Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans – A life cycle assessment. *PLoS ONE*. 2012. 7:e51145.
- Report Buyer. Meat substitutes market size, share & trends analysis report by product (Tofu, Seitan, Tempeh, Quorn), by raw material (Soy-based, Wheat-based, Mycoprotein), by region, and segment forecasts, 2012-2022. 2018 [cited 2019 Dec 6]. Available from: <https://www.researchandmarkets.com/reports/4613435/meat-substitutes-market-size-share-and-trends>
- Rohrmann S, Overvad K, Bueno-de-Mesquita HB, Jakobsen MU, Egeberg R, Tjønneland A, et al. Meat consumption and mortality – results from the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition. *BMC Med*. 2013. 11:63.
- Schepker K. Meet the meatles(s)-a guide to vegetarian meat substitutes. *Holistic Primary Care*. 2012 Feb 23 [cited 2019 Dec 10]. Available from: <https://www.holisticprimarycare.net/topics/topics-a-g/cooking-for-health/1281-meet-the-meatless-a-guide-to-vegetarian-meat-substitutes-sp-135270867.html>
- Springmann M, Godfray HCJ, Rayner M, Scarborough P. Analysis and valuation of the health and climate change cobenefits of dietary change. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2016. 113:4146-4151.
- The Straits Times. Plant-based meat sizzles as potentially juicy business. 2019 Jun 10. [cited 2019 Dec 10]. Available from: <https://www.straitstimes.com/world/plant-based-meat-sizzles-as-potentially-juicy-business>
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs (UN/DESA). World Population Prospects 2019: Highlights (ST/ESA/SER.A/423). 2019.
- van Huis A, Van Itterbeeck J, Klunder H, Mertens E, Halloran A, Muir G, et al. Edible insects: future prospects for food and feed security. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy. 2013.
- WHO. Q&A on the carcinogenicity of the consumption of red meat and processed meat. 2015 [cited 2019 Dec 1]. Available from: <https://www.who.int/features/qa/cancer-red-meat/en/>
- 강석남, 김일석, 남기창, 민병록, 이무하, 임동균 등. 식육과학 4.0. 유한문화사, 경기, 한국. 2018. p 105-189.
- 김도엽. 식물성 고기 R&D 동향. 농림기술기획평가원. 2018 [cited 2019 Dec 1]. Available from: www.ipet.re.kr/Material/IPETDataVP.asp?page=1&cate=HB&tbl_id=10001&_sbj=%EC%9A%B0%EB%AC%BC%EB%B0%96%EA%B0%9C%EA%B5%AC%EB%A6%AC+%EC%A0%9C2018%2D1%ED%98%B8%28%EB%86%8D%EC%8B%9D%ED%92%88+R%26D+%ED%95%B4%EC%99%B8%EB%8F%99%ED%96%A5%29
- 김승진, 최원석, 유상권, 민윤식. 글루코만난 첨가가 저지방 계육 패티의 품질 및 저장성에 미치는 영향. *한국식품과학회지*. 2007. 39:55-60.
- 김철재. 식물성 단백질을 이용한 육류대체식품의 개발. *동아시아식생활학회 2005년도 춘계학술대회*. 2005년 4월 3일. p 75-92.
- 김현아, 김병철, 김유경. 고추씨 분말과 고추씨유를 첨가한 소시지의 품질특성. *한국식품조리과학회지*. 2013. 29:283-289.
- 농식품수출정보. 글로벌 육류대체시장(중국/아랍에미리트/호주). 2018 [cited 2019 Dec 20]. Available from: https://www.kati.net/board/storyNewsView.do?board_seq=87563&menu_dept2=54&dateSearch=all&srchFr=&srchTo=&srchTp=&srchWord=&page=1&menu_dept3=56
- 농촌진흥청. 고단백질 및 국산콩 이용 고부가가치 제품화 기술 개발. 2015. p 3.
- 마지황. 대체육류, 식품산업 패러다임의 변화. *금융경영브리프*. KEB 하나은행 하나금융경영연구소. 2019. 제9권 12호, p 8-9.
- 맹진수. 미래 식품의 대체 기술 동향: 배양육, 인공계란과 식용 곤충을 중심으로. *융합연구리뷰*. 융합연구정책센터. 2016. 제2권 4호, p 5-35.
- 박성용, 진구복, 유승석. 키토산을 첨가한 저지방 기능성 소시지의 향미 성분 분석과 냉장 저장 중의 이화학적인 특성. *한국축산식품학회지*. 2005. 25:285-294.
- 박지영. 인조고기(유사고기, 대두단백육, 콩고기). *중부작물 아카데미*. 농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물부. 2016. 제 46호, p 4-5.
- 박충근, 송형익, 남주현, 문윤희, 정인철. Hydrocolloid류가 돈육 Patty의 이화학적·조직적·관능적 특성에 미치는 영향. *한국식품영양과학회지*. 2000. 29:586-591.
- 윤철석. 고기 대체용 식품재의 시장개발과 건강 효과. *ReSEAT 분석 리포트*. 2005.
- 이병원. 인조고기 산업동향 및 전망. *중부작물 아카데미*. 농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물부. 2016. 제46호, p 9-10.
- 이정민, 김용필. 대체 축산물 개발 동향과 시사점. *농정포커스*. 한국농촌경제연구원. 2018. 제170호, p 1-20.
- 이주량, 이정일, 이병원, 이태리. 식물성 고기 기술 현황 및 개발 동향. *농림식품과학기술위원회 이슈보고서*. 농림식품기술기획평가원. 2017.
- 이현정, 조철훈. 세계 대체육류 개발 동향. *세계농업*. 2019. 3월호, p 1-17.
- 정호진, 이홍철, 진구복. 레드 비트의 첨가가 냉장저장 중 저지방 소시지의 품질과 발색 안정성에 미치는 영향. *한국축산식품학회지*. 2010. 30:1014-1023.
- 주신운, 정해정. 펙틴 및 감자전분 첨가가 저지방 돈육 패티의 품질에 미치는 영향. *한국식품조리과학회지*. 2007. 23:824-831.
- 최문희, 신현재. 배양육의 최신 연구 현황과 과학적 과제. *한국생물공학회지*. 2019. 34:127-134.